



T.C.
TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI
SU YÖNETİMİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ



Su Verimliliği
Seferberliği



KULLANILMIŞ SULARIN YENİDEN KULLANIM UYGULAMALARINA İLİŞKİN REHBER DOKÜMAN

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

1. GİRİŞ	1.1
1.1. Dünyada ve Türkiye’de Su Kullanımları	1.3
1.2. Su kıtlığının nedenleri ve ilgili diğer hususlar	1.18
1.3. Su geri kazanımının gerekçeleri, faydaları ve önemi	1.21
1.4. Terminoloji: Kullanılmış Sular ve Geri Kullanım Alanları	1.30
2. KULLANILMIŞ SULARIN GERİ KAZANIMINDA PLANLAMA VE YÖNETİM	2.1
2.1. Entegre Su Yönetimi	2.3
2.2. Kullanılmış Su Geri Kazanım Sistemlerinin Planlanması	2.7
2.2.1. Su Kullanıcılarının ve yeniden kullanım ihtiyaçlarının belirlenmesi	2.12
2.2.2. Arazi kullanımı ve yerel yeniden kullanım politikası oluşturulması	2.13
2.2.3. Dağıtım sistemlerinin planlanması	2.16
2.2.4. Kurumsal hususlar	2.19
2.3. Geri Kazanılmış Su Kaynaklarının Yönetimi	2.20
2.3.1. Operasyonel depolama	2.21
2.3.2. Yerüstü sularda depolama ve besleme	2.24
2.3.3. Akiferlerin beslenmesi	2.25
2.3.4. Kullanılmış su geri kazanım sistemlerinin işletilmesi	2.51
2.3.5. Faaliyette olan diğer sistemlerin incelenmesi	2.57
2.4. Su Kaynaklarının Korunması ve Alternatif Su Kaynakları	2.58

2.4.1.	Su tasarrufu	2.59
2.4.2.	Alternatif su kaynakları	2.61
2.5.	Geri Kazanılmış Su Kullanımında Çevresel Hususlar	2.63
3.	ÜLKEMİZDEKİ ULUSAL GERİ KAZANIM MEVZUATI ve UYGULAMALAR.....	3.1
3.1.	Ulusal Geri Kazanım Mevzuatı	3.1
3.1.1.	Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği.....	3.1
3.1.2.	Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği	3.2
3.1.3.	Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkında Yönetmelik Taslağı	3.9
3.2.	Ulusal Geri Kullanım Uygulamaları.....	3.11
3.2.1.	Bursa Organize Sanayi Bölgesi (OSB) Su Üretim Tesisleri	3.11
3.2.2.	Modern Karton A. Ş.....	3.13
3.2.3.	Zorlu Tekstil	3.14
3.2.4.	Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş. (TÜPRAŞ).....	3.15
3.2.5.	Geri Kazanılmış Suların Tarımsal Sulamada Kullanımı.....	3.16
3.2.6.	Diğer sulama amaçlı uygulama örnekleri	3.26
4.	ULUSLARARASI GERİ KAZANIM MEVZUATI ve UYGULAMALAR.....	4.1
4.1.	Ülke Uygulamaları ve Mevzuatları	4.5
4.1.1.	Almanya	4.5
4.1.2.	Amerika Birleşik Devletleri (ABD)	4.7
4.1.3.	Avustralya	4.33
4.1.4.	Avusturya	4.36
4.1.5.	Belçika	4.37

4.1.6.	Bulgaristan.....	4.38
4.1.7.	Çekya.....	4.38
4.1.8.	Danimarka.....	4.39
4.1.9.	Estonya.....	4.39
4.1.10.	Fransa.....	4.40
4.1.11.	Finlandiya.....	4.44
4.1.12.	Hollanda.....	4.44
4.1.13.	İngiltere.....	4.45
4.1.14.	İrlanda.....	4.46
4.1.15.	İspanya.....	4.46
4.1.16.	İsveç.....	4.47
4.1.17.	İtalya.....	4.48
4.1.18.	Kanada.....	4.49
4.1.19.	Kıbrıs (Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti ve Güney Kıbrıs Rum Yönetimi).....	4.55
4.1.20.	Letonya.....	4.56
4.1.21.	Lüksemburg.....	4.56
4.1.22.	Macaristan.....	4.56
4.1.23.	Malta.....	4.57
4.1.24.	Mısır.....	4.58
4.1.25.	Namibya.....	4.60
4.1.26.	Portekiz.....	4.60
4.1.27.	Romanya.....	4.61
4.1.28.	Singapur.....	4.62
4.1.29.	Slovenya.....	4.62
4.1.30.	Suriye.....	4.62

4.1.31.	Ürdün.....	4.63
4.1.32.	Yunanistan.....	4.65
4.2.	Genel Değerlendirme.....	4.66
5.	KULLANILMIŞ SULARIN GERİ KULLANIM ALANLARI - UYGULAMA TÜRLERİ	5.1
5.1.	Kentsel Geri Kullanım.....	5.1
5.1.1.	Wollongong Su Geri Kazanım Tesisi	5.5
5.1.2.	Barcelona Depurbaix Llobregat kullanılmış su arıtma/geri kazanım tesisi.....	5.10
5.2.	Zirai Geri Kullanım	5.15
5.2.1.	Monterey Projesi (Kaliforniya, ABD) (Direkt olarak yenilebilir/tüketilebilir ürünleri olan bitkilerin sulanması (su ile direkt temas eden ürünler)).....	5.22
5.2.2.	Mexico City Projesi (Mexico City, Meksika)	5.24
5.2.3.	Dan Bölgesi Projesi (Dan, İsrail).....	5.26
5.2.4.	South East Farm Projesi (Florida, ABD) (İşlendikten sonra yenilebilecek ürün sağlayan bitkilerin sulanması)	5.33
5.2.5.	Water Conserv II Projesi (Florida, ABD) (Su ile Direkt temas etmeyen yenilebilir ürünleri olan bitkilerin sulanması)	5.35
5.2.6.	South East Queensland Projesi (Queensland, Avustralya) (Su ile Direkt temas etmeyen yenilebilir ürünleri olan bitkilerin sulanması)	5.38
5.3.	Çevresel/Ekolojik Amaçlı Geri Kullanım	5.41
5.3.1.	Sulak alanların beslenmesi ve restorasyonu/rekreasyonu.....	5.42
5.3.2.	Akarsu, dere ve çaylarda su debisinin artırılması amacıyla kullanım.....	5.49

5.3.3.	Rekreasyonel ve peyzaj amaçlı havuz ve göllerin beslenmesi.....	5.54
5.3.4.	Sel/baskın kontrolü ve hidrolojik dengenin korunması.....	5.57
5.3.5.	Rekreasyon ve eğitimsel amaçlar	5.58
5.3.6.	Kar yapımı.....	5.59
5.3.7.	Balıkçılık ve yaban hayatının korunması.....	5.60
5.4.	Endüstriyel Geri Kullanım Alanları.....	5.62
5.4.1.	Soğutma suyu olarak geri kullanım.....	5.62
5.4.2.	Kazan besleme suyu olarak geri kullanım	5.75
5.4.3.	Proses suları olarak farklı üretim aşamalarında geri kullanım.....	5.84
5.4.4.	Endüstride proses suyu dışındaki diğer kullanımlar	5.96
5.4.5.	Hazır gıda üretiminde geri kullanım.....	5.99
5.4.6.	Kapalı Çevrim Uygulamaları (Almanya) (Farklı endüstrilerde spesifik kullanımlar).....	5.102
5.5.	İçme Suyu Amacı Dışında Geri Kullanım – Yeraltı Suyu Beslemesi	5.113
5.2.	İçme Suyu Amacıyla Geri Kullanım	5.141
5.2.1.	Doğrudan içme suyu amaçlı geri kullanım (DPR)	5.149
5.2.2.	Dolaylı içme suyu amaçlı geri kullanım (IPR) ...	5.160
6.	KULLANILMIŞ SULARDA SU KALİTESİ	6.1
6.1.	Halk Sağlığı	6.3
6.2.	Kullanılmış Su Bileşenleri.....	6.5
6.3.	Mikrobiyal İçeriklerin Risk Değerlendirmesi	6.12
6.4.	Kullanılmış Sulardaki Kimyasal Bileşikler	6.13

6.4.1.	İnorganik kimyasallar.....	6.13
6.4.2.	Metaller ve tuzlar	6.14
6.4.3.	Oksitleyici maddeler	6.15
6.4.4.	Besi maddeleri.....	6.15
6.4.5.	Nanomateriyaller.....	6.16
6.4.6.	Organik maddeler	6.17
6.4.7.	Mikrokirleticiler.....	6.20
6.4.8.	Askıda Katı Madde	6.21
6.5.	Geri Kazanılmış Sular İçin Arıtma Alternatifi Hedeflerinin Oluşturulmasına Yönelik Düzenleyici Yaklaşımlar	6.21
6.5.1.	Mikrobiyal inaktivasyon	6.22
6.5.2.	Mikrokirleticiler.....	6.23
7.	GERİ KULLANIM UYGULAMALARINDA FAYDALAR VE RİSKLER	7.1
7.1.	Geri Kullanım Uygulamalarının Faydaları.....	7.2
7.1.1.	Toplam azot için hesaplamalar	7.5
7.1.2.	Toplam fosfor için hesaplamalar.....	7.6
7.1.3.	Organik karbon için hesaplamalar	7.6
7.1.4.	Genel Sonuç	7.7
7.2.	Geri Kullanım Uygulamalarında Riskler	7.8
7.2.1.	Çevresel riskler	7.8
7.2.2.	Ekonomik riskler	7.9
7.2.3.	Sosyal ve sağlık riskleri.....	7.10
7.2.4.	Teknik riskler.....	7.11
7.2.5.	Yeniden kullanım sırasında karşılaşılan problemler ve çözüm önerileri.....	7.12

8. SU GERİ KAZANIMINDA HALKIN ALGISINI ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İRDELENMESİ	8.1
8.1. Halkın Algısını Etkileyen Faktörler	8.3
8.1.1. Yeniden Kullanım Riskleri	8.4
8.1.2. İğrenme - "Yuck" Faktörü.....	8.6
8.1.3. Arıtılmış suyun spesifik kullanım amacı	8.6
8.1.4. Geri kazanılmış suların kaynakları.....	8.6
8.1.5. Seçme alternatifinin olup olmama durumu	8.7
8.1.6. Yetkililere ve bilimsel bilgi birikimine olan güven	8.8
8.1.7. Çevreye yönelik algı	8.8
8.1.8. Çevresel adalete yönelik konular	8.9
8.1.9. Sosyo-demografik faktörler	8.10
8.1.10. Geri kazanılan suyun fiyatı.....	8.10
8.2. İstişare.....	8.11
8.2.1. Toplum ile istişare yolları	8.11
8.3. Paydaşların Belirlenmesi	8.12
8.4. Toplumun Projelere Dahil Edilmesi.....	8.13
8.5. Toplumun Eğitimi	8.14
9. ÜLKEMİZDE GERİ KAZANIM UYGULAMALARI İÇİN ÖNCELİKLENDİRMEYE YÖNELİK YOL HARİTASI	9.1
9.1. Ülkemizde Kullanılmış Su Geri Kazanımının Önündeki Problemler ve Çözüm Önerileri	9.23
9.2. Ülkemizde Endüstriyel Sektörlerde Su Tüketimleri ve Kullanılmış Su Geri Kazanım Önceliklendirilmesi.....	9.55

ÇİZELGELER DİZİNİ

Tablo 1-1 Su kıtlığı endeksleri (Water Stress Index, WSI) [2], [7]	1.9
Tablo 1-2 Türkiye'de farklı sektörler tarafından kullanılan su miktarı [8]	1.10
Tablo 1-3 Türkiye'de ve farklı ülkelerde yıllık yağış miktarları ve sektörel bazlı su kullanımı (km ³) [8]	1.11
Tablo 1-4 DSİ tarafından sulamada kullanılan su kaynakları [15]	1.16
Tablo 1-5 Su geri kazanım kategorileri ve uygulamalar [6]	1.25
Tablo 1-6 Su geri kullanımı uygulamaları kategorileri	1.32
Tablo 2-1 İspanya'da ASR maliyetleri	2.37
Tablo 3-1 İllere göre kullanılmış suların geri kazanım durumu [59], [58]	3.17
Tablo 4-1 Zirai geri kullanımda önerilen mikrobiyolojik kalite parametreleri [67]	4.2
Tablo 4-2 FAO sulama için su kalitesi rehberi [68]	4.3
Tablo 4-3 Uluslararası mikrobiyolojik kalite değerleri özeti [69]	4.4
Tablo 4-4 Rekreatyonel amaçlı kullanılan sularda geri kullanım kriterleri [69]	4.6
Tablo 4-5 Eyaletlerin su geri kullanım yasalarını hazırlarken uymaları gereken genel federal çerçeve esasları [1]	4.7
Tablo 4-6 Su geri kullanımı uygulamaları kategorileri [1]	4.11
Tablo 4-7 Dolaylı içme amaçlı geri kullanımlarda uygulanacak rehber kriterler [1]	4.13
Tablo 4-8 İçme dışı geri kullanımlarda uygulanacak rehber kriterler [1]	4.15
Tablo 4-9 Kazan sistemlerinde su geri kullanımı için gerekli kalite değerleri [1]	4.28
Tablo 4-10 Tek geçişli ve resirkülasyonlu soğutma sistemlerinde kullanılacak kullanılmış suların limit değerleri [71]	4.29

Tablo 4-11 Soğutma kulelerinde kullanılacak geri kazanılmış suların maksimum ve minimum parametre limit değerleri [71]	4.30
Tablo 4-12 Rekreatyonal amaçlı su kullanımlarını içeren rehber doküman özeti [1]	4.31
Tablo 4-13 Avustralya’da arıtılmış suların geri kullanımı için riayet edilmesi gereken mikrobiyolojik parametre değerleri [72]	4.34
Tablo 4-14 Avustralya’da sulama sularının içerebileceği maksimum metal konsantrasyonları [72]	4.35
Tablo 4-15 Arıtılmış suların zirai sulamada geri kullanımında toprak kısıt sınıfları [72]	4.35
Tablo 4-16 Arıtılmış suların tekstil sektöründe geri kullanımında limit değerler [73]	4.36
Tablo 4-17 Fransa su kalitesi limit değerleri [76]	4.42
Tablo 4-18 Fransa’da geri kullanım sınırlamaları [76]	4.42
Tablo 4-19 Arıtılmış suların sprinkler ile sulamada geri kullanılmasında adaptasyonu gerekli parça ve malzemeler [76]	4.43
Tablo 4-20 Mesafe kısıtlamaları [76]	4.44
Tablo 4-21 Zirai sulamada kullanımı teşvik için uyulması gereken su kalite kriterleri [77]	4.50
Tablo 4-22 Zirai sulamada geri kullanım için arıtılmış kullanılmış su kalite değerleri [77]	4.50
Tablo 4-23 Demir-çelik endüstrisi için arıtılmış suların geri kullanımı için limit değerler [78]	4.51
Tablo 4-24 Kağıt endüstrisi için arıtılmış suların geri kullanımı için limit değerler [78]	4.52
Tablo 4-25 Petrol endüstrisi için suların kullanımı için limit değerler [79]	4.52
Tablo 4-26 Rekreatyonal su kullanımlarında önemli su kalite parametre değerleri [78]	4.53
Tablo 4-27 Rekreatyon amaçlı kullanılan sular ile ilgili rehberlerin özeti [78]	4.54

Tablo 4-28 Mısır'da arıtılmış su ile sulanabilecek bitikilerin sınıflandırılması [81]	4.59
Tablo 4-29 Mısır'da arıtılmış suların zirai sulamada kullanımı için gereksinimler [81]	4.59
Tablo 4-30 Suriye'de zirai sulama için arıtılmış su değerleri .	4.63
Tablo 4-31 Ürdün arıtılmış su deşarj limit değerleri.....	4.63
Tablo 4-32 Ürdün arıtılmış suların zirai sulamada kullanımı için limit değerleri	4.65
Tablo 4-33 Sulama amaçlı geri kullanım uygulamaları ile ilgili genel su kalite gereksinimleri [82]	4.68
Tablo 5-1 Artan arıtma seviyesine bağlı olarak kabul edilebilir geri kullanım alanları [1]	5.2
Tablo 5-2 Japonya'da kentsel kullanımlar için geri kazanılmış su kalitesi [6].....	5.4
Tablo 5-3 ABD'de farklı eyaletlerde zirai sulama amacıyla arıtılmış suların kullanımı[1].....	5.17
Tablo 5-4 Avrupa'da tarımsal su kullanımı [85]	5.20
Tablo 5-5 Dan Atıksu arıtma tesisi çıkış suyunun SAT sistemine verilmesi neticesinde su kalitesindeki değişim [90]	5.30
Tablo 5-6 Proje kapsamında inşa edilen arıtma tesisleri için ayrıntılı bilgiler.....	5.66
Tablo 5-7 Bundamba AWTP Su Kalitesi, Eylül 2007 - Şubat 2008	5.69
Tablo 5-8 Gippsland Su Fabrikası MBR proses performansı...	5.91
Tablo 5-9 Gippsland Su fabrikası ters osmoz proses performansı	5.94
Tablo 5-10 Şeker pancarından şeker üretiminde su tüketiminin prosesler arası dağılımı.....	5.103
Tablo 5-11 Islatma sularının kirlilik yükleri.....	5.104
Tablo 5-12 Koagülasyon/flokülasyon prosesi ile ozonlama prosesi arasındaki farklar	5.109
Tablo 5-13 Yeraltı suyu besleme sistemlerinin avantaj ve dezavantajları [6]	5.115
Tablo 5-14 Torreele Su Geri Kazanım Tesisi tanıtımı [132] ..	5.133

Tablo 5-15 Torreele Su Geri Kazanım Tesisi su kalitesi [132]	5.134
Tablo 5-16 Ulu Pandan NEWater Tesis detayları	5.137
Tablo 5-17 Ulu Pandan NEWater üretimi amacıyla kullanılan atıksu arıtma tesisi giriş suyu özellikleri	5.138
Tablo 5-18 Ulu Pandan NEWater Tesisi biyolojik arıtım+MF proses çıkış sularının (TO besleme) özellikleri	5.138
Tablo 5-19 Ulu Pandan NEWater Tesisi TO proses performansı ve permeat çıkış suyunun karakterizasyonu	5.139
Tablo 5-20 Ulu Pandan NEWater Tesisi konsantre özellikleri	5.140
Tablo 5-21 Dünya’da uygulanan çeşitli DPR ve IPR örnek uygulamaları [135]	5.152
Tablo 6-1 İçme suyu amaçlı geri kullanım için arıtma senaryoları ([159]’ten adapte edilmiştir)	6.2
Tablo 6-2 Ham kullanılmış sularda potansiyel olarak bulunabilecek enfeksiyöz ajanlar [1]	6.7
Tablo 6-3 Kullanılmış su arıtımının çeşitli aşamalarında indikatör mikroorganizmaların ve enterik patojenlerin gösterge log giderimleri [1]	6.10
Tablo 7-1 Kullanılmış suların çeşitli geri kullanım alanlarında karşılaşılan problemler ve çözüm önerileri [178], [1]	7.13
Tablo 8-1 Risk algılarıyla ilintili olarak halkın değerleri	8.5
Tablo 9-1 Su geri kazanımı alternatiflerinin önceliklendirilmesinde önemli parametreler ve değerlendirme kriterleri	9.12
Tablo 9-2 Sulamada geri kullanılacak arıtılmış kullanılmış suların sınıflandırılması	9.34
Tablo 9-3 Sektör: Evsel Nitelikli Atıksular (Sınıf 4: Kirlilik Yükü Ham BOİ Olarak 6000 Kg/Gün’den Büyük, Nüfus > 100000).	9.38
Tablo 9-4 Kentsel atıksu arıtım tesislerinden ikincil arıtıma ilişkin deşarj limitleri*	9.39
Tablo 9-5 Kentsel atıksu arıtım tesislerinden ileri arıtıma ilişkin deşarj limitleri*	9.39

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1-1 Dünyadaki su kaynaklarının dağılımı (Muluk vd., 2013)	1.4
Şekil 1-2 Küresel olarak fiziksel ve ekonomik su kıtlığı haritası (Muluk vd., 2013)	1.4
Şekil 1-3 Dünya'da farklı su kıtlığı tipleri [7]	1.8
Şekil 1-4 Türkiye'nin su kaynakları potansiyeli [9]	1.11
Şekil 1-5 Kurak alanlarda su kıtlığına bütünsel yaklaşım için çözümler [7]	1.20
Şekil 1-6 Sürdürülebilir su eldesi için desalinasyon ve su geri kazanımı-fırsatlar ve zorluklar [7]	1.21
Şekil 1-7 Su kullanımı süresince kalitesindeki değişim ve su arıtım ve geri kazanım kavramı [6]	1.29
Şekil 2-1 Kullanılmış suların geri kullanımı ve arıtma planının geliştirilmesi için akış şeması [23]	2.11
Şekil 2-2 Sızdırma Havuzları Tekniği (Infiltration Ponds) Uygulama Taslağı [29]	2.28
Şekil 2-3 Taneli Akifer Arıtımı Tekniği (Soil Aquifer Treatment-SAT) Uygulama Taslağı [29]	2.29
Şekil 2-4 Taşıma, Sellendirme Tekniği (Flooding) Uygulama Taslağı [29]	2.30
Şekil 2-5 Sızdırma Arkı, Kırığı ve Drenleri Tekniği (Ditches, Furrow, and Drains) Uygulama Taslağı	2.31
Şekil 2-6 Aşırı Sulama Tekniği (Excess Irrigation) Uygulama Taslağı [29]	2.33
Şekil 2-7 Aşırı sulamaya bağlı yeraltı suyunda tuzlanma	2.33
Şekil 2-8 Akifer Besleme – Üretim Tekniği (Aquifer Storage and Recovery – ASR) Uygulama Taslağı	2.36
Şekil 2-9 Akifer Besleme ve Uzak Üretim Tekniği (Aquifer Storage Transfer and Recovery – AS(TR) Uygulama Taslağı [29]	2.38

Şekil 2-10 Sığ Kuyu, Şaft, Çukur Sızdırması Teknikleri (Shallow Borehole – Well, Shaft, Pit Infiltration) Uygulama Taslağı [29]	2.39
Şekil 2-11 Etkilenen Islak Yüzey Sızdırması Tekniği (Induced Bank Filtration)	2.40
Şekil 2-12 Pompaj Kuyulu “Etkilenen Islak Yüzey Sızdırmasıyla Besleme” Yöntemi.	2.40
Şekil 2-13 Pompaj ve Enjeksiyon Kuyulu “Etkilenen Islak Yüzey Sızdırmasıyla Besleme” Yöntemi	2.41
Şekil 2-14 Besleme Barajı Tekniği (Recharge Dams) Uygulama Taslağı [29]	2.43
Şekil 2-15 Akifer besleme barajlarının besleme verimliliği	2.43
Şekil 2-16 Yeraltı Barajı Tekniği (Underground - Subsurface Dam) Uygulama Taslağı (A-Harita, B-Kesit) [47]	2.45
Şekil 2-17 Kum Barajı Tekniği (Sand Dams) Uygulama Taslağı [30]	2.46
Şekil 2-18 Kanal Düzenleme Tekniği (Channel Spreading – Widening) Uygulama Taslağı - Yatak Kazıması [29]	2.47
Şekil 2-19 Set ve Engel Oluşturma Tekniği (Barriers and Bunds) Uygulama Taslağı – Hendecli [49]	2.49
Şekil 2-20 Üç Bölge Bir “Set ve Engel Oluşturma” Tekniğiyle Akifer Besleme Taslağı (Bölgelerin ve tüm sistemin boyutları, uzunluklar büyük eğimde daha az, küçük eğimde daha çok olacak şekilde yamaç eğimine bağlı olarak belirlenmiştir.) [50]	2.49
Şekil 2-21 Hendek Oluşturma Tekniği (Trenches) Uygulaması – Islak Cephesi Taş Kaplamalı [51]	2.50
Şekil 3-1 Konya kullanılmış su geri kazanım uygulaması (mor şebeke) proses akım şeması	3.24
Şekil 3-2 İstanbul Hilton Otelleri gri suların geri kazanım tesisi	3.28
Şekil 3-3 Antalya Belek Bölgesel Atıksu Arıtma Tesisi’nin konumu	3.29
Şekil 3-4 Muğla Konacık Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi	3.30

Şekil 5-1 Avustralya'da bulunan Wollongong Şehri ve su geri kazanım tesisi	5.6
Şekil 5-2 Wollongong Su Geri Kazanım Tesisi sularının kömür depolarında oluşan tozun bastırılmasında kullanımı [83].....	5.7
Şekil 5-3 Sidney Water tarafından farklı amaçlarla kullanılan kullanılmış su arıtma prosesleri [83]	5.9
Şekil 5-4 Wollongong Atıksu Arıtma Tesisi [83]	5.10
Şekil 5-5 Barcelona Depurbaix AAT görseli	5.12
Şekil 5-6 Barcelona Depurbaix AAT akım şeması*	5.13
Şekil 5-7 Barcelona AAT arıtılmış kullanılmış suların geri kullanım alanları.....	5.14
Şekil 5-8 ABD'de geri kazanılan suların kullanım alanları[1] .	5.19
Şekil 5-9 Salinas Vadisi'nde su ihtiyacının ve sulama sistemlerinin zamanla değişimi [86]	5.22
Şekil 5-10 Monterey, Kaliforniya Atıksu Arıtma Tesisi ve Salinas Vadisi'nde kullanılmış suyun sulamada kullanıldığı alan [86]	5.23
Şekil 5-11 Salinas Vadisi'nde arıtılmış kullanılmış suların damla sulama sistemlerinde kullanımı [86].....	5.24
Şekil 5-12 Arıtılmış suyu sulamada kullanan Atotonilco Atıksu Arıtma Tesisi [88].....	5.25
Şekil 5-13 Atotonilco Atıksu Arıtma Tesisi'nin kapasite bilgileri [89].....	5.25
Şekil 5-14 Atotonilco Atıksu Arıtma Tesisi akış diyagramı [89]	5.26
Şekil 5-15 Dan Bölgesi Su Geri Kazanım Projesi [91].....	5.30
Şekil 5-16 İsrail'de bulunan Dan Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi çıkışının SAT sistemine taşınması sırasında 10 yıl içinde boruda meydana gelen biyofilm [90]	5.33
Şekil 5-17 South East Farm tarım ürünleri.....	5.34
Şekil 5-18 South East Farm sprinkler sulama sistemleri.....	5.35
Şekil 5-19 Genel proses şeması [93]	5.36
Şekil 5-20 Hızlı infiltrasyon havuzlarının havadan görünümü [93]	5.37

Şekil 5-21 Hızlı infiltrasyon havuzlarının kesit görünümü [94]	5.37
Şekil 5-22 Projenin 6. Bölümünün havadan görünümü	5.38
Şekil 5-23 Proje alanı	5.39
Şekil 5-24 Talep ve fiyat eğrileri	5.40
Şekil 5-25 Arizona Tres Rios Sulak Alanı Bölgesi Haritası [99]	5.44
Şekil 5-26 Bölgesel Kullanılmış Su Arıtma Tesisi ve Arizona Tres Rios Sulak Alanı	5.45
Şekil 5-27 Arizona Tres Rios Sulak Alanı	5.45
Şekil 5-28 Georgia Clayton County Sulak Alanı	5.46
Şekil 5-29 Florida Orlando Easterly Sulak Alanı	5.47
Şekil 5-30 Arizona Sierra Vista Sulak Alanı	5.48
Şekil 5-31 Dungeness Havzası Haritası	5.50
Şekil 5-32 Dungeness Nehri görseli ve Sequim Su Geri Kazanım Tesisi [107]	5.51
Şekil 5-33 Tamagawa Jousui Nehri	5.52
Şekil 5-34 Nobidome Yosui Nehri	5.52
Şekil 5-35 Dallas/Fort Worth Trinity Nehir Havzası Haritası [4]	5.53
Şekil 5-36 Dallas/Fort Worth Trinity Nehri	5.54
Şekil 5-37 Teksas Yellowhouse Canyon Gölleri Parkı	5.55
Şekil 5-38 Arizona, Tucson, Lakeside Lake	5.56
Şekil 5-39 San Diego, Santee Lakes Rekreasyon Parkı	5.57
Şekil 5-40 Sel/bakın kontrolü ve hidrolik dengenin korunmasına yönelik uygulamalar (New Orleans/USA)	5.58
Şekil 5-41 Geri kazanılmış sularla restore edilmiş sulak alanların eğitimsel amaçlar için kullanımı	5.58
Şekil 5-42 Kaliforniya, Arizona, Colorado ve Maine'de kayak tesislerinde yapay kar yapımı	5.60
Şekil 5-43 Arizona Sierra Vista Sulak Alanı	5.61
Şekil 5-44 Proses şeması	5.67
Şekil 5-45 Bundamba proses akım şeması	5.68
Şekil 5-46 Tenorio Göleti ve yeni yapılan AAT	5.71

Şekil 5-47 Tenorio AAT akım şeması.....	5.72
Şekil 5-48 Tenorio AAT- Enerji Santralı iletim hattı.....	5.74
Şekil 5-49 BP-Amoco Brisbane Tesisi.....	5.76
Şekil 5-50 Brisbane Water Corp. BP-Amoco su üretim şeması	5.77
Şekil 5-51 Su geri kazanım tesisi proses diyagramı.....	5.78
Şekil 5-52 Panipat rafinerisi RO üniteleri.....	5.79
Şekil 5-53 Su geri kazanım tesisi kademelerinde su kalitesinin değişimi.....	5.79
Şekil 5-54 RARE proje alanı ve iletim hattı	5.81
Şekil 5-55 RARE proses şematığı	5.82
Şekil 5-56 RARE projesindeki MF ve RO üniteleri.....	5.83
Şekil 5-57 RARE projesi depolama tankları.....	5.84
Şekil 5-58 Camp de Tarragona Atıksu Arıtma Tesisi Akım Şeması	5.86
Şekil 5-59 Tarragona-Vilaseca Su Geri Kazanım Tesisi	5.87
Şekil 5-60 Gippsland Su Fabrikası Akım Şeması [121].....	5.89
Şekil 5-61 Gippsland Su Fabrikası'na ait bir görsel [121]	5.91
Şekil 5-62 Gippsland Su Fabrikası'nda kurulu MBR'da akı değerleri [121].....	5.92
Şekil 5-63 Gippsland Su Fabrikası'nda kurulu MBR'da permeabilite değerleri [121]	5.92
Şekil 5-64 Gippsland Su Fabrikası'nda kurulu MBR'de bulanıklık değerleri [121].....	5.93
Şekil 5-65 Gippsland Su Fabrikası'nda kurulu MBR'de basınç artış hızının değişimi [121].....	5.94
Şekil 5-66 Dora Creek AAT	5.98
Şekil 5-67 Eraring Enerji Santrali	5.98
Şekil 5-68 Oceanic Kömür Yıkama Tesisi.....	5.99
Şekil 5-69 Kooragang Endüstriyel Bölgesi İleri Arıtma Tesisi UF ve RO üniteleri.....	5.99
Şekil 5-70 Nanofiltrasyon ünitesi.....	5.108
Şekil 5-71 Ham kullanılmış su rengi ile membran uygulaması ve aktif karbon uygulaması sonucu oluşan renk.....	5.108

Şekil 5-72 Yıkama fabrikası su geri kazanım tesisi	5.110
Şekil 5-73 Fabrika genel görünümü ve depolama havuzu	5.112
Şekil 5-74 Wolfsburg Tesisi su geri kazanım aşamaları.....	5.112
Şekil 5-76 Başlıca MAR teknikleri [27].	5.122
Şekil 5-76 Dünya'da gerçekleştirilen MAR uygulamalarının amaçlarına göre dağılımı, Ref. [28].....	5.123
Şekil 5-77 Dünya çapında MAR uygulamalarının ülkelere göre dağılımı.....	5.124
Şekil 5-78 MAR tekniklerinin uygulanma dağılımı	5.125
Şekil 5-79 Dan Bölgesi su geri kazanım projesi.....	5.128
Şekil 5-80 Dan Bölgesi su geri kazanım tesisi	5.129
Şekil 5-81 Llobregat akiferinde deniz suyu girişiminin yeraltı suyu beslenmesi ile engellenmesi [131]	5.130
Şekil 5-82 Torreele Su Geri Kazanım Tesisi'nin Yeri.....	5.131
Şekil 5-83 Torreele Su Geri Kazanım Tesisi akım şeması [132]	5.133
Şekil 5-84 Ulu Pandan NEWater Tesisi	5.136
Şekil 5-85 Ulu Pandan NEWater Tesisi proses akım şeması	5.136
Şekil 5-86 Ulu Pandan NEWater Tesisi TO proses çıkış suyu TOC değerlerinin değişimi.....	5.139
Şekil 5-87 Singapur'da kullanılmış sudan kullanma suyu üreten Ulu Pandan NEWater Tesisi TO proses çıkış suyu üreten tesisler ve kapasiteleri.....	5.140
Şekil 5-88 Planlı dolaylı içme suyu geri kazanım senaryo ve örnekleri	5.143
Şekil 5-89 Planlı direkt içme suyu geri kazanımı uygulama örnekleri	5.145
Şekil 5-90 DPR uygulamasının şematik gösterimi [139]	5.150
Şekil 5-91 2002 yılında Windhoek, Namibia'da tamamlanan DPR tesisi.....	5.155
Şekil 5-92 Windhoek, Namibia'da 2002 yılında tamamlanan Goreangab DPR Tesisi akım şeması	5.156
Şekil 5-93 Teksas Big Spring DPR Tesisi şematik gösterimi [135]	5.157

Şekil 5-94 Big Spring'deki direkt içme suyu geri kazanımı amacıyla kullanılan ham su üretim tesisi [153]	5.158
Şekil 5-95 Beaufort West DPR Sistemi akım şeması [154]	5.159
Şekil 5-96 Beaufort West kullanılmış su arıtma tesisi [155].	5.159
Şekil 5-97 Kullanılmış suların dolaylı olarak içme suyu amacıyla geri kullanımı (IPR) [139]	5.160
Şekil 5-98 Kaliforniya, Orange County Yeraltı Suyu İkmal Sistemi	5.161
Şekil 5-99 Upper Occoquan IPR Sistemi şematik gösterimi (USEPA, 2017)	5.162
Şekil 5-100 Occoquan Rezervuarı'nın havadan görünümü [151]	5.163
Şekil 5-101 El Paso Hueco Bolson ve Fred Harvey Su Geri Kazanım Tesisleri Haritası.....	5.164
Şekil 5-102 Trinity Nehir Havzası. Houston şehri memba tarafında yer alan Dallas/Fort Worth'ün gösterimi	5.167
Şekil 5-103 Trinity Nehir Havzasında E.coli Değişimi	5.167
Şekil 8-1 Karar-verme sürecinde etik değerleri (a) ve çevresel konuları ilişkilendiren (b) iki model [180].....	8.9
Şekil 9-1 Kullanılmış su geri kazanımında yönetim tarafından izlenebilecek yol.....	9.4
Şekil 9-2 Sektörel bazlı su tahsisi planlarında izlenecek yol [184]	9.11
Şekil 9-3 Endüstriyel sektörlerde kullanılmış su geri kazanımı için izlenebilecek yol haritası	9.19
Şekil 9-4 Kullanılmış suların içme suyu olarak kullanımına dair farklı alternatifler [1]	9.51
Şekil 9-5 Kullanılmış suların direkt olarak içme suyu amacıyla kullanımı (a) İleri arıtmadan sonra suyun içme suyu arıtma tesisine beslenmesi, (b) İleri arıtmadan sonra arıtılmış kullanılmış suyun direkt içme suyu dağıtım sistemine bağlanması [144]	9.52
Şekil 9-6 Kullanılmış suların dolaylı olarak içme suyu amacıyla kullanımı (a) İleri arıtmadan sonra arıtılmış atık suyun çevresel bariyer olarak yeraltı akiferine verilmesi, (b) İleri arıtmadan	

sonra arıtılmış kullanılmış suyun çevresel bariyer olarak yüzeysel su kaynağına alınması	9.53
Şekil 9-7 Endüstrilerde su tüketimini kontrol/optimize etmek ve su geri kazanımını önceliklendirmek için izlenecek genel yaklaşım	9.61

1. GİRİŞ

Son 20-30 yıl içerisinde su geri kazanım uygulamalarında önemli bir artış olup birçok ülke su geri kazanımına yönelik uygulamaları halk sağlığına ve çevreye zarar vermeden gerçekleştirebilmek için standartlar ve rehber dokümanlar yayınlamıştır. Ayrıca, küresel olarak su kıtlığının yaşandığı dünyada kullanılmış sular da yeni su kaynakları olarak görülmeye başlanmıştır. Ülkemizde de su fakirliğinin yaşanma olasılığı nedeniyle su yönetiminde önemli değişiklikler yapılmakta olup kullanılmış suların geri kazanımına yönelik önemli yatırımlar yapılmaktadır. Bu tür uygulamaların sayısının artması için gerekli desteğin verilmesi, bilgilendirmenin yapılması, teknolojinin geliştirilmesi ve alt yapının kurulması gerekmektedir. Tüm bunların yanında, su geri kazanım çalışmaları yapılırken de bunun belirli kurallar dahilinde, halk ve çevre sağlığının da dikkate alınarak yapılması gerekmektedir. Ayrıca, kullanılacak yöntemler, uygulanacak teknolojiler çeşitlilik göstermekte olduğundan, uygulayıcılara yol gösterecek bir vizyon sunmak önemlidir.

Dünyada hazırlanan rehber dokümanlara örnek olarak; EPA “Su Geri Kazanım Rehberi” ni ilk olarak 1980 yılında teknik araştırma raporu olarak yayınlamıştır. Daha sonra uygun su kalitesi, su geri kazanım uygulama alternatifleri, su geri kazanımı için ihtiyaç duyulacak düzenlemeler konusunda yönlendirme arayan uygulamacılar ve standart geliştiriciler için 1992 yılında revize edilmiştir. Doküman 2004 yılında tekrar güncellenmiş olup yapılan araştırma çalışmalarının da desteğiyle su geri kazanım standartları özetlenmiştir. 2012 yılında revize edilen dokümanla su geri kazanım kriterlerine genel bir bakış yapılmış ve bu kriterlerdeki bazı farklılıklara açıklık getirilmesi amaçlanmıştır.

EPA tarafından yayınlanan rehber sadece Amerika Birleşik Devletleri'ne (ABD) fayda sağlamamış birçok ülke tarafından da kullanılan bir rehber olmuştur [1].

Dolayısıyla, ülkemizde de sayısı hızla artan geri kazanım uygulamaları devreye alınmakta olup bu çalışmaların desteklenmesi, teknik konularda yol gösterilmesi, uygulamalardan örnekler vererek tasarımlara yol gösterici rehber dokümanların hazırlanması gerektiği açıktır. Bu nedenle, Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğüne yürütülen Kullanılmış Suların Yeniden Kullanım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi Projesi kapsamında ülkemiz için "Kullanılmış Suların Yeniden Kullanım Uygulamalarına İlişkin Rehber Doküman" hazırlanmıştır.

Bu rehber dokümanın ana amaçları aşağıda özetlenmiştir:

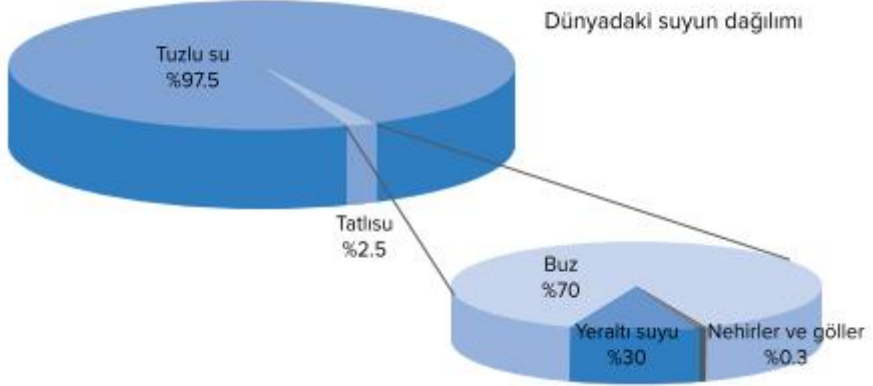
- Kullanılmış suların geri kullanımındaki başlıca itici güçlerin, teknik, ekonomik, sosyal ve çevresel gerekçelerin ve ihtiyaçların sunulması,
- Kullanılmış suların geri kullanılması projelerinde uygulanacak planlama ve yönetim uygulamalarının incelenmesi ve değerlendirilmesi,
- Kullanılmış suların geri kullanım alanlarının/noktalarının listelenmesi ve incelenmesi,
- Kullanılmış suların geri kullanımına yönelik mevcut ulusal mevzuatın incelenmesi,
- Kullanılmış suların geri kullanımına yönelik uluslararası mevzuatların değerlendirilmesi ve ülkemize özgü öneriler sunulması,
- Farklı ülkelerde gerçek tesis boyutundaki başarılı geri kullanım uygulama örneklerinin listelenmesi,
- Ulusal ölçekte mevcut başarılı geri kullanım uygulamalarının incelenmesi,

- Kullanılmış suların farklı alanlarda kullanımı için gerekli su kalitesi parametrelerinin irdelenmesi,
- Planlamaları ve nihai uygulama projelerini etkileyen ana etmenlerden bir tanesi olan halkın görüşü ve algısı hususunun küresel ve ülkemiz ölçeğinde değerlendirilmesi,
- Geri kullanım uygulamalarında potansiyel fayda ve risklerin sunulması,
- Ülkemizde geri kullanım uygulamaları için önceliklendirmeye yönelik yol haritasının oluşturulması.

1.1. Dünyada ve Türkiye’de Su Kullanımları

Su; insanlar tarafından içme ve kullanma amacıyla, sanayide, sulamada, enerji üretiminde ve diğer birçok alanda kullanılmaktadır. Özellikle son 20-30 yıl içinde artan insan nüfusu ve bunun sonucu olarak artan su talebi, küresel bir su krizini gündeme getirmiştir. Su; sürdürülebilir bir kalkınma için gereken en önemli kaynaklardan biridir. Yeryüzünde mevcut tatlı su kaynakları artık insan ihtiyacını yeterince karşılamamaktadır. Dünyadaki toplam su miktarı 1,4 milyar km³tür. Bu suların %97,5’i okyanuslarda ve denizlerde tuzlu su olarak, %2,5’i ise nehir, göl ve yeraltında tatlı su olarak bulunmaktadır. Bu kadar az olan tatlı su kaynaklarının da %90’ının kutuplarda ve yeraltında hapsedilmiş olarak bulunması sebebiyle insanoğlunun kolaylıkla yararlanabileceği elverişli tatlı su miktarının ne kadar az olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 1-1) [2].

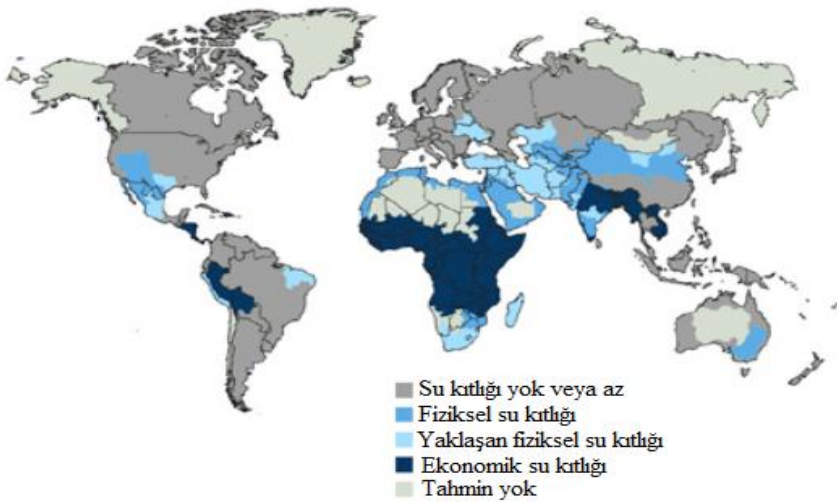
Su kıtlığının gelecekte dünyamızı daha fazla tehdit edeceği aşikârdır. Geçtiğimiz 50 yılda su kaynaklarının kullanımı üç kat artmıştır. Birçok bölgede yeraltı suyu kullanımı sürdürülebilir kullanımın çok üzerinde olup, ilave olarak küresel iklim değişiklikleriyle de su kaynakları azalmaya devam etmektedir.



Şekil 1-1 Dünyadaki su kaynaklarının dağılımı (Muluk vd., 2013)

Çalışmalar 2030 yılında gıda, su ve enerji ihtiyaçlarının yaklaşık %50 oranında artacağını göstermektedir. Şekil 1-2’de fiziksel ve ekonomik olarak su kıtlığı haritası sunulmuştur.

Günümüzde sera gazı emisyonunun azaltılması için gerekli önlemler alınsa dahi iklim değişikliği ve su kaynakları üzerindeki baskısı tam olarak engellenemeyecektir. Hükümetler Arası İklim



Şekil 1-2 Küresel olarak fiziksel ve ekonomik su kıtlığı haritası (Muluk vd., 2013)

Değişikliği Paneli raporuna göre; iklim değişikliğinin su kaynakları miktarına ve kalitesine oldukça önemli etkileri olacaktır [2]. Dolayısıyla, dünyadaki su dağılımında da iklim değişikliği ile birlikte değişimler hissedilecektir. Sanayi açısından bakılacak olursa; su kaynaklarının azalması ve su kirliliğinin artmasıyla birlikte enerji tüketimi de artacaktır. Artan su kirliliği ve su kullanımı ile birlikte sanayide, tarımda ve evsel kullanımda rekabet kaçınılmaz olacaktır. Su kullanımı beş ana başlık altında aşağıdaki gibi sıralanabilir [2]:

- 1) Gıda ve tarım (küresel olarak en çok su kullanan sektörler),
- 2) Enerji,
- 3) Sanayi,
- 4) Yerleşim alanları (evsel kullanım ve içme suyu amaçlı kullanımlar),
- 5) Ekosistem su ihtiyaçları.

Küresel hidrolik çevrim ile kullanılabilir yenilenebilir temiz su hacmi dünya nüfusunun ihtiyaç duyduğu su hacminden bir kaç daha fazladır. Fakat bu suyun sadece %31 kadarı jeografik ve mevsimsel değişiklikler nedeniyle insanlar tarafından kullanılabilir niteliktedir. Tüm dünyada kullanılan suyun yaklaşık %65'i sulama amacıyla kullanılmaktadır, yani ihtiyaç duyulan 3800 km³ suyun 2500 km³'ü sulama amacıyla kullanılmaktadır. Endüstri için duyulan ihtiyaç ise yaklaşık %20, içme ve kullanma suyu olarak kullanım ise %10 civarındadır [3].

Kuzey Afrika ve Orta Doğu, özellikle Mısır ve Birleşik Arap Emirlikleri en az temiz suya sahip ülkelerdir. Fakat İzlanda, Surinam, Guyana, Papua Yeni Gine, Gabon, Kanada ve Yeni Zelanda nüfus başına düşen su miktarı bazında en zengin ülkelerdir. Su geri kazanımı genellikle su sıkıntısı yaşayan veya gelecekte yaşama ihtimali bulunan ülkelerde öncelikli olarak uygulanmaktadır. Bununla birlikte, deniz suyunun temiz sulara

girişimini engellemek veya bazı hassas bölgelere su deşarjına engel olmak amacıyla da su geri kazanımı yapılabilmektedir [3].

Dünya nüfusu 1900 yılında 1,6 ile 1,8 milyar arasındayken, 20. yüzyılın sonunda dünya nüfusu 6,1 milyar insana yaklaşmış olup, %270 oranında bir artış söz konusudur. Cumhuriyet döneminde ülkemizde ilk nüfus sayımı 1927 yılında yapılmış olup, toplam nüfus yaklaşık 13 milyondur. Bugün ise ülkemizin nüfusu yaklaşık 80 milyon olup, 90 yıllık bir sürede nüfusumuz yaklaşık 6 kat artmıştır. Doğal olarak su ihtiyacımız da artmaktadır. Benzer bir tablo ülkemizde olduğu kadar diğer ülkelerde de gözlenmektedir. Örnek olarak ABD nüfusu 1900 ile 2000 yılları arasında, 76 milyon'dan 282 milyona çıkmış olup, % 240 gibi bir büyüme söz konusudur. Dolayısıyla suya olan talep de sürekli olarak artmaktadır [4]. Ayrıca, 2050 yılında dünya nüfusunun 7,9 ile 10,3 milyar arasında olacağı tahmin edilmektedir.

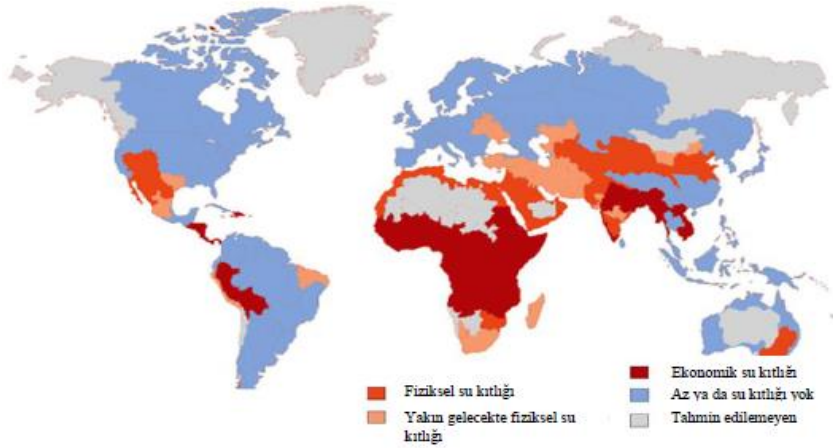
Kalkınmış ülkelerde büyüme %1'in altındayken, gelişmekte olan ülkelerde büyüme hızı %2'nin üzerinde ve bazı Afrika bölgelerinde, Asya ve Orta Doğu'da bu oran %3'ün üzerindedir. Sonuç olarak, gelecek nüfus artışının yaklaşık %90'ı gelişmekte olan ülkelerde olacaktır. Mevcut durumda sadece 6 ülke dünya nüfusunun yarısını oluşturmaktadır; Hindistan, Çin, Pakistan, Nijerya, Bangladeş ve Endonezya. 2001 yılında ABD'de nüfus 285 milyon olup, yıllık %1 civarında bir artış söz konusudur. 1950 yılında, 10 milyonun üzerindeki nüfusa sahip tek şehir New York idi. Bu şehirlerin sayısı 1975'de 5'e, 2001 yılında 17'ye [3] ve 2015 yılında ise 29'a çıkmıştır. 1954'den bu yana olduğu gibi 2015 yılı için de dünyanın en kalabalık şehri Tokyo olup, nüfusu 38 milyondur. Delhi ve Şangay ise sırasıyla 25,7 ve 23,7 milyon nüfusu barındırmaktadır. İstanbul ise 15 milyonluk nüfusuyla 15. sıradadır [5]. Ülkemizin nüfusu hızlı bir şekilde artmış olmakla birlikte metropollerde nüfus daha fazla artmaktadır. 1927 yılında İstanbul'un nüfusu yaklaşık 700.000 iken, şimdi 15 milyon kadar olup, yaklaşık 22 kat artış söz konusudur. Yukarıda da

bahsedildiği gibi 1927 yılından itibaren ülkemizin nüfusu 6 kat artmışken, İstanbul'un nüfusu 20 kattan fazla artmıştır. Bu durumun en önemli sonucu ise kaynakların orantılı kullanım sorunudur.

Nüfusun kırsal yerleşimlerden kentsel alanlara göçmesi, su kaynakları üzerindeki nüfus artışının baskısını daha da arttırmıştır. Bunun nedeni ise, su ihtiyacı ve su kaynaklarına olan yakınlığın dengeli olmamasıdır. Ayrıca, kırsal, tarımsal ve kentsel alanlarda su kullanım şekilleri de değişiklik göstermektedir. Ülkemizde toplam su kaynakları yeterli olsa dahi, nüfusun belirli bölgelere yoğunlaşması o bölgelerde su kıtlığı sorunlarını da beraberinde getirmekte olup, başka havzalardan su transferini zorunlu hale getirmektedir. Bu durum sadece ülkemizde yaşanan bir sorun değildir. Dünyada şehirlerde yaşayan insan sayısı 2000 yılında 2,9 milyar iken, bu rakamın 2030 yılında çok artacağı tahmin edilmektedir. Asya ve Afrika'nın dünyanın diğer kesimlerine göre şehir nüfuslarının çok artacağı ve Asya'nın tüm dünya nüfusunun %54'ünü içereceği beklenmektedir. ABD'de 1990 ile 2000 yılları arasında metropol şehirlerde nüfus büyüme hızı %1,14 iken, metropol olmayan diğer şehirlerde ise bu oran %0,88 olarak bulunmuştur. Yani nüfus kırsal kesimlerden büyük şehirlere doğru kaymaktadır.

Nüfus artmasıyla birlikte ekili arazi ihtiyacı ve sulama suyuna duyulan ihtiyaç da önemli oranda artmıştır. Suyu duyulan ihtiyaç artışının başında da sulama suyuna duyulan ihtiyaç artışı gelmektedir. Sulama sırasında suyun önemli bir kısmı da depolardan, kanallardan ve topraktan buharlaşma yoluyla kaybedilmektedir. Sulama sırasında kullanılmayan su, yeraltı suyunu beslemekte veya drenaj ve geri dönüş akımına karışmaktadır. Bu su çoğu zaman geri kazanılabilmektedir, fakat yüksek konsantrasyonlarda tuz, nütrient, pestisit ve diğer kimyasalları içermekte olup, uygun bir arıtma olmaksızın tekrar kullanımı genellikle mümkün değildir. Şehirler de ise, genellikle

tarımsal alanlar şehirlerin büyümesiyle birlikte oturma açılmış, konutlara ilave olarak endüstriyel bölgeler de kurulmuştur. Dolayısıyla, bu alalarda kullanılan kullanılmış sular kanalizasyon hatlarına bağlanmakta olup, ortalama kullanılan suların %90'ı kullanılmış suya dönüşmektedir. Küresel olarak birçok bölgedeki ve şehirdeki su kaynakları gelecek 10 yılda önemli bir baskı altına girmeye başlayacaktır. Bunun en önemli nedeni ise; artan nüfus ve su ile nüfusun eşit bir dağılım göstermemesidir [6]. Dünya nüfusunun yaklaşık %30'u arıtma ihtiyaçlarını karşılayamama nedeniyle temiz suya ulaşamamakta, dünya nüfusunun %60-70'i ise su kıtlığı veya su stresi olan bölgelerde yaşamaktadır. Su kıtlığının en önemli nedenleri ise; fiziksel olarak suyun olmayışı veya ekonomik olarak suya ulaşımın mümkün olmamasıdır (Şekil 1-3).



Şekil 1-3 Dünya'da farklı su kıtlığı tipleri [7]

Fiziksel su kıtlığı, mevcut su kaynakların ihtiyaçları karşılamada yetersiz oluşudur. Ekonomik su kıtlığı ise, mevcut olan suya ulaşım araçlarının olmayışı veya bunlara ekonomik olarak sahip olamamaktır. ABD, Orta Doğu, Kuzey Afrika, Avrupa'nın güney doğusunda yer alan ülkeler, Hindistan'ın güneyi, Pakistan, Mongolya, Afganistan, Kazakistan, Türkmenistan, Özbekistan,

Tacikistan ve Avustralya'nın batısı fiziksel olarak su sıkıntısı yaşayan bölgelerdir. Ekonomik su kıtlığı Orta ve Latin Amerika'da, Karayipler bölgesi, Güney ve Orta Afrika, Kuzey Hindistan, Çin'in bazı bölümleri ve diğer bazı Asya ülkelerinde yaşanmaktadır. Kanada gibi Kuzey Amerika ülkelerinde ve kuzey Avrupa ülkelerinden bazıları da dahil olmak üzere Güney Amerika ülkelerinin çoğunda su kıtlığı çok az veya hiç yoktur.

Su kıtlığının göstergesi olarak birçok indeks kullanılmaktadır. Su stresi veya kıtlığı durumlarını tanımlamak için kullanılan Falkenmark indeksi, kişi başına düşen kullanılabilir su miktarına göre ülke veya bölgeleri sınıflandırmaktadır. En önemli indekslerden biri olarak kabul edilen Falkenmark indeksi değerleri Tablo 1-1'de sunulmuştur.

Tablo 1-1 Su kıtlığı endeksleri (Water Stress Index, WSI) [2], [7]

Kategori	Ters WSI (kişi/akım)^a	Güncel WSI eşik değeri (m³/yıl)
Stres yok	<600	>1700
Su stresi	600-1000	1700-1000
Su kıtlığı	1000-2000	1000-500
Mutlak su kıtlığı	>2000	<500

^a Kolonda yer alan bir akım birimi 10⁶ m³'e eşittir. Güncel WSI'yı elde etmek için, bir akış birimi bu yıla rekabet eden kişi sayısına bölünmelidir.

Ülkemiz su kaynakları bakımında zengin olmadığı gibi mevcut kaynaklar ülke geneline homojen olarak da dağılmamıştır. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) raporlarına göre ülkemiz toplamda 234 milyar m³ kullanılabilir suya sahip olmasına rağmen, bu miktarın 112 milyar m³'lük kısmı ekonomik ve teknik nedenlerle kullanılabilir durumdadır. Dolayısıyla gerek su kaynaklarının temini ve gerekse kullanılmış suların uygun arıtmalarla yeniden kullanımına yönelik Ar-Ge çalışmalarının yapılarak hayata geçirilmesi son derece önemlidir [8].

Türkiye'deki kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 1.586 m³'tür ve bu miktar su zengini ülkelerdeki kişi başı rezervin yaklaşık beşte birine denk gelmektedir. Dolayısıyla, ülkemiz Falkenmark indeksine göre su azlığı çeken bir konumdadır. 2030 yılı için nüfus artışıyla birlikte mevcut kaynakların tahrip edilmeden aktarılacağı düşünülürse kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 1.120 m³/yıl olacağı tahmin edilmekte bu da, su fakiri bir ülke olacağımızı göstermektedir [8].

Tahminlere göre ülkemizdeki yıllık su tüketimi 2004 yılından 2030 yılına kadar 3 kat artacağı tahmin edilmektedir. Sulama ise Tablo 1-2'de görüldüğü gibi su tüketiminde en yüksek paya sahiptir.

Tablo 1-2 Türkiye'de farklı sektörler tarafından kullanılan su miktarı [8]

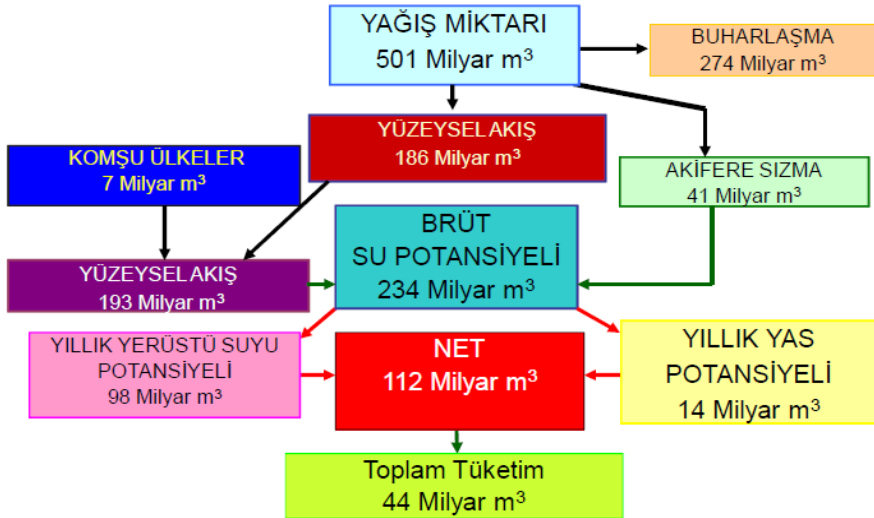
Yıl	Toplam su tüketimi		Sektörler					
			Sulama		İçme-kullanma		Sanayi	
	km ³	%	km ³	%	km ³	%	km ³	%
1990	31	28	22	72	5	17	3	11
2004	40	36	30	74	6	15	4	11
2030	112	100	72	64	18	16	22	20

Ülkemizde teknik ve ekonomik olarak kullanılabilir su miktarı 112 km³ olup, bunun 98 km³'ü yer üstü, 14 km³'ü ise yeraltı suyudur. Tablo 1-3'te ise ülkemizde ve diğer ülkelerde yağış miktarları ve farklı sektörlere göre dağılımı verilmektedir.

Sonuç olarak ülkemiz su sıkıntısı olan bir ülke sınıfında olup su yönetimine gereken önemin verilmesi ve kullanılmış suların uygun arıtma proseslerinden geçirilerek yeniden kullanımı için teknolojilerin geliştirilmesi gerekmektedir. Ülkemizin su kaynakları potansiyeli ayrıca Şekil 1-4'te sunulmuştur.

Tablo 1-3 Türkiye'de ve farklı ülkelerde yıllık yağış miktarları ve sektörel bazlı su kullanımı (km³) [8]

Ülke	Yıllık ortalama yağış miktarı	Sulama	İçme suyu	Endüstri	Veri tarihi
Türkiye	501	34	7	5	2008
Hindistan	3560	688	56	17	2007-2010
Güney Kore	127	16	7	3	2002
ABD	6887	192	65	221	2005-2008
Çin	6191	358	68	129	2005-2007



Şekil 1-4 Türkiye'nin su kaynakları potansiyeli [9]

Nüfus artışı, iklim değişikliği, kirlilik ve arazi kullanımındaki değişiklikler su miktarını ve kalitesini etkilediğinden tüm

dünyadaki su kaynakları üzerinde artan bir baskı vardır. Mevcut ve öngörülen su sıkıntısını gidermek için, birçok ülke su tasarrufunu arttırmak için çalışmaktadır ve alternatif su kaynakları aramaktadır. İçme, sulama veya endüstriyel kullanımlar gibi yararlı amaçlar için kullanılmış suların tekrar kullanılması su kaynaklarının korunması için tercih edilen bir seçenektir [4].

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre belediyeler, köyler, imalat sanayi işyerleri, termik santraller, organize sanayi bölgeleri (OSB) ve maden işletmeleri tarafından 2014 yılında toplam 14,7 milyar m³ su doğrudan su kaynaklarından çekilmiştir [10]. 2008 yılında ise çekilen su miktarı 11,6 milyar m³'dür. Su kaynaklarından çekilen suyun %55'i denizden, %13,8'i barajlardan, %14,1'i kuyulardan, %9,4'ü kaynaklardan, %5,4'ü akarsulardan, %2,1'i göl ve göletlerden ve %0,1'i ise diğer kaynaklardan çekilmiştir [10].

Su kullanımının artması ile birlikte oluşan kullanılmış su miktarı da artmaktadır. Belediyeler, köyler, imalat sanayi işyerleri, termik santraller, OSB ve maden işletmeleri tarafından 2014 yılında doğrudan alıcı ortamlara 12,7 milyar m³ kullanılmış su deşarj edilmiştir. 2008 yılında ise doğrudan alıcı ortamlara 8,7 milyar m³ kullanılmış su deşarj edilmiştir. Alıcı ortamlara deşarj edilen kullanılmış suların %77,7'si denize, %18,4'ü akarsuya, %3,9'u diğer alıcı ortamlara deşarj edilmiştir. Toplam kullanılmış suyun %50,4'ünü termik santraller, %32,4'ünü belediyeler, %13,5'ini imalat sanayi işyerleri, %1,7'sini OSB'ler, %1,1'ini maden işletmeleri ve %0,9'unu köyler deşarj etmiştir. Belediyeler, köyler, imalat sanayi işyerleri, termik santraller, OSB ve maden işletmeleri tarafından 2014 yılında deşarj edilen kullanılmış suyun %62'sini soğutma suları, %38'ini ise soğutma suları dışındaki kullanılmış sular oluşturmuştur [10]. Kentsel kullanılmış su arıtma tesislerinden geri kazanılabilecek kullanılmış su potansiyeli, 2010 yılı itibarı ile $\approx 3,94 \times 10^9$ m³/yıl

mertebesinde olduğu hesaplanmıştır. Bu miktar suyun 2/3'ünün teknik ve ekonomik olarak yeniden kullanımının m¼mk¼n olduğu kabul¼yle pratikte geri kazanılabilecek arıtılmış kullanılmış su miktarı $\sim 2,63 \times 10^9$ m³/yıl'dır [11]. Doğal su kaynaklarına g¼venilir bir alternatif olarak kullanılmış suyun yeniden kullanımı ve kullanılmış su y¼netiminin 'bertaraf etme/deşarj' yerine "geri kazanım ve yeniden kullanım" odaklı olması g¼n¼m¼zde kabul g¼ren bir yaklaşımdır [12].

Su geri kazanımında enerji etkinliği ve s¼rd¼r¼lebilirliđi de ¼nemlidir. S¼rd¼r¼lebilir bir yeniden kullanım uygulaması ancak s¼rd¼r¼lebilir bir enerji y¼netimiyle m¼mk¼nd¼r. Aslında "s¼rd¼r¼lebilirlik" terimi Brontland Komisyonu tarafından 1987 yılında hazırlanan bir rapordan gelmekte olup; "S¼rd¼r¼lebilir gelişme; bug¼n¼n ihtiyaçlarını gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılamalarını engellemeyecek şekilde karşılamaktır" şeklinde tanımlamaktadır. Bu kapsamda; s¼rd¼r¼lebilir su y¼netimi de; şimdiki ve gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılamayı amaçlayan su kaynakları y¼netimi şeklinde tanımlanabilir. Suyun yeniden kullanımı s¼rd¼r¼lebilir su y¼netiminin ayrılmaz bir parçasıdır ç¼nk¼ suyun yeniden kullanımıyla şimdiki ihtiyaç karşılanırken, doğadaki su gelecek kuşakların kullanımı i¼in korunmuş olur. Su ve enerji birbiriyle bağlantılı olup birinin s¼rd¼r¼lebilir y¼netimi diğer i¼in de ge¼erlidir. Kullanılmış su geri kazanımıyla; i¼me suyuna duyulan ihtiyacın azaltılması ve i¼me suyunun taşınması kısmen azaltılmasıyla enerji kullanımı azaltılacaktır.

Kullanılmış suların yeniden kullanılması durumunda genel olarak yerinde veya yakın mesafe i¼erisinde kullanımlar tercih edilmektedir. B¼ylece i¼me sularının ihtiyaç duyulan b¼lgelere nakli de azaltılacaktır. Dolayısıyla, etkili bir su y¼netimi aynı zamanda etkili bir enerji y¼netimi anlamına gelecektir. ¼rnek olarak i¼me suyu taşınması, depolanması, arıtımı ve kullanılmış su toplanması, arıtımı ve deşarjı dahil su ile ilişkili enerji

kullanımı Kaliforniya elektriğinin yaklaşık %20'sini tüketmektedir. Kullanılmış suların yeniden kullanımı için ilave arıtım gerekmeyle birlikte, içme suyunun arıtımı ve taşınması için genellikle daha fazla enerji kullanılmaktadır. Bu yolla Kaliforniya'da tahmin edilen net enerji kazanımı 0,7-1,0 GWh/yıl veya 3000-5000 kWh/Mgal (0,8-1,35 kWh/m³) olacaktır. Dolayısıyla, kullanılmış su geri kazanımıyla etkili bir su yönetimi başarılacağı gibi sürdürülebilir enerji yönetimine de katkıda bulunulmuş olunacaktır [1].

Su geri kazanımının diğer bir hedefi ise hassas bölgelerin korunması ve/veya pahalı nütrient arıtımı yapmayıp enerji kullanımını azaltmaktır. Florida ve Kaliforniya'da kıyı sularına artan nütrient deşarjının olumsuz etkileriyle ilgili çevresel hassasiyetler neticesinde okyanusa yapılan kullanılmış su deşarjları önemli oranda azalmıştır. Böylece kıyılara kullanılmış su deşarjlarının azaltılması veya yılın bazı zamanlarında deşarjın yapılmayarak suyun geri kazanımı pahalı nütrient arıtım ihtiyacını azaltacaktır. Ayrıca, belirli hassas alanlara verilebilecek kirletici yüklerine sınırlamalar getirilmekte olup, ülkemizde de benzer uygulamalara geçilme yönünde çalışmalar devam etmektedir. Su geri kazanımının yapılmasıyla birlikte deşarj için izin verilen yük aynı kalırken, işlenebilecek su kapasitesi arttırılabilecektir. Örnek olarak, St. Petersburg, Florida'da pahalı nütrient arıtımından kaçınmak için arıtılmış sular konutlar, belediye, ticarethane ve endüstriyel ihtiyaçlar için kullanmıştır. Bu durum; özellikle Wilson-Grizzle Yasasının 1972'de yürürlüğe girmesiyle birlikte Tampa Körfezi'ne nütrient deşarjının sınırlandırılmasının bir sonucudur. Bu kapsamda diğer bir örnek ise; King Şehri, Washington olup, uygulanan geri kazanımla nütrientlerin Puget Sound'a deşarjı azaltılmaktadır [13].

ABD'de Ulusal Kirletici Deşarj Eliminasyon Sistemi (NPDES) programları altında, su geri kazanımı; toprak arıtım sistemlerinin veya sıfır-deşarj sistem konseptlerinin bir sonucu olarak ortaya

çıkılmaktadır. Birçok yerde kullanılmış su geri kazanımıyla hassas ekosistemlere deşarj azaltılabilmektedir; örnek olarak Sierra Vista, Arizona; San Antonio, Texas ve Sidney, Avustralya'daki uygulamalar verilebilir [1]. Dolayısıyla, ülkemizde de sürdürülebilir su ve enerji yönetimleri için kullanılmış suların ihtiyaca göre arıtılarak yeniden kullanılması amacıyla uygun politikaların, teknolojilerin ve yönetim sistemlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından geliştirilerek işletmeye açılmış olan brüt 3 milyon hektar sulama alanının yaklaşık %83'ü yer üstü su kaynaklarıyla, %17'si yeraltı su kaynaklarıyla sulanmaktadır. Türkiye'de 1053 Sayılı Kanun'un 10'uncu maddesinin birinci fıkrasının değışmesiyle, nüfus kriteri ortadan kalkarak belediye teşkilatı olan 3225 yerleşim yerine içme, kullanma ve sanayi suyu sağlanması konusunda Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü yetkilendirilmiştir. 1053 Sayılı Kanun çerçevesinde DSİ tarafından tamamlanan tesislerden, 2007 yılı sonu itibarıyla içme suyu standartlarına uygun kalitede, yaklaşık yılda toplam 2,67 milyar m³ içme, kullanma ve sanayi suyu sağlanmıştır. Ülkenin içme, kullanma ve sanayi suyu ihtiyacının üçte biri DSİ tarafından yapılan içme suyu tesislerinden karşılanmaktadır. 2007 yılı sonu itibarıyla DSİ'nin gerçekleştirdiğı projeler ile 25 milyon nüfusun su ihtiyacı karşılanmıştır. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü; barajlar, nehirler ve su kaynakları şeklindeki yer üstü sularından içme-kullanma ve sanayi suyu temin faaliyetlerini yürütürken, yeraltı suyu kaynaklarında da bu çalışmaları yapmaktadır. 2007 yılı sonuna kadar içme-kullanma ve sanayi suyu ihtiyaçları için 5,371 km³ yeraltı suyu tahsis edilmiştir. Bugünkü ihtiyaç ve su kaynakları potansiyeli ise aşağıdaki Tablo 1-4'te özetlenmiştir [14].

Türkiye'nin yüzölçümü 78 milyon hektar (783.577 km²) olup, tarım arazileri bu alanın üçte biri kadar yani 28 milyon hektar

civarındadır. Fakat etütlere göre ekonomik olarak sulanabilecek 8,5 milyon hektar olup, 2011 yılı sonu itibariyle 5,61 milyon hektarı sulamaya açılmıştır. Bu alanın 3,32 milyon hektarı DSİ tarafından inşa edilen modern sulama sistemine sahiptir. 1,3 milyon hektarı ise mülga Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü ve İl Özel İdareleri tarafından işletmeye açılmıştır.

İlave olarak 1 milyon hektar alanda da halk sulaması yapılmaktadır. 2023 yılında ekonomi olarak sulanabilir 8,5 milyon hektar arazinin bugün itibariyle sulanmayan 2,89 milyon hektarlık kısmının da DSİ tarafından hizmete açılması hedeflenmektedir [15]. Dolayısıyla, artan nüfus ile birlikte daha çok arazinin tarıma açılması, sulama sistemlerinin geliştirilmesi, su kaynaklarının bulunması ve kaynağın sulanacak araziye taşınması gerekecektir. Bu durum daha çok suya ihtiyaç duyacağımız anlamına gelmektedir. Sulama amacıyla DSİ tarafından kullanılan su kaynakları Tablo 1-4'te verilmiştir. Tablo 1-4'ten de görüldüğü gibi sulama suyu ihtiyacının %80'ni yüzeysel, %20'si de yeraltı su kaynaklarından karşılanmaktadır.

Tablo 1-4 DSİ tarafından sulamada kullanılan su kaynakları [15]

%80	Yerüstü su kaynaklarından
%14	Pompaj
%66	Cazibe
%20	Yeraltı su kaynaklarından
%3	Cazibeyi takviye
%17	YAS sulama kooperatifi

Sulama işletmelerinin performansı oldukça önemli olup, bu kadar yoğun suyun kullanıldığı bir sektörde performansın düşük olması önemli derecede kayıplara sebep olmaktadır. DSİ sulamalarında uzun yılların ortalamasına bakıldığında sulama oranının %65, sulama randımanının ise %45 olduğu gözlenmiştir. Yani sulama suyuna duyulan ihtiyacın 2 katından fazla su kullanılmaktadır. Bu noktayı biraz daha açarsak; 2005 yılı rakamlarına göre DSİ

1.16

tarafından işletilen ve devredilen sulamalarda net sulama suyu ihtiyacı 4589 m³/ha iken verilen su 10553 m³/ha'dır. Dolayısıyla toplam sulanan alanımızı yaklaşık 6 milyon ha alırsak ve bu alanın %65'nin sulandığını, sulamada ise 10.000 m³/ha/yıl su kullanıldığını kabul edersek, ihtiyaç duyulacak su yaklaşık 40 milyar m³/yıl veya 40 km³ olacaktır. Aslında bitkilerin teorik olarak ihtiyaç duydukları su toplamda (4589 m³/ha değeri alınır) sadece 18 milyar m³/yıl olup, 22 milyar m³/yıl su verimsiz sulama nedeniyle kaybedilmektedir. Ülkemizde yıllık içme ve kullanma suyu ihtiyacımızın yaklaşık 7 milyar m³ olduğu düşünülürse sulamadaki verimsizliğin önemi daha da belirginleşecektir. Dolayısıyla sürdürülebilir tarım için sulama sistemlerinin modernleştirilerek kayıpların azaltılması, tarım alanlarından dönen suların tekrar kullanımı, kullanılmış suların ve barındırdığı nütrientlerin geri kullanımı gerekmektedir.

Ülkemizde ihtiyaç duyulacak içme ve kullanma suyu miktarının 2030 yılında yaklaşık 18 km³ olacağı tahmin edilmektedir [8]. Oluşan kullanılmış sular alıcı ortama ya direkt ya da kısmen arıtıldıktan sonra deşarj edilmektedir. Ülkemizde çoğu durumda kıyı alanlarında alıcı ortam genellikle deniz; iç alanlarda ise alıcı ortam göl ve nehirlerdir. Ancak çoğu durumda nehirler üstüne barajlar kurulduğundan alıcı ortam baraj gölü olmaktadır. Uzun yıllar arıtılmadan alıcı ortamlara verilen kullanılmış sular ve günümüzde ise kısmen yetersiz arıtılan kullanılmış sulardan dolayı alıcı ortamların kirlendiği bilinmektedir. İç sularımızdan olan Van, Beyşehir, Eğridir, Bafa, Gölarmara gölleriyle, Sakarya, Nilüfer, Ergene, Gediz, Büyük Menderes, Küçük Menderes, Kızılırmak, Yeşilirmak gibi nehirlerimiz ve üzerindeki barajlar kabul edilebilir kirlilik sınırlarını çoktan aşmış (III. ve IV. derecede kirlenmiş) durumdadır [16]. Ülkemizin su kaynakları her geçen gün kirlenmekte ve kişi başına düşen su miktarı; nüfus artışı ile birlikte yıldan yıla hızla artmaktadır.

Türkiye su zengini bir ülke değildir. Kişi başına düşen yıllık su miktarına göre ülkemiz su azlığı yaşayan bir ülke konumundadır. Kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 1652 m³ civarındadır. Türkiye İstatistik Enstitüsü (TUİK) 2030 yılı için nüfusumuzun 100 milyon olacağını öngörmüştür. Bu durumda 2030 yılı için kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 1120 m³/yıl civarında olacağı söylenebilir [15]. Mevcut büyüme hızı, su tüketim alışkanlıklarının değişmesi gibi faktörlerin etkisi ile su kaynakları üzerine olabilecek baskıları tahmin etmek mümkündür. Ayrıca bütün bu tahminler mevcut kaynakların hiç tahrip edilmeden aktarılması durumunda söz konusu olabilecektir. Dolayısıyla Türkiye'nin gelecek nesillere sağlıklı ve yeterli su bırakabilmesi için kaynakların çok iyi korunup, akılcı kullanılması gerekmektedir.

1.2. Su kıtlığının nedenleri ve ilgili diğer hususlar

Su kıtlığının ana nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Kuraklık,
- Aşırı kullanma,
- Antropojenik kirlenme,
- Fiziksel mesafe,
- Politik ve sosyal stres.

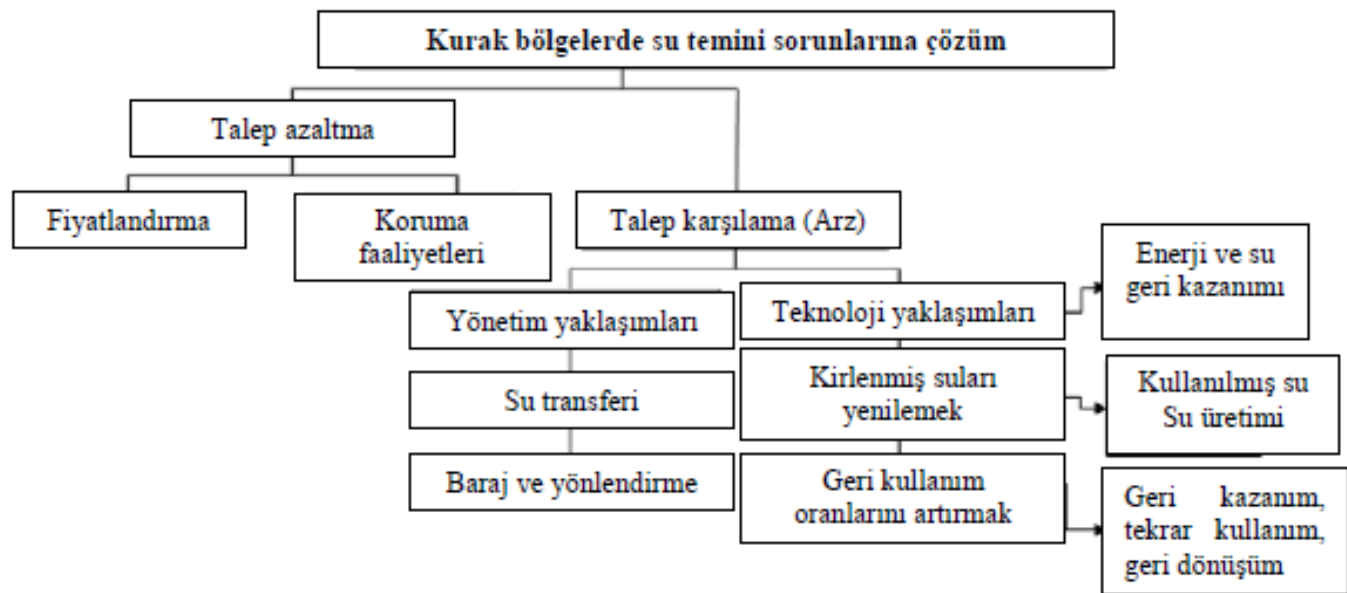
Sürdürülebilir su yönetimi ve alternatif kaynakların üretilmesi için ilk adım, su kıtlığının nedenlerinin tam olarak anlaşılmasıdır.

Nüfusun sürekli artmasına ve kentleşmenin artmasına paralel olarak yüzeysel suların su ihtiyacını karşılayamama nedeniyle yeraltı sularının kullanımı artmıştır. Bu kaynaklar sonsuz olmadığından tükenilmektedir. Bazı bölgeler su kaynakları bakımından oldukça zengin olmalarına rağmen, tüketim oranları

oldukça yüksektir. Bunun nedeni ise, Mississippi örneğinde olduğu gibi, sulama amacıyla su çekiminin fazla olmasıdır.

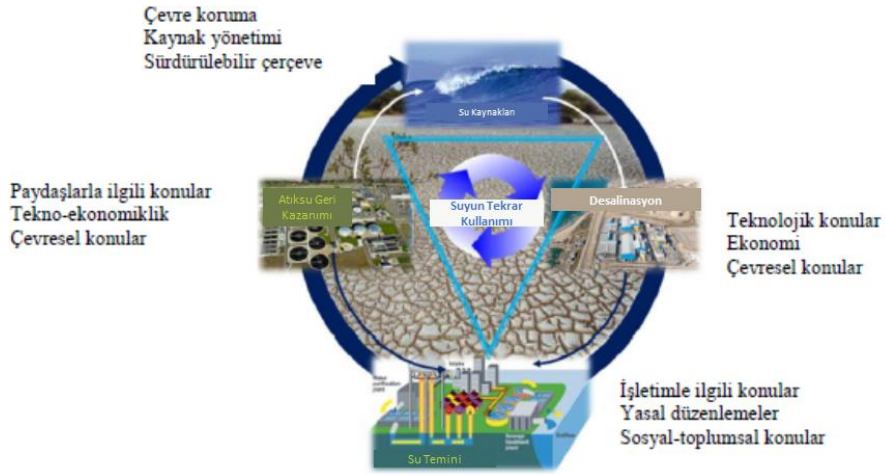
Yeraltı suları kaynaklarının miktarı azaldıkça, kaynakların kalitesi giderek değişmeye ve birçok kullanım için kaynağın uygun olmama durumu söz konusu olmaktadır. Antropojenik kaynaklarla kirlenmeye ilave olarak yeraltı sularının doğal olarak kirlenmeleri de mümkündür. Örnek olarak, uranyum, florür ve arsenik kirlenmeye neden olabilir. Bazı yeraltı sularında çözünmüş madde konsantrasyonları oldukça yüksek olup acı su olarak kategorize edilmektedir. Klasik su arıtma sistemleri çözünmüş madde gideriminde etkili değildir. Örnek olarak ABD'de yeraltı sularının %60-70'i oldukça tuzludur. New Meksiko'da ise yeraltı sularının %75 kadarı aşırı tuzlu (10.000-35.000 mg/L) olup birçok kullanım için uygun değildir. Kalan %25'lik kısmın ise çözünmüş madde içeriği 2000 mg/L'nin altında olup birçok arıtma ve su temini sorunu ortaya çıkabilmektedir [7].

Kurak alanlarda su sorunun çözümü için bütüncül bir yaklaşım gerekmekte olup birçok alternatif su kaynağının iyi yönetimle birleşmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, bu çok yönlü bir problem olup katılımcıların, devlet yetkililerinin, endüstriyel partnerlerin, araştırmacıların ve karar vericilerin katılımını gerektiren bir süreçtir. Şekil 1-5 sorunun bütünsel bir yönetim içerisinde çözümü için göz önünde bulundurulması gereken yaklaşımları özetlemekte olup sorunun çözümü için iyi bir yönetim ve teknolojik çözümün bir arada olması gerekmektedir.



Şekil 1-5 Kurak alanlarda su kıtlığına bütünsel yaklaşım için çözümler [7]

Kuraklıktan etkilenen birçok ülke acı su veya deniz suyuna erişimi olmakla birlikte, bu suların uygun bir şekilde desalinasyonu gerekmektedir. Bununla birlikte, su geri kazanımı ve tekrar kullanım gibi yaklaşımlar su kıtlığı sorununu çözmeye yardımcı olmakla birlikte genellikle uygun arıtma teknolojilerini uygulamak her zaman kolay değildir. Gerekli arıtma teknolojileri uygulanabilir olsa dahi; aşılması gereken mühendislik, işletme, yasal ve sosyal zorluklar da bulunmaktadır (Şekil 1-6).



Şekil 1-6 Sürdürülebilir su eldesi için desalinasyon ve su geri kazanımı-fırsatlar ve zorluklar [7]

1.3. Su geri kazanımının gerekçeleri, faydaları ve önemi

Geri kazanım uygulamaları için gerekçeler:

Yukarıdaki tartışmalar ışığında geri kullanım uygulamaları için gerekçeler aşağıdaki gibi sıralanabilir [6]:

- Tatlı su kaynakları global olarak sınırlı olup artan talebe karşılık tatlı su kaynaklarını yenilemek ve hacimsel olarak

artırmak teknik olarak zordur. Ayrıca, toplumların suyu sadece bir defa kullanılması lüksü artık kalmamıştır.

- Geri kullanım çok farklı ülkelerde ve farklı geri kullanım alanlarında yıllardır uygulanmaktadır ve yeterli tecrübe birikimi sağlanmaktadır.
- Arıtılmış kullanılmış suların kalitesi birçok geri kullanım alanları için çok uygundur, örneğin, zirai sulama, endüstriyel soğutma suyu, kazan/tank yıkamaları, vd.
- Gelişen yeni ileri arıtma teknolojileriyle artık doğrudan ve/veya dolaylı içme suyu amaçlı yeniden kullanımlar bile uygulanmaya başlamıştır.
- Su kaynaklarının sürdürülebilirliği için suyun verimli kullanılması gerekmektedir.
- Arıtılmış kullanılmış suların geri kullanımı enerji verimliliği açısından da faydalıdır. Arıtılmış kullanılmış sular alıcı ortama deşarj edildiğinde sadece kullanılmış suların içindeki bileşenler kaybedilmemekte veya alıcı ortamlar kirletilmemekte aynı zamanda kullanılmış suyun belli bir su kalitesine getirilmesine kadar harcanan enerji de bir nevi kaybedilmektedir (içme suyu temini ve iletimi, içme suyu arıtma ve dağıtım, su kayıpları, kullanılmış su toplama ve pompajlar, kullanılmış su arıtma, deşarj). Geri kullanım projelerini salt su miktarı ve kalitesi olarak değil harcanan toplam enerji, enerji verimliliği, karbon ayak izi ve eko-verimlilik açısından da değerlendirmek gerekir.
- Arıtılmış kullanılmış suların geri kullanımı ile alıcı ortama (özellikle yüzeysel tatlı veya tuzlu sular) deşarjlar azaltılmaktadır. Böylece, alıcı ortama verilen kirlilik yükleri de azaltılmakta ve alıcı ortam su kalitesi korunabilmektedir. Alıcı ortam su kalitesinin korunmasıyla da bu ortamlardan olası içme suyu veya kullanma suyu teminleri kolaylaşmakta ve daha az seviyede arıtma gerekmektedir. Alıcı ortamlarda olası ötrofikasyon vb. çevresel sorunlar engellenebilmektedir.

Alıcı ortamların su kalitesinin bozulmasıyla turizm, tarım, sanayi vb. faaliyetler de olumsuz etkilenmektedir.

Geri kazanım uygulamalarının faydaları:

Kullanılmış suların yeniden kullanılmasının birçok faydası olmakla birlikte en önemlileri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Tatlı ve tuzlu su kaynaklarının nitelik ve nicelik olarak korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması.
- Arıtılmış kullanılmış suların deşarjlarının azaltılmasıyla çevresel ortamlarda etkin nütriye yönetimi sağlanması.
- Arıtılmış kullanılmış suların deşarjlarının azaltılmasıyla hassas sucul ortamlara ve organizmalara olan olası etkilerin azaltılması.
- İçme ve kullanma suları için kaynaktan ham su temini, iletimi, arıtımı ve dağıtımının ön yatırım ve işletme maliyetleri bulunmaktadır. Arıtılmış kullanılmış suların geri kullanımıyla bu maliyetler azaltılmaktadır. Ayrıca, küresel olarak ham su kaynaklarındaki nitelik ve nicelik daralmaları neticesinde içme ve kullanma suları için alternatif su kaynakları bulunması zorunluluğu hasıl olmaktadır. Kullanılmış suların geri kullanılmasıyla alternatif su kaynakları ve arıtımı için ek ön yatırım ve işletme maliyetleri de ortadan kalkmış olmaktadır.
- Su ihtiyacının, kesintisiz su talebinin ve su fiyatının en yüksek olduğu yerler genellikle büyük yerleşim birimleri ve büyük şehirlerdir. Arıtılmış kullanılmış sular da genellikle yüksek debilerde büyük şehirlerde bulunmaktadır (kullanılmış su arıtma tesisinde). Dolayısıyla, bu iki husus birbirini tamamlamaktadır.
- Zirai sulamada kullanılabilecek arıtılmış kullanılmış sulardaki kalıntı nütrientler bir avantaj olup, zirai faaliyetlerdeki sentetik gübre kullanımını azaltmaktadır. Sentetik gübre üretiminde; gübre hammaddelerinin madencilik ile doğadan temininin, zenginleştirilmesinin,

gübre üretimi sırasında endüstriyel faaliyetlerin olumsuz çevresel etkileri olabilmektedir. Sentetik gübre üretiminin karbon ayak izi, eko-verimliliği temiz üretim konsepti bağlamında tartışma konusudur. Kullanılmış sulardaki nütrientler hem sentetik gübre üretimini hem de tüketimini azaltabilir. Böylece, azot ve fosfor içerikli doğal cevherler korunmuş olur.

- Arıtılmış kullanılmış suların geri kullanımı ile alıcı ortama deşarjlar ve dolayısıyla kirlilik yükleri azaltılmaktadır. Alıcı ortamların su kalitesinin bozulmamasıyla turizm, balıkçılık, tarım, kentsel yerleşim, sanayi vb. faaliyetler de olumsuz etkilenmemektedir.

Su ıslahı ve yeniden kullanımı için birçok parametrenin birlikte değerlendirilmesi gerekmekte olup bunlardan bazıları [6];

- Halk sağlığının değerlendirilmesini,
- Altyapı ve tesis planlaması,
- Kullanılmış su arıtma tesisi yerleşimi,
- Arıtma süreci güvenilirliği,
- Ekonomik ve finansal analizler,
- Su kaynaklarının ve geri dönüştürülmüş suyun etkin bir şekilde entegrasyonunu içeren su hizmetleri yönetimi.

Su geri kazanımının uygun olup olmadığı; kullanımın finansal boyutuna, halk sağlığını koruma yaklaşımlarına, su deşarj yönetmeliklerine ve başka kaynaklar aramak yerine korumacı bir yaklaşıma sahip kamu politikasına bağlıdır. Evsel kullanılmış suların uygun şekilde arıtılmalarıyla birlikte geri kullanılabilceği alanlar Tablo 1-5'da sunulmuş olup, ileri de bütün kullanım alanları irdelenecektir. Uygulamalar genellikle içme suyu kaynağı dışındaki seçenekler üzerine yoğunlaşmakla birlikte, günümüzde yeraltı sularının beslenmesi ve içme suları rezervuarlarının beslenmesi gibi dolaylı içme suyu kullanımları da mevcuttur.

Tablo 1-5 Su geri kazanım kategorileri ve uygulamalar [6]

Kategori	Uygulamalar
Tarımsal sulama	Ekin sulama Ticari fidanlıklar
Peyzaj sulama	Parklar Okul bahçeleri Otoyol refüjleri Golf sahaları Mezarlıklar Yeşik kemerler Müstakil evlerde
Endüstriyel geri dönüşüm ve tekrar kullanım	Soğutma suyu Buhar kazanı besleme suyu Proses suyu Beton üretiminde ve inşaatlarda beton hazırlamada kullanım
Yeraltı suyu beslemesi	Yeraltısuyu beslemesi Tuzlu su girişimi kontrolü Göçüklerin engellenmesi/kontrolü
Rekreasyon/çevresel kullanımlar	Göl veya göletler Bataklıklar Akış rejiminin geliştirilmesi Balıkçılık Kar yapımı
İçme suyu amacı dışında kentsel kullanımlar	Yangın kontrolü İklimlendirme Tuvalet yıkama (sifon, pisuar vb.)
İçme suyu amaçlı geri kullanım	Yüzeysel su kaynaklarına beslenmesi

Kategori	Uygulamalar
	Yeraltısularına beslenmesi
	Direkt olarak şebekeye beslenmesi

Geri kullanım uygulamaları için destekleyici/sürücü etmenler [6] ise:

- Kullanım noktasına yakınlık: Yukarıda bahsedildiği üzere, arıtılmış kullanılmış sular genellikle yüksek debilerde büyük şehirlerin kullanılmış su arıtma tesislerinde bulunmaktadır. Kentsel geri kullanımda iletim açısından bu durum avantajdır.
- Su miktarı açısından güvenilirlik: kentsel kullanılmış su debileri nispeten az değişken olduğundan özellikle kuraklık dönemlerinde kullanılmış sular güvenilir bir su kaynağıdır.
- Geri kullanım alanlarındaki çeşitlilik: Konvansiyonel ve birçok farklı ileri arıtma prosesleri mevcut olduğundan su kalitesi ihtiyacına göre istenilen su kalitesinde arıtılmış kullanılmış su üretilmesi artık rutin hale gelmiştir. Bu arıtma teknolojileri uygulama ve geri kullanım esnekliği sağlamaktadır. İçme suyu kalitesine kadar rahatlıkla ulaşılabilir.
- Güvenlik: ABD’de ve diğer gelişmiş ülkelerde içme suyu dışındaki diğer geri kullanım türleri 40 yıldan fazla bir süredir uygulanmaktadır ve bu uygulamalarda tespit edilen ve raporlanan olumsuz halk sağlığı etkileri olmamıştır.
- Mevcut su kaynaklarına artan ve rekabetçi talepler: Nüfus artışı, sanayileşme ve artan zirai sulama suyu talepleriyle birlikte mevcut su kaynaklarına olan baskı ve talepler artmaktadır.

- Mali ve bürokratik sorumluluklar: Kullanılmış suların geri kullanımı konusunda su ve kullanılmış su idareleri ve yöneticileri artık tekno-ekonomik ve çevresel faydaları fark etmiş durumdadır. Geçmiş yıllarda gözlenen geri kullanım dirençleri hafiflemeye başlamıştır.
- Halkın ilgisi ve kabullenmesi: Tatlı su kaynaklarının aşırı kullanımı ve tükenmesi hususlarında artık toplumlar bilinçlenmeye başlamıştır. Özellikle gelişmiş ülkelerin toplumları kullanılmış suların geri kullanımı konusunda hevesli hale gelmeye başlamıştır.
- Geleneksel su kaynakları planlaması: Geleneksel su kaynakları ve depolama yapılarının (barajlar, göletler, vd.) çevresel ve ekonomik etkileri ve yükleri artık daha fazla dikkat çekmeye başlamıştır. Bu yapılar için harcanan yüksek bütçeler kullanılmış suların geri kullanımıyla azaltılabilir.
- Başarılı ve ispatlanmış geri kullanım referans uygulamaları: Birçok farklı ülkede farklı ve başarılı geri kullanım uygulamaları hızlı bir şekilde artmaktadır. Referans projelerin artması potansiyel projelerin uygulamaya geçmesini tetiklemektedir.
- Su maliyetlerinin daha hassas olarak belirlenmesi: Küresel olarak su fiyatı tarifelendirmelerinde metodolojik değişiklikler olmaktadır. Örneğin, 'tam maliyet fiyatlandırması. Bu fiyatlandırmalar suyun temininden tüketiciye iletimine kadar tüm maliyetleri yansıtmaktadır. Dolayısıyla, su birim fiyatları artmaktadır. Bu artışlar kullanılmış suların geri kullanımı daha cazip hale getirmektedir.
- Sıkılaştıran su kalite standartları: Kullanılmış su arıtma tesislerinin alıcı ortamlara deşarjında su kalite standartları ve ilgili parametreler daha da çeşitlenmekte ve sıkılaşmaktadır. Arıtma tesisleri standartları sağlayabilmek için revize edilmekte ve ilave yatırımlar

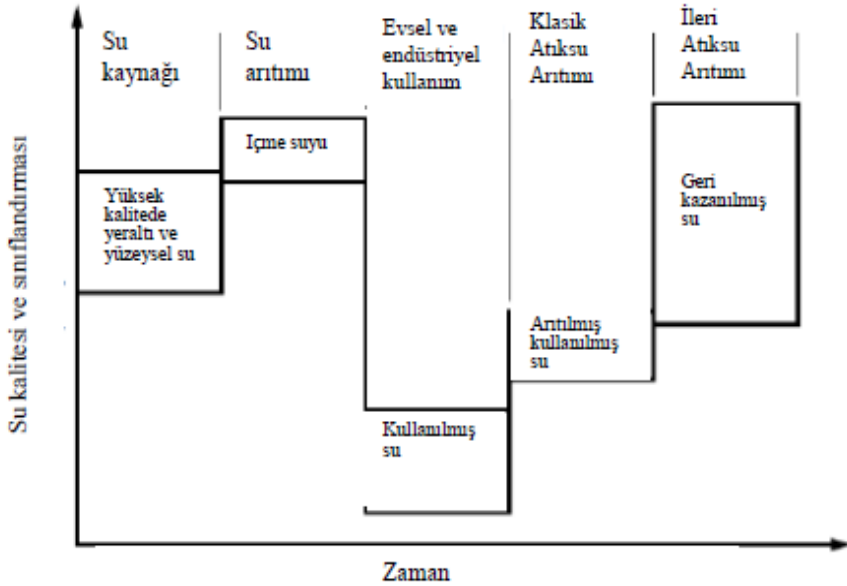
yapılmaktadır. Kısaca, alıcı ortama deşarjların mali yükü geri kullanımın mali yükü ile örtüşmeye başlamaktadır.

- Fırsatlar ve gereklilikler: Kuraklık, su kesintileri, suyun yeterli olmamasından dolayı endüstrilerin sekteye uğrayabilmesi, deniz suyu girişimleri, deşarj standartlarının sıkılaşması gibi hususlar geri kullanımı motive etmektedir. Ayrıca, ekonomik, politik ve teknik şartlar da geri kullanım uygulamalarını destekleyebilmektedir. Bu hususlar proje bazlı olarak değişebilmektedir.

Kullanılmış suların geri kullanılması için sürücü kuvvet her bir durum için değişiklik göstermekle birlikte, genel hedef hidrolik çevrimi mümkün olan en küçük lokal ölçekte kapamaktır. Dolayısıyla artık kullanılmış su hemen yanı başımızdaki bir kaynak olup, arıtılıp deşarj edilmesi gereken bir unsur olmaktan çıkmaktadır. Birçok durumda kullanılmış suların arıtılarak tekrar kullanılmasının nedeni; başka kaynakların fiziksel, politik ya da ekonomik nedenler mevcut olamaması veya bunlara ulaşılamaması ve su kullanımının azaltılmasının mümkün olamamasıdır. Su kaynaklarında sürdürülebilirlik; kullanılmış suların geri kazanılması seçeneğinin dikkate alınmasıyla birlikte önemli bir değişim yaşayacaktır. Aslında, kullanılmış suların arıtılarak geri kazanılması birçok açıdan zorluk içermektedir. Çünkü kullanılmaya çalışılan su kalite olarak en düşük seviyededir. Ayrıca, halk sağlığı endişeleri nedeniyle ve halkın da kullanılmış su geri kazanımı alternatifine bakışının olumlu olması için genellikle kullanılmış sular ihtiyaç duyulandan çok daha fazla arıtılmaktadır. Kullanılmış suların geri kazanımında ileri arıtımın gerekmesi ve ayrı bir su dağıtım hattının bazı durumlarda gerekmesi, su geri kazanımını pahalı yapmaktadır.

Gerek kullanılmış suyun kalitesine ve gerekse kullanılacak alana bağlı olarak su geri kazanımında seçilecek arıtım teknolojileri değişmektedir. Ayrıca, teknoloji seçiminde yasalar, uygulamalar

ve ekonomik durum da çok etkilidir. Farklı kullanılmış su kaynaklarının kalite ve arıtım kavramlarının zaman ile değişimi Şekil 1-7’de sunulmuştur.



Şekil 1-7 Su kullanımı süresince kalitesindeki değişim ve su arıtım ve geri kazanım kavramı [6]

İçme suyu eldesi için su arıtma prosesleri yüzeysel, yeraltı ve deniz sularına uygulanabilir. Fakat kullanılmış su arıtımı için kullanılan yöntemler çok farklı olup iyi bir arıtımın uygulanması neticesinde arıtılmış kullanılmış su kalitesi kirlenmemiş doğal su kalitesine ulaşabilmektedir. Böylece iyi bir şekilde arıtılarak kalitesi yükselen kullanılmış su; ekonomik değeri olan bir su kaynağına dönüşecektir. İlave olarak çok daha ileri teknolojiler, karbon adsorpsiyonu, ileri oksidasyon ve membran teknolojileri, uygulanarak, arıtılmış kullanılmış suların kalitesi içme suyu kriterlerine ulaşabilir veya geçebilir. Dolaylı içme suyu eldesinde kullanılabilecek bu su San Diego, Kaliforniya ve Singapur NeWater örneklerinde tekrar temizlenmiş (repurified) su olarak adlandırılır [6]. Dolayısıyla, günümüzde kullanılmış suları

istenilen kaliteye, içme suyu hatta saf su haline getirebilecek teknolojiye sahip olunmakla birlikte su ve enerji sürdürülebilirliği de dikkate alınarak, ihtiyaca göre arıtımın yapılması gerekmektedir.

1.4. Terminoloji: Kullanılmış Sular ve Geri Kullanım Alanları

Akifer: Yeraltı suyu içeren jeolojik oluşumlar.

Arıtılmış su: Çeşitli amaçlar ile kullanım adına spesifik su kalitesi kriterlerini karşılayacak seviyede arıtılmış kentsel kullanılmış su/atıksulardır.

Kullanılmış su: Ev, işyeri, endüstriler ve zirai kullanım kaynaklı kullanımlar sonucu oluşan deşarjlardır.

Doğrudan içme amaçlı geri kullanım: Arıtılmış suyun doğrudan şebekeye veya içme suyu arıtma tesisine alınmasıdır.

Dolaylı içme amaçlı geri kullanım: Bir yerüstü veya yeraltı içme suyu kaynağının arıtılmış su ile beslenmesidir.

Fiili (de fakto) geri kullanım: Arıtılmış suyun geri kullanımının fiilen gerçekleştirildiği ancak yasal olarak tanımlanmadığı durumlarda kullanılır (Örnek: AAT deşarjının verildiği bir yerüstü su kaynağından içme suyu arıtma tesisine su alımı yapılması).

Geri dönüş akımı: Suyun kullanım noktasından ortama salındıktan sonra tekrar yeraltı veya yerüstü su kaynağına geri dönerek yeniden kullanılabilir hale gelmesidir.

Havza: Suyun yağış, kar erimesi gibi kaynaklarca akış durumuna geçtiği ve nehir, göl, sulak alan gibi diğer su kütlelerine giriş yaptığı sınırları tanımlanmış bölgedir.

İçme dışı geri kullanım: İçme amaçlı geri kullanımının dışında kalan tüm geri kullanım alanlarını kapsar.

İçme amaçlı geri kullanım: İçme suyu kaynağının arıtılmış su ile beslenmesidir.

Su arıtımı: Kentsel kullanılmış suların geri kullanım hedeflerine hizmet edecek belirli su kalite kriterlerine uygun seviyede arıtımıdır.

Su çekimi: Suyun yeraltı veya yüzeysel kaynaklardan çekilerek kullanıma yönlendirilmesidir.

Su geri kullanımı/geri kazanımı (Yeniden Kullanım): Arıtılmış suların tekrar kullanılmasıdır.

Tüketilen kullanım: Suyun buharlaşan, solunan, zirai mahsuller için kullanılan, insanlarca tüketilen veya diğer başka şekillerde doğrudan tüketilen kısmıdır.

Su temini: Suyun özel şirketlerce veya kamu kurumlarınca evsel, ticari, endüstriyel ve elektrik üretimi gibi alanlardaki tüketicilere sunulmasıdır.

Sürdürülebilirlik: Mevcut sistemin sağladığı yararların gelecekteki kullanım kapasitesini azaltmamaya yönelik optimizasyonlardır.

Sürdürülebilir kalkınma: Mevcut nesillerin ihtiyaçlarının gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılayabilme kapasitesine zarar vermeden karşılanarak kalkınmanın sağlanmasıdır.

Transpirasyon: Toprakta alınan suyun bitkinin kök-yaprak sistemi vasıtası ile faz değişimine (sıvıdan gaza) uğrayarak buharlaşmasıdır.

Yararlı kullanım: Suyun doğrudan insanlarca veya onların yararı için farklı yollarla kullanılmasıdır.

Yenilenebilir su kaynakları: Bir bölgedeki yerüstü ve yeraltı su sistemleridir.

Yüzeysel akış: Yağışın toprağın üzerinde yüzeysel akış durumuna geçmesidir.

Zirai su kullanımı: Zirai mahsullerin üretilmesi için kullanılan suyu tanımlamaktadır.

Yukarıda verilen genel tanımların yanında uygulama kategorilerinin netleştirilmesi adına bir tablo hazırlanmıştır (Tablo 1-6).

Tablo 1-6 Su geri kullanımı uygulamaları kategorileri

Geri Kullanım Kategorisi		Tanım
Kentsel geri kullanım	Kısıtsız	Halk erişiminin sınırlandırılmadığı belediye ortamlarında, içme dışı uygulamalar için arıtılmış suların geri kullanımıdır.
	Kısıtlı	Bariyer, uyarı işareti veya geçici erişim kısıtlaması gibi fiziksel veya kurumsal engellerle kamu erişiminin kontrol edildiği veya kısıtlandığı belediye ortamlarında içme dışı uygulamalar için arıtılmış suların geri kullanımıdır.
Zirai geri kullanım	Zirai bitkiler	İnsani tüketime yönelik zirai bitkileri sulamak için arıtılmış suların geri kullanımıdır.
	Gıda dışı zirai bitkiler	İnsanlar tarafından tüketilmeden önce işlenmiş olan veya insanlar tarafından tüketilmeyen zirai bitkileri sulamak için arıtılmış suların geri kullanımıdır.

Geri Kullanım Kategorisi		Tanım
Göletler	Kısıtsız	Arıtılmış suların, vücutla temas eden su rekreasyon faaliyetlerinin yapılmasına herhangi bir sınırlama getirilmediği göletlerdeki geri kullanımıdır.
	Kısıtlı	Arıtılmış suların, vücutla temas eden su rekreasyon faaliyetlerinin sınırlandırıldığı göletlerdeki geri kullanımıdır.
Çevresel geri kullanım		Yapay sulak alanlar, su habitatları ve akarsular gibi su kütlelerini oluşturmak, sürdürmek veya arttırmak için arıtılmış suların geri kullanımıdır.
Endüstriyel geri kullanım		Arıtılmış suyun endüstriyel tesislerde, enerji üretiminde ve fosil yakıtların çıkarılmasında kullanımıdır.
Yeraltı suyu beslemesi – İçme dışı geri kullanım		İçme suyu kaynağı olarak kullanılmayan akiferlerin arıtılmış su ile zenginleştirilmesidir.
İçme amaçlı geri kullanım	Doğrudan içme amaçlı geri kullanım	Arıtılmış suyun doğrudan içme suyu arıtma tesisine alınmasıdır.
	Dolaylı içme amaçlı geri kullanım	Bir içme suyu kaynağının (yüzeysel veya yeraltı) arıtılmış su ile beslenmesidir.

2. KULLANILMIŞ SULARIN GERİ KAZANIMINDA PLANLAMA VE YÖNETİM

1970’li yılların ortalarına kadar su kaynaklarının planlanmasında temel hedefler; belli bir ihtiyacın karşılanması için su temini, bu amaçla kaynak geliştirilmesi ve suyun neden olduğu zararların önlenmesine yönelik sistemlerin tasarımı şeklinde gelişmiştir [17], [18]. Bu hedeflere ulaşılabilmesi için de belirlenmesi istenen unsur, mevcut su potansiyeli veya en geniş anlamda suyun miktarı olmuştur. Zaman içerisinde, planlamadaki amaçların ve uygulanabilecek çözümlerin çeşitlenmesi sonucunda kısıtlı hale gelmeye başlayan su kaynaklarının daha etkili biçimde kullanılabilmesi amacıyla, tek maksatlı planlamalardan çok maksatlı projelere bir geçiş yaşanmıştır [17]. Bu çerçevede de su kaynaklarının geliştirilmesinde optimizasyon yaklaşımları geçerlilik kazanmıştır.

Özellikle 1980’li yıllarda çevre kirliliği sorunları baş göstermeye başlamış, bu sorunlardan en geniş çapta etkilenen doğal kaynaklar da su kaynakları olmuştur [17]. Suyun kalitesinin bozulması, kullanılabilir su kaynaklarını daha da sınırlı hale getirmeye başlamıştır. 1990’lı yılların başında çevre bir bütün olarak ele alınmaya başlanmış; su kaynakları da bu bütünün bir parçası şeklinde değerlendirilmiştir. Su-toprak-hava gibi doğal kaynakların birbirleriyle etkileşim içinde oldukları ve bunların söz konusu “çevre bütünlüğü” dikkate alınarak entegre biçimde yönetilmeleri gerektiği görüşü önem kazanmıştır. Günümüzde su kaynakları açısından yaşanan sorunlar entegre niteliktedir;

dolayısıyla getirilecek çözümlerin de entegre yaklaşımlarla belirlenmesi gerekmektedir. Entegre su yönetimi terimi birçok araştırmacı tarafından farklı şekillerde tanımlanmıştır. Ancak en genel tanımı; “hayati öneme sahip ekosistemlerin sürdürülebilirliğinden ödün vermeden, eşitlik ilkesi esas alınarak, ekonomik ve sosyal refahın en üst düzeye çıkarılması için su, toprak ve ilgili kaynakların eşgüdüm içerisinde geliştirilmesi ve yönetiminin teşvik edilmesidir” [19], [20]. Entegre su yönetimi yaklaşımı, yerüstü ve yeraltı sularının, tüm farklı kullanım unsurlarını içerecek şekilde, ekonomik ve sosyal açıdan refahı en üst seviyeye çıkararak, ekosistem ve doğal kaynaklara zarar vermeden yönetilmesini hedefleyen bir sistem olan entegre su yönetimi, sürdürülebilir olmayan kaynak kullanımına ve yetersiz hizmet sunumuna neden olan geleneksel ve dağınık yapıdaki su yönetiminin yerine, sektörler arası diyaloga dayalı politikalar üzerinden hareket etmeye çalışır [2], [20].

Günümüzde yeryüzünün yaklaşık $\frac{3}{4}$ ’ünü oluşturan sular, su kürede (hidrosfer) okyanuslar, denizler, göller, yeraltısuları, bataklıklar, kalıcı kar ve buzullarda yer almaktadır. Hidrosferdeki suyun %97’sini okyanus ve denizlerdeki tuzlu sular oluşturmaktadır. Tatlı su kaynakları ise toplam su varlığının ancak %3’ünü oluşturmaktadır. Tatlı su kaynaklarının ise %68,3’ü buzullarda, %31,4’ü yeraltında ve %0,04’ü yüzeysel sular oluşturmaktadır. Küresel ölçekte tatlı yüzeysel su kaynaklarımızın ise yaklaşık %87’sini göller, %11’ini bataklıklar ve geriye kalan %2’sini nehirler oluşturmaktadır. Hızlı nüfus artışı ve sanayileşme beraberinde sınırlı olan tatlı su kaynaklarının azalması ve kirlenmesi sorunlarını beraberinde getirmiştir. Günümüzde küresel ölçekte yaklaşık 1,2 milyar insan ya da başka bir deyişle dünya nüfusunun %20’si su kıtlığı yaşamaktadır. Dünyada yaklaşık 2,7 milyar insan en az bir ay boyunca su sıkıntısı yaşamaktadır. Yakın gelecekte 500 milyon insanın daha su kıtlığına maruz kalacağı tahmin edilmektedir.

Diğer taraftan 1,6 milyar insan ise gerekli su temini altyapı sistemlerine sahip olmamaları nedeniyle ekonomik su kıtlığıyla karşı karşıyadır. Ayrıca 2,4 milyar insan su kaynakların kirlenmesi ve yetersiz arıtma nedeniyle kolera ve tifo gibi içme suyu kaynaklı hastalıklara maruz kalmaktadır. Çoğunlukla çocuklar olmak üzere iki milyon insan, her yıl yalnızca ishal hastalıklar nedeniyle hayatını kaybetmektedir. Bununla birlikte hızlı nüfus artışı ve sanayileşmenin de neden olduğu küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi global çevre problemleri hidrosfer üzerinde doğal hidrolojik döngünün bozulmasına neden olabilmektedir. Yeterli miktar ve kalitede su temini için ekosistem üzerinde insan eliyle yapılan önemli değişikliklerin de su kaynakları ve su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı üzerinde olumsuz etkileri olabilmektedir. Tüm bu değerlendirmeler göz önünde bulundurulduğunda sınırlı olan ve ikamesi olmayan tatlı su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilirliği insanoğlunun vazgeçilmez bir önceliğidir. Bu nedenle mevcut tatlı su kaynaklarımız başta olmak üzere tüm su kaynaklarımızın entegre (bütüncül) bir bakış açısıyla yönetilmesi gereklidir.

Son yıllarda artan kullanılmış su deşarjlarına bağlı olarak su kaynaklarının azalması ve kirlenmesi problemleri beraberinde kullanılmış suların geri kullanımı araçlarını önemli hale getirmiştir. Ayrıca kullanılmış suların geri kullanımının giderek yaygınlaşması entegre planlama ve yönetim ihtiyaçlarını beraberinde getirmektedir [1]. Yeniden kullanım sistemlerinin planlanması, geliştirilmesi ve yönetilmesi ile ilgili bazı önemli konular bu bölümde alt başlıklar halinde sunulmuştur.

2.1. Entegre Su Yönetimi

Entegre su yönetimi; çevrenin tüm ortamlarıyla bir bütün olarak ele alınmasını, böylelikle doğal ortamlarda bir entegrasyon düşünülmesini; bu bütünlüğün sosyal ve ekonomik hedeflerle de

birleştirilmesi olarak tanımlanmaktadır [18]. Ayrıca entegre su yönetimi; tüm kesimlerin görüş, beklenti ve amaçlarını dengeleyecek şekilde, su sistemlerinin planlanması, organizasyonu ve kontrolü için oluşturulacak işlevler bütünü şeklinde de tanımlanabilir. Bu tanımda, su ile ilgili tüm kesimler dikkate alındığından “sosyal bütünlük” ve su sistemleri ele alındığından “ekolojik bütünlük” kavramları da yer almakta; yönetim sorumluluğu da, her kesim tarafından paylaşılmaktadır [17].

Entegre su yönetimi, su döngüsünün aşamasından bağımsız olarak, sudan faydalanma fırsatlarını önemli ölçüde geliştirebilmektedir. Tatlı suya olan talebi azaltmak için su tasarrufu uygulamalarının entegrasyonu gibi kavramlar bu kapsamlı yönetim yaklaşımının bir parçasıdır. Ayrıca, yağmur suyu bir problem olarak görülmektense, yerçekimini en iyi yönetim uygulamaları (BMP'ler) yoluyla, gözenekli kaldırım veya sarnıçlar gibi beslemeye izin verilen bir varlık olarak düşünülmelidir [1]. Buna ek olarak, atık su hem çevresel hem de su temin yararları sağlayarak yeniden kullanılabilir. Bu yaklaşım, bir topluluk içindeki su kaynakları sistemlerinin tümünü kapsayan daha geniş su kaynakları yönetimi seçeneklerine odaklanmanın bir sonucudur ve yeniden kullanım, bu daha bütünsel planlama yönteminde önemli bir faktördür. Entegre su yönetimi yaklaşımının etkin şekilde uygulamasıyla; alıcı su ortamlarına yapılan deşarjlar ve su ihtiyaçlarının karşılanmasında yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarına olan bağımlılık önemli ölçüde azaltılabilir [1]. Entegre su yönetimi genel olarak sırasıyla aşağıdaki yaklaşımların geliştirilmesini içermektedir. Bunlar;

- Su tasarrufu sağlanması
- Atıksuyun tekrar kullanılması
- Gri suyun tekrar kullanılması
- Yağmur suyu en iyi yönetim uygulamaları

- Yağmur suyu toplama (yağmur suyu hasadı)
- Gelişmiş yeraltı suyu enjeksiyonu
- Yüzey suyunun alıkonma süresinin artırılması
- Kuru hava koşullarında kentsel yüzeysel akışın arıtılması
- İçme suları ve içilebilir olmayan sular için ikili su tesisatı kullanılması
- Yangından korunma için ayrı dağıtım sistemlerinin ayrılması
- Çok amaçlı altyapı sistemlerinin kullanılması
- Kullanım amacına uygun su kalitesinde su kullanımı
- Yeşil çatılar
- Düşük etki geliştirme (LID)'dir [1].

Entegre su yönetimi şemsiyesi altında su, kullanılmış su, yağmur suyu ve kullanılmış suların yeniden kullanımı için politikaların geliştirilmesi ve yönetimi eş zamanlı olarak değerlendirilebilir. Bu süreç yalnızca ortak bir çevreyi paylaşan kaynakları bir araya getirmekle kalmaz, bu kaynakları ve altyapılarını yöneten veya etkilenen kişileri bir araya getirir [1]. Bu kapsamda seçilmiş yetkililer ve paydaşlar entegre su yönetiminde belirlenen hedefleri gerçekleştirme sürecinde birlikte hareket etmelidir. Su planlamacılarının ve yöneticilerin entegre su yönetimi sürecini, geleneksel su arzı ve talep yönetimi alternatifleriyle birlikte yeniden kullanım seçeneklerini değerlendirmek için spesifik kılavuzlara ve örnek uygulamalara ihtiyaç duyulabilmektedir [21]. Bu kılavuz dokümanlarda, entegre su yönetimi sürecinin unsurlarının her biri, yeniden kullanımın entegre planlara dahil edilmesine ilişkin konular ve fırsatlar ile uygun yeniden uygulama uygulamalarını entegre bir yönetim planında kolaylaştırmak için kullanılabilecek araçlar ve modeller hakkında kapsamlı açıklamalar yer almalıdır [22].

Entegre su yönetimi yaklaşımı, havza yönetiminde de uygulanması gereken bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir. Ancak bu aşamada pek çok sorunla da karşılaşmaktadır.

Öncelikle bu yaklaşımın nasıl uygulamaya konulacağı tam bilinmemektedir [1]. Entegre su yönetimi için öncelikle hedeflerin ortaya konması gerekir. Bu hedefler sadece kaynakların fiziksel özellikleriyle değil sosyal, ekonomik, politik, yasal ve idari hedeflerle de ilgilidir. Bu durumda, problemin tanımı son derece zor ve kapsamlı bir çalışmayı gerektirmektedir [1]. Entegre su yönetiminin başarılı bir şekilde uygulanmasındaki diğer ayrılmaz bir husus da bu yaklaşımı engellemekten çok kolaylaştıran bir düzenlemelerin hayata geçirilmesiyle ilgilidir. Ayrıca su, atık su, yağmur suyu, kullanılmış suların geri kullanımını içeren entegre bir su kaynakları yönetim planı çeşitli devlet kurumları tarafından düzenlenebilir. Bu noktada entegre su kaynakları yönetimini planlayan kuruluşlar arasındaki iş birlikleri ve koordinasyonun geliştirilmesi gerekli olabilir [1].

Su kaynaklarının planlanmasına yönelik bir uygulama örneği Los Angeles Kalifornia'daki Entegre Kaynaklar Planı (IRP)'dır. Los Angeles'te mevcut su kaynaklarını yönetmek üzere 1999 yılında bir entegre plan hazırlanış ve uygulanmaya alınmıştır. Bu entegre kaynak yönetimi uygulamasında su kaynakları, kullanılmış sular ve yağmur sularını da içeren bütünsel bir havza yönetimi yaklaşımı benimsenmiştir. Bölgede uygulanan bu yaklaşımın temel amacı özellikle kurak dönemlerde çok amaçlı ve yönlü stratejiler geliştirilmesi, su kalitesi düzenlemelerine uyumun sağlanması, ilave kullanılmış su kapasitesinin artırılması, açık alan kullanımının artırılması, halkın yaşam kalitesinin artırılması ve enerji tüketiminin azaltılmasının sağlanması olmuştur. 2006 yılında tamamlanan bu IRP uygulaması birçok paydaş tarafından desteklenerek çeşitli ödüllere layık görülmüştür. Bu kapsamda belirlenen stratejilerin gelecek 20 yıl içerisinde uygulanması hedeflenmiştir. IRP bir parçası olarak değerlendirilen stratejiler, geleneksel su yönetimi uygulamaları ile karşılaştırıldığında, geleneksel yaklaşım senaryosundan daha düşük, toplam mevcut değer maliyetlerinde ise beklenenden daha fazla faydalar göstermiştir [1]. Başka bir entegre kaynak yönetimi

uygulamasına ise San Diego şehri imza atmıştır. San Diego’da 2012 yılında 18 ayda tamamlanması planlanan bir örnek proje uygulaması hayata geçirilmiştir. Proje henüz sonuçlanmadan bölgede yer alan Point Loma Birincil Arıtma Tesisi çıkış suyu iyileştirilerek en az içme suyu kalite standartlarının sağlanması amaçlanmış ve bölgeye su temini sağlamada kullanılan San Vicente Rezervuarına beslenmiştir. Bu projedeki başlıca itici güçler ise deniz suyundan su tedarikine göre daha düşük maliyetleri ve enerji tüketimi sağlayacak alternatif su kaynaklarının kullanılmasıdır. Bu uygulama örnekleri entegre bir kaynak yönetimi yaklaşımının uygulanabilirliğini ve sadece içme suyu tedarikinde değil diğer amaçlar için de alternatif su kaynaklarının elde edilmesi açısından umut verici olmuştur. Bu entegre kaynak yönetimi uygulamalarının büyük ölçekli olması bir zorunluluk değildir. Örneğin Franklin Tennessee’de bu yönetim yaklaşımı ve entegre su kaynakları planlama süreciyle proaktif bir şekilde benimsenmiştir. Şehirde içme suyu, atık su, yağmur suyu ve geri kazanılan su sistemlerinin genel hizmetlerini iyileştirmek için bu yönetim aracının bilinen uygulamalarının da ötesine ulaşmıştır. Sonuç olarak bölgede halkın en önemli eğlence alanlarını oluşturan Harpeth Nehir bölgesinde kullanılmış sular arıtıldıktan sonra yüzeysel su kaynaklarının beslenmesi ve rekreatif uygulamalarda değerlendirilmiş ve uzun vadeli bir plan geliştirilmiştir [1].

2.2. Kullanılmış Su Geri Kazanım Sistemlerinin Planlanması

Geri kazanılan bir su sisteminin boyutuna ve türüne bakılmaksızın, göz önünde bulundurulması gereken planlama adımları vardır. Planlama, entegre bir planlama süreci ile tanımlanması gereken su kaynakları yönetim hedefleriyle tutarlı olmalıdır. Entegre su kaynakları planının bir parçası olarak, geri

kazanılmış bir su master (ana) planı, potansiyel kullanıcıların ve ihtiyaçlarının belirlenmesi, toplumun büyük bir bölümü tarafından kabul edilmesi ve su kalitesi ihtiyaçlarının belirlenmesini içermelidir. Planlamacılar tarafından kullanılmış su arıtma tesislerinin potansiyelini göz önünde bulundurarak geri kazanılmış su miktarı ve dağıtım sistemlerinin de planlamasını yapmaları gereklidir. Planlama aşamasında kullanılmış su arıtma tesislerinin gün içerisindeki debi değişimlerinin mutlaka göz önünde bulundurulması gereklidir. Bu su arzı ve talepleri arasındaki dengesizliklerin neden olabileceği sorunların önüne geçilmesine büyük ölçüde katkı sağlayacaktır.

İlk uygulanabilirlik değerlendirmesinin bir parçası olarak, kullanılmış suların geri kullanımıyla ilgili mevcut yasal düzenlemelerin ve politikaların incelenmesi oldukça önemlidir. Bu kapsamda doğal kaynak değerlendirmesi ve çevresel etki değerlendirmeye ilgili yasal düzenlemelerin de geçerli olduğu unutulmamalıdır. Birçok ülkede planlanan faaliyetlerin inşaat, işletimi ve kapatılma süreçlerinde çevresel etkilerin ön görülerek gerekli önlemlerin alınması da yine planlama süreçlerinde değerlendirilen konulardan biri olmalıdır. Diğer taraftan yasal gereklilik olmamasına rağmen çoğu zaman planlama süreçlerinde paydaş görüşlerine de yer verilmesi sistemin başarıya ulaşması ve uzun vadeli sürdürülebilir kullanımı açısından önemli katkılar sağlayabilir. Yine geri kazanım sistemlerinin planlanması aşamasında doğal ve kültürel varlıkların da korunması oldukça önemlidir. Özellikle yapay su yapılarının inşa edilmesi, doğal güzellikleri ve yaban hayatını önemli ölçüde etkileyen bazı değişikliklerin bulunması planlama süreçlerinde göz ardı edilmemelidir. Bu potansiyel bariyerlerin de planlama süreçlerinde değerlendirilmesi gereklidir [1]. Planlama ve master planın oluşturulmasında aşağıdaki noktaların göz önünde bulundurulması önerilmektedir [1].
Bunlar;

- Mevcut geri kullanılabilir su miktarının belirlenmesi
- Mevcut ve potansiyel kullanımların ve kullanıcıların belirlenmesi
- Kullanıcıların geri kazanılmış suyu kabul edip etmeyeceğinin belirlenmesi
- Arz edilecek su miktarının potansiyel talebe göre karşılaştırılması
- Dağıtım sistemlerinin hazırlanması
- Potansiyel kullanıcı listelerinin tamamlanması
- Ekonomik fizibilitenin yapılması
- Nihai kullanıcı listelerinin ve dağılımın tamamlanması
- Satış noktalarının hazırlanması
- Gerekli onayların alınması (yasal açıdan)
- Yerinde modernizasyonlar yapılması
- Bağlantılar arası gerekli testlerin yapılması
- Su dağıtımına başlanması şeklindedir.

Kullanılmış suların arıtıldıktan sonra geri kullanımı kuraklık ve su kaynaklarının kıt olduğu bölgelerde su kaynaklarının etkin ve verimli kullanımı sağlamaktadır. Diğer taraftan mevcut su kaynaklarının da sürdürülebilir kullanımını ve korunmasını sağlamaktadır. Bu kapsamda sistematik bir entegre su yönetimi ve geri kullanım planının uygulanması gereklidir. Genel olarak kullanılmış suların geri kullanımını amaçlayan entegre su yönetim planı aşağıdaki bileşenleri içermelidir [23]. Bunlar;

1) Planlama ve fizibilite aşaması

- Genel su dengesine ilişkin ayrıntılı planlama ve fizibilite yapılması ve tasarımcılar ve mühendisler ile istişare yapılması
- Genel su dengesi ve geri kullanım planını optimize etmek için farklı proses tasarımlarının değerlendirilmesi
- Olası su kaynaklarının belirlenmesi
- Proses tasarımına dayalı su miktarı ve kalite ihtiyaçlarının belirlenmesi

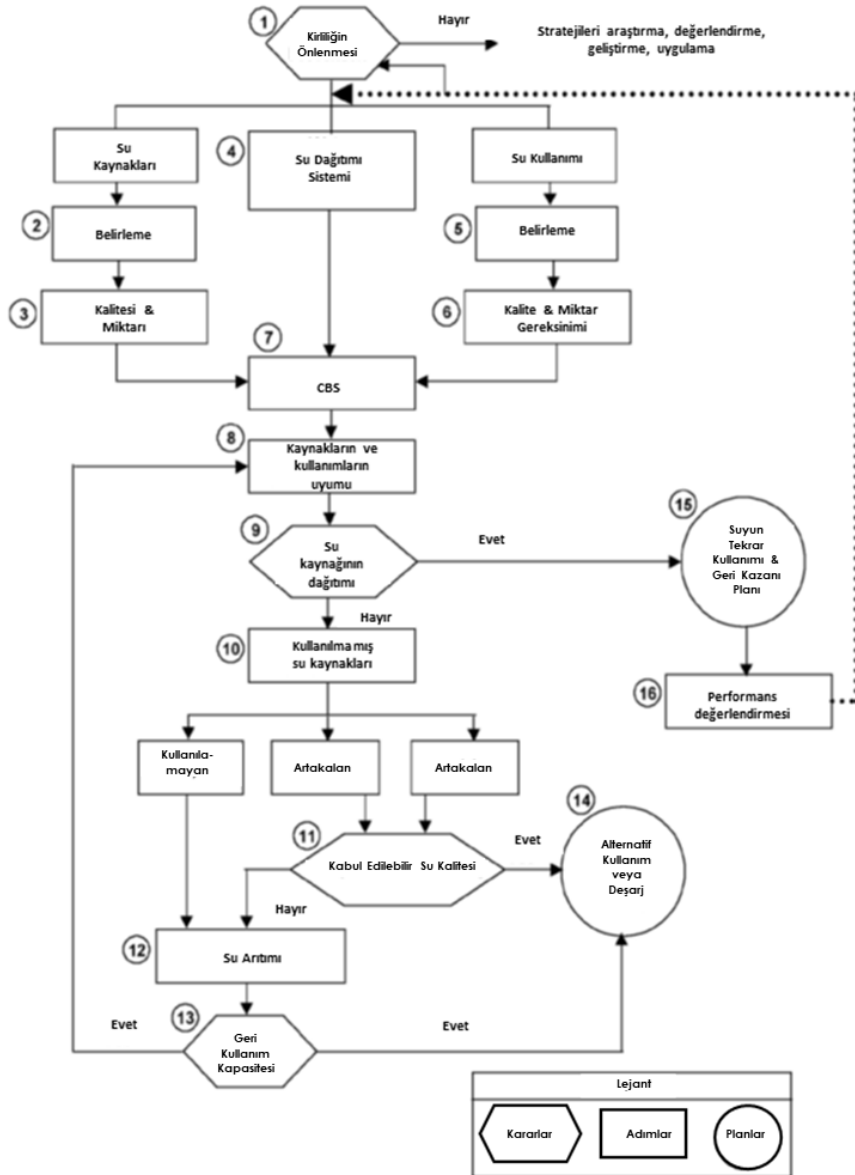
- Kullanılmış suların geri kazanımı ve arıtımı için alternatiflerin araştırılması
- Geri kullanım ve arıtımı için bir stratejik planın geliştirilmesi/hazırlanması
- Geri kullanım için hazırlanan stratejik planın entegre su yönetimi ve atık yönetimi planlarına entegre edilmesi

2) Uygulama aşaması

- Su geri kullanımı ve arıtımı stratejisi ve/veya planının uygulanması
- Stratejik planının sürekli gözden geçirilmesi ve iyileştirilmesi
- Düzenli olarak performans değerlendirmesi yapılması ve gerekirse stratejik planların gözden geçirilmesi
- Proses teknolojileri, su gereksinimlerine göre sürekli olarak değerlendirilmeli ve su kullanımının bu su gereksinimlerini azaltmak için modifikasyonlar, iyileştirmeler veya yeni teknolojilerin uygulanıp uygulanmayacağının değerlendirilmesi
- Performans izleme sistemi kullanılması

3) Hizmet dışı bırakma ve kapatma aşaması

- İzleme sistemleri, performans değerlendirmeleri ve modellemeler ile fazla su kullanımı ve kalite parametrelerinin kontrol altında tutulması
- Kapatma sonrası yeniden kullanım ve iyileştirme seçeneklerini tanımlanması ve mümkün olan en iyi çevresel seçeneğin belirlenmesi
- Gelecekte altyapı sisteminin ve su yönetim sisteminin kullanımına dair arazi sahipleri, sorumlu taraflar ve su kullanıcıları ile bakım onarım için gerekli mali sözleşme ve diğer yasal düzenlemelerin gerçekleştirilmesi.



Şekil 2-1 Kullanılmış suların geri kullanımı ve arıtma planının geliştirilmesi için akış şeması [23]

2.2.1.Su Kullanıcılarının ve yeniden kullanım ihtiyaçlarının belirlenmesi

Geri kazanılmış suların çeşitli amaçlar için geri kullanımı bölgesel olarak farklılıklar gösterebilmektedir. Bu nedenle mevcut düzenlemeler ve politikalar göz önünde bulundurularak bir planlama yapılmalı ve bu kapsamda büyük miktarda geri kazanılmış su kullanımı yapabilecek potansiyel kullanıcıların belirlenmesi gereklidir. Bu potansiyel kullanıcıların belirlenmesinde mevcut su tüketimlerinin ve su kalitesi ihtiyaçlarının belirlenmesi gerekli olabilir. Öncelikli olarak en büyük su kullanıcılarına odaklanmak, kamu hizmetinin mümkün olan en iyi yatırım getirisini elde etmesine ve aynı zamanda içme suyu sistemine sağladığı faydaları en üst düzeye çıkarmasına yardımcı olur. Buna ek olarak, sulama amaçlı (örneğin golf sahaları ve diğer eğlence tesisleri gibi) geri kazanılmış suyu kullanabilecek diğer kullanıcıların da tespit edilmesi faydalı olacaktır.

Geri kazanılmış suların geri kullanımının planlandığı bölgelerde; iklim koşulları, yasal düzenlemeler ve politikalar, endüstriyel tesislerin varlığı, golf sahaları, rekreasyon tesisleri, ticarethaneler, oteller ve diğer kamu tesislerinin su ihtiyaçları ve mevcudiyetinin belirlenmesi gereklidir. Geri kazanılmış sular içme suyu amaçlı kullanımlar, tarımsal sulama, diğer yeşil alanların sulanması, kentsel kullanımlar, endüstriyel kullanımlar, rekreasyon amaçlı kullanımlar, çevresel ve ekolojik kullanımlar olmak üzere çeşitli amaçlar için değerlendirilebilir. Entegre yönetim yaklaşımlarının planlanmasında hizmet sağlayıcılar en fazla kazancın sağlanacağı alanlarda kullanılmış suların geri kullanımı öncelikli olarak düşünebilir. Bu noktada su talepleri ve su arzı arasında optimum dengenin oluşturulması, maliyet ve faydaların da göz önünde bulundurulduğu bir öncelik değerlendirmesinin yapılması gerekli olacaktır. Potansiyel kullanıcılar belirlendikten sonra su ihtiyaçları ve kalitesi

gereksinimlerini karşılamak için en iyi uygulamaların araştırılması gereklidir.

2.2.2.Arazi kullanımı ve yerel yeniden kullanım politikası oluşturulması

ABD başta olmak üzere birçok ülkede imar planına benzer bir arazi kullanımı planına göre düzenlemeler yapılmaktadır. Bu süreçte yeterli su temini ve kullanılmış su arıtma kapasitesini gösteren spesifik planların hazırlanması gerekli olabilmektedir. Herhangi bir yeniden kullanım projesinin, projenin arazi kullanımı temelinde yasal zorluklarla karşılaşmadığından emin olmak için genel plan kapsamındaki şartlara uygun olması önemlidir. Bu planlarda halkın katılımının da göz önünde bulundurulması gereklidir. Bu nedenle gerekli bildirimlerin ve bilgilendirmelerin yapılmalıdır. Planlamacılar halkın ön yargısının ve sahip olduğu kaygıların önüne geçebilecek uygulamaları planlama sürecine yansıtmalıdır. Geri kazanılmış su sistemlerini uygulamak ve yönetmek için yerel yönetim kurumları tarafından kullanılan arazi kullanımı ve çevre düzenleme kontrollerini tanımlanmalıdır. Birçok topluluk ve devlet, yeterli su, atık su ve geri kazanılan su hizmetleri için halk sağlığı ihtiyaçlarını karşılamak üzere daha resmi su planlama süreçleri uygulamaktadır.

Entegre bir su yönetimi programında, içilebilir su kaynakları sınırlı olabilir ve toplam talebi karşılamak için geri kazanılmış su sisteminin inşa edilmesini gerektirir. Geri kazanılan suyun içilebilir arzdan daha düşük fiyatlandırılrsa bile, halk, çeşitlendirilmiş bir su sisteminin faydalarını anlamak için yeterince bilgilendirilmemiş olabilir ve geri kazanılmış suyu kullanmaya karşı direnç gösterebilir. Son yıllarda geri kazanılmış su sistemlerine zorunlu bağlantı yapılması daha yaygın hale gelen bir uygulamadır. Geri kazanılmış suyun gelecekteki kullanımının planlanması, toplulukların makul ölçüde mevcut olduğunda geri kazanılmış sudan faydalanmak için belirli kullanımlar

gerektirmesine izin verir. Çift su sistemi (iki borulu dual-pipe) ile güçlendirme için inşaat maliyeti daha yüksek olduğundan ve diğer altyapının bozulması kaçınılmaz olduğundan, çift su boruları başlangıçta sulama, soğutma kuleleri veya endüstriyel süreçlere tahsis edilen sabitlenemeyen dağıtım sistemi ile kurulabilir.

Kamu hizmetlerinin ayrıca, geri kazanılan su sistemine bağlantı gerektiren bir yönetmelikle inşaat için kullanılan tahvilleri güvence altına alması ve böylece tahvil ödemelerini karşılamak için gelecekteki nakit akışını garanti etmesi gerekebilir. Kalifornia'da ilk kez 2004 yılında yapılan ve Temmuz 2008'de değiştirilen Su Geri Dönüşüm Fonlama Programı, kredi/hibe başvuru sahiplerinin, başvuru paketlerinde bir taslak zorunlu kullanım düzenlemesi içermesini gerektirmektedir. Aşağıda Marina Coast Water District Ordinance Bölgesini kapsayan düzenlemenin ilgili maddeleri aşağıda sunulmuştur;

- Geri kazanılmış su kullanımı belirli bir mülk için mevcut olduğunda, sahibinin geri dönüştürülmüş su sistemine bağlanması gerekir. Sahibi bu bağlantıyı geri dönüşümlü su sistemine tamamlama maliyetini karşılamalıdır.
- Kullanılmış su bağlantısı yapılacak yapının en yakın geri kazanılmış su hattına olan uzaklığı eğer düzenlemede belirtilen mesafeden daha büyükse, bu durumda geri kazanılmış su hattına yeni su kullanıcılarının bağlanması için peyzaj sulama veya öngörülen diğer beklenmeyen kullanımlar için izole sıhhi tesisat altyapısı inşa etmelidir.
- Halihazırda geri kazanılmış su sistemine bağlanmayı öngören veya geri dönüşümlü suyun bulunmasını beklerken geçici olarak içme suyu sistemine bağlanacak olan tüm yeni özel veya kamu sulama suyu sistemleri mevcut bölgeye mor polivinil klorür (PVC) borudan yapılacaktır.

Kaliforniya'dakine benzer şekilde zorunlu bağlantı gereksinimi olan diğer bölgeler; Dublin San Ramon, Inland Empire Utility Agency, San Luis Obispo Rowland Heights, Cucamonga Valley Water District ve Elsinore Valley Municipal Water District'tir. Florida zorunlu bağlantı gereksinimleri olan başka bir eyalettir ve 78 ilçeyi, şehir ve özel tesisleri kapsamaktadır. 2011 yılındaki yeniden kullanım raporlarında, yeni konutlarda veya diğer gelişimlerde geri kazanılmış su borularının inşasını gerektirdiğini veya mevcut olduklarında sistemleri yeniden kullanmaları gerektiğini belirtilmektedir [1]. Zorunlu bağlantı şartı ile birlikte, geri kazanılan suyun teşvik yoluyla kullanımını teşvik eden düzenlemeler de bulunmaktadır. Filadelfia'da Johns Nehri Su Yönetimi Bölgesi'nde daha su verimli peyzaj sulamalarını teşvik etmek için ilçedeki şehirlere örnek bir su koruma düzenlemesi sunmaktadır. Model yönetmeliği, tek-çift sokak adresine dayalı günlük 1,9 cm/gün sulama limitlerini içermektedir. Bu sınırlamalara istisnalar verilebilir. Muhtemel muafiyetler arasında bir mikro-sprey, mikro-jet, damlama ya da fıskiye sulama sistemi; yeni peyzaj kurmak; veya çim sulamayı içermektedir.

Geri kazanılmış su sisteminin kapasitesi, müşteriler geri kazanılan suyu tedarik etme kapasitesinin ötesinde kullanılması nedeniyle bazı zorluklar yaşanabilir. Philadelphia'da Cape Coral Bölgesi'nde 2007 yılından beridir devam eden kuraklık nedeniyle acil durum ve su koruma programı hazırlanmıştır. Buna göre kurak sezonlarda su talebi ve geri kazanılan suyun kötüye kullanımı artmıştır. Planlanan sulama günlerinde 42 milyon galon (160.000 m³) geri kazanılmış su kullanılmakta ve hiçbir sulama yapılmadığı bir günde 19 milyon galon (72.000 m³) kullanılmıştır. Belediye, suyun geri kazanılması da dahil olmak üzere şehrin su kaynaklarını korumak için proaktif bir yaklaşım benimsemiştir [1].

2.2.3. Dağıtım sistemlerinin planlanması

Geri kazanılmış su dağıtım sistemlerinin, içilebilir su sistemleriyle aynı planlama ve tasarım konularının çoğunu gerektirmektedir. Kamu su hizmetleri, su sistemlerinin bütünlüğünü korumaktan nihai olarak sorumlu oldukları için, çapraz bağlantı potansiyelini ele alan güvenlik programları ve kamu su otoritelerini başlangıçtan itibaren sürece dahil edilmelidir. İkili bir su sistemi düşünülürse, yeni bir içme suyu sisteminin planlanması eşzamanlı olabilir. Bununla birlikte, mevcut gelişmiş alanlara yeni uygulamalar yapılması, tasarımcıların ayırma mesafelerini karşılamak ve inşaat sırasında diğer kamu hizmetlerine olan etkilerden kaçınmak için mevcut tüm programları tanımlamaları gerektiğinden daha fazla çaba gerektirebilir. Ayrıca, geri kazanılmış bir su dağıtım sisteminin tasarımı, projenin uygulandığı yerdeki gerekli tasarım standartlarına uygun olmalıdır. İstenen su kalite kriterlerinin mevcut olmadığı durumlarda, tasarımcılar uygun şekilde, içme suyu veya sulama sistemlerine uygulanacak genel mühendislik tasarım standartlarını uygulamalıdır.

Sağlam bir geri kazanılmış su dağıtım sistemi geliştirmek için, sistemin geri kazanılmış suyu kaynağından uzaklaştırabilmesi için yeterli büyüklükte bir ilk “omurga” ya da birincil iletim sağlamak önemlidir. Birincil iletim hatları, daha önce tanımlanan büyük içme suyu kullanıcılarına kolayca bağlanmanın yanı sıra gelecekteki hatlara bağlantı sağlayacak bir yere inşa edilmelidir. Geri kazanılmış su dağıtım sistemlerini inşa ederken ve potansiyel güzegahları değerlendirirken aşağıdaki maddeleri de dikkate almak önemlidir. Bunlar;

- Önceden belirlenmiş potansiyel kullanıcıların konumu,
- Belirlenen potansiyel kullanıcıların geri kazanılmış su sistemine entegre edilmesiyle sağlanacak tasarruf potansiyeli,

- Hava ve iklim koşullarına bağı olmadan elde edilebilecek su tasarrufu miktarı,
- Belirlenen potansiyel dağıtım sistemi rotaları üzerinde gelecekte bağlantı sağlayacak diğer potansiyel kullanıcıların değerlendirilmesi,
- Ana iletim sistemlerinin inşası sırasında aynı bölgede yapılacak diğer alt yapı çalışmalarının planlanıp planlanmadığının kontrol edilmesidir (böylelikle inş masraflarının azaltılması sağlanabilir).

Geri kazanılmış su dağıtım sistemlerinin diğer altyapı projeleriyle birlikte koordineli olarak planlanması yatırım maliyetinin azaltılmasına yardımcı olabilir. Diğer taraftan ilave geri kazanılmış su kullanıcılarının da bulunması hem çevresel ve toplumsal faydayı hem de geri kazanılmış su gelirinin artırılmasını ve geri ödeme süresinin kısaltılmasını sağlayacaktır.

Geri kazanılmış suyun henüz yaygın olmadığı bir bölgede yeni bir geri kazanılmış su dağıtım sistemi ile müşteri ve halk eğitimi projenin başarılı olması için kritik bileşenlerdir. Potansiyel kullanıcılar, içme suyu dışındaki diğer su ihtiyaçları için içme suyu yerine geri kazanılmış suyun kullanılmasının faydaları hakkında bilgilendirilmelidir. Geri kullanılmış su kullanıcıları için finansal bir teşvik mekanizması oluşturulabilir. Ayrıca, geri kazanılan su ile ilgili herhangi bir mit ya da yanlış anlaşılmanın derhal ortadan kaldırılması ve geri kazanılan suyun güvenliği ve kalitesi hakkında doğru bilgilerle değiştirilmesi gerekir. Arıtılmış su ile ilgili su kalitesi verilerinin sağlanması, müşteri kaygılarının azaltılmasına yardımcı olabilir. Dağıtım sistemi büyüdükçe yeni kullanıcılar daha kolay sisteme dahil olacaktır. Kuru hava veya kuraklık dönemlerinde, potansiyel kullanıcıların suya talebi artacak ve bu durum dağıtım sisteminin genişletilmesine yardımcı olacaktır.

Geri kazanılmış su sitemleri mevcut içme suyu dağıtım sistemlerinden farklı pik saatlerine sahiptir. Pik kullanımlar

büyük kullanıcıların sulamaya başladığı gece saatlerinde meydana gelebilmektedir. Pik debilerin önüne geçilebilmesi ve su arz güvenliğini sağlayabilmek adına bir sulama programının hazırlanması ve uygulanması gerekli olabilir. Ayrıca geri kazanılmış sular için bir depolama veya dengeleme sisteminin de kullanılması su arzının güvenliğinin sağlanması adına yardımcı olabilir [1].

2.2.3.1. Dağıtım sistemi terfi ve borulama

Planlama aşamasında geri kazanılmış su taleplerini karşılamak üzere gerekli su ihtiyacı verilerini kullanarak hem su talebinin en yüksek olduğu zamanlarda hem de ortalama miktarların dikkate alınarak bir hidrolik model oluşturulması gereklidir. Bu kapsamda elde edilen veriler kullanılarak iletim sistemlerinin ve depolama yapılarının tasarımı da yapılmaktadır. Bununla birlikte büyük su kullanıcılarının taleplerinin karşılanması için bir sulama programları da oluşturulabilir. Diğer taraftan sulamada otomatik sulama sistemlerinin de kullanılması mümkündür. Otomatik sulama sistemleri, golf sahalarında oldukça yaygındır ve genellikle hava koşullarına ve evapotranspirasyon verilerine dayanarak, su taleplerini karşılamak için kontrollü miktarlarda su uygulamak üzere programlanır. Büyük geri kazanılmış su kullanıcıları, hat basıncı, sistem depolama, pompalama ve dağıtım sistemlerinin boyutlandırılmasını da etkileyebilir.

ABD’de geri kazanılmış su dağıtım sistemlerinin rengi mor renkte olmaktadır. Burada amaç geri kazanılmış su hatlarının belirlenen kriterlere göre tanımlanmasının sağlanmasıdır. Doğrudan borunun üretimi sırasında eklenen katkı maddeleriyle renklendirme mümkün olabilmektedir. Bunun dışında üretim sonrasında borular mor renkli bir kılıf veya şerit ile kaplanabilmektedir. Geri kazanılan su boruları ile su ve kanalizasyon boruları arasında, genellikle geri kazanılan su ile içme suyu boruları arasında 3 m yatay bir mesafe olması gerekebilir. Yeraltındaki yerleşim ise zeminden içeriye doğru

içme suyu hatları, kullanılmış su hattı ve kanalizasyon hattı olmak üzere konumlandırılabilir.

2.2.3.2. *Kullanılmış su kullanım hakkının belirlenmesi*

Geri kullanılmış su tedarikçileri, geri kazanılan su sistemlerine bağlantı sağlanması için mevcut mülk sahipleri ve kullanıcılar için bir kılavuz ve talimat prosedürleri oluşturması gerekli olabilir. Bu prosedürlerde kullanılacak ekipmanlar, tesisatlar ve inşaat için gerekliliklere yer verilebilir. Amerika Birleşik Devletleri'nde Tucson'da geri kazanılmış su kullanıcıları için hazırlanan ve uygulanan çeşitli kontrol programı ve kılavuzlar bulunmaktadır [1].

2.2.3.3. *Yerinde inşa etme değerlendirilmesi*

Geri kazanılmış su dağıtım sistemleri içme suyu sistemleriyle benzer uygulamalara ve bileşenlere sahiptir. Ancak geri kazanılmış su sistemleri mor renk koduyla tanımlanmış olmalıdır. Bu kapsamda boru hatları, valfler, terfi sistemleri, sayaçlar, pompalar, dağıtım sistemi elemanlarının tümü mor renkte olmalıdır. Ayrıca geri kazanılmış su sistemlerinde kullanıcılar tarafından kullanılacak temin sistemlerinde kullanılan boruların ve ekipmanların yasal sınırlar içerisinde olması gereklidir.

2.2.4. Kurumsal hususlar

Geri kazanılmış su sistemlerinin tasarımı, inşası ve uygulanmasıyla ilgili kurallar ve düzenlemelerin oluşturulmasında sağlık kurumları dahil olmak üzere ilgili devlet kurumları ve yerel yönetimleri görev ve yetki paylaşımı yapabilir. Ayrıca geri kazanılan suyun üretim, dağıtım ve dağıtımını sağlamak ve bunun için ödeme yapmak, bir dizi kurumsal düzenleme de gerekli olabilir. Önerilen bir yeniden kullanım sisteminin çeşitli yönleri üzerinde yargı yetkisine sahip kurumları tam olarak anlamak için kurumsal bir envanter yapılması gerekmektedir. Bazı durumlarda, geri kazanılmış

suların planlanmasında yetki çatışması söz konusu olabilmektedir. Bu nedenle planlama aşamasında bu sorunların çözülmesi gereklidir. Bu kapsamda, devlet kurumları, yerel yönetimler, özel kuruluşlar vb. geri kazanılmış su planlama süreçlerine dahil edilmesi yararlı olabilir. Son olarak, geri kazanılan suyun güvenli bir şekilde kullanılmasını sağlamak için her iki tarafa da gereksinim duyularak, su tedarikçisi ve su müşterisi arasındaki ilişki kurulmalıdır. Oranlar, hizmet şartları, yeni veya güçlendirilmiş sistemler için finansman, eğitim gereksinimleri, sistem güvenilirliği veya zamanlama (talep yönetimi için) ve diğer tedarik ve kullanım koşulları ile ilgili anlaşmalar, bireysel projelerin ve hizmet verilen müşterilerin özel koşullar bu kapsamda ele alınmalıdır.

2.3. Geri Kazanılmış Su Kaynaklarının Yönetimi

Geri kazanılmış su kaynaklarının yönetimi geleneksel su kaynakları yönetiminden oldukça farklı olabilmektedir. Geleneksel olarak, yeraltı ve yerüstü sulardan temin edilen sular hem bir su kaynağı hem de bir depolama sistemi olarak kullanılabilir. Bu sistemlerde ihtiyaç duyulan kadar su temin edilebilmekte ve geriye kalan su mevcut akifer veya rezervuarda depolanabilmektedir [1]. Geri kazanılmış suların ise kullanılmadığı durumlarda bir depolama yapısında daha sonra kullanılmak üzere biriktirilmesi gerekli olabilir. Geri kazanılmış su ihtiyaçlarına ve modellerine bağlı olarak depolama ihtiyaçlarının da mevsimsel değişimler dikkate alınarak tasarlanması gereklidir. Böylelikle depolama için gerekli olan maliyetlerin azaltılması sağlanabilir [1].

Yüzey sularına kullanılmış su deşarjlarını azaltmak veya ortadan kaldırmak için yeniden kullanım bir seçenek olabilmektedir. Ancak bu durumda aşırı miktardaki suyu muhafaza etmek için

yeterli mevsimlik depolama yapılması gerekli olabilmektedir. Soğuk iklimlerde ise donma sıcaklıkları dikkate alınarak depolama hacimleri belirlenmelidir. Geri kazanılmış suyun kullanımını en üst düzeye çıkarmak için bir başka seçenek ise geri kazanılan suların yeraltı suyu veya yerüstü suları gibi başka bir su kaynağıyla tamamlanmasıdır. İzin verilen bölgelerde geri kazanılmış su taleplerini karşılamak için bu yöntem kullanılabilir. Bu uygulama, aşırı miktarda geri kazanılmış suyun atılmasına karşı yeniden kullanım oranını artırabilir. Buna ek olarak, yılın diğer zamanlarında geri kazanılmış suyun kullanımını maksimize ederken pik talepleri karşılamak için çeşitli operasyonel stratejiler uygulanabilir. Bu stratejiler arasında; operasyonel depolama, yerüstü veya yeraltı sularıyla besleme yapılması sayılabilir [1].

2.3.1. Operasyonel depolama

Birçok durumda, geri kazanılmış su dağıtım sistemleri kentsel, ticari, endüstriyel ve tarımsal sulama gibi çeşitli kullanıcıya su tedariki sağlayabilmektedir. Örneğin Philadelphia St. Petersburg ve Kaliforniya'da Irvine Ranch Water District Bölgeleri'nde yeniden kullanım programları hazırlanmış ve geri kazanılmış sular soğutma, yıkama, tuvalet yıkama ve sulama amacıyla kullanılmaktadır [1]. Her su kullanımı sisteminin kendine özgü bir talep trendi vardır ve bu durum depolama ihtiyaçlarını etkilemektedir. Mevsimlik depolama olmaksızın çalışan sistemler mevcut olsa da geri kazanılan suyun tedarikini sağlamada operasyonel depolama sistemleri de kullanılabilmektedir. Bu depolama sistemleri bir mühendislik yapısı olabileceği gibi akiferlere de depolama yapılabilir. Operasyonel depolama uygulaması geri kazanılmış su arzının uzun zaman periyodunda yapılabilmesine katkı sağlamaktadır. Akiferlerde depolama yapılması; mühendislik yapıları ve yüzeysel rezervuarlarla kıyaslandığında daha yüksek hacimde suyun depolanmasını sağlamaktadır.

Geri kazanılan su dağıtım sistemi depolamayı düşünürken, planlamacılar ve mühendisler, kullanıcı tiplerini, potansiyel pik taleplerini (günlük ve mevsimsel), eşzamanlı pik potansiyelini, sulama için günlük kısıtlamaları ve geri kazanılan su sisteminin tasarlanıp tasarlanmayacağını dikkate almalıdır. Sulama taleplerini içme suyu sisteminden geri kazanılan su sistemine aktararak, mevcut içme suyu sisteminin kapasitesi artırılabilir. Ayrıca geri kazanılan su sistemi için sistem bileşenleri olan sulama ve endüstriyel taleplere odaklanabilir. Sulama talepleriyle karşılaştırıldığında endüstriyel talepler konusunda farklı pik faktörleri ve gün-zaman talepleri olduğundan, tasarımcılara uygun depolama hacimlerini seçmede yardımcı olmak için uzun süreli simülasyon modelleri kullanılabilir. Büyük hacimli geri kazanılmış su kullanıcılarından kendi depolama sistemlerini kurmaları istenebilir. Böylelikle gün içerisinde büyük hacimli geri kazanılmış su kullanıcıların geri kazanılmış su ihtiyaçlarının karşılanmasını sağlayabilir. Ayrıca bu durum, pompalama ve sistem depolama gereksinimlerini azaltabilir. Örneğin Florida'daki Loxahatchee River Bölgesi gibi bazı kamu hizmet sağlayıcıları, sözleşme hacimleri karşılandığında veya aşırı yüksek talep dönemlerinde kontrollü vanalar kullanılarak büyük kullanıcılara geri kazanılan suyun miktarını kontrol edebilmektedirler.

Operasyonel bir bakış açısıyla, geri kazanılmış su sistemlerinde bakiye klor miktarının kontrol edilmesi, içme suyu sistemlerindeki kadar önem arz etmektedir. Halk sağlığı açısından tasarım kararlarını kontrol edilmelidir. Geri kazanılmış bir su sisteminde iyi bakteriyolojik kalitenin korunması, halkla temasın izlemesi ve kontrol tedbirlerinin uygulanmasını gerektirebilir. Bu, yüksek su kalitesini korumak için artan miktarlarda dezenfektan eklemek üzere depolamada ve pompa istasyonlarında bakiye klor analizörleri kullanılabilir.

Geri kazanılmış su sistemlerinin tasarımında uygun hidrolik modeller oluşturularak sistemde büyük geri kazanılmış su kullanıcısının talepleri karşılanabilir olmalıdır. Dağıtım sisteminin sonuna yakın bir dereye veya başka bir su yapısına deşarj etme fırsatı varsa, bu çevresel güçlendirme, dağıtım sistemindeki geri kazanılmış suyun kalitesini korumaya yardımcı olacak bir temel akış sağlayabilir. Diğer bir alternatif ise, düşük talep dönemlerinde bile geri kazanılmış su iletim ana hattında sürekli bir akış sağlamak amacıyla hava boşluklarının giderilmesini sağlayacak bir boşaltım teçhizatının (vantuz) kullanılmasıdır.

Ayrıca depolama tankı malzemesi seçimi, yerel su sistemine uygulanan malzeme seçim kriterlerine dayanmalıdır. Stabilize edilen ve mevzuat ile belirlenen su kalitesi hedeflerini karşılayan geri kazanılmış suyun kullanıcılara tedarik edilmesi sağlanmalıdır. Ters osmoz (RO) içeren gelişmiş arıtma sistemleri kullanılabilir. Ayrıca geri kazanılmış sular dağıtım sistemine ve depolamaya pompalanmadan önce dengelenmelidir.

Geri kazanılmış su depolama tankları, içme suyu depolarıyla aynı kontrol ve denetlemelere sahip olabilir. Bu nedenle öncelikle depolama alanın kurulacağı yerin seçiminde depo özellikleri, yeri ve yüksekliği gibi faktörlerin göz önünde bulundurulması gereklidir. Diğer taraftan içme suyu dağıtım sistemlerinde olduğu gibi geri kazanılmış su dağıtım sistemlerinde de depolama alanlarının yüksek kotlara yerleştirilmesi durumunda pompalama ihtiyacının azaltılması sağlanabilir. Kullanılacak tank rengi bile çoğu durumda düşünülmesi gereken bir durumdur. Bir tank haznesi renginin korunması, müşterinin sorularını azaltarak tutarlı bir görünüm sağlayabilir ve bakım maliyetlerini azaltabilir. İçme depolama sistemlerinde olduğu gibi, tank sahaları güvenli olmalıdır ve çoğu zaman, iki paralel sistemi izleyen ve kontrol eden su sistemi operatörleri ile şebeke denetleyici kontrol ve veri toplama (SCADA) sistemine bağlanmalıdır.

2.3.2. Yerüstü sulara depolama ve besleme

Suyun yerüstü suyuna deşarjından sonra yeniden kullanılması, genellikle içme suyu temini için yerüstü suyunun kullanıldığı içilebilir su kaynaklarının arttırılmasını sağlayabilir. Geri kazanılmış sularla yerüstü su kaynaklarının beslenmesi dolaylı (defakto) kullanımlar için yıllardır düşük maliyetli uygulamalardan biri olarak kullanılmaktadır (NRC, 2012). Geri kazanılmış sular ile yüzeysel su kaynaklarının beslenmesi; kaynak suyunun kullanılabilirliği, kalitesi, maliyet ve halkın kabulü gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Bu faktörlerin etkisi toplumdan topluma farklılık gösterebilmektedir. Çoğu durumda, yüzeysel su kaynaklarının üstündeki deşarjlar, kamu su temini için geri çekilmeler de dahil olmak üzere, deşarjın mansabında faydalı kullanımları koruyucu izin limitlerini ve karşılık gelen su kalitesi standartlarını karşılamak üzere tasarlanmıştır. Bazı durumlarda ise geri kazanılmış su arıtma prosesleri ileri arıtma prosesleri ile geliştirilmekte ve böylelikle yüzeysel su kalitesinde herhangi bir değişiklik meydana getirmeyebilmektedir. Dolayısıyla geri kazanılmış suların kullanımı daha uygun bir alternatif haline gelmektedir. Yerüstü sularının güçlendirilmesi için bu ek arıtmanın sağlanmasına yönelik teşvik, su kaynaklarının korunmasına yönelik düzenlemeler tarafından yönlendirilebilir. Bu durumda alt havzada yer alan kullanıcıların gereksinimlerinin de dikkate alınması gereklidir.

Yerüstü sularının beslenmesinde bir örnek uygulama Kuzey Virginia'daki Occoquan Rezervuarı'nda görülmektedir. Üst havzada Occoquan Servis Otoritesinin (UOSA) deşarjı rezervuara arıtılmış kullanılmış su deşarjı yapmaktadır. Diğer taraftan Fairfax County Water Authority, Kuzey Virginia'nın büyük bir kısmının su ihtiyacını karşılamak için Occoquan Rezervuarı'ndan su temini yapmaktadır. Bu uygulamada su kalitesinin izlenmesi ve denetimi için yerel yönetimler ve halktan temsilcileri

tarafından bir denetleme sistemi oluşturulmuştur. Ayrıca su kalitesi değerleri incelendiğinde geçişteki uygulamalara göre gözle görünür şekilde su kalitesinde iyileşmeler olduğu halk tarafından görülmüştür.

2.3.3.Akiferlerin beslenmesi

Yeraltı su kaynaklarının beslenmesi/yenilenmesi, akiferlere tuzlu su girişinin engellenmesi ve aşırı su çekimi nedeniyle meydana gelebilecek çöküntülerin engellenmesi amacıyla geri kazanılmış sular akiferlere beslenebilmektedir. Akifere besleme yöntemi uzun yıllardır birçok ülkede uygulanmakta olan bir yöntemdir. Örneğin Kaliforniya'da 50 yılı aşkın süredir uygulanmaktadır. Kaliforniya'nın Los Angeles Bölgesi'nde Montebello Forebay Yeraltı Suyu Yenileme Projesi kapsamında Merkezi Yeraltı Suyu Havzasını yeniden beslemek için geri dönüştürülmüş sular kullanılmaktadır. Bu bölge Kaliforniya metropolü için gerekli su ihtiyacının yaklaşık % 40'ını karşılamaktadır. Yine Kaliforniya'da Santa Ana River Bölgesi'nde yeraltı sularına tuzlu su girişini önlemek amacıyla geri kazanılmış sular akiferlere beslenmektedir. Akiferlere şarj yöntemi beş ana bileşen açısından incelenmektedir. Bunlar; bir geri kazanılmış su kaynağı, bir yeniden doldurma yöntemi, alt-yüzey depolama, suyun geri kazanımı ve suyun nihai kullanımıdır. Geri kazanılan su, alt yüzey depolamadan sonra doğrudan veya dolaylı olarak kullanılabilir. Sulama talebi düşük olduğunda bazı sistemler hem doğrudan hem de dolaylı olarak geri kazanılmış su kullanmaktadır ve sulama talebi düşük olduğunda gelecekteki dolaylı kullanım için suyu yeniden doldurmaktadır.

İki temel yeraltı suyu besleme türü, yüzey yayma ve doğrudan enjeksiyondur. Vadoz bölge enjeksiyon kuyuları, son yıllarda kurulan bir teknoloji olduğundan kullanımı da artmaktadır. Doğrudan enjeksiyon kuyuları, depolanan suyu yeniden besleyerek geri kazanmak için ASR kuyuları (Aquifer Storage and Recovery) olarak da kullanılabilir. Yeniden doldurma yöntemi,

akifer tipine ve derinliğine ve akifer özelliklerine bağlı olacaktır, bu da suyu depolama bölgesine yeniden doldurma ve daha sonra bu suyu geri kazanma yeteneğini etkileyebilmektedir. Yeniden doldurma havzaları ve vadoz bölge enjeksiyon kuyularının kullanımı, sınırsız akiferlerle sınırlandırılırken, doğrudan enjeksiyon sistemleri hem sınırsız hem de daha derin kapalı akifer sistemlerinde kullanılabilir. Bu uygulamalarda potansiyel etkilerin de göz önünde bulundurulması gereklidir. Aşağıda alt başlıklar halinde bu etkiler özet olarak sunulmuştur.

2.3.3.1. Su kalitesi değerlendirilmesi

Yeraltı suyu besleme yöntemine ve amacına bağlı olarak su kalitesi ve insan sağlığı üzerinde oluşabilecek risklerin bertaraf edilmesi için ilave arıtım gerekli olabilir. Akifer besleme ve ASR kuyularında mevcut ve gelecekteki yeraltı suyu kaynaklarını tehlikeye atmayacak şekilde önlemler alınmalıdır.

2.3.3.2. Yüzey yayılması

Yüzey yayılımı, nispeten düşük bakım gereksinimlerine sahip yüksek yükleme oranları nedeniyle en yaygın kullanılan yeraltı suyu besleme yöntemidir. Yayma havzasında, geri kazanılan su, balçık, kum, çakıl, silt ve kil katmanlarından oluşan toprağa tutunur. Geri kazanılan su, topraktan süzülürken, bu tabakalar, toprak ve akiferde arıtım (SAT - Soil Aquifer Treatment) adı verilen bir işlem vasıtasıyla daha ileri fiziksel, biyolojik ve kimyasal arıtmaya tabi tutulmasını sağlar. En sonunda bu su yeraltı suyu kaynağının bir parçası haline gelir. SAT sistemleri, sınırsız tabakalar içermeyen serbestleştirilmemiş akiferler, vadoz bölgeleri ve yeterli sızma oranlarına izin verecek kadar kaba, ancak yeterli filtrelemeyi sağlayacak kadar ince olan topraklar gerektirir. SAT sırasında patojenler, organik karbon, mikrokirleticiler ve azot için bir giderim mekanizması bulunmaktadır. Yönetim teknikleri sahaya özgü olmasına rağmen, çoğu yayılma sisteminde bazı ortak prensipler uygulanmaktadır. Yüzey yayma sistemlerinin performansını

etkileyebilecek üç ana mühendislik faktörü, su arıtımı, saha özellikleri ve çalışma koşullarıdır [24], [1].

Bu yöntemler, suyu yerüstünde yayarak yüzey altına doğrudan sızdırılmasını sağlayan en basit ve en çok uygulanan MAR (Managed Aquifer Recharge) tekniklerini içerir [25]. Özellikle yüksek geçirimliliği yüzey koşullarının varlığı uygulamada esastır [26], [27]. Ayrıca süzülme bölgesi, yüzey altında tünek su oluşumlarına yol açmamak üzere düşük geçirimliliğe sahip zonlardan arındırılmalı ve beslemeyle yükselecek yeraltı suyu düzeyinin yüzeye çıkmaması için de yeraltı su tablası yüzeye çok yakın bulunmamalıdır. Diğer taraftan yeraltı su düzeyinin çok derinde olması durumunda da sızdırılan suyun akifere ulaşamaması sorunu doğar. Bu yöntemin uygulanabilmesi için akiferin “serbest karakterli” olması gerekir [26].

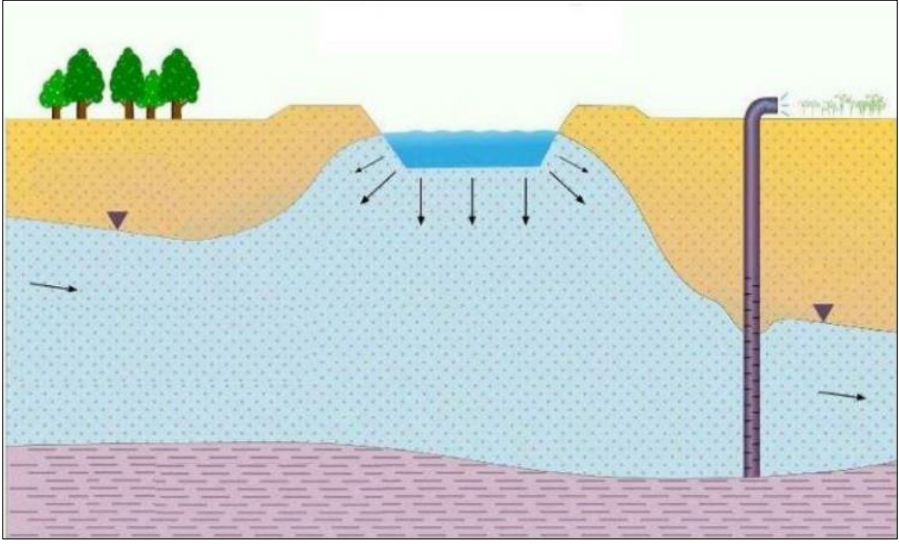
Yüzeyde yayarak besleme yöntemleriyle ilgili en çok bilinen sorun; yüzey altında organik maddelerce zengin zonlar oluşması veya yüzeyde asılı sediment birikmesi sonucu ortaya çıkan “tıkanma” olayıdır [25]. Sızdırma suyunun, öncesinde bir fiziksel arıtmadan geçirilmesi bu sorunu büyük oranda hafifletir.

Sızdırma Havuzları (Infiltration Ponds)

Eşanlamlı Terimler: Sızdırma havzası (Infiltration basin), Tutma havuzu (Retention pond), Islak havuz (Wet pond), Yayma havzası, (Spreading basin)

Açıklama: Sızdırma havuzları; yüzeyde set benzeri duvara benzer yükseltilerle çevrelenerek ya da doğrudan kazılarak oluşturulmuş havuzlardır. Havuza getirilerek burada biriktirilen su, havuzun tabanından ve kısmen de yan çeperlerinden zamanla sızmaya bırakılır [25]. Havuzlar, ani ve şiddetli yağış olan bölgelerdeki kuru derelerin akış hatları üzerinde de inşa edilebilir. Bu durumda yağış sırasında olacak akışın havuzlarda toplanarak yeraltına sızması yanı sıra dolaylı olarak da alt

kotlarda tehlike yaratabilecek bir sel – taşkın riski de belirli oranda azaltılmış olur [28] (Şekil 2-2).



**Şekil 2-2 Sızdırma Havuzları Tekniği (Infiltration Ponds)
Uygulama Taslağı [29]**

Kapasite: Azdan çok fazlaya ($\leq 45 \text{ Mm}^3/\text{y}$) değişebilir [30]. İsrail’de bir güncel araştırma projesi $5.000 \text{ m}^3/\text{s}$ kapasiteli artırılmış deniz suyu sızdıracak şekilde hazırlanmaktadır [31].

Maliyet: İspanya’da yüzeyden yayarak besleme yöntemindeki sızdırma havuzları ve kanalları türünde uygulanan MAR tekniklerinde ortalama maliyet $0,23 \text{ USD}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur [32].

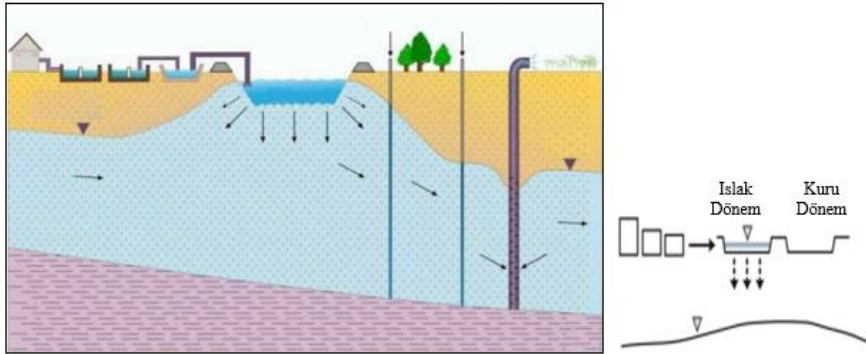
Akifer Tipi: Kumlu konsolide olmamış alüvyon, kumtaşı, karbonatlı akiferler.

Ek Bilgi: Sızdıran ortam içinde tıkanmayı önlemek veya durdurmak, aynı zamanda da sızdırma oranını koruyabilmek için sızdırma havuzlarının bir süre dolu (ıslak) ve bir süre boş (kuru) tutulması gerekmektedir. Eğer havuzlar yağmur suyuyla beslenmek üzere planlanmışsa zaten bu olay otomatikman

gerçekleşecektir. Diğer durumlarda ise daha geniş havzalar daha küçük alt havzalara bölünerek bir plan dahilinde kendi içlerinde de değişecek şekilde bazıları sulu ve bazıları kuru tutulabilir. [27]

Sızdırma havuzlarının şekli de akiferin hidrolojik tepkisini etkilemektedir [27]. Bu bağlamda dairesel ya da dikdörtgene benzer havuz şekilleri farklı koşullar için de uygun görülmektedir.

Sızdırma havuzlarının avantajları arasında, sızdırma sistemini etkileyebilir nitelikteki bakımlarının ve tıkanma ölçümlerinin kolay ve basit olmasıdır [33] [34]. Tekniğin başlıca kısıtlamaları; geniş yüzey alanları gerektirmesi, yüzey sularına özgü olumsuzluklar barındırması ve yüksek buharlaşma potansiyelidir (Şekil 2-3).



Şekil 2-3 Taneli Akifer Arıtımı Tekniği (Soil Aquifer Treatment-SAT) Uygulama Taslağı [29]

Kapasite: SAT tekniğinin kapasitesi, normal atıksu arıtma tesislerinin kapasitesi dikkate alındığında göreceli olarak düşüktür ve buna karşı arazi kullanım gereksinimleri büyük olabilir [27]. Dünya'daki en büyük SAT uygulamalarından biri İsrail'dedir ve sızdırma kapasitesi 110 – 130 Mm³/y'dır [35].

Maliyet: SAT teknikleri göreceli olarak basit ve düşük maliyetli bir su arıtma sistemi oluşturur [27].

Akifer Tipi: Kumlu konsolide olmamış alüvyon, kumtaşı, karbonatlı akiferler.

Ek Bilgi: Sızdırmayla ilgili olarak normal sızdırma havuzları tekniğiyle aynı avantaj ve kısıtlamaları taşır.

Taşıрма, Sellendirme (Flooding)

Eşanlamlı Terimler: Sızdırma alanları (Infiltration fields)

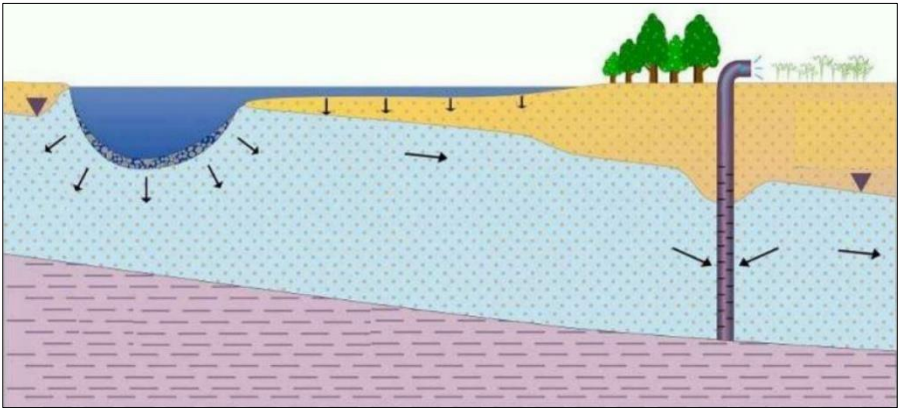
Açıklama: Sızdırılacak su, düşük akış hızlı ince bir katman halinde yüzeyde yayılır [25].

Kapasite: Veri yoktur.

Maliyet: Taşıрма, sellendirme tekniği en düşük maliyetli MAR uygulamasıdır [26].

Akifer Tipi: Kumlu konsolide olmamış alüvyon, kumtaşı, karbonatlı akiferler.

Ek Bilgi: Kısıtlamaları; geniş yüzey alanları gerektirmesi, yüzey sularına özgü olumsuzluklar barındırması ve yüksek buharlaşma potansiyelidir [33], [34] (Şekil 2-4).



Şekil 2-4 Taşıрма, Sellendirme Tekniği (Flooding) Uygulama Taslağı [29]

Sızdırma Arkı, Karıkı ve Drenleri (Ditches, Furrow, and Drains)

Eşanlamalı Terimler: Sızdırma kanalları (Infiltration channels), Kanal sızdırması (Channel infiltration), Ters drenaj (Reverse drainage), Hendekler (Trenches), Sızdırma çukurları (Soakaways), Sızdırma galerisi (Infiltration gallery) (Şekil 2-5).



Şekil 2-5 Sızdırma Arkı, Karıkı ve Drenleri Tekniği (Ditches, Furrow, and Drains) Uygulama Taslağı

Açıklama: Su; sık ve yakın aralıklı oluşturulmuş arklar – karıklar – drenler – hendeklerle dağıtılır. Arklar – hendekler, su akış hızını düşürerek sızmayı arttıracak iri çakıllarla da doldurulabilir [25]. Ayrıca, zemine su sızdırmayı mümkün kılacak şekilde filtreli drenaj borularından da yararlanılabilir. Hendekler, genellikle kontrol setleri ve "engeller ve sınırlar" ile ayrılarak bütünleştirilir [28].

Kapasite: Veri yoktur.

Maliyet: 0,1-0,3 USD/m³ [33].

Akifer Tipi: Kumlu konsolide olmamış alüvyon, kumtaşı, karbonatlı akiferler.

Ek Bilgi: Arkların – hendeklerin bir avantajı, dikey çeperleri daha büyük bir ıslanma alanı oluşturduğundan, düz yüzeylerden olana göre daha fazla suyun sızdırabilmesidir [27]. Dikey çeperler ayrıca, tortular bu tür yüzeylerde iyi tutunamadığından tıkanma ile ilgili daha az sorun yaratır.

Drenlerle besleme yapılmasında ortaya çıkan bir avantaj, arazi kullanımına müdahale edilmemesidir [33], [34]. Bununla birlikte arklar, arazi kullanımına müdahale edebilir ve yüzey sularının olası olumsuzluk potansiyelini taşıyabilir.

Şirketlerce ayrıca diğer materyallerle doldurulmuş hendek sistemleri de tasarlamıştır. Tüm bunlar dışında, tuzlu su girişi olan bölgelerde tuzlu suyun kılcal yükselimini önlemek için toplayıcı drenler ve dere üst kotlarından sızdırmalar kontrollü drenajın iyi örnekleridir [36].

Aşırı Sulama (Excess Irrigation)

Eşanlamlı Terimler: Bulunmamaktadır.

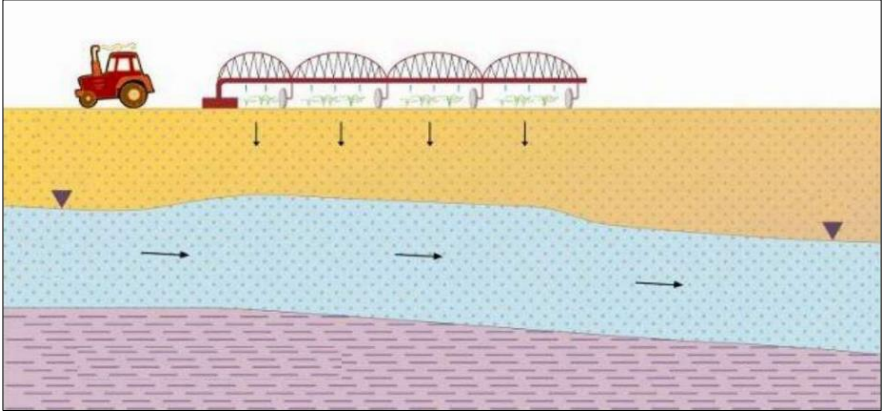
Açıklama: Bu teknikte, bitki kök bölgesini doyurmak için gerekenden daha fazla miktarda sulama suyunun ortama verilmesi amaçlanmıştır [25]. Aşırı sulama suyu doymayan zonun doymuş duruma getirilmesi sonrasında akifere sızacaktır (Şekil 2-6).

Kapasite: Veri yoktur.

Maliyet: Veri yoktur.

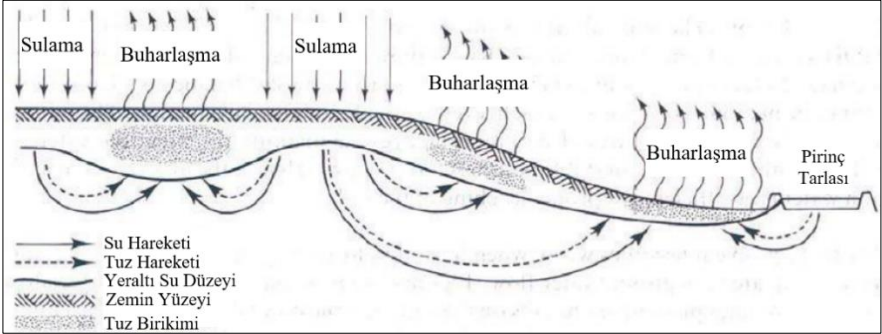
Akifer Tipi: Kumlu konsolide olmamış alüvyon, kumtaşı, karbonatlı akiferler.

Ek Bilgi: Akiferler için ana tehlike, zeminden akifere süzülmeyle geçen tuz liçidir [37]. Tuz liçi, artan miktarıyla orantılı bir şekilde akiferin su kalitesini bozabilir. Bu olayla ilgili olarak, aşırı sulamalı tarım için iki iyi bilinen olgu vardır ki bunlar su basması ve tuzlanmadır.



Şekil 2-6 Aşırı Sulama Tekniği (Excess Irrigation) Uygulama Taslağı [29]

Tarımcılıkta su basması olgusu, yeraltı su düzeyinin ürün yetişmesi için gerekenden daha yüksek bir seviyede yer almasıdır. Su basması, topraktaki tuzların sızmasını önleyerek toprakta tuz birikimine neden olabilir. Diğer taraftan, izleyen şekilde de görüleceği gibi (Şekil 2-7), yeraltı suyu akışıyla zeminde tuzlanma da gelişebilir [28].



Şekil 2-7 Aşırı sulamaya bağlı yeraltı suyunda tuzlanma

2.3.3.3. Kuyulara enjeksiyon

Enjeksiyon kuyuları kullanılarak yeraltı suyunun beslenmesi için vadoz bölgesine ya da doğrudan akifer içine enjeksiyon yöntemi kullanılabilir. Her enjeksiyon yönteminin kendine özgü

uygulanabilirliği ve gereksinimleri vardır. Bunlar, kaynak suyunun yeri, miktarı ve kalitesi ile vadoz bölgesi ve hedef akiferlerin hidrojeolojisine göre değişir. Doğrudan enjeksiyon kuyularıyla vadoz zon enjeksiyonu daha pahalı olmakla birlikte, suyun enjekte edildiği yerin kontrolü, kayıp suyla ilişkili riskleri en aza indirir. Doğrudan enjeksiyon kuyuları da kirlenmeyi azaltan ve kuyuların ömrünü uzatan temizlenebilir ve yeniden geliştirilebilir. Vadose zon enjeksiyon en maliyeti yöntemlerdendir, ancak sınırlı bir ömrü vardır ve periyodik olarak değiştirilmelidir. Doğrudan enjeksiyon kuyuları daha maliyetlidir, daha uzun bir ömür için korunabilir ve suyun hedefe yönelik akifer içine doğrudan ve hızlı bir şekilde yeniden doldurulmasına izin verebilir.

Bu yöntemlerle su, yüzeyden akifer içine daha derinlerde sızdırılır. En başta gelen teknik, suyun akifer içine doğrudan verildiği derin kuyu sızdırması türünde olandır [27]. Genellikle bunun nedeni kil katmanı gibi bir geçirimsiz katmanın akiferi örtmesidir. Yöntemin AS(T)R teknikleri yerçekimi veya basınç etkisi altında gerçekleştirilir [25].

Delgilerle besleme yöntemlerini oluşturan MAR teknikleri, özel hidrojeolojik koşullar taşıyan bölgeler için tercih edilir. Bu koşullar aşağıdaki gibi özetlenebilir [25].

- * Akifer üzerinde düşük geçirimliliğe sahip bir katmanın bulunduğu yerler,
- * Basınçlı akiferler,
- * Yeraltı su düzeyinin yüzeyden çok derinde olduğu bölgeler,
- * Yüzeyden sızdırmanın yüksek buharlaşma kayıplarına uğradığı alanlar

Yanal akışın sınırlanmadığı durumlarda, yatay akım engellerinin kullanılması basınçlı bir akifer sistemi yaratılması bağlamında bir

2.34

seçenek olabilir. Hidrojeoloji dışında bir diğerk koşul da arazi uygunluğuyla ilgilidir. Yüzeyden sızdırmanın arazi koşulları nedeniyle fizibil olmadığı bölgelerde, örneğink kirlenmiş alanlarda veya yüksek arazi maliyetli yerlerde delgilerle besleme yöntemleri tercih edilir [25].

Yöntemlerin en önemli dezavantajı; mekanik, gaz-hava tutulması, kimyasal çökeltme ve biyolojik büyüme nedeniyle ortamda oluşabilecek tıkanmadır. Bu işlevler boşlukları dolgular ve böylece hidrolik iletkenliğı düşürür [38]. Bu nedenle, besleme amaçlı kullanılacak su; uygun kalitede ve tercihen doğal akifer suyu kalitesine yakın olmalıdır [25]. Su kalitesinin uygunluğu yanı sıra enjeksiyon kuyularının performansını belirleyen diğerk etmenler, tasarım ve işletme ile gerekebilecek bir rehabilitasyon programıdır. Delgilerle besleme yöntemleri için kurumsal engel mevcut düzenlemelerdir. Bunlar genellikle yüzeyden sızdırma yöntemlerine göre çok daha katı bulunmaktadır [25].

Derin Kuyu Enjeksiyonu Teknikleri (Deep Well Injection)

ASR, depolama için yeraltı oluşumuna enjekte edilen suyun geri kazanılmasını sağlar. ASR, talebin düşük olduğu ıslak mevsimde depolamaya ve talebin yüksek olduğu kuru dönemlerde suyun geri kazanılmasına olanak sağlayarak, talep edilen su deposunu sağlamak, arz ve talepte mevsimsel dalgalanmaları en aza indirmek için etkili bir yönetim aracı olabilir. Bir ASR sisteminin potansiyel depolama hacmi esasen sınırsız olduğu için, bu sistemlerin geleneksel, tasarlanmış depolama tekniklerinin eksikliklerine bir çözüm sunması beklenmektedir. ABD'de, geri kazanılmış su ASR projeleri şu anda Arizona, Florida ve Teksas'ta faaliyet göstermektedir [39], [40]. ASR sistemleri Avustralya'da da bulunmaktadır [1].

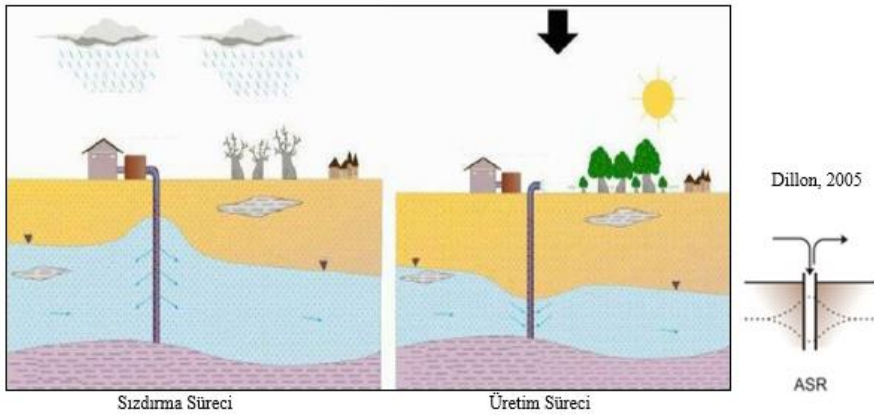
Akifer Besleme – Üretim (Aquifer Storage and Recovery – ASR):

Eşanlımlı Terimler: Bazı çalışmalarda akifer besleme ve çekiminin herhangi bir yöntemi olarak belirtilmekle birlikte

“ASR” bir “kuyu sızdırma (well infiltration)” tekniği olarak tanımlanmıştır (Şekil 2-8) [27].

Açıklama: Bu teknikle su “aynı” kuyudan enjekte edilir ve çekilir [27].

Kapasite: Besleme suyu olarak yağmur sularını kullanan Avustralya, Parafielde’deki bir ASR sistemi, $2,1 \text{ Mm}^3/\text{y}$ ’a kadar su üretebilmektedir [33]. Enjeksiyon oranı 35 l/sn ve yağmur suyu havzası 1600 ha büyüklüktedir.



Şekil 2-8 Akifer Besleme – Üretim Tekniği (Aquifer Storage and Recovery – ASR) Uygulama Taslağı [30]

Akifer Tipi: Kireçtaşı ve genellikle derin ve kil örtülü akiferler.

Maliyet: ASR, göreceli pahalı bir MAR tekniğidir. Ancak sadece tek kuyu gerektirdiğinden AS(TR)’den daha düşük maliyetlidir [32], [25]. Bununla birlikte m^3 başına depolama maliyeti genellikle yüzeyde depolamadan daha düşüktür. Parafielde ASR sisteminde açılan 160 – 180 m derinlikteki kuyulu ASR maliyeti, 2,9 milyon USD’dir. ASR maliyeti, İspanya için ise Tablo 2-1’deki gibidir [32].

Ek Bilgi: Dünya’daki çoğu ASR kuyusu mevsimlik depolama yapar ve bu nedenle aşırı yağışlı ve kurak bölgeler için iyi sonuçlar verir. ASR tekniğinin performansı, esas olarak hidrojeolojik koşullara bağlıdır [25].

Tablo 2-1 İspanya'da ASR maliyetleri

Kuyu Derinliği (m)	Yatırım Maliyeti (USD)	Hizmet Süreci Maliyeti (USD/m ³)
50	192.900	0,26
500	648.500	0,65

ASR tekniğinin birçok avantajından söz edilebilir. Yüzeyde depolamaya göre ASR'de; gerekli arazi büyüklüğü, buharlaşma kayıpları ve kirlenme, neredeyse karşılaştırılamayacak kadar azdır.

ASR'nin ana dezavantajı ise akiferde depolanmış suyun düşük miktarda üretilebilir oluşudur [25]. Ayrıca, esas hedef üretim olduğunda, ASR tekniği, su kuyudan hızla uzaklaşacağı için yüksek hidrolik eğimli akiferler içinde uygulanmamalıdır. Aksi halde üretilen su miktarı çok düşük olur. En kısıtlayıcı etmenler ise karmaşık tasarım, karmaşık işletme ve bakım çalışmaları (O&M), kuyu çeperlerinde yüksek tıkanma potansiyeli ve yakın izleme gerektirmesidir [33], [41], [34].

ABD'de uygulanan ASR tekniği sayısında büyük artış görülmektedir. Öyle ki açılan ASR kuyularının sayısı 1999 ve 2009 arasında dört kat artarak 2009'da yaklaşık 1200'ü bulmuştur [42].

Akifer Besleme ve Uzak Üretim (Aquifer Storage Transfer and Recovery – AS(TR):

Eşanlamlı Terimler: Bulunmamaktadır.

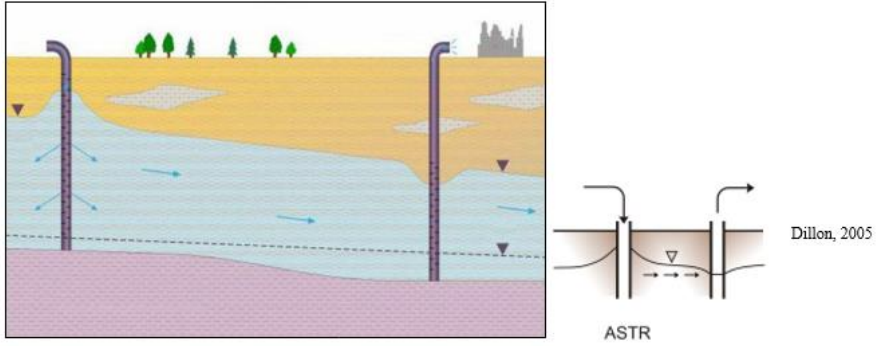
Açıklama: Bu teknik, belirli bir noktada bir kuyu ile su enjekte etmek ve bu enjeksiyon kuyusundan çok uzakta olmayan bir başka kuyudan su çekmek şeklinde uygulanır (Şekil 2-9).

Kapasite: Veri yoktur.

Maliyet: İki kuyu gerektiğinden ASR'ye göre daha maliyetlidir ve sistemin yakın izlenmesi zorunludur [25].

Akifer Tipi: Kireçtaşı ve genellikle derin ve kil örtülü akiferler.

Ek Bilgi: Bir AS(TR) projesinin planlanmasında “izleme”, sızdırma ve üretim oranlarıyla ilişkili olarak vazgeçilmez ana unsurdur [25].



Şekil 2-9 Akifer Besleme ve Uzak Üretim Tekniği (Aquifer Storage Transfer and Recovery - AS(TR) Uygulama Taslağı [29]

Sığ Kuyu, Şaft, Çukur Sızdırması Teknikleri (Shallow Borehole – Well, Shaft, Pit Infiltration)

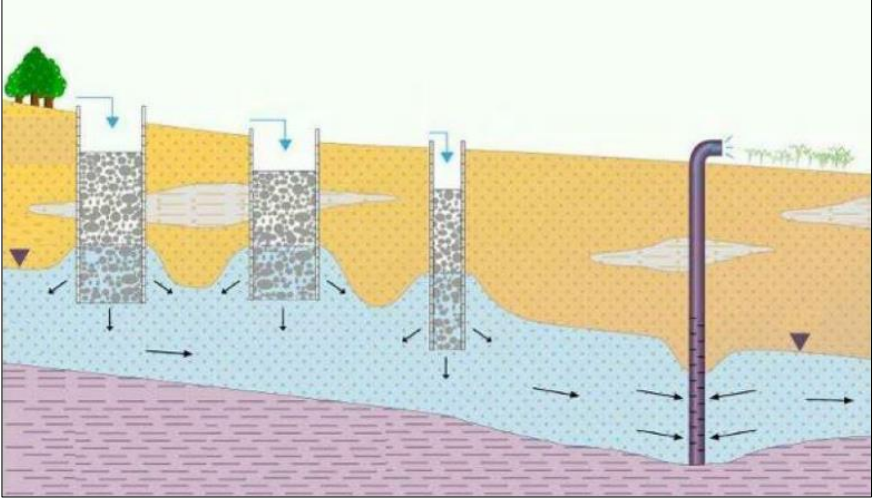
Eşanlamlı Terimler: Bulunmamaktadır.

Açıklama: Sığ kuyular suyu sığ akiferlere ve sığ basınçlı akiferlere sızdırır. Yeraltı su düzeyi üzerindeki besleme bölgesi bilindiği gibi vadoz su besleme zonu olup, bu nedenle su akifer içine doğrudan sızmaz [27] (Şekil 2-10).

Kapasite: Veri yoktur.

Maliyet: 0,1-0,3 USD/m³ ve her zaman için derin kuyulardan daha düşük maliyetli [27]; [33].

Akifer Tipi: Kireçtaşı

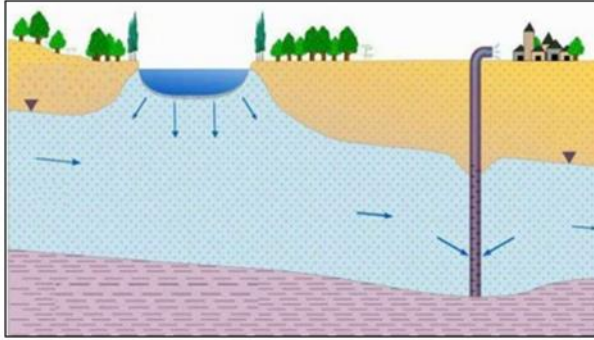


Şekil 2-10 Sığ Kuyu, Şaft, Çukur Sızdırması Teknikleri (Shallow Borehole – Well, Shaft, Pit Infiltration) Uygulama Taslağı [29]

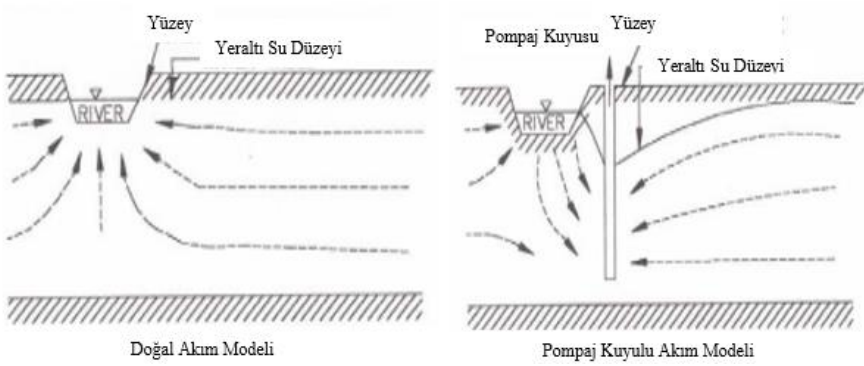
Ek Bilgi: Vadoz zon beslemesi esas olarak yağmur suyu uzaklaştırması amaçlanarak kullanılır. Sığ kuyulardan sızdırmanın ana amaçları ve nedenleri; suyun akifere ulaşım süresini uzatarak su kalitesini iyileştiren bir tampon zon görevi üstlenen doygun olmayan bir vadoz zonun varlığına bağlı olarak besleme suyunun daha düşük kaliteli olabilmesidir. Ancak, ortamsal tıkanma olasılığı derin kuyulara göre daha yüksektir ve iyileştirilmesi de daha güçtür [25].

2.3.3.4. Etkilenen Islak Yüzey Sızdırmasıyla Besleme Yöntemi (Induced Bank Filtration)

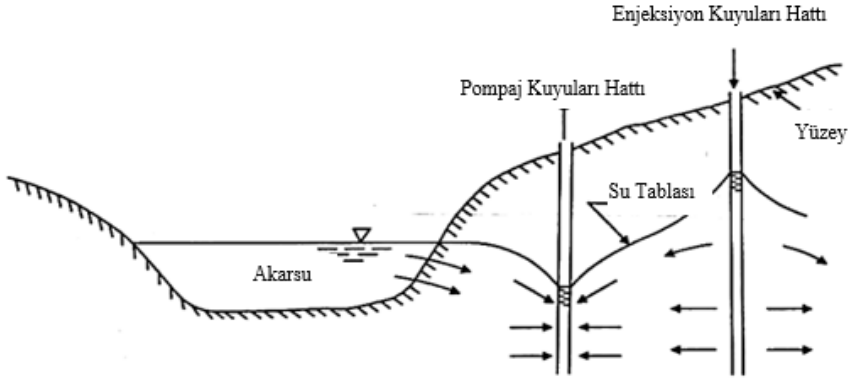
Eşanlamlı Terimler: Dere kenarı sızdırması (River bank filtration), Göl kenarı sızdırması (Lake bank filtration).



Şekil 2-11 Etkilenen Islak Yüzey Sızdırması Tekniği (Induced Bank Filtration)



Şekil 2-12 Pompaj Kuyulu “Etkilenen Islak Yüzey Sızdırmasıyla Besleme” Yöntemi



Şekil 2-13 Pompaj ve Enjeksiyon Kuyulu “Etkilenen Islak Yüzey Sızdırmasıyla Besleme” Yöntemi

Açıklama: Bu teknikle, yüzey suyu kütlelerine yakın yerlerde üretim kuyuları açılması ve göl veya dere kenarlarındaki su basıncını ya da yeraltı su düzeyini düşürerek su kütlesi ile üretim kuyusu arasında kalan kesimde akifer içine doğru bir su hareketi sağlanır.

Kapasite: Budapeşte için içme suyunun %40'ını temin eden Macaristan'da Danube'deki Csepsel Island Bank sızdırma sisteminin sızdırma kapasitesi $146 \text{ Mm}^3/\text{y}$ 'dır [33]. Bir çok çalışma, tekniğin çeşitli örneklerden de görülen yüksek kapasitesini ana avantajı olarak değerlendirmektedir [33], [41], [34].

Maliyet: Diğer MAR teknikleriyle karşılaştırılsa, maliyeti göreceli olarak yüksektir. Bununla beraber, örneğin Almanya'da, diğer içme suyu temin yöntemleriyle karşılaştırıldığında da maliyetin “orta” mertebede bulunduğu söylenebilir [41].

Akifer Tipi: Konsolide olmamış kum.

Ek Bilgi: Kısıtlamalarını; karmaşık tasarımı, karmaşık işletme ve bakım çalışmaları (O&M), kuyu çeperlerinde yüksek tıkanma potansiyeli ve yakın izleme gerektirmesi oluşturur [28].

2.3.3.5. *Suyun Tutulmasına Yönelik MAR Teknikleri*

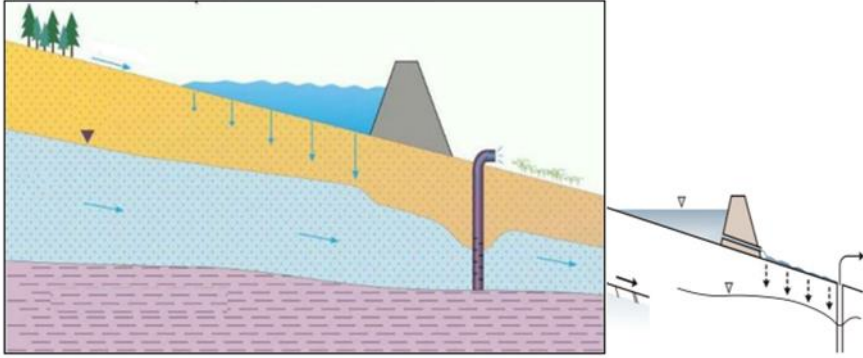
Bu MAR teknikleri, grup adlandırılmasından da anlaşılacağı üzere doğal veya antropojenik kaynaklı bir suyun yüzeyde veya yeraltında tutularak ortamın beslenmesine yöneliktir. İlgili ana teknikler yanı sıra birkaç özel yan teknik bu bölümde açıklanmıştır.

Tutma Yapılarıyla Besleme Yöntemleri (In-channel Modifications)

Tutma yapılarıyla besleme yöntemleri, doğal ve antropojenik kökenli su varlığını yerüstünde veya yeraltında depolayarak akiferin beslemesi yapmayı amaçlar. Aynı zamanda yağış sularını depolamanın büyük ölçekli bir türüdür [25]. Özellikle sellenme ve taşkın olaylarına karşı kullanılan bu türler doğal akifer besleme işlevlerinin güçlendirilmesiyle de MAR tekniklerine dönüşür. Bu bağlamda çok çeşitli yerüstü – yeraltı yapıları inşa edilebilir.

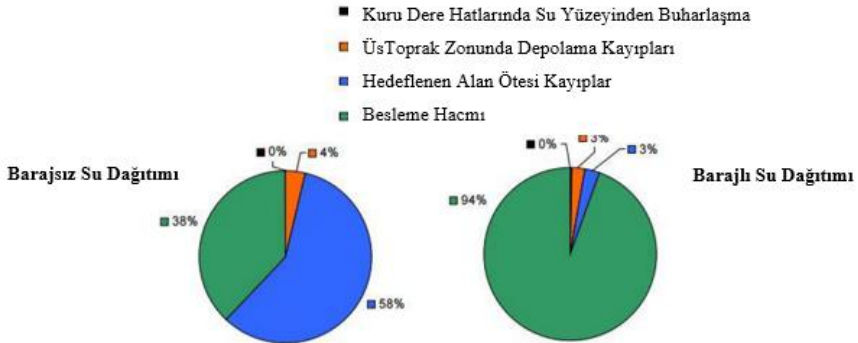
Besleme Barajları (Recharge Dams)

Eşanlamlı Terimler: Eğer besleme barajı küçük, ki bu durumda genellikle topraktan yapılır, ve geçirimli ise “kontrol barajı (check dam)” olarak adlandırılır [43]. Eğer besleme barajı, depolama amacıyla taşkın sularını toplamak için geçici akışlı derelerde (kuru dereler) yapılmışsa “kuru dere barajı (wadi dam)” adını alır [25]. Bu tür su toplama yapıları “gabiyon (gabion)” olarak bilinen taş dolu metal sepetler kullanılarak yapılır [44] (Şekil 2-14).



Şekil 2-14 Besleme Barajı Tekniği (Recharge Dams) Uygulama Taslağı [29]

Açıklama: Besleme barajları aynı diğer barajlar gibidir, ancak baraj rezervuarı bir sızdırma havuzu görevi üstlenmiştir. Su, ayrıca mansaptaki nehir yatağında da sızdırma sağlamak amacıyla borularla dağıtılabilir [25] (Şekil 2-15).



Şekil 2-15 Akifer besleme barajlarının besleme verimliliği

Kapasite: Hindistan'ın Gujarat bölgesindeki Kontrol barajları 6.400 – 27.600 m³ kapasitelidir [43]. Yine Hindistan'daki çeşitli kontrol barajı projelerinde, doğal beslemenin %2 – 23'ü kadar beslenmede ayrıca artış sağlanmıştır.

Ürdün'deki Siwaqa barajının sızdırma kapasitesi $9,3 \text{ Mm}^3/\text{y}$ 'dır [35]. Günlük besleme oranı barajın su seviyesine bağlıdır ve 1 m/g'e kadar çıkabilir.

Maliyet: Kuru dere barajları yapımı pahalıdır ve toplam yatırım tutarı 250 milyon ila 1 milyar USD arasında olabilir.

Akifer Tipi: Alüvyon [43].

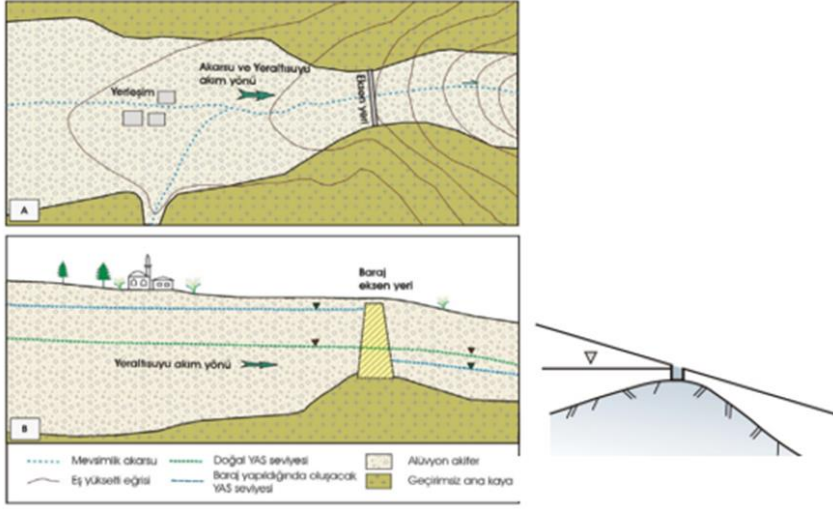
Ek Bilgi: Akifer beslemede küçük barajların ana sorunu, rezervuarlarının zaman içinde sedimentle dolmasıdır (Pereira et al., 2002). Bu durum, arazide erozyon yönetimi ve sedimentle tutucu yapılarla önlenabilir. Ayrıca sözü edilen amaç doğrultusunda “kum barajları” da yapılabilir. Besleme barajlarının “besleme verimliliği” izleyen şekilde gösterilmiştir [45].

Yeraltı Barajları (Subsurface Dams)

Eşanlamlı Terimler: Yeraltı – yüzeyaltı barajları (Underground – subsurface dams), Yeraltı setleri (Sunterranean dikes), yeraltı suyu barajları (Groundwater dams).

Açıklama: Bir MAR tekniği olarak yeraltı barajları, yeraltı setleri, yeraltı suyu barajları hakkında sayısız çalışmadan söz edilebilir [29], [46], [27], [25]. Ancak MAR, bir “akifere sızdırma” olarak algılanmalıdır. Ona göre yeraltı barajları için durum böyle değildir ve suyun ek beslenimi bulunmamaktadır. Bir diğer bakış açısıyla ise yeraltı barajları yapımı sonrasında bir akiferde mevcut su miktarındaki artışın bir yanda yeraltı, diğer yanda yüzeyden sızma şeklinde gerçekleştiği, yani akifere “ek beslenim” olduğu dikkate alınırsa yeraltı barajları da bir MAR tekniği olarak rahatlıkla sayılabilir (Şekil 2-16).

Kapasite: Uygulama alanı eksen uzunluğuna, derinliğine ve ortamsal geçirimliliğe bağlı olarak geniş sınır değerler arasında değişebilir.



Şekil 2-16 Yeraltı Barajı Tekniği (Underground - Subsurface Dam) Uygulama Taslağı (A-Harita, B-Kesit) [47]

Maliyet: Kapasitesine göre maliyet düşük – çok yüksek olabilir.

Akifer Tipi: Alüvyon, kıyasal alanlardaki kaya akiferler

Ek Bilgi: Yeraltı barajlarının ilk uygulamalarında, yeraltındaki “geçirimsizlik perdesi”ni oluşturmak üzere kil, taş, beton ve plastik – çelik levha kullanılmışken günümüzde özellikle yapım amacının önem boyutuna göre daha çok enjeksiyon perdesi, fore kazık ve jet grout gibi pahalı seçenekler mevcuttur.

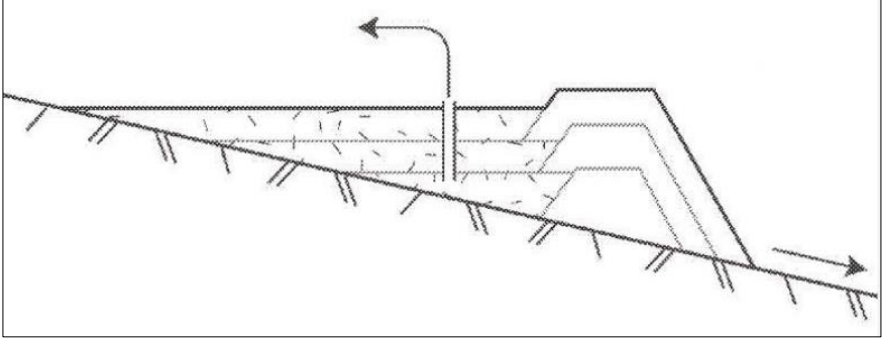
Özellikle hidrojeolojik ortam koşullarının ayrıntılı araştırılmamasıyla yer seçimi yanlışına düşülen yerler, yanlış inşa tekniği ve malzeme kullanımı gibi nedenler yeraltı barajı uygulamalarındaki ana başarısızlık nedenleri olarak görülmektedir.

Kum Barajları (Sand Dams)

Eşanlamlı Terimler: Kapan barajları (Trap dams)

Açıklama: Kum barajları, yeni bir su tutan oluşum (yapay akifer) yaratmak üzere planlanmış yapılardır [27]. Baraj, sedimentleri

gövde gerisinde biriktirerek geçirimli yeni bir zemin katmanı oluşmasını sağlamaktadır. Bu katman, su tutma kapasitesi yüksek olan yapay oluşturulmuş bir akifer niteliği taşımaktadır. Kum barajları çoğun 4 – 6 m yüksekliktedir (Şekil 2-17).



Şekil 2-17 Kum Barajı Tekniği (Sand Dams) Uygulama Taslağı [30]

Kapasite: Kenya örneğinde kum barajlarının depolama kapasitesi 2.000 – 30.000 m³'tür. Etiyopya'daki çalışmalarında yağmur suyu toplama amaçlı kum barajları hakkında sayısal veri sunmuştur [48]. Bu araştırmacılara göre, kum barajı kapasitesi 200 – 2.700 m³ ve ortalama 1000 m³ dür.

Maliyet: Kum barajlarının inşaat maliyetleri düşüktür [25]. Maliyetler, 900 – 45.000 USD ve hizmet süresi maliyet de 0.4 USD/m³ olarak verilmiştir [48].

Akifer Tipi: Kaba kum.

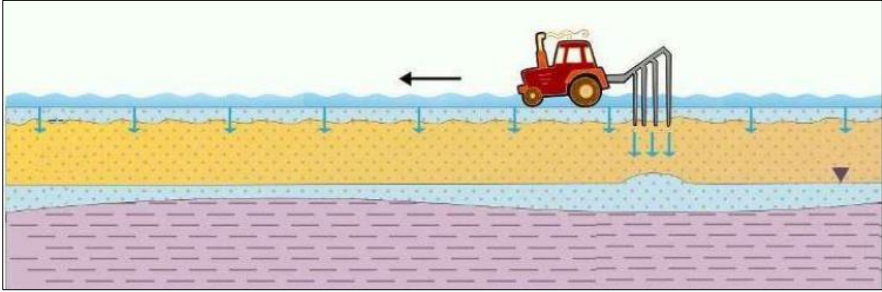
Ek Bilgi: Kum barajlarının avantajları, fazla bir bakım gerektirmemesi ve düşük bir mühendislik düzeyinin yeterli bulunmasıdır. Esas avantajı ise kum barajlarının normal baraj rezervuarlarındaki depolanmanın maruz kaldığı buharlaşma kayıplarını çok büyük oranda yaşamamasıdır [25]. Ayrıca, kum barajlarındaki kumun filtreleme özelliği nedeniyle patojenler doğrudan giderilmektedir.

Bir kum barajı istenilen için en önemli hidrojeolojik koşullar; akarsu genişliği (≤ 25 m), akarsu eğimi (tercihan %2 – 4), akarsu drenaj alanındaki taneli sediment varlığı ve taşkın sırasında bile yeterince yüksek bulunacak akarsu kıyı hattıdır. Ayrıca çeşitli sosyo-ekonomik özellikler de bulunmalıdır. Kum barajları inşaatı, bir kurumun ve bir toplumun ortak taahhüdü gibi halkın kabulünü de gerektirir. Esas olarak küçük ölçekli su depolamanın ve üretiminin yeterli olduğu küçük köyler için tercih edilirler [25].

Kanal Düzenleme (Channel Spreading - Widening)

Eşanlamlı Terimler: Nehir yatağı kazınması (Riverbed scarification), Kanal yayma (Channel spreading)

Açıklama: Kanalda yayma ile ıslak yüzeyini arttıracak şekilde bir akarsu genişletilir veya taranır. Böylece akarsuyun sızdırma kapasitesi arttırılmaya çalışılır. Taramanın bir tipi, akarsu yatağının kazılarak taranmasıdır. Bu şekilde akarsu yatağındaki geçirimsiz zonlar kazınarak alınır ve yataktan olacak besleme arttırılır [46] (Şekil 2-18).



Şekil 2-18 Kanal Düzenleme Tekniği (Channel Spreading - Widening) Uygulama Taslağı - Yatak Kazınması [29]

Kapasite: Veri yoktur.

Maliyet: Veri yoktur.

Akifer Tipi: -

Ek Bilgi: Bulunmamaktadır.

Yüzey Akışı Toplamayla Besleme Yöntemleri (Runoff Harvesting)

Yüzey akışı toplamayla besleme yöntemleri, özellikle yağış sonrası topoğrafik yüzeyde görülen yüzey akışını, topoğrafik eğim doğrultusuna dik uzanımlı tümsek hatlar arkasında ya da çukur hatlar içinde sonlandırarak yeraltını beslemeyi amaçlar. Bir şekilde yağış sonrası oluşabilecek yüzeysel sellenme akışlarının ve buna bağlı erozyonun da önleyicisidir.

Set ve Engel Oluşturma (Barriers and Bunds)

Eşanlamlı Terimler: Kontur engelleri (Contour bunds).

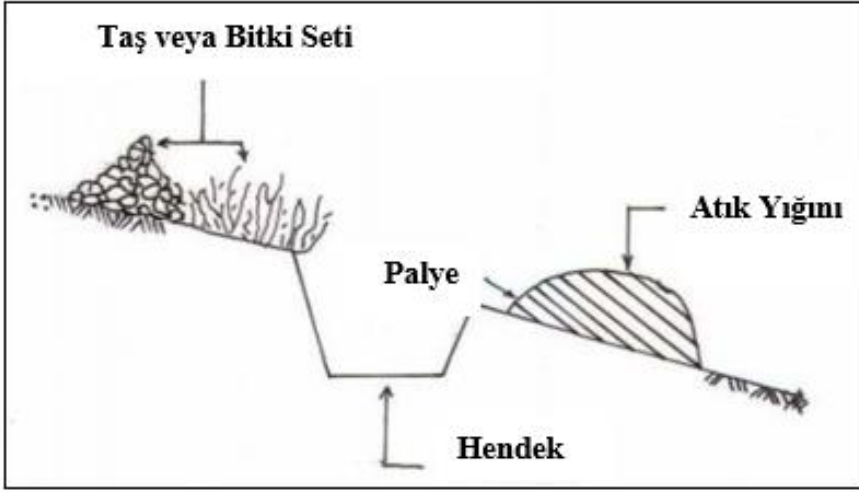
Açıklama: Bu teknik, yüzey akışını engelleyen, akış hızını düşüren, suyun yüzeyde çok daha uzun süre kalmasına ve böylece zemin içine su sızmasına olanak yaratan, topoğrafik eğim doğrultusuna dik uzanımlı taş ve bitki yığılı hatlar türünde basit yapılarla uygulanır [25] (Şekil 2-19, Şekil 2-20).

Kapasite: Göreceli olarak küçük miktarlar [33], [34].

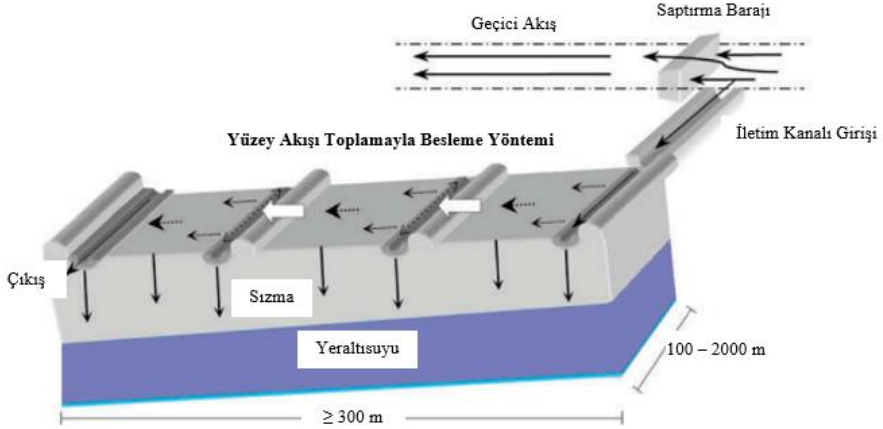
Maliyet: 0,1 – 0,3 USD/m³ [33].

Akifer Tipi: Kumlu konsolide olmamış alüvyon yelpazesi – konisi, yamaç molozu

Ek Bilgi: Bölge yağışı tercihen 1000 mm/y'dan daha düşük olmalıdır [26]. Ana avantajları; basit tasarımları, düşük işletme ve bakım giderleri ile kolaylığı, ayrıca bitkilendirme erozyon önleme kapasitesi taşmasıdır.



Şekil 2-19 Set ve Engel Oluşturma Tekniği (Barriers and Bunds) Uygulama Taslağı – Hendekli [49]



Şekil 2-20 Üç Bölge Bir “Set ve Engel Oluşturma” Tekniğiyle Akifer Besleme Taslağı (Bölgelerin ve tüm sistemin boyutları, uzunluklar büyük eğimde daha az, küçük eğimde daha çok olacak şekilde yamaç eğimine bağlı olarak belirlenmiştir.) [50]

Hendek Oluşturma (Trenches)

Eşanlamalı Terimler: Drenaj kanalı (Drainage channel), Çevirme hendeği (Derivation trench), Saptırma hendeği (Diversion ditch).

Açıklama: Bu teknik, yüzey akışını engelleyen, akış hızını düşüren, suyun yüzeyde çok daha uzun süre kalmasına ve böylece zemin içine su sızmasına olanak yaratan, topoğrafik eğim doğrutusuna dik uzanımlı kanala benzer çukur hatlar türünde basit yapılarla uygulanır (Şekil 2-21).

Kapasite: Göreceli olarak küçük miktarlar.

Maliyet: Veri yoktur.

Akifer Tipi: Kumlu konsolide olmamış alüvyon yelpazesi – konisi, yamaç molozu

Ek Bilgi: Ana avantajları; basit tasarımları, düşük işletme ve bakım giderleri ile kolaylığı, ayrıca bitkilendirme ve erozyon önleme kapasitesi taşmasıdır.



Şekil 2-21 Hendek Oluşturma Tekniği (Trenches) Uygulaması – Islak Cephesi Taş Kaplamalı [51]

2.3.3.6. Geri kazanılmış su kaynaklarının takviye edilmesi

Sulama için geri kazanılan suyun kullanımını en üst düzeye çıkarmak için bir başka seçenek de geri kazanılmış su akışlarını yeraltı suyu veya yerüstü suyu gibi diğer kaynaklarla desteklemektir. İzin verilen yerlerde ilave kaynakların kullanımı ile talep edilen geri kazanılmış su debisinin karşılanamadığı dönemlerde aradaki açığı kapatabilir. Bu uygulama Philadelphia'da Cape Coral Bölgesi'nde uygulanmaktadır. Şehir içinde 400 mil uzunluğunda kanal sistemi bulunmakta ve bunun 295 millik kısmı tatlı su ve 105 millik kısmı ise acı sudur. Ayrıca kanal sistemi üzerinde akışı kontrol etmek üzere 27 adet su kontrol yapısı bulunmaktadır. Bu kanal sisteminden gelen ilave su, 1990'ların başından beri, geri kazanılan su temini ve talepler arasındaki uçurumu kapatmak için kullanılmıştır. Bugün, Cape Coral'ın yenilenen su programı sulama için yaklaşık 38.000 konuta geri kazanılmış su sağlamaktadır.

2.3.4. Kullanılmış su geri kazanım sistemlerinin işletilmesi

Halk sağlığını korumak ve müşteri memnuniyetini ve güvenini arttırmak için, amaçlanan nihai kullanımlar için güvenli ve uygun kalitede su, kaynak suyundan bağımsız olarak güvenilir bir şekilde üretilmeli ve dağıtılmalıdır. Su geri kazanım sistemlerinin işletilmesinde değerlendirilen konular aşağıda alt başlıklar halinde sunulmuştur.

2.3.4.1. Geri kazanılmış sularda kalite kontrol

Kullanılmış su arıtma tesislerinde olduğu gibi geri kazanım tesislerinde de benzer yüksek bir güvenilirlik standardı gerekmektedir. Bir kullanılmış su sisteminin ve ayrı ayrı tüm bileşenlerinin güvenilirliğini iyileştirmek için bir dizi tasarımsal ve tasarım dışı hükümler uygulanabilmektedir. Geri kazanım tesislerinde yedek sistemler; güç kaynağı, bireysel arıtma

üniteleri, mekanik ekipman, bakım programı ve işletme personeli de dahil olmak üzere hayati önem taşıyan parçaların arızalanması durumunda güvenilirliğin sağlanmasında önemlidir. Arıtmada dikkate alınması gereken faktörler ise;

Tasarımsal faktörler;

- Yedekli güç kaynağı sistemi kullanılması
- Temel tesis elemanları için kondansatörlerin kullanılması
- Çoklu proses üniteleri ve ekipmanları kullanılması
- Taşma durumunda suyun depolanmasının sağlanması için tanklar, depolar ve rezervuarlar tasarlanması ve suyun geri pompalanmasının sağlanması
- Acil şartlarda akışların yeniden yönlendirilmesine izin vermek için boru ve pompa tesislerinin esnek olması
- Çift klorlama sistemi tasarlanması
- Otomatik bakiye klor analizörleri kullanılması
- Proses işlemlerinin performansının ve proses arızalarının çevrimiçi olarak izlenmesi için cihaz ve kontrol sistemlerinin tasarlanması
- Geri kazanılmış su arzının kullanıcı taleplerini karşılayacak şekilde olması için ek dengeleme veya depolama yapılarının tasarlanması

Diğer faktörler;

- Güvenirlilik ve gerçekleştirilebilir olduğunu gösteren ön proje, planlama ve teknik raporların hazırlanması
- Etkili izleme programlarının bulunması
- Etkili bakım-onarım ve proses kontrolü programlarının bulunması
- Geri kazanılmış su sistemlerinin işletilmesi konusuna hakim personel bulundurulması
- Numune alma, örnekleme ve analizleri gerçekleştirmek için kapsamlı prosedürlerin oluşturulması

- Güvenilir üretim ve geri kazanılan suyun teslim edilmesini sağlamak için işletme personelinin sorumluluklarını ve görevlerini tanımlayan kapsamlı bir operasyon protokolü hazırlanması
- Sıkı bir endüstriyel ön hazırlık programı ve tehlikeli maddelerin ya da geri kazanılan suyun kullanım amacına müdahale edebilecek diğer materyallerin karışmasını engellemek için kullanılmış su düzenlemelerinin sıkı bir şekilde uygulanmasıdır.

2.3.4.2. Halk sağlığının korunması amacıyla geri kazanılmış su dağıtım sistemlerinin güvenliğinin sağlanması

Geri kazanılmış sular kullanım amacına uygun arıtma teknolojileriyle arıtılmalıdır. Geri kazanılmış sular ister içme suyu amacıyla ister içme suyu amacı dışında olsun ihtiyaç duyulan su kalite standartlarına göre arıtılmalıdır. Uygun su kalitesi gerekliliklerine ek olarak, halk sağlığının korunmasız yeniden kullanımında korunması için diğer önlemler alınmalıdır. Arıtılmış suyun yeniden kullanım için tasarlandığı yerlerde, geri kazanılmış su dağıtım sisteminin tasarım, yapım ve işletimindeki en büyük öncelik çapraz bağlantıların önlenmesidir. Çapraz bağlantı, içme amacıyla su sağlamak için kullanılan içilebilir bir su sistemi ile içilebilir suyun kontamine olabileceği donuk olmayan su içeren herhangi bir kaynak arasında fiziksel bir bağlantıdır. Diğer bir önemli amaç, geri kazanılmış suyun uygunsuz bir şekilde içilebilir su olarak kullanılmasının önlenmesidir. Halk sağlığını en baştan korumak için, geri kazanılmış bir su dağıtım sistemine aşağıdaki koruma önlemleri eşlik etmelidir:

- Halk sağlığının korunması öncelikli bir husustur.
- Tasarım ve inşaat standartları, denetimler ve işletme ve bakım personeli dahil olmak üzere, çapraz bağlantıları ve kötüye kullanımı önlemek için prosedürler ve düzenlemeler belirlenmelidir.

- İçme suyunun, geri kazanılan suyun, kanalizasyon hatlarının ve yapıların tasarım ve inşaat aşamasında fiziksel olarak ayrılması sağlanmalıdır.
- Sistemin tüm içme suyu dışındaki bileşenlerini işaretlemek için tek tip bir sistem geliştirilmelidir.
- Hizmet prosedürleri belirlenmelidir.
- Yeniden kullanım bağlantılarının işletme, bakım, denetim ve onayından sorumlu olacak özel personel ekibi kurulmalı ve eğitilmelidir.
- Rutin izleme ve denetim sağlanmalıdır.
- Proaktif bir halk bilgilendirme programı aracılığıyla uygunsuz ve istenmeyen su kullanımı önlenmelidir.

Dünyanın birçok bölgesinde geri kazanılmış su kullanımı tesisleri ve dağıtım sistemlerinde farklı renk şebeke uygulamaları (mor şebeke), uyarı tabelaları ve bilgilendirme panoları gibi önleyici uygulamalar bulunmaktadır.

2.3.4.3. Yanlış kullanımların ve geri akışların önlenmesi

Geri kazanılmış su sistemlerine yanlışlıkla ve yetkisiz bağlantı yapılmasını önlemek için çeşitli yöntemler kullanılabilir. Bazı uygulama örneklerinde bu sorunun önüne geçilmesi adına vidalı özel bağlantı vanaları kullanılmaktadır. Bu tip ekipmanların içme suyu dağıtım sistemlerinde kullanılmıyor olması, farklı renkte ve malzemelerden yapılmış olması yanlış kullanımlar ve yetkisiz bağlantıların önlenmesini sağlayabilir. Ayrıca geri kazanılmış su dağıtım sistemlerinde insan temasının olabildiğince önlenmesi için hortum önlükleri kullanılmamakta ve bir kilitlenebilir kutu içerisine ya da özel bir donanım kullanılabilmektedir. Kaliforniya'da Irvine Ranch Bölgesi'nde ve Florida'da bu konuda uygulama örnekleri bulunmaktadır.

İçme ve geri kazanılan su hatları arasında çapraz bağlantı olasılığı olduğunda, hem içme suyu hem de geri kazanılan su hizmetleri bir kullanıcıya verildiğinde geri akış önleme cihazları yerinde

kurulmalıdır. Geri akış önleme cihazı, iki sistem yasadışı olarak birbirine bağlanmışsa, geri kazanılan su sisteminden içme suyu sistemine potansiyel geri akışı önlemek için içme suyu servis hattına yerleştirilir. Geri akış önleme cihazları genel olarak aşağıdaki sıralanan işlemleri yerine getirecek şekilde olmalıdır. Bunlar;

- Hava boşluğunun önlenmesi
- Azaltılmış basınç prensibi geri akış önleme tertibatı
- Çift çek valf düzeneği
- Basıncı vakum kırıcı
- Atmosferik vakum kırıcıdır.

2.3.4.4. Geri kazanım sistemlerinin bakımı

Geri kazanılmış su dağıtım sistemlerinin genel bakım gereksinimleri içme suyu dağıtım sistemleriyle benzer şekilde olmaktadır. En başından itibaren, sistemin geniş bir alanı etkilemeden parçalara ayrılmasına izin veren izolasyon vanaları gibi parçalar sistemde tasarlanmalıdır. Çökeltinin birikmesini, sertleşmesini ve gelecekteki ciddi bir bakım problemi haline gelmesini önlemek için inşaat sonrası hattın yıkanması zorunlu olmalıdır. Yeni sistemler, ilk inşaat faaliyetinden geri kazanılan suyun deşarj edilmesine izin verilip verilmediğini veya izinsiz bir deşarj olarak kabul edilip edilmediğini teyit etmelidir. Yıkama suyunun sıhhi bir kanalizasyona geri gönderilmesi gerekebilir ya da ilk yıkamada içme suyunun kullanılması düşünülebilir. Geri alınan bir su tedarikçisi, sorunun düzeltilmesine bağlı olarak herhangi bir rahatsız edici durum için hizmet çekme hakkını saklı tutabilir. Bu haklar genellikle bir kullanıcı sözleşmesinin bir parçası olarak veya yeniden kullanım düzenlemesi olarak belirlenebilir.

2.3.4.5. Su kalitesi izleme sistemleri/programlarının oluşturulması

Su kalitesinin izlenmesi ve izleme programlarının oluşturulmasındaki temel amaç arıtma sisteminin tasarlandığı ve beklenen standartlara uygun şekilde su tedariki yaptığının belirlenmesini sağlamaktır. Su kalitesi ihtiyaçları tehlike analizi ve kritik kontrol noktaları ve su güvenliği planları gibi yönetim sistemleri kullanılarak kontrol altında tutulmalıdır. Bu izleme programları, sistem için belirlenmiş olan düzenleyici ve izin gerekliliklerine dayandırılırken, program sadece ürün suyunu doğrulamak için gereken unsurları değil, aynı zamanda genel üretim verimliliğini ve etkinliğini de desteklemelidir. Su kalitesi yönetim programının yürütülmesi için organizasyonel amaç ve sorumlulukları tanımlayan politikalarla birlikte performans standartlarına ve ölçütlerine sahip olmak, üretilen genel su kalitesinin güçlü bir kamu algısını güçlendirecektir.

2.3.4.6. Sorunların çözümüne yönelik prosedürlerin geliştirilmesi

Sistem arızalarına cevap vermek için iyi tanımlanmış ve sıkı bir şekilde uygulanan bir prosedür geliştirilmelidir. Bu prosedür, normal işletme şartlarına makul bir şekilde mümkün olan en kısa sürede geri dönme prosedürlerini içermelidir. Aynı zamanda sistematik sorunların var olup olmadığını belirlemek için sebep-sonuç analizi ya da başka araştırma tekniklerini içermelidir. Su kalitesi izlemesine ek olarak, sistem bir bütün olarak izleme ve bakım gerektirir. Sistemi izlemek için bir dizi en iyi uygulama şunları içermelidir;

- Geri kazanılmış su tesislerini yöneten ve yüklenicilerin eğitimlerinin yapılması,
- Tesiste yapılan modifikasyon ve değişikliklerin sorumlu olan kuruluşlar ve su arzında bulunan kuruluşlar tarafından onaylanması,

- Geri kazanılmış su sistemlerinde kaçak, kayıp ve arızaların belirlenmesi ve dokümanite edilmesi,
- Yanlış ve yetkisiz kullanımların önüne geçilmesi için anlık denetim prosedürlerinin oluşturulması ve uygulanması,
- Basınç, klor bakiyesi ve diğer su kalitesi parametrelerini test etmek için sistem genelinde izleme istasyonlarının kurulması,
- Toplam sistem kullanımını ve sağlanan suyun mekansal dağılımını doğrulamak için sistem akışının doğru şekilde kaydedilmesidir.

2.3.5. Faaliyette olan diğer sistemlerin incelenmesi

Geri kazanılmış su sistemlerinin büyüklüğünden bağımsız olarak diğer faaliyette olan tesislerin işletiminde karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri konusunda incelemeler yapılması ve buralardan elde edilen iyi uygulamaya ait çıkarımların uygulanması gerekli olabilir. Ayrıca geri kazanılmış su sistemlerinin sınıflandırılması gereklidir.

Büyük geri kazanılmış su sistemleri (büyük sistemler), 10 mgd'den (440 L/sn) daha büyük kapasiteye sahip sistemler olarak tanımlanır. Genel olarak, büyük sistemler önceki yıllarda daha küçük talepleri karşılamak için uygulanan daha küçük, başlangıçtaki başlangıç veya omurga tesislerinden oluşmaktadır. Ancak, ABD'deki birçok mevcut büyük sistem tarafından gösterildiği gibi, bu her zaman böyle olmayabilir. Orta geri kazanılmış su sistemleri (orta sistemler), 1 ila 10 mgd (44 ila 440 L/sn) arasında değişen bir kapasiteye sahip sistemler olarak tanımlanmaktadır. Küçük sistemler ise, 1.500 ila 100.000 gpd (5.6 ila 380 m³ /gün) arasında değişen debileri arıtan tesisler olarak tanımlanırken, küçük topluluk sistemleri 1 mgd'ye (44 L/sn) kadar debileri artırılabilir [1].

2.4. Su Kaynaklarının Korunması ve Alternatif Su Kaynakları

Su kıtlığı, geri kazanılmış su temini ve sistemleri geliştirmenin en önemli itici güçlerinden birini oluşturmaktadır (Demir vd., 2017). Su kaynakları yönetiminin bir parçası olarak, mevcut kaynaklarından yararlanmada alternatif yönetim stratejilerini değerlendirmek gereklidir. Su tasarrufu ve su kaynaklarının korunması, su kaynaklarının yönetiminde en önemli stratejilerinden birini oluşturmaktadır. Bu kapsamda su temininde ise; gri suyun tekrar kullanımı, yağmur suyu toplama (varsa), üretilen su ve diğer yeniden kullanım uygulamaları gibi alternatif su kaynaklarının kullanılması da genel bir yönetim planının parçası olarak düşünülmelidir [1].

Mevcut su kaynaklarının korunması ve su tasarrufu amaç ve hedefleri özellikle su kıtlığı yaşanan bölgelerde su yönetimi planlamalarına dahil edilmelidir [1]. Su koruma programlarını uygulamak için kullanılan katalizörler arasında; sınırlı arz için rekabetin artması, maliyetlerin artması ve yeni arzların geliştirilmesiyle ilgili zorluklar, mevcut altyapıyı zorlayan taleplerin artması ve kaynakların korunması ve çevre yönetimine yönelik artan kamu destekleri bulunabilmektedir [1]. Bazı kuruluşlar su kaynaklarının korunması ve suyun verimli kullanımına yönelik programlar hazırlamakta ve kaynak desteği sağlamaktadır. Günümüzde çok sayıda su kullanıcısı su tasarrufu sağlamak, su kaynaklarını korumak ve maliyet tasarrufları sağlamada su geri kazanımının önemi anlamaya başlamıştır. Bazı geri kazanılmış su kullanıcıları; işletme ve bakım maliyetlerinde azalma, arıtma ve bertaraf maliyetlerinde daha az kimyasal kullanımı, yeni kaynak maliyetlerinin azaltılması, kapasite artışı maliyetlerinin azaltılması ve ortadan kaldırılması gibi avantajlar sağladıklarını belirtmişlerdir [1]. Uygun koruma program bileşenlerini seçmek, müşterilerin su kullanım alışkanlıklarını,

hizmet bölgesi demografik özelliklerini ve hizmet programının su verimliliği hedeflerini belirlemek; su kullanıcılarının eğitimi, ölçüm, kullanılan su hacminde katmanlı oran yapısı kullanılması, sulama verimliliğinin ölçülmesi, belirli zamanlardaki su sınırlamaları, mevsimsel sınırlamalar ve geri kazanılmış su fiyatlarındaki indirimlerin belirlenmesini gerektirebilir [1].

Talep edildiğinde geri kazanılmış su kaynağının verimli ve etkili bir şekilde kullanılması oldukça önemlidir. Ayrıca geri kazanılmış sular talebin düşük olduğu dönemlerde depolanabilir ve talebin yüksek olduğu dönemlerde kullanıcılara su temininde bulunulabilir. Böylelikle geri kazanılmış su kullanımının artırılması sağlanabilir [1].

Geri kazanılmış suların verimli kullanımının sağlanmasına yönelik çeşitli uygulamalar bulunmaktadır. Geri kazanılmış suların sulamada geri kullanılması düşünüldüğü durumda sulama saatlerinin ve günlerinin sınırlandırılması, sulama alanındaki toprağa nem ölçüm cihazları yerleştirilerek aşırı sulamanın önlenmesi sağlanabilir. Florida’da konut, meydan, park ve diğer yeşil alanlar için sulama da dahil olmak üzere, peyzaj sulaması için geri kazanılmış su sağlayan kuruluşlar, kullanıcıların sulama yapacakları gün ve saatleri sınırlandırarak geri kazanılmış suyun verimli bir şekilde kullanılmasını teşvik etmektedir [1].

Bu ilkeler, arıtılmış belediyelerin atıklarından türetilen geri kazanılmış suyun yeniden kullanılmasını vurgulamak amacına yönelik olsa da, geri kazanılmış suya benzer şekilde genellikle kabul edilip yönetilen bir takım alternatif su kaynakları bulunmaktadır [1]. En önemli alternatif su kaynaklarından bazıları ise gri su ve yağmur suyu kullanımıdır [52].

2.4.1.Su tasarrufu

Su koruma hedeflerinin ve programlarının kamu su planlamasıyla bütünleştirilmesi, birçok ülkede topluluklar için

bir öncelik olarak ortaya çıkmaktadır. Su koruma programlarının uygulanmasına yönelik katalizörler arasında kısıtlı tedarik için artan rekabet, yeni arzların geliştirilmesi ile maliyetlerin ve zorlukların artması, mevcut altyapının stresini artıran taleplerin artması ve kaynak koruma ve çevre yönetimi için kamu desteğinin artması yer almaktadır. Su korumasına olan artan ilginin bir sonucu olarak, ABD’de EPA’nın en başarılı ortaklık programlarından biri, su verimliliği sağlayan ürünler ve hizmetler için spesifikasyonlar geliştirerek su verimliliğini destekleyen birimler oluşturulmuştur.

Artan su taleplerini karşılamaya yardımcı olmak için kamu hizmetlerine bir araç olarak korumanın yanı sıra, birçok hizmet kuruluğu, hem kamu hizmeti hem de müşterileri için maliyet tasarrufu sağlamanın bir yolu olarak su korumanın değeri anlamıştır. Birleşik Devletler genelinde, kamu hizmetleri, uzun vadeli su koruma programlarıyla ilişkili ölçülebilir faydalar yaşamıştır:

- Pompalamada daha az enerji kullanımı ve arıtma ve bertarfta daha az kimyasal kullanımdan kaynaklanan işletme ve bakım maliyetlerinde azalma olmuş,
- Yeni kaynaklar geliştirmekten daha ucuz olduğu görülmüş,
- Su sağlayıcılarından indirimli alımlar gerçekleşmiş,
- Kapasite artırımları ve yeni tesis ihtiyaçların önlenmesi veya azaltılması sağlanmıştır.

Uygun koruma programı bileşenlerinin seçilmesi, müşterilerin su kullanım alışkanlıklarının, hizmet alanlarının demografik özelliklerinin ve faydalanıcının su verimliliği hedeflerinin anlaşılmasını içermektedir. Kaynakların korunmasını teşvik eden en etkili uygulamalardan bazıları şunlardır:

- Kullanıcının eğitim seviyesi
- Ölçüm yapılması

- Artan kullanımla artan oransal hacimli yapılarının kullanılması (kademeli olarak artan sistemler)
- Sulama verimliliğinin sağlanması
- Haftalık, günlük veya saatlik kullanım sınırlamalarının yapılması
- Mevsimsel sınırlamalar ve/veya oransal bir temin sistemi kurulması
- Yüksek verimli cihazların kullanılması (dağıtılması veya indirim uygulanması)

Bu nedenlerden dolayı içme suyu kaynaklarının korunması gerektiği açık olsa da, bazı bölgelerde geri kazanılan su bir kaynak olarak görülmemektedir. Aksine bertaraf edilmesi gereken bir atık olarak görülmektedir. Bu yaklaşımla, müşteriler bazen istedikleri zaman istedikleri kadar geri kazanılmış su kullanmaya teşvik edilebilmektedir. Tatlı su kaynaklarının sınırlı ve kıt olduğu ya da geri kazanılan suyun bir mal olarak değerlendirildiği alanlarda, koruma, aynı zamanda yeniden su yönetiminin önemli bir unsuru haline gelmektedir. Sonuç olarak, geri kazanılan su birçok devlet tarafından israf edilmek için çok değerli bir kaynak olarak kabul edilmektedir.

2.4.2. Alternatif su kaynakları

Arıtılmış kullanılmış sular bir alternatif kaynak olarak görülmeye başlanmış olsa da geri kazanılmış suya benzer bir şekilde düşünülen ve yönetilen bir dizi başka alternatif su kaynağı vardır. En önemli alternatif su kaynaklarından bazıları, gri sular ve yağmur sularıdır.

2.4.2.1. Bireysel yerinde geri kullanım sistemleri ve gri suların geri kullanımı

Gri su, tuvalet ve çoğu durumda bulaşık makinesi ve evye kullanılmış suları hariç, arıtılmamış sulardır. Tuvaletlerde kullanılmış sular ise siyah su olarak tanımlanmaktadır. Tuvalet atıklarının hariç tutulması yerinde ve gri su sistemlerinde önemli

bir tasarım faktörü iken, bu durum dışkı maddesinin ve diğer insan atıklarının gri su sistemine girmesini engellemez. Bu tür kirlenmeye örnek olarak, kirli çamaşırları ve/veya çocuk bezlerini temizledikten sonra duş suyu ve banyo suyu ve çamaşır makinesi deşarjı dahildir (Sheikh, 2010). Gri sular küvetlerden, duşlardan, banyo lavabolarından, çamaşır yıkama makinelerinden ve çamaşır küvetlerinden gelen atık suyu içerir, ancak mutfak lavabolarından veya bulaşık makinelerinden gelen atık suyu içermemektedir. Dolayısıyla, bir gri su sistemi için, bir binanın veya ev sahibinin, kirletici maddelerin kaynak kontrolünde olağanüstü bir dikkat göstereceği ve patojen içermeyen gri suyu garanti edeceği varsayılmaktadır. Bu durum, sorgulanabilir bir varsayımdır.

Bu nedenlerden dolayı, gri su kullanımı tartışmalı bir uygulama olmuştur. Bazılarının su kıtlığı, yeraltı suyu tükenmesi, yüzey su kirliliği ve iklim değişikliği için her derde deva olarak görüldüğü halde, gri suyunun kullanımı, kullanıcıların ve komşularının sağlığı ve güvenliği için bir tehdit olarak da görülebilir. Gri su kullanımı gerek arıtıldıktan gerekse arıtılmadan geri kullanılmış olsun halk sağlığı üzerinde çeşitli sağlık riskleri oluşturabilir. Buna yönelik çalışmalar ve örnekler yeterli olmaması bu risklerin olmadığı anlamına gelmemektedir. Bu nedenle ABD başta olmak üzere bazı ülkelerde gri su kullanımı için standart değerler oluşturulmuştur [1].

2.4.2.2. Yerinde arıtım sistemleri

Yerinde arıtım sistemleri daha çok özel sektörün yüksek düzeyde sürdürülebilir kalkınma amacıyla kentsel arıtma yerine bireysel yerinde arıtma sistemlerinin kurulması anlamına gelmektedir. Bu sistemler geri kazanılmış su piyasasında olukça küçük bir paya sahiptir. Bununla birlikte, yeni binalarda ve geliştirmelerde su verimliliğinin artırılması ve mevcut tesislerde büyük değişiklikler yapılması için giderek artan bir role sahiptir.

2.4.2.3. Yağmur suyu hasadı ve kullanımı

Kapsamlı ve sürdürülebilir bütünleşik su yönetimi programları, su baskınları ve erozyonun maliyet etkin bir şekilde kontrol edilmesi gibi, yağmur suyuyla ilgili olanlar da dahil olmak üzere; su kalitesini iyileştirmek, su kaynağının korunması, sürdürülmesi ve yeniden şarj edilmesi, sulak alanların ve sucul ekosistemlerin sağlığını korumak gibi birden fazla hedefi dikkate almalıdır. Yağış genellikle yağmur suyunun yönetilmesinde en önemli faktör olduğu için, yağışların yakalanması ve toplanması ve buna bağlı akarsu, yağmur suyu kullanım faydaları için mevcut fırsatlar sunmaktadır. Bunlar arasında; kentsel ve tarımsal sulama, alternatif su temini, akifer besleme ve tuzlu su giriş engelleri, sulak alanların iyileştirilmesi, düşük (minimum) akış besleme, besleme gazı temizleme, ısıtma havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) ve santral soğutma, yangın söndürme ve tuvalet yıkama gibi alanlar sayılabilir. Ancak, yağmur suyu hasadı, aynı zamanda sel kontrolü için eş zamanlı ihtiyacı destekleyen etkili bir fırtına suyu yakalama ve bekletme (depolama/tutma) aracı gerektirir. Yağmur suyu hasadının en önemli örneklerinden birini Philadelphia Cape Coral'da uygulanan entegre su yönetimi sistemi oluşturmaktadır. Bu bölgede yağmur suları toplanarak geri kazanılmış su ihtiyacının neredeyse tamamı karşılanabilmektedir [1].

2.5. Geri Kazanılmış Su Kullanımında Çevresel Hususlar

Doğal su kaynaklarından aşırı miktarda su çekmek, kullanılmış su deşarjları ve tarımsal alanlardan gelen sular; suda yaşayan ekosistemlerin hidrolojik döngülerini ve besleyici döngü kapasitesini önemli ölçüde değiştirebilir [1]. Suyun geri kullanımı çevre ve ekosistem üzerinde olumlu ve olumsuz etkilere sahip olabilir. Kullanılmış suların geri kazanımı ve geri kullanımı

yüzeysel sulara deşarjın azaltılması ve engellenmesini sağladığından alıcı su ortamlarının su kalitesindeki olumsuz etkileri azaltabilmektedir. Ancak kullanılmış suların geri kazanılması arazi kullanımı, akarsu rejimi ve yeraltı su kalitesi üzerinde de istenmeyen çevresel etkilere neden olabilmektedir [53]. Bu nedenle ulusal ve bölgesel düzenlemelere uygun olarak bir çevresel etki değerlendirmesi yapılması gerekli olabilir [1]. Çevresel etki değerlendirmesinde aşığıda ana başlıklar halinde sunulan etkiler değerlendirilebilir;

- Projenin arazi kullanımında meydana getirebileceği değişiklikler
- Projenin arazi kullanım politikaları ve planlarına uygun olup olmadığı
- Projenin sulak alanlar üzerindeki olumsuz etkileri
- Koruma altındaki ve nesli tükenmekte olan türler üzerindeki etkileri
- Bölgesel yerleşik yapı üzerindeki etkileri
- Projenin taşkın düzeni veya önemli tarımsal alanlar üzerindeki etkileri
- Projenin park, koruma veya doğal, rekreasyonel, arkeolojik veya tarihsel değere sahip diğer kamu alanlarına etkisi
- Projenin ortam havası kalitesi, gürültü seviyeleri veya yüzey veya yer altı suyu kalitesi veya miktarı üzerindeki etkileri
- Projenin su temini, balık, kabuklu deniz hayvanları, vahşı yaşam ve bunların gerçek yaşam alanları üzerindeki etkiler.

Bunların dışında kullanılmış suların geri kazanımıyla ilgili yapılacak planlamalarda arazi kullanımı üzerine etkilerin, su miktarına ve kalitesine etkisinin mutlaka çevresel değerlendirme çalışmalarına dahil edilmesi gereklidir [1]. Başlıca çevresel

etkileri aşağıda sıralanan maddeler halinde özetlemek mümkündür. Bunlar;

- Arazi kullanımı etkileri: su yeniden kullanımı, doğrudan veya dolaylı olarak önemli arazi kullanım değişikliklerine neden olabilir.
- Su miktarı etkileri: su geri kazanımı alıcı su ortamlarında ve doğal rezervuarlardaki su dengesi üzerinde etkilere neden olabilir.
- Su kalitesi etkileri: geri kazanılmış suyun çevreye geri gönderilmesinden kaynaklanan potansiyel su kalitesi etkileri olabilmektedir.

3. ÜLKEMİZDEKİ ULUSAL GERİ KAZANIM MEVZUATI ve UYGULAMALAR

3.1. Ulusal Geri Kazanım Mevzuatı

3.1.1. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği

Ülkemizde yeraltı ve yerüstü su kaynakları potansiyelinin korunması ve en iyi bir biçimde kullanımının sağlanması için, su kirlenmesinin önlenmesini sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde gerçekleştirmek üzere gerekli olan hukuki ve teknik esasları belirlemek amacıyla 31 Aralık 2004 tarihinde 25687 sayılı Resmi Gazete’de “Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY)” yayımlanmıştır [54]. Bu Yönetmelik “*su ortamlarının kalite sınıflandırmaları ve kullanım amaçlarını, su kalitesinin korunmasına ilişkin planlama esasları ve yasaklarını, atıksuların boşaltım ilkelerini ve boşaltım izni esaslarını, atıksu altyapı tesisleri ile ilgili esasları ve su kirliliğinin önlenmesi amacıyla yapılacak izleme ve denetleme usul ve esaslarını*” kapsamaktadır. SKKY eklerinde deşarj standartlarını içeren toplam 25 adet tablo yer almaktadır. Tablo 1’de kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri, Tablo 2’de göller, göletler, bataklıklar ve baraj haznelerinin ötrifikasyon kontrolü sınır değerleri ve Tablo 3’de deniz suyunun genel kalite kriterleri yer almaktadır. Tablo 5’den Tablo 19’a kadar sektörler bazında kullanılmış suların alıcı ortama deşarj standartlarına yer verilmiştir. Tablo 19 ve 20’de yine endüstriyel nitelikli olup sınıflandırılmayan kullanılmış

suların alıcı ortama deşarj standartları verilmiştir. Tablo 21’den Tablo 25’e kadar evsel nitelikli kullanılmış suların alıcı ortamlara, denize ve altyapı tesislerine deşarjı için sağlanması gereken deşarj standartları sunulmuştur [54]. SKKY’de kullanılmış suların yeniden kullanımına yönelik herhangi bir limit değer bulunmamaktadır. SKKY daha çok kullanılmış suların alıcı su ortamlarına deşarj standartlarını düzenlemektedir.

3.1.2. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği

Ülkemizde kullanılmış suların yeniden kullanımına dair ulusal mevzuat ilk kez 7 Ocak 1991 tarihinde 20748 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği” dir [55]. Bu tebliğde, kullanılmış suların yeterli arıtıma tabi tutulduktan sonra özellikle tarımsal sulamada kontrollü kullanımının sağlanması temel amaçlarından oluşturmaktadır. Ülkemizin Avrupa Birliği (AB) uyumlaştırma sürecinde mevcut ulusal evre mevzuatımızda önemli değişiklikler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda 1991 yılında yürürlüğe alınan Su kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği yürürlükten kaldırılmış ve 20 Mart 2010 tarihinde 27527 sayılı Resmi Gazete’de “Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (AATTUT)” yayımlanarak yürürlüğe konulmuştur (Tanık vd., 2015). Tebliğdeki değerler, United States Environmental Protection Agency tarafından oluşturulan Rehber Doküman’la uyumludur.

Bu yeni tebliğin temel amaçlarından birini arıtılmış suların yeniden kullanımı için teknik usuller ve uygulamaları düzenlemek oluşturmaktadır. Tebliğin 7. Bölümü ve ekleri ise arıtılmış kullanılmış suların geri kazanımı ve yeniden kullanımına ilişkin düzenlemeleri içermektedir [56]. Arıtılmış kullanılmış suların geri kullanım alanları, kullanılmış suların geri kazanım tesisinin yeri, arıtılmış kullanılmış suların depolanması, kullanılmış suların geri kazanımı için teknoloji seçimi ve arıtılmış

3.2

kullanılmış suların sulama suyu kullanım kriterleriyle ilgili maddelerde ve eklerde verilmiştir [55].

Tebliğde arıtılmış kullanılmış suların sulamada yeniden kullanılması için sulama amacına bağlı olarak iki sınıf (Sınıf A ve Sınıf B) kriter tanımlanmıştır [55]. Sınıf A ticari olarak işlenmeyen gıda ürünlerinin ve park, bahçe, kentsel alanların sulanmasıyla ilgili iken, Sınıf B ise ticari olarak işlenen gıda ürünleri (meyve bahçeleri ve üzüm bağları), çim üretim ve kültür tarımı gibi halkın girişinin kısıtlı olduğu yerler ve otlak hayvanları için mera ve saman yetiştiriciliğiyle ilgilidir. Bu sınıflandırmanın temelinde ticari olarak işlenmeyen gıda ürünlerinin ve park, bahçe gibi kentsel alanların sulanmasında, hem yenen ürün ile hem de park, bahçe gibi alanlarda insanların bitkiler ile teması olabileceği için iyi kalitede sulama suyu gerekmesi yer almaktadır. Bunun yanında, ticari olarak işlenen gıda ürünleri (meyve bahçeleri ve üzüm bağları), çim üretim ve kültür tarımı gibi halkın girişinin kısıtlı olduğu yerler ve otlak hayvanları için mera ve saman yetiştiriciliğinde, sulama suyu daha düşük kalitede olabilmektedir [55].

Tebliğe göre evsel nitelikli kullanılmış suların EK7-Tablo E7.1’de belirtilen parametrelerin temelinde yapılan analiz sonucuna göre aynı Tablonun Sınıf A veya Sınıf B bölümünde belirlenen alanlarda ve bitki türlerinde sulama suyu olarak kullanılmasına izin verilmektedir (Hocaoğlu vd., 2014). Tablo E7.1’de verilen sınıflandırmalar genel bir sınıflandırma olup, özel gereksinimler için farklı sınıflandırmalar yapmanın mümkün olabilmektedir. Tebliğde Tablo E7.2’de sulama suyu için kimyasal kalite kriterleri verilmiştir. Tebliğde evsel nitelikli kullanılmış sular hariç sulamada geri kullanılacak arıtılmış suların da bu kimyasal kriterleri sağlaması gerektiği ifade edilmiştir.

Tebliğ kapsamında kentsel nitelikli kullanılmış sularda Tablo E7.1’e ilaveten Tablo E7.2’de belirtilen parametreler temelinde yapılacak analiz sonuçlarına göre Tablo E7.3, Tablo E7.4, Tablo

E7.5 ve Tablo E7.6'da belirtilen bitkilerin hassasiyet durumlarının da sulamada dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir [55]. Tebliğde kullanılmış suların araziye verilmeye veya sulamaya uygun olup olmadığını belirlemek için incelenmesi gereken en önemli parametreler;

- Su içindeki çözünmüş maddelerin toplam konsantrasyonu ve elektriksel iletkenlik
- Sodyum iyonu konsantrasyonu ve sodyum iyonu konsantrasyonunun diğer katyonlara oranı
- Bor, ağır metal ve toksik olabilecek diğer maddelerin konsantrasyonu
- Bazı şartlarda Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarının toplam konsantrasyonu
- Toplam katı madde, organik madde yükü ve yağ gres gibi yüzen maddelerin miktarı
- Patojen organizmaların miktarı olarak tanımlanmıştır [55], [53].

Kullanılmış sudaki çözünmüş tuzlar, bor, ağır metal ve benzeri toksik maddeler yörenin iklim şartlarına, toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine bağlı olarak ortamda birikebilmekte, bitkiler tarafından alınabilmekte veya suda kalabilmektedir [55], [53]. Bu nedenle, arıtılmış kullanılmış suların arazide kullanılması ve bertarafı söz konusu ise suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler açısından öngörülen sınır değerlere uygunluğunun yanı sıra, bölgenin toprak özellikleri iklim, bitki türü ve sulama metodu gibi etkenler de dikkate alınması gerektiği Tebliğde ifade edilmiştir [55]. Bunun yanı sıra askıda katı maddeler (AKM) sulama sistemlerinde tıkanma problemlerine neden olabileceği için değerlendirilmesi gereken önemli parametrelerden biri olarak görülmektedir. Tebliğde konvansiyonel arıtma tesisi çıkış sularında AKM konsantrasyonlarının 5-25 mg/L aralığında ve üçüncül arıtmanın uygulandığı tesislerin çıkış sularında ise genellikle 10 mg/L

altında olduğu ifade edilmiştir. Sulama sistemlerinde tıkanma problemlerinin bertaraf edilebilmesi için AKM konsantrasyonlarının genellikle 30 mg/L altında olmalıdır. Bu nedenle 30 mg/L'nin altında AKM konsantrasyonlarına sahip arıtılmış kullanılmış suların sulamada geri kullanımıyla tıkanma problemlerinin önüne geçilebilir. Ayrıca tebliğde sulama sistemlerinin tıkanmasında AKM parametresinin yanı sıra sıcaklık, güneş ışığı ve debi gibi faktörlerin de önemli etkilerinin olabileceğı belirtilmiştir [55].

Tebliğde arıtılmış kullanılmış suların sulama amaçlı kullanımında tuzluluğun önemli parametrelerden biri olduğunun altı çizilmiştir. Sulama suyundaki tuz içeriğı bitki hücrelerindeki ozmotik basınç dengesini olumsuz yönde etkileyerek hücreden suyun dışarı atılmasına neden olabilmektedir. Bu durum bitkinin büyümesi ve gelişmesini durdurabilmektedir. Tebliğ kapsamında arıtılmış kullanılmış suların sulamada geri kullanımı durumunda toplam çözünmüş madde (TÜM) konsantrasyonlarının 500 mg/L altında olmasının herhangi bir sakınca oluşturmadığı ancak üzerindeki konsantrasyonlarda etkilerinin gzlemlenebileceğı belirtilmiştir. Tebliğde, 500-1000 mg/L TÜM konsantrasyonlarında öncelikle hassas bitki türlerinde olumsuz etkiler gözlemlenirken 1000-2000 mg/L TÜM konsantrasyonlarında ise çok sayıda bitki türünde çeşitli etkilerin gerekleşebileceğı ifade edilmiştir. 2000 mg/L zerindeki TÜM konsantrasyonlarındaki sulama sularının ise sadece tuzluluğ yüksek toleransı olan bitkiler için uygulanabilir olduğı belirtilmiştir. Ayrıca topraktaki tuzluluk oranı, drenaj suyunun sürekli ve düzenli bir şekilde tabandan çekilmesi halinde kararlı hale geldiğı ve topraktaki tuzluluk oranlarının kontrol edilmesi gerektiğı ifade edilmektedir. Tebliğde Tablo E7.3'de çeşitli bitkiler ve bu bitkilerin tuzluluğ olan hassaslıkları sunulmuştur [55].

Tebliğ kapsamında geri kazanılmış suların sulama amaçlı kullanımında sodyum adsorpsiyon oranlarının da dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir. Sodyum adsorpsiyon oranı, toprak bünyesindeki suda ve sulama suyunda sodyumun baskın iyon olduğu durumu göstermektedir. Yüksek sodyumlu durumlarda, toprak partikülleri birbirinden ayrılmaktadır. Bu durumda, topraktaki porozite azalmakta ve büyük boşluklar tıkanmaktadır. Böylelikle, su ve havanın toprak içine nüfuzu engellenmektedir. Topraktaki kalsiyum oranının, magnezyuma göre daha yüksek olması tavsiye edilmektedir. Tebliğde topraktaki geçirimsizliği düzenlemek amacıyla kalsiyum sülfat (CaSO_4) kullanımının mümkün olduğu ve toprağa direkt olarak veya sulama suyu içerisine karıştırılarak uygulanması önerilmiştir [55].

Geri kazanılmış sudaki birçok iyon, yüksek konsantrasyonlarında bitki üzerinde birikebilmektedir. Sodyum, klorür ve bor bunların başında gelmektedir. Sodyum toksisitesi, yapraklara zarar vermektedir. Tebliğde Tablo E7.4'de sulama suyunda bulunan sodyumun değişik bitkiler için toleransı verilmiştir. Klorür de benzer şekilde etkilere neden olabilmektedir. Tebliğde Tablo E7.5'de, değişik bitkilerin yapraklarına zarar veren klorür konsantrasyonları belirtilmiştir [55].

Bitkilerin normal gelişmeleri için az bir miktar bora ihtiyaçları olsa da borun bitkilere gerekli miktarı ile zehirlilik seviyesi arasında çok dar bir sınır vardır ve bu sınır bitki türlerine göre değişmektedir. Toprakta veya sulama suyunda kritik sınırların üstündeki bor, bitki büyümelerinde gerekli dozdan yüksek olduğunda zarar vermekte, yaprak yanması ve sararması gibi etkiler ile kendini göstermektedir. Tebliğde Tablo E7.2'de verilen sulama suyu sınıflamalarına ek olarak bitkilerin bora dayanıklılığını göz önünde bulunduran ek bir sulama suyu sınıflandırmasına gerek duyulduğu ifade edilmektedir. Tebliğde

Tablo E7.6'de bitkilerin bora karşı dayanıklılık dereceleri verilmiştir [55].

Aritılmış suların sulama suyu olarak geri kullanımında göz önünde alınması gereken kalite parametrelerinden birini de eser elementler oluşturmaktadır. Eser elementlerin bitkiler üzerindeki etkisi, konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Bu elementlerden yüksek konsantrasyonlarda alındığında, yaprakların zarar görmesi veya büyümede gerileme gibi etkiler görülebilmektedir. Evsel kullanılmış sularda eser elementlerin konsantrasyonları genellikle düşük olsa da endüstriyel kullanılmış sular evsel kullanılmış sularla birlikte arıtıldığı tesislerde yüksek konsantrasyonlara rastlanılabilmektedir. Tebliğde Tablo E7.7'de sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları verilmiştir. Ayrıca tebliğde geri kazanılmış sulardaki tahmini eser madde konsantrasyonları, Tablo E7.8'de verilmiştir [55].

Geri kazanılmış sular, sulama için faydalı olan nütrientleri içermektedir. Geri kazanılmış suda bulunan üç ana nütrient, azot, fosfor ve potasyumdur. Azot ve fosfor, arıtılmış suda yeterli miktarlarda bulunurken, bitki büyümesini etkilemektedir. Bununla birlikte, potasyum konsantrasyonu düşük olmasına karşın, bitki büyümesini daha az etkilemektedir. Tebliğde Tablo E7.9'da değişik arıtma sistemleri ile geri kazanılmış sudaki nütrient seviyeleri verilmiştir [55].

Aritılmış suların sulamada kullanılması durumunda mikrobiyolojik parametrelerin de göz önünde bulundurulması gereklidir. Tebliğ kapsamında arıtılmış suyun sulamada kullanılması için iki farklı mikrobiyolojik sınıf oluşturulmuştur. Tebliğde ticari olarak işlenmeyen gıda ürünleri ve park, bahçe gibi kentsel alanların sulanmasında, hem yenen ürün ile su temas ettiği hem de park, bahçe gibi alanlarda insanların çim ve bitkiler ile teması olabileceği için çok iyi kalitede sulama suyu gerektiği ifade edilmiştir. Bu durumda, sulama suyunda fekal koliform

bulunmamalıdır ve mikrobiyolojik kalitesi çok iyi kontrol edilmesi gerektiği belirtilmiştir (Fekal koliform değeri hiç bir zaman 14 ad/100 ml'yi geçmemelidir). Bunun yanında, ticari olarak işlenen gıda ürünleri (meyve bahçeleri ve üzüm bağları), çim üretimi ve kültür tarımı gibi halkın girişinin kısıtlı olduğu yerler ve otlak hayvanları için mera ve saman yetiştiriciliğinde, sulama suyunun mikrobiyolojik kalitesi daha düşük kalitede olabileceği belirtilmiştir. Bu durumda fekal koliform değeri, 200 ad/100 ml'den küçük olmalı (30 günlük ortalama değer) ve hiç bir zaman 800 ad/100 ml'yi geçmemesi gerektiği ifade edilmiştir. Sulamada tekrar kullanılacak arıtılmış sulara aranan mikrobiyolojik özellikler, Tebliğ kapsamında Tablo E7.1'de verilmiştir [55].

Ülkemizde arıtılmış suların akifer restorasyonu amaçlı kullanımı konusundaki düzenlemeler 07 Nisan 2012 tarihinde 28257 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe "Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkındaki Yönetmelik" kapsamında değerlendirilmektedir [53]. Söz konusu yönetmelikte arıtılmış sular tanımlanmış ve hangi karakterdeki arıtılmış suların yeraltı sularına besleme yapıp yapılamayacağı belirtilmiştir [53]. Yönetmelikte yeraltı suyu kalitesinden bağımsız olarak suların doğrudan akiferlere verilmesine izin verilmemektedir. Ayrıca su temini yapılan, risk altında olan ve risk altında olma ihtimali bulunan yeraltı sularına arıtılmış suların da deşarj edilmesi yasaklanmıştır. Ayrıca 26 Kasım 2005 tarih ve 26005 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "Tehlikeli Maddelerin Su ve Çevresinde Neden Olduğu Kirliliğin Kontrolü Yönetmeliği" nin Ek 1 ve Ek 2'sindeki listelerde yer alan maddeleri içeren kullanılmış suların da dolaylı dahi olsa deşarjı yasaklanmıştır [53]. Arıtılmış suların belirtilen durumların dışında kalan yerlerde ve şartlarda yeraltı sularına beslenmesi için geçerli hususlar yönetmeliğin ilgili 5. Maddesinde açıklanmıştır. Buna göre yeraltı suyuna dolaylı olarak arıtılmış su beslemesi yapılabilmesi için yeraltı suyu kullanım maksadı,

kalitesi ve yeraltı suyu taşıma kapasitesi dikkate alınarak bir mühendislik çalışmasının yapılması gerektiği ifade edilmiştir. Daha sonra Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ndan gerekli besleme izinlerinin alınması gerekli olmaktadır. Ayrıca verilen izinlerin envanterlerinin yılda bir kez Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü'ne bildirilmesi gerekmektedir [53].

3.1.3.Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkında Yönetmelik Taslağı

Ülkemizde kullanılmış suların geri kullanımı konusunda yasal altyapının oluşturulması adına Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından çeşitli çalışmalar yürütülmektedir [57]. Bunlardan biri 2014 yılında hazırlanan “Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkında Yönetmelik” taslağıdır [58]. Tebliğdeki değerler, United States Environmental Protection Agency tarafından oluşturulan Rehber Doküman'la uyumludur. Özellikle kullanılmış suların sulamada geri kullanımına yönelik yasal altyapının yakın gelecekte tamamlanması beklenmektedir. Bu düzenlemeler ile sulamada kullanılan su kaynaklarının kalitesinin izlenmesi, iyi durumda olanların korunması, uygun kalitede olmayanların iyileştirilmesinde alınacak tedbirlerin belirlenmesi, kullanılmış sulardan alıcı ortamların korunması, bu suların kalitesinin iyileştirilmesi, başta sulama suyu olmak üzere yeniden kullanılması için gereken kalite kriterlerine ilişkin usul ve esasların düzenlenmesi amaçlanmaktadır [57]. Bu düzenlemenin aşağıdaki genel başlıkları içermesi beklenmektedir. Bu başlıklar;

- Sulama maksatlı su kaynaklarının kalitesinin korunması ve iyileştirilmesi
- Kullanılmış suların alıcı ortamlara deşarjından önce geri kullanım alternatiflerinin belirlenmesi

- Kullanılmış suların geri kullanımı için gerekli su kalitesi ihtiyaçlarının belirlenmesi ve bunun için gerekli arıtma metotlarının belirlenmesi
- Sulama amaçlı geri kullanımlar için su kalitesi, miktar ve sulama programlarının oluşturulmasıyla toprak ve tarımsal ürünlere verilecek zararların önlenmesi
- Zirai sulama alanlarından dönen ve drenaj sularının su kalitesinin iyileştirilmesi
- Zirai sulamada gübre kullanımının düzenlenmesi ve kontrol edilmesiyle suyun verimli şekilde geri kullanımının sağlanması
- Su havzaları, bitki desenleri, sulama alanları vb. özelliklerin belirlenmesi
- İzleme veri tabanları ve ulusal bilgi sistemi ağının oluşturulması
- Kullanılmış suların zirai amaçlı geri kullanımında meydana gelebilecek risklerin önlenmesine yönelik tedbirlerin alınmasından oluşmaktadır.

Ayrıca planlanan bu düzenlemede kullanılmış suların farklı kullanım maksatlarıyla yeniden değerlendirilmesi için kalite kriterleri ve arıtma tiplerini de yer verilmesi planlanmaktadır. Kullanılmış suların genel sulama suyu olarak geri kullanımında farklı hassasiyete sahip bitki türleri için tuzluluk, iletkenlik, toplam çözünmüş madde (TÇM), sodyum, klorür, bor, nitrat, toplam pestisit, bikarbonat ve pH parametrelerinin değerlendirilmesi ön görülmektedir. Bununla birlikte çok sayıda element için sulamada kullanılacak sularda kabul edilebilen maksimum parametre konsantrasyonları da değerlendirilmektedir. Sulama suyunun mikrobiyolojik kalitesine ilişkin de kriterlere de yer verilmektedir. Gıda ürünleri, ticari işlenen gıda ürünleri, gıda ürünü olmayan bitkiler, sulak alan oluşturmak ya da doğal sulak alanların geliştirilmesi ve akarsu akışını desteklemek, insan temasının kısıtlanmasına gerek duyulmayan serbest alanlar ve kısıtlanmış alanlar için kullanılmış

3.10

suların geri kullanımında uygulanması gereken arıtma tipleri ve gerekli sınır değerlere de yer verilmiştir. Ayrıca kullanılmış suların, yeraltı ve yerüstü sularında biriktirme maksatlı kullanımı için gerekli kalite kriterleri, yeniden sulamada kullanılacak drenaj suyu kalitesi için sağlanması gereken maksimum değerler ve hayvanların içme suyu kullanımı için gerekli kalite kriterleri de bu düzenlemede yer alması planlanmaktadır [57].

Yönetmelik taslağının Ek 1’inde genel sulama suyu kriterlerine, sulamada kullanılacak sularda kabul edilebilen maksimum eser element konsantrasyonlarına, sulama suyunun mikrobiyolojik kalitesine, bitkilerin tuzluluğa karşı hassasiyetlerine ilişkin standartlara yer verilmiştir. Ek 2 kapsamında ise kullanılmış suların geri kullanım alanları için uygulanması gereken arıtma metotlarına ve geri kullanım için gerekli sınır değerlere, yeraltı ve yerüstü sularda biriktirme için gerekli kalite parametrelerine, geri kullanılacak drenaj suları için gerekli sınır değerler ve hayvanların su ihtiyaçlarının karşılanması amaçlı geri kullanımlar için kalite kriterlerine yer verilmiştir. Ek 3’de sodyum adsorpsiyon oranı (SAR)’ın hesaplanması ve Ek 4’de ise zirai sulama alanlarından dönen suların sulamada geri kullanılmasında uygulanacak metotlara yer verilmiştir [57].

3.2. Ulusal Geri Kullanım Uygulamaları

3.2.1. Bursa Organize Sanayi Bölgesi (OSB) Su Üretim Tesisi

Bursa Organize Sanayi Bölgesi (BOSB), Bursa ilinin batısında yer almakta olup, toplamda 670 ha alana sahiptir. BOSB’da tekstil başta olmak üzere, otomotiv yan sanayi, metal, makine, gıda ve kimya gibi çok farklı sektörlerde üretim yapan toplam 288 firma bulunmaktadır. BOSB’da faaliyet gösteren tesislere 1. ve 2. kalite su olmak üzere iki farklı kaynaktan su temin edilmektedir. 1. kalite olarak adlandırılan su, Bursa şehrine de su sağlayan

Doğancı Barajı'ndan Bursa Büyükşehir Belediyesi Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (BUSKİ) tarafından temin edilen su olup, Dobruca İçme Suyu Arıtma Tesisinde arıtılarak ayrı bir hat ile direkt olarak BOSB'ye verilen şehir şebeke suyudur. 2. Kalite olarak adlandırılan su ise Nilüfer Çayı'ndan alındıktan sonra BOSB Su Üretim Tesisinde arıtılarak, üretim proseslerinde kullanılmak üzere ana su depolarına terfi edilmekte ve ana depolardan BOSB'un 2. kalite su şebekesine verilmektedir.

Su dağıtım sistemi 1. kalite su şebekesi, 2. kalite su şebekesi ve yeşil alan sulama şebekesi olmak üzere tamamen birbirinden ayrı üç şebekeden oluşmaktadır. 1. kalite su "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik" kriterlerine uygun olması nedeniyle içme ve kullanma suyu ile özel üretim alanlarında kullanılmaktadır. 2. kalite su ise ağırlıklı olarak bol su gerektiren üretim prosesi adımlarında kullanılmaktadır. Yeşil alan sulama suyu şebekesinde 2. kalite su kullanılmaktadır. BOSB Su Üretim Tesisi mekanik/fiziksel, biyolojik arıtma, kimyasal arıtma ve kum filtresi ünitelerinden oluşan konvansiyonel arıtma ile ultrafiltrasyon (UF) ve ters osmoz (RO) ünitelerinden oluşan ileri arıtma bölümlerinden oluşmaktadır. Su Üretim Tesisinden kum filtresinden geçirilen sular ile UF+RO ünitelerinden geçirilen sular karıştırılarak BOSB'a 2. Kalite su iletimi yapılmaktadır. BOSB bünyesindeki firmaların talep ettiği proses kullanma suyu kalitesine göre proses kullanma suyu elde edilebilmesi için ileri arıtma yapılması ihtiyacı doğmuştur. İleri arıtma sistemi, konvansiyonel arıtma sistemi çıkış suyunu arıtarak istenilen su kalitesinde 38.600 m³/gün su elde etmek amacıyla kurulmuş olan tesis

- UF besleme havuzu ve pompa istasyonu
- Koagülant dozaj istasyonu
- Ön filtrasyon (mekanik filtrasyon)
- UF

- RO besleme havuzu ve pompa istasyonu
- Ters osmoz sistemi
- İleri arıtma binası
- Online izleme sistemi
- Trafo sistemini

içermektedir.

3.2.2.Modern Karton A. Ş.

Modern Karton Sanayi ve Ticaret A.Ş. 1978 yılında 24.000 tonluk bir kapasite ile kurulmuştur. Modern Karton A.Ş. hurda kağıttan oluklu mukavva üretim fabrikasında 3 ana makinada üretim gerçekleştirilmektedir. Kuruluş kullanılmış sularını arıtarak su geri kazanımı yapmaktadır. Biyolojik kullanılmış su arıtma tesisi ilk olarak 1991 yılında devre alınmış olup, ikinci faz ise 2000 yılında devreye alınmıştır. Toplam 3 paralel hat şeklinde olan biyolojik kullanılmış su arıtma tesisi 36.000 m³/gün kapasitesindedir. Tesise ortalama 30.000 m³/gün kullanılmış su beslenmekte olup, arıtılan kullanılmış suyun yaklaşık %40'ı (12.000 m³/gün) su geri kazanım tesisine alınmaktadır. Su geri kazanım tesisi kapasitesi ise 15.600 m³/gün'dür.

3 paralel biyolojik kullanılmış su arıtma tesisinden kullanılmış sular su geri kazanıma alınmaktadır. Toplam 3 adet giriş pompasından sırasıyla 6.600, 6.600 ve 5.200 m³/gün biyolojik arıtılmış su tesise alınmakta olup, su geri kazanım tesisine giren su debisi toplam 15.600 m³/gün'dür. Tesise alınan sular dengeleme havuzuna alınmakta olup, buradan da MULTIFLO kimyasal arıtma ünitesine gelmektedir. Kimyasal çöktürmeden geçen sular, UF prosesi öncesinde mekanik filtreye girmektedir. UF prosesinden süzülen sular, çözünmüş organik maddelerin giderilerek organik tıkanma ve biyo-tıkanmanın azaltılması için aktif karbon filtrelerine beslenmektedir. Aktif karbon filtrelerden geçmiş su tuzluluk giderimi amacıyla ters osmoz tesisine beslenmektedir. Ters osmoz tesisine beslenen suyun debisi 571

m³/saat olup, yaklaşık %70 geri kazanım değeri ile 400 m³/saat su üretilmektedir.

3.2.3.Zorlu Tekstil

Zorluteks Tekstil'in kuruluşu 1980'li yıllarda Çözü Örne İşletmesi'nin faaliyete geçmesi ile başlamıştır. Perde Fabrikası içerisinde oluşan tüm evsel ve endüstriyel proses suları ile kullanılmış su arıtma tesisine gönderilerek arıtılmakta ve alıcı ortama verilmektedir. Perde Atık Su Arıtma Tesisi biyolojik arıtma yapmakta ve günlük 600 m³ su arıtımı sağlamaktadır. Nevresim ve Dokuma Fabrikası içerisinde oluşan tüm evsel ve endüstriyel proses suları Nevresim Atıksu Arıtma Tesisi'ne gönderilerek arıtılmaktadır. Nevresim Atıksu Arıtma Tesisi kimyasal ve biyolojik arıtma yapmakta ve günlük ortalama 4.000 m³ su arıtımı sağlamaktadır. Su geri kazanım tesisine gönderilen suyun kaynağının nevresim kullanılmış su/atıksu arıtma tesisi (AAT) çıkış sularıdır.

Zorlu Enerji Lüleburgaz santralinde kapasite artırımı ve Ergene Havzasının mevcut durumu nedeni ile soğutma kulesinde gerekli olan maksimum 110 m³/saat su ihtiyacı için son derece çevreci bir yaklaşım ile Atık Su Geri Kazanım Tesisi kurulmuştur. 2011 yılında devreye alınan santralin soğutma suyu ihtiyacı, doğrudan doğal kaynak kullanımına gidilmeden, Zorluteks'in atık su arıtma tesisi çıkış sularının geri kazanılması ile karşılanmaktadır. Lüleburgaz Atıksu Geri Kazanım Tesisi, aşağıdaki ana ünitelerden oluşmaktadır:

- Ön Arıtma
- Ultrafiltrasyon
- Ters Osmoz (RO)

Geri Kazanım Tesisi'ne alınan sular dengeleme havuzuna alınmakta olup, buradan da 200 µm ve 100 µm elek aralığına sahip 2 adet otomatik temizlemeli mekanik filtrelerden geçirilmektedir. Mekanik filtre ünitelerinden çıkan su aktif

3.14

karbon filtresi ünitesine gelmektedir. Aktif karbon filtrelerde granüler aktif karbon kullanılmaktadır. Bu noktadan geçen su akımı UF ünitelerine gelmektedir. Su geri kazanım tesisinde toplam 3 adet UF kümesi mevcut olup, her kümede 48 adet UF modülü bulunmaktadır. UF çıkış suyu debisi 85 m³/saattir. RO sistemleri için istenilen ön filtrasyonu sağlamak amacıyla 5 µm gözenek çaplı kartuş filtreler kullanılmaktadır. Tesiste 3 adet RO kümesi bulunmaktadır. RO ünitesi %75 geri kazanım yapacak şekilde dizayn edilmiştir. Ters osmoz tesisine beslenen suyun debisi 85 m³/saat olup yaklaşık %76 geri kazanım değeri ile 65 m³/saat debisiyle sahip yüksek kalitede su üretilmektedir.

3.2.4. Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş. (TÜPRAŞ)

Üretime 1961 yılında 1 milyon ton/yıl ham petrol işleme kapasitesi ile başlamış olan İzmit Rafinerisi, yıllar içinde gerçekleştirilen önemli kapasite artırımları ve yatırımlar sonucunda tasarım kapasitesini 11,5 milyon ton/yıl'a ulaştırmıştır. Türkiye'nin önde gelen petrol rafinerilerinden Tüpraş Rafinerisi Su Geri Kazanım Tesisi, İSU Körfez Atıksu Arıtma Tesisi'nden Ağa Deresi'ne deşarj edilen arıtılmış kullanılmış suyun ileri arıtmadan geçirilerek demineralize su üretilmesi için kurulmuştur. Hem TÜPRAŞ'ın su ihtiyacını karşılamak hem de Kocaeli'nin içme suyu kaynaklarını korumak amacıyla İSU ve TÜPRAŞ ortaklığında gerçekleştirilen bu proje ile Sapanca Gölü'nden su kullanımı azaltılmıştır. Körfez Atıksu Arıtma Tesisi'nden çıkan sular TÜPRAŞ tarafından tesiste kullanım için geri kazanılmaktadır. Tesisten elde edilen su, buhar üretimi, servis suyu, yangı suyu ve kullanım suyu olarak kullanılmaktadır. Su Geri Kazanım Ünitesi, çok katmanlı medya filtre, aktif karbon filtre, ultrafiltrasyon ve ters ozmos membran sistemleri kullanılarak tasarlanmıştır. Aktif karbon çıkış akımı filtrelenmiş su, su deposuna ve buradan da pompalar vasıtasıyla ultrafiltrasyon (UF) ünitesine gönderilmektedir. UF biriminde fiziksel arıtım yapılmakta olup askıda katı madde (AKM) ve bir

miktar yağ giderimi gerçekleşmektedir. UF sisteminden sonraki adım ise sudaki iyon yükünün giderildiği RO sistemidir. RO sisteminde %99,6 tuz giderimi sağlanmaktadır. Elde edilen RO ürün suyu ise tesiste farklı amaçlarda kullanılmak üzere depolanmaktadır. Tesiste mevcut durumda RO süzöntüsü buhar üretimi, servis suyu, yangı suyu ve kullanım suyu olarak kullanılmaktadır. RO konsantre akımı ise TÜPRAŞ bünyesinde bulunan kullanılmış su arıtma tesisinin deşarj suyu ile paçallanarak denize deşarj edilmektedir.

3.2.5. Geri Kazanılmış Suların Tarımsal Sulamada Kullanımı

Türkiye’de geri kazanılmış kullanılmış suların sulama suyu olarak kullanılması 20 Mart 2010 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan 27527 Sayılı Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği’ne göre değerlendirilmektedir [55]. Bu tebliğe göre, ticari olarak işlenmeyen gıda ürünlerinde; yüzeysel ve yağmurlama sulama ile sulanan, ham olarak direkt yenilen gıda ürünleri ve her türlü yeşil alan sulamasında ikincil arıtma, filtrasyon, dezenfeksiyon üniteleri kullanılmaktadır. Ticari olarak işlenen gıda ürünlerinde; meyve bahçeleri, üzüm bağları, çim üretimi ve kültür tarımı, otlak hayvanları için mera sulamasında ise ikincil arıtma, dezenfeksiyon üniteleri kullanılmaktadır [55]. Sulama suyunun kimyasal kalitesinin değerlendirilmesinde tuzluluk, geçirgenlik ve özgül iyon toksisitesine bakılmaktadır. Tuzlulukta iletkenlik ve toplam çözünmüş maddeye bakılırken, geçirgenlikte SAR testi yapılmaktadır. Özgül iyon toksisitesinde ise sodyum, klorür, bor miktarlarına dikkat edilmektedir. Askıda katı madde, sulama sistemini tıkadığı için önemlidir. Klasik kullanılmış su arıtma tesisinde askıda katı madde (AKM) konsantrasyonu üçüncül arıtma uygulandığında düşmektedir. Kullanılmış su geri kazanımında teknoloji seçimi yaparken, su kalitesi açısından kullanılabilecek en önemli indikatörler, koliform ve patojen mikroorganizma konsantrasyonlarıdır [55]. AATTUT’de

belirtilen limit konsantrasyonları sağlayan kullanılmış suların sulama amaçlı kullanımı uygulamaları yaygın olmamakla birlikte bulunmaktadır [59], [58].

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından yapılan anket çalışmaları ile Türkiye’de kullanılmış suların yeniden kullanım durumu belirlenmiştir. Türkiye’de il bazlı olarak kullanılmış suların yeniden kullanım durumu Tablo 3-1’de verilmiştir.

Tablo 3-1 İllere göre kullanılmış suların geri kazanım durumu [59], [58]

Şehir	Belediye	Kullanılmış suların geri kazanımı	Açıklama
Aksaray	-	Sulama amaçlı kullanım	Evsel ve kentsel kullanılmış suların arıtıldıktan sonra sulama başta olmak üzere yeniden kullanımına ilişkin prosese sahip olan kullanılmış su arıtma tesisi bulunmamakta olup, Aksaray İli Konya Yolu 33. km adresinde faaliyet gösteren Keskinkılıç Gıda Sanayi ve Tic. A.Ş. sanayi amaçlı kullanılmış su arıtma tesisinden çıkan sular sulama amaçlı kullanılmaktadır.
Aydın	Büyükşehir	Tesis içi yeşil alanların sulamasında kullanım	Sulamadan geriye kalan arıtılmış kullanılmış sular Büyükşehir Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi’ne gönderilmektedir.

Şehir	Belediye	Kullanılmış suların geri kazanımı	Açıklama
Aydın	Didim	Site içi yeşil alanların sulamasında kullanım	Didim İlçesi'nde bulunan yazlık konutların yaklaşık %60'lık kısmı münferit arıtma tesislerinde arıttıkları kullanılmış suları site içi yeşil alanların sulamasında kullanmakta olup, tesis kapasiteleri 20-100 m ³ /gün arasında değişmektedir.
Aydın	Kuşadası	Site içi yeşil alanların sulamasında kullanım	Kuşadası İlçesi'nde bulunan yazlık konutların yaklaşık %80'lik kısmı münferit arıtma tesislerinde arıttıkları kullanılmış suları site içi yeşil alanların sulamasında kullanmakta olup tesis kapasiteleri 20-100 m ³ /gün arasında değişmektedir.
Balıkesir	-	Bahçe sulama amaçlı kullanım	Edremit ve Gömeç İlçeleri'nde yer alan tatil sitelerinin bir kısmında, arıtılmış kullanılmış sular bahçe sulama amaçlı olarak yeniden kullanılmakta olup, bahse konu tatil sitelerinin kullanılmış su arıtma tesisleri sezonluk olarak (Haziran-Eylül) faaliyet göstermektedir.

Şehir	Belediye	Kullanılmış suların geri kazanımı	Açıklama
Bilecik	Bozüyük	Bahçe sulama amaçlı kullanım	Tesis yalnızca bahar ve yaz aylarında bahçe sulaması yapmaktadır. Sulama amaçlı olarak günlük 60 m ³ su kullanılmaktadır. Verilen yeniden kullanım miktarı 6 aylık periyot için hesaplanmıştır.
Bitlis	Adilcevaz	Park, bahçe sulama amaçlı kullanım	-
Düzce	-	Bahçe sulama amaçlı kullanım	Gropalli Isı Sistemleri San. Tic. A.Ş.'ye ait evsel nitelikli kullanılmış suların arıtılması ile sulama suyu olarak kullanımı gerçekleştirilmektedir.
Edirne	Meriç	Tarımsal sulamada kullanım	Tarımsal sulama amaçlı kullanım yapılmaktadır.
Eskişehir	İnönü	Ağaçlandırma sahasının sulanmasında kullanım	Ağaçlandırma sahasının sulanmasında geri kullanılmaktadır.
İstanbul		Proses suyu, peyzaj sulama ve soğutma suyu	Proses suyu, peyzaj sulama ve soğutma suyu: 7.586.525 m ³ /yıl; Riva deresi canlılığını korunması için kullanılan geri dönüşüm suyu: 20.258.230 m ³ /yıl

Şehir	Belediye	Kullanılmış suların geri kazanımı	Açıklama
İzmir	Kemalpaşa Karaburun Torbalı Seferihisar Dikili Çeşme Urla Aliğa	Sulama amaçlı kullanım	Sulama amaçlı kullanım gerçekleştirilmektedir.
Kırklareli	Vize	Yeşil alan sulama amaçlı kullanım	Sadece Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos aylarında yeşil alanların sulaması yapılmaktadır.
Kocaeli	İzmit	Sulama, temizlik ve proses suyu amaçlı kullanım	Plajyolu Atıksu Arıtma Tesis'i'nin 10.000 m ³ /gün kapasiteli arıtılmış kullanılmış suyu hızlı kum filtresi, kanal tipi ultraviyole (UV) ve klor prosesi sonrası yeşil alan sulaması, saha temizliği, dekantör ve sanayi proses suyu olarak kullanılmaktadır.
Kocaeli	Kandıra	Tesis içi temizlik ve yeşil alan sulamasında kullanım	Kandıra Merkez Atıksu Arıtma Tesis 6000 m ³ /gün ve Kandıra Cebeci Atıksu Arıtma Tesis 9000 m ³ /gün kapasiteli UV dezenfeksiyona sahip geri kazanım ünitesi çıkış suları yeşil alan sulaması ve saha temizliği amacıyla kullanılmaktadır.

Şehir	Belediye	Kullanılmış suların geri kazanımı	Açıklama
	Körfez	Proses suyu olarak kullanım	Körfez Atıksu Arıtma Tesisi hızlı kum filtresi (45.000 m ³ /gün) ve UV (10.000 m ³ /gün) ile arıtılmış kullanılmış sular geri kazanılmaktadır. Burada ileri arıtmaya tabi tutulan sular TÜPRAŞ tesislerinde kullanılmaktadır.
	Gebze	Yeşil alan sulanmasında kullanım	Gebze Atıksu Arıtma Tesisi hızlı kum filtresi ve UV ile arıtılmış 2000 m ³ /gün kapasiteye sahip su geri kazanılmaktadır.
	Cumaköy		Cumaköy Atıksu Arıtma Tesisi hızlı kum filtresi ve UV arıtılmış 1000 m ³ /gün kapasiteye sahip su geri kazanılmaktadır.
	İzmit		Umuttepe Atıksu Arıtma Tesisi hızlı kum filtresi ve UV ile arıtılmış 1000 m ³ /gün kapasiteye sahip su geri kazanılmaktadır.
	İzmit		Akmeşe Atıksu Arıtma Tesisi'nde UV ile arıtılmış 300 m ³ /gün su geri kazanılmaktadır.
Konya	Büyükşehir	Kent içi yeşil alan sulamada kullanım	Her yıl 7 aylık sulama sezonunda 527.800 m ³ arıtılmış kullanılmış su yeniden kullanılmaktadır.

Şehir	Belediye	Kullanılmış suların geri kazanımı	Açıklama
Konya	Beyşehir	Park sulamada kullanım	Arıtılmış sular, tesise ait park sulamasında kullanılmaktadır.
Muğla	Bodrum	Park ve bahçe sulamada kullanım	-
Osmaniye	Bahçe	Park ve bahçe sulamada kullanım	-
	Düziçi	Park ve bahçe sulamada kullanım	-
	Kadirli	Park ve bahçe sulamada kullanım	-

Türkiye’de arıtılmış kullanılmış suların sulama amaçlı geri kullanımına ait bazı örnek uygulamalar aşağıda özetlenmiştir.

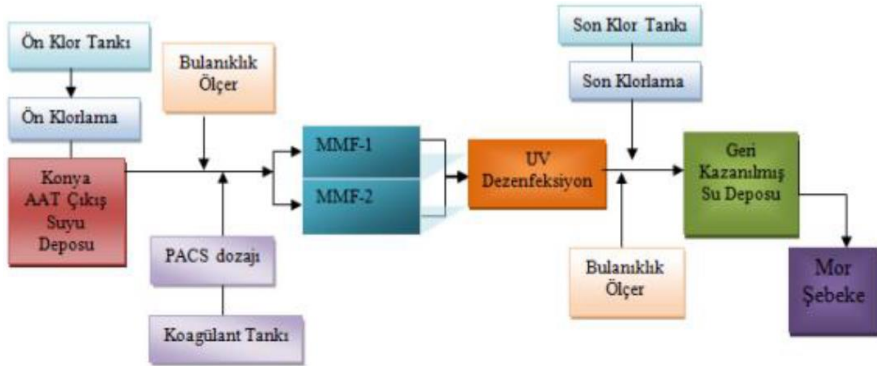
3.2.5.1. Konya Atıksu Arıtma Tesisinde arıtılmış kullanılmış suların yeşil alan sulamasında yeniden kullanılması (mor şebeke)

Su ihtiyacının artması ve kuraklık nedeniyle alternatif su kaynağı olarak arıtılmış kullanılmış suların geri kullanılması amacıyla Konya Atıksu Arıtma Tesisinden çıkan arıtılmış kullanılmış suların kentsel yeşil alanların sulanmasında geri kullanılması amaçlanmıştır. 2008 yılında yapılan fizibilite çalışması ile çıkış sularının kentsel yeşil alan sulaması veya drenaj kanallarına beslenerek rekreasyon ve tarımsal amaçlı kullanımı değerlendirilmiş olup her iki alternatifi de uygulanabilir olduğu

ancak ikinci alternatifin ekonomik olarak daha uygun olduğu belirlenmiştir. 2009 yılında işletmeye alınan ve 200.000 m³/gün kapasiteli arıtma tesisinden çıkan suların Konya Büyükşehir Belediyesi ve Karatay Belediyesi'ne ait yeşil alanlarda sulama suyu amacıyla kullanılması hedeflenmiştir. Tesis ileri biyolojik arıtma yapmakta olup çıkış sularında UV dezenfeksiyonu kullanılmaktadır.

Tesis çıkışı analiz sonuçları, kullanılacak olan sulama sistemleri de dikkate alınarak AATTUT ve uluslararası standartlara göre değerlendirdiğinde filtrasyon ve dezenfeksiyon ihtiyaçı belirlenmiştir. Geri kazanım tesisi çok katmanlı basınçlı kum filtrasyonu, dezenfeksiyon, geri kazanılmış kullanılmış su deposu ve mor şebekeden oluşmaktadır. Aşağıdaki şekil 3-1'de mor şebeke uygulaması geri kazanım proses akım şeması sunulmuştur.

Ortalama 140.000 m³/gün kullanılmış su miktarına sahip tesisten 3600 m³/gün'lük kısmı geri kazanım tesisine iletilmekte ve 3200 hektar (ha) kentsel yeşil alan sulamasında kullanılmaktadır [60]. Toplamda sulama yapılacak alan Konya İli'nin yeşil alan miktarının %6,4'ü Karatay İlçesi'nin ise %17'sine karşılık gelmektedir. Sulama sezonu boyunca yaklaşık 528.000 m³ sulama suyundan tasarruf edilmiştir [60]. Tasarruf edilen suyun farklı ihtiyaçlar için kullanılmasının yanı sıra sulamaya açılmayan bölgenin genişletilme imkanının artması, geri kazanılmış suyun içeriğinde bulunan besin maddelerinden bitkiler faydalanarak gübre ihtiyacının azaltılması, sulama için maliyet oluşturan arızaların ortadan kaldırılması projenin diğer faydalarını oluşturmaktadır [58].



Şekil 3-1 Konya kullanılmış su geri kazanım uygulaması (mor şebeke) proses akım şeması [58]

3.2.5.2. Akarçay Havzası'nda artırılmış kullanılmış suların yeniden kullanılmasının araştırılması projesi ve Afyonkarahisar Atıksu Arıtma Tesisi

Akarçay Havzası'nda yer alan ve tarım arazisinin büyük bölümünü sulanamayan Afyonkarahisar İli Merkez Atıksu Arıtma Tesisi çıkış sularının tarımda kullanılmaya elverişli kaliteye getirilmesi olanakları araştırılmıştır. Arıtma tesisi çıkış analizleri ve kanalizasyon sisteminin farklı noktalarından alınan numuneler sonucunda yapılan değerlendirme ile geri kazanım sistemi mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve dezenfeksiyon ünitelerinden oluşması gerektiği belirlenmiştir. Ayrıca AATTUT'a göre yapılan değerlendirme sonucunda pilot tesiste yapılacak çalışma ile ultrafiltrasyon sonrası ters osmoz sistemi gerekliliğinin de olabileceği belirtilmiştir.

Çeşitli bölgelerde yapılan analizlerde çöp sızıntı sularının kanalizasyon sistemine verilmeden arıtılması gerektiği, mevcutta endüstriyel deşarjlardan kaynaklı ağır metal ve toksik maddelerin sınır değerin altında kaldığı ancak gelişmekte olan sanayi nedeniyle kaynaklanacak deşarjlar öncesi ön arıtım yapılması gerektiği belirtilmiştir. Arıtma tesisi çıkış suyu tuzluluk, sodyum, klorür, toplam çözünmüş madde ve SAR parametreleri açısından II. sınıf su kalitesi özelliği göstermekte

olup birçok tarımsal ürünün yetiştirilmesi mümkün olduğu fakat endüstriyel tesislerden, otellerden ve hastanelerden kaynaklı kullanılmış su girişi, yetiştirilmesi muhtemel ürün ve sulama suyu kalitesine etkisi bakımından sınırlama oluşturabileceği belirlenmiştir.

Projede arıtma tesisinden çıkan ve sulama dönemi dışında depolanmayacak 44.000 m³ geri kazanılmış su ile sulama yapılması ön görülmüştür. Afyonkarahisar İli iklim, toprak ve bitki örtüsü koşulları dikkate alınarak geri kazanılmış suyun 4740 dekarlık (da) alanda kullanılmasının mümkün olduğu sonucuna erişilmiştir.

Bölgede kuru tarım yapılmakta olup projenin uygulanması ile sulamaya açılacak alanlarda birlikte arpa, buğday, şeker pancarı, silajlık mısır ve yonca yetiştirilmesinin mümkün olduğu belirtilmiştir. Mevcutta kuru tarımdan elde edilen buğday ve fiğın yıllık net geliri 425 bin TL bulunmuş olup sulamaya açılma durumunda ise arpa, buğday, şeker pancarı, silajlık mısır ve yoncadan elde edilecek toplam gelir ise 1037 bin TL olarak hesaplanmıştır [58].

3.2.5.3. Ergene Havzası'nda arıtılmış suların sulamada kullanılmasının uygulanabilirliğinin araştırılması projesi

Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından 2014 yılında tamamlanan proje ile Ergene Havzası'ndaki 13 adet evsel nitelikli kullanılmış su arıtma tesisinden çıkan arıtılmış suların sulamada kullanılabilirliğinin araştırılması hedeflenmiştir. Arıtılmış kullanılmış sularda BOİ, fekal koliform ve bulanıklık parametrelerinin sulama için sınırlayıcı olduğu görülmüştür. Arıtılmış kullanılmış suların sulamada kullanılabilmesi için tesislere filtrasyon (hızlı kum filtresi) ve dezenfeksiyon (UV) ünitelerinin ilave edilmesi gerektiği belirlenmiştir.

Havzada bulunan arıtma tesisleri tarım arazileri içerisinde dere, nehir ve göletlerin yakınına inşa edilmiş olduğu ve Mayıs-Eylül aylarında arıtılmış kullanılmış suların sulamada kullanılabilmesi için ilave kanal veya boru hatlarının yapılmasına ihtiyaç duyulmadığı belirlenmiştir. Ayrıca Mayıs-Eylül ayları arasında (5 ay süreyle) arıtılmış kullanılmış suların sulamada kullanılması halinde araziye besi elementlerinin katkısı ve gübre ihtiyacının karşılanması ile gübre azaltım oranları da belirlenmiştir. Böylece, Trakya'da su ihtiyacı fazla olan çeltik üretiminin yapıldığı Keşan, Hayrabolu ve Uzunköprü'de arıtılmış kullanılmış suların sulamada kullanılması ile ihtiyaç duyulan gübre miktarının minimuma indirgeneceği tespit edilmiştir [59], [58].

3.2.6. Diğer sulama amaçlı uygulama örnekleri

İstanbul Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi arıtılmış sularının 100.000 m³/gün kadarı yeniden kullanılmaktadır. Yeniden kullanılan sular ile Tuzla Belediyesi Şelale Parkı, TOKİ Aydınli Konutları, İstanbul Deri Organize Sanayi Bölgesi, İstanbul Tersanesi Komutanlığı Askeri Tesisi Tuzla Arıtma Tesisi ve Pendik Tuzla Sahil Yolu'nun günlük sulama ihtiyacını karşılamaktadır. Ayrıca bazı belediyelerin temizlik araçlarının ve Kamil Abduş Gölü'nün su ihtiyacı geri kullanımı sağlanan kullanılmış sulardan karşılanmaktadır [59]. Muğla Konacık Atıksu Arıtma Tesisinin 1500 m³/gün'lük arıtılmış suları park, bahçe ve refüjlerdeki yeşil alanların sulanması ile araç yıkanması amacıyla kullanılmaktadır [59].

Ege ve Akdeniz gibi turistik yapılaşma ve yatırımın yoğun olduğu kesimde arıtma tesislerinin çıkış suları, park sulaması ve bahçe sulamasında site yerleşimlerinde değerlendirilmektedir [61]. Türkiye'de su potansiyeli ve kullanılmış suların geri kullanımının olduğu yerlerde stabilizasyon havuzunda biriktirilip tarımsal amaçlı kullanılmaktadır. Ayrıca, şeker ve kağıt fabrikalarında oluşan kullanılmış sular sulamada geri kullanılması yaygın bir yöntemdir [62], [61].

Antalya Belek bölgesindeki otellere hizmet veren bölgesel kullanılmış su arıtma tesisleri bulunmaktadır. Bu tesislerde geri kazanılan kullanılmış suların bir bölümü otellere ait golf sahalarının sulanmasında yeniden değerlendirilmektedir [9].

Kullanılmış suların oluştuğu kaynakta yerinde arıtılarak yeniden kullanımı konusunda ülkemizde az sayıda uygulama bulunmaktadır. Uygulamalar daha çok su kullanımının fazla olduğu turizm tesislerinde, kişi sayısının fazla olduğu okullarda ve yazlık sitelerdedir. En yaygın kullanım amacı, bahçe sulamadır, bununla birlikte gri suyun rezervuara döndürüldüğü uygulamalar da mevcuttur. Bu kapsamda Hilton İstanbul, Barut Otel Sorgun, Polat Holding Renaissance, Varyap Meridyen, Zorlu Center, İstanbul Özel Amerikan Robert Lisesi, Xanadu Island Resort Oteli gibi örnekler verilebilmektedir [9].

3.2.6.1. İstanbul Hilton Otelleri Gri Su Geri Kullanım Uygulaması

1955 yılında hizmete giren Hilton İstanbul, Türkiye'nin ilk Uluslararası 5 Yıldızlı Oteli olmasının yanı sıra Amerika kıtası dışında en uzun süre hizmet veren Hilton Oteli'dir. Otel, 499 odası ile hala İstanbul'un en iyi otellerinden biridir. Hilton İstanbul, on marka ve 4000'in üzerinde otel ile dünyanın önde gelen konaklama şirketi olan Hilton Worldwide'a dahildir. Hilton İstanbul, bölgedeki yeraltı suyundaki yetersizlikler ve su maliyetlerinin her geçen yıl artıyor olması nedeniyle su tasarrufunu öncelikleri arasına almıştır [63]. Su ihtiyacının azaltılması, tatlı su kaynaklarının korunması ve çevrenin korunması için Hilton İstanbul otel ortamının değişken su taleplerini yönetebilmek için bir yeniden kullanım sistemi kurmuştur. Bu sistemde insanların su kullanımının yüksek olduğu sabah ve akşam saatlerinde lavabo ve duşlardan gelen gri suları bir dengeleme tankında depolamışlardır. Ayrıca membran biyoreaktörler (MBR) kullanılarak gri suların arıtımı sağlanmaktadır. 2011 yılında devreye alınan sistemde arıtılmış

kullanılmış sular otelin 240 odasına bağlanmıştır [63]. Sistemde her gün 75-85 m³ su arıtımı yapılmaktadır.



Şekil 3-2 İstanbul Hilton Otelleri gri suların geri kazanım tesisi

Diğer taraftan arıtılmış kullanılmış sular Hilton'a ait 1,2 hektarlık yeşil alanların sulanmasında kullanılmaktadır. Arıtılan suyun kalitesi, temel kalite standartlarını karşıladığından emin olmak için, Türkiye Sağlık Bakanlığı'ndan lisanslı laboratuvarlar tarafından düzenli olarak test edilmektedir. Elde edilen çıktı kalitesi Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın belirlemiş olduğu bahçe sulama ve rezervuar suyu kriterlerine uygundur. Sistemden elde edilen arıtılmış su kalitesi İstanbul Hıfzı Sıhha Enstitüsü Müdürlüğü tarafınca onaylanmıştır [64].

3.2.6.2. Antalya Belek Bölgesindeki otellere hizmet veren bölgesel atıksu arıtma tesisi örneği

Antalya, ülkemizde turizmin lokomotifi konumundadır. Belek bölgesi ise yüksek kalitede ve standartlarda hizmet veren çok sayıda otelin bulunduğu bir bölgedir. Ayrıca belek bölgesinde toplam 6 adet golf tesisi bulunan otel bulunmaktadır. Bu nedenle bölgede yoğun bir su talebi bulunmaktadır. Bu su taleplerinin karşılanmasına yönelik Antalya Belek Bölgesi'ndeki otellere hizmet veren bölgesel atıksu arıtma tesisinde kullanılmış sular geri kazanılmakta ve golf sahalarının sulanması amacıyla geri kullanılmaktadır. Arıtma tesisi kapasitesi yaklaşık 10000 kişidir [65].



Şekil 3-3 Antalya Belek Bölgesel Atıksu Arıtma Tesisi'nin konumu [65]

3.2.6.3. Evsel kullanılmış suların sulama amaçlı kullanımı Konacık/Muğla

Ülkemizde evsel kullanılmış suların sulama amaçlı geri kullanım örneklerinden birini Muğla Konacık Belediyesine ait Evsel Atıksu Arıtma Tesisi oluşturmaktadır (Şekil 3-4). Tesiste konvansiyonel biyolojik arıtma ek olarak membran biyorektörler (MBR) kullanılarak kullanılmış sular arıtılmaktadır. Tesisin kapasitesi 1500 m³/gün dür. Geri kazanılan sular park ve bahçelerin sulanmasında, araç yıkama tesislerinde geri kullanılmaktadır [65].



Şekil 3-4 Muğla Konacık Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi [66]

4. ULUSLARARASI GERİ KAZANIM MEVZUATI ve UYGULAMALAR

Arıtılmış suların yeniden kullanımını düzenleyen yasalar genellikle gelişmiş ülkelerde mevcuttur. Bu konuda en kapsamlı yasal altyapıya sahip ülke kuşkusuz ABD'dir. Su ile ilgili neredeyse tüm konularda olduğu gibi geri kullanım konusundaki yasal altyapısı ile de örnek konumdadır. Ayrıca dokümantasyon becerisi ve bilgilere erişim kolaylığı göz önüne alındığında Amerikan yasal altyapısının tüm ülke ve kurumlara ilham kaynağı verdiği açıktır. Avustralya'da da konu ile alakalı birtakım düzenlemeler yapıldığı göze çarpmaktadır.

Avrupa Birliği (AB) içinde 1990'lı yıllarda kirlilik azaltımı için yasal düzenlemeler getirilmiş olup bunlardan en önemlisi kentsel kullanılmış suların toplanması, arıtılması, deşarjı ve belli endüstriyel sektörlerden kullanılmış su deşarjının etkilerinden çevreyi korumak için kabul edilen 91/271/ECC sayılı Kentsel Atıksu Arıtma Direktifi'dir. Direktifin 12. Bölümünde yer alan "treated wasteater shall be reused whenever appropriate" maddesi ile arıtılmış kullanılmış suların kullanımına yer verilmiştir. Daha sonraki dönemde ise Su Çerçeve Direktifi uygulamaya girmiştir. Direktifin gereklilerinden bazıları suyun yeniden kullanım planlaması ve yeniden kullanım için faydalı düzenlemeler içermektedir. Direktifin EK-VI Kısım B (x)'inde "efficiency and reuse measures, interalia, promotion of water efficient technologies in industry and water saving techniques for irrigation" ifadesi ile verimlilik ve suyun yeniden kullanım

önlemlerine atıf yapılmaktadır. AB düzeyinde suyun yeniden kullanımına atıf yapan birçok çerçeve düzenleme yer almasına rağmen genel bir düzenleme veya rehber bulunmamaktadır. Ancak arıtılmış suların tarımsal sulama maksadıyla yeniden kullanımının araştırıldığı bir doküman bulunmaktadır. Suyun yeniden kullanımı için birçok üye ülke kendi yasal çerçevelerini oluşturmaya başlamışlardır [58]. Devletlerin yanında bazı uluslararası organizasyonların da arıtılmış kullanılmış suların yeniden kullanımına ilişkin düzenlemeleri olabilmektedir. WHO tarım ve akuakültür için arıtılmış suların güvenli şekilde geri kullanımını belirlemiştir. WHO'nun zirai kullanım için mikrobiyolojik kalite rehberi Tablo 4-1'de verilmiştir. ISO ise 2013 yılında Çin, Japonya ve İsrail'in talebi üzerine yeniden kullanıma ilişkin çalışmalara başlamıştır. 2015 yılında ISO 16075 olarak yayımlanan standartlar tarımsal ve peyzajlı sulama için halk sağlığı, mahsul, toprak ve su kaynakları üzerinde olumsuz etkilerin önlenmesine rehberlik eder. FAO (Food & Agricultural Organization) ise zirai geri kullanımdaki su kalitesini 3 ana kısıt grubu oluşturarak şekillendirmiştir (Tablo 4-2). Tablo 4-3'te ise birçok ülke ve organizasyonun geri kullanımda sağlanması gerekli mikrobiyolojik parametre değerleri özetlenmiştir [67].

Tablo 4-1 Zirai geri kullanımda önerilen mikrobiyolojik kalite parametreleri [68]

Kategori	Geri kullanım durumu	Maruziyet Grubu	İntestinal nematodlar (yumurta/L)	Fekal koliform (sayı/100 mL)	Gerekli arıtma düzeyi
A	Direkt olarak yenilebilir ürünleri olan bitkilerin sulanması	İşçiler ve son tüketici	<1	<1000	Seri stabilizasyon havuzları
B	İşlendikten sonra yenilebilecek ürünleri olan bitkilerin sulanması	İşçiler	<1	Standart yok	Stabilizasyon havuzunda 8-10 gün bekletme (helmint ve fekal koliform giderimi için)

Kategori	Geri kullanım durumu	Maruziyet Grubu	İntestinal nematodlar (yumurta/L)	Fekal koliform (sayı/100 mL)	Gerekli arıtma düzeyi
C	B kategorisi sulamanın maruziyet yaratmadığı durum	Hiçkimse	Uygulanmaz	Uygulanmaz	Sulama teknolojisine göre değişmekle beraber ön çöktürmeden daha az arıtma olmamalıdır.

Tablo 4-2 FAO sulama için su kalitesi rehberi [69]

Potansiyel Sulama Problemi	Birim	Kısıtsız kullanım	Orta kısıtlı kullanım	Yüksek kısıtlı kullanım
TÇK	mg/L	<450	450-2000	>2000
SAR = 0-3	EC _{w→}	>0,7	0,7-0,2	<0,2
SAR = 3-6	EC _{w→}	>1,2	1,2-0,3	<0,3
SAR = 6-12	EC _{w→}	>1,9	1,9-0,5	<0,5
SAR = 12-20	EC _{w→}	>2,9	2,9-1,3	<1,3
SAR = 20-40	EC _{w→}	>5,0	5,0-2,9	<2,9
Sodyum				
Yüzey sulama	SAR	<3	3-9	>9
Sprinkler sulama	me/L	<3	>3	
Klorür				
Yüzey sulama	me/L	<4	4-10	>10
Sprinkler sulama	m ³ /L	<3	>3	
Bor	mg/L	<0,7	0,7-3,0	>3,0
Azot (NO ₃ -N)	mg/L	<5	5-30	>30
Bikarbonat (HCO ₃ ⁻)	me/L	<1,5	1,5-8,5	>8,5
pH			6,5-8,5	

Tablo 4-3 Uluslararası mikrobiyolojik kalite değerleri özeti [70]

Ülke	Kabuklu su ürünleri üetimi		İnsani temasa izin verilen rekreasyonel alanlar			Endojen organizmaların korunması	
	Toplam koliform	Fekal koliform	Toplam koliform	Fekal koliform	Diğer	Toplam koliform	Fekal koliform
USEPA (ABD)		14			Enterokoklar, 35		
Kaliforniya (ABD)	70		%80<1.000 %100<10.000	200 %90<400			
AB					F. streptokok 100 Salmonella 0/L		
UNEP		%80<10 %100<100		%50<100 %90<1000			
Brezilya			%80<5000	%80<1000			
Kolombiya			1000	200			
Küba			1000	%90<400			
Ekvator			1000	200			
Meksika	70 %90<230		%80<1000 %100<10.000			10.000 %80<10.000 %100<20.000	
Peru	%80<1000	%80<200 %200<1000	%80<5000	%80<1000		%80<20.000	%80<4000
Porto Riko	70 %80<230			200 %80<400			
Venezuela	70 %90<230	14 %90<43	%90<1000 %100<5000	%90<200 %100<400			
Fransa			<2000	<500	F.streptokok<100		
İsrail			%80<1000				
Japonya	70		1000			1000	
Polonya					E.koli<1000		
Çin	<50 (koli endeksi)	14		<200	<1000 (koli endeksi)		

Aritılmış suların geri kullanımı konusunda bir ikilem mevcuttur. Dünya üzerinde su yönetimi ve su teknolojisi konusunda önde gelen ülkeler genellikle su sıkıntısı yaşamayan ülkelerdir. Bunlara en güzel örnek Hollanda, Almanya, İngiltere gibi ülkelerdir. Bu ülkelerde su sıkıntısı mevcut olmadığı için yasal bir altyapı oluşturulması gerekliliği görülmemiştir. Su sıkıntısı çekmesinden dolayı geri kullanım uygulamalarına ihtiyaç duyan az gelişmiş veya gelişmekte olan ülkelerde ise altyapı sorunları ve maliyetlere bağlı olarak bu uygulamalar yaygınlaşamadığı için bir yasal altyapıda hazırlanmamıştır. Bu tip ülkelerin halen biyolojik arıtma sistemlerinin kurulması, kanalizasyon ağının tamamlanması gibi ciddi altyapı sorunlarının yanında finansal problemleri de bulunmaktadır. İsrail bu ikilemde istisna oluşturan çok az sayıdaki ülkeden biridir. Kişi başına düşen milli geliri, güçlü su altyapısı, Ar-Ge kapasitesi ve su teknolojileri konusundaki öncü rolü ile gelişmiş Batı ülkelerine benzer iken kullanılabilir su kaynakları açısından çok fakir bir görüntü çizmektedir.

4.1. Ülke Uygulamaları ve Mevzuatları

4.1.1.Almanya

Almanya'da, kullanılabilir su miktarı 182 milyar m³/yıl seviyesindedir. Bu miktarın sadece %25,8'i kullanılmaktadır. Dağılım aşağıda verilmiştir:

- %15,8 enerji santrallerinde,
- %6 endüstrilerde,
- %3,1 içme ve kullanma suyu eldesinde,
- %0,9 zirai sulamada.

Bu nedenle kullanılmış suların geri dönüşümü için ihtiyaç düşüktür. Almanya'nın bazı federal eyaletlerinde toplanan yağmur suyunun yeniden kullanılması ile ilgili yeni yasal

düzenlemeler yapılmıştır. Ancak, su bolluğundan dolayı bu husus ancak ekonomik ve ekolojik avantajlar sağlandığında uygulama alanı bulabilmektedir. Federal Su Yasası (Wasserhaushaltsgesetz), ülkenin su kaynakları için yüksek seviyede koruma sağlamaktadır. Yağmur suyu toplama sistemi kurmayan binalara yönetmelik kapsamında kanalizasyona yağmursuyu boşaltma ücreti dahil edilmiştir. Bu durum geri kullanım ile ilgili dolaylı yönetmeliklere bir örnektir [71]. Almanya büyük oranda AB direktiflerini benimsemiştir. Örnek olarak rekreasyonel amaçlı kullanılan sularda geri kullanım kriterleri Tablo 4-4'te verilmiştir.

Tablo 4-4 Rekreasyonel amaçlı kullanılan sularda geri kullanım kriterleri [70]

Mikrobiyolojik parametre	Rehber	Yönetmelik	Numune frekansı
E.coli/100 ml	100	2000	Her iki hafta
Fekal streptokok/100 mL	100	400	Her iki hafta
Enterovirüsler PFU/10 L	-	0	Aylık

Almanya'da genelde kullanılmış su arıtma tesisleri ihtiyaçlar temelinde dizayn edilip işletilmektedir. Vejetasyon periyodu olan yaz dönemlerinde nütrient giderimleri düşük iken, kış aylarında azot ve fosfor giderimi tam olarak sağlanıp, elde edilen su yeraltı sularının beslenmesinde kullanılmaktadır. Gri su geri dönüşümü ve yağmur suyu hasadı uygulamalara örnek olarak verilebilir. Bazı bölgelerde (örneğin, Ruhr Vadisi ve Ren Vadisi) yeraltı suyuna suni besleme uygulaması yapılmaktadır. Berlin şehrinde ise 120 yıldır arıtılmış kullanılmış sular ile yürüstü sularının paçal edilerek geri kullanım uygulamalarında yer aldığı görülmektedir. Bu husus nehir kıyısı filtrasyonu (river bank filtration) ile doğrudan ilintilidir [71].

4.1.2.Amerika Birleşik Devletleri (ABD)

ABD’de su arıtımı ve yeniden kullanım standartları, eyalet ve yerel ajansların sorumluluğundadır. Yeniden kullanım için doğrudan bir federal yönetmelik yoktur. Su Kullanım Rehberleri İlk EPA tarafından geliştirilmiştir. 2012 tarihli güncellenmiş belgenin yayımlanmasından itibaren, 30 eyalet düzenlemeleri kabul etmiştir. 15 eyalette suyun tekrar kullanılmasına ilişkin yönerge veya tasarım standartları bulunmaktadır [1]. ABD’de federal eyalet sistemi uygulanmaktadır. Eyaletler kanun yapma ve yürütme yetkisine sahiptir. Ancak yapılacak yasalar federal yürütme tarafından belirlenen genel çerçeve yasaların dışına çıkamaz. Bu bağlamda, arıtılmış suların geri kullanımı için eyaletlerin uyması gereken çerçeve aşağıda verilmiştir.

Tablo 4-5 Eyaletlerin su geri kullanım yasalarını hazırlarken uymaları gereken genel federal çerçeve esasları [1]

Konu	Esas
Amaç	Eyaletteki sorumlu idare, su geri kullanım yasasını hazırlarken temel amacını ve ulaşılması hedeflenen nihai amacı tanımlamalıdır.
Tanımlar	Yasanın içerdiği terimler tanımlanmalıdır.
Yasaklar ve istisnalar	Yasaya tabi olmayan kurum ve uygulamalar ile yasak olan uygulama, proses ve aktiviteler verilmelidir.
Esneklikler	Bir projenin yararını aşan zorluklara ilişkin yönetmeliğin tasarım, inşaat, işletme ve/veya bakım bağlamında sunması gereken esnekliktir. Esnekliğin insan sağlığına, diğer yararlı kullanımlara veya çevreye olumsuz bir şekilde etkisi olmamalıdır. Bu prosedürler, düzenleyicilere, önemli derecede olumsuz bir etkisi olmayan veya sadece

Konu	Esas
	bir yönetmeliğin geliştirilmesi sırasında öngörülemeyen fırsatları veya minimum derecedeki sapmaları dikkate almak için esneklik kazandırır.
İzin gereksinimleri	Bu noktada iki seçenek vardır: Hazırlanan düzenlemenin kendisi izin verici mekanizma olabilir ya da hazırlanan düzenleme diğer yasa ve yönetmeliklere atıf yaparak geri kullanıma rehberlik edici bir yapıda olabilir. Bu durum hazırlanan düzenlemede açıkça belirtilmelidir. Son kullanıcının izni nasıl alacağı açıklanmalıdır. Bu bağlamda, izin gereksinimleri ve prosedürleri net olarak açıklanmalıdır. Son kullanıcının vermesi gereken tüm bilgiler tanımlanmalı ve böylelikle değerlendirmenin hızlı ve doğru yapılması sağlanmalıdır.
Kontrol ve erişim	Arıtılmış suların kontrolü ve erişilebilirliği; son kullanıcı su hakları, su idaresi hakları ve su sağlayıcı özel şirketlerin hakları temelinde kurgulanmalıdır.
Konvansiyonel su kullanımı ile ilgili mevzuatlarla uyum	Yeni düzenlemenin mevcut su ve kullanılmış su yasaları (havza yönetimi, tehlikeli atıklar, yeraltı suyu ve toplum sağlığı ile ilgili benzer yasalar dahil) ile olan ilişkisi tanımlanarak çelişkiler engellenmelidir.
Paydaşların tanımlanması	Geri kullanım programında yeri ve rolü olan tüm kurum ve kuruluşlar tanımlanarak yasal çerçeve içine alınmalıdır.
Konvansiyonel olmayan su	Gri su geri kazanımı, yağmur suyu hasadı gibi hâlihazırda mevcut uygulamaları

Konu	Esas
kullanımı ile ilgili mevzuatlarla uyum	düzenleyen yönetmelikler ile olan ilişkiler tanımlanarak örtüşmeler/çelişkiler önlenmelidir.
Arıtılmış suların kalite standartları	Uygulanacak standartlar insanlar ile temas ve son kullanım amaçları doğrultusunda kurgulanmalıdır. Daha az karşılaşılan ve düzenleme kapsamında olmayan istisnai uygulamaların proje bazlı değerlendirilmesi için hükümler bulunmalıdır. Kriterleri sağlamayan sularla karşılaşılnca alınacak hareket tarzı ve düzeltici uygulamalar belirtilmelidir.
Arıtma teknolojisi gereksinimleri	Gerektiğinde spesifik geri kullanım uygulamaları için belirli arıtma teknolojilerinin kullanımı vurgulanmalıdır.
İzleme gereksinimleri	Düzenlemede verilen tüm standartların hangi aralıkta, hangi metotlar ile ölçülerek izleneceği verilmelidir.
Tasarım ve inşaa kriterleri	Tasarım, inşaa ve yer seçimi hususları ve ilgili kıstaslar tanımlanmalıdır. Çift hatlarda (içme ve kullanma suyunun ayrı hatlarda isale edilmesi) gereksinimlerin tanımlanması gerekir. Son kullanıcının arıtılmış suyu almadığı durumlarda (örnek: yağışlı mevsimler) bu suyun bertaraf veya transferi için gereksinimlerin verilmesi gerekmektedir.
İşletme ve bakım (O&M)	O&M manuelllerinin minimum içeriği/taslağı verilmelidir.
Endüstriyel tesislerden gelen kirleticilerin yönetimi	Özellikle insani teması barındıran geri kullanım uygulamalarında arıtılmış suların üretimine katkı vermek isteyen endüstrilerden gelecek spesifik

Konu	Esas
	kirleticiler ve bu tesislerin alacakları tedbirler kurgulanmalıdır.
Saha koruması	Arıtılmış suların üretildiği veya depolandığı yerlere yapılacak giriş-çıkışların kontrolü, uyarı levhalarının bulunması, bariyerler teşkil edilmesi gibi hususlar sağlanmalıdır.
Eğitim	Arıtılmış suları üreten kuruluşlar, son kullanıcılar ve sürece müdahil olan tüm ögeler arıtılmış suların kaynağı ve kullanım özellikleri bağlamında bilgilendirilmelidir. Bu bilgilendirme hazırlanacak düzenlemede tanımlanmalıdır.
Kayıtlar	İşletimde hangi parametrelerin hangi frekans ile kayıt edileceği hususu tanımlanmalıdır.
Raporlama	Hangi parametrelerin hangi sıklıkta hangi kurumlara rapor edilmesi gerekliliği verilmelidir.
Finans	Finansal destekler tanımlanmalıdır.

ABD’de arıtılmış su yeniden kullanım kategorilerine ayrılmıştır. En yaygın kullanımlar dikkate alınarak hazırlanan kategoriler Tablo 4-6’da sunulmuştur. Ancak, eyaletlerde yer alan yeniden kullanım kategorileri ve tanımları, Tablo 4-6’da sunulan yeniden kullanım kategorileri ve açıklamalardan farklı olabilmektedir. Bu durum eyalette bulunan mevcut yasa ve yönetmelikler ile alıcı ortam temelinde gerekli olabilecek proje spesifik ihtiyaçların karşılanması noktasında olumlu sonuçlar vermektedir.

Tablo 4-6 Su geri kullanımı uygulamaları kategorileri [1]

Geri Kullanım Kategorisi		Tanım
Kentsel geri kullanım	Kısıtsız	Halk erişiminin sınırlandırılmadığı belediye ortamlarında, içme dışı uygulamalar için arıtılmış suların geri kullanımıdır.
	Kısıtlı	Bariyer, uyarı işareti veya geçici erişim kısıtlaması gibi fiziksel veya kurumsal engellerle kamu erişiminin kontrol edildiği veya kısıtlandığı belediye ortamlarında içme dışı uygulamalar için arıtılmış suların geri kullanımıdır.
Zirai geri kullanım	Zirai bitkiler	İnsani tüketime yönelik zirai bitkileri sulamak için arıtılmış suların geri kullanımıdır.
	Gıda dışı zirai bitkiler	İnsanlar tarafından tüketilmeden önce işlenmiş olan veya insanlar tarafından tüketilmeyen zirai bitkileri sulamak için arıtılmış suların geri kullanımıdır.
Göletler	Kısıtsız	Arıtılmış suların, vücutla temas eden su rekreasyon faaliyetlerinin yapılmasına herhangi bir sınırlama getirilmediği göletlerdeki geri kullanımıdır.
	Kısıtlı	Arıtılmış suların, vücutla temas eden su rekreasyon faaliyetlerinin sınırlandırıldığı göletlerdeki geri kullanımıdır.
Çevresel geri kullanım		Yapay sulak alanlar, su habitatları ve akarsular gibi su kütlelerini oluşturmak, sürdürmek veya

Geri Kullanım Kategorisi	Tanım
	arttırmak için arıtılmış suların geri kullanımıdır.
Endüstriyel geri kullanım	Arıtılmış suyun endüstriyel tesislerde, enerji üretiminde ve fosil yakıtların çıkarılmasında kullanımıdır.
Yeraltı suyu beslemesi – İçme dışı geri kullanım	İçme suyu kaynağı olarak kullanılmayan akiferlerin arıtılmış su ile zenginleştirilmesidir.

Tablo 4-7’de ise dolaylı içme amaçlı geri kullanımlarda uygulanacak rehber kriterler verilmiştir. Bu rehber sayesinde dolaylı içme amaçlı geri kullanımlar konusunda çatı bir yönetmelik oluşturulmuştur. Eyalet bazında kurgulanacak yönetmelikler bu değerlere tabidir. Ancak, eyaletler gereksinim duydukları standartlar uyarınca daha sıkı standartlar koyabilmekte veya ek parametreler kurgulayabilmektedirler. Bu durum geri kullanım uygulamalarının proje ve/veya havza bazında ihtiyaç duyulabilecek gereksinimleri karşılama temelinde daha esnek olmasını sağlamaktadır. İçme dışı geri kullanımlarda uygulanacak rehber kriterler Tablo 4-8’de sunulmuştur. Rehber kriterler en detaylı kriterleri sunan eyaletlerden ikisi olan Kaliforniya ve Florida özelinde irdelenmiştir. Farklı eyaletlerde gereksinimler değişebilmekte ise de genel yaklaşım ve alt başlıklar büyük ölçüde ortaktır.

Tablo 4-7 Dolaylı içme amaçlı geri kullanımlarda uygulanacak rehber kriterler [1]

Geri Kategorisi	Kullanım	Arıtma Gereksinimi	Kalite standartları¹	İzleme	Sınır mesafesi (çekme mesafesi)
İçilebilir akiferlere ulaşabilen besleme		• İkincil arıtım • Filtrasyon • Dezenfeksiyon • Perkolasyon	• Top. koliform/100 mL=<DS² • Kalıntı klor=1 mg/L • pH=6,5-8,5 • NTU=<2 • TOK=<2 mg/L • Perkolasyon neticesinde vadoz bölgesi sonunda içme suyu standartları sağlanmalıdır	• pH: günlük • Toplam koliform: günlük • Kalıntı klor: sürekli • İçme suyu standartları: yılda 4 kez • TOK: haftalık • Bulanıklık: sürekli • Virüs ve parazit için izleme gerekmez	En yakın içme suyu kuyusuna sızma ile süre olarak en az 2 ay mesafede olmalıdır.

Geri Kategorisi	Kullanım	Arıtma Gereksinimi	Kalite standartları¹	İzleme	Sınır mesafesi (çekme mesafesi)
İçilebilir akiferlere doğrudan besleme		• İkincil arıtım • Filtrasyon • Dezenfeksiyon • İleri arıtma	• Top. koliform/100 mL=<DS² • Kalıntı klor=1 mg/L • pH=6,5-8,5 • NTU=<2 • TOK=<2 mg/L • İçme suyu standartları sağlanmalıdır	• pH: günlük • Toplam koliform: günlük • Kalıntı klor: sürekli • İçme suyu standartları: yılda 4 kez • TOK: haftalık • Bulanıklık: sürekli	En yakın içme suyu kuyusuna sızma ile süre olarak en az 2 ay mesafede olmalıdır.
Yüzeysel su kaynaklarının beslenmesi		• İkincil arıtım • Filtrasyon • Dezenfeksiyon • İleri arıtma	• Top. koliform/100 mL=<DS² • Kalıntı klor=1 mg/L • pH=6,5-8,5 • NTU=<2 • TOK=<2 mg/L • İçme suyu standartları sağlanmalıdır	• Virüs ve parazit için izleme gerekmez	Proje spesifik. Rezervuarlara ya da içme suyu arıtma tesisi giriş yapısına süre olarak en az 2 ay mesafede olmalıdır.

¹Belirtilen parametreler mutlaka bulunmalıdır. Gerekğinde parametreler artırılabilir.

² Deteksiyon sınırı

Tablo 4-8 İçme dışı geri kullanımlarda uygulanacak rehber kriterler [1]

		Kaliforniya	Florida
Kentsel geri kullanım (kısıtsız)			
Aritma gereksinimleri	Temel işlemler	Oksidasyon, Koagülasyon, filtrasyon dezenfeksiyon	İkincil arıtma, filtrasyon, yüksek seviyeli dezenfeksiyon
	UV dozu (varsa)	NWRI UV Rehberi	NWRI UV Rehberi (varyanslara izin var)
	Klor dozu (varsa)	CrT>450 mg-dak/L (pik debilerde 90 dakika temas süresi)	TRC > 1 mg/L (pik debilerde 15 dakika temas süresi)
İzlenen arıtılmış su kalite gereksinimleri	BOİ ₅	Belirtilmemiş	20 mg/L (yıllık ort.) 30 mg/L (aylık ort.) 45 mg/L (haftalık ort.) 60 mg/L (maks.)
	AKM	Belirtilmemiş	5 mg/L (maks.)
	Bulanıklık	2 NTU (ort.) medya filtreleri 10 NTU (maks.) medya filtreleri 0,2 NTU (ort.) membran filtreleri 0,5 NTU (maks.) membran filtreleri	Proje spesifik (genellikle 2-2,5 NTU) Florida'da AKM indikatörü olarak bulanıklı sürekli on-line izlenmektedir.

		Kaliforniya	Florida
	Bakteriyel indikatörler	Toplam koliform: 2,2/100 mL (7 günlük ort.) 23/100 mL(30 günlük sürede en fazla 1 numunede) 240/100 mL (maks.)	Fekal koliform: Numunelerin %75'i tayin sınırının altında olacak 25/100 mL (maks.)
	Patojenler	Belirtilmemiş	Giardia ve Cryptosporidium: > 1 mgd tesisler için 2 yılda bir < 1 mgd tesisler için 5 yılda bir
	Diğer	-	-
Kentsel geri kullanım (kısıtlı)			
Aritma gereksinimleri	Temel işlemler	Oksidasyon, dezenfeksiyon	Belirtilmemiş
	UV dozu (varsa)	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
	Klor dozu (varsa)	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
İzlenen arıtılmış su kalite gereksinimleri	BOİ ₅	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
	AKM	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
	Bulanıklık	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
	Bakteriyel indikatörler	Toplam koliform: 23/100 mL (7 günlük ort.) 240/100 mL (30 günlük sürede en fazla 1 numunede)	Belirtilmemiş
	Diğer	-	-

		Kaliforniya	Florida
Zirai geri kullanım (gıda mahsülleri)			
Arıtma gereksinimleri	Temel işlemler	Oksidasyon, koagülasyon, filtrasyon, dezenfeksiyon	İkincil arıtma, filtrasyon, yüksek seviyeli dezenfeksiyon
	UV dozu (varsa)	NWRI UV Rehberi	NWRI UV Rehberi (varyanslara izin var)
	Klor dozu (varsa)	CrT>450 mg-dak/L (pik debilerde 90 dakika temas süresi)	TRC >1 mg/L (pik debilerde 15 dakika temas süresi)
İzlenen arıtılmış su kalite gereksinimleri	BOİ ₅	Belirtilmemiş	20 mg/L (yıllık ort.) 30 mg/L (aylık ort.) 45 mg/L (haftalık ort.) 60 mg/L (maks.)
	AKM	Belirtilmemiş	5 mg/L (maks.)
	Bulanıklık	2 NTU (ort.) medya filtreleri 10 NTU (maks.) medya filtreleri 0,2 NTU (ort.) membran filtreleri 0,5 NTU (maks.) membran filtreleri	Proje spesifik (genellikle 2-2,5 NTU) Florida'da AKM indikatörü olarak bulanıklık sürekli on-line izlenmektedir.
	Bakteriyel indikatörler	Toplam koliform: 2,2/100 mL (7 günlük ort.) 23/100 mL(30 günlük sürede en fazla 1 numunede) 240/100 mL (maks.)	Fekal koliform: Numunelerin %75'i tayin sınırının altında olacak 25/100 mL (maks.)

		Kaliforniya	Florida
	Viral indikatörler	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
	Patojenler	Belirtilmemiş	Giardia ve Cryptosporidium: > 1 mgd tesisler için 2 yılda bir < 1 mgd tesisler için 5 yılda bir
	Diğer	-	-
	Zirai geri kullanım (gıda dışı mahsüller)		
Arıtma gereksinimleri	Temel işlemler	Oksidasyon	İkincil arıtım, temel dezenfeksiyon
	UV dozu (varsa)	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
	Klor dozu (varsa)	Belirtilmemiş	TRC >0,5 mg/L (pik debilerde 15 dakika temas süresi)
İzlenen arıtılmış su kalite gereksinimleri	BOİ ₅	Belirtilmemiş	20 mg/L (yıllık ort.) 30 mg/L (aylık ort.) 45 mg/L (haftalık ort.) 60 mg/L (maks.)
	AKM	Belirtilmemiş	20 mg/L (yıllık ort.) 30 mg/L (aylık ort.) 45 mg/L (haftalık ort.) 60 mg/L (maks.)
	Bulanıklık	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
	Bakteriyel indikatörler	Belirtilmemiş	Fekal koliform: 200/100 mL (ort.) 800/100 mL (maks.)

		Kaliforniya	Florida
	Diğer	-	-
Gözetler (kısıtsız)			
Arıtma gereksinimleri	Temel işlemler	Oksidasyon, koagülasyon, filtrasyon, dezenfeksiyon	Eyalet mevzuatında tanımlı değildir.
	UV dozu (varsa)	NWRI UV Rehberi	Eyalet mevzuatında tanımlı değildir.
	Klor dozu (varsa)	CrT>450 mg-dak/L (pik debilerde 90 dakika temas süresi)	Eyalet mevzuatında tanımlı değildir.
İzlenen arıtılmış su kalite gereksinimleri	BOİ ₅	Belirtilmemiş	Eyalet mevzuatında tanımlı değildir.
	AKM	Belirtilmemiş	Eyalet mevzuatında tanımlı değildir.
	Bulanıklık	2 NTU (ort.) medya filtreleri 10 NTU (maks.) medya filtreleri 0,2 NTU (ort.) membran filtreleri 0,5 NTU (maks.) membran filtreleri	Eyalet mevzuatında tanımlı değildir.
	Bakteriyel indikatörler	Toplam koliform: 2,2/100 mL (7 günlük ort.) 23/100 mL(30 günlük sürede en fazla 1 numunede) 240/100 mL (maks.)	Eyalet mevzuatında tanımlı değildir.

	Kaliforniya		Florida
	Diğer	Patojen izlemesi	-
Gözetler (kısıtlı)			
Arıtma gereksinimleri	Temel işlemler	Oksidasyon, dezenfeksiyon	Eyalet mevzuatında tanımlı değildir.
	UV dozu (varsa)	Belirtilmemiş	Eyalet mevzuatında tanımlı değildir.
	Klor dozu (varsa)	Belirtilmemiş	Eyalet mevzuatında tanımlı değildir.
İzlenen arıtılmış su kalite gereksinimleri	BOİ ₅	Belirtilmemiş	Eyalet mevzuatında tanımlı değildir.
	AKM	Belirtilmemiş	Eyalet mevzuatında tanımlı değildir.
	Bulanıklık	Belirtilmemiş	Eyalet mevzuatında tanımlı değildir.
	Bakteriyel indikatörler	Toplam koliform: 2,2/100 mL (7 günlük ort.) 23/100 mL(30 günlük sürede en fazla 1 numunede)	Eyalet mevzuatında tanımlı değildir.
	Diğer	-	-
Çevresel geri kullanım			
Arıtma gereksinimleri	Temel işlemler	Eyalet mevzuatında tanımlı değildir.	İkincil arıtım, nitrifikasyon, temel dezenfeksiyon

		Kaliforniya	Florida
	UV dozu (varsa)	Eyalet mevzuatında tanımlı değildir.	Belirtilmemiş
	Klor dozu (varsa)	Eyalet mevzuatında tanımlı değildir.	TRC >0,5 mg/L (pik debilerde 15 dakika temas süresi)
İzlenen arıtılmış su kalite gereksinimleri	BOİ ₅	Eyalet mevzuatında tanımlı değildir.	5 mg/L (yıllık ort.) 6,25 mg/L (aylık ort.) 7,5 mg/L (haftalık ort.) 10 mg/L (maks.)
	AKM	Eyalet mevzuatında tanımlı değildir.	5 mg/L (yıllık ort.) 6,25 mg/L (aylık ort.) 7,5 mg/L (haftalık ort.) 10 mg/L (maks.)
	Bakteriyel indikatörler	Eyalet mevzuatında tanımlı değildir.	Fekal koliform: 200/100 mL (ort.) 800/100 mL (maks.)
	Toplam Amonyak	Eyalet mevzuatında tanımlı değildir.	2 mg/L (yıllık ort.) 2 mg/L (aylık ort.) 3 mg/L (haftalık ort.) 4 mg/L (maks.)
	Nütrientler	Eyalet mevzuatında tanımlı değildir.	Fosfor: 1 mg/L (yıllık ort.) 1,25 mg/L (aylık ort.) 1,5 mg/L (haftalık ort.) 2 mg/L (maks.)

		Kaliforniya	Florida
Endüstriyel geri kullanım			
Arıtma gereksinimleri	Temel işlemler	Oksidasyon, koagülasyon, filtrasyon, dezenfeksiyon	
	UV dozu (varsa)	NWRI UV Rehberi	NWRI UV Rehberi (varyanslara izin var)
	Klor dozu (varsa)	CrT>450 mg-dak/L (pik debilerde 90 dakika temas süresi)	TRC >1 mg/L (pik debilerde 15 dakika temas süresi)
İzlenen arıtılmış su kalite gereksinimleri	BOİ ₅	Belirtilmemiş	20 mg/L (yıllık ort.) 30 mg/L (aylık ort.) 45 mg/L (haftalık ort.) 60 mg/L (maks.)
	AKM	Belirtilmemiş	5 mg/L (maks.)
	Bulanıklık	2 NTU (ort.) medya filtreleri 10 NTU (maks.) medya filtreleri 0,2 NTU (ort.) membran filtreleri 0,5 NTU (maks.) membran filtreleri	Proje spesifik (genellikle 2-2,5 NTU) Florida'da AKM indikatörü olarak bulanıklık sürekli on-line izlenmektedir.

		Kaliforniya	Florida
	Bakteriyel indikatörler	Toplam koliform: 2,2/100 mL (7 günlük ort.) 23/100 mL(30 günlük sürede en fazla 1 numunede) 240/100 mL (maks.)	Fekal koliform: Numunelerin %75'i tayin sınırının altında olacak 25/100 mL (maks.)
	Patojenler	Belirtilmemiş	Giardia ve Cryptosporidium: Yüksek seviyede dezenfeksiyonun gerekli olduğu durumlarda 2 yılda bir
Yeraltı suyu beslemesi (içme dışı geri kullanım)			
Arıtma gereksinimleri	Temel işlemler	Proje spesifik	İkincil arıtım, temel dezenfeksiyon
	UV dozu (varsa)	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
	Klor dozu (varsa)	Belirtilmemiş	TRC >0,5 mg/L (pik debilerde 15 dakika temas süresi)
İzlenen arıtılmış su kalite gereksinimleri	BOİ ₅	Belirtilmemiş	20 mg/L (yıllık ort.) 30 mg/L (aylık ort.) 45 mg/L (haftalık ort.) 60 mg/L (maks.)
	AKM	Belirtilmemiş	20 mg/L (yıllık ort.) 30 mg/L (aylık ort.) 45 mg/L (haftalık ort.)

		Kaliforniya	Florida
			60 mg/L (maks.)
	Bulanıklık	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
	Bakteriyel indikatörler	Belirtilmemiş	Fekal koliform: 200/100 mL (ort.) 800/100 mL (maks.)
	Toplam Azot	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş (nitrat<12 mg/L)
	Toplam Organik Karbon	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
	Birincil ve İkincil İçme Suyu Standartları	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
Dolaylı içme amaçlı geri kullanım			
Arıtma gereksinimleri	Temel işlemler	Oksidasyon, Koagülasyon, filtrasyon, dezenfeksiyon, patojen ve organik giderimi	İkincil arıtım, filtrasyon, yüksek seviyede dezenfeksiyon, patojen ve organik giderimi
	UV dozu (varsa)	NWRI UV Rehberi	NWRI UV Rehberi (varyanslara izin var)
	Klor dozu (varsa)	CrT>450 mg-dak/L (pik debilerde 90 dakika temas süresi)	TRC >1 mg/L (pik debilerde 15 dakika temas süresi)

		Kaliforniya	Florida
İzlenen arıtılmış su kalite gereksinimleri	BOİ ₅	Belirtilmemiş	20 mg/L (yıllık ort.) 30 mg/L (aylık ort.) 45 mg/L (haftalık ort.) 60 mg/L (maks.)
	AKM	Belirtilmemiş	5 mg/L (maks.)
	Bulanıklık	2 NTU (ort.) medya filtreleri 10 NTU (maks.) medya filtreleri 0,2 NTU (ort.) membran filtreleri 0,5 NTU (maks.) membran filtreleri	Proje spesifik (genellikle 2-2,5 NTU) Florida'da AKM indikatörü olarak bulanıklı sürekli on-line izlenmektedir.
	Bakteriyel indikatörler	Toplam koliform: 2,2/100 mL (7 günlük ort.) 23/100 mL(30 günlük sürede en fazla 1 numunede) 240/100 mL (maks.)	Toplam koliform: 4/100 mL (maks.)
	Toplam Azot	10 mg/L (4 adet sıralı numunenin ortalaması)	10 mg/L (yıllık ort.)
	Toplam Organik Karbon	0,5 mg/L	3 mg/L (aylık ort.) 5 mg/L (maks.) TOX: <0,2 (aylık ort.) veya 0,3 mg/L (maks); alternatif limitlere izin verilebilmektedir.

	Kaliforniya	Florida
Birincil ve İkincil İçme Suyu Standartları	Birincil ve ikincil standartların çoğu	Birincil ve ikincil standartların çoğu
Patojenler	İzleme gerekli değildir. Virüs giderimleri arıtma gereksinimine göre tayin edilebilir.	Giardia ve Cyptosporidium için yılda 4 kez numune alınır

CrT: kalıntı klor x temas süresi; TRC: toplam kalıntı klor; CAT: düzeltici aksiyon eşiği

ABD’de birçok geri kullanım uygulaması mevcuttur. Zirai sulama, rekreasyonel alanların sulanması, evsel ve endüstriyel kullanım, yerüstü ve yeraltı sularının belenmesi gibi birçok örnek vardır.

Güney Kaliforniya Fountain Valley bölgesinde bulunan Water Factory 21 Projesi ile eskiden Kaliforniya’yı besleyen Colorado Nehrinin kullanım haklarının Arizona Eyaletine devredilmesi zorunluluğundan ötürü kaybedilen suyun telafisi hedeflenmiştir. Bu kapsamda yoğun zirai sulamalar ile baskı altında olan büyük yeraltı su rezervlerinin beslenerek korunması ve bu rezervlerden sürdürülebilir olarak uzun yıllar faydalanılması beklenmiştir. Bu sayede Colorado Nehrine bağımlılığın ortadan kaldırılması, arıtılmış suların okyanusa deşarjının engellenmesi ve kurak dönemlerde azalan konvansiyonel kaynaklara alternatif bulunması gerçekleşmiştir. Tesise gelen kentsel kullanılmış su koagülasyon, flokülasyon, amonyak sıyırma, aktif karbon, ters osmoz üniteleri ve klorlama gibi temel proseslerden geçerek ileri derecede arıtılmakta ve elde edilen su yeraltı akiferlerinin beslenmesinde kullanılmaktadır. Yerüstü su kaynaklarının beslenmesi noktasında ABD’deki en büyük tesislerden biri de 227 m³/gün kapasite ile çalışan Georgia eyaletinde konuşlu Gwinnet Tesisi’dir.

Xcel Enerji Cherokee Tesisi, 717 MW elektrik üreten, kömürle çalışan bir elektrik üretim istasyonudur. Denver şehir merkezinin hemen kuzeyinde bulunan tesiste yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır. Santral, soğutma kuleleri için 27.000-34.000 m³/gün su kullanmaktadır. Tarihsel olarak, tüm soğutma kulesi besleme suyu ihtiyacı yeraltı su kaynaklarından karşılanmıştır. Xcel Enerji Cherokee Tesisi, tatlı su tüketimini azaltmak için 2004 yılında Denver Su Geri Dönüşüm Tesisi’nden alınan geri kazanılmış suyu soğutma suyu kaynaklarından biri olarak kullanılmaya başlamıştır. Cherokee İstasyonu, 18.000 m³/gün ile Denver Su Geri Dönüşüm Tesisinin en büyük müşterisidir [4].

ABD’de kullanılmış suların endüstriyel amaçlı kullanımlarını düzenleyen rehber dokümanlarda mevcuttur. Kullanılmış suların endüstriyel kullanımları söz konusu olduğunda ilk akla gelen endüstriler kağıt ve tekstildir. Proses bazında baktığımız zaman en yoğun su tüketimi olan proseslerden biri olan kazan ve soğutma kuleleri operasyonlarında kullanılmış suların geri kullanımı uygulamaları gerçekleştirilmektedir. Bu bağlamda, bu proseslere yönelik düzenlemeler de mevcuttur. Kazanlarda kullanılmış suların kullanılabilmesi adına bazı gereksinimlerin sağlanması gerekmektedir. Kazan işletme basıncı ne kadar yüksek ise kullanılan suyun kaliteside o kadar yüksek olmalıdır. Bu proseste korozyondan kaçınmak birincil önceliktir. Kazan besleme sularında sertliğin giderilmesi kritik önemdedir. Bu bağlamda, kalsiyum, magnezyum, silika, alüminyum ve alkalinite değerleri sürekli kontrol altında tutulmalıdır. Tablo 4-9’da uyulması gereken değerler verilmiştir. Tek geçişli ve resirkülasyonlu soğutma sistemlerinde kullanılacak kullanılmış suların limit değerleri Tablo 4-10’da, soğutma kulelerinde kullanılacak geri kazanılmış suların maksimum ve minimum parametre limit değerleri ise Tablo 4-11’de verilmiştir. Tablo 4-12’de rekreasyon amaçlı kullanılan sular ile ilgili rehberlerin bir özeti verilmektedir. Bu tablo kısıtlı ve kısıtsız kullanımları içeren bir yapıya sahip olup izleme gerekliliklerini de içermektedir [67].

Tablo 4-9 Kazan sistemlerinde su geri kullanımı için gerekli kalite değerleri [1]

Parametre	0-300 psi	301- 450 psi	451- 600 psi	601- 750 psi	751- 900 psi	901- 1000 psi	1001- 1500 psi	1501- 2000 psi	OTSG tipi
BUHAR									
TÇK (ppm)	0,2- 1,0	0,2- 1,0	0,2- 1,0	0,1- 0,5	0,1- 0,5	0,1- 0,5	0,1	0,1	0,05
KAZAN SUYU									
TÇK (ppm)	700- 3500	600- 3000	500- 2500	200- 1000	150- 750	125- 625	100	50	0,05
Alkalinite (ppm)	350	300	250	200	150	100	n/a	n/a	n/a
AKM (ppm)	15	10	8	3	2	1	1	n/a	n/a

Parametre	0-300 psi	301- 450 psi	451- 600 psi	601- 750 psi	751- 900 psi	901- 1000 psi	1001- 1500 psi	1501- 2000 psi	OTSG tipi
İletkenlik (µmho/cm)	1100- 5400	900- 4600	800- 3800	300- 1500	200- 1200	200- 1000	150	80	0,15- 0,25
Silika	150	90	40	30	20	8	2	1	0,02
BESLEME SUYU									
Ç.O. (ppm)	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	n/a
Demir	0,1	0,05	0,03	0,025	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
Bakır	0,05	0,025	0,02	0,02	0,015	0,01	0,01	0,01	0,002
Sertlik	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,05	ND	ND	ND
pH	8,3- 10,0	8,3- 10,0	8,3- 10,0	8,3- 10,0	8,3- 10,0	8,8- 9,6	8,8- 9,6	8,8- 9,6	n/a
TOK	1	1	0,5	0,5	0,5	0,2	0,2	0,2	ND
Yağ-gres	1	1	0,5	0,5	0,5	0,2	0,2	0,2	ND

n/a: uygulanamaz; ND: tanımlanmamış

Tablo 4-10 Tek geçişli ve resirkülasyonlu soğutma sistemlerinde kullanılacak kullanılmış suların limit değerleri [72]

Parametre (mg/L)	Tek geçişli		Resirkülasyonlu	
	Tatlı su	Acı su	Tatlı su	Acı su
Silika	<50	<25	<50	<25
Alüminyum	NS	NS	<0,1	<0,1
Demir	NS	NS	<0,5	<0,5
Mangan	NS	NS	<0,5	<0,02
Kalsiyum	<200	<420	<50	<420
Bikarbonat	<600	<140	<24	<140
Sülfat	<680	<2700	<200	<2700
Klorür	<600	<19000	<500	<19000
TÇK	<1000	<35000	<500	<35000
Sertlik	<850	<6250	<130	<6250
Alkalinite	<500	<115	<20	<115
pH	5,0-8,3	6,0-8,3	NS	NS
Organik madde				
Metilen mavisi	NS	NS	<1	<1
aktif mad.	NS	NS	<1	<2
CCl ₄ ekstraktı				
KOİ	<75	<75	<75	<75
AKM	<5000	<2500	<100	<100

NS: Belirlenmemiş

Tablo 4-11 Soğutma kulelerinde kullanılacak geri kazanılmış suların maksimum ve minimum parametre limit değerleri [72]

Parametre	Sayısal Limitler (mg/L)	
	Minimum	Maksimum
Langelier Doygunluk Endeksi (LSI)	+0,5	+1,5
Ryzner Stabilite Endeksi (RSI)	+6,5	+7,5
pH	>6,0	<8,0
Kalsiyum (CaCO ₃)	>30	<300
Demir	-	<0,5
Mangan	-	<0,5
Bakır	-	<0,08
Alüminyum	-	<1
Sülfid	-	<5
Silika	-	<150
[Ca]x[SO ₄]	-	<500.000
TÇK	-	<2500
İletkenlik (µS/cm)	-	<4000
AKM	-	<150

Tablo 4-12 Rekreatiyonel amaçlı su kullanımlarını içeren rehber doküman özeti [1]

Uygulama türü	Gereken arıtma	Kullanılmı ş su kalitesi	İzleme	Koruma mesafesi
Kentsel kullanım				
<u>Kısıtsız:</u> Halk erişimine açık olan bölgelerde içme dışı uygulamalarda arıtılmış suların kullanımı	- İkincil arıtım - Filtrasyon - Dezenfeksiyon	- pH: 6-9 - BOİ: <10 mg/L - Bulanıklık : <2 NTU - Fekal koliform: ND/100m L - Cl₂: <1 mg/L	- pH: haftalık - BOİ: haftalık - Bulanıklık: sürekli - Koliform : günlük - Cl₂: sürekli	İçme suyu kuyuları na 15 m. (jeolojik formasyon poröz ise 30 m.)
<u>Kısıtlı:</u> Halk erişimine kapalı/kontrol lü olan bölgelerde içme dışı uygulamalarda arıtılmış suların kullanımı (çit, uyarı levhası, dönemsel yasaklar)	- İkincil arıtım - Dezenfeksiyon	- pH: 6-9 - BOİ: <30 mg/L - AKM: <30 mg/L - Fekal koliform: 200/100 mL - Cl₂: <1 mg/L	- pH: haftalık - BOİ: haftalık - AKM: günlük - Koliform : günlük - Cl₂: sürekli	- İçme suyu kuyuları na 90 m. - Sprey sulama var ise halka açık bölgelere 30 m.
Rekreatiyonel göletler				
<u>Kısıtsız:</u>	İkincil arıtım	pH: 6-9	pH: haftalık	Taban izolasyo

Uygulama türü	Gereken arıtma	Kullanılm iş su kalitesi	İzleme	Koruma mesafesi
Yüzmeye açık olan göletlerde arıtılmış suların kullanımı	- Filtrasyon - Dezenfeksiyon	- BOİ: <10 mg/L - Bulanıklık : <2 NTU - Fekal koliform: ND/100m L - Cl₂: <1 mg/L	- BOİ: haftalık - Bulanıklık: sürekli - Koliform : günlük - Cl₂: sürekli	nu yok ise içme suyu kuyuları na 150 m.
<u>Kısıtlı:</u> Yüzmeye kapalı olan göletlerde arıtılmış suların kullanımı	- İkincil arıtım - Dezenfeksiyon	- pH: 6-9 - BOİ: <30 mg/L - AKM: <30 mg/L - Fekal koliform: 200/100 mL - Cl₂: <1 mg/L	- pH: haftalık - BOİ: haftalık - AKM: günlük - Koliform : günlük - Cl₂: sürekli	Taban izolasyonu yok ise içme suyu kuyuları na 150 m.

4.1.3.Avustralya

Avustralya, kıtanın sınırlı su kaynaklarının farkında bir ülkedir. Avustralya nüfus yoğunluğu düşüktür ve tarımsal faaliyetlerinin büyük kısmı şehir merkezlerinden uzaktır (Murray-Darling Havzasındaki tarımın çoğu kıyı kentlerinden yüzlerce kilometre uzakta yer alır). Sonuç olarak, tarımsal geri kullanım suyun yeniden kullanımının planlanması sürecinde önemli bir rol oynamamıştır. Özellikle rekreasyonel alan sulaması ve endüstriyel geri kullanım gibi içme dışı geri kullanım projeleri popülerdir. Sydney'deki 2000 yılındaki olimpiyat oyunları için Olimpiyat Parkı'nın bir parçası olarak inşa edilen tesisteki yüksek profilli bir geri kullanım projesi buna örnek olarak verilebilir. Şu anda, Avustralya'nın metropol şehirlerinde kullanılan suyun %10'u özellikle peyzaj ve endüstriyel uygulamalar için geri kullanılmaktadır. Yakın zamana kadar, Avustralya'da yöneticilerin çoğu içme amaçlı geri kullanım uygulamalarını uygun bir seçenek olarak görmemekte ise de 2003-2009 yılları arasında yaşanan aşırı kuraklık ve yüksek kentsel nüfus artışı ile Avustralya'nın en büyük şehirlerinden birkaçı için bu durum tekrar gözden geçirilmiştir. Kuraklığın ardından Brisbane, Canberra ve Perth şehirleri için içme amaçlı geri kullanım projeleri masaya konulmuştur. Özellikle Brisbane ve Canberra'daki uygulamalar Güney Kaliforniya'daki yeraltı suyu besleyen tesisler ile benzer kurgulansa da kuraklığın sona ermesinde sonra bu projeler rafa kaldırılmıştır [4].

Avustralya'da arıtılmış suların geri kullanımı için riayet edilmesi gereken mikrobiyolojik parametre değerleri Tablo 4-13'te sunulmuştur. Bu tablo farklı zirai geri kullanımlar için sağlanması gerekli değerleri aktarmaktadır. Sulama sularındaki maksimum metal konsantrasyonları ise Tablo 4-14'de sunulmuştur. Toprak kalitesi arıtılmış sularla yapılan zirai sulamada kritik önem arz eder. Tablo 4-15 bu konuda veriler sağlamaktadır. Bu tabloya bakıldığında toprak tiplerinin üçe ayrıldığı, orta kalitedeki

toprakta arıtılmış su kullanımının dikkatle uygulanması gerektiği, düşük kalitedeki toprakta ise uygulamadan kaçınmanın gerekliliği vurgulanmaktadır. Ayrıca Tablo 4-16'da Avustralya için arıtılmış suların tekstil sektöründeki kullanımı için sağlanması gerekli limit değerler sunulmuştur [67].

Tablo 4-13 Avustralya'da arıtılmış suların geri kullanımı için riayet edilmesi gereken mikrobiyolojik parametre değerleri [73]

Geri kullanım türü	Önerilen arıtma seviyesi	Arıtılmış su kalitesi	İzleme
Yem bitkileri	İkincil+patojen giderimi (dezenfeksiyon/stabilizasyon havuzu)	Termo-toleranslı koliformlar: <1000 cfu/100ml pH: 6,5-8,0	Haftalık Haftalık
Torf, yenmeyen bitkiler	İkincil	Termo-toleranslı koliformlar: <1000 cfu/100ml pH: 6,5-8,0	Aylık Haftalık
Suyla doğrudan temas edip direkt yenebilen bitkiler	İkincil+filtrasyon+patojen giderimi	Termo-toleranslı koliformlar: <10 cfu/100ml >1 mg/l kalıntı klor pH: 6,5-8,0 <2 NTU	Haftalık Günlük Haftalık Gerektiğinde
Suyla indirekt temas edip işlenerek yenebilen bitkiler	İkincil+patojen giderimi	Termo-toleranslı koliformlar: <1000 cfu/100ml pH: 6,5-8,0	Haftalık Haftalık

Tablo 4-14 Avustralya’da sulama sularının içerebileceği maksimum metal konsantrasyonları [73]

Parametre	Konsantrasyon (mg/L)
Alüminyum	5
Arsenik	0,1
Berilyum	0,1
Kadmiyum	0,01
Krom	0,1
Kobalt	0,05
Bakır	0,2
Demir	1
Kurşun	0,2
Lityum	2,5
Mangan	0,2
Molibden	0,01
Nikel	0,2
Selenyum	0,02
Çinko	2

Tablo 4-15 Arıtılmış suların zirai sulamada geri kullanımında toprak kısıt sınıfları [73]

Toprak özellikleri	Az kısıtlı kullanıma uygun	Orta kısıtlı kullanıma uygun	Çok kısıtlı kullanıma uygun
Üst toprak hidrolik iletkenliği (mm/saat)	20-80	5-50	<5
Alt toprak hidrolik iletkenliği (mm/saat)	20-80	1-20	<1
Fosfat sorpsiyon indeksi	>100	10-100	<10
pH	5-8	4-8	<4, >8,5

Tablo 4-16 Arıtılmış suların tekstil sektöründe geri kullanımında limit değerler [74]

Parametre	Konsantrasyon (mg/L)					
	Pamuk, yün, sentetik			Viskoz, rayon		
	Haşılama	Piştirme	Beyazlatma	Boyama	Pulp	Üretim
Demir	<0,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,05	ND
Mangan	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,03	ND
Bakır	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<5	-
TÇK	<100	<100	<100	<100	<100	-
AKM	<5	<5	<5	<5	-	-
Sertlik (CaCO ₃)	<25	<25	<25	<25	<8	<55
pH (pamuk)	6,5-10,0	9,0-10,5	2,5-10,5	7,5-10,0	-	-
pH (sentetik)	6,5-10,0	3,0-10,5	NA	6,5-7,5	-	-
pH (yün)	6,5-10,0	3,0-5,0	2,5-5,0	3,5-6,0	-	-
pH (viskoz rayon)	-	-	-	-	-	7,8-8,3
Renk	<5	<5	<5	<5	<5	-
Bulanıklık (NTU)	-	-	-	<15	<5	<0,3
Alüminyum	-	-	-	-	<8	-
Silika	-	-	-	-	<25	-
Alkalinite (CaCO ₃)	-	-	-	-	50- 75	50-75

NA: uygulanamaz

ND: detekte edilmemiş

4.1.4. Avusturya

Avusturya’da yıllık yağışın yaklaşık %0,06’sı içme suyuna karşılık gelen tüketimi, yaklaşık %1,5’i ise hem tarım hem de sanayi amaçlarına karşılık gelen tüketimi karşılayacak seviyededir. Su kaynakları konusunda şanslı bir konumda olan Avusturya’nın sadece bazı güney ve doğu kısımlarında lokal su sıkıntıları mevcuttur. Bu olumlu durum nedeniyle, Avusturya’da su kıtlığı sadece sınırlıdır. İçme suyu tüketiminin ortalama değeri 159 L/kişi olup bu değer yıllardır önemli miktarda değişmemektedir. Avusturya’da ana su kaynağı yeraltı suları (%98) olup çoğunluğu neredeyse hiç arıtma gerektirmeyecek kalitededir. Ülkede arıtılmış suların geri kullanımı yalnızca kirliliğin azaltılması ya da

maliyetlerin düşmesi söz konusu olabildiğinde sınırlı olarak uygulanmaktadır. Su yönetiminin temel hedefi suyun dengeli kullanımını sağlamak ve su kütlelerine ulaşan kirletici yüklerini minimize etmek olarak kurgulanmıştır. Geri kullanım sadece önemli miktarda ekolojik ve/veya mali katkı sağladığında teşvik edilmektedir. Sadece kağıt, şeker gibi bazı spesifik endüstrilere spesifik su kullanım limiti tanımlanmıştır. Proseslerin doğası gereği tanımlanan limitlere uyması imkansızdır. Bu değerlere ulaşılması için suyun geri kullanımı zorunludur. Böylelikle, dolaylı yoldan geri kullanım teşvik edilmiştir. Avusturya Su Yasası proaktif bir yapıda kurgulandığından ötürü yüzeysel ve yeraltı sularının korunması adına kirleticilerin kaynağında kontrolü odaklıdır [71].

4.1.5. Belçika

2000'li yılların başında Belçika'da kentsel kullanılmış suların sadece %38'i arıtılabilmekteydi. Bu değer 2013 senesinde %70 seviyelerine kadar çıkmıştır. Kullanılmış su arıtma tesisi kapasitesindeki bu kayda değer artış geri kullanım adına bir potansiyel oluşturmaktadır. Ancak bu potansiyelin kullanımı maliyetlerinin konvansiyonel sistemlerin maliyeti ile orantılı olmasına bağlıdır. Belçika AB'ye üye devletler içinde Su Stresi Endeksi yüksek ülkelerden biridir. Arıtılmış kullanılmış suların hassas su alanlarına deşarjının azaltılmak istenmesi geri kullanımı tetikleyen faktörlerden biridir. 2003 yılında Flaman Bölgesel Su İdaresi merkezi hükümete Avustralya modelini esas alan bir geri kullanım kriteri sunmuş olsa da bu hususta henüz bir ilerleme kaydedilmemiştir. Bu nedenle yasal bir boşluk bulunmaktadır [71].

Belçika hükümeti yeraltı sularının çekimini azaltıp su geri kullanımını arttırmak istemektedir. Mevcut durumda çoğu arıtılan kentsel kullanılmış suların endüstrilerde (enerji santrallerinde soğutma suyu, gıda üretimi ve işleme, tekstil), zirai sulamada ve yeraltı sularında kullanılması

değerlendirilmektedir. Ancak, hayata geçirilen uygulamalar ve geri kullanılan arıtılmış kullanılmış su oranı halen çok sınırlıdır. Ayrıca, bazı tanımlaması yapılmamış geri kullanım uygulamaları olduğu da bilinmektedir [71].

4.1.6. Bulgaristan

Bulgaristan'ın Su Stres Endeksi yüksek olduğu için su geri kullanımı alanında bazı rehber dokümanları bulunmaktadır. Bunun yanında, Bulgaristan Su Yasası'nın 65/2006 ve 61/2010 maddelerinde su geri kullanımına dair tanımlar mevcuttur [71].

Avrupa Birliği'nde en fazla su sıkıntısı çeken ülkelerden olan Bulgaristan olmasına rağmen, arıtılmış suların yeniden kullanımı ile ilgili verilere rastlanmamıştır. Ancak endüstrilerde spesifik geri kullanım alanları bulunmaktadır. Özellikle, enerji santrallerinin soğutma suları, gıda, kağıt ve metal-dışı mineral (e.g. kaolin) endüstrileri bu kapsamda örnek olarak verilebilmektedir [71].

4.1.7. Çekya

Çekya üç havzanın birleşim noktasında bulunmaktadır. Çekya'nın su kaynakları genelde komşu ülkelere akmaktadır. Çekya'nın su yönetimindeki öncelikleri su kalitesinin korunması ve kirliliğin önlenmesidir. Yüzeysel su kalitesi 90'lı yıllara kıyasla önemli ölçüde geliştirilmesine rağmen kirletici yüklerinin azaltılması ve kullanılmış su arıtma tesisi altyapısının geliştirilmesi noktasında hala alınması gereken mesafe bulunmaktadır. İklim değişikliğine bağlı olarak sıklığı ve şiddeti artan taşkınlar ve yaşanan kuraklıklar su kalitesinde değişimlere neden olmaktadır. Artan kuraklığa rağmen ülke genelinde su çekiminin azaltılması su geri kazanım uygulamalarının ve su yönetiminin başarısıdır. Ancak, uygulanan su geri kazanım uygulamaları hakkında spesifik bir bilgiye rastlanmamıştır [71].

4.1.8. Danimarka

Danimarka’da su temini neredeyse tamamen yeraltı su kaynaklarından elde edilmektedir. Bu nedenle sürdürülebilir bir su yönetiminin sağlanması adına yeraltı sularının kalitesinin ve miktarının sürekli kontrolü ve iyileştirilmesi bu ülke için kritik önemdedir. Diğer İskandinav ülkelerinde olduğu gibi arıtılmış suların yeniden kullanımı olgusu tarihsel bağlamda çok ciddi ele alınmamaktadır. 90’lı yıllarda konutlardaki gri suyun arıtılıp yeniden evsel kullanım amaçlı arıtımı adına Çevre Bakanlığı tarafından teşvikler sunulduysa da siyasi belirsizlikler ve operasyonel sıkıntılar nedeni ile uygulamalar yaygınlaşmamıştır. Su fiyatlarının yüksek oluşu endüstrilerde su geri kazanımı uygulamalarının kullanımını tetiklemektedir. Endüstriyel simbiyozla en güzel örneklerden biri olan Kalundborg tesisinde farklı şirketler arıtılmış sularını ortak biçimde yeniden kullanmaktadır [71].

90’lı yıllarda konutlardaki gri suyun arıtılıp yeniden evsel kullanım amaçlı arıtımı adına Çevre Bakanlığı tarafından teşvikler sunulduysa da siyasi belirsizlikler ve operasyonel sıkıntılar nedeni ile uygulamalar yaygınlaşmamıştır. Danimarka’nın su stres endeksi %15-20 arasında olduğundan yeniden kullanım amaçlı hiçbir yönetmelik ya da rehber doküman bulunmamaktadır. Ancak su fiyatlarının yüksek oluşu endüstrilerde su geri kazanımı uygulamalarının kullanımını tetiklemektedir [71].

4.1.9. Estonya

Estonya’da kentsel kullanılmış suların arıtımına büyük öncelik tanınmıştır. Özellikle son yıllarda büyük şehirlerdeki arıtma tesisleri oldukça modern teknolojiler ile donatılmıştır. 2003 yılında dahi arıtılmamış kullanılmış suların oranı sadece %1 seviyesinde gerçekleşmiştir. Ancak, bu yüksek su geri kazanım potansiyeline rağmen su stres endeksi %10 civarında olduğu için

su geri kazanım pratikleri uygulama alanı bulamamıştır. Çok sınırlı bazı endüstriyel örnekler haricinde geri kullanım uygulamalarına ve bununla ilgili yasal altyapıya rastlanmamaktadır [71].

4.1.10. Fransa

Fransa'nın arıtılmış kullanılmış suların yeniden kullanımına olan ilgisi 90'lı yılların başına dayanmaktadır. Bu ilginin temel nedeni zirai sulamada tüketilen su miktarının artışıdır. Özellikle Güneybatı Fransa bölgesinde kuvvetli bir artış gösteren zirai sulama suyu ihtiyacı bu durumun ana nedenidir. Endüstrilerin kullandığı su miktarında azalış görülürken, evsel tüketimin platoya ulaştığı ve bundan sonra azalma trendine girebileceği değerlendirilmektedir. Zirai sulama ihtiyacının artmasının yanında sulama ihtiyacı yüksek olan bazı bitkilerin (mısır vb.) ekiminin arttırılması ve belirli periyotlarda yaşanmaya başlayan kuraklık dönemleri geri kullanım gerekliliğinin altını çizmektedir. Ülkenin tarihsel olarak en sulak bölgeleri olan Batı ve Kuzeybatı bölgelerinde son yirmi yıl içinde yaşanan uzun kuraklık dönemleri paradoksal durumların yaşanmasına neden olmaktadır. Ülkenin üçte birlik bölümünde sonbahar ve kış yağışları akiferleri doldurmakta yetersiz kalarak ilkbahar ve yaz döneminde çekilen suların yerine konamamasına neden olmaktadır. Bu durum neticesinde Fransa tarihinde görülmeyen biçimde yerel otoriteler tarafından su kullanımında kısıtlamalara gidilmiştir. Fransa'nın bazı bölgelerinin İspanya ve İtalya'ya benzer şekilde Akdeniz ikliminde olması nedeniyle su kullanımı yüksek meyve tarımı (narenciye vb.) ve yine yoğun su tüketilen bir sektör olan turizm yaygın olarak görülmektedir. Bu durum mevcut durumun kötüleşmesine katkı vermektedir. Bu bölgeler halihazırda Durance ve Rhone nehirlerinden kanallarla taşınan su ile beslendikleri için halen ciddi bir su sıkıntısı yaşamamışlardır. Hidrolik altyapının çok düzgün olması ve ülke genelinde ortalama yağışların yeterli olması geri kullanımın önemini azaltmaktadır.

Paris'teki projeler haricinde su geri kullanım uygulamaları küçük uydu yerleşim birimleri ve adalar haricinde yaygınlaşmamıştır. Bu durumun temel nedeni ileri arıtım maliyetleridir. Yine de mevcut projelere bakıldığında hem miktar hem de çeşitlilik anlamında azımsanmayacak uygulamaların yapıldığı görülmektedir. Fransa genelinde 3.000 hektarlık bir alanda su geri kullanımı ile aşağıdaki alanların sulaması yapılmaktadır:

- Çim ve bahçeler
- Seralar (kesme çiçek, meyve-sebze)
- Ağaç plantasyonları
- Golf sahaları

Arıtma proseslerinde yenilikçi teknolojilerin kullanımı ile elde edilen yüksek kalitedeki (AKM içermeyen dezenfekte edilmiş) su evsel amaçlı geri kullanım (tuvalet yıkama, temizlik) konusunda yeni kapılar aralamaktadır. Endüstriyel kullanılmış suların arıtılarak soğutma suyu veya proses suyu olarak kullanılması pratiği Fransa'da yaygın olarak uygulanmaktadır [71].

Fransa'da geri kullanım üzerine ilk düzenlemeler sağlık kurumları tarafından ortaya konmuştur. Fransa'da su geri kullanımına yönelik ilk yasa 1992 tarihli [75]. 1991 yılında arıtılmış suların zirai sulama ve bahçe sulamasında yeniden kullanımını düzenleyen bir rehber doküman yayınlanmıştır [76]. Bu rehber dokümana göre arıtılmış suyun tekrar kullanılabilmesi için ekolojik ve sağlık etkilerinin yeterli derecede açıklandığı bir dosyanın ilgili sağlık kurumuna sunulması gerekmektedir. Bu doküman temelde WHO prensiplerini uygulamakla beraber sulama tekniklerinin bazılarını kısıtlarken yollara ve yerleşim bölgelerine olan mesafeleri de düzenlemektedir. Fransız yönetmeliklerinde arıtılmış suların mikrobiyolojik ve kimyasal izlemesi için sıkı izleme gereklilikleri bulunmaktadır. Bu dokümanın ardından 1996 yılında AGHTM isimli bir su meslek derneği Fransız yönetmeliklerine uyum adına geri kullanım için teknik destek broşürü yayınlamıştır. Havza yönetiminden

sorumlu kurumlar tarafından endüstrilerdeki geri kullanım uygulamalarına destek için finansal sübvansiyonlar sağlanmaktadır. 94/469-1994 ve DGS/SD1.D. /91/no51 kodlu yönetmelikler su geri kullanımına atıf yapan maddeler barındırmaktadır [71].

Fransa AFSSA (Gıda Güvenliği Ajansı) birimi arıtılmış suların zirai sulamada kullanımı için Tablo 4-17,Tablo 4-18 ve Tablo 4-19’da belirlemiştir [67]. Örneğin Tablo 4-18’de direkt olarak tüketilen bitkilerin sulanmasında A sınıfı suyun geri kullanımı gerekmektedir. Sprinkler ile yapılacak sulamalarda materyal bağlamında ele alınması gereken hususlar Tablo 4-19’da verilmiştir. Arıtılmış suların sulamada geri kullanımında bazı aktivite sahalarına olan minimum mesafelerde Tablo 4-20’de özetlenmiştir.

Tablo 4-17 Fransa su kalitesi limit değerleri [77]

Kalite Seviyesi	A	B	C	D
AKM	<35	<35	<35	<35
AKM (doğal lagün çıkışı)	<150	<150	<150	<150
BOİ (mg/L)	<125	<125	<125	<125
E.coli/L	<10.000	<10.000	<100.000	-
Salmonella/L	Yok	-	-	-
Taenia coli/L	Yok	-	-	-

Tablo 4-18 Fransa’da geri kullanım sınırlamaları [77]

Uygulama Tipi	Gerekli Kalite Değeri	Sınırlama Metodu
Direkt olarak yenilebilir ürünleri olan bitkilerin sulanması	A	Sprinkler ile sulama
Otlak/mera		Sprinkler ile sulama
Halka açık yeşil alanlar (park vb.)		Halka açık olmadığı saatlerde sprinkler ile sulama

Uygulama Tipi	Gerekli Kalite Değeri	Sınırlama Metodu
İşlendikten sonra yenilebilir ürünleri olan bitkilerin sulanması	B	Sprinkler ile sulama
Çiçek ve çalılıklar		Sprinkler ile sulama
Yem ve tahıl bitkileri		Sprinkler ile sulama
Meyve fidanları, çalılıklar	C	
Meyveli ağaçlar		
Yem ve tahıl bitkileri		
Halka açık ormanlar	D	Halka açık olmadığı saatlerde sprinkler ile sulama

Tablo 4-19 Arıtılmış suların sprinkler ile sulamada geri kullanılmasında adaptasyonu gerekli parça ve malzemeler [77]

Sulama bileşeni	Jet çıkış açısı	Malzeme karakteristiği
Fıskiye	-	Döner ve ön rampalarda kullanılacak araçlar kısa fıskiyeler ile modifiye edilmelidir.
Nozzle (180°/360° dönebilen)	360° dönebilen nozzle için konik konveks deflektör	Nozzle yüksekliği bitki yüksekliği ile uyumlu olmalıdır.
Sprinkler	Küçük sprinkler	Hava girişimini önlemek adına düşük açılı (12°) sprinkler tercih edilmelidir
	Sulama topu	Hava girişimini önlemek adına Kaşık yerine türbin, hızlı dönüş yerine

Sulama bileşeni	Jet çıkış açısı	Malzeme karakteristiği
	jet çıkış açısının 17° olması tercih edilir	yavaş dönüş tercih edilmelidir.

Tablo 4-20 Mesafe kısıtlamaları [77]

Korunacak alanlar	Kalite Seviyesi		
	A	B (sprinkler)	C ve D
Mesken alanları	Sprinkler ile 50 m.	100 m.	-
Kavşaklar	Sprinkler ile 50 m.	50 m.	-
Yüzey suları	20 m.	50 m.	100 m.
Su ürünleri yetiştiriciliği	50 m.	200 m.	300 m.
Su sporları merkezleri	50 m.	100 m.	200 m.
İçme suyu sahaları	Yasak	Yasak	Yasak

4.1.11. Finlandiya

Kişi başına düşen 20.000 m³/yıl kullanılabilir su miktarı ile Finlandiya arıtılmış suların yeniden kullanımına hiçbir zaman ihtiyaç duymamıştır. İçme suyu ihtiyacının yarısı yeraltı sularında karşılanmaktadır. Zirai sulama için talep çok düşüktür. Bu düşük talep yüzeyssel sulardan rahatlıkla karşılanmaktadır [71].

4.1.12. Hollanda

Hollanda'nın bazı bölgelerinde (güney-batı ve kuzey doğu) kuru dönemlerde su sıkıntısı hissedilmektedir. Sulama için geri kullanım sadece su kalitesinin yeterli olduğu durumlarda uygulanabilmektedir. Zirai sulama için klorür ve demir sınırlayıcı parametreler olarak tanımlanabilir. Mikrobiyolojik kalite büyükbaş hayvanların su ihtiyacının karşılanması için yetersiz

kalmaktadır. Hollanda'daki su geri kullanım uygulamaları çok kapsamlı olmayıp soğutma suyu olarak kullanım ve temizlik amaçlı kullanım uygulamaları görülmektedir. Ayrıca akiferlerin beslemesi, yangın söndürme amaçlı kullanımlara da rastlanmaktadır.

Aritılmış suyun yeniden kullanımı hem lokal ihtiyaçlara hem de suyun taşınacağı mesafeye bağlıdır. Yapılan çalışma ve hazırlıklara bakıldığında yakın gelecekte Hollanda'da geri kullanım uygulamalarının artacağı öngörülebilir. Su konusunda yetkili kurumlar akifer beslemesi amaçlı kullanılacak arıtılmış suların ileri arıtmaya ek olarak bir arıtma kademesinden daha geçirilmesini değerlendirmektedir. Arıtılmış kullanılmış suların yapay sulakalanlara verilmesi de bir başka düşünce olarak öne çıkmaktadır. Hollanda hükümeti akifer seviyelerini eski haline geri getirmek için su çekiminden vergi alıp kısıtlamalara gitmeye başlamıştır. Bu nedenle endüstriler için su geri kullanımı ilgi çekici hale gelmeye başlamıştır [71].

4.1.13. İngiltere

İngiltere'deki su geri kazanım uygulaması nehirlerin beslenmesi özelinde yoğunlaşmıştır. Nehirlerden farklı şekillerde yararlanılabildiği için bu sayede dolaylı yoldan bir geri kullanım sağlanmaktadır. Doğrudan kullanım alanları ise aşağıda sıralanmıştır:

- Golf sahası sulaması
- Rekreasyon amaçlı sulamalar
- Araba yıkama
- Soğutma suyu
- Kafes balıkçılığı

Evsel kullanımda çamaşır yıkama, duş gibi faaliyetler sonucunda oluşan gri suların tuvalet sifonlarında kullanılmasına dair bazı çalışmalar yürütülmektedir. Oldukça yağışlı bir iklime sahip olan İngiltere'de çatılardan toplanan yağmur sularının geri

kullanılmasına yönelik çalışmalarda mevcuttur. Ancak kullanılabilir su miktarının yüksek oluşundan dolayı bu tip çalışmaların kapsamı sınırlıdır. Bununla beraber son yıllarda yaşanan kurak dönemler hükümetler üzerinde toplumsal ve politik bir bakı unsur oluşturmaktadır. Bu nedenle su geri kullanımı uygulamaların yaygınlaştırılması yönünde bir düşünce egemen olmaya başlamaktadır [71].

4.1.14. İrlanda

İrlanda'da içme sularını %75'i yüzeysel su kaynaklarından sağlanmaktadır. Geri kalan su yeraltı kaynaklarından elde edilmektedir. İklim özellikleri nedeni ile oldukça yağışlı olan İrlanda'da zirai sulama pratikte yapılmamaktadır. Endüstrilerde kullanılan soğutma suları doğrudan göller veya nehirlerden çekilmektedir. Mevcut durumda İrlanda'da su geri kullanımına dair sistematik uygulamalara rastlanmamıştır [71].

4.1.15. İspanya

İspanya arıtılmış suların yaygın olarak görüldüğü bir ülke olarak öne çıkmaktadır. Uygulamalar dört ana başlıkta yoğunlaşmaktadır:

- Golf sahası sulaması
- Zirai sulama
- Yeraltı suyu beslemesi (kıyı bölgelerinde tuzlu su girişiminin engellenmesi)
- Nehirlerin beslenmesi

Yoğun uygulamaların ana sebebi AB su direktiflerinin hayata geçirilmesi sonucunda yüksek kaliteli arıtılmış kullanılmış suların miktarının artmasıdır. Bu konuya ticari ilgi yoğun olup bazı özel su kuruluşları üniversiteler ile beraber Ar-Ge çalışmaları gerçekleştirmektedir. Özellikle su fakiri bölgelerde acı sulardan veya deniz sularından desalinasyon ile elde edilen suyun zirai sulamada kullanımı konusunda projeler yürütülmektedir. Kurak

dönemlerde bazı nehirlerin kendi suyunun azalarak sadece arıtılmış veya arıtılmamış suları taşır hale gelmesi (açık kanal davranışı) ve artan geri kullanım uygulamaları bu tip nehirlerin tamamen kuruması bazı çevreci kuruluşların tepkisini çekmektedir. Bu durum ülke özelinde karşılaşılan sorunlardan biri olsa da geri kullanım uygulamalarının yaratacağı bazı sorunlara güzel bir örnek teşkil etmektedir. Ancak ülke genelindeki genel kanı geri kullanım uygulamalarının faydasının yüksek olduğu ve geliştirilmesine devam edilmesi yönündedir [71].

İspanya’da geri kullanım uygulamaları 1620/2007 nolu yasa kapsamında uygulanmaktadır. Bu yasanın temel hedefi halk sağlığı ve çevresel kaygıları gözeterek kıt bir kaynak olan suyun verimli kullanılmasıdır. Arıtılmış suların yeniden kullanılması için ilgili havzanın yönetiminden sorumlu kurumun izni alınmaktadır. Hükümetler ve yerel su idareleri geri kullanım uygulamalarının artması için sürekli plan ve programlar uygulamaktadır. Özellikle turistik bölgeler olan Katalonya, Endülüs ve Balear Adaları bölgeleri WHO’yu baz alan kapsamlı geri kullanım dokümanları yayınlamıştır. Bu dokümanlar pratik uygulamaları destekleyici yapıdadır. Ayrıca, Çevre Bakanlığı, su idareleri ve Barcelona Üniversitesi tarafından oluşturulan bir konsorsiyum “iyi uygulama pratikleri” konusunda çalışmalar yürütmektedir [71].

4.1.16. İsveç

Su kaynakları bakımından çok zengin olan ve kaynaklardan su çekim oranının düşük olduğu İsveç’te buna rağmen geri kullanım uygulamalarına bir ilgi mevcuttur. Özellikle ileri arıtmadan geçmiş suların sulama amaçlı kullanımına odaklanılmıştır. Bu uygulamaların ana motivasyon kaynağı özellikle kıyı bölgesindeki deşarj noktalarının ve kaliteli yeraltı su kaynaklarının korunmasıdır. Bazı durumlarda arıtılmış sular yüzeysel su kaynakları paçal yapılarak seyreltilmektedir.

Sulamada geri kullanım ile kullanılmış su içindeki nütrientler çiftçilere çok ucuz bir su fiyatı ile sağlanmış olmaktadır. İsv  te uygulanan bu uygulama sürdürülebilirlik noktasında örnek olacak seviyededir [71].

4.1.17. İtalya

İtalya'da yasal yükümlülüklerden dolayı yüksek kalitede deşari suları üreten orta ve büyük  l ekli AAT'ler ülke genelindeki arıtılmış kullanılmış su üretiminin %60'ını gerçekleştirmektedir. Yüksek kaliteli bu deşari suları tekrar kullanıldığında fayda/maliyet oranının oldukça yüksek olacağı öngörülmektedir. Ülkedeki 4.000 hektarlık tarım arazisinde arıtılmış sular sulama amaçlı olarak kullanılmaktadır. Ancak, su kalitesinde meydana gelebilen bozulmalar sebebi ile kullanım oranı düşmektedir. Endüstriyel geri kullanım uygulamaları özellikle Torino bölgesinde yoğunlaşmaktadır. Torino'daki bir kentsel AAT yeniden kullanılmak üzere arıtılmış kullanılmış sularını sadece end strelere giden bir boru hattına vermeyi tasarlamaktadır [71].

Arıtılmış kullanılmış suların zirai sulama amaçlı kullanımı 1977 yılından bu yana yasalarda yerini almıştır. Bazı açılardan çok sıkı koşulları olan yasada bazı toksik ve biyo-birikim özellikli maddeler için standartların olmayışı dikkati çekmektedir. Bazı yönetmeliklerde arıtılmış kullanılmış su kullanımının oluşturabileceği hijyenik tehlikelere vurgu yaparak bu alanlara erişim kısıtı konmasına atıf yapmaktadır. Bu kapsamda alanın çevresinde yol ve bina olmayan en az 80 m.'lik bir tampon bölge bulundurma zorunluluğu vardır. Puglia ve Sicilya b lgeleride 1976 yılındaki yasayı esas alarak bölgesel birtakım düzenlemelere gitmişlerdir. 152 no'lu  er eve yasa temel alınarak 2003 yılında zirai sulamanın yanında endüstriyel ve içme-dışı evsel kullanımları da içeren bir düzenleme yürürlüğe girmiştir (DM no185/03). Yasa kapsamında yerel otoritelere gerektiğinde daha sıkı limitler uygulayabilmeleri adına yetkilendirmenin  n  açılmıştır. Önerilen standartların çok sıkı

olması yasayı kısıtlayıcı yapmaktadır. Bazı durumlarda geri kullanım için talep edilen su kalitesi içme suyu standartlarına yaklaşmaktadır. Bu durum geri kullanımın yaygınlaştırılması hedefine ulaşmada problem yaratabilecek konumdadır. İleri arıtma gereksinimleri maliyetleri yukarıya çekecektir. Bir diğer negatif husus ise parametrelerin çokluğudur. Bunların izlenmesinin yaratacağı ilave masraf ve işletim karmaşıklığı da göz önünde bulundurulmalıdır. Bazı durumlarda izleme yapılacak parametre sayısı 50'den fazladır ve bazı bölgelerde numune alım frekansı oldukça sık olacak şekilde düzenlenmiştir. Yönetmeliklerde arıtılmış kullanılmış sularla sulanması uygun olan ve olmayan tarım ürünleri ayrımı yapılmamıştır. Ayrıca, arıtılmış sularla yapılan zirai sulamada sulama tipinin (sprey sulama, damla sulama) büyük önemi vardır. Burada yine sulama tipine dair bir vurgu yoktur. 54 kontrol parametresinin %20'si içme suyu standartları ile aynıdır. Belirtilen bu hususlar nedeni ile artacak maliyetlerin sadece çok büyük AAT'ler tarafından tolere edilebileceği gerçeğinin altı çizilmektedir. Bu durumda orta ve küçük ölçekli AAT'ler ve bunlardan faydalanan unsurların su geri kullanımının getireceği ekolojik ve mali avantajlardan yararlanamamasına neden olabilecektir. Özellikle güney İtalya'da küçük yerleşim birimlerindeki başarılı su geri kullanımı uygulamalarının önünün kesilmesi sonucu doğabilecektir. Arıtılmış suların geri kullanımını düzenleyen en son yasa 2006 yılında yürürlüğe giren 152 no'lu yasadır [71].

4.1.18. Kanada

Kanada Çevre Bakanlığına göre kentsel kullanılmış suların zirai sulamada kullanımında ağır metaller bir risk olarak kabul edilmemektedir. Çünkü arıtma tesislerinde metallerin verimli şekilde giderildiği ön kabulü mecuttur. Ancak yine de güvende kalmak adına Tablo 4-21 ve Tablo 4-22'deki konsantrasyon limitlerine uyum yasal bir zorunluluktur. Buna ek olarak Tablo 4-23, Tablo 4-24 ve Tablo 4-25 ise kullanılmış suların demir-çelik,

kağıt, petrol ve tekstil sektörlerinde kullanımı için uyulması gerekli değerler sunulmuştur. Ayrıca, rekreasyonel amaçlı kullanımlarda Kanada yönetmeliklerinde önemli yer tutmaktadır. Tablo 4-26'da rekreasyonel sahalarda uyulması gerekli su kalite değerleri sunulmuştur. **Error! Reference source not found.**'de ise rekreasyon amaçlı kullanılan sular ile ilgili rehberlerin bir özeti verilmektedir [67].

Tablo 4-21 Zirai sulamada kullanımı teşvik için uyulması gereken su kalite kriterleri [78]

Parametre	Konsantrasyon (mg/L)
Alüminyum	5
Arsenik	0,1
Bor	0,5-6
Kadmiyum	0,0051
Cr ³⁺	0,0049
Cr ⁶⁺	0,008
Kobalt	0,05
Bakır	0,2-1
Florür	1
Demir	5
Kurşun	0,2
Lityum	2,5
Mangan	0,2
Molibden	0,01-0,05
Nikel	0,2
Selenyum	0,02-0,05
Uranyum	0,01
Vanadyum	0,1
Çinko	1-5

Tablo 4-22 Zirai sulamada geri kullanım için artırılmış kullanılmış su kalite değerleri [78]

Parametre	Standart	Numune türü
Toplam koliform	<1000/100 ml	Anlık

Fekal koliform	<200/100 ml	Anlık
BOİ	<100 mg/l	Anlık/kompozit
KOİ	<150 mg/l	Anlık/kompozit
AKM	<100 mg/l	Anlık/kompozit
İletkenlik	<1,0 dS/m (kısıtsız kullanım) 1,0-2,5 dS/m (kısıtlı kullanım) >2,5 dS/m (kabul edilemez)	Anlık/kompozit
SAR	<4 kısıtsız kullanım 4-9, İletkenlik>1 dS/m ise kullanılabilir >9 kabul edilemez	Anlık/kompozit
pH		Anlık/kompozit

Tablo 4-23 Demir-çelik endüstrisi için arıtılmış suların geri kullanımı için limit değerler [79]

Parametre	Konsantrasyon (mg/L)				
	Sıcak hadde	Soğuk hadde	Yıkama suyu		Çelik üretimi
			Yumuşatılmış	Demineralize	
pH	5,0-9,0	5,0-9,0	6,0-9,0	-	6,8-7,0
AKM	<25	<10	ND	ND	-
TÇK	<1000	<1000	ND	ND	-
Çökebilir katılar	<100	<5,0	ND	ND	-
Ç.O.	Aerobik koşulları sağlayacak kadar				
Sıcaklık	<38	<38	<38	<38	<38
Sertlik	NS	NS	<100	<0,1	<50
Alkalinite	NS	NS	NS	<0,5	-
Sülfat	<200	<200	<200	-	<175
Klorür	<150	<150	<150	ND	<150
Yağ-gres	NS	ND	ND	ND	ND
Yüzen maddeler	NS	ND	ND	ND	ND

ND: detekte edilmemiş; NS: belirlenmemiş

Tablo 4-24 Kağıt endüstrisi için arıtılmış suların geri kullanımı için limit değerler [79]

Parametre	Konsantrasyon (mg/L)			
	Kraft kağıt		Pulp ve kağıt	
	Beyazlatılmış	Beyazlatılmamış	Beyazlatılmış	Beyazlatılmamış
pH	-	-	6-8	6-8
Renk (HU)	<25	<100	<50	<100
Bulanıklık (NTU)	<40	<100	<10	<20
Kalsiyum	-	-	<20	<20
Magnezyum	-	-	<12	<12
Demir	<0,2	<1,0	<0,1	<1,0
Mangan	<0,1	<0,5	<0,05	<0,5
Klorür	<200	<200	<200	<200
Silika	<50	<100	<50	<50
Sertlik	<100	<100	<100	<100
Alkalinite	<75	<150	-	-
TÇK	<300	<500	<200	<250
AKM	-	-	<10	<10
Sıcaklık	-	-	<36	-
CO ₂	<10	<10	-	-
Kalıntı klor	-	-	-	-

Tablo 4-25 Petrol endüstrisi için suların kullanımı için limit değerler [80]

Parametre	Konsantrasyon (mg/L)
pH	6,0-9,0
Renk	NS
Kalsiyum	<75
Magnezyum	<25
Demir	<1
Bikarbonat	NS
Sülfat	NS
Klorür	<200
Nitrat	NS
Florür	NS
Silika	NS
Sertlik (CaCO ₃)	<350
TÇK	<750
AKM	<10

Tablo 4-26 Rekreatiyonel su kullanımlarında önemli su kalite parametre değerleri [79]

Parametre	Yüzme	Yüzme dışı
Mikrobiyolojik		
İndikatör organizmalar		
<i>E. coli</i>	X	
<i>Fekal koliform</i>	X	
<i>Enterokoklar</i>	X	
<i>Kolifajlar</i>	X	
Patojenler		
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	X	
<i>Staphylococcus aureus</i>	X	
<i>Salmonella</i>	X	
<i>Shigella</i>	X	
<i>Aeromonas</i>	X	
<i>Campylobacter jejuni</i>	X	
<i>Legionella</i>	X	
Virüsler	X	
<i>Giardia lamblia</i>	X	
<i>Cryptosporidium</i>	X	
Zararlı organizmalar		
Vektörler	X	X
Sucul vasküler bitkiler	X	X
Fitoplanktonlar	X	X
Fizikokimya		
pH	X	
Sıcaklık	X	
Estetik	X	X
Yağ, debris	X	X
Berraklık	X	
Bulanıklık	X	
Renk	X	

Tablo 4-27 Rekreatyon amaçlı kullanılan sular ile ilgili rehberlerin özeti [79]

Parametre	Rehber doküman değrlendirmesi
E.koli ve fekal koliform	30 günü aşmayacak bir süre boyunca alınan en az beş numunenin geometrik ortalaması, litre başına 2000 E. coli değerini aşmamalıdır. Herhangi bir örnek litre başına 4000 E. coli aştığında yeniden numune alınmalıdır.
Enterokoklar	30 günü aşmayacak bir süre boyunca alınan en az beş numunenin geometrik ortalaması, litre başına 350 enterokok değerini aşmamalıdır. Herhangi bir örnek litre başına 700 enterokok değerini aştığında yeniden numune alınmalıdır.
Estetik	Aşağıdaki maddeler suda bulunmamalıdır: • Gözlenebilir tortular oluşturacak çökebilen maddeler • Yüzen debris, yağ • Farkedilebilir koku, renk, bulanıklık oluşturan maddeler • Sucul yaşamda istenmeyen durumlar oluşturabilecek her türlü madde, durum ve kombinasyonları
Sıcaklık	Suyun termal karakteristiği yüzücülerin iç vücut sıcaklığını değisterecek seviyede olmamalıdır.
Berraklık	Secchi diski minimum 1.2 m'den görülebilmelidir.
pH	5,0-9,0. Bu değerlere yaklaşıldığında tamponlama kapasitesi azalmaktadır.
Bulanıklık	Suyun bulanıklık değeri en fazla 5 NTU artabilir.
Yağ ve Gres	Yağ ve gres aşağıdaki belirtilen değerlerde olmamalıdır • Yüzeyde görünür film oluşturacak kadar • Koku ile fark edilecek kadar • Kıyıda ve tabanda birikecek kadar
Sucul bitkiler	Yüzücülere dolanacak köklü ve yüzen bitkiler olmamalıdır. Balıkçılık ve gemiciliği engelleyecek düzeyde olabilecek bitki büyümeleri engellenmelidir.

4.1.19. Kıbrıs (Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti ve Güney Kıbrıs Rum Yönetimi)

Kıbrıs turizm faaliyetlerini yoğun olduğu bir adadır. Adada ciddi su sıkıntısı mevcuttur. Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti (KKTC) su sıkıntısını çözmek adına Türkiye Cumhuriyeti ile anakaradan su taşınması projesi geliştirmiştir. KKTC Su Temin Projesi askılı boru sistemiyle deniz geçilerek su aktarılan dünyadaki tek projedir [81]. Adanın mevcut durumundaki su sıkıntısı en önemli gelir kalemlerinden birisi olan turizm sektörünü olumsuz etkilemektedir. Arıtılmış suların yeniden kullanımı adadaki su sorununun çözümüne katkıda bulunabilecek önemli bir enstrüman olarak değerlendirilmelidir.

Güney Kıbrıs Rum Yönetiminde (GKRY) yapılan geri kullanım uygulamaları sulama özelinde (Zirai sulama, yeşil alan sulamaları golf sahası sulaması) yaygınlaşmıştır. GKRY’de yıllık yağış ortalaması 500 mm’dir. Bunun %85’i ise evapotranspirasyon ile kaybedilmektedir. Toplam su kullanımı 242 milyon m³/yıl olup bunun %80’i tarımsal sulamada tüketilmektedir. Büyük şehirlerden yapılan yaklaşık 25 milyon m³/yıl kullanılmış su deşarjının ileri arıtmadan geçirilerek sulama projelerinde kullanılması planlanmaktadır. Coğrafi koşullara bağlı olarak suyun taşınımının zor olmasından dolayı üretilen suyun yaklaşık %60’ının rekreasyonel alanların sulanmasında geri kalan bölümünün ise tarımsal sulamada kullanılması planlanmaktadır. Bu miktardaki suyun sağlanabilmesi halinde sulu tarım alanlarının % 10 civarında artacağı değerlendirilmektedir. 90’lı yıllardan beri Kıbrıs’ta geri kullanım ile ilgili geçici/koşullu hükümler bulunmaktadır. 2005 yılında ise Decree no 296/03.06.05 no’lu yasa ile hükümler kalıcı hale getirilmiştir. Bu yasa pratiğe dönük rehber dokümanlar ile desteklenerek uygulamaların kalitesinin sulama bağlamında arttırılması hedeflenmiştir [71].

4.1.20. Letonya

Letonya'nın çevresel politikalarında önem verdiği ana hususlar tatlı su kaynaklarının kalitesinin iyileştirilmesi ve ötrifikasyonun önlenmesidir. Uzun dönemli sürdürülebilirliğin sağlanması ve suyun dengeli kullanımı vurguları yapılsa da geri kullanım Letonya için bir öncelik olarak görünmemektedir. AB ile uyumluluk kapsamında 2000'li yılların başından itibaren su kalitesi ile ilgili birçok yasa Letonya hükümetleri tarafından yürürlüğe sokulmuştur. Su yönetim sistemi revize edilerek havza temelli yönetime geçiş yapılmıştır. Noktasal kaynaklı deşarjlardan meydana gelen kirleticilerin azaltılması adına birtakım önlemler geliştirilmiştir. Bu önlemler kapsamında tüm ülke hassas alan şeklinde konumlandırılarak buna yönelik arıtma sistemleri kurgulamaya başlanmıştır. 1995-2008 yılları arasında yaklaşık 293 milyon USD'lik çevresel yatırım gerçekleştirilmiştir. Bu yatırımların yaklaşık %80'i ile kullanılmış su arıtma ve içme suyu altyapısı iyileştirilmiştir. Bu ödeneklerin önemli bir kısmı AB fonlarından sağlanmıştır [71].

4.1.21. Lüksemburg

Lüksemburg'da tüketilen suyun %25'i endüstriyel, %30'u zirai sulama ve %45'i evsel amaçlı olarak kullanılmaktadır. Su tüketiminin 1/3'ü yerüstü su kaynaklarından sağlanmaktadır. Su temini noktasında herhangi bir problem bulunmadığı için geri kullanım uygulamaları ülkenin öncelikleri arasında yer almamaktadır. Yine de endüstriyel uygulamalar olarak soğutma suyu kullanımı, kompost endüstrisinde su muhtevasını arttırma gibi hedeflerle arıtılmış suların yeniden kullanımına rastlanmaktadır [71].

4.1.22. Macaristan

Macaristan'ın yüzeysel su kaynaklarının %96'sı komşu ülkelerden gelmektedir. Bu nedenle Macaristan'daki su kütlelerinin kalite ve miktarı bu ülkelerin etkilerine açıktır.

4.56

Ancak, Macaristan'dan kaynaklanan zirai ve endüstriyel kirletici deşarjları bu su kütlelerinin bozulmasına yol açmaktadır. Kentsel kullanılmış suarın bir kısmının arıtılmaması ya da yetersiz arıtımı da süreci kötü etkilemektedir. İçme sularının yaklaşık %90'lık kısmı yeraltı su kaynaklarından elde edildiği için bu suların korunması stratejik önemdedir. Macaristan özelinde ele alınması gerekli bir diğer husus ise dağınık yerleşimlerin çokluğudur. Yerleşim yerlerine bakıldığında nüfusu 2000 kişiden küçük olan yerleşim yerlerinin toplam yerleşim yerlerine oranının %75 olduğu görülmektedir. Ancak bu kadar çok sayıda olan küçük yerleşim birimlerinde toplam nüfusun sadece %17'si yaşamaktadır. Toplam kullanılmış su deşarjlarının sadece %5'i bu yerleşim birimlerinde üretilmektedir. Bu yerleşim yerlerinin birbirinden uzak olduğu göz önüne alındığında birleşik AAT sistemleri yerine küçük merkezi olmayan sistemlerin kurulması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu durum yüksek debili tesislerde yapılacak geri kullanım uygulamalarının genellikle daha fizibil olmasından ötürü süreci olumsuz etkileyebilecektir [71].

Macaristan'da geri kullanıma yönelik doğrudan bir yasa olmasa da 96/2009 (XII. 9) nolu meclis kararı su kalitesi ve miktarının korunması ve iyileştirilmesi amacıyla hükümler içermektedir. Bu hükümlerde arıtılmış suların kurak bölgelerde zirai sulama amaçlı kullanımının özendirilmesine dair tanımlar mevcuttur [71].

4.1.23. Malta

Malta Akdeniz'deki adalardan bir tanesi olup su sıkıntısı problemi bulunmaktadır. Ziraat en önemli gelir kaynaklarından biri olduğu için zirai sulama için arıtılmış suların yeniden kullanılarak su kaynaklarının sadece evsel tüketime yönlendirilmesi 1984 yılına dayanmaktadır. Bu bakımdan Avrupa içinde geri kullanım pratiklerine ilk başlayan ülkelerden biri olarak tanımlanabilir. Arıtılmış sular ile 600 hektarlık bir alanda zirai sulama (sprey sulama) yapılmaktadır. Su kalitesi sebebi ile kısıtsız sulama

yapılarak patates, domates, yeşil biber, bezelye, lahana, karnabahar, salatalık, çilek ve yonca gibi zirai mahsuller elde edilmektedir. Toprak izleme çalışmaları sulama döneminde toprak üst yüzeyinde bir tuzlanma artışına işaret etmektedir. Ancak bu tuzluluk toprağın yüksek geçirimliliğe sahip kalkerli yapısı nedeni ile kış yağmurları ile alt tabakalara iletilip oradan da akifere geçmesi nedeni ile toprak yüzeyinde önemli derecede bir tuzlanma problemi yaratmamaktadır. Sant Antnin Arıtma Tesisini büyütülerek elde edilecek arıtılmış suların endüstriyel uygulamalarda (Enemalta enerji santrali ve Malta Tersanesi) geri kullanılması için düşünceler mevcutsa da arıtılmış suyun deniz suyu desalinasyonundan elde edilecek su maliyeti ile rekabet eder halde olması gerekliliği mevcuttur [71].

4.1.24. Mısır

Bölgedeki diğer ülkelerin aksine Mısır arıtılmış suların zirai sulamada geri kullanımını kapsamlı şekilde uygulamaktadır. Birçok gelişmiş ülkede dahi sadece rehber dokümanlar varken Mısır'da bu husus yasal düzenlemeler ile kontrol edilmektedir. Mısır yasalarına göre çiğ ve/veya pişmiş tüketilebilen sebze meyvelerin, ihraç edilen sebze meyvelerin (mısır, pirinç, soğan, patates vb.) narenciye ağaçlarının ve okulların açık alanlarının sulanmasında arıtılmış suların kullanılması yasaktır. Sulanacak bitki türüne göre sağlanması gereken arıtma seviyelerine göre bir sınıflandırma mevcuttur. Buna göre;

- A seviyesi kum filtrasyonu ve dezenfeksiyonu da içeren ileri arıtmayı
- B seviyesi ikincil arıtım ve stabilizasyon havuzlarını
- C seviyesi ise birincil arıtmayı temsil etmektedir.

Sulama uygulanabilecek bitki türlerinin sınıflandırılması ve su kalite değerleri Tablo 4-28 ve Tablo 4-29'da verilmiştir [67].

Tablo 4-28 Mısır'da arıtılmış su ile sulanabilecek bitkilerin sınıflandırılması [82]

Su Sınıfı	Zirai ürün grubu	Değerlendirme
A	G1-1: Turistik otellerdeki ağaç ve bitkiler	Hurma, çimen, kaktüs, palmiye, sarmaşık, çit bitkileri
	G1-2: Mesken bölgelerindeki ağaç ve bitkiler	Hurma, çimen, kaktüs, palmiye, sarmaşık, çit bitkileri
B	G2-1: Yem bitkileri	Sorghum sp.
	G2-2: Yenilmeyen kabuğu olan meyvelerin ağaçları	Limon, mango, badem
	G2-3: Çevre yollarındaki ve kentin dış sınırını oluşturan ağaçlar	Demirağacı, athel, zakkum, palmiye, zeytin
	G2-4: Fidanlar	Meyve ve diğer ağaçların fidanları
	G2-5: Güller ve kesme çiçekler	Gül ve diğer kesme çiçekler
	G2-6: Lif bitkileri	Jüt, amberçiçeği, keten
	G2-7: İpek üretiminde kullanılan dut ağaçları	Dut ağacı
C	G3-1: Endüstriyel yağ bitkileri	Jojoba, jatropha
	G3-2: Ağaçlar	Diğer ağaçlar

Tablo 4-29 Mısır'da arıtılmış suların zirai sulamada kullanımı için gereksinimler [82]

Parametre	Birim	A	B	C
BOİ	mg/L	<20	<60	<400
AKM	mg/L	<20	<50	<250
Fekal koliform	sayı/100 cm ³	<1000	<5000	Tanımlanmamış

4.1.25. Namibya

Windhoek'teki kullanılmış su arıtma tesisi arıtılmış suyu doğrudan kentin içme suyu sistemine göndermektedir. Yıllık buharlaşma 345 cm iken ortalama yağış 37 cm'dir. Şehirdeki 250.000 kişinin su talebinin %70'i üç yerüstü su kaynağından karşılanmaktadır. İlk etapta 1968 yılında faaliyete geçilmiştir. Endüstriyel ve potansiyel olarak toksik kullanılmış sular tesise giren kullanılmış sudan ayrılmaktadır. 1968'den bu yana dört ayrı arıtma proses grubu konfigüre edilmiştir. 2002'de faaliyete geçirilmiş olan konfigürasyon genel olarak çöktürme, aktif çamur (nütrient giderimi), aktif karbon, ozonlama, koagülasyon, flokülasyon, çözünmüş hava flotasyonu ultrafiltrasyon, klorlama gibi prosesleri içermektedir [4].

4.1.26. Portekiz

Her ne kadar Akdeniz'e kıyısı olmasa da Portekiz'de genel olarak Akdeniz iklimi hüküm sürmektedir. Ülkenin yaklaşık %58'i su sıkıntısı çekmektedir. Sık tekrarlanan kuraklıklar özellikle ülkenin güneyini etkilemektedir. Portekiz'de arıtılmış sular özellikle zirai sulamada, yol inşa projelerinde ve araba yıkama sektöründe kullanılmaktadır. Arıtılmış suların toplam miktarı yılda 480 milyon m³ olarak hesaplanmaktadır. Bu miktar kurak bir dönemde zirai sulama için ihtiyaç duyulan suyun %10'unu karşılayacak seviyededir. Bunun yanında arıtılmış suların zirai sulamada yaygın kullanılabilmesi ile ülkenin kurak bölgelerindeki (Algarve, Beja, Evora, Setubal) zirai potansiyelin etkin biçimde kullanılabilmesine imkan verecektir. Sulama yapılabilecek toplam alanın 35.000-100.000 hektar arasında olabileceği değerlendirilmektedir [71].

1998 yılında DL236/87 yönetmeliği ile sulama sularının karşılaması gereken kalite parametreleri (metal içeriği, mikrobiyolojik hususlar ve tuzluluk dahil) tanımlanmıştır. 2005 yılında ise NP344 yönetmeliği ile su kalite standartları ve bunlara

ulaşılması adına uygulanabilecek arıtma prosesleri kapsamlı olarak tanımlanmıştır. Bu yönetmelikte sulama tipleri, kullanılabilecek ekipmanlar, izleme gereksinimlerine de yer verilmiştir. Bu yönetmelik ile hem zirai sulama hem de rekreasyonel amaçlı alanların sulaması kapsamakta olup endüstriyel amaçlı geri kullanımlar kapsam dışında bırakılmıştır. 2007 yılında yapılan düzenleme (REC.IRAR nr: 2/2007) ile su fiyatlarının hesaplanması ve ödemeyi üstlenecek kurumlar tanımlanmıştır. 2010 yılındaki düzenleme (ERSAR nr:14) ile teknik bir rehber doküman hazırlanarak sulamanın yanında endüstriyel kullanımlar, akifer beslemesi ve içme suyu dışındaki diğer evsel kullanımlar tanımlanmıştır [71].

4.1.27. Romanya

Romanya'nın su kaynaklarının karakteristik özelliği nehirlerin %98'inin Tuna Nehri'ne bağlı olmasıdır. Tuna Nehri 1075 km boyunca Romanya topraklarında ilerler. Uzun dönemli ölçümler sonucunda kullanılabilir tatlı su miktarının 125 milyar m³ olduğu bulunmuştur. Bu değerin 40 milyar m³'ü nehirlerden karşılanırken, 85 milyar m³'ü Tuna Nehrinden çekilmektedir. Yeraltı su kaynakları rezervi ise 9,6 milyar m³'tür. Tüm bu kaynaklar nüfusa oranlandığında elde edilen 2.660 m³/kişi-yıl değeri AB ortalaması olan 4.000 m³/kişi-yıl'dan düşüktür. Bu nedenle Romanya AB içinde göreceli olarak su sıkıntısı çeken ülkeler arasındadır. Toplam kullanılmış suların %25'i yeterli arıtılmakta, %44'ü yetersiz arıtılmakta %30'u ise hiç arıtılmamaktadır. Efektif kanalizasyon sistemlerinin azlığı, biyolojik arıtma tesislerinin azlığı nedeni ile arıtılmış suların geri kullanımı hususunda ülke genelinde oldukça zayıftır. Su geri kullanım uygulamaları açısından münferit uygulamalar haricinde zayıf bir özellik sergilenmektedir [71].

4.1.28. Singapur

Yüksek nüfus yoğunluğu, tarımsal su talebinin yokluğu ve komşu bir ülkeden ithal edilen suya aşırı bağımlılık sonucunda Singapur'da suyun yeniden kullanılması diğer ülkelerden biraz daha farklıdır. Özellikle, ülkenin nüfus artışının yerel su kaynaklarının kapasitesini aşacağına erken fark edilmesi, Singapur'un "dört musluk" olarak adlandırılan bir yaklaşım izlemesine yol açmıştır: (1) yerel kaynaklar, (2) Malezya'dan ithal edilen su, (3) desalinasyon ve (4) arıtılmış suların geri kullanımı. Sık yağmurlar ve tarım alanlarının azlığı nedeni ile zirai sulamada geri kullanım talebi düşüktür. Bunun yerine, ülkenin suyun yeniden kullanımı programı endüstriyel ve içilebilir yeniden kullanıma odaklanmıştır. Singapur'un soğutma amaçlı su gereksinimi ve büyüyen yüksek teknoloji endüstrisi göz önüne alındığında, yüksek kaliteli geri kazanılmış su ihtiyacı kamu otoriteleri tarafından kabul edilmiştir. Ortaya çıkan gelişmiş su arıtma sistemi endüstriyel kullanıcılar ve yerel rezervuarlara geri kazanılan su sağlamaktadır [4].

4.1.29. Slovenya

Slovenya'da geri kullanıma uygun su üretmek amacı ile yapay sulak alanlar inşa edilmeye başlanmıştır. Ancak yapay sulak alanlar küçük yerleşim birimlerine inşa edildiğinden elde edilen su miktarı geri kullanım amaçlarına şimdilik hizmet etmemektedir. Ancak, su geri kullanım uygulamalarına olan ilgi ve proje çalışmaları ile Slovenya'da yakın gelecekte bu noktada gelişme yaşanması öngörülmektedir [71].

4.1.30. Suriye

Suriye'de arıtılmış suların zirai sulamada geri kullanımı için rehber dokümanlar vardır (Tablo 4-30). Buna göre sulanan bitkiler A, B, C olmak üzere üç ana gruba ayrılmaktadır [67]:

- a) Taze sebzeler

- b) Çiğ tüketilemeyen sebzeler, çim ve ağaçlar
- c) Ormanlar

Tablo 4-30 Suriye’de zirai sulama için arıtılmış su değerleri

Parametre	Birim	Bitki Tipi		
		A	B	C
pH	-	6-9	6-9	6-9
BOİ	mg/L	30	100	150
KOİ	mg/L	75	200	300
AKM	mg/L	50	150	150
Koliform	1/mL	<100.000	<100.000	<1.000.000

4.1.31. Ürdün

Ürdün’de arıtılmış su deşarj değerleri ve arıtılmış suların zirai sulamada kullanılmasını düzenleyen rehber değerler sırası ile Tablo 4-31 ve Tablo 4-32’de verilmiştir. Bu standartlar üretimi yapılan bitkileri 3 ana gruba ayırmaktadır [67]:

- a) İşlendikten sonra tüketilebilen sebzeler, parklar, oyun bahçeleri, yol kenarı bitkileri
- b) Meyveli ağaçlar, şehir dışı yol kenarları
- c) Ormanlar, endüstriyel bitkiler

Tablo 4-31 Ürdün arıtılmış su deşarj limit değerleri

Parametre	Birim	Deşarj	Yeraltısuyu besleme
BOİ ₅	mg/L	60	15
KOİ	mg/L	150	50
Ç.O.	mg/L	1	2
AKM	mg/L	60	50
pH	mg/L	6-9	6-9
Bulanıklık	NTU	-	2
NO ₃	mg/L	45	30
NH ₄	mg/L	-	5
TN	mg/L	70	45
E.coli	mpn/100ml	1000	2,2

Parametre	Birim	Deşarj	Yeraltısuyu besleme
Helmint yumurtası	mg/L	1	1
Yağ-gres	mg/L	8,0	-
Fenol	mg/L	0,002	0,002
Metilen mavisi aktif madde	mg/L	25	25
TÇK	mg/L	1500	1500
PO ₄	mg/L	15	15
Klor	mg/L	350	350
SO ₄	mg/L	300	300
HCO ₃	mg/L	400	400
Sodyum	mg/L	200	200
Magnezyum	mg/L	60	60
Kalsiyum	mg/L	200	200
SAR	mg/L	6	6
Alüminyum	mg/L	2	2
Arsenik	mg/L	0,05	0,05
Berilyum	mg/L	0,1	0,1
Bakır	mg/L	0,2	0,2
Flor	mg/L	1,5	1,5
Demir	mg/L	5	5
Lityum	mg/L	2,5	2,5
Mangan	mg/L	0,2	0,2
Molibden	mg/L	0,01	0,01
Azot	mg/L	0,2	0,2
Kurşun	mg/L	0,2	0,2
Selenyum	mg/L	0,05	0,05
Kadmiyum	mg/L	0,01	0,01
Çinko	mg/L	5	5
Krom	mg/L	0,02	0,02
Cıva	mg/L	0,002	0,002
Vanadyum	mg/L	0,1	0,1
Kobalt	mg/L	0,05	0,05
Bor	mg/L	1	1

Tablo 4-32 Ürdün arıtılmış suların zirai sulamada kullanımı için limit değerleri

Parametre	Birim	A sınıfı	B sınıfı	C sınıfı
BOİ ₅	mg/L	30	200	300
KOİ	mg/L	100	500	500
Ç.O.	mg/L	2	-	-
AKM	mg/L	50	150	150
pH	-	6-9	6-9	6-9
Bulanıklık	NTU	10	-	-
NO ₃	mg/L	30	45	45
TN	mg/L	45	70	70
E.coli	EMS/100ml	100	1000	-
Helmint yumurtası	Yumurta/L	1	1	1

4.1.32. Yunanistan

Yunanistan'da son 50 sene içinde su talebi çok yüksek oranda artmıştır. Her ne kadar yağış ortalaması yeterli olsa da su bütçesinde açıklar meydana gelebilmektedir. Bunun ana nedenleri, yağışın bölgesel ve mevsimsel anlamda önemli değişimler göstermesi, yaz aylarında turizme bağlı olarak artan su talebi, suyun bol olduğu yerlerden az olduğu yerlere ulaştırılmasının dağlık coğrafya yüzünden çok zor olmasıdır. Özellikle güney doğu bölgesinde ve adalardaki su sıkıntısı dikkati çekmektedir. Bu nedenle arıtılmış kullanılmış suların kullanımı kritik bir konudur. Günümüzde 350'den fazla AAT ile Yunanistan nüfusunun %65'ten fazlasına arıtma hizmeti sağlanmaktadır. Arıtılmış kullanılmış suların %83'ünün su bütçesi bakımından dengesiz yapıda olan bölgelerde üretilmesi geri kullanım potansiyeli açısından avantaj yaratmaktadır. Ayrıca kullanılmış su deşarjlarını %88'i tarımsal alanlara 5 km'den daha kısa mesafeler içinde gerçekleştirmektedir. Bu durum tarımsal sulama açısından avantajlı bir duruma dönüştürülme potansiyeli barındırmaktadır [71].

JMD 145116/11 (GG B' 354/2011) ve JMD 5673/400/1997 (GG B' 192/1997) kodlu yönetmelikler hem endüstriyel hem de kentsel kaynaklı arıtılmış suların yeniden kullanımına atıf yapmaktadır. Bu kapsamda üretilen sular özellikle zirai sulamada kullanılabilir potansiyel taşımaktadır [71].

4.2. Genel Değerlendirme

ABD haricindeki ülkelerde farklı parametrelere atıf yapan birçok mevzuat bulunmaktadır. Bu ülkelerdeki geri kullanım uygulamaları ile ilgili genel su kalite gereksinimleri Tablo 4-33'te özetlenerek verilmiştir.

Arıtılmış suların geri kullanımında içme sularının aksine evrensel bir ortak standart yoktur. Bu durumun temel olarak üç sebebi vardır:

- 1) farklı kullanım alanları bulunmaktadır;
- 2) yeni gelişen bir uygulamadır;
- 3) yapılan düzenlemelerin genellikle yerel düzeydeki spesifik kullanımlar için olduğundan bu düzenlemelerin genel kullanımlar için bir sonuca varılamaması.

Zirai sulama arıtılmış suların geri kullanımı için ilk uygulama alanı olup WHO ilk düzenlemesini bu alanda yapmıştır. WHO 1989 yılında geri kullanım ile ilgili uluslararası standardını yayınlasa da bu düzenleme WHO'nun içme suyu düzenlemeleri kadar ilgi çekmemiştir. Bunun yanında ABD Kaliforniya eyaletinin 22 sayılı su geri kullanım yasası birçok ülke için daha ilham verici olmuştur. WHO rehber dokümanları 2006 yılında yenilenmiştir.

Kentsel ve endüstriyel geri kullanım üzerine dünya üzerinde birçok proje yürütülmesine rağmen halen uluslararası bir yönetmelik yoktur. ABD, Avustralya, İsrail gibi ülkeler kendi normlarını oluşturmuşlardır. Geri kullanımın halk nezdindeki

kabulünün arttırılması için mutlaka su profesyonelleri tarafından dünya çapında kabul gören uluslararası ortak standartlar yakalanmalıdır. Halen bu noktada alınması gereken uzun bir mesafe vardır.

Tablo 4-33 Sulama amaçlı geri kullanım uygulamaları ile ilgili genel su kalite gereksinimleri [83]

Ülke (Yıl)	Sulama Kategorisi	pH	İletkenlik (µ S/cm)	SAR	NTU	AKM (mg/L)	BOİ (mg/L)	KOI (mg/L)	ÇO (mg/L)	TKN veya TN (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	P (mg/L)	Sülfat (mg/L)	Toplam Koliform (KOB/100)	Fekal Koliform (KOB/100)	E. coli (KOB/100 ml)	Nematod yumurtası (no/L)
US EPA, 2012	UR	6-9	-	-	2	30	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	R	6-9	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	2x10 ²	-	-
WHO, 2006	UR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10 ³	<1
	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1
Kaliforniya, 1978	-	6-9	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,2x10 ²	-	-
İtalya, 2003	-	6,0-9,5	3000	10	-	10	20	100	-	15	-	2	500	-	-	10 ²	-
Fransa, 2010	UR	-	-	-	-	15	-	60	-	-	-	-	-	-	4 (LRV)	2,5x10 ²	-
	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2-3 (LRV)	10 ⁴ -10 ⁵	-
İspanya, 2007	UR	-	-	-	10	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10 ²	0,1
	R	-	-	-	-	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10 ³ -10 ⁴	0,1
Portekiz, 2006	UR	6,5-8,4	1000	8	-	60	-	-	-	-	50	-	575	-	10 ²	-	-
	R	6,5-8,4	1000	8	-	60	-	-	-	-	50	-	575	-	2x10 ² -10 ⁴	-	-
Avustralya, 2000	UR	6,5-8,5	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-
	R	6,5-8,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10 ² -10 ⁴	-	10 ² -10 ⁴	-
İsrail, 1999	-	-	-	-	5	10	20	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-
Tunus, 1989	-	6,5-8,5	7000	-	-	30	30	90	-	-	-	-	-	-	-	-	<1
Ürdün, 2002	UR	6-9	-	9	10	50	30	100	>2	45	30	30	500	-	-	10 ^{2*}	<1
	R	6-9	-	9	-	150	200-300	500	-	70	45	30	500	-	-	10 ^{3*}	<1
Kuveyt, 2001	-	6,5-8,5	-	-	-	15	200	100	>2	35	-	30	0,1	4x10 ^{2*}	20*	-	<1

Ülke (Yıl)	Sulama Kategorisi	pH	iletkenlik (µ S/cm)	SAR	NTU	AKM (mg/L)	BOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)	ÇO (mg/L)	TKN veya TN (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	P (mg/L)	Sülfat (mg/L)	Toplam Koliform (KOB/100)	Fekal Koliform (KOB/100)	E. coli (KOB/100 mL)	Nematod yumurtası (no/L)
Umman, 1993	UR	6-9	2000	10	-	15	15	150	-	-	50	30	400	-	2x10 ²	-	<1
	R	6-9	2700	10	-	30	20	200	-	-	50	30	400	-	10 ³	-	<1
S. Arabistan, 2000	UR	6,0-8,5	-	-	5	10	10	-	-	-	10	-	600	2,2*	-	-	1
	R	-	-	-	-	40	40	-	-	-	-	-	-	10 ^{3*}	-	-	1
Çin, 2007	UR	5,5-8,5	-	-	-	60	40	-	>0,5	-	-	-	-	-	2x10 ⁴	-	-
	R	5,5-8,5	-	-	-	80-100	60-100	-	>0,5	-	-	-	-	-	4x10 ⁴	-	-
Meksika, 1987	UR	-	-	-	-	20	20	-	-	-	-	-	-	-	240*	-	-
	R	-	-	-	-	30	30	-	-	-	-	-	-	-	-10 ^{3*}	-	-

UR: Kısıtlanmamış sulama

R: Kısıtlanmış sulama

SAR: Sodyum absorpsiyon oranı

NTU: Nefelometrik bulanıklık birimi

AKM: Askıda Katı Maddeler

BOİ: Biyolojik O₂ İhtiyacı

KOİ: Kimyasal O₂ İhtiyacı

ÇO: Çözünmüş O₂

TKN: Toplam Kjeldahl Azotu

TN: Toplam Azot

N-NO₃: Nitrat Azotu

P: Fosfat

LRV: Logaritmik Redüksiyon Değeri

*: MPN/100 mL

-: Değer Yok

5. KULLANILMIŞ SULARIN GERİ KULLANIM ALANLARI - UYGULAMA TÜRLERİ

5.1. Kentsel Geri Kullanım

Birçok geri kullanım kategorisi olmakla birlikte kentsel geri kullanım oldukça önemlidir. Bunun en önemli nedeni ise yüksek hacimde su ihtiyacı karşılanabilmekte ve böylece temiz su kaynakları korunabilmektedir. Ayrıca, büyük evsel/kentsel kullanılmış su arıtma tesisleri yoğun nüfusa sahip il/ilçe merkezlerinde olup bu kapsamda kentsel geri kullanım ön plana çıkmaktadır. Bu kapsamda birçok farklı kentsel geri kullanım alanı mevcut olup en önemlileri aşağıda sıralanmıştır:

- Golf sahalarının sulanması
- Okul bahçelerinin sulanması
- Otoban teraslama alanlarının, refüjlerin sulanması
- Mezarlıklarda sulama suyu olarak kullanım
- Spor tesislerinde sulama suyu olarak kullanım
- Ticari ve endüstriyel yerlerde sulama amacıyla kullanım
- Park ve bahçelerde sulama suyu olarak kullanım
- Diğer peyzaj amaçlı sulama suyu olarak kullanım.

Kentsel geri kullanım alanlarını sınıflandırırken en önemli kriter ilgili kullanım alanına halk girişinin engellenip engellenmediğidir. Hatta halk girişinin engellenmiş olması durumu fiziksel bariyerin kullanılıp kullanılmadığına göre de ayrıca kategorize edilmektedir. Bu durum önemli olup halk sağlığı açısından önemlidir. Doğal olarak, geri kullanılacak su kalitesini ve uygulanması gereken arıtma düzey ve teknolojisi, dolayısıyla maliyetini de etkileyecektir. Özellikle halkın giriş engeli olamayan bölgelerde arıtma düzeyiyle birlikte arıtılmış suyun ve kullanıldığı alanın izlenmesi de değişecek ve farklı bir yönetim modeli de gerektirecektir [1]. Bu kapsamda farklı kullanımlar için önerilen arıtma seviyeleri Tablo 5-1’de sunulmuştur.

Tablo 5-1 Artan arıtma seviyesine bağlı olarak kabul edilebilir geri kullanım alanları [1]

Arıtma Seviyesi	Artan Arıtma Seviyesi 			
	Birincil	İkincil	Filtrasyon ve Dezenfeksiyon	İleri Arıtma
Proses	Çöktürme	Biyolojik oksidasyon ve dezenfeksiyon	Kimyasal koagülasyon, Biyolojik/kimyasal nütrient Giderimi, filtrasyon ve dezenfeksiyon	Aktif karbon, ters osmoz, İleri oksidasyon, toprak akifer arıtımı
Son Kullanıcı	Kullanım Önerilmez	Meyve bahçeleri ve üzüm bağları yüzey sulama	Park, bahçe ve golf alanları sulaması	Dolaylı içme suyu geri kazanımı İçme suyu akifer beslemesi Yüzeyel içme suyu kaynaklarının beslenmesi, içme suyu amacıyla geri kullanım
		Yenilemeyen gıda sulaması	Tuvalet yıkama	
		Kısıtlı depolama kullanımı	Araç yıkama	
		İçme suyu dışında yer altı suyu depolaması	Yenilebilir bitki sulaması	
		Sulak alanlar, doğal yaşam amacıyla rekreasyonel kullanım	Kısıtsız rekreasyonel depolama	
		Endüstriyel soğutma prosesi	Endüstriyel sistemler	
İnsan Maruziyeti	İnsan maruziyetinin kabul seviyesinde artış 			
Maliyet	Artan maliyet seviyesi 			

Kentsel kullanım alanları içerisinde golf alanlarının sulanması dünyanın birçok yerinde önemli bir yere sahip olup, ülkemizde de giderek artmaktadır. İçme suyu kaynaklarını korumak amacıyla golf sahaları, okul bahçeleri, parklar vs. geri kazanılmış su ile sulanabilir. Bu amaç için kullanılacak su iyi bir dezenfeksiyondan geçmeli ve insan sağlığını tehdit

etmemelidir. Özellikle yeniden kullanılacak olan suda tuz seviyesi önemli olup, kentsel kullanılmış sular özellikle endüstriyel deşarj vs. gibi nedenlerle bazı durumlarda yüksek tuz seviyesine sahip olabilmektedir.

Peyzaj amacıyla sulama ABD’de kullanılmış suların geri kazanım amacıyla en yaygın kullanıldığı ikinci alandır. Bu amaçla kullanım her geçen gün artmakta olup, golf alanları, parklar, yerleşim bölgeleri, yol kenarları ve mezarlıklar gibi alanlar sulanabilmektedir. Bu alanlarda halkın geri kazanılmış su ile teması söz konusu olduğu için askıda katı madde ve mikroorganizma konsantrasyonu açısından zirai kullanıma kıyasla daha iyi bir arıtım gerekmektedir. Bu iki husus dışında, fiziksel ve kimyasal olarak arıtılmış kullanılmış suda istenen karakterizasyon zirai kullanıma oldukça benzerdir. Bununla birlikte, sulama sırasında aerosollerin oluşmaması, göllenmenin olmaması ve sulama sırasında suyun taşıp alan dışına çıkmamasına dikkat edilmelidir. Dezenfeksiyon amacıyla bakiye klor da muhakkak bırakılmaktadır [6].

Peyzaj amaçlı sulamada düşünülmesi gereken bileşenler ise;

- Peyzaj amaçlı alanın tasarımı ve az su ihtiyacı olan bitkilerin seçimi,
- Yüksek performanslı sulama sistemlerinin kullanımı,
- Sulama suyu dışındaki suyun kullanımı.

ABD’de peyzaj amacıyla geri kazanılmış suların en büyük iki kullanıcısı Florida ve Kaliforniya’dır. Florida en büyük kullanıcı olup, 2004 yılında $3,8 \times 10^8$ m³ su bu amaçla kullanılmıştır. Kaliforniya da ise $1,4 \times 10^8$ m³ su kullanılmıştır. Kullanılmış suyun önemli bir kısmı golf alanlarının sulanmasında kullanılmaktadır. Peyzaj amaçlı sulama için kullanılmış suların yaygın kullanıldığı diğer yerler ise; Arizona, Kolorado, Hawaii, Nevada, New Mexico, Texas ve Utah olup ABD’de deki kurak bölgelerdir.

Sulama dışında da önemli kentsel kullanımlar mevcuttur. ABD’de kişi başı su tüketimi 2000 yılında 372 L/kişi.gün olup, 1990 yılına kıyasla %10 azalmıştır. Kullanılan suyun %65-70’i ev içerisinde %30-35’i de ev dışında kullanılmaktadır. Tuvalet temizleme amacıyla kullanılan suyun yaklaşık %40’ı kullanılmaktadır. Dolayısıyla, dışarı ve tuvalet kullanımı toplamda kullanımın %50’sinden fazlasını oluşturmaktadır. Fakat bu durum bölgeden bölgeye ve iklime göre değişmektedir. Örnek olarak Kaliforniya’da ev dışı kullanım %44 mertebesinde iken Pensilvanya’da %7 civarındadır [6].

Geri kazanılan sular kentsel amaçlı geri kullanılacaksa; peyzaj amaçlı kullanım dışında da birçok alternatif mevcut olup, bunlar tuvalet yıkama, yangın söndürme suyu olarak kullanım, araba yıkama, çamaşır yıkama, cadde yıkamaları vb. örnekler verilebilir. Doğal olarak kullanım yerine göre ihtiyaç duyulan su kalitesi de değişiklik gösterecek olup Tablo 5-2’de Japonya’da farklı geri kullanım alanları için istenen su kalitesi verilmiştir.

Tablo 5-2 Japonya’da kentsel kullanımlar için geri kazanılmış su kalitesi [6]

Parametre	Birim	Tuvalet yıkama	Cadde yıkaması	Rekreasyonel Kullanım
Toplam koliform	Sayı/100 mL	Tespit edilememeli	Tespit edilememeli	Tespit edilememeli
Bulanıklık	NTU		2	
pH			5,8-8,6	
Renk	Renk Birimi	-	-	<10
Koku	-		Kötü kokmamalı	
Bakiye klor	mg/L		0,1 (serbest), 0,4 (Toplam)	
Aritma ihtiyacı		Kum filtresi veya benzeri	Kum filtresi veya benzeri	Koagülasyon, çöktürme ve kum filtresi veya benzeri

Aşağıda kentsel kullanıma yönelik bazı örnek uygulamalara ait kısa bilgiler sunulmuştur.

5.1.1. Wollongong Su Geri Kazanım Tesisi

Avustralya'da bulunan Wollongong Şehri'nde (Şekil 5-1) kullanılmış suların yaklaşık %40'ı geri kazanılmakta olup, Avustralya'da su geri kazanım oranı en yüksek şehirlerden biridir. Arıtılmış kullanılmış sular çoğunlukla BlueScope Çelik Limanı Kembla çelik işlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca, Port Kembla Kömür Terminali, Wollongong Golf Kulübü ve Wollongong Belediye Meclisi de geri dönüştürülmüş su kullanmaktadır. Kullanılmış suların geri kazanılmasında en önemli avantajlar ise;

- Kullanılmış sular içme suyu dışındaki birçok kullanım için güvenilir bir kaynaktır.
- Sürdürülebilir su sağlanması nedeniyle içme sularının büyük oranda korunmasına katkıda bulunur,
- Okyanuslara ve diğer alıcı ortamlara arıtılmış kullanılmış su deşarjını önlemesi nedeniyle, kirlenmeyi de azaltacaktır.

Wollongong bir kıyı şehri olup, yaklaşık 200.000 nüfusa sahiptir. Sidney'in 80 km güneyinde yer almaktadır. Wollongong Atıksu Arıtma Tesisi'nde yaklaşık 50.000 m³/gün kullanılmış su arıtılarak geri kazanılmaktadır. Fakat özellikle yağışlı zamanlarda bu debi 3 katına çıkabilmektedir. Wollongong su geri kazanım tesisi üç şamadan oluşan İllawarra Atıksu Stratejisi'nin bir parçasıdır.

Birinci aşama 2006 yılında başlamış olup, yıllık 7,3 milyon m³ geri kazanılmış suyu yakınında bulunan ve bölgenin en büyük su tüketicisi olan BlueScope Çelik tesisine vermektedir. Bu İllawarra'nın su ihtiyacının%17'sine tekabül etmektedir. Geri kazanılmış su demir ve çelik üretiminde kullanılmaktadır. Geri kazanılan su ayrıca, tesis ve ekipmanların soğutulmasında,

yollardan ve kömür depolarından tozu azaltmada da (Şekil 5-2) kullanılmaktadır.

Aşama - 1 projesinin bir parçası olarak, Wollongong tesisi ikincil arıtmadan üçüncül arıtmaya geçirilmiştir. Ayrıca, Kembla ve Bellambi Limanlarında tesisler sadece yağışlı havalarda çalışacak olup, kullanılmış sular inşa edilen borularla Wollongong Atıksu Arıtma Tesisi'ne arıtım ve geri kazanım için gönderilecektir.



Şekil 5-1 Avustralya'da bulunan Wollongong Şehri ve su geri kazanım tesisi [84]

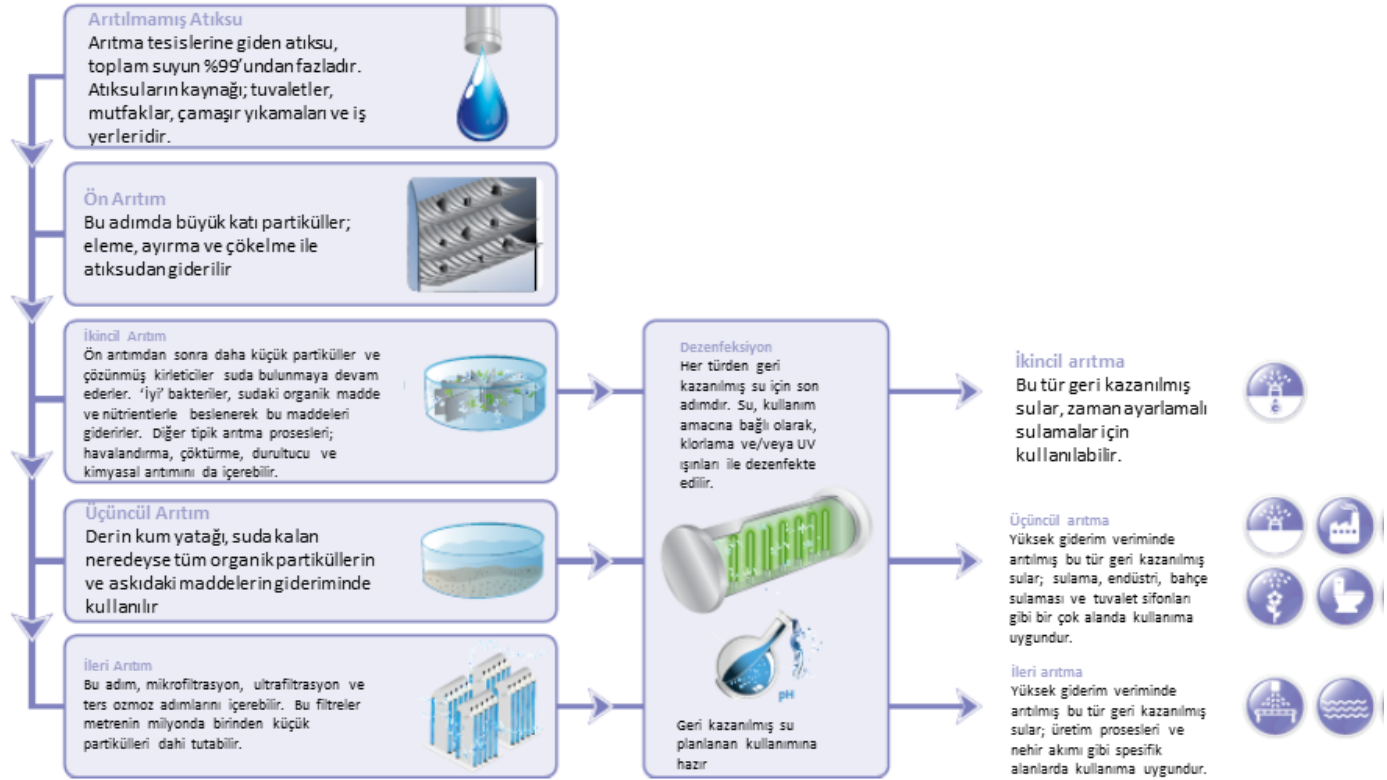


Şekil 5-2 Wollongong Su Geri Kazanım Tesisi sularının kömür depolarında oluşan tozun bastırılmasında kullanımı [85]

Wollongong Aşama – 2, yıllık 580 bin m³ geri kazanılmış suyu Port Kembla Kömür Terminali, Wollongong Golf Kulübü ve Wollongong Belediye Meclisi'ne vermektedir. Bu aşamada kullanıcılara suyun sağlanması 2009 yılında başlanmıştır. Kembla Kömür Terminal limanı 1250 m³/gün debisinde geri kazanılmış suyu kullanmakta olup, temiz su kullanımı böylece %70 oranında giderilebilmektedir. Geri kazanılmış su bir çok amaçla kullanılmakta olup, bunlardan bazıları; tozun bastırılması, ekipman yıkanması ve yangın ile mücadele. Ayrıca Sidney Su üretilen arıtılmış suyun bir kısmını Wollongong Golf Kulübüne ait 2.800 m³ kapasiteli su deposuna basmakta ve buradan alınan su da ağaçlar, yeşillik ve yolların sulanmasında kullanılmaktadır. Arıtılmış sular ayrıca Wollongong Şehir Meclisine ait J.J. Kelly Park, Greenhouse Park futbol alanı ve Viking Ragbi alanının sulanmasında kullanılmaktadır.

Bu aşamada Wollongong Atıksu Arıtma Tesisi'nde geri kazanılmış sular endüstriyel kullanımlar için daha çok kullanılacaktır.

Atıksu arıtma tesisinde güvenilir su üretimi için birçok arıtma aşaması uygulanmaktadır. Arıtma tipi daha çok geri kazanılacak suyun kullanım amacına uygun olacak şekilde seçilmektedir. Wollongong'da üçüncül arıtmadan geçmiş ve dezenfekte edilmiş sular sulama, toz bastırılması ve yangın kontrolü amacıyla kullanılmaktadır. Mikrofiltrasyon ve ters osmoz prosesleri ise; özel olarak BlueScope Çelik'te çelik imalatında kullanılmaktadır. Geri kazanımdan kalan sular ise, dezenfekte edildikten sonra 1 km'lik bir hat ile okyanusa verilmektedir. Sidney Su tarafından farklı amaçlarla kullanılan kullanılmış arıtma prosesleri aşağıdaki şekilde (Şekil 5-3) sunulmuştur. Şekil 5-4'te ise Wollongong Atıksu Arıtma Tesisi'ne ait bir fotoğraf sunulmuştur.



Şekil 5-3 Sidney Water tarafından farklı amaçlarla kullanılan kullanılmış su arıtma prosesleri [85]

Geri kazanılmış su, içme suyu şebekesi dışında ayrı bir hat ile kullanıcılara ulaştırılmaktadır. Geri kazanılmış suya ait borular ve vanalar kullanıcıların bulunduğu bölgelerde içme suyu şebekesinden kolay ayırt edilmesi amacıyla mor veya lila rengine boyanmıştır. Bu durum haliyle Kembla Liman Kömür Terminali, Wollongong Golf kulübü ve Şehir Konseyi için de geçerlidir. BlueScope Çelik'te ise durum farklıdır. Bu tesiste mor borular asit ve alkali taşıdıkları için geri kazanılmış borular mor rengine boyanmamış olup, farklı bir renk koduna sahiptir. BlueScope Steel'de bulunan geri dönüşüm su yangın muslukları ve boruları kırmızı renklidir. Ayrıca, "geri kazanılmış su-içilmez" şeklinde uyarılarda musluklarda bulunmaktadır.



Şekil 5-4 Wollongong Atıksu Arıtma Tesisi [85]

5.1.2. Barcelona Depurbaix Llobregat kullanılmış su arıtma/geri kazanım tesisi

Barcelona Depurbaix Atıksu Arıtma Tesisi (AAT) 420.000 m³/gün tasarım debisi ile Avrupa'nın büyük AAT'lerinden bir tanesidir. AAT'de azot ve fosfor giderimi için tasarlanan debi ise 315.000 m³/gün'dür. Atıksu arıtma tesisine ait bir görsel

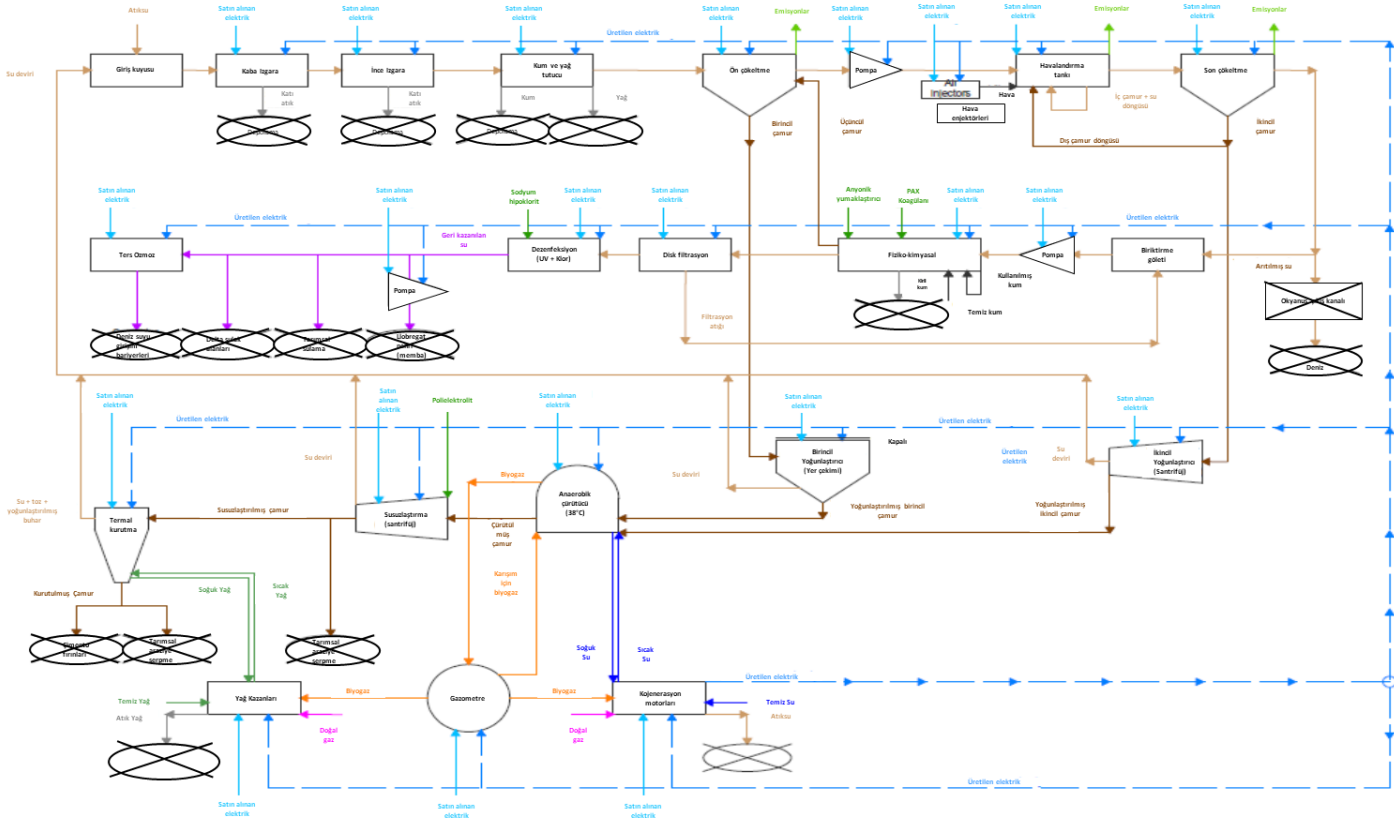
Şekil 5-5'te verilmiştir. Şekil 5-6'da AAT'nin akım şeması sunulmuştur.

Katalan Barcelona bölgesinde evsel ve endüstriyel kullanımlar için su kaynakları kısıtlıdır. Doğal tatlı su kaynakları olarak Llobregat nehri, Ter nehri ve kısıtlı yeraltı suyu kaynakları mevcuttur. Dolayısıyla, arıtılmış kullanılmış suların yeniden kullanımına bölgede çok ihtiyaç bulunmaktadır. Barcelona Depurbaix AAT hem konvansiyonel hem de ileri arıtma proseslerini barındırmakta olup farklı kalitelerde arıtılmış kullanılmış su üretebilmektedir. Arıtılmış kullanılmış sular çok farklı geri kullanım alanlarında kullanılmaktadır (Şekil 5-7). Geri kullanım alanları ana hatlarıyla aşağıda özetlenmiştir.

- Llobregat nehri beslemesi,
- Akiferle bağlantılı olan ve akiferleri besleyen göletlerin beslenmesi,
- Tarımsal sulama,
- Sulak alanların beslenmesi,
- Endüstriyel kullanım,
- Deniz suyu girişimini engellemek için yeraltı suyuna enjeksiyon,
- Yeşil alanların sulanması,
- Taşıma yapan tanker kamyonlarına su verilmesi (taşıma ile geri kullanım).



Şekil 5-5 Barcelona Depurbaix AAT görseli



Şekil 5-6 Barcelona Depurbaix AAT akım şeması*

* Şekilde çarpı işareti ile gösterilenler 'mevcut değil' anlamına gelmemektedir, sadece bir yaşam döngüsü analizi çalışmasında 'dahil edilmedi' anlamına gelmektedir.

Barcelona Metropolitan Alanında Geri Kullanım



Şekil 5-7 Barcelona AAT arıtılmış kullanılmış suların geri kullanım alanları

Barcelona Depurbaix AAT'nin hemen yanında içme ve kullanma suyu amaçlı deniz suyu desalinasyon (SWRO) tesisi de mevcuttur. Desalinasyon tesisinin maksimum üretim kapasitesi 200.000 m³/gün'dür ve global olarak büyük kapasiteli tesislerden bir tanesidir (Avrupa'daki en büyük kapasiteli SWRO tesisi). Tasarım su geri kazanım oranı %45'dir. Tesis 2009 yılında devreye alınmıştır. Tesiste güneş panelleriyle enerji üretimi bulunmaktadır (1,3 MW). Basınç değiştiricilerle konsantre hattındaki enerjinin bir kısmı RO beslemesine aktarılarak tesis genelinde %50 enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

5.2. Zirai Geri Kullanım

Su mevcudiyeti, tarımsal işletmelerin verimliliğinin merkezinde yer alır ve insan sağlığı, gıda güvenliği, ekonomi, sosyoloji, davranışsal çalışmalar ve çevre bilimleri ile ilgili birçok disiplini ilgilendirir. Dünya genelinde temiz suların %60'ı sulama amacıyla kullanılmaktadır. Uygun sulama yapılmaksızın tarım ile bugünkü nüfusun beslenmesi imkansızdır. 2009 yılına kıyasla, nüfus artışıyla birlikte 2050 yılında %70 daha fazla tarımsal üretim gerekmektedir. Artan üretim ihtiyacının karşılanması için ilk olarak ekili olan arazilerin verimliliğinin artırılmasına çalışılacak olup, bu kapsamda sulama önemli bir rol oynamaktadır.

ABD'de 2009 yılı için sulama amacıyla kullanılan toplam su hacmi 483 milyon m³/gün olup, toplam temiz su tüketiminin %37'sine tekabül etmektedir. İklim değişikliği ve küresel ısınma ile birlikte artan nüfus dolayısıyla sulama ihtiyacının karşılanması her geçen gün daha da zor olmaktadır. Kentsel alanlarda artan nüfus ve sanayileşmeyle birlikte su ihtiyacının artması nedeniyle, normal şartlarda sulama için ayrılan suyun bu alanlara kaydırılması durumu ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla kentsel ve tarımsal ihtiyaç aynı su kaynakları için yarışır hale gelmiştir. Bu durum uzun

zamanda sürdürülebilir gıda teminini de sıkıntıya sokmaktadır [86].

Dünyanın birçok yerinde arıtılmış kullanılmış suların tarımsal amaçlı kullanımının uzun bir geçmişi vardır. Bu kapsamda Birleşik Devletler Ziraat/Ulusal Gıda ve Ziraat Enstitüsü (USDA/NIFA) kullanılmış suların yeniden kullanımını temel önceliklerinden biri yapmıştır. Zirai sulama amacıyla kullanılmış suların kullanımının birçok faydası olup bunlardan bazıları aşağıda sayılmıştır.

- Arıtılmış kullanılmış su güvenilir bir su kaynağı olup, hacmi nüfus ile artmaktadır.
- Kullanılmış suların ikincil (bazen daha yüksek) kademelere kadar arıtılması genel olarak konvansiyonel olmayan kaynaklardan (desalinasyon gibi) içme suyu eldesine kıyasla daha düşük maliyetlidir.
- Genellikle arıtılmış kullanılmış suların sulamada kullanımı belediyeler için en ekonomik ve yönetimi en kolay seçenektir.
- Geri kazanılmış su, sulama için tatlı su kaynaklarını desteklemek ve kaynakları genişletmek için bir alternatiftir.
- Birçok yerde, geri kazanılmış su, çiftçilere sunulan en yüksek kalitedeki su dahi olabilir. Ayrıca, kullanılmış su bulundurduğu nütrientler sayesinde ucuz bir gübre kaynağı niteliğine de sahiptir. Bununla birlikte, bu avantaj su ve besinlerin uygun miktarda kullanımına ve sulama ile gübrelemenin zamanına bağlıdır. Bitki büyüme aşamasına bağlı olarak, fazla miktarda besin içeriği verimi olumsuz etkileyebilir.

Geri kazanılmış suyun tarımda kullanımı yasal düzenlemeler ve kurumsal politikalarla da yaygın bir şekilde desteklenmektedir. ABD’de farklı eyaletlerde zirai sulama amacıyla arıtılmış suların kullanımı Tablo 5-3’te görülmektedir. Örnek olarak 2009 yılında

5.16

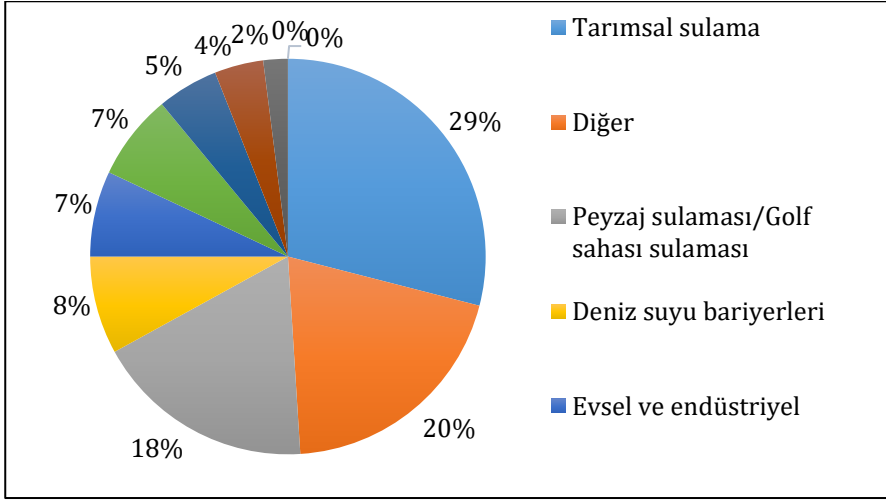
Kaliforniya eyaleti “*Su Geri Kazanım Politikası ve Su Geri Kazanım Kriterleri’ni*” uygulamaya koymuştur. Bu politika geri kazanılan suların tarımda kullanımını desteklemektedir. Bay-Delta ekosisteminin çökmesi, iklim değişikliği, nüfus artışının sürmesi ve Kolorado Nehri üzerinde ciddi bir kuraklık nedeniyle, bu sorunun çözümüne katkı sağlanması amacıyla Kaliforniya Eyaleti Su Kaynakları Kontrol Kurulu (SWRCB) eyalet ve federal su kalitesi kanunlarıyla tutarlı olmak kaydıyla geri kazanılmış su kullanımını teşvik etmek için geniş yetkilerle donatılmıştır. Görüldüğü gibi su geri kazanımı çoğu durumda politik kararların sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Kaliforniya’da alınan bu karar neticesinde su geri kazanım oranında önemli bir artış gözlenmiştir. Kaliforniya’da 2020 yılı için tahmin edilen su geri kazanım miktarı 2,5 milyar m³/yıl, 2030 yılı için ise tahmin edilen değer 3,7 milyar m³/yıl’dır. Kaliforniya 2009 yılında 800 milyon m³/yıl su geri kazanım hacmine sahip olup, son 20 yılda su geri kullanım oranı 2 kat artmıştır. Zirai sulama geri kazanılan suyun en çok kullanıldığı sektördür. Şekil 5-8’de ülke genelinde geri kazanılan suların kullanım alanları gösterilmiştir.

Tablo 5-3 ABD’de farklı eyaletlerde zirai sulama amacıyla arıtılmış suların kullanımı[1]

Eyalet	Yıllık Zirai Su Geri Kazanım Hacmi	
	Milyon galon/gün (mgd)	Milyon m ³ /yıl
Arizona	23	31.78
Kaliforniya	270	373.05
Kolorado	2.97	4.10
Florida	256	353.71
İdaho	0.27	0.37
Kuzey Karolina	1	1.38
Nevada	13.4	18.51
Tekساس	19.4	26.80
Utah	0.81	1.12
Washington	0.02	0.03
Wyoming	0.89	1.23

Florida'da kullanılmış su geri kazanım çalışmaları 1966 yıllarına dayanmakta olup, mevcut durumda 67 şehirden 63'ü geri kazanılmış su sistemlerine sahiptir. En büyük ve en iyi bilinen su geri kazanım projesi Florida'da bulunan Orange şehri'ndeki WATER CONSERV II olup, arıtılmış kullanılmış su 1986 yılından itibaren narenciye sulamasında kullanılmaktadır. Uzun zamandır devam eden bir başka kullanılmış su geri kazanım rneği ise Teksas'taki Lubbock şehrinde bulunmakta olup, arıtılmış kullanılmış sular 1938 yılından itibaren pamuk, tahıl sorgumu ve buğday sulamasında kullanılmaktadır. Ayrıca, arıtılmış kullanılmış sular Arizona, Colorado ve Nevada'da sürdürülebilir sulamanın önemli bir bileşenidir.

Dünyanın farklı bölgelerinde hükümete bağlı kuruluşlar tarafından kullanılmış suların sulamada kullanımı için farklı standartlar geliştirilmiştir. Geliştirilen bu standartların ana amacı insan sağlığını ve su kalitesini korumaktır. Bununla birlikte bazı bitkiler hassas olup, özel bir takım standartlar da gerektirebilirler. Dünyada kabul edilen farklı standartların hepsinin ana amacı insan sağlığını ve üretim verimliliğini korumaktır. Yaygın uygulama kullanılmış suların arıtmasının ve su geri kazanım çalışmalarının yasal standartlara bağlı olarak yürütülmesidir.



Şekil 5-8 ABD’de geri kazanılan suların kullanım alanları[1]

Arıtılmış suların sulama amacıyla kullanılmasında WHO kılavuzu tüm Avrupa ve diğer birçok ülkede kabul edilmiştir. Bu kılavuz bilimsel esaslara dayanılarak hazırlanmış olup, sulama ile geri kazanım uygulamalarında başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Kaliforniya Su Geri Kazanım Kriterleri (Eyalet Yönetmelik Kodu-22) mikrobiyal inaktivasyon için (toplam koliform <2,2 cfu/100 mL) oldukça sıkı şartlar gerektirmektedir. Bu standart sayesinde geri kazanılmış sular sınırlama olmaksızın direkt gıda olarak tüketilen bitkilerin sulanmasında kullanılabilir. Standardın gerekliliklerini yerine getirebilmek için en az filtrasyon ve dezenfeksiyon içeren spesifik bir arıtma prosesi gerekmektedir. Tablo 5-4’te farklı Avrupa ülkeleri için toplam su kullanımı, tarımsal su kullanımı ve arıtılmış kullanılmış su geri kazanım değerleri kıyaslamalı olarak verilmiştir.

Tablo 5-4 Avrupa’da tarımsal su kullanımı [87]

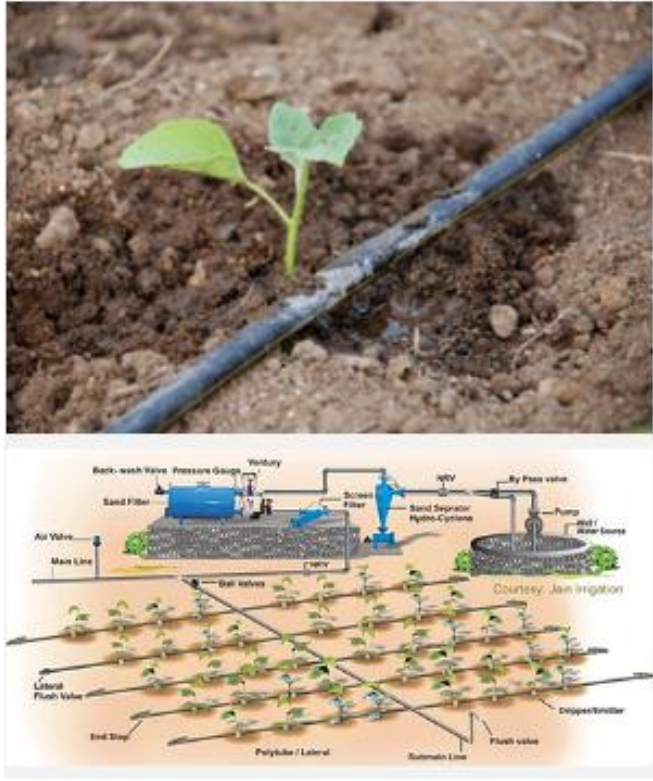
Ülkeler	Toplam su kullanımı (Mm ³ /yıl)	Tarımsal su kullanımı (Mm ³ /yıl)	Tarımsal su kullanımı (Toplam su kullanımının oransal dağılımı %)	Sulama verisinin ait olduğu yıllar	Yıllık yağış yüksekliği (mm/yıl)	Aritılmış kullanılmış su geri kullanımı (Mm ³ /yıl) 2005	Aritılmış kullanılmış su geri kullanımı (Mm ³ /yıl) 2025
Avusturya	2100	21	0,99	1998	1110	-	-
Belçika	-	-	-	-	847	15	35
Kıbrıs	240	170	71	1994	498	10	25
Çek Cum.	2600	55	2,1	1998	677	-	-
Danimarka	1300	540	42	1998	703	0,5	5
Estonya	160	8	4,9	1995	626	-	-
Finlandiya	2500	66	2,7	1998	537	-	-
Fransa	40000	3900	10	1998	867	15	120
Almanya	47000	9300	20	1998	700	50	150
Yunanistan	7800	6200	81	1998	652	10	70
Macaristan	7600	2500	32	1998	589	0,5	15
İzlanda	-	-	-	-	-	-	-
İrlanda	1100	0,2	0,018	-	1118	-	-
İtalya	44000	20000	45	1998	832	250	550
Letonya	290	36	12	1995	641	-	-
Litvanya	270	18	6,6	1995	656	-	-
Lüksemburg	-	-	-	-	934	-	-
Malta	60	14	25	1990	383	5	15
Hollanda	7900	2700	34	1998	778	5	20

Ülkeler	Toplam su kullanımı (Mm ³ /yıl)	Tarımsal su kullanımı (Mm ³ /yıl)	Tarımsal su kullanımı (Toplam su kullanımının oransal dağılımı %)	Sulama verisinin ait olduğu yıllar	Yıllık yağış yüksekliği (mm/yıl)	Arıtılmış kullanılmış su geri kullanımı (Mm ³ /yıl) 2005	Arıtılmış kullanılmış su geri kullanımı (Mm ³ /yıl) 2025
Polonya	16000	1400	8,3	1998	600	2	50
Norveç	-	-	-	-	-	-	-
Portekiz	11000	8800	78	1998	855	5	70
Slovakya	-	-	-	1998	824	-	-
Slovenya	-	-	-	1998	1162	-	-
İspanya	36000	24000	68	1998	636	350	1300
İsveç	3000	260	8,9	1998	624	-	-
İsviçre	4510	120	16	2000	-	-	-
İngiltere	9500	280	2,9	1998	1220	3	30
AB 25	241000	123000	51	-	-	721,5	2455
EUREAU 28	-	-	-	-	-	721,5	2455

Geri kazanılmış suların sulamada kullanılmasıyla birlikte yeraltı suyuna deniz suyunun girişi azaltılabilir veya engellenebilir. Kullanılmış sular ikincil arıtmadan geçtikten sonra üç aşamalı ve içme suyu arıtma tesislerinde kullanılanlara benzer filtrasyon sistemlerinden geçirilmektedir. İlk aşamada ikincil kullanılmış su arıtma tesisi çıkışına polimer ilave edilerek organik yumakların bir araya getirilmesi sağlanır. İkinci aşamada ise yaklaşık 1,8 m uzunluğunda antrasit kömür, kum ve çakıl içeren bir filtreden süzülmeştir. Üçüncü aşamada partikül içermeyen su klorlanarak suda iki saat süresince belirli bir klor konsantrasyonu korunmaktadır. Arıtmadan sonra su yaklaşık 100.000 m³ hacminde bir havuzda depolanmakta ve yer altından geçen boru hattıyla sulama alanına taşınmaktadır. Yıllık yaklaşık 20 milyon arıtılmış kullanılmış su ile 5000 hektar alan sulanmaktadır. Arıtma tesisi, sulama alanı ve kullanılan damlama sulama sistemlerine ait görseller aşağıda (Şekil 5-10 ve Şekil 5-11) sunulmuştur.



Şekil 5-10 Monterey, Kaliforniya Atıksu Arıtma Tesisi ve Salinas Vadisi'nde kullanılmış suyun sulamada kullanıldığı alan [88]



Şekil 5-11 Salinas Vadisi'nde arıtılmış kullanılmış suların damla sulama sistemlerinde kullanımı [88]

5.2.2. Mexico City Projesi (Mexico City, Meksika)

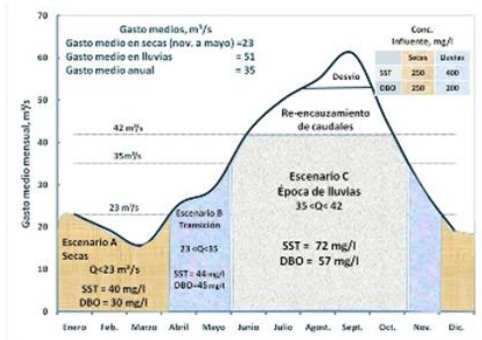
Mexico City şehrinin kullanılmış suların %90'ı Meksika Vadisi ve bitişindeki az yağmur alan Mezquital Vadisi'nde sulamada kullanılmaktadır. Yaklaşık $45 \text{ m}^3/\text{sn}$ ($3.900.000 \text{ m}^3/\text{gün}$) debili kullanılmış su vadiye gönderilerek 90.000 hektar gibi büyük bir alanın sulanmasında kullanılmaktadır. Kullanılmış suların sulamada kullanılmasıyla birlikte ürün verimi artmıştır. Diğer bir fayda ise Mezquital Vadisi'nde yeraltı suyu beslemesi artmış olup, ayrıca yeni bir sığ akifer oluşmuştur. Yerel akarsuların debileri ise artmıştır [89]. Tesise ait bir görsel aşağıda (Şekil 5-12) sunulmuştur.



Şekil 5-12 Arıtılmış suyu sulamada kullanan Atotonilco Atıksu Arıtma Tesisi [90]

Atotonilco atıksu arıtma tesisinin kapasite bilgileri aşağıda sunulmuştur (Şekil 5-13).

Dizayn Debisi

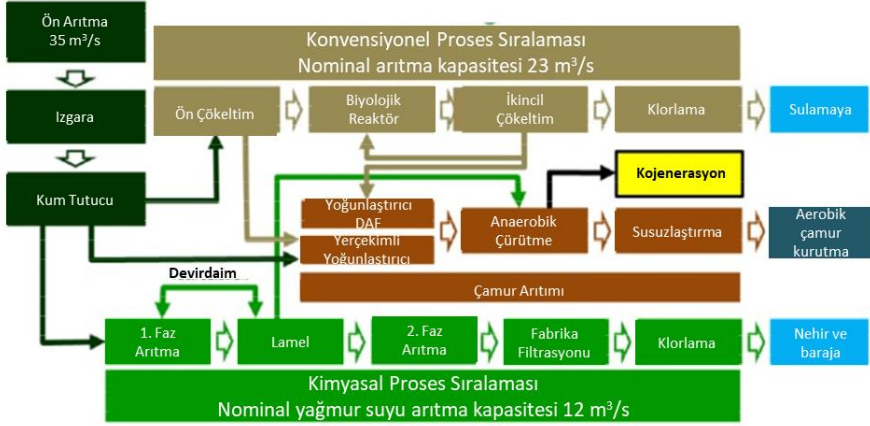


Arıtma Tipi	Yağışsız Dönem		Yağışlı Dönem	
	Ortalama	Maksimum	Ortalama	Maksimum
Konvansiyonel Arıtım	23.0	30.0	27.6	33.0
Kimyasal Arıtım	12.0	12.0	14.4	17.0
Toplam	35.0	42.0	42.0	50.0
Toplam Arıtma Kapasitesi : 1.041 hm³/yıl				

Şekil 5-13 Atotonilco Atıksu Arıtma Tesisi'nin kapasite bilgileri [91]

Tesisin yağmurlu sezonda toplam kapasitesi 50 m³/sn'tir. Tesis iki farklı arıtma prosesinden meydana gelmektedir. Klasik atıksu arıtma tesisi ortalama kapasitesi kurak hava için 23 m³/sn iken

yağmurlu sezonda maksimum debi $33 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'dir. Ayrıca, bir de kimyasal arıtma uygulanan bir tesis mevcuttur. Her iki tesise ait arıtma prosesleri aşağıda gösterilmiştir (Şekil 5-14).



Şekil 5-14 Atotonilco Atıksu Arıtma Tesisi akış diyagramı [91]

5.2.3. Dan Bölgesi Projesi (Dan, İsrail)

İsrail'in toplam su ihtiyacı $1800 \text{ Mm}^3/\text{yıl}$ olup, bu değer mevcut su kaynaklarıyla karşılanamayacak düzeydedir. Bu nedenle, ihtiyacı azaltmak maksadıyla kullanılmış sular önemli oranda sulama amacıyla kullanılmaktadır. Tel Aviv'de oluşan kullanılmış sular ($130 \text{ Mm}^3/\text{yıl}$) arıtıldıktan sonra akifer beslemesinde kullanılmakta olup, bu besleme sırasında da ilave arıtım gerçekleştirilmektedir. Daha sonra sular yer altından çekilerek borularla Dan Bölgesi ve Negev Çölü'ne taşınarak sulamada kullanılmaktadır.

Dan Bölgesi Su Geri Kazanım Projesi (Shaftan) İsrail'deki en büyük atıksu arıtma ve geri kazanım projesidir. Proje kapsamında geniş kapsamlı bir izleme yapılarak su geri kazanımının güvenli olmasına çalışılmıştır. İsrail yarı kurak bir bölgede bulunmakta olup, bu durum gelecekte değişmeyecektir. Nüfus artışı ve gelişme ile birlikte artık mevcut su kaynakları yeterli

gelmemektedir. İsrail’de bu sorunun çözülmesi maksadıyla kullanılan stratejiler aşağıda verilmiştir:

- Su tasarruf tedbirleri,
- Acı ve deniz suyu desalinasyonu,
- Atıksu geri kazanımı,
- Acı su ile sulama,
- Yağmur suyu depolama,
- Bulut aşılama.

Böylece su kullanımı için alternatif kaynaklar geliştirilmektedir. 2003 yılı itibariyle İsrail’de nüfusun %95’ine kanalizasyon hizmeti verilmekte olup, kullanılmış suların da %80’i arıtma tesislerinde arıtılmaktadır. Kullanılmış suların %80 ve üzeri bir oranda geri kullanıldığı bilinmektedir. Farklı standartlar kapsamında arıtılmış kullanılmış sular; sulama, endüstriyel, rekreasyonel kullanım gibi amaçlarla yeniden kullanılmakta olup, içme suyu kalitesindeki su üzerindeki baskı azaltılmakta ve bu su halk kullanımına sunulmaktadır [92].

Dan Bölgesi Projesi temel olarak arıtma tesisi ve SAT sistemi (soil aquifer treatment) ile dağıtım sisteminden meydana gelmektedir. Tel Aviv Metropolitani bölgesinde 220 km² ve 1,9 milyon eş değer nüfusunda toplanan su Dan Bölgesi kullanılmış su arıtma tesisinde arıtılmaktadır. Aktif çamur prosesi kullanılarak her gün 300.000-360.000 m³/gün kullanılmış su arıtılmaktadır. Bu tüm ülkenin toplam kentsel kullanılmış suyun üçte veya dörtte birine tekabül etmektedir.

Dan Bölgesi’nde toplanan kullanılmış suların %90’ı evsel, %10’u ise endüstriyel sulardan oluşmaktadır. Tipik olarak 430 mg/L BOİ, 1063 mg/L KOİ ve 380 mg/L AKM içermekte olup, toplam azot konsantrasyonu ise 63 mg/L’dir. Şekil 5-15’te Dan Kullanılmış Su Geri Kazanım Projesi şematik olarak gösterilmektedir. Arıtma tesisi; ön arıtım (ızgara, kum tutucu ve yağ tutucu), anaerobik selektörler (ipliksi bakteri kontrolü ve P

giderimi), dört adet 55.000 m³'lük havalandırma havuzu ve 12 adet 53 m. çapında son çöktürme tanklarından müteşekkildir. Ön çöktürme kullanılmamaktadır. Havalandırma tankları aerobik ve anoksik olarak kullanılabilir. Böylelikle eş zamanlı olarak karbon, azot ve fosfor giderimi mümkündür. Arıtma prosesiyle %97 oranında AKM giderilerek çıkış konsantrasyonu 9 mg/L'ye düşürülmekte, %98 giderimle BOİ değeri 8 mg/L'ye ve amonyum da %80 giderimle 6 mg/L'ye düşürülmektedir. Çıkış suyu iki adet 54 inçlik boruyla 10 km uzaklıktaki 4 adet SAT besleme havuzuna iletilmektedir.

Dan Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suları borularla taşınarak dört adet sızdırma lagününe alınmaktadır. Bu lagünlerin toplam alanı 80 hektar olup, hidrolik yükleme 80-150 m/yıl arasında olup, yükleme hızı havuzların infiltrasyon kapasitelerine bağlıdır. İnfiltrasyon dönüşümlü olarak doldurma ve kurutma işlemlerinden meydana gelmekte olup, akifer de aerobik koşulların oluşturulması sağlanmaktadır. Akifere beslenen sular, 15-30 kadar doymun olmayan (unsaturated) bölgeden akmakta ve sonrasında yatay bir şekilde yayılarak doymun bölge ile karışmaktadır. Toprak akifer sisteminden su süzülürken ayrıca üst kısımlarda bulunan oksijen nedeniyle ilave biyolojik arıtım gerçekleşmektedir. Ayrıca, adsorpsiyon, iyon değişimi ve çökelme gibi fiziko-kimyasal süreçler de doymun olmayan bölgede arıtmaya katkıda bulunmaktadır. Doymun bölgede uzun süre bekleme nedeniyle de zararlı bakteri ve virüsler elimine edilmektedir.

Sızdırma havuzlarının 300-1500 m uzağına yerleştirilmiş yaklaşık 100 geri kazanım kuyusu yeraltı suyunu 100-200 m'den pompalamaktadır. SAT sistemi su kalitesini iyileştirmekle birlikte mevsimsel ve çok yıllık su depolama alanı olarak da hizmet etmektedir. SAT sisteminden geri kazanılan su oldukça yüksek kalitede olup, sınırlama olmaksızın sulamada

kullanılabilmektedir. Aşağıda SAT uygulaması ile elde edilen suyun kalitesi sunulmuştur.



Şekil 5-15 Dan Bölgesi Su Geri Kazanım Projesi [93]

SAT sistemi çıkışında sular tek bir boru ile 87 km uzunluğunda bir hat ile ülkenin güney kısmına verilmekte ve burada sınırlama olmaksızın sulamada kullanılmaktadır. Bu su sulamada kullanıldığında, mevsimsel değişiklikler de dikkate alınarak su temini regülasyona bağlanmalıdır. Bu amaçla bir çok lokal depolama rezervuarları kurulmuş olup toplam hacmi 10 Mm³'dür.

Projenin her bir aşaması için ayrı ayrı izleme sistemleri ve güvenlik kriterleri mevcut olup, güvenli bir kullanılmış su geri kazanım sistemi kurularak etkin hale getirilmesi amaçlanmıştır. SAT sistemi ile AKM, KOİ, BOİ, amonyak, fenol, organik azot, nitrit, fosfat, demir ve bulanıklık için %70'in üzerinde bir giderim gerçekleştirilmektedir. Arıtılmış suda koliform fekal koliform, fekal *streptococcus* ve enterovirüsler tespit edilmemiştir.

Tablo 5-5 Dan Atıksu arıtma tesisi çıkış suyunun SAT sistemine verilmesi neticesinde su kalitesindeki değişim [92]

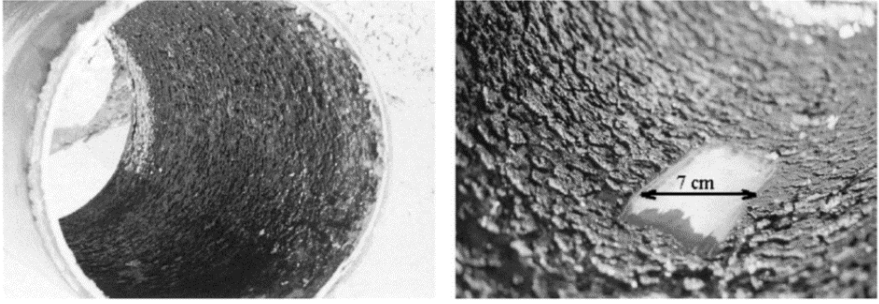
Parametre	Birim	SAT Öncesi	SAT Sonrası	Giderim (%)
AKM (105°C)	mg/L	9	0	100
pH		7,99	8,00	-
Alkalinite CaCO ₃	mg/L	297	337	-

Parametre	Birim	SAT Öncesi	SAT Sonrası	Giderim (%)
BOİ	mg/L	8	<0,5	>94
BOİ _f	mg/L	2	<0,5	>75
KOİ	mg/L	53	5,70	89
KOİ _f	mg/L	41	6	86
ÇOK	mg/L	12	2	83
UV ₂₅₄ absorbans		221	56	75
NH ₄ -N	mg/L	6,97	<0,02	>99
TKN	mg/L	9,6	0,3	97
TKN _f	mg/L	8,7	0,33	96
NO ₃ -N	mg/L	0,28	9,34	
NO ₂ -N	mg/L	1,17	0,05	96
TP	mg/L	2,2	0,05	98
Deterjanlar	mg/L	0,280	<0,100	>64
Fenol	µg/L	0,006	<0,001	>83
İz elementler				
Ca	µg/L	0,20	0,20	
Pd	µg/L	<3	<3	
Se	µg/L	<1	<1	
Cr	µg/L	4	3	>25
Cu	µg/L	<3	<3	
Fe	µg/L	88	15	83
Mn	µg/L	32	409	
B	µg/L	470	570	
Co	µg/L	<3	<3	
Ni	µg/L	11	6	45
Mo	µg/L	<4	<3	25
F	µg/L	540	130	76
Toplam Bakeri	No/mL	327000	192	3,2 log
Toplam koliform	KOB/100 mL	219000	0	-5,3 log
Fekal koliform	KOB/100 mL	22000	0	-4,5 log
S. Faecalis	KOB/100 mL	5000	0	-3,7 log
SAR		4,4	4,2	

Parametre	Birim	SAT Öncesi	SAT Sonrası	Giderim (%)
Sodyum	mg/L	181	185	
Potasyum	mg/L	18	24	

2003 yılında 25. yılını dolduracak projede gözlenen işletme sorunları ise; SAT sisteminde akiferi besleyen borularda biyotıkanmaların gözlenmesi ve SAT sisteminin kapasitesinin artık yetmemesidir. Bu sorunu da çözmek amacıyla borulara birkaç saat 10 mg/L dozajında klor verilmeye başlanmıştır. Bakteri büyümesi nedeniyle boru cidarlarında artan sürtünme enerji kaybını ve dolayısıyla da pompaj masrafını arttırmaktadır. Örnek olarak, arıtma tesisi ile sızdırma havuzlarını bağlayan borunun temizlenmemesi neticesinde %30 oranında bir basınç artışı gözlenmiş olup, 10 yıllık bir işletme neticesinde 24 inç'lik boruda 1 cm kalınlığında yapışkan bir biyofilmin geliştiği gözlenmiştir (Şekil 5-16).

Dan Bölgesi projesinde arıtılmış atıksuları taşıyan 10 km uzunluğunda ve 54 inç çapında borunun Hazen Williams katsayısı bir hafta içerisinde 140'tan (temiz boru için) 100'e (kirli boru) düşmektedir. Etkin bir biyofilm kontrol sistemi ile borulardaki enerji kaybı %40 oranında azaltılabilmektedir. Bu amaçla borulara ilk olarak yoğun bir şekilde klor verilmiş olup, sonrasında ise aralıklı bir şekilde klor uygulanmıştır. Özellikle haftada bir veya iki defa birkaç saat 10 mg/L klor verilmesiyle borularda biyofilm oluşumu kontrol altına alınabilmektedir. Özellikle sürtünme nedeniyle yük kaybına neden olan organizmanın *Chironomus* spp. larvası olduğu ve biyofilmde bir habitat oluşturduğu belirlenmiştir.



Şekil 5-16 İsrail’de bulunan Dan Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi çıkışının SAT sistemine taşınması sırasında 10 yıl içinde boruda meydana gelen biyofilm [92]

Diğer bir sorun ise infiltrasyon kapasitesidir. Örnek olarak kışın suyun vizkozitesinin artması nedeniyle suyun infiltrasyon kapasitesi de düşmektedir. Bu durumda daha kısa süreli kurutma zamanları uygulanmakta bu da toprağın hava alarak aerobik olmasını engellemektedir. Bu durumda da anaerobik koşullar gelişmektedir. Bu durumda suyun bir kısmının membranla arıtılarak direkt arıtımı veya yeni besleme havuzlarının inşası gündeme gelmektedir.

Sonuç olarak Dan Bölgesi Su Geri Kazanım Projesi; İsrail’deki en önemli su geri kazanım projesidir. Özellikle yüksek kalitede su üretilerek sulamada kullanılabilmektedir. Bu tür projelerde sulama ihtiyacının yarısının kullanılmış sulardan sağlanmasına çalışılmaktadır.

5.2.4.South East Farm Projesi (Florida, ABD) (İşlendikten sonra yenilebilecek ürün sağlayan bitkilerin sulanması)

Tallahassee Florida’da bulunan Southeast Farm Çiftlik bölgesi (Şekil 5-17) 1966 yılından bu yana arıtılmış sular ile sulanmaktadır (Şekil 5-18). Çiftlik Tallahassee şehri ve çiftçiler arasında dekar bazında yapılan anlaşmalar ile kooperatif şeklinde işletilmektedir. Çiftlik 1980 yılına kadar 80 dekar ile sınırlı iken günümüzde bu değer 8.800 dekara çıkmıştır. İkincil

arıtma çıkış suları ile mısır, soya fasulyesi ve çavdar üretimi yapılmaktadır. Ancak, son yıllarda, çiftlik yakınlarındaki Wakulla kaynak sularında nitrat artışı gözlenmiştir. Bu durum alg büyümesi ve egzotik sucul türlerin büyümesine bağlanmıştır. Ancak, nitratın bir kısmının Southeast Farm çiftliğinden gelen sulama sularından kaynaklı olduğu bulunmuştur. Bu konudaki çalışmalar halen sürdürülmektedir. Sonuçta South East Farm yönetimi çiftlikteki büyükbaş hayvan üretimini durdurmuş, azot bazlı gübre kullanımını durdurmuş ve kapsamlı bir nütrient yönetim planını devreye sokmuştur [94].



Şekil 5-17 South East Farm tarım ürünleri



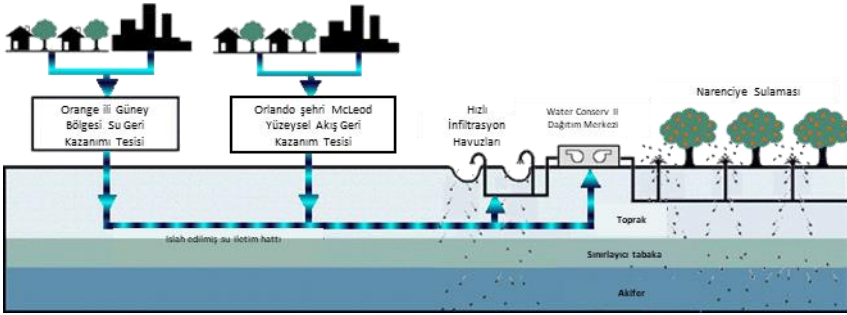
Şekil 5-18 South East Farm sprinkler sulama sistemleri

5.2.5. Water Conserv II Projesi (Florida, ABD) (Su ile Direkt temas etmeyen yenilebilir ürünleri olan bitkilerin sulanması)

Water Conserv II 1986 yılından beri arıtılmış sular ile sulanan bir tarım bölgesidir. Kendi tipinde dünyadaki en büyük projedir. Proje zirai sulama ve hızlı infiltrasyon havuzları (RIBs) (Şekil 5-19, Şekil 5-20, Şekil 5-21 ve Şekil 5-22) kademelerini içermektedir. Sulama izni Florida EPA tarafından verilmiştir. 12.000 dekarın üzerinde bir alanda narenciye üretimi yapılmaktadır. Bu sulama suları rekreasyon alanları ve golf sahalarının sulanmasında da kullanılmaktadır. Günümüze kadar sulamaya bağlı herhangi bir olumsuz durumla karşılaşmamıştır. Özellikle narenciye üretiminde önemli bir parametre olan bor ve bunun yanında fosfor ve pH değerleri narenciye üretimi için optimal seviyede tutulabilmektedir. Bunun yanında hem dondan korunma hem de narenciye üretimi için yeterli nemi sağlayacak miktarda bol su üretilebilmektedir. Bu uygulamalar normal sulama miktarından 8 kat daha fazla su gerektirmektedir. Bu sayede genç ağaçların büyüme hızı çok yüksektir. Harici nütrient gereksinimi minimumdur. Aynı zamanda yeraltı kaynaklardan su

çekimi için yapılan tüm ilk yatırım ve işletme maliyetleri elimine edilmiştir. Arıtılmış kullanılmış sularla narenciye üretimi konusunda önemli bir know-how edinimi sağlanmıştır.

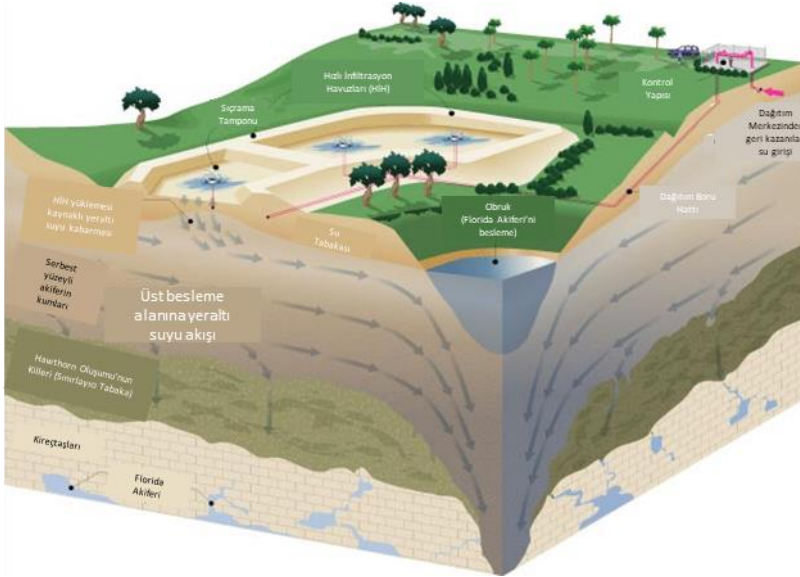
Proje kapsamında çiftçilere ilk kuruluş dönemlerinden beri ücretsiz sağlanmakta iken günümüzde kullanılan su için bir ücret tahsil edilmeye başlanmıştır. Değişen bu durum karşısında çiftçilerin su satın almaya devam edip etmeyeceği incelenmektedir. Çiftçilerin su alımını durdurması halinde üretilen su endüstriyel ve rekreasyonel kullanımlara yönlendirilecektir. Proje sayesinde arıtılmış kullanılmış suların hassas sulak alanlara deşarjı engellenmektedir. Kalitesi sabit olan bir su kaynağı yıl boyunca güvenli olarak son kullanıcılara ulaştırılabilmektedir. Florida bölgesinin en büyük sorunu olan akiferler üzerindeki su çekim stres ciddi anlamda azaltılmakta iken akiferlerin beslenmesi ile akiferlerin dolması hızlandırılmaktadır. Hızlı infiltrasyon havuzları endemik ve tehlike altındaki bitki ve hayvan türleri için güvenli bir yaşam alanı sağlamaktadır [94].



Şekil 5-19 Genel proses şeması [95]



Şekil 5-20 Hızlı infiltrasyon havuzlarının havadan görünümü [95]



Şekil 5-21 Hızlı infiltrasyon havuzlarının kesit görünümü [96]



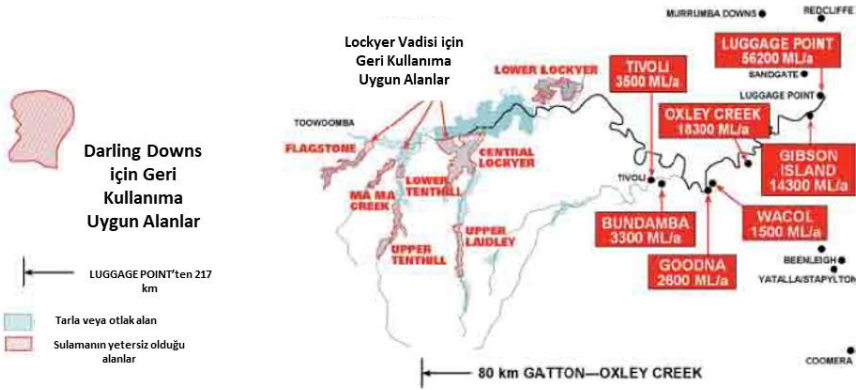
Şekil 5-22 Projenin 6. Bölümünün havadan görünümü [97]

5.2.6.South East Queensland Projesi (Queensland, Avustralya) (Su ile Direkt temas etmeyen yenilebilir ürünleri olan bitkilerin sulanması)

Brisbane'in doğusundaki Lockyer Vadisi yeraltı su kaynakları ile sulama yapılan önemli bir zirai üretim alanıdır. Ancak bu bölgedeki en önemli sorun yeraltı su kaynaklarının hızla azalmasıdır. 1996 yılında NuWater isimli üretici birliği tarafından Brisbane, Ipswich ve Logan şehirlerinden derlenecek kullanılmış suların üçüncül arıtım sonrası sulamada kullanılması fikrini geliştirmiştir (Şekil 5-23). Bu kapsamda hem Lockyer Vadisinde yaşanan su kıtlığının bitirilmesi hem de mevcut kullanılmış suların Brisbane Nehri ve Moreton Körfezi üzerinde yarattığı çevresel stresin azaltılması hedeflenmiştir. Yapılan projeksiyonlara göre ilgili bölgenin 127.000.000 m³ suya ihtiyacı bulunmaktadır. 2005 yılında Brisbane, Ipswich ve Logan şehirlerinden derlenecek su miktarının 112.700.000 m³ olduğu

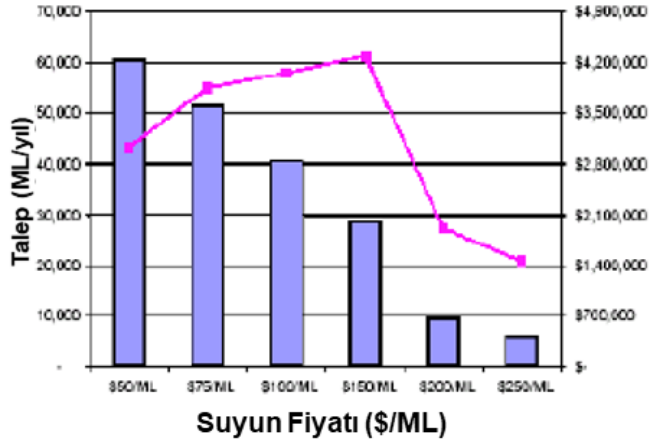
5.38

bu değerin 2025 yılında 155.300.000 m³ değerine çıkabileceği hesaplanmıştır. Şekil 5-24'te talep ve su fiyatı eğrileri verilmiştir. Elde edilecek suyun tamamen ücretsiz olarak sulamada kullanılmasının dahi proje fizibilitesin etkilemeyeceği değerlendirilmiştir. Projenin ilk yatırım maliyetinin 600 milyon USD, işletme maliyetlerinin ise yılda 30 milyon USD seviyesinde olacağı değerlendirilmiştir (Brown ve Root, 2001). Proje sonunda ortaya çıkan toplam ilk yatırım maliyeti 790 milyon USD, işletme maliyeti ise 20 milyon USD olmuştur. Bu değer O&M bağlamındaki su maliyetini 0,17 USD/m³ seviyesine getirmektedir. İlk yatırım maliyetinin %60-70'ini borulama sistemleri (300 km hat) oluştururken işletme maliyetlerinin en önemli kalemi (%50) pompaj masraflarıdır. SEQ projesi teknik olarak fizibil olmasına rağmen çiftçilerin ödemek istedikleri su ücreti sistemin masraflarını ancak karşılamakta olup, bu değerler karşısında harici mali destek ihtiyacına gereksinim duyulabilmesidir [98], [99].

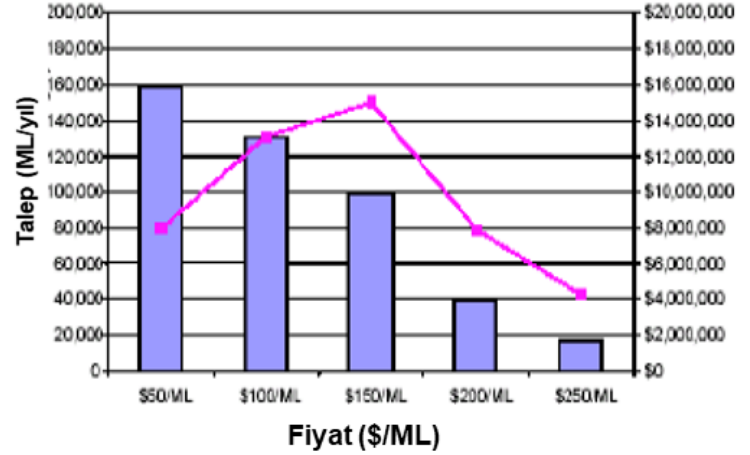


Şekil 5-23 Proje alanı [100]

Warrill, Bremer, Lockyer Vadileri



Darling Downs



Şekil 5-24 Talep ve fiyat eğrileri [100]

5.3. Çevresel/Ekolojik Amaçlı Geri Kullanım

Kullanılmış suların çevresel/ekolojik amaçlı geri kullanım özellikle sulak alanların beslenmesi ve restorasyonu, nehirler ve diğer yüzeysel su kaynaklarının beslenmesi, rekreasyonel ve peyzaj amaçlı havuz ve göllerin beslenmesini içermektedir [1]. Dünyanın birçok ülkesinde antropojenik etkiler nedeniyle zaman içerisinde tahrip edilmiştir [1]. Sulak alanlar aynı ekosistem içerisinde yaşamını sürdüren canlılar ve yaban hayatının sürdürülebilirliği açısından oldukça önemlidir. Ayrıca tahrip edilmiş sulak alanların kullanılmış sular ile restore edilmesi biyoçeşitliliğin ve hidrolojik dengenin korunması açısından da önemlidir. Ekosistem üzerinde birçok hayati fonksiyona sahip sulak alanlar kullanılmış suların değerlendirilmesiyle restore edilebilir. Dünyada birçok ülkede sulak alanların kullanılmış sularla beslenmesine yönelik çok sayıda büyük ölçekli uygulamalar bulunmaktadır [1].

Sulak alanların korunmasına ilave olarak, diğer bir çevresel kullanım ise, dere ve nehirlerin beslenmesidir. Su tasarruf tedbirleri ve su geri kazanım uygulamaları neticesinde yer altı suyuna duyulan ihtiyaç azalacaktır. Bu kapsamda nehir ve derelerin arıtılmış kullanılmış sularla beslenmesi de yer altı suyuna duyulan ihtiyacı azaltacak ve suyun sürdürülebilir olarak yönetilmesine katkıda bulunulmuş olacaktır. Şunu vurgulamak gerekir ki; dere ve nehirlerin arıtılmış sularla beslenmesi ile arıtılmış kullanılmış suların nehir ve derelere deşarjı birçok açıdan farklılıklar içermektedir. Dere ve nehirlerin beslenmesindeki asıl amaçlar; bundan bir fayda sağlamak, suyun kalitesini arttırmak, suda yaşayan canlıları korumak ve estetik açıdan katkı sağlamaktır. Deşarjın amacı ise arıtılmış suyun bir yerde atılmasıdır. Özellikle içme sularının yüksek debilerde çekildiği nehirlerde içme suyu çekimini müteakip mansap

tarafında debi önemli derecede düşmekte ve sudaki ekosistem olumsuz etkilenebilmektedir. Bu durumda bu akarsuların içme suyu çekiminden sonra arıtılmış kullanılmış sularla desteklenmesinin önemli faydaları olacaktır. Kullanılmış suların çevresel/ekolojik amaçlı geri kullanım uygulamaları aşağıda alt başlıklar halinde sunulmuştur.

5.3.1.Sulak alanların beslenmesi ve restorasyonu/rekreasyonu

Son 200 yıl boyunca, mevcut sulak alanların önemli bir bölümü tarım, madencilik, ormancılık ve kentleşme gibi kullanımlar nedeniyle kaybedilmiştir [1]. Sulak alanlar; taşkınların neden olduğu etkilerin azaltılması, yaban hayatı için yaşama ortamı, besin zincirine katkı sağlaması, akiferlerin beslenmesi ve su kalitesinin artırılması gibi çok sayıda önemli fonksiyona sahiptir. Sulak alanların korunması, bölgesel hidrolojik denge için de önemlidir [1]. Sulak alanlar doğal olarak evapotranspirasyon oranını düzenleyerek ve bazı durumlarda akiferlerin beslenmesini sağlayarak su kaynaklarının korunmasını sağlayabilmektedir. Sulak alanlar ayrıca çok çeşitli kirleticilerin arıtılması için kullanılabilen doğal sistemlerdir. Gelişmiş ülkelerdeki kırsal alanlarda ve gelişmekte olan ülkelerde genel kullanım için oldukça caziptir [1].

Hidrolojik olarak değiştirilmiş olan sulak alanlar için, kullanılmış suyun tatbik edilmesi, sulak alanların geri kazanılmasına ve iyileştirilmesine hizmet etmektedir. Kullanılmış suların sulak alanlarda geri kullanılması suretiyle yeni doğal sulak alanlar ve yapay sulak alanlar oluşturulabilir. Bu sayede sulak alanların ekosistem üzerindeki fonksiyonlarının (biyoçeşitlilik, yaban hayatının korunması, yeraltı su kaynaklarının korunması, taşkın önleme, hidrolojik denge vb.) yerine getirilmesi sağlanabilir. Ek olarak, insan yapımı ve restore edilmiş sulak alanlar, peyzaj içindeki habitat çeşitliliğini en üst düzeye çıkarmak için tasarlanabilir ve yönetilebilir.

Birçok araştırmacı tarafından hem doğal hem de yapay sulak alanlar kullanılmış suların arıtımında kullanılan güvenilir ve tutarlı sistemlerden biri olarak kabul edilmektedir. Yapay sulak alanlar biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), askıda katı madde (AKM), azot, fosfor, patojenler, metaller, sülfat, organik maddeler ve diğer toksik maddelerin gideriminde etkili sistemlerdir. Kullanılmış suların yapay sulak alanların beslenmesi amacıyla kullanılması durumunda yapay sulak alanlarda kullanılmış su kalitesinin de artırılması sağlanabilmektedir. Dolayısıyla yüzeysel ve yeraltı su kalitesinin arıtılmasına katkı sağlayabilmektedir.

Çoğu sulak alan projesinde birincil amaç, sulak alandan çıkmadan önce atık suların ek arıtılmasını sağlamaktır. Bununla birlikte, bu odak, yaban hayatı habitatlarını en üst düzeye çıkaracak tasarım kaygılarına duyulan ihtiyacı ortadan kaldırmaz ve dolayısıyla önemli ek faydalar sağlar. İnşa edilmiş sulak alanlar için, uygun bitki türleri, inşa edilecek sulak alanın türüne ve habitat hedeflerine göre seçilmelidir. Bazı sulak alanlar toplam askıda katıların gideriminde düşük bir performansa sahip olabilir. Ayrıca, yüksek bir tuz içeriğine sahip olan kullanılmış sular sulak alanlardaki bitki örtüsü üzerinde negatif etkilere sahip olabilir. Bu nedenle bir tuzluluk değerlendirmesi gerekli olabilir. Bazı durumlarda, yapay sulak alanlarda tuza dayanıklı bitki örtüsünün kullanılması uygun olabilir. Tasarımla ilgili hususlar, hidrolik ve bileşen yüklemelerini sulak alandaki etkilerle dengelemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Yeraltı suyu kalitesine de etkiler değerlendirilmelidir.

Dünyanın birçok ülkesinde kullanılmış suların çevresel/ekolojik kullanımı mevcuttur. Bunlardan biri olan sulak alanların kullanılmış sularla beslenmesidir. Aşağıda büyük ölçekli uygulama örnekleri sunulmuştur.

5.3.1.1. Tres Rios Sulak Alanı (Phoenix/Arizona)

Tres Rios yapay sulak alanı ABD'nin Arizona Eyaletinde Phoenix'in batısında yer almaktadır. Tres Rios yapay sulak alanı özel sektör ve devlet tarafından finanse edilerek 2010 yılında tamamlanmıştır. Bu projenin temel amacı, yerel kullanılmış su arıtma tesisinden gelen atık farklılıklarını azaltacak ve doğal bitki örtüsü ve bölgesel biyolojik çeşitlilik için büyük miktarda habitatın yeniden kurulmasına ek olarak düzenleyici bir yapay sulak alan oluşturmak olmuştur [101]. Proje, Gila ve Agua Fria nehirleri ile Salt River (3 adet akarsu havzası) birleşmesinin 8 millik bir kısmının kapsamlı bir çevre restorasyonundan oluşmaktadır. Proje yaklaşık 128 dönümlük sulak alan, 38 dönümlük kıyı koridorunu, 134 dönümlük bataklık ve 69 dönümlük habitatın inşa edilmesini içermektedir [102]. Tres Rios projesi 230 milyon galon arıtma kapasitesine sahip olan Phoenix Atıksu Arıtma Tesisi'nin arıtılmış kullanılmış sularının (yaklaşık günlük 140 milyon galon) ilave arıtımı sağlamak ve kullanılmış suların çevresel/ekolojik amaçlı geri kullanımını sağlamak için gerçekleştirilmiştir. Projenin toplam maliyeti yaklaşık 99,32 milyon dolar olmuştur.



Şekil 5-25 Arizona Tres Rios Sulak Alanı Bölgesi Haritası [103]
5.44



Şekil 5-26 Bölgesel Kullanılmış Su Arıtma Tesisi ve Arizona Tres Rios Sulak Alanı



Şekil 5-27 Arizona Tres Rios Sulak Alanı [104]

5.3.1.2. Georgia Clayton County Sulak Alanı (Georgia/ABD)

Clayton County Sulak Alanı ABD'nin Atlanta'nın hemen güneyinde Georgia'da bulunmaktadır. Clayton County Water Authority (CCWA)'nin bir uygulaması olan proje ABD'deki başarılı kullanılmış suların geri kazanım uygulamalarından biridir. Sulak alanda kullanılmış suların geri kullanımı ile hem doğal ekosistemin korunması ve sulak alanın beslenmesi hem de arıtılmış suların ikincil arıtımı yapılabilmektedir. Bölgede sulak alanların inşa edilmesiyle sulama sistemlerinden daha az arazi, enerji ve bakım gerektirdiği ifade edilmektedir. Panhandle Road ve E.L. Huie yapay sulak alanı sırasıyla günlük 4,4 ve 17,4 milyon galon bir arıtım kapasitesine sahiptir [105].

Kullanılmış suların sulama yerine sulak alanlarda kullanılmasıyla pompalama ve bakım ihtiyacının azaltılmasından dolayı önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Ayrıca bakım personeli, ekipman ve materyallerde de önemli miktarda azalma sağlanabilmektedir. Sulama boruları ve sayısız valf ve pompaların milini korumak yerine, rutin bakım esas olarak bitki örtüsü yönetiminden oluşmaktadır. Yaklaşık 1 milyon galon kullanılmış suyun sulamada kullanılabilmesi için yaklaşık 100-150 dönümlük bir arazi ihtiyacı bulunurken sulak alanlarda 20-25 dönümlük bir arazi gerekmektedir.



Şekil 5-28 Georgia Clayton County Sulak Alanı [105]

Diğer taraftan kullanılmış suların sulak alanlarda geri kullanılmasıyla bölgede su kıtlığının önlenmesi de amaçlanmıştır. Bu sistemde Atlanta'nın su ihtiyacının önemli bir bölümü karşılanabilmektedir. Ayrıca oluşturulan yapay sulak alan su ekosistemi, yaban hayatı ve biyoçeşitlilik anlamında bölgeye önemli katkılar sağlamıştır. Sulak alanda kuş gözlemciliğine dayalı turizmin artması da bölgenin ekonomik kalkınmasına önemli bir katkı sağlamaktadır.

5.3.1.3. Orlando Easterly Sulak Alanı (Orlando/Florida)

Orlando Easterly Yapay Sulak Alanları yüksek oranda kullanılmış suların geri kullanıldığı yapay sulak alanlardandır. Proje, 1980'lerin ortasında, kullanılmış su arıtma kapasitesinin geliştirilmesi ihtiyacıyla karşı karşıya kalınması hassas sulak alanlara boşaltılan nütrient miktarının artmasına neden

5.46

olmuştur. Kullanılmış suların hassas su ortamlarına boşaltılması durumunda en önemli endişe unsuru alıcı su ortamındaki oksijen ihtiyacının artmasına neden olması, su ekosistemindeki canlılar üzerinde olumsuz etkiler, alg oluşumunun artmasına neden olan azot ve fosfor gibi besi maddelerinin artmasına neden olmasıdır. Florida yer alan su kaynakları yaz aylarındaki kuraklık nedeniyle yüzeysel su debilerinin azalmasına bağlı olarak daha hassas hale gelmektedir. Bu nedenle arıtılmış suların Orlando Easterly Yapay Sulak Alanları inşa edilmiş ve 20 yıldan fazla süredir başarıyla işletilmiştir. Orlando Sulak Alan Parkı, yaklaşık 670 hektarlık bir alanda yer almaktadır. Park içerisinde sayfiye alanları, bataklıklar, göller, kuş gözlemciliği alanları, doğa fotoğrafçılığı, yürüyüş, koşu ve bisiklet kullanımı için önemli alanlar bulunmaktadır [1].



Şekil 5-29 Florida Orlando Easterly Sulak Alanı

5.3.1.4. *Arizona Sierra Vista Sulak Alanı (Yaban hayatı yaşam alanı ve balıkçılık)*

Sulak alanlar çeşitli memeliler, bitkiler, böcekler, amfibiler, sürüngenler, kuşlar ve balık türleri için beslenme, yaşam alanı ve bir barınak oluşturmaktadır. Bazı sulak alanlarının sahip oldukları türlerin sayısı ve çeşitliliği, tropikal yağmur ormanları veya mercan resifleriyle karşılaştırılabilir seviyededir [1].

Göçmen kuşlar dinlenme, beslenme ve üremeleri için sulak alanlara ihtiyaç duymaktadır. Sulak alanlar, ABD'de ticari olarak hasat edilen balık ve kabuklu deniz hayvanlarının yüzde 75'inde ve rekreasyonel balık avcılığının yüzde 90'ına kadar yaşam döngüsünde önemli bir yere sahiptir [1]. Sulak alanlar ayrıca balık sağlığı içinde de oldukça önemlidir ve bu nedenle ABD'de milyarlarca dolarlık balıkçılık endüstrisi için hayati önem taşımaktadır. Sulak alanlar hem deniz hem de tatlı su türleri için sürekli bir besin kaynağı, sığınak ve büyüme alanı oluşturmaktadır. ABD'de bazı şehirlerde (The city of Sequim, Wash gibi), kabuklu deniz hayvanlarını korumak ve tatlı su kaynaklarını korumak için kullanılmış su arıtma tesisi ve arıtılmış suların arazide geri kullanımına ilişkin sistemler inşa edilmiştir.

Ayrıca Arizona'daki Sierra Vista'da, 260 hektar alana sahip ve 30 açık havzayı kapsayan yapay sulak alanlar bulunmaktadır. Bu uygulamada yaklaşık 2500 m³/yıl geri kazanılmış su akiferlere geri kazandırılmaktadır. 20 hektar sulak alan içerisinde otantik otlak alanı ve yaban hayatı izleme tesisi bulunmaktadır. Yapay sulak alanlar, bitkiler besin maddelerini aldıklarından suyun filtrelenmesi ve su kalitesinin iyileştirilmesi de dahil olmak üzere sayısız fayda sağlamaktadır. Sierra Vista EOP (Arizona'da) sulak alanında, ikincil arıtma doğal olarak filtrelenmektedir. EOP sulak alanının birincil amacını, nehri olumsuz etkileyen yeraltı suyu çekilmesinin etkilerini azaltmak ve canlı türleri için gerekli yaşam alanı sağlamak oluşturmaktadır [1].



Şekil 5-30 Arizona Sierra Vista Sulak Alanı [106]

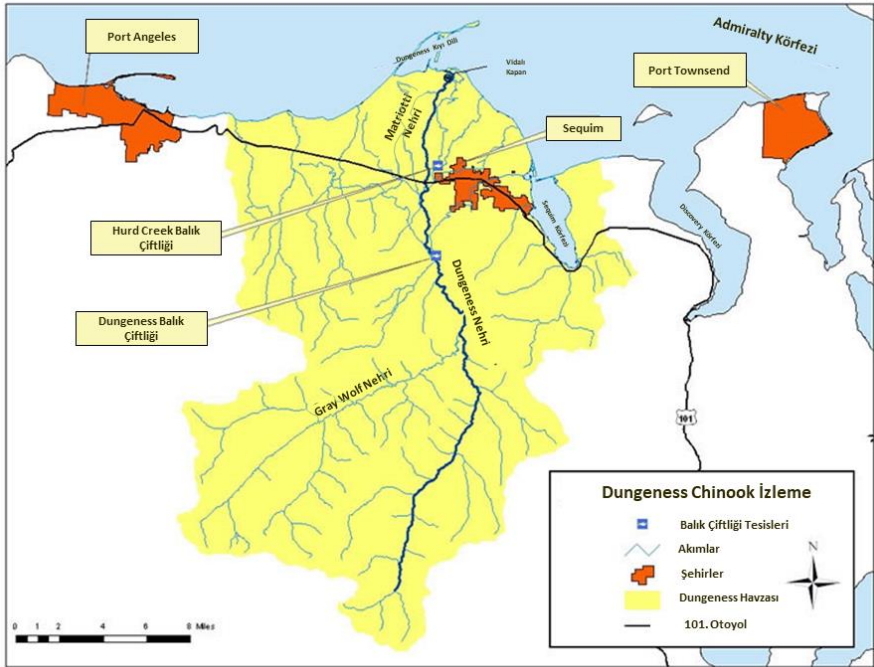
5.3.2.Akarsu, dere ve aylarda su debisinin artırılması amacıyla kullanım

Su sektöründe yoğun talepleri karşılamak için yeterli su tedariki sağlamak başlıca zorluklardan birini oluşturmaktadır. Su tasarrufu ve yeniden kullanım uygulamaları akarsu su debisinin artırılmasını sağlanabilir ve akiferler üzerindeki su talebinin azaltılmasını sağlayabilmektedir. Akarsu su debisinin artırılmasında kullanılmış suların değerlendirilmesi akarsu kenarındaki yaşam alanlarının iyileştirilmesi gibi estetik fayların yanı sıra kullanılmış suların bertaraf edilmesini de sağlamaktadır [1]. Akarsu su debisinin kullanılmış sular ile artırılması, su kalitesinin iyileştirilmesinde ekonomik bir yöntem olabilmektedir. Kullanılmış sularla akarsuların beslenmesinde herhangi bir rezervuara ihtiyaç duyulmadığından gerekli maliyetler de azaltılabilmektedir. Akarsuların kullanılmış sular ile beslenmesi özellikle su ihtiyacının karşılanmasında akarsuların kullanıldığı bölgelerde azalan su debisinin artırılmasında ve su yaşamının korunmasında etkili olmaktadır [1]. Ancak kullanılmış suların akarsulara beslenmesi durumunda çeşitli potansiyel riskler de oluşabilmektedir. Örneğin kullanılmış sular içerisinde bulunan patojenler, organik bileşikler, toksik kimyasallar ve mikrokirleticiler (endokrin sistem bozucu kimyasallar gibi) su kalitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir [107], [108]. Bu nedenle öncelikli olarak iyi bir risk değerlendirilmesinin yapılması gereklidir [1]. Dünyada özellikle kurak bölgelerde kullanılmış suların arıtıldıktan sonra nehir ve yüzeyssel su debisinin artırılmasında kullanıldığı bilinmektedir. Bu kapsamda dünyadaki bazı uygulama örnekleri aşağıda sunulmuştur.

5.3.2.1. Sequim Dungeness Nehri (Washington/ABD)

ABD'nin Washington Eyaleti'nde Sequim Bölgesi'nde Dungeness Nehri bölgedeki yeraltı su kaynaklarının da beslenmesine katkı sağlayan en büyük nehirlerinden biridir [1]. Aynı zamanda

bölgede yeraltı suları ve yüzey su kaynakları tarımsal sulamada da kullanılmaktadır. Geçtiğimiz 30 yıllık süreçte bölgede kuyu sayısının ve çekilen su debisi önemli ölçüde artmıştır. Bu artış yaklaşık günlük 0,4-0,8 milyon galondur. Bu nedenle bölgede oluşan kullanılmış suların yaklaşık %30'unun arıtıldıktan sonra Bell Creek bölgesindeki Dungeness Nehrinin su debisinin artırılması amacıyla geri kullanılmıştır [109], [110]. Nehir yeraltı su kaynaklarını da beslediğinden yeraltı su kaynaklarının da dolaylı olarak beslenmesi sağlanmıştır [111]. Bu sayede bölgedeki tarımsal sulamanın da sürdürülebilirliğine katkı sağlanmıştır [112].



Şekil 5-31 Dungeness Havzası Haritası [113]



Şekil 5-32 Dungeness Nehri görseli ve Sequim Su Geri Kazanım Tesisi [114]

5.3.2.2. *Nobidome Yosui/Tamagawa Jousui Nehirleri'nin beslenmesi (Tokyo/Japonya)*

Tokyo Yönetimi tarafından Tamagawa Jousoi Nehrinin yeniden hayat kazandırılması amacıyla Tamagawa-Jouryu atıksu arıtma tesisi çıkış suları ile beslenmesine karar verilmiştir. Atıksu arıtma tesisinden geri kazanılan su büyük kapasiteli bir terfi sistemi ve isale hattıyla Nobidome ve Tamagawa Jousui Nehirlerine verilmiştir [111]. Bu nehirleri restore etmek için verilen su miktarı sırasıyla 20.000 ve 23.200 m³/gün civarındadır. Nobidome nehrini restore etmek için gerekli maliyet 53,6 milyon dolara mal olmuştur. Diğer taraftan Jonan Bölgesinde yer alan Shibuya/Furu River, Meguro River and Nomi Nehirleri'ne sırasıyla 17.460 m³/gün, 27.410 m³/gün ve 35.230 m³/gün kaynak sağlamak için bir geri kullanım projesi yürütülmüştür [115].



Şekil 5-33 Tamagawa Jousui Nehri [116]



Şekil 5-34 Nobidome Yosui Nehri [117]

5.3.2.3. Dallas Fort Worth Trinity Nehri'nin beslenmesi (Dallas/Teksas)

ABD'de Teksas'ın Trinity Nehri havzasındaki yüzey sularının kullanılmış sular ile beslenmesi önemli uygulama örneklerinden birini oluşturmaktadır. Dallas/Forth Worth bölgesinde öngörülen hızlı nüfus artışı beraberinde bölgenin entegre su planlamasının önemli değişiklikler yapılması beraberinde getirmiştir [1]. Bu durum kullanılmış suların bir kaynak olarak görülmesine neden olmuştur. Su havzasındaki birkaç planlı dolaylı içme suyu yeniden kullanım projelerinin ilki, 2002 yılında, Trinity Nehri'nin bir kesiminden gelen suyun, Dallas'ın yaklaşık 80 km (80 km) güneyinde yer alan bir dizi işlenmiş arıtma arazisine yönlendirilmesiyle başlatılmıştır. Tarrant Bölgesi'nde şu anda, Richland Chambers Rezervuarı'na ortalama günde 56

milyon galon (210.000 m³/gün) Nehri suyunu tahliye etmesine izin verilmektedir. Bu nehirdeki toplam suyun yaklaşık %30'unu kullanılmış suların oluşturduğu anlamına gelmektedir. Benzer bir proje, 2018'den başlayarak nehrin diğer tarafında Dallas'ın hemen hemen aşağı akışında yer alan Cedar Creek Rezervuarı için planlanmıştır [4].



Şekil 5-35 Dallas/Fort Worth Trinity Nehir Havzası Haritası [4]



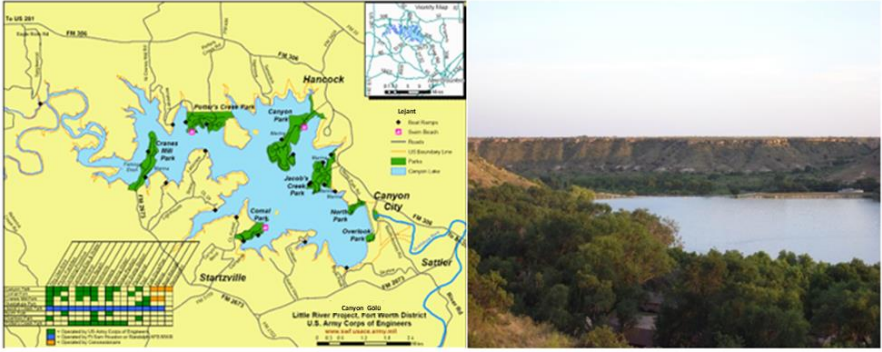
Şekil 5-36 Dallas/Fort Worth Trinity Nehri [118]

5.3.3. Rekreasyonel ve peyzaj amaçlı havuz ve göllerin beslenmesi

Kullanılmış sular rekreasyonel ve peyzaj amaçlı iyileştirmelerde geri kullanılabilmektedir. Bu kapsamda yapay olarak inşa edilmiş bir su tutma yapısı kullanılabilmektedir. Bu uygulamanın en önemli örneklerinden birini yapay göletler oluşturmaktadır. Bu alanlar turizm, tekne ve balık tutmanın yanı sıra yüzme gibi çeşitli aktivitelere de imkan sağlayabilmektedir [1]. Ancak kullanım amacının çeşitliliğini artırmış suyun kalitesi etkilemektedir. Arıtma seviyesinin artması insan teması içeren aktivitelerin de gerçekleştirilmesine olanak sağlayabilmektedir. Bu alanlara boşaltılacak arıtılmış sularda besi maddelerinin olmaması ileride ötrifikasyon problemiyle ve estetik olumsuzluklarla karşılaşılmasını adına oldukça önemlidir. Bu alanlar su ihtiyacına bağlı olarak mevcut su planlamasına zaman içerisinde dahil edilebilmektedir. Örneğin bir yapay gölette biriktirilen suyun bir bölümü golf sahalarının ve tarımsal amaçlı sulamalar için de bir kaynak olabilmektedir [1].

5.3.3.1. Lubbock, Yellowhouse Canyon Gölleri Parkı (Lubbock/Tekساس)

Tekساس, Lubbock'ta, Yellowhouse Canyon Gölleri Parkı'ndaki rekreasyon gölleri için yaklaşık günlük 4 milyon galon geri kazanılmış su kullanılmaktadır. Eskiden çöp deponi sahası olarak kullanılmış olan kanyon, su odaklı eğlence aktiviteleri sağlamak için geri kazanılmış su kullanılarak restore edilmiştir. İnsan yapımı şelaleler içeren dört göl, balıkçılık, tekne ve su kayağı için kullanılmaktadır. Ancak yüzeme aktiviteleri sınırlandırılmıştır [1].

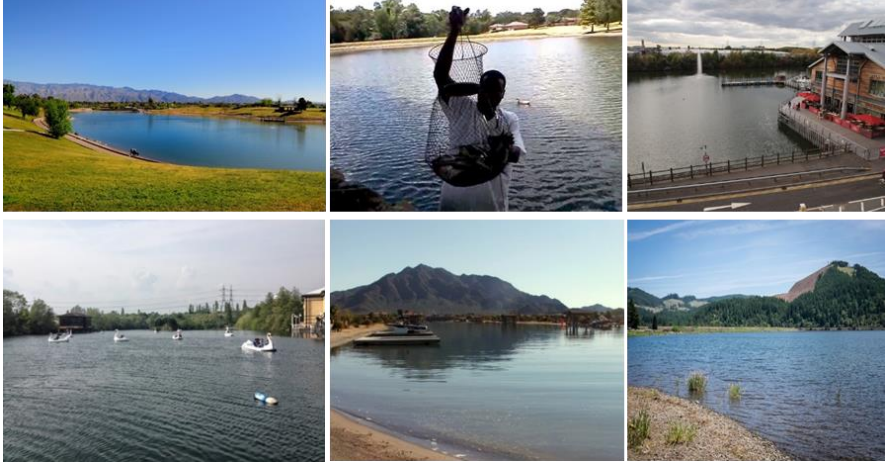


Şekil 5-37 Tekساس Yellowhouse Canyon Gölleri Parkı

5.3.3.2. Lakeside Lake (Tucson/Arizona)

Lakeside Lake Arizona, Tucson'da 14 dönümlük bir kentsel su tutma merkezidir. Göl, balıkçılık, tekne gezintisi ve diğer eğlence olanakları sağlamak için 1970'lerde Atterbury Wash'de inşa edilmiştir. Göl, toprak/çimento katmanları ile kaplıdır ve çevrenin çevresindeki kıydan 2 metre uzayan bir beton yapıya sahiptir. Bu yapı, doğudan batıya doğru gölü geçerek kuzey ve güney körfezini oluşturmaktadır. Gölde mevsimsel olarak çeşitli balık türlerine ev sahipliği yapmaktadır. Göl, başlangıçta yeraltı suyu ve yüzey akışı ile beslenmişti ancak 1990 yılında Roger Road Arıtma Tesisi'nden (170 m³/gün kadar) geri kazanılmış su almaya başladı. Çözünmüş oksijen konsantrasyonlarını

iyileştirmek için 1992 yılında göl tabanında mekanik bir difüzör kurulmuştur [1].



Şekil 5-38 Arizona, Tucson, Lakeside Lake

5.3.3.3. Santee Lakes Rekreatyon Parkı (San Diego/Kaliforniya)

Rekreatyon amaçlı barajlar için su kullanımının bir örneği, San Diego’da bulunan Santee Lakes Recreation Preserve (Park) tır. Yaklaşık 33 hektar alana kurulu park yedi gölleri ve Sycamore Kanyonu’nu içermektedir. 1960’ların başlarında, bölge su kullanım konseptini göstermek için gölleri rekreatyonel kullanıma dönüştürdü. Amacı ayrıca, rekreatyon, tarım, sulama ve endüstriyel uygulamalar için geri kazanılmış suyun kamu tarafından kabul edilmesini sağlamaktır [1].



Şekil 5-39 San Diego, Santee Lakes Rekreasyon Parkı

5.3.4.Sel/baskın kontrolü ve hidrolojik dengenin korunması

Dünyanın birçok bölgesinde sel ve taşkınlar her yıl önemli can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. ABD’de sel ve taşkınlar her yaklaşık 2 milyar dolarlık bir maliyete sahip olmaktadır. Sulak alanlar en önemli faydalarından biri sel sularını depolama ve

absorbe etme yetenekleridir. Bir havzanın %15'inde bulunan sulak alanlar sel ve taşkınların %60'ının önlenmesinde etkili olabilmektedir. Bunun yanı sıra, kıyı sulak alanları kasırgalar veya tropik fırtınalar kıyıya geldiğinde fırtına dalgalanma koruyucuları olarak hizmet eder. New Orleans'ta bu amaçla kullanılan sulak alanlar kullanılmış sular ile restore edilmiştir. Bu projede diğer bir amaç ise kullanılmış suların sulak alanlarda ilave arıtımını gerçekleştirmek ve su kalitesini iyileştirmek olmuştur [1].



Şekil 5-40 Sel/bakın kontrolü ve hidrolik dengenin korunmasına yönelik uygulamalar (New Orleans/USA)

5.3.5. Rekreasyon ve eğitimsel amaçlar

Orlando Sulak Alan Parkı gibi sulak alanlar yürüyüş, balık tutma, kuş gözlemciliği, fotoğrafçılık gibi aktiviteler için bir olanak sağlarken diğer taraftan bölgeye estetik bir görünüş sağlamaktadır. Bunların dışında sulak alan eğitim fırsatlarına da bir dış mekan sınıfı olarak katkı sağlamaktadır [1].



Şekil 5-41 Geri kazanılmış sularla restore edilmiş sulak alanların eğitimsel amaçlar için kullanımı

5.3.6. Kar yapımı

Büyüme mevsimi boyunca pik sulama taleplerinin karşılanmasına yardımcı olmak için geri kazanılmış bir su dağıtım sisteminin kurulmasının faydaları, sıcaklık ve iklim koşullarının sistemi sulama için işe yaramaz hale getirdiği kış aylarında geri kazanılan suyun yönetilmesi ile ilgili maliyetler dikkatle tartılmalıdır. Müşterilerden tutarlı bir akış gerektiren (örneğin, endüstriyel veya soğutma sistemi müşterileri gibi) su talepleri, kış aylarında geri kazanılan su müşteri tabanının bir parçası olarak güvence altına alınamazsa, kış aylarında geri kazanılan suyun yönetilmesi için bir seçenek kar yapmak olabilir.

Kar yapımı zaman zaman kentsel yeniden kullanım olarak düzenlenirken, bazı devletler eğlence amaçlı olarak kullanılan su sporlarında rekreasyon amaçlı kullanılan suya ihtiyaç duydukları için su teminini rekreasyon amaçlı olarak düşünürler. Özellikle su kıtlığı olan bölgelerde kayak ve kayak alanlarının rekreasyon sezonunun uzatılması ve engellenmesi amacıyla sudan kar elde edilmesi daha popüler hale gelmektedir. Ancak, kış aylarında suyun geri kazanılmasının zorluğu göz önüne alındığında, kaynakların kar üretimi için su kaynağı olarak değerlendirilmemesi zordur. Bu özellikle, sıcaklıkların kar şeklinde su tutmaya yetecek kadar düşük olduğu alanlarda geçerlidir, ancak doğal çökeltiiler başka bir şekilde daha uzun bir rekreasyon mevsimini desteklemeyecektir. Çoğu yerde, kar yapımı için geri kazanılan suyun kullanılması, kış-zamanı imha seçeneği olarak ya da yeniden kullanım seçeneği olarak düzenlenir ya da yönetilir, ancak her ikisi de nadiren yapılır. ABD, Kanada ve Avusturalya'da yapay kar yapımında geri kazanılan kullanılmış sular kullanılmaktadır. Kaliforniya'da bir kayak merkezinde yapay kar yapımında geri kazanılmış sular kullanılmaktadır [1].



Şekil 5-42 Kaliforniya, Arizona, Colorado ve Maine’de kayak tesislerinde yapay kar yapımı

5.3.7. Balıkçılık ve yaban hayatının korunması

Yapay sulak alanlar memelilerin, bitkilerin, böceklerin, amfibilerin, sürüngenlerin, kuşların ve balıkların çeşitli türleri için bir beslenme ve yaşam alanı oluşturmaktadır. Sulak alanlar, dünyadaki en biyolojik olarak verimli doğal ekosistemlerden bazıları olup, destekledikleri türlerin sayısı ve çeşitliliği bakımından tropikal yağmur ormanları veya mercan resifleriyle karşılaştırılabilir. Sulak alanlar göçmen su kuşları için de bir dinlenme, beslenme ve üreme alanı oluşturmaktadır. Sulak alanlar çoğu bölgede balıkçılık sektörü içinde önemli bir kaynak oluşturmaktadır. ABD’de balık ve diğer su canlılarının ticaretinde sulak alanlar önemli paylara sahiptir. Bu nedenle sulak alanların korunması nedeniyle kullanılmış sularla beslenmesi sağlanabilir. Bu sayede sulak alanlardaki yaban hayatı ve balıkçılık gibi aktivitelerin sürdürülebilirliği sağlanabilmektedir. Bu kapsamda dünya geneleninde çeşitli uygulamalar bulunmaktadır.

5.3.7.1. Arizona Sierra Vista EOP (Arizona/ABD)

ABD’de yaklaşık 640 dönüm (260 hektar) alana yayılan Arizona Sierra Vista EOP bölgesi doğal mera alanları, yaban hayatı gözlem alanları ve yapay sulak alanlardan oluşmaktadır. Bölgede kullanılmış sularla sulak alan beslenmektedir. Dolayısıyla yaban hayatının sürdürülebilirliğine katkı sağlanmaktadır. Bununla birlikte kullanılmış suların ilave arıtımı da bu yapay sulak alanlarda gerçekleştirilmektedir [1].



Şekil 5-43 Arizona Sierra Vista Sulak Alanı

5.4. Endüstriyel Geri Kullanım Alanları

Genel olarak kağıt ve tekstil endüstrisi gibi çok su kullanan endüstriler ile soğutma suyu ihtiyacı olan endüstriler arıtılmış suların endüstriyel amaçlarla kullanılmasında birincil hedef endüstrilerdir. Genel olarak EPA tarafından 2004 yılında 'Su Geri Kazanım Kılavuzu'nun yayınlanmasından sonra, arıtılmış kullanılmış suların elektronikten gıda endüstrisine ve hatta enerji üretim tesislerine kadar farklı amaçlarla kullanımında önemli artışlar gözlenmiştir. Endüstriler geri kazanılmış suyu tesislerinde proses suyu, kazan besleme suyu, soğutma suyu, tuvalet yıkama ve sulama gibi farklı amaçlar için kullanmaktadır. İlave olarak LEED sertifikasyonu almak isteyen endüstriler ve ticari firmalar arıtılmış kullanılmış suyu kullanarak 'Yeşil Profil'lerini yükseltmeyi hedeflemektedirler.

Arıtılmış kullanılmış sular ilk olarak kağıt endüstrisi sektöründe geri kullanılmaya başlamış olup, genellikle üretilen kullanılmış sular hemen yerinde arıtılarak geri kazanılmaktaydı. Fakat bugün özellikle kurak bölgelerde arıtılmış kullanılmış sular ihtiyaç duyulan bölgelere taşınmaktadır. Örnek olarak Arizona, Kaliforniya ve Teksas gibi kurak bölgelerde artan su stresi nedeniyle, belediyeler sulama, endüstriyel kullanım ve enerji tesislerinde kullanılmaya uygun su üretmeye başlamışlardır.

5.4.1. Soğutma suyu olarak geri kullanım

Soğutma kuleleri proseslerdeki fazla ısıyı emilerek buharlaştırma yoluyla ısının transfer edilmesini ve uzaklaştırılmasını sağlayan soğutma sistemleridir (EC IPPC, 2001a). Buharlaştırmalı soğutma sistemlerinde soğutma suyunun bir kısmı buharlaşarak kaybedilmektedir. Bu nedenle buharlaşan su miktarı kadar geri kazanılmış sulardan takviye yapılabilmektedir. Soğutma sistemlerinde su içerisinde bulunan çözünmüş katıların sistem içerisinde birikimini engellemek amacıyla soğutma suları

periyodik olarak sistemden uzaklaştırılmakta ve yenilenmektedir [119].

Soğutma kuleleri ve sprey havuzları olmak üzere toplam iki tip buharlaştırmalı soğutma sistemi bulunmaktadır [1]. Sprey havuzlu sistemler yaygın bir kullanım alanına sahip olmamakla birlikte bu sistemlerde genellikle geri kazanılmış sular kullanılmamaktadır. Son yıllarda soğutma kulesi sistemleri oldukça verimli (%1,5-1,75 resirkülasyon suyunun buharlaşmasıyla proses sıcaklığında yaklaşık 6 °C azalma sağlanabilmekte) hale gelmiştir [1]. Bu sayede soğutma takviye suyu ihtiyaçları da oldukça azalmıştır. Buharlaştırmalı soğutma sistemlerinde buharlaşma sırasında su içerisinde bulunan çözünmüş katılar ve mineraller ekipmanlar üzerinde birikebilmektedir. Bu nedenle soğutma sularının arıtılması gerekli olabilmektedir. Bu çözünmüş katıların giderimi için soğutma suyunun bir bölümünün boşaltılması (blöf suyu) ve genellikle kimyasal, filtrasyon, yumuşatma ve çöktürme/durultma prosesleriyle arıtılması gerekli olabilmektedir [120].

Proseslerdeki kaçaklar, sızıntılar, atmosferik çökeltme veya işletme kimyasalları nedeniyle soğutma suları kirlenebilmekte ve su kalitesini etkileyebilmektedir [1]. Arıtılmış sularda arıtma sonrasında mikroorganizmaların çoğu giderilmiş olsa da içerisinde besi maddelerinin var olması durumunda soğutma kulelerinde istenmeyen biyolojik büyümenin görülme riski söz konusu olabilmektedir [1]. Biyolojik büyüme ısı transferi, korozyon ve biyofilm oluşumuna neden olabilmektedir [119]. Biyofilm oluşumu söz konusu olduğunda ısı eşanjörleri ve püskürtücüler gibi ana ekipmanlar/elemanlar üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir [1]. Ayrıca soğutma kulelerinde kireçlenme oldukça önemli bir problem olabilmektedir. Bu nedenle geri kazanılmış sularda kalsiyum, magnezyum, sülfat, alkalinite, fosfat, silika ve florür konsantrasyonlarının mümkün

olduğunca azaltılması gerekli olabilmektedir [1]. Konsantre soğutma sularında kireç oluşturan mineraller arasında genellikle kalsiyum fosfat (en yaygın), silis (oldukça yaygın) ve kalsiyum sülfat (oldukça yaygın) bulunur. Daha az bulunan diğer mineraller ise kalsiyum karbonat, kalsiyum florür ve magnezyum silikattır. Kireç ve tortu oluşumuna neden olabilecek bileşenlerin kimyasal arıtma ve/veya resirkülasyon döngüsünün ayarlanması ile değerlendirilmeli ve kontrol edilmelidir [1].

5.4.1.1. Western Corridor Su Geri Kazanım Projesi (Brisbane, Avustralya)

Avustralya genelinde ciddi bir su sıkıntısının yaşanması eyalet hükümetlerinin bölgelerinde su kaynaklarını temin etmek için yeni stratejiler geliştirmelerini sağlamıştır. Queensland büyük bir şehir olan Brisbane'i de içeren Avustralya'nın doğu yakasında bulunan bir eyalettir. Eyalet hükümeti ve bölgesel yetkililer, bölgedeki artan su sıkıntısı nedeniyle çeşitli programlar uygulamaktadırlar. Queensland'daki mevcut su sıkıntısının arkasında iki neden vardır: (1) devam eden kuraklık ve (2) bölge nüfusundaki dramatik artış. Brisbane ve çevresi için içme suyunun yaklaşık %70'i Mt. Crosby Su Arıtma Tesisi'nden elde edilmektedir. Mt. Crosby Su Arıtma Tesisi'nin su alım yeri Brisbane nehridir ve nehir Wivenhoe Barajı'ndan çıkan su ile beslenmektedir. Wivenhoe Barajı, tüm zamanların en düşük seviyesi olan %15'e kadar düşmüştür. Havzadaki son yağış, su seviyesinde yaklaşık %25'lik bir artışa neden olmuş ancak bu artış bile geçmişteki su seviyelerinin üstüne çıkılmasını başaramamıştır.

Queensland'in en önemli projelerinden biri olan Western Corridor Su Geri Kazanım Projesi'nin (WCRWP) temel amacı endüstri kullanıcılarının temiz su taleplerinin azaltılmasıdır. Bu amaçla, projede kentsel kullanılmış sulardan geri kazanılmış suların yeniden kullanımının sağlanması ve kaynak suyunun beslenmesi amaçlanmıştır. Proje kapsamında geri kazanılan

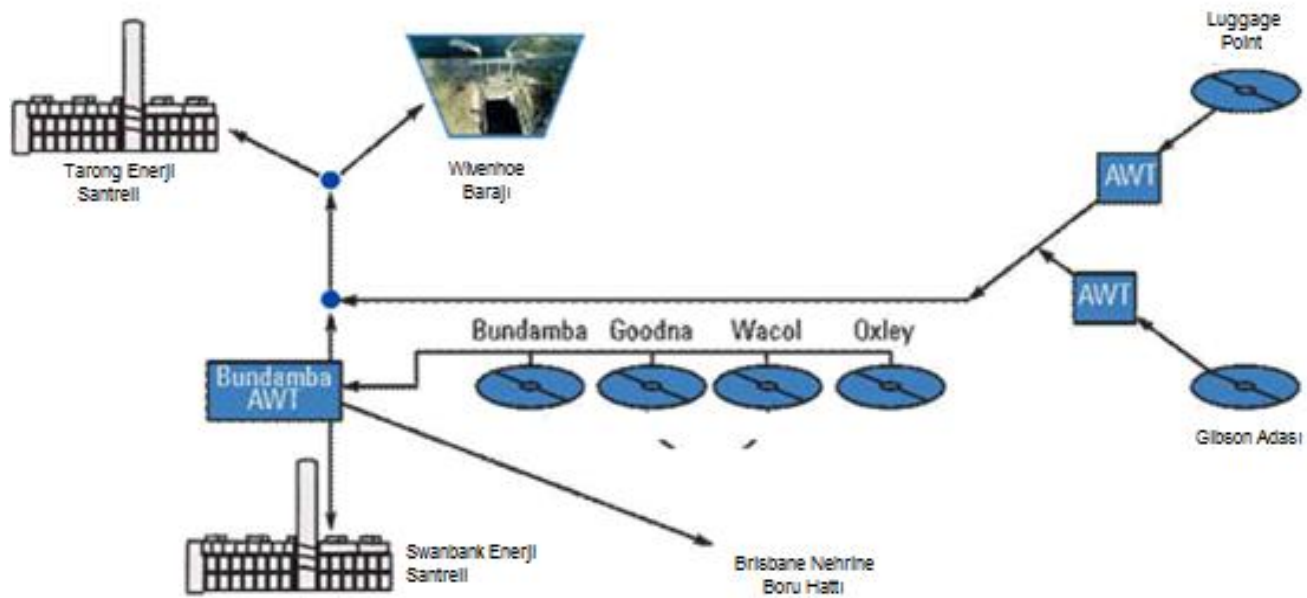
suyun bölgedeki iki enerji santralinde soğutma suyu olarak kullanılması hedeflenmiştir. Böylece soğutma suyu olarak içilebilir temiz suların kullanımı sınırlandırılmış olacaktır. Bu proje kapsamında ayrıca rezervuarın yeniden beslenmesi ve sulama için geri kazanılmış suların kullanımı hedeflenmiştir.

WCRWP, güney yarımküredeki en büyük ve dünyadaki üçüncü en büyük su geri kazanım projesidir. Proje kapsamında 3 yeni ileri su arıtma tesisi (AWTP) kurulmuştur. Bu tesisler için ayrıntılı bilgi Tablo 5-6'da verilmektedir. Bunların dışında proje kapsamında altı kullanılmış su arıtma tesisinden gelen sular geri kazanılmıştır. İleri arıtma tesisi sonunda temiz çıkış suyu 200 km uzunluğunda boru ağıyla kullanıcılara dağıtılmaktadır (Şekil 5-44).

Projenin başlangıç safhası olan Bundamba-A, Ağustos 2007'de işletmeye alınmıştır. Bu tesis, 10 aylık bir periyotta tasarlanmış, inşa edilmiş ve faaliyete geçmiştir. Projenin ikinci aşamasında ise Bundamba-B 2008'in ortalarında işletmeye alınmıştır.

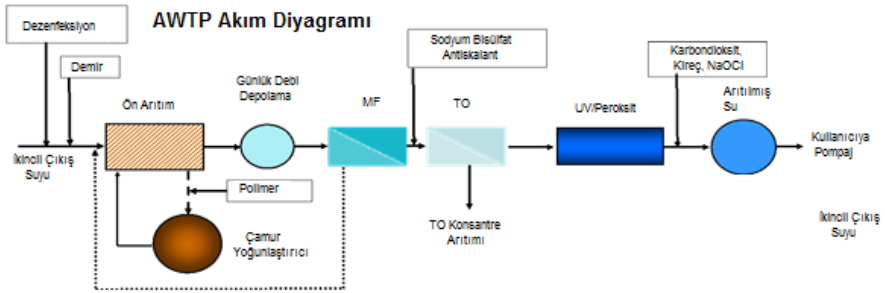
Tablo 5-6 Proje kapsamında inşa edilen arıtma tesisleri için ayrıntılı bilgiler

AWTP		Bundamba Aşama 1A	Bundamba Final	Gibson Island Aşama 1A	Gibson Island Aşama 1A	Luggage Point
Kapasite (MGD)	ML/d	20 (5.3)	60 (16)	50 (13.2)	100 (26.4)	70 (18.5)
Proje Başlangıcı		Eylül 2006	Kasım 2006	Kasım 2006	Ocak 2008	Kasım 2006
Tesis Tarihi	Çalışma	Ağustos 2007	Temmuz 2008	Aralık 2008	2009 Başı	Aralık 2008
TO Membran		Koch Membran Sistemleri		Ge Water		Doosan Hydro
MF-UF Ön arıtım		Simens Memcor		Simens Memcor		Pall
İş Ortağı		Black&Veatch, Theiss		MWH, Burns&Roe Worley, United Group, Boulderstone		CH2M Hill LaingO'Rouke
Çalışma Ekibi		Veolia Su, Seperations Process Inc (SPI)				



Şekil 5-44 Proses şeması [121]

Bundamba AWTP, dört kullanılmış su arıtma tesisinden (Bundamba WWTP, Goodna WWTP, Wacol WWTP ve Oxley WWTP) (Şekil 5-45) gelen ikincil arıtma çıkış sularını arıtacaktır. Her bir arıtma tesisi farklı konfigürasyonlara sahip olup çıkış suyu kalitesi de değişkenlik göstermektedir. Bu dört tesisten çıkan sular birleşerek Bundamba AWTP'ne gelmektedir. Bundamba-A için tanımlanan akım diyagramı Şekil 5-45'te verilmiştir.



Şekil 5-45 Bundamba proses akım şeması

Bu projede ayrıca RO konsantrelerinin arıtılması da hedeflenmiştir. Arıtılmış RO konsantresi Brisbane Nehri'ne deşarj edilecek olup Brisbane Nehri deşarj boru hattı devreye girene kadar Bremer Nehri'ne deşarj edilmesi kararlaştırılmıştır.

RO konsantre arıtım sistemi, mevcut dört atıksu arıtma tesisinden gelen ve Brisbane Nehri'ne deşarj edilen azot ve fosfor miktarını azaltmak için geliştirilmiştir. Bu işlem için makul ve uygun maliyetli arıtma teknolojileri kullanılmıştır. RO konsantresinden besin maddelerini gidermek için geliştirilen ve tasarlanan arıtma stratejisi çeşitli prosesleri içermektedir. Bir dengeleme tankı, fosfor giderimi için kimyasal/fiziksel arıtım öncesi TOC'nin dengelenmesini sağlayacaktır. Deklorinasyon için bisülfid, alkalinite ve pH kontrolü için kostik ve son olarak fosforun koagülasyon ve kimyasal çöktürülmesi için ferrik klorür ve polimer eklenir. Denitrifikasyon filtreleri ile nitrat giderimi sağlanacaktır. Burada karbon kaynağı olarak metanol

kullanılmaktadır. Ayrıca TOC için hareketli yataklı biyoreaktörler (MBBR), dalgıç havalandırmalı filtreler (SAF), zeolit adsorpsiyonu ve kırılma noktası klorlaması da dahil olmak üzere amonyak giderimi için bir dizi arıtım teknolojisi düşünülmüştür. MBBR ve SAF teknolojileri, nitrifikasyonun gerçekleşebildiği kanıtlanmış biyolojik proseslerdendir. Herhangi bir biyolojik proseste olduğu gibi bu teknolojiler de oldukça hassastır. Doğal zeolitler Avustralya'da kolayca çıkarıldığından, zeolit adsorpsiyonu bu uygulama için bir seçenek olarak düşünülmüştür. Ancak zeolit adsorpsiyonu ile ilgili bir dizi soru işareti vardır. Bunlar; yüksek tuzluluğun zeolit adsorpsiyon kapasitesi üzerine etkileri, rejenerasyon gereksinimleri ve atık zeolitın gübre olarak kullanılmasına yönelik potansiyel pazar üzerindeki etkileridir.

Bundamba AWTP'nin 1A fazından çıkan su, 27 Ağustos 2007'de Swanbank Enerji Santraline verilmiştir. Şu anda Bundamba AWTP'den deşarj edilen suyun tamamı Swanbank Enerji Santrali tarafından kullanılmaktadır. Wivenhoe Barajı için boru hattının şu anda mevcut olmaması aynı zamanda bir sınırlayıcı etkindir. Daha önce belirtildiği gibi, ters osmoz konsantreleri Bremer Nehri'ne deşarj edilmektedir, çünkü Brisbane Nehri boru hattı tamamlanmamıştır. Bundamba AWTP ürün suyu ve ters osmoz için hedef değerleri ve performans değerlerinin özeti Tablo 5-7'de verilmiştir.

Tablo 5-7 Bundamba AWTP Su Kalitesi, Eylül 2007 - Şubat 2008

Parametre	Ürün Suyu		Ters Osmoz Konsantre	
	Hedef Değer	Performans	Hedef Değer	Performans
Toplam Azot, mg/L (%50 persentil)	0,81	0,46	30	23
Amonyak, mg/L (Günlük maksimum)	-	0,09	0,9	0,97 ¹

Parametre	Ürün Suyu		Ters Osmoz Konsantre	
	Hedef Değer	Performans	Hedef Değer	Performans
Nitrat, mg/L (%50 persentil)	-	0,21	-	12,7 ¹
Total Fosfor, mg/L (%50 persentil)	0,13	0,02	21	9,4
AKM, mg/L (%50 persentil)	-	-	20	0
BOİ, mg/L (%50 persentil)	-	-	10	8
Nanokirletici, ng/L			-	-
NDMA	10	<5 ²		
Estron (E1)	3	<5 ²		
17-BetaEstradiol(E2)	1	<5 ²		
Nonilfenol (NP)	7	<13,5 ³		

Brisbane/Avustralya'da öngörülen su sıkıntısı, önümüzdeki 16 ay içinde mevcut su kaynaklarının tükeneceğini göstermektedir. Western Corridor Su Geri Kazanım Projesi Queensland Eyalet Hükümeti tarafından Brisbane Şehri'ndeki su ihtiyacını karşılamak için atılan ilerici ve yenilikçi bir adımdır. Proje, kullanılmış su arıtma tesislerinden temin edilebilen sudan yararlanmak ve içme suyu arzında su taleplerini dengelemek için bütüncül bir yaklaşım benimsemektedir. Uzun vadeli hedefler, arıtılmış suyun Wivenhoe Barajı'na verilmesiyle kaynak suyunun yenilenmesi için olanakları içermektedir.

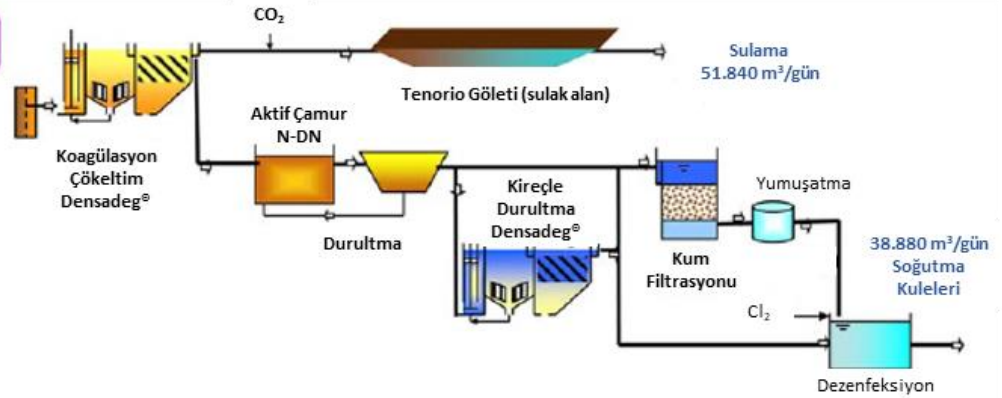
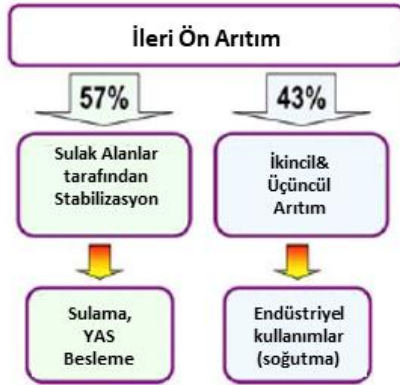
5.4.1.2. Villa de Reyes Enerji Santrali Projesi (San Luis Potosi, Meksika)

San Luis metropoliten bölgesinde yaklaşık 1,3 milyon insan yaşamaktadır. Yarı-kurak bir bölgedir. 2005 yılına kadar bölgede üretilen 86.400 m³/gün ham kullanılmış su 200 hektarlık bir alana yayılı bir Tenorio göletine (Şekil 5-46) bırakılmaktaydı.

Yapay sulak alan olarak konumlandırılan göletten alınan su tarımsal sulamada hiçbir ilave arıtım yapılmadan kullanılmakta idi. Bölgedeki su kısıtı nedeni ile bu kaynağın sularının paylaşılması adına tartışmalar mevcuttu. Buradan elde edilen düşük kaliteli suyun sulamada kullanılması nedeni ile 700 hektardan daha büyük bir tarımsal alan kullanılamaz hale gelmiştir. Aynı zamanda enterik hastalıklarda ciddi artış kaydedilmiştir. Doksanlı yıllarda bölgede endüstrileşme başlayarak mevcut akiferler üzerinde ciddi baskılar oluşmuştur. 2000 yılında akiferlerden çekilen suyun 43 milyon m³'ü aşması ile akiferlerin doğal yeniden besleme değerinin %50 üzerinde bir çekim yapılmıştır. Ayrıca, bölgedeki endüstriler arasında su çekimi anlaşmazlıkları yaşanmaya başlamıştır. Bu durum üzerine San Luis Potosi yerel yönetimi su geri kazanımı için entegre bir planı devreye almıştır. Bu kapsamda yedi adet AAT yapılmış olup bir adet AAT'de inşa halindedir. Şekil 5-47'de bu tesislerin en büyüğü olan Tenorio AAT'nin akım şeması görülmektedir.



Şekil 5-46 Tenorio Göleti ve yeni yapılan AAT [122]



Şekil 5-47 Tenorio AAT akım şeması [122]

Günümüzde bölgenin kullanılmış sularının %70'i arıtmakta olup, arıtılmış suların tamamı zirai sulama ve endüstriyel alanlarda geri kullanılmaktadır.

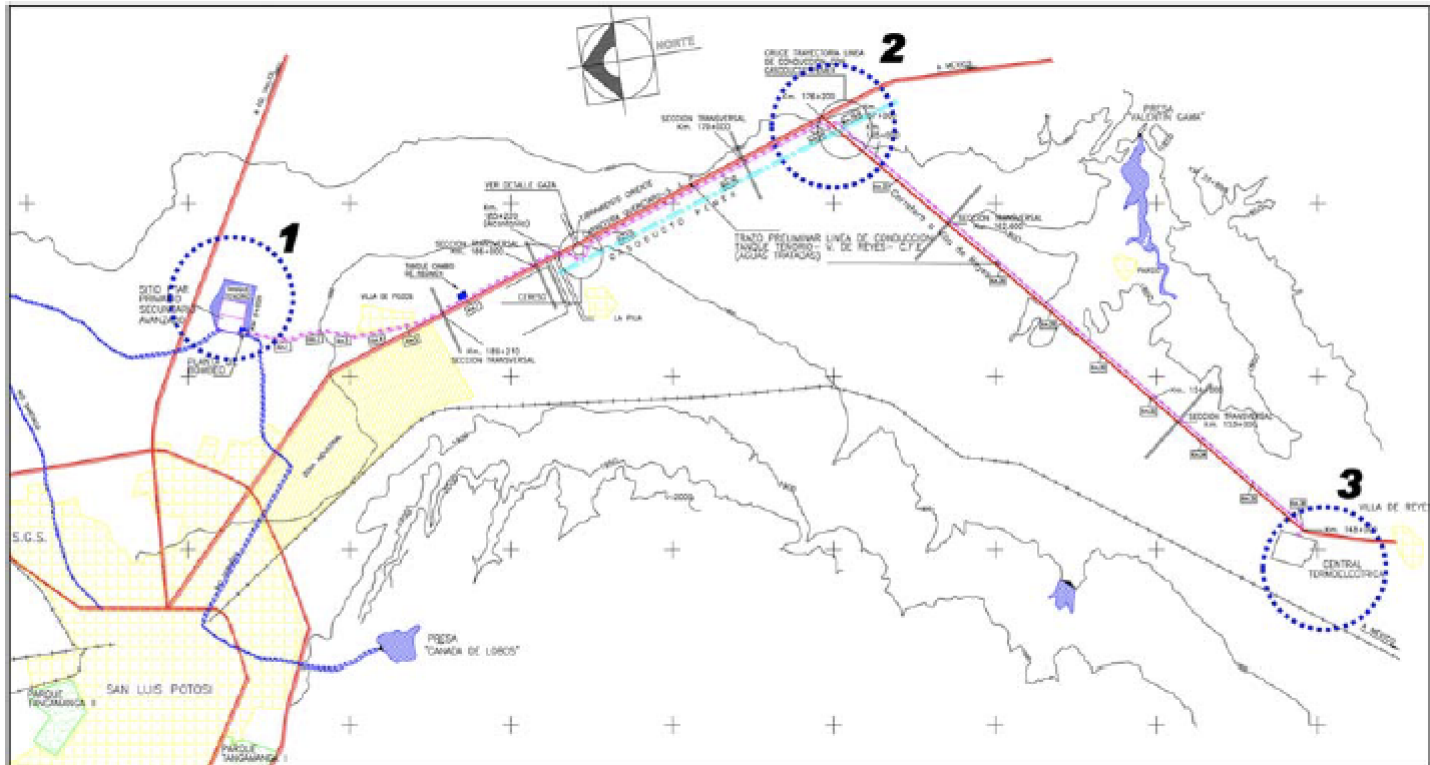
Tenorio AAT'de üretilen arıtılmış sular bir ara depolama tankından sonra enerji santraline gönderilmektedir (Şekil 5-48). Ham atıksu kalitesi mevsimsel bazda değişkenlikler gösterse de birincil arıtımın kapsamlı olması ve Tenorio göletinde bekletme neticesinde iyi bir dezenfeksiyon verimliliğine (ortalama fekal koliform: 160 FC/100 ml) ulaşılması sayesinde çıkış sularında herhangi bir dezavantaj yaşanmamaktadır.

Enerji santraline gönderilen suda yaşanan en büyük problem iletkenliktir. Sözleşmeye göre santrale gönderilecek sudaki iletkenlik değerinin 800 $\mu\text{S}/\text{cm}'\text{yi}$ aşmaması istenmektedir. Ancak işletmede bu değer %5-10 arasında aşılmaktadır. Bu nedenle enerji santrali ile karşılıklı sözleşme şartları yenilenerek iletkenlik değeri düşürülmüş silika konsantrasyonu ise 85 ppm'den 65 ppm'e düşürülmüştür.

Bunun yanında enerji santrali sözleşmede yaklaşık 39.000 m³/gün su alacağını beyan ederken işletme başladığında bu değer 22.000 m³/gün seviyesinde olmuştur. Artan su için bir takım düzenlemeler yapılmıştır.

Ayrıca 39 km'lik ilettim hattında ve 4000 m³'lük ara depolama tankındaki bakteriyel büyüme ve bakiye klor konsantrasyonları hususları zorlayıcı olmuştur. Enerji santralinin su talebinde önemli varyasyonlar olması nedeni ile iletim hattı ve depolamadaki bekletme süresi 13-60 saat arasında değişmektedir. Bu yüzden bir biyosit uygulaması da yapılmıştır.

Bunlara ek olarak enerji santralinin istediği suyun kalitesinin sabit olması adına silika, sertlik, fosfor, iletkenlik ve bakiye klor değerleri online izlenmiştir.



Şekil 5-48 Tenorio AAT- Enerji Santrali iletim hattı [122]

Villa de Reyes projesinin ilk yatırım maliyeti 67,4 milyon USD'dir. Bu maliyet konsorsiyum şeklinde bir yapı sayesinde karşılanmıştır. Santrale sağlanan suyun bedeli akiferlerden çekilen su bedelinin %67'si (0,76 USD/m³) olarak belirlenmiştir. Bu değer enerji santraline toplam işletme maliyetlerinde %33'lük bir azalma sağlamıştır. Sağlanan ekonomik faydanın yanında çevre insan sağlığı adına büyük kazanımlar elde edilmiştir [122].

5.4.2. Kazan besleme suyu olarak geri kullanım

Kazan takviye suyu proses suyundan ve içme suyu kalitesinden çok farklı karaktere sahip değildir, bu nedenle kazan takviye sularının ileri ön arıtımı gerekli olmaktadır [123]. Kazan takviye sularının su kalitesi gereksinimleri buhar kazanının çalışma basıncına bağlı olarak değişmektedir ve yüksek basınçlı kazanlarda daha kaliteli takviye suyuna ihtiyaç duyulabilmektedir [1].

Kazanlarda takviye suyu kalitesi açısından en önemli problemlerin başında korozyon ve kazantaş oluşumu gelmektedir. Bu nedenle kazan takviye suyu olarak kullanılacak sularda sertliğin kontrol edilmesi ve giderilmesi oldukça önemlidir [124]. Takviye sularında çözünmeyen kalsiyum ve magnezyum parametrelerinin kontrolünün yanı sıra silika ve alüminyum oksit kontrollerinin de yapılmasında fayda vardır. Bikarbonat, karbonat ve hidroksil içeriği ile belirlendiği üzere yeniden kazanılmış suyun alkaliliği önemlidir, çünkü kazan besleme suyundaki aşırı alkalinite konsantrasyonları, köpükletirmeye ve diğer aktarma şekillerine katkıda bulunabilir, bu da aşırı ısıtma, ısıtıcı ve türbinlerde birikintilere neden olabilmektedir [1]. Besleme suyundaki bikarbonat alkalinitesi, karbondioksiti serbest bırakmak için kazan sıcaklığının etkisi altında parçalanabilir ve ısıyla temas halinde olan ekipmanlar üzerinde önemli korozyon problemlerine neden olabilmektedir [1]. Ayrıca geri kazanılmış sudaki organik maddeler ayrıca karbon adsorpsiyonu veya iyon değişimi ile kontrol edilebilen kazanlarda

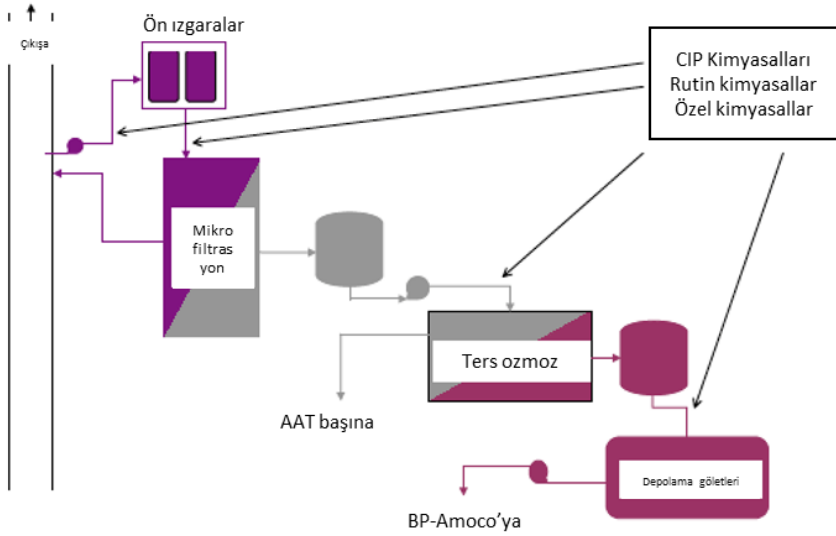
köpürmeye neden olabilir. Geri kazanılmış suların kazan besleme suyu olarak geri kullanımı söz konusu olduğu durumlarda, katyonik iyon değiştirici reçinelerde yumuşatmayı takiben ters osmoz (TO) ile ilave sertlik ve çözünmüş katı maddelerin giderimi yapılabilmektedir [125].

5.4.2.1. BP-Amoco Projesi (Brisbane, Avustralya)

Brisbane Su Şirketi'nin bünyesinde toplam deşarj debisi günlük 285.000 m³ olan 10 adet AAT bulunmaktadır. Şirket bünyesinde bulunan Luggage Point AAT'nin ürettiği 10.000 m³/gün debili arıtılmış su için BP-Amoco firması anlaşma yapılmıştır. Tesisten çıkan su MF-RO prosesi ile işlenerek kazan besleme suyu olarak BP-Amoco tesisinde (Şekil 5-49) kullanılmaktadır. Arıtılmış suyun iletkenlik değeri 60-120 µS, pH değeri 6,5-7,2, bulanıklığı <0,1 NTU ve serbest klor değeri 0,3-0,5 mg/l seviyesindedir [126]. Su üretimi akış şeması Şekil 5-50'de verilmiştir. Geri kazanım tesisi 20 milyon USD'ye mal olmuştur [122].



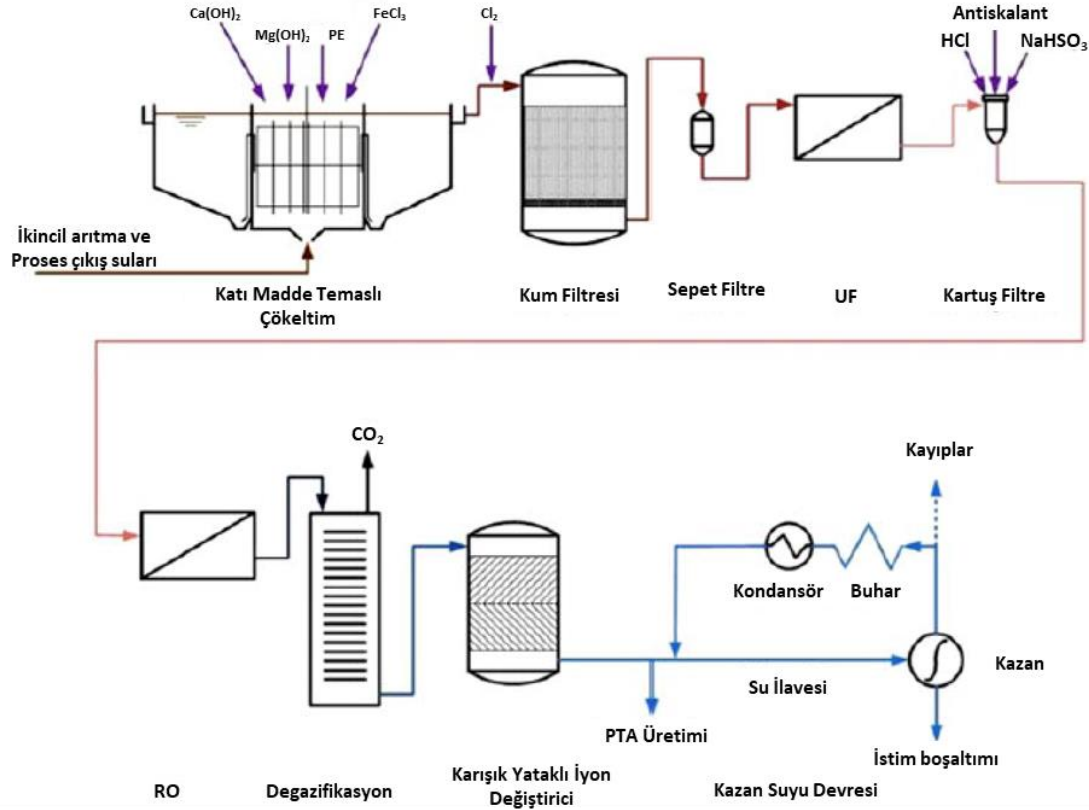
Şekil 5-49 BP-Amoco Brisbane Tesisi



Şekil 5-50 Brisbane Water Corp. BP-Amoco su üretim şeması

5.4.2.2. Panipat Rafinerisi Projesi (Haryana, Hindistan)

Ranipat petrol rafinerisi yıllık 12 milyon tonluk üretimi ile ülkedeki en büyük tesislerden biridir. Panipat bölgesinde su sıkıntısı mevcut değildir. Ancak ülkedeki çevre kurumlarının sıfır sıvı deşarjı (ZLD) baskısı nedeni ile arıtılmış suların geri kazanımı noktasında adım atmak zorunda kalmıştır. Tesis çevresindeki Yamuna Kanalı içme suyu ihtiyaçları ve sulama amaçlı kullanıldığından tesis kullanılmış suları deşarj edilememektedir. Tesisteki rafineri prosesleri, demineralizasyon ünitesinin rejenerasyon suları, soğutma sularının bir kısmı su geri kazanım ünitesinde (Şekil 5-51) işlenmektedir. Su geri kazanım tesisinde ilk olarak sertlik ve silika giderimi gerçekleştirilir. Ardından, kum filtresini takip eden UF prosesi sonrasında RO üniteleri konumlandırılmıştır (Şekil 5-52). RO çıkış suları degazifikasyon aşamasından geçerek iyon değiştirme ünitesine yönlendirilmektedir. Tüm bu ünitelerin sonrasında elde edilen su kazan besleme suyu olarak geri kullanılmaktadır. ZLD hedefini sağlamak için RO ünitesinin konsantresinin tamamı coke-quenching prosesinde geri kullanılmaktadır. Elde edilen suyun

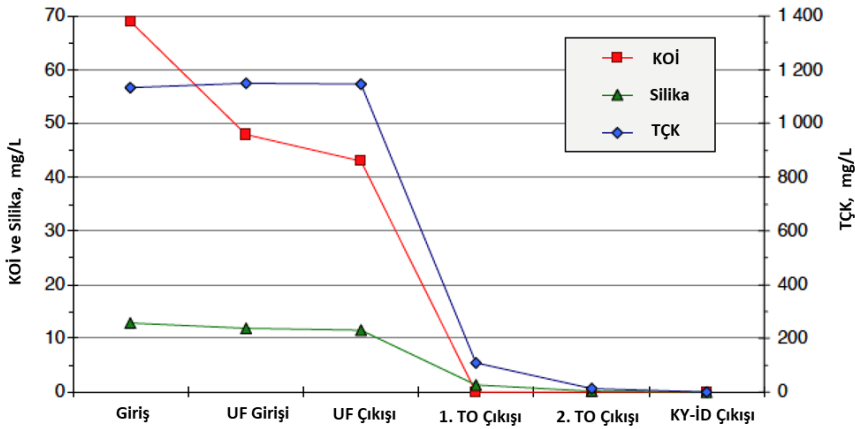


Şekil 5-51 Su geri kazanım tesisi proses diyagramı [122]

kalitesinin su geri kazanımı tesisi aşamalarından geçişi esnasındaki değişimleri Şekil 5-53'te gösterilmiştir. Tesisin işletme maliyeti 0,33 Euro/m³ seviyesindedir [122].



Şekil 5-52 Panipat rafinerisi RO üniteleri [122]

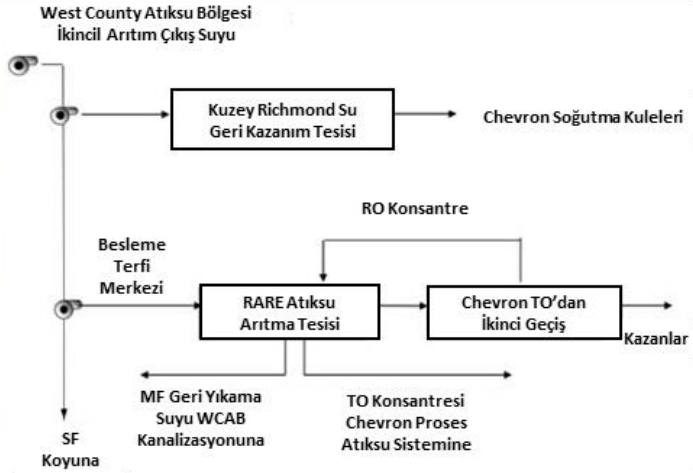
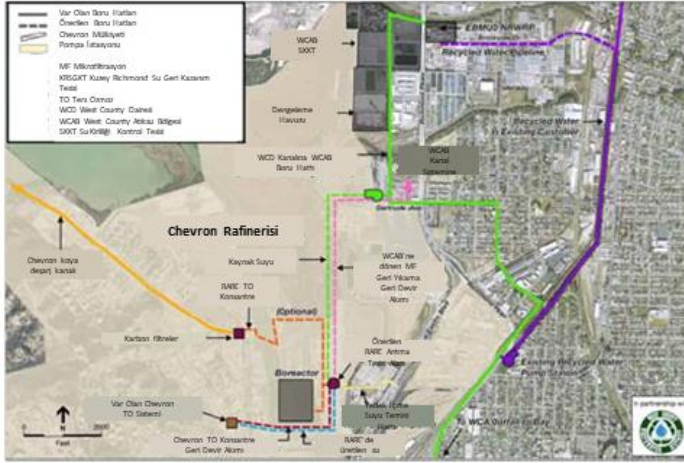


Şekil 5-53 Su geri kazanım tesisi kademelerinde su kalitesinin değişimi [122]

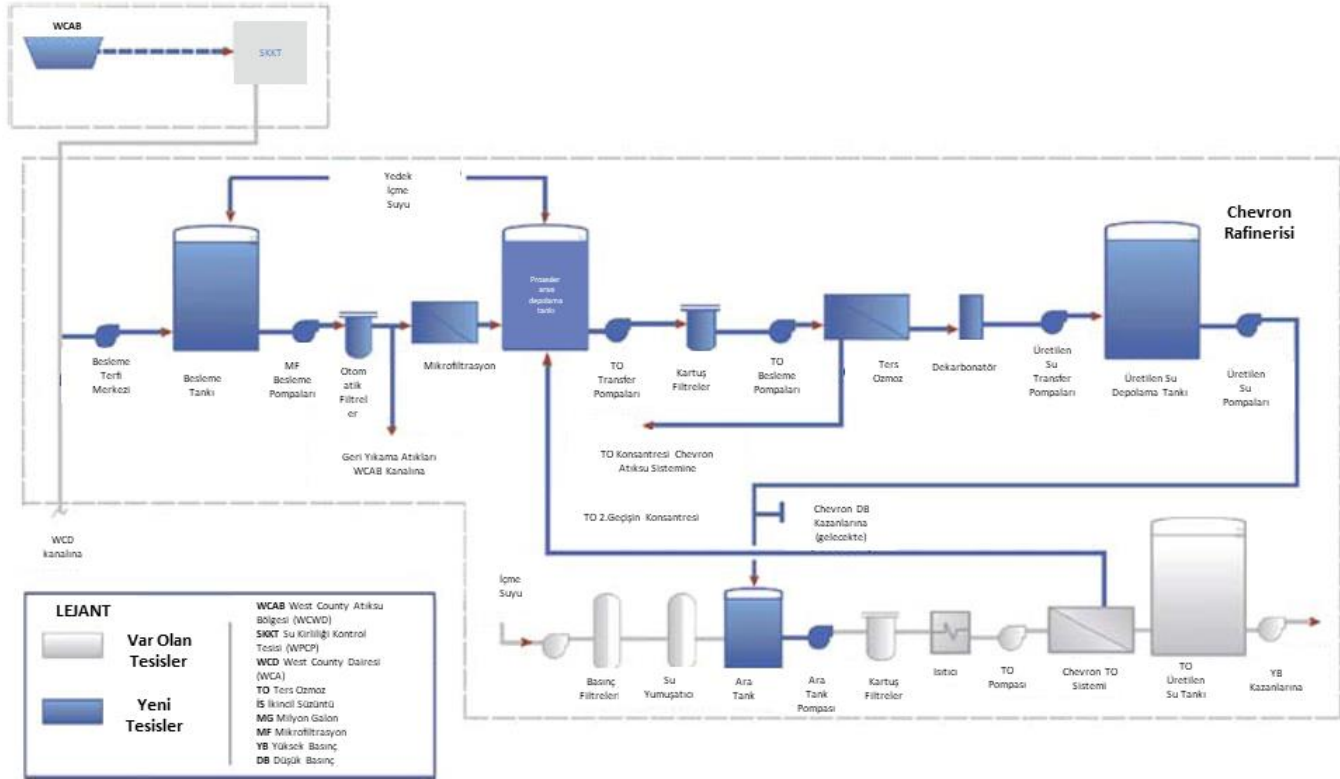
5.4.2.3. RARE projesi (San Francisco, ABD)

San Francisco Su İdaresi geri kazanılmış su kapasitesinin artırılması için Richmond Advanced Recycled Expansion (RARE) projesini (Şekil 5-54) devreye almıştır. Projenin toplam kapasitesi 13.250 m³/gün'dür. Yürütülen proje alanı 842 km² alanı kapsamakta olup içinde 640.000 insan yaşamaktadır. Proje öncesi 1971'den beri yürütülen geri kazanım programının toplam

kapasitesi 21.000 m³/gün'dür. Projenin nihai hedefi toplam kapasiteyi 2040 yılında 76.000 m³/gün'dür. Su idaresinin en büyük müşterisi Chevron Rafinerisi'dir. Rafineri günde 240.000 varil ham petrol işlemektedir. RARE projesi öncesinde soğutma kulelerinde kullanılmak üzere rafineriye 16.000 m³/gün su sağlanmaktaydı. Proje fizibilite çalışmaları esnasında Chevron rafinerisinin kazan besleme sularında kullanılmak üzere yüksek kaliteli yüksek miktarda suya ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir. Chevron rafinerisinde düşük (<450 psi) ve yüksek basınçlı (>450 psi) kazanlar kullanılmaktadır. Özellikle yüksek basınçlı kazanların su kalitesine olan duyarlılığı üst seviyededir. Sertlik, silika, TÇK ve AKM konsantrasyonları kritik önemdedir. Yüksek kalitede suyu sağlamak adına geri kazanım tesisinde MF-RO prosesi tercih edilmiştir (Şekil 5-55). RO sistem geri kazanım değeri %85 seviyesindedir (Şekil 5-56).



Şekil 5-54 RARE proje alanı ve iletim hattı [122]



Şekil 5-55 RARE proses şematiği



Şekil 5-56 RARE projesindeki MF ve RO üniteleri

RARE projesinin su ihtiyacının yıl boyu sağlanabilmesi adına bir içme suyu kaynağı da yedek olarak belirlenmiştir. Bunun yanında projenin ilk aşamasında 2300 m³ olarak belirlenen dengeleme tankı 3800 m³ olarak inşa edilmiştir (Şekil 5-57). Chevron rafinerisi 7/24 çalıştığı için yıl boyu sürekli olarak güvenilir ve kalitesi sabit şekilde su temini gerekmektedir. Sistemde kullanılan RO prosesinin konsantre akımları Chevron firmasının kullanılmış proses suları ile karıştırılarak bertaraf edilmektedir.

Tesiste yaşanan ilk işletim problemi RO öncesi kartuş filtrelerin tıkanmasıdır. Bu durumun start-up nedeniyle oluşan çökelek ve kalıntılardan oluştuğu tespit edilmiş ve daha sonra böyle bir problem yaşanmamıştır. Ayrıca MF membranlarında arzu edilenden daha sık gerçekleşen tıkanmaların sebebinin değişken su kalitesi olduğu düşünülmektedir.

RARE projesinin finansmanı dünya üzerinde pek alışlagelmedik şekilde tamamen Chevron Rafinerisi tarafından karşılanmıştır. Bu nedenle, su idaresi mevcut müşterilerine herhangi bir ilave ücret yansıtmak durumunda kalmamıştır. Projenin toplam ilk yatırım maliyeti 55 milyon USD'dir. İşletme masrafı ise yılda 2,3 milyon USD olarak gerçekleşmektedir [122].



Şekil 5-57 RARE projesi depolama tankları

5.4.3. Proses suları olarak farklı üretim aşamalarında geri kullanım

Geri kazanılmış suyun endüstriyel proseslerde kullanılması su kalitesi ihtiyaçlarına bağlıdır. Örneğin elektronik devre kartlarının üretiminde yıkama işlemlerinde ultra-saf suya ihtiyaç duyulmaktadır [1]. Diğer taraftan deri tabaklama proseslerinde ise daha düşük su kalitesi yeterli olabilmektedir [127]. Tekstil, kağıt hamuru ve kağıt üretimi ve demir-çelik üretiminde ise orta kalitede proses suyuna ihtiyaç duyulmaktadır [128], [1]. Kısaca imalat sanayinin alt sektörlerinde kullanılacak proses suyu kalitesi farklılıklar gösterebilmektedir. Ayrıca aynı üretim tesisinde prosesler bazında proses suyu kalitesi ihtiyaçları da değişken olabilmektedir. Bu nedenle, geri kazanılmış su ile endüstriyel yeniden kullanım fizibilitesini araştırırken, proses suyu için spesifik gerekliliklerin tespiti için potansiyel kullanıcıların ihtiyaçlarının belirlenmesi önemlidir [1].

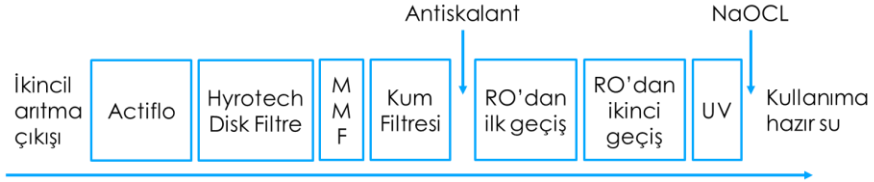
Kağıt hamuru ve kağıt üretiminde yüksek seviyede su geri kullanımı yaklaşımı uzunca süredir benimsenen bir yaklaşım olmuştur [128]. Kağıt hamuru ve kağıt üretim proseslerinde suyun geri kullanımının potansiyel faydaları bulunmaktadır [129]. 20.yy ilk başlarında kağıt üretiminde spesifik su tüketimi yaklaşık 625 L/kg ürün olmuştur. Günümüzde ise modern kağıt

Üretim tesislerinde proses sularının neredeyse tamamı (%100) geri kullanılmakta ve spesifik su tüketimi 67-71 L/kg ürün seviyesine kadar azalmıştır [1]. Son yıllarda su kaynaklarının azalmasına bağlı olarak kağıt hamuru ve kağıt üretimi yapan endüstriyel tesislerde kullanılmış suların geri kullanımı söz konusu olmaktadır. Ayrıca bazı tesislerde ise arıtılmış evsel kullanılmış sular değerlendirilmektedir. Bu kullanılmış suların üretim proseslerinde geri kullanımında genellikle üçüncül arıtma (ileri arıtma) gerekli olabilmektedir. Bazı kağıt üreticilerinin arıtılmış proses sularını geri kullanmamalarındaki başlıca nedenler ise; hijyen kaygıları, ürün kalitesini olumsuz etkileme yönündeki çekinceler, maliyetler ve geri kullanımın yüksek derecede olması nedeniyle karşılaşılacak korozyon, kireçlenme ve biyolojik kirlenme problemleri konusundaki endişelerdir [1].

Kimya endüstrisi için su kalitesi gereksinimleri, üretim gereksinimlerine göre büyük farklılıklar göstermektedir. Genellikle, düşük bulanıklık, askıda katılar (SS) ve silika ile orta derecede yumuşak nötr pH aralığında (6,2-8,3) sular gereklidir; çözünmüş katılar ve klorür içeriği genellikle kritik değildir [1]. Tekstil endüstrisinde kullanılan sular boyamayı olumsuz etkilemeyecek karakterde olmalıdır. Bu nedenle proses sularında bulanıklık, renk, demir ve mangan konsantrasyonları oldukça düşük seviyede olmalıdır. Sertlik, tekstiller üzerine pürüzlerin birikmesine neden olabilir ve sabun kullanan bazı işlemlerde sorunlara neden olabilir. Geri kazanılmış proses suyundaki nitrat ve nitrit varlığı boyamada sorunlara neden olabilir [1]. Tekstil endüstrisi su tüketiminin yoğun olduğu endüstrilerden biridir. Ayrıca retim proseslerinde farklı karakterde kullanılmış sular oluşmaktadır [130]. Özellikle yıkama ve durulama sularının önemli bir bölümü üretim proseslerinde arıtılarak ya da arıtılmadan geri kullanılabilir [130]. Tekstil retim proseslerinde kullanılmış suların tekrar proses suyu olarak geri kullanılması durumunda %20-50 arasında değişen oranlarda su tasarrufları sağlamak mümkün olabilmektedir [131].

5.4.3.1. Camp de Tarragona Projesi (Tarragona, İspanya)

Camp de Tarragona atıksu arıtma ve geri kazanım tesisi Barcelona yakınlarında Tarragona şehrinde bulunmaktadır. Geri kazanım tesisi, Tarragona ve Vilaseca kentsel kullanılmış su arıtma tesislerinin ikincil arıtma çıkışlarını almakta, ileri olarak arıtmakta ve yakın bölgedeki sanayi tesislerine proses suyu özellikle de soğutma suyu sağlamaktadır. Böylece endüstriler proses suyu ve soğutma suyu için Ebro Nehrinden daha az ham su çekmektedirler. Tarragona ve Vilaseca kentsel kullanılmış su ikincil arıtma çıkışları istenilen oranlarda paçallanarak tesise alınabilmektedir. Bu bağlamda tesiste esneklik mevcuttur. Şekil 5-58'da tesisin akım şeması sunulmuştur. Tesis 2012 yılında devreye alınmıştır. Tesisin 1. Faz arıtma kapasitesi 19.000 m³/gün'dür.



Şekil 5-58 Camp de Tarragona Atıksu Arıtma Tesisi Akım Şeması

Bölgede ve özellikle sanayi tesislerinde su sıkıntısı önemli boyutlardadır. Bölgedeki su tahsisleri ve su kaynaklarının miktarı endüstriyel gelişim ve yatırımlar için temel bağlayıcı etmendir. Dolayısıyla, kullanılmış suların geri kazanımı ve farklı amaçlarla geri kullanımı Barselona bölgesinde ve Güney İspanya'da uygulanmaktadır. Son yıllarda uygulama projelerinin sayısı hızla artmaktadır. Camp de Tarragona atıksu arıtma ve geri kazanım tesisinin çevresel faydaları ve ülkemiz için değerlendirmeler aşağıda sunulmuştur.

- Tarragona ve Vilaseca kentsel atıksu ikincil arıtma çıkışlarının bir kısmı artık denize deşarj edilmeyip, ileri

olarak arıtılıp, proses ve soğutma suyu olarak endüstrilerde kullanılmaktadır. Dolayısıyla, ikincil arıtma deşarjlarının deniz ortamına etkileri de azaltılmaktadır.

- Su debileri aşırı oranlarda düşmekte olan Ebro nehrinden endüstriyel amaçlı ham su çekimi Camp de Tarragona tesisi sayesinde azaltılmıştır. Böylece, tatlı su kaynakları korunmaktadır.
- Ülkemizde özellikle endüstrilerin yoğun olduğu organize sanayi bölgelerinde, tatlı su kaynaklarının (özellikle yeraltı suları) korunması için, benzer tesislerin devreye alınması faydalı olabilir.

Tesise ait bir görsel aşağıda Şekil 5-59'de verilmiştir. Tesiste iki geçişli bir ters osmoz prosesi kullanılmakta olup, ikinci geçişin amacı amonyumu azaltmaktır. Tesiste ters osmoz membranları seçilmeden önce pilot ölçekli denemeler yapılmış olup, sonrasında kirlenmeye ekstra dirençli FILMTEC BW30XFR-400/34i membranlar birinci geçiş için düşük enerji gerektiren membranlar ise (DOW FILMTEC LE-440i) ikinci geçiş için kullanılmıştır. Çıkış suları ayrıca UV ve klorlama neticesinde süzüntü tankına alınmakta ve burada da dağıtılmaktadır.

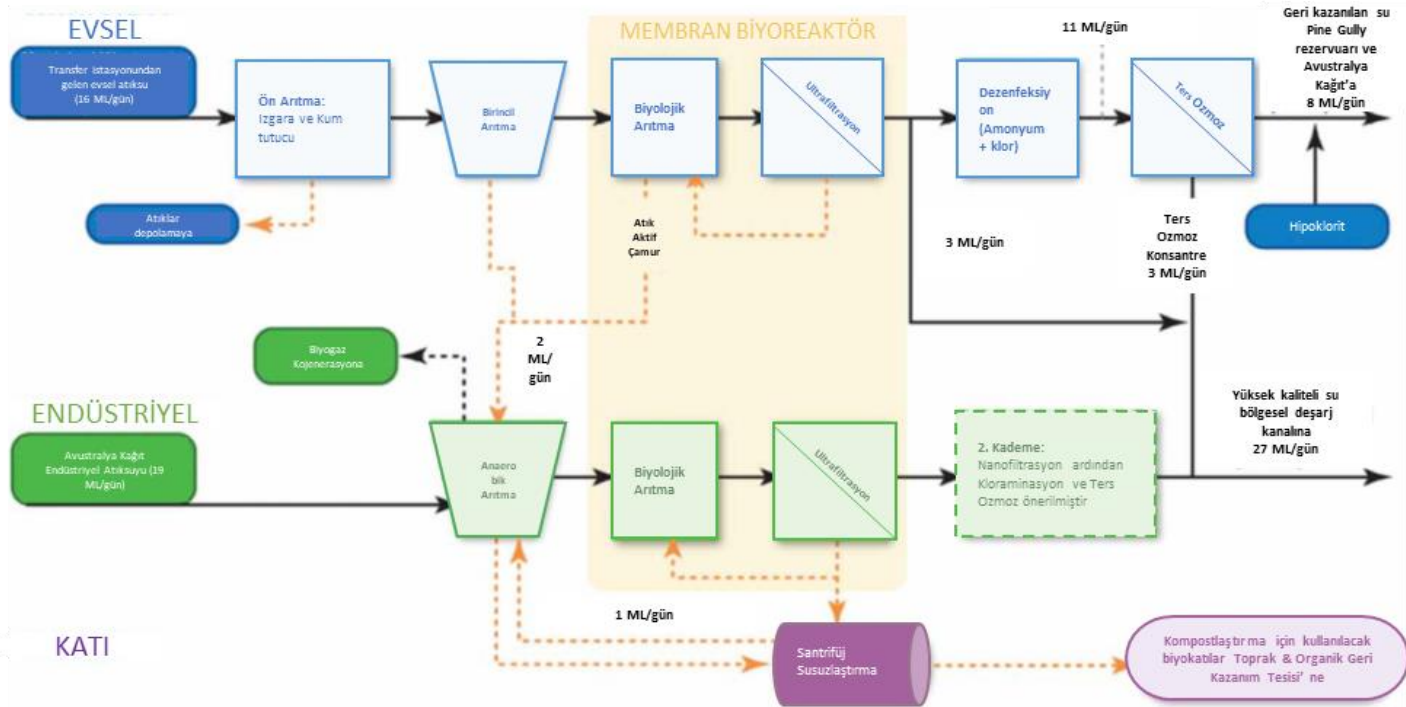


Şekil 5-59 Tarragona-Vilaseca Su Geri Kazanım Tesisi

5.4.3.2. Gippsland Su Fabrikası (Gippsland, Avustralya)

Avustralya'nın güney doğusunda Gippsland Su tarafından işletilmekte olan Gippsland Su Fabrikası 35.000 m³/gün kapasiteye sahip olup, 16.000 m³/gün evsel kullanılmış su,

19.000 m³/gün endüstriyel kullanılmış su (kağıt endüstrisi) arıtmaktadır. Her iki kullanılmış su paralel membran biyoreaktörde arıtıldıktan sonra Pasifik Okyanusuna deşarj edilmektedir. Evsel kullanılmış suyun bir kısmı MBR prosesinde arıtıldıktan sonra kloramin ilave edilerek geri kazanım amacıyla ters osmoz prosesine gönderilmektedir. Ters osmoz prosesi süzüntü suları Avustralya Kağıt'a (Gippsland Su Fabrikası'na kullanılmış su veren tesis) verilmektedir. Proses akım şeması Şekil 5-60'de sunulmuştur.



Şekil 5-60 Gippsland Su Fabrikası Akım Şeması [132]

Şekilde görüldüğü gibi evsel kullanılmış su ızgara ve kum tutucudan geçtikten sonra ön çöktürme tankına verilmektedir. Daha sonra MBR'de biyolojik olarak arıtmakta ve ultrafiltrasyon prosesinden geçirilmektedir. Daha sonra klor ve amonyum eklenerek kloraminasyon ile dezenfeksiyon yapılmaktadır. Dezenfeksiyon işleminin ardından su ters osmoz prosesine verilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi evsel kullanılmış su hattına 16.000 m³/gün debi ile kullanılmış su verilmektedir. Birincil ve ikincil arıtma prosesinde oluşan katılar 2.000 m³/gün debi ile tesisten alınarak endüstriyel kullanılmış su hattında bulunan anaerobik reaktöre verilmektedir. MBR çıkışından 3.000 m³/gün arıtılmış su ters osmoz prosesinde üretilen 3.000 m³/gün konsantre ile paçallanmakta ve daha sonra da arıtılan endüstriyel atıksu ile paçallanarak toplam 27.000 m³/gün atıksu okyanusa deşarj edilmektedir. Ters osmoz prosesinde üretilen 8.000 m³/gün süzüntü Pine Gully rezervuarına ve Avustralya Kağıt'a verilmektedir.

Endüstriyel kullanılmış su hattında ise kullanılmış sular öncelikle anaerobik biyoreaktörde ön arıtmaya tabi tutulmaktadır. Evsel kullanılmış su arıtma prosesinde üretilen çamur da bu tanka alınarak biyogaz üretimi arttırılmakta ve üretilen biyogaz kojeneratöre gönderilmektedir. Anaerobik ön arıtım sonrası kullanılmış sular MBR'de arıtmakta ve sonrasında deşarj edilmektedir. Fakat MBR ile arıtılmış su ters osmoz prosesine verilerek geri kazanımı da mümkündür. Tesiste üretilen çamur santrifüj dekantöre gönderilerek susuzlaştırılmaktadır. Tesise ait bir görsel Şekil 5-61'de sunulmuştur.



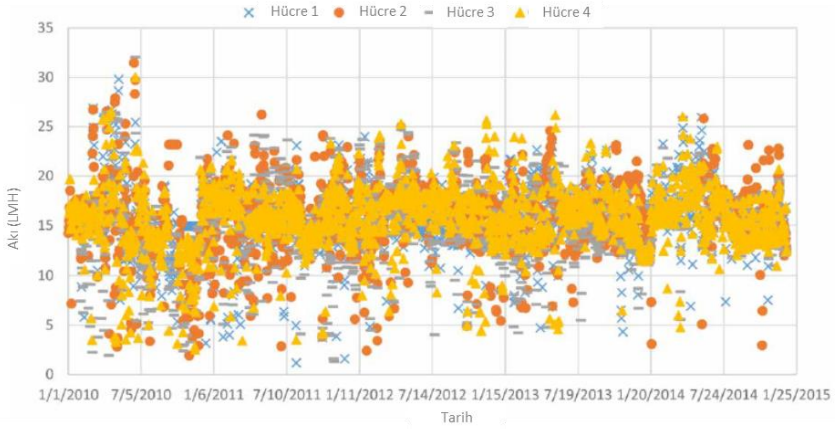
Şekil 5-61 Gippsland Su Fabrikası'na ait bir görsel [132]

Tesis 2010 yılında stabil olarak işleme alınmıştır. Ters osmoz tesisi ise 2012 yılında işleme alınmıştır. Evsel kullanılmış su arıtma hattında toplam 4 adet membran tankı bulunmakta olup, her birinin hacmi 64 m³'tür. tesiste Memcor Memjet membran üniteleri kullanılmakta olup, her bir tank 15 membran ünitesi ve 7220 m² membran içermektedir. MBR tesisi giriş ve çıkış değerleri ile proses performans verileri aşağıdaki tabloda (Tablo 5-8) sunulmuştur.

Tablo 5-8 Gippsland Su Fabrikası MBR proses performansı

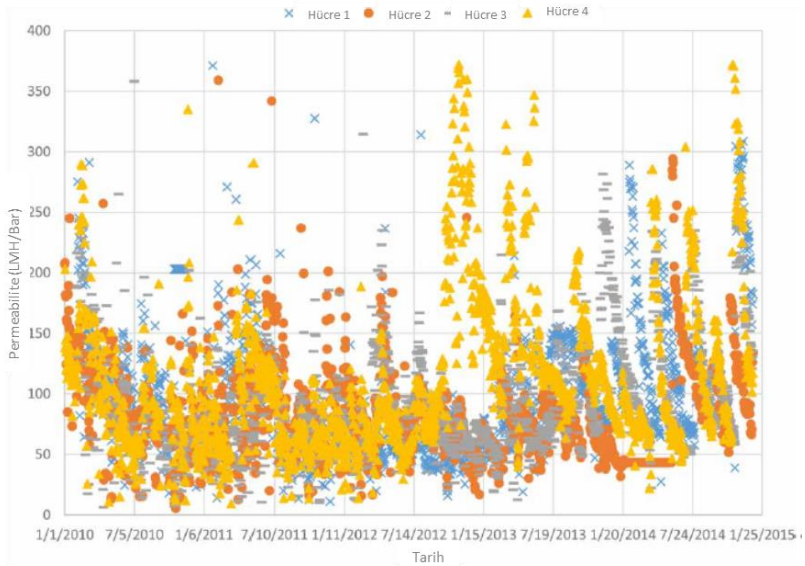
Parametre	MBR Girişi	MBR çıkışı	Giderim (%)
KOİ (mg/L)	422	35,4	92
Çözünmüş KOİ (mg/L)	255	35,4	86
TN (mg/L)	35,6	3,6	87
NH4-N (mg/L)	26,6	1,4	95
TP (mg/L)	8,2	2,8	66

Tesiste kurulu MBR prosesine ait akı verileri ise aşağıdaki Şekil 5-62’te sunulmuştur.



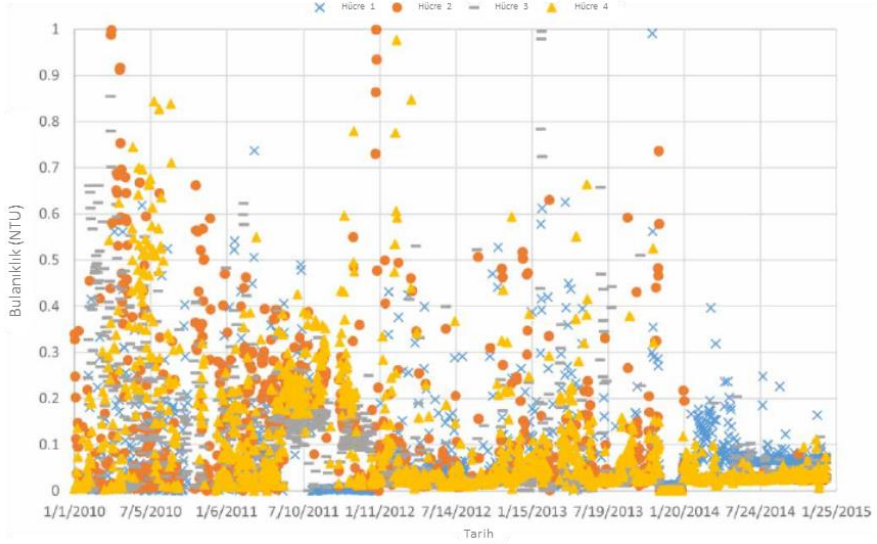
Şekil 5-62 Gippsland Su Fabrikası'nda kurulu MBR'da akı değerleri [132]

Ayrıca işletim süresince MBR'de permeabilite değerleri aşağıdaki Şekil 5-63’te sunulmuştur.



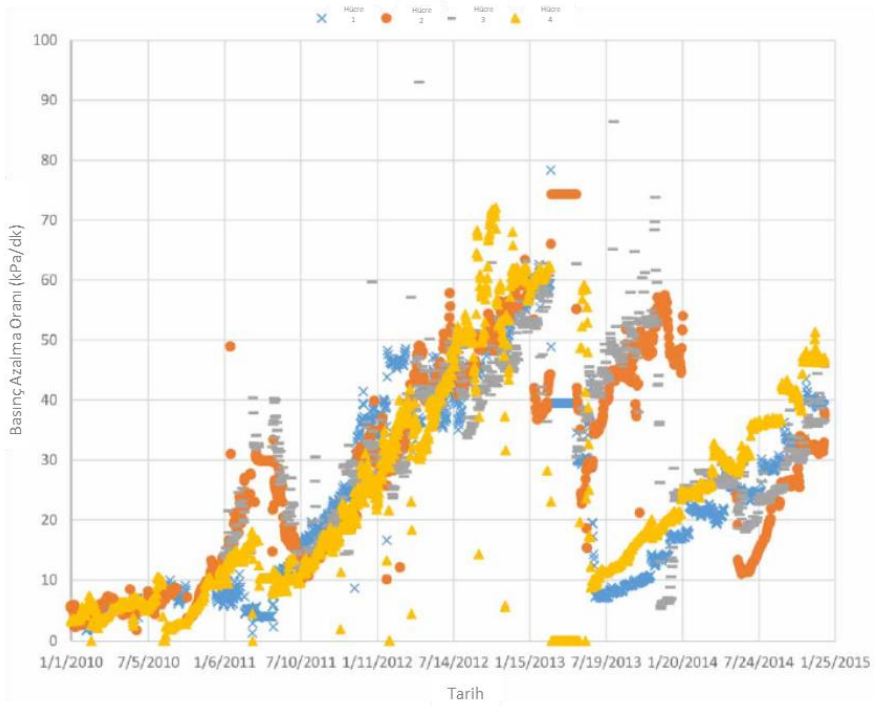
Şekil 5-63 Gippsland Su Fabrikası'nda kurulu MBR'da permeabilite değerleri [132]

MBR'de bulanıklık değerleri Şekil 5-64'te sunulmuş olup bulanıklık genel olarak 0.2 NTU olup, işletim süresince de 1 NTU'dan düşüktür.



Şekil 5-64 Gippsland Su Fabrikası'nda kurulu MBR'de bulanıklık değerleri [132]

MBR'de basınç artış hızı ise aşağıdaki şekilde (Şekil 5-65) sunulmuştur.



Şekil 5-65 Gippssland Su Fabrikası'nda kurulu MBR'de basınç artış hızının değişimi [132]

Ters osmoz proses performansına ait değerler ise aşağıdaki Tablo 5-9'da sunulmuştur. Batık membranlar için enerji gereksinimi 0,4 kWh/m³ olarak belirlenmiştir. Ters osmoz tesisinde ise ürün başına enerji gereksinimi 0.73 kWh/m³'tür. Tüm tesis için enerji gereksinimi ise üretilen su başına 3,04 kWh/m³'tür.

Tablo 5-9 Gippssland Su fabrikası ters osmoz proses performansı

Parametre	Birim	Kriter		Ölçüm	
		Ort	Mak	Ort	Mak
E.coli	KOB/100 mL	-	10	0	0
Amonyak-N	mg/L	0,025	0,059	0,095	0,55
Kalsiyum	mg/L	1,66	1,8	1,53	2,94
Bakiye klor	mg/L	-	1	1,94	0
Renk 465 nu	Pt Co	-	100	2,9	29

Parametre	Birim	Kriter		Ölçüm	
		Ort	Mak	Ort	Mak
Çözünmüş organik karbon	mg/L	12,9	14,4	1,53	11,4
Florür	mg/L	-	0,75	0,005	0,04
Magnezyum	mg/L	1,66	1,8	0,39	0,87
Organik azot	mg/L	-	0,73	0,54	0,91
pH		-	6,0 - 9,0	6,92	9,21
Potasyum	mg/L	1,1	1,1	0,33	1,25
Toplam fosfor	mg/L	-	0,1	0,001	0,010
Sodyum	mg/L	7,8	8,4	7,41	54,3
Özgül absorbans değeri	m.L/mg	4,6	4,7	1,3	6,5
Sıcaklık	0C	-	22	17,3	22,9
Toplam çözünmüş madde	mg/L	-	200	41	63
Toplam azot	mg/L	-	2	0,72	1,20
Toplam organik karbon	mg/L	-	18	1,53	11,4
UV absorbans (254 nm)	1/cm	0,595	0,651	0,011	0,106

5.4.3.3. *Tuftex Carpets ve General Dye Projesi (Kaliforniya, ABD)*

Central Basin Kentsel Su Bölgesi (CBMWD) için arıtılmış suların yeniden kullanımı uygulamaları 1992 yılında başlamıştır. Santa Fe Springs, Kaliforniya’da kurulu Tuftex Carpets firması arıtılmış suları kumaş boyama prosesinde kullanmaktadır. Arıtılmış su kullanımı ile tesiste ortaya çıkan ilk bulgu suyun kalitesinin sabit olması nedeni ile üretim kalitesinin yükselmesidir. Daha önceden yeraltı kaynaklarından ve Colorado nehrinden sağlanan suların kalitesinin sabit olmaması nedeni ile ham su karakterizasyonunun sabit tutulması için yapılan ayarlama prosedürleri terk edilerek avantaj sağlanmıştır. Tesis günümüzde arıtılmış suların daha geniş kullanım olanaklarını araştırmaktadır. General Dye firması da aynı yöntemle arıtılmış suları boyama prosedürlerinde kullanmaya başlamıştır. Arıtılmış suların herhangi bir ilave arıtıma tabi tutulmadan doğrudan tesiste kullanımı ile yapılan boya denemelerinde General Dye

yetkilileri kumaş boyama performansında herhangi bir negatif sonuç gözlemediklerini ifade etmişlerdir [122].

5.4.4.Endüstride proses suyu dışındaki diğer kullanımlar

Yarı iletken endüstrisi gibi ileri teknoloji üretimlerde arıtılmış suların geri kullanımı nispeten yeni bir uygulamadır. Yarı iletken endüstrisinde mikroçip ve devre kartları üretimi olmak üzere su kullanılan iki ana süreç bulunmaktadır [1]. Devre kartı imalatında su genellikle yıkama işlemlerinde kullanılmaktadır ve buhar kazanları besisi sularında olduğu gibi yüksek su kalitesi gerektirmektedir. Sadece devre kartı üretim süreçlerinde arıtılmış su kullanımı gerekirken, hem yarı iletken hem de devre kartı üretim tesislerinde soğutma suyu ve saha sulaması için de geri kazanılmış sular kullanılabilir [1]. Yüksek teknoloji üretim yapan endüstriyel işletmelerde imalat sırasında silikon devre kartlarının yıkanmasında ultra-saf su kullanılarak üretim verimliliğinin artırılmasına yönelik uygulamalar bulunmaktadır. Devre kartlarının yıkanması sonrasında oluşan kullanılmış suların ise proses suyu, sulama suyu ve diğer birçok ihtiyaçlar için değerlendirilmesi mümkündür. Yüksek teknoloji üretim tesislerinde kullanılmış suların tekrar kullanılması için ayrı toplanmasını sağlayan karmaşık durulama suyu toplama sistemleri bulunabilmektedir [1]. Bu kullanılmış suların yeniden değerlendirilmesi stratejisi üretim proseslerinden mümkün olduğunca fazla su hasadı yapılmasını ve daha sonra soğutma kuleleri ve ıslak filtrelerde geri kullanılmasını mümkün hale getirmektedir.

5.4.4.1. Pacific Power Enerji Santrali ve Kooragang OSB Projesi (Newcastle, Avustralya)

Hunter Su Şirketi devlete ait bir şirkettir. Yaklaşık yarım milyon insanın yaşadığı Newcastle, Lake Macquarie, Maitland, Cessnock, Edgeworth ve Port Stephens şehirlerinden derlenen kullanılmış

sularını arıtarak geri kullanımını sağlamaktadır. Geri kullanım sahaları arasında kömür yıkama, enerji üretim santrallerinde kullanım ve zirai sulama bulunmaktadır. Sistem içinde bulunan Dora Creek AAT'nin (Şekil 5-66) tasarım aşamasında deşarj sularını Macquarie Gölü'ne bırakması planlanırken Pacific Power şirketine ait Eraring Enerji Santrali (Şekil 5-67) ile yapılan protokol sonucunda deşarj sularını tesiste geri kullanılmak üzere buraya yönlendirmiştir. Yapılan 15 senelik anlaşmada günlük 5000 m³ suyun enerji santraline transferi kararlaştırılmıştır. Enerji santraline giren arıtılmış kullanılmış su MF-RO prosesinden geçirilerek kullanılmaktadır. Dora Creek tesisinde fiziki arıtmadan sonra uzun havalandırmalı aktif çamur havalandırma havuzları bulunmaktadır. Tesisten çıkan biyokatılar maden sahalarının rehabilitasyonunda kullanılmaktadır.

Enerji santrali arıtılmış suyun kullanımı ile demineralize su tesisinin yıllık işleme masrafı olan 100.000 USD ve su satın alma maliyeti olan yıllık 1 milyon USD'den tasarruf ederek yıllık toplam 1.100.000 USD'lik maliyet azaltımı gerçekleştirmiştir. Bu örnek endüstrilerin kendi kullanılmış sularını arıtarak geri kazanmalarının sağlayacağı ekonomik faydalar için güzel bir örnektir. Hunter Su Şirketi Newcastle Çelik Şirketi ile de günlük 3.000 m³'lük bir anlaşma yapmasına rağmen çelik tesisinin kapanması nedeni ile bu anlaşmayı uygulamaya alamamıştır. Hunter Su Şirketi'nin arıtılmış suları Oceanic Kömür Yıkama Tesisi'nde de kömürlerin tozlarından arındırılması işleminde kullanılmaktadır. Edgeworth AAT sularının kullanıldığı işletmede yıllık 500.000 m³ su tüketilmektedir (Şekil 5-68). Bunlara ek olarak Kooragang endüstriyel sahasındaki farklı firmalara su temin etmek için sistemden gelen arıtılmış suların sahadaki ileri arıtımı için Hunter firması tarafından büyük bir RO tesisi kurulmuştur. Shortland AAT'den gelen günlük 12.000 m³ su bu tesiste arıtılarak (Şekil 5-69) endüstriyel geri kullanım standartlarına getirilmektedir [122].



Şekil 5-66 Dora Creek AAT



Şekil 5-67 Eraring Enerji Santrali



Şekil 5-68 Oceanic Kömür Yıkama Tesisi



Şekil 5-69 Kooragang Endüstriyel Bölgesi İleri Arıtma Tesisi UF ve RO üniteleri

5.4.5. Hazır gıda üretiminde geri kullanım

Yiyecek ve içecek imalatı endüstrisi kullanılmış suların geri kullanımı konusunda başlangıçta özellikle toplumun konuyla ilgili algısı yüzünden bazı çekincelere sahiptiler. Kullanılmış suların geri kazanımı konusunda bilgi birikiminin artmasıyla birlikte geri kazanılmış su kalitesinin gerekli proses suyu

standartlarını sağlayacak kalitede olması bu çekincelerin zamanla azalmasını sağlamıştır [1]. Bazı durumlarda, bir üretim alanında kullanılmış suların yeniden kullanılması sadece yeşil değil aynı zamanda işletme maliyetlerinin ve su ayak izinin azaltılmasını sağlamaktadır [1]. Bazı durumlarda geri kazanılmış su kalitesi mevcut içme suyu kalitesinden çok daha iyi durumda olabilmektedir. Yiyecek ve içecek endüstrisinde kullanılmış suların yeniden değerlendirmesinin giderek önem kazanmasına paralel olarak uluslararası kuruluşlar tarafından içecek üretim tesislerden çoklu kullanımlar için su geri kazanımı kılavuz dokümanlarının hazırlanmıştır [1]. Birçok yiyecek ve içecek üreticisi, üretimde kullanılan su miktarının en aza indirilmesi amacıyla çalışmalar yapmaya yönelmiş durumdadır. Bu nedenle birçok yiyecek ve içecek üreticisi yeterli, öngörülebilir, sürdürülebilir ve ürün kalitesini en iyi seviyeye çıkarmak için verimli kullanıma yönelmektedir. Sektördeki üreticiler gerek piyasa şartlarının getirdiği baskılar, gerekse de yasal düzenlemeler ve müşteri talepleri doğrultusunda su ayak izlerinin azaltılması, atık miktarlarının mümkün olduğunca en az seviyeye indirilmesi ve üretim maliyetlerinin azaltılmasına giderek önem vermeye başlamışlardır. Özellikle büyük içecek üreticileri kullanılmış su geri kazanımı ve su tüketiminin azaltılmasına yönelik çok sayıda projeyi hayata geçirmiştir [1].

Yiyecek ve içecek endüstrisinde çok sayıda su ihtiyaçı olan proses bulunmaktadır. Bunlar temizlik ve sanitasyon, buhar ve sıcak su üretimi, gıda ürünlerinin taşınması ve temizlenmesi, ekipman temizliği, ambalajların (şişe, teneke ve karton kutu vb.) temizliği, teneke kutu ve şişe taşıyıcıların kayganlaştırılmasında, kutu ve şişelerin ısıtılması ve soğutulmasını içermektedir [1]. Endüstrinin farklı alt sektörlerinde üretim yapısına ve ürüne göre farklı seviyelerde temizlik gerektirdiğinden temizleme işlemlerinde kullanılan su miktarları da farklılık gösterebilmektedir [133].

Patates ve diğer konserve ürünleri gibi bazı gıda ürünlerinin işleme tesisi vasıtasıyla taşınması su kanalları vasıtasıyla yapılabilir. Su spreyleri veya karşı akışlı yıkama sistemleri olan konveyör sistemleri bir su koruma önlemi olarak kullanılmaya devam ederken, bu işlemlerden çıkan su ve su püskürtme suyu genellikle filtrasyon ve dezenfeksiyon sonrasında toplanır ve tekrar kullanılabilir [1]. Su tüketiminin kuru temizleme teknikleri kullanılarak azaltılması uygulaması genellikle geri kazanılmış suların ekipman temizliğinde ve sulamada kullanılması gibi uygulamalarla entegre edilebilmektedir. Bu uygulamalar işletme maliyetlerinin ve kullanılmış su debilerinin azaltılmasını sağlayabilir [1].

Konteyner temizliği (şişeler, teneke kutular, su ısıtıcıları, diğer kaplar) doldurma işleminden önce ve sonra yapılır, bazı durumlarda fazla dolum veya dökülme gerçekleşebilir. Yıkama suyu nanofiltrasyonda filtrelenerek elde edilen şeker ve ürün hayvan yemi üretiminde ya da maya üretiminde kullanılabilir. Temizlik suları ise konveyör ve palet temizliği işlemlerinde geri kullanılabilir [1]. Geri kazanılmış su da dahil olmak üzere su; hem ısıtma hem de soğutma için, ısı transfer ortamı olarak kullanılabilir. Konservede, teneke kutu doldurduktan sonra soğuk bileşenlerin ısıtılması kutu üzerinde yoğunlaşma oluşumunu engeller ve daha kısa kurutma döngüleri sağlayabilir. Büyük içecek üreticilerinden biri özellikle yıkama sularının konvansiyonel arıtmadan sonra membran biyoreaktörler (MBR)-ultrafiltrasyon, ters ozmos (TO), ozonlama ve ultraviyole (UV) dezenfeksiyonuyla geri kazanmaktadır [1].

5.4.6.Kapalı Çevrim Uygulamaları (Almanya) (Farklı endüstrilerde spesifik kullanımlar)

5.4.6.1. Gıda ve İçecek endüstrisi

Günümüzde PET (Polyethylene terephthalate) şişeler çok yaygın kullanılmaktadırlar. Üretim aşamasında blow-molding işlemi ile şekillendirildikleri için içeceklerin doldurulması öncesinde iç kısımları kimyasal bir çözelti ile yıkanarak sterilize edilir. Sıcak sterilizasyon aşamasında H_2O_2 kullanılır. Yoğunlaşan peroksit buharı steril hava kullanılarak kurutulur [134]. Islak sterilizasyon yönteminde H_2O_2 , asetik asit ve buhar karışımı şişeye enjekte edilir. Yeterli temas süresinden sonra steril su ile şişe yıkanır [135]. Genellikle ıslak sterilizasyon yöntemi kullanılmaktadır. Ancak kullanılan şişe tipine bağlı olarak değişmekle birlikte ortalama 20 m³/saat debi değerinde bir yıkama atıksuyu oluşmaktadır. Bu nedenle su geri kazanımı uygulamaları yapılmaktadır.

Geri kazanılmış suda dikkat edilmesi gereken husus yıkama suyuna geçebilecek dezenfeksiyon kalıntıları ve suyun steril olması gerekliliğidir. Bu nedenle RO prosesini takip eden bir iyon değiştirici kullanımı genellikle tercih edilmektedir (Kuhn, 2004). RO prosesi sayesinde kalıntı organik maddeler, mikrobiyal içerik ve çözünmüş tuzlar giderilmektedir. Geri kazanım oranı yaklaşık %80 olduğu için konsantre atımı ile kaybedilen %20'lik kısım taze ham su ile dengelenmektedir. RO süzöntüsü UHT sterilizasyonundan geçirildikten sonra tekrar şişe yıkama ünitesine yönlendirilmektedir. Gıda endüstrisinin kendine özgü standartları nedeni ile tüm geri kazanım prosesinin aksamı uygun özellikte paslanmaz çelikten imal edilmelidir. Membranlar gıda standartlarına uygun olmalıdır. Tüm temizlik/yıkama, membran sterilizasyonu prosedürleri gıda endüstrisi kuralları ile uyumlu olmalıdır. Geri kazanım prosedürünün fizibilitesine etkiyen ana unsurlar aşağıda sıralanmıştır:

- Taze ham su kaynağı
- Sıfırdan yıkama suyu hazırlanmasının maliyeti
- RO ön arıtım maliyetleri
- RO prosesinde kullanılan kimyasalların maliyeti
- Temizleme ve sterilizasyon sıklığı

Almanya şeker endüstrisinin su talebi günümüzde çok düşük seviyededir. 1 ton şeker pancarı başına 0,8 m³ kullanılmış su üretilmektedir. İşletmede şeker üretimi için ton başına 1,7 m³ su gerekmektedir. Bu miktarın proses içi dağılımı Tablo 5-10'da verilmiştir. Kullanılan suların büyük kısmı tesis içi geri kazanım prosedürler ile elde edilmekte olup taze ham su ihtiyacı minimum seviyededir.

Tablo 5-10 Şeker pancarından şeker üretiminde su tüketiminin prosesler arası dağılımı

Proses su tipi	Tüketim (L su/ ton şeker pancarı)
Pancar taşınması için su oluklarında akan su	500-800
Şekerli su	150-200
Sıcak kuyu suyu	400-600
Pancar suyu ekstraksiyonu için taze ham su	30-40
Soğutma suyu	20-100
Toplam tüketim	600-1740

Malt endüstrisinde ciddi oranda su tüketen proses ıslatma işlemidir. Islatma prosesinin tipine göre kullanılan su miktarı ve kirlilik yükleri değişim gösterebilmektedir (Tablo 5-11). Bu kullanılmış sular basit bir mikrofiltrasyon prosesi ile yeterli arıtma verimine ulaştırılabilmektedir [136]. MF prosesinden çıkan süzüntü suyu göreceli olarak dezenfekte edilmiştir ve uygun bir muameleden sonra üretim hattına geri yönlendirilebilir. MF prosesinin bu sektörde kullanımının temel

avantajları mikrobiyal içeriğin ciddi oranda azaltılabilmesi, düşük çamur üretimi ve düşük alan ihtiyacıdır [122].

Tablo 5-11 Islatma sularının kirlilik yükleri

Parametreler	Daldırarak ıslatma		Sprey ıslatma
	Kutu tipi	Hat tipi	
Spesifik hacim (m ³ /mg arpa)	1,8-2,5	1,73	0,2
BOİ (mg/L)	600-880	410	1800
KOİ (mg/L)	925-1732	823	2720
Sediment (mL/L)	1,8-2,9	2,9	13

a) Kağıt endüstrisi

Kağıt endüstrisinin en önemli tüketim maddelerinde birisi de sudur. Avrupa’da yıllık 1 milyar m³ su kağıt üretiminde kullanılmaktadır. Bu değer ile Avrupa’daki endüstriler arasında su talebi en yüksek olan gruplardan bir tanesi kağıt endüstrisidir. Avrupa’daki yasal düzenlemeler ve sıkılaşan deşarj standartları bu endüstriyi su geri kazanıma zorlamıştır. Bu sayede su artık bir tüketim malzemesi olarak değil değerli bir şirket varlığı (asset) olarak görülmektedir. Özellikle Su Çerçeve Direktifi (WFD) Avrupa Birliği üye ülkeleri için sürdürülebilirlik ve su geri kazanımı konularında ciddi bir motivasyon kaynağı olmuştur. Kağıt endüstrisi diğer sektörler arasında su geri kazanımı adına en sofistike teknikleri uygulayan endüstrilerden biridir. Proses sularının tesis içinde çoklu dolaşımı ve dahili arıtma teknikleri sayesinde son yıllar içinde Almanya özelinde su tüketim değeri 46 m³/ton değerinden 10 m³/ton seviyesine kadar çekilebilmiştir [137].

Smurfit Kappa Zülrich şirketi %100 geri dönüştürülmüş fiberlerden kağıt üretimi yapmaktadır. Tesis 1970 yılından beri sıfır deşarj ile çalıştırılmaktadır. 1995 yılında tesis içindeki proses sularındaki kokunun ve üretilen kağıt ürünlerindeki kokunun azaltılması adına tesis genişlemesi esnasında anaerobik

ve aerobik kademeleri olan bir arıtma tesisi planlanmıştır [138]. 4 m³/ton-kağıt proses suyu mezofilik şartlarda arıtılarak tekrar tesis içinde kullanılmaktadır. Uygulanan arıtma sayesinde proses suyu kalitesinde ciddi artış olmuştur (Diedrich vd., 1997). Koku oluşturan uçucu yağ asitlerinin giderimi ile kağıt kalitesinde artış elde edilmiştir. Bunların yanında çözünmüş organik maddeler, su sertliği ve iletkenlik değerlerinde ciddi azalmalar meydana gelmiştir [139]. Anaerobik sistemden üretilen biyogazdan elde edilen enerji ile tesise ekonomik fayda sağlanmaktadır. Ancak oluşturulan kompleks sistemin işletilmesinden sorumlu teknik personelin istihdamı, izleme gereksinimleri, arıza giderimi, düzeltici aksiyonların alınması gibi hususların getirdiği organizasyonel yük dikkate alınmalıdır. Smurfit Kappa firmasının kapalı çevrim sistemi sektöre örnek olmuştur. Tesiste yaşanan en büyük problem ise tortu oluşumudur ve çözümü üzerinde çalışılmaya devam edilmektedir.

Almanya'nın Bavyera eyaletinde konuşlu Büttenpapierfabrik Gmund firması yüksek kaliteli renkli kağıt üretmekte olup, deşarjlarını Münih şehrinin içme suyunun da temin edildiği Mangfall Nehri'ne deşarj etmekte olduğu için çevresel açıdan sürekli sıkı bir denetime tabidir. Bu nedenle firma çıkış suları için filtrasyon ve ozonlamadan müteşekkil bir sistem inşa etmiştir. Bu sayede yıkama ve temizleme işlemlerinden gelen rengi değişmiş ve fiber içeriği yüksek sular arıtılarak ürün kalitesinde değişikliğe neden olmadan yeniden aynı proseslerde kullanılabilir. Tesis bu arıtma kademesi sayesinde kullanılmış su miktarını %50 azaltabilmiştir. İnovatif ve çevre dostu yapısı nedeni ile bu proje Alman Çevre Vakfı'ndan 350.000 Euro hibe almıştır. Sağlanan ekolojik faydanın yanında deşarj debisinin düşmesi nedeni ile kullanılmış su arıtma ücretlerinde indirim yaşanmıştır. Son yıllarda bir çok kağıt fabrikası bu prosesi benimseyerek benzer projeleri devreye almışlardır.

Ham su ve enerji maliyetlerinin artmasının yanında deşarj maliyetlerinin de yükselmesi nedeni ile Köhler Pappen firması dünyada ilk olarak bir kağıt fabrikasında MBR+RO prosesini devreye almıştır. MBR prosesi UF membranları ile çalışmakta olup tam partikül giderimi sağlayarak üretilen suyun yeniden proseslerde kullanılabilmesini mümkün kılmaktadır. Daha kaliteli su ihtiyacı olan prosesler için ise RO prosesinde çıkan su kullanılmaktadır. UF ve RO proseslerinde meydana gelebilecek tortulaşma problemini önlemek için bir ön yumuşatma prosesi kullanılmıştır. MBR+RO prosesinin işleme alınması ile deşarj edilen atıksu miktarı %90 seviyesinde azaltılmıştır.

Son on yıl içinde kağıt endüstrisinde kullanılan suyun %90 oranında geri kazanımı başarılmıştır. Kağıt endüstrisi su geri kazanımı konusunda lider sektörlerden biridir. Madrid'de konuşlu Holmen kağıt firması proseslerinde %100 evsel atıksu kullanmak üzere rekonfigüre edilmektedir [140]. Avrupa çapında endüstriyel geri kullanım tabanlı yürütülen geniş bütçeli araştırma projeleri (AquaFit4Use, ALBAQUA) sayesinde yeni arıtma prosesleri araştırılarak su sürdürülebilirliğine katkı verilmekte olup elde edilen tecrübeler diğer sektörlerdeki paydaşlar ile paylaşılmaktadır [122].

b) Tekstil endüstrisi

Tekstil sektörü yüksek su ve enerji tüketimi ile bilinmektedir. Tekstil atıksularının arıtımında ana öncelik boya arıtımıdır. Membran prosesleri hem yüksek arıtma verimi hem de boyaların geri kullanımı potansiyeli sunması nedeni ile oldukça uygundur. Ancak bu sektörde işletilmelerinin zorlukları nedeni ile kullanımları kısıtlıdır. Ancak kombine atıksuyun membran prosesi ile arıtımı yerine spesifik proseslerde uygulanması daha olumlu sonuçlar vermektedir. Bu yaklaşımın avantajları aşağıda sayılmıştır:

- Atıksu proses bazında geldiği için karakterizasyonu daha sabit olup arıtımı daha kolaydır.

- Konsantre akıma geçen bileşiklerin doğrudan geri kullanılabilir şekilde geri kazanımı mümkündür.
- Elde edilen süzütünün sıcaklık değeri giriş suyuna yakın olduğu için proses bazında termal verimlilik yükselir.

Tekstil endüstrisi atıksularının zorlu doğası membran proseslerinin maliyet etkin şekilde uygulanmasını zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla, bu tekniklerin mevcut proseslere entegrasyonunun sağlanması ve geri kazanım potansiyelinin tanımlanması adına aşağıdaki üç adım izlenebilir:

- Prosesin tanımlanması (madde girişi, sıcaklık, ısı enerjisi, gaz ve elektrik tüketimi, su tüketimi, atıksu üretimi, mevsimsel ve üretim bazlı değişimler)
- Prosesin optimizasyon olanakları
- Kapalı çevrim (closed-loop) moduna yaklaşmak adına alınması gereken önlemler

Selüloz tabanlı kumaşların reaktif boyaması sonrasında hidrolize olmuş boyaların giderilmesi için 95 °C'de yıkama yapılır. Sıcak seramik nanofiltrasyon prosesinin uygulanması ile yüksek oranda renk giderimine ulaşılmıştır (Şekil 5-70). Aynı zamanda üretilen süzüntü giriş atıksu sıcaklığı ile aynı olduğu için enerji tasarrufu %80 seviyesinde olmuştur. Kg kumaş başına kullanılan 20 L proses suyu miktarı 4,5 L'ye düşmüştür. Ancak, dispers boyalar nanofiltrasyon prosesi ile dahi yeterince tutulamamaktadır. Fikse olmamış dispers boyaların boyutu <0,01 µm civarında olduğu için yeterli arıtım sağlanamayıp bu tip boyaların kullanıldığı durumlarda suyun geri kullanımı mümkün olamamaktadır. Bu tip durumlarda NF süzüntüsüne aktif karbon uygulaması ile renk giderim verimliliği yükseltilebilir (Şekil 5-71).



Şekil 5-70 Nanofiltrasyon ünitesi



Şekil 5-71 Ham kullanılmış su rengi ile membran uygulaması ve aktif karbon uygulaması sonucu oluşan renk

Boya banyolarındaki reaktif boyalardan kaynaklanan rengin oksidatif giderimi için ozonlama prosesinin kullanımı pilot ölçekli bir tesiste denemiştir. Ozon uygulaması sonucunda renk giderim verimi oldukça yüksek olup üretilen su yeniden proseslerde kullanılabilir. Kullanılan konvansiyonel koagülasyon/flokülasyon

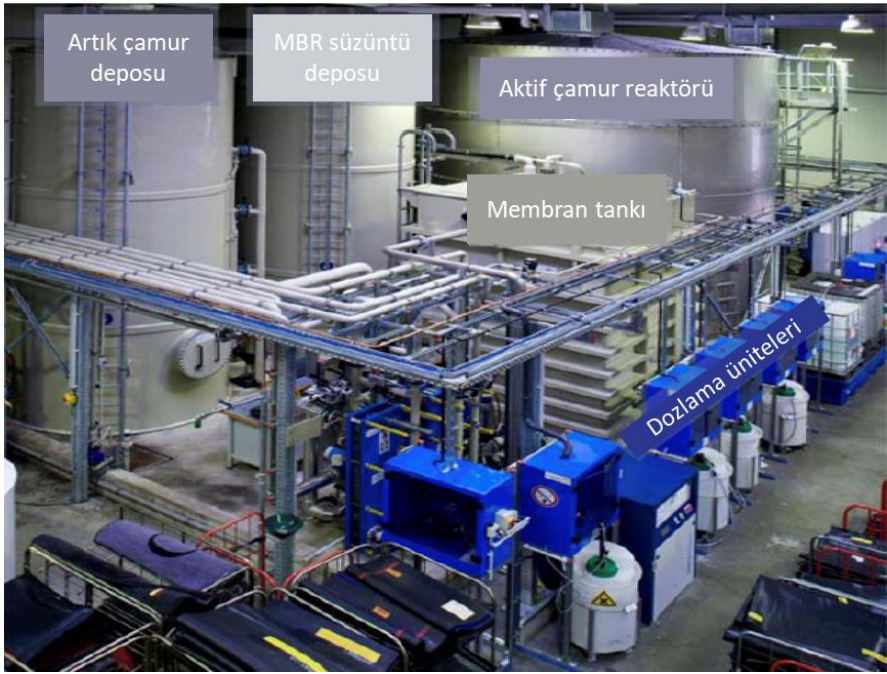
prosesi yerine ozon sisteminin ikame edilmesi ile elde edilen avantajlar Tablo 5-12’de verilmiştir.

Tablo 5-12 Koagülasyon/flokülasyon prosesi ile ozonlama prosesi arasındaki farklar

Parametre	Koagülasyon Flokülasyon	Ozonlama	Fark
Flokülasyon kimyasalı	17.500 L/yıl	-	- 17.500 L/yıl
Çamur	65 m ³ /yıl	5 m ³ /yıl	- 60 m ³ /yıl
Atıksu	5130 m ³ /yıl	-	- 5130 m ³ /yıl
Ozonlama: enerji ve oksijen tüketimi	25.000 kWh	85.000 kWh 46.500 Nm ³ O ₂	+60.000 kWh +46.500 Nm ³ O ₂

Endüstriyel ölçekli yıkama tesislerinde kullanılan su önce yumuşatılır, sonra ısıtılır (60-90 °C). Oluşan kullanılmış su kanalizasyona verilmeden önce gerekli arıtmadan geçirilir. Suyun tesise girmesinden deşarj edilmesine kadar uygulanan işlemlerin toplam maliyeti ortalama 3-5 Euro/m³ seviyesindedir. Bu nedenle suların geri kazanılarak yeniden kullanımı kritik önemdedir. Bu aşamada sıcak sulardan ısı geri kazanımı uygulaması yapılırsa fizibilite arttırılabilir. Kullanılmış suyun içinde deterjanlar, AKM, hidrokarbonlar ve bazı ağır metaller bulunmaktadır. Bu içeriklerin geri kullanım standartlarını sağlayana dek arıtımı gereklidir. Renk, koku, organik (<200 KOİ), inorganik (Fe<0,1 mg/L, Cu<0,05 mg/L, Mn<0,03 mg/L) ve mikrobiyolojik (<100 CFU) parametreler uygun seviyelere getirilmektedir. Almanya’da yılda 4,1 milyon adet havlu yıkanan bir yıkama tesisinde yılda 53.000 m³ proses suyu tüketilmektedir [141]. Bu tesise MBR+RO+dezenfeksiyon prosesinden müteşekkil bir su geri kazanım ünitesi kurulmuştur (Şekil 5-72). Bu konfigürasyon her ne kadar modern bir çok su geri kazanım tesisinin standart konfigürasyonu olsa da bir yıkama tesisi için modifikasyonlar yapılması gerekmektedir. MBR öncesi AKM giderimi için ek önlemler alınmıştır. MBR’a giren kullanılmış su

30 °C'ye kadar ısı değiştirici ile soğutulurken RO ıkışı bu ısı değiştiricinin kazandığı ısı ile tekrar ısıtılmaktadır ve prosese geri gönderilmektedir. MBR ıkışı asitlendirilip, biyosit ilavesi yapıldıktan sonra RO'ya yönlendirilmektedir. Kalan RO konsantresi iyon değiştiriciler ile arıtılarak kanalizasyona verilmektedir. Yıkama end­strisindeki bu uygulamalar ile su geri kazanım değeri %70-80 seviyesine getirilmiştir. Isı geri kazanımı sayesinde yıllık 1,9 GWh enerji tasarrufu yapılmaktadır. Bu değer amortisman s­resinin kısalmasına b­y­k katkı vermektedir [122].



şekil 5-72 Yıkama fabrikası su geri kazanım tesisi [122]

c) Metal end­strisi

Volkswagen Wolfsburg fabrikasında su geri kazanımı eski bir gelenektir. Su geri kazanım uygulamasının kalbinde 1,8 milyon m³ hacminde bir depolama havuzu bulunmaktadır (şekil 5-73). Su geri kazanımı sistemi kanalizasyon ağı, içme ve kullanma suyu hatları ve bir biyolojik arıtma tesisinden oluşmaktadır. İçme suyu

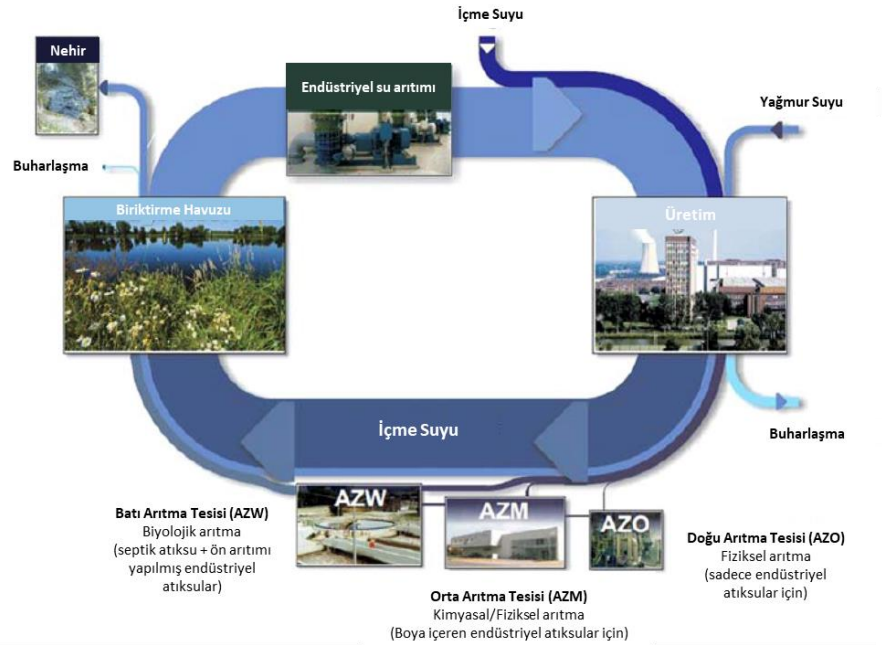
kuyulardan ve Harz bölgesindeki kaynaklardan sağlanmaktadır. Her yıl 23 milyon m³ endüstriyel kullanılmış su geri kazanılmaktadır. Yapılan hesaplamalara göre tesise giren su yaklaşık yedi kere devredildikten sonra deşarj edilmektedir. Su çevriminin şematik gösterimi Şekil 5-74'te görülmektedir.

Her üretim hattının kullanılmış sularının kirlilik içerik ve yükü farklı olduğu için proses çıkışında bir ön arıtma uygulandıktan sonra genel kullanılmış su sistemine verilir. Gövde panelleri üretimi ve boya işleminden çıkan kullanılmış sular fiziko-kimyasal olarak AZM olarak isimlendirilen arıtma tesisine gönderilir. Bu tesiste ana hedef ağır metal giderimidir. Spesifik organik kirleticiler içeren kullanılmış sular MBR sistemi ile arıtılmaktadır. Yağ-gres içerikli kullanılmış sular bir vakum evaporatörü ile arıtılmaktadır. Elde edilen süzüntü suları geri kullanılırken çıkan yağlı konsantreler fabrika içindeki enerji üretim tesisine yönlendirilir. Bu şekilde uygulanan su yönetimi sayesinde hem ekolojik bir yaklaşım sergilenmiş hem de kaynakların verimli kullanılmasına katkı sağlanmış olmaktadır.

Tesisteki su geri kazanım uygulamalarına bir örnekte plastik üzerine krom kaplaması prosesidir. Bu uygulama için plastik üzerine öncelikle kromik asit ve sülfürik asit uygulaması yapılmaktadır. Palladyum ile ön muamele sonrası önce nikel sonra bakır sonra tekrar nikel uygulaması yapılmaktadır. En son aşamada ise 1 µm kalınlığında krom üst tabaka olarak sabitlenmektedir. Her aşamada elektrolit banyoları kullanılmakta ve yıkamalar yapılmaktadır. Bu tip elektro-kaplama prosedürlerinden çıkan kullanılmış sularında öncelik pH ayarlama ve katyon/anyon ve sürfektan giderimidir. Sürfektan giderimi tesiste iyon değiştirici uygulanmaktadır. Bu tip kullanılmış suların tam arıtımı için iyon değiştirici, NF ve aktif karbondan oluşan bir arıtma seçeneği denenmektedir [122].



Şekil 5-73 Fabrika genel görünümü ve depolama havuzu [122]



Şekil 5-74 Wolfsburg Tesisi su geri kazanım aşamaları [122]

d) Seramik endüstrisi

Seramik üretiminde hammadde (kil, kireçtaşı, silika, alümina) ve su yoğun olarak tüketilmektedir. Üretimde oluşan fazladan sır tabakası su ile yıkanarak atık sıra oluşturmaktadır. Atık sır diğer kullanılmış proses suları ile beraber bertaraf edildiğinde ciddi anlamda su ve hammadde kaybına sebep olmaktadır. Atık sır koagülasyon ve flokülasyon ile arıtıldığında oluşan yüksek hacimdeki çamur bertaraf edilir veya düşük kaliteli ürünlerin üretiminde kullanılır. Atık sıranın bir filtrasyon prosesi kullanılarak geri kazanılması ile hammadde ve sudan tasarruf edilecektir (Bohner, 2008). Atık sıranın membran prosesleri ile arıtımındaki ana sorunlar yüksek viskozite ve inorganik içeriğin membran için abrazif yapısıdır. Bu proses için özel üretilen 0,1 µm por açıklığına sahip membranlar ile pilot ölçeğe bir demonstrasyon arıtımı yapılmıştır. Viskozitenin azaltılması adına besleme suyu sıcaklığı 60 °C civarına çıkarılmaktadır. Elde edilen süzüntü suyu doğrudan sır üretiminde kullanılabilir. Geride kalan sır konsantresi de sır üretiminde yeniden kullanılmaktadır. Bu çalışma sonrasında yapılan tesiste kullanılan membranlar ilk etapta soru işaretleri olmasına rağmen halen işletimdedir. Seramik fabrikasında bu geri kazanım aşaması nedeniyle elde edilen tasarruf 180.000-240.000 Euro seviyesindedir. Eskiden atık sıranın arıtılması için kullanılan kimyasallarda artık kullanılmadığı için buradan da tasarruf edilmektedir. Bu noktada elde edilen pozitif kazanımlardan dolayı üretimin diğer bir aşaması olan kil hazırlık prosesinde de benzer bir uygulamaya başlanması hedeflenmektedir [122].

5.5. İçme Suyu Amacı Dışında Geri Kullanım – Yeraltı Suyu Beslemesi

“Yönetilir Akifer Beslemesi: Managed Aquifer Recharge (MAR)” terimi “Topper, vd., 2004” tarafından “bir akiferde su sızması ve

depolanması için oluşturulan herhangi bir sistem” olarak tanımlanmıştır. Bu terim karşılığı olarak “suni besleme: artificial recharge”, “gelişkin besleme: enhanced recharge” ve “su bankacılığı: water banking” [30], “Tuinhof ve Heederik, 2003” tarafından daha geniş anlamda “yönetilir akifer beslemesi ve yeraltı depolaması: managed aquifer recharge and subsurface storage (MAR-SSS)” terimleri kullanılmıştır. “Suni besleme: artificial recharge” teriminin olağan kullanımına karşı, suni: artificial” kelimesinin çoğunlukla bir “olumsuzluk, eksiklik, hafiflik” gibi algılanması nedeniyle “Yönetilir Akifer Beslemesi: Managed Aquifer Recharge (MAR)” teriminin kullanımı yaygınlaşmıştır [30], [33], [28].

Özellikle son yıllara ait literatürde gözlenen yaygın kullanımı nedeniyle, “suni besleme: artificial recharge” terimi yerine bu çalışmada “Yönetilir Akifer Beslemesi: Managed Aquifer Recharge (MAR)” terimi kullanılmaktadır.

Türkiye’de, 1960’lardan itibaren farklı nedenlerle zaman zaman gündeme gelen yönetilir akifer beslemesi – MAR (suni besleme) düşüncesinin hayata geçirilmesi için gerekli ve zorunlu olan koşullar günümüzde mevcut gözükmemektedir. Bunların başında da yaşanan ve özellikle iklim değişimi etkisi altında çok daha şiddetli olarak yaşanılacak olan su gereksiniminin artışı, doğal ve yapay çevreyi koruma bilincinin gelişmekte oluşu ve akifer beslemesi için gereken fazla su potansiyelinin arıtılmış atıksu olarak neredeyse sıfır maliyetle mevcut bulunuşu gelmektedir.

yeraltı suyu rezervi sürekli olarak azaltılan ve verimliliği düşürülen akiferlere (sutaşırlara) MAR teknikleriyle yeniden verimlilik kazandırma metodolojisi, mevcut kuramsal ve uygulamalı çalışmalar çerçevesinde oldukça iyi bilinmektedir. Burada temel sorun, beslemede kullanılacak suyun yeterli kalite ve miktarda sağlanabilmesidir. Günümüzde, bölgede tesis edilmiş ve edilecek olan atıksu arıtma tesislerinden her gün çıkacak olan yüzbinlerce m³ arıtılmış atıksuyun varlığı, hiçbir şekilde

azınsanmayacak ve şimdilik sadece gider kaleminde kalan bir meblağın doğrudan denize deşarjı yerine, daha önce kısaca belirtildiği üzere, hızlı kentleşmenin ve çevresel kullanımların yarattığı sorunların çözümüne çok büyük oranda katkı ve ekonomik girdiler sağlayabilecek olan bir uygulamanın hazır potansiyelini oluşturmaktadır.

MAR tekniklerinin uygulanmasından beklenen ve Tablo 5-13'te gösterilen yararları optimal düzeyde sağlayabilmek için yeraltı beslemesi planlanan bölgede sağlıklı bir hidrojeolojik modelin kurulması zorunludur. Bu hedef doğrultusunda gereken araştırmalar ise ayrıntılı bir hidrojeolojik projelendirme kapsamında yapılacak çalışmalarla gerçekleştirilebilir. Modelin kurulması çerçevesinde, özellikle; bölgesel akifer ortamın jeohidrolik katsayıları ve yeraltı suyu kimyası belirlenmeli, bunların 3B dağılımları haritalanmalı, mevcut tüm kuyuların teknik envanteri çıkartılmalı ve elde edilen bulgular, besleme suyuna ve sosyoekonomik – teknik çevresel faktörlere bağlı diğer verilerle bütünleştirilerek MAR tekniği projelendirilmelidir.

Tablo 5-13 Yeraltı suyu besleme sistemlerinin avantaj ve dezavantajları [6]

Avantajları
• Tüketilen akiferlerin yenilenmesi
• Obruk oluşumunun engellenmesi
• Daha derin akiferlerden su çekilmesi engellemek enerji korunumu
• İhmal edilir düzeyde buharlaşma kaybı
• Düşük ikincil kontaminasyon riski
• Alg patlamasının önüne geçilmesi
• Toprak akifer arıtma sistemi su kalitesini arttırabilir
• Yüzeysel depolama inşasının sebep olabileceği negatif çevresel etkilerin elimine edilmesi
• Yüzeysel depolama yapılabilecek uygun bir yer olmayabilir

• İnşaat, işletme ve bakım maliyetleri yüzeysel su depolama sistemlerine kıyasla daha düşüktür
• Akifer bir dağıtım sistemi gibi davranabilir ve taşıma için ayrıca boru ve kanala ihtiyaç duyulmayabilir.
Dezavatajları
• Kompleks jeokimyasal reaksiyonlar gerçekleşebilir
• Arıtılmış suyun karakteristiğine bağlı olarak adsorplanan kirleticiler bırakılabilir
• Ters osmoz çıkışları kimyasal olarak stabilize edilmelidir.

Yüzey sularının ve arıtılmış atıksuların yeraltında depolanmasıyla elde edilen faydalar aşağıdaki gibidir:

- Tüketilmiş akiferlerden yeniden yararlanılabilirliğin sağlanması,
- Yüzeyde depolamaya göre, atmosferik veya nükleer kökenli tehlikeler ya da bilinçli kirletme karşısında daha güvenilir ve daha kolay korunabilir olması, yüzeysularının herhangi bir nedenle elden çıkması durumunda başvurulacak stratejik önemde tek su kaynağı niteliği taşıması,
- Yeraltı depolama kapasitesinin ve yıllık depolanabilirlik miktarının büyüklüğü,
- Hiçbir zaman bu büyüklüklerde olamayacak yerüstü tesislerinde su depolanması için gereken yer bulma, arazi kaybı, yapım, bakım ve koruma zorlukları ile yüksek maliyet sorunlarının bulunmaması,
- Depolama hacmi ve depolama hızı belki çok daha fazla olabilecek açık su alanları şeklindeki yüzey depolamasında da, yine yerüstü depolama tesislerindeki sorunların yaşanması yanısıra ayrıca olası yeraltı kaçakları ve yeraltı depolamasında ortaya çıkmayacak

olan yaklaşık %60'lar dolayındaki buharlaşma kayıplarının gerçekleşmesi,

- Serbest karakterli akiferlere verilecek besleme suyundaki askı maddelerinin doğal filtrasyonla belli oranda tutulması ve basınçlı karakterdeki akiferlerdeki yeraltı depolamasında yeraltı suyu içinde bakteri yaşamaması nedenleriyle, yeraltına verilecek arıtılmış suda ileri derecede arıtma işlemleri gerçekleştirmeye gerek olmaması ve dolayısıyla arıtma maliyetinin daha düşük tutulabilmesi,
- Su sıcaklığında yerüstü depolamalarında görülen sınır değerler farklılığının oluşmaması ve hatta su sıcaklığının neredeyse her zaman için sabit kalması,
- Beslenen hidrojeolojik ortamın yeraltı yayılımıyla da orantılı olarak talep halinde suyun neredeyse noktasal lokasyonlar bazında ve sanki görünmez bir doğal dağıtım şebekesinden gelmişcesine yeniden elde edilebilmesi,
- Beslemeyle eş zamanlı yeniden kullanım seçeneği yanı sıra istenilen herhangi bir zaman için de kullanılabilir bir su potansiyeline sahip olunulması.

Yeraltı suyu beslemesi yapılması ile yeraltı su seviyesinin yükselmesi ile elde edilen faydalar aşağıda anlatılmaktadır.

- Bölgesindeki yeraltı su düzeyinin düşürülmesine bağlı olarak askıda (yeraltı su düzeyi üzerinde) kalmış ve terkedilmiş su kuyularının kısmen de olsa yeniden kullanılabilirliğinin sağlanması,
- Yeraltı suyu üretim kuyularından daha düşük derinliklerde su çekilebilecek olması nedeniyle pompa ve kuyu donanımları yanı sıra pompaj giderlerinin azalması,
- Zorlanmış akiferlerdeki üretim koşullarına göre çok daha kolaylıkla, daha iyi miktar ve kalitede yeraltı suyu sağlanması nedeniyle, özellikle temin ve arıtma

konusunda yaşanan sıkıntılardan ile harcamalardan büyük oranda kurtulunması,

- Bir yandan aşırı pompaja gerek olmaması, diğer yandan yükselen yeraltı su düzeyi nedeniyle, bugüne kadar kara içlerine ilerlemiş olan denizsuyu girişim zonu üzerindeki hidrolik basıncın arttırılmasıyla tuzlanma zonunun deniz tarafına geriletebilmesinin sağlanmasıyla tuzlanmış alanların yeniden kazanılması ve dolayısıyla bölgesindeki kuyu bakım-onarım ve arıtma giderlerinin azalması.
- Yeraltı su düzeyinin düşmesi sonunda yapılarda oturma ve zeminde çökme görülen veya olasılığı bulunan bölgelerdeki sakıncalı durumların daha tehlikeli boyutlara ulaşmasının büyük oranda önüne geçilmesi,
- Özel jeolojik ortamlardaki yeraltı su düzeyi alçalımına bağlı olarak ortaya çıkan obruk gelişiminin geriletilmesi ve hatta önlenmesi,
- Doğal ve/veya antropojen nedenlerle beslenemeyerek yokolma tehdidi yaşayan sulak ve ekolojik alanların yeniden kazanılması.

Yüzey sularının ve arıtılmış atıksuların yeraltında depolanması ile yeraltı suyu rezervinve yaşanacak artmaya bağlı faydalar aşağıda sıralanmıştır:

- Bölgeye, çeşitli amaçlar doğrultusunda kullanılabilir nitelikte bir ek su potansiyeli kazandırılması ve en azından bu miktar kadar yüksek kaliteli ve maliyetli suyun da ihtiyaç duyulan diğer konulara ve alanlara tahsis edilebilme olanağının yaratılması,
- Yıllık besleme miktarının, yıllık kullanım miktarının üzerine çıkartılabilmesiyle, akiferin tüm depolama kapasitesinden yararlanılabilmesi ve her zaman kullanıma hazır bir su rezervinin sürekli olarak elde bulundurulabilmesi,

- Kıyı kesimlerinde tuzlanmaya neden olan aşırı pompajın, yeraltında oluşturulacak ek su potansiyeli nedeniyle yükselen yeraltı su düzeyine bağlı olarak büyük oranda önüne geçilmesi.

MAR yapılması ile yeraltı suyu kalitesinde de değişim gözlenebilecektir. Gözlenmesi muhtemel değişimlerin faydaları aşağıdaki gibidir:

- Yeraltının sürekli beslenmesi sonunda yeraltı suyu tuzluluğunun ya da yeraltındaki herhangi bir kirleticinin konsantrasyonunun giderek azaltılması,
- Suyun yeraltında hareketi sırasında gerçekleşen filtrasyon, biyotransformasyon, adsorpsiyon ve hidroliz olaylarıyla kalitesinde iyileşme olması ve özellikle biyodegradasyon neticesinde organik madde ve azot konsantrasyonunda azalma, yeraltında alg oluşumunun gerçekleşmemesi ve yeraltı suyunda ikincil kontaminasyon riskinin düşük bulunması.

Gruplandırılmış olan yararların yanı sıra bu konuda gerçekleştirilecek teknik girişimler sonrası ayrıca aşağıda sıralanmış hususlarda da ek yarar sağlanılabilecektir:

- Yeraltı suyunu “Kullanma” amacı doğrultusunda; farklı tür su gereksinimleri için bir ek su potansiyeli oluşturulacak, ayrıca yüksek maliyetli kaliteli su kullanımı azaltılacak,
- Yeraltı suyunu “Koruma” amacı doğrultusunda; doğal (yağıştan beslenmenin yetersiz kaldığı yıl içi dönemlerde yeraltı suyunun beslenememesi nedeniyle rezervinin azalması ve yeraltı su düzeyinin alçalımı) ve antropojen (geçirimli ortamlar üzerindeki yapılaşmış çevre, bilinçsiz ağaç kesimi ve doğal bitki örtüsü tahribiyle erozyonel yüzey koşulları yaratılması, drenaj ağına ve geçirimli ortamlara sıvı-katı atık dökümü ve/veya buralarda kirletici tesis inşaatı, yeraltı suyunun beslenme

kapasitesinden fazla tüketilmesi, vb. nedenlerle yeraltı suyu besleniminin ve su kalitesinin bozulması) nedenlere bağlı sorunlar geiderilebilecek,

- Yeraltı suyundan “Korunma” amacı doğrultusunda; yeraltı suyu miktarının azalmasından ve/veya kalitesinin bozulmasından kaynaklanan doğal ve antropojenik (denizsuyu girişiyle yeraltı suyunun tuzlanması, yapılaşmış çevrenin bulunduğu serbest taneli hidrojeolojik ortamlarda zemin çökmesi, çökme obrukları oluşumu, sulak alanların kuruması) etkenlerin genellikle birlikte oluşturduğu risk olgu ve olaylarına çözümlenebilecek,
- Bölgesel su kullanımında yeni olanaklar yaratılabilecek ve mevcut su dağıtım sistemleri çeşitlendirilebilecek,
- Besleme öncesi yapılması zorunlu ayrıntılı hidrojeolojik araştırmalar kapsamında sağlanacak veriler, bir çok başka amaç için de kullanıma her an hazır bulunacak,
- Hidrojeolojik araştırma sırasında oluşturulacak teknik envanterlerde yer alan kirlетici kaynak unsurlarının, kirlenme boyutlarının yayılımlarının, bölgedeki kaçak su kullanımının, mevcut su üretim yapılarının, vb. saptanması sonunda gereken yasal – idari – teknik önlemler ve yaptırımlar hayata geçirilebilecektir.

MAR teknikleri çeşitli amaçlara (daha sonra kullanılmak üzere akiferlerde su depolama – üretimde yeraltı suyundan yararlanma süresinin arttırılması, kuraklığa karşı bir yedek potansiyel oluşturma – arz talep dalgalanmalarının yumuşatılması, buharlaşmaya bağlı depolama kayıplarının azaltma, su kalitesini iyileştirme, fazla yağmur suyu depolama, tuzlusu girişimini yönetme, zemin çökmelerini önleme, vb.) hizmet edebilir [27], [34]. Bu tür kullanımlar için MAR teknikleriyle farklı tür suların (akarsular, yüzeyden akışlar, depolama barajlardan – su kemerlerinden ve diğer benzeri yapılardan alınabilir sular, içme suyu arıtma tesisleri suyu, desalinazasyon tesisleri suyu, atıksu

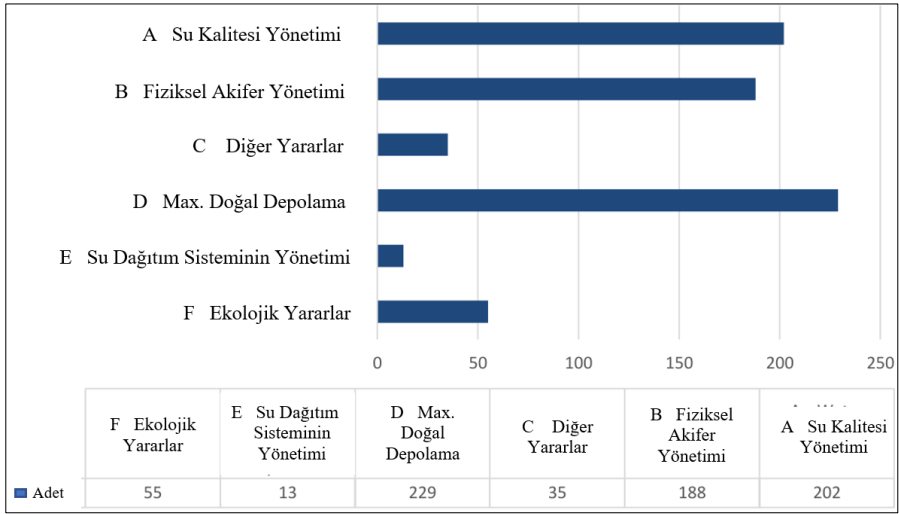
arıtma tesisleri suyu, vb.) depolanmasından yararlanılabilir [38], [27], [25].

MAR teknikleri literatürde iyi sınıflandırılmış, izleyen şekilde gösterildiği ve ayrı alt bölümler halinde açıklandığı üzere 14 ana MAR tekniği tanımlanmıştır [27]. Bu ana teknikler ayrıntıda daha alt tiplere de bölünebilmektedir. Örneğin “besleme barajları” ana tekniği; boyutları ve malzeme bileşimleri farklı olabilen vadi barajları, kontrol barajları, geçirgen barajlar ve gabionlar gibi alt bölümlere de ayrılabilir.

Amaç	Ana Teknik Grup	Ana Teknik	
Öncelikle Suyun Sızdırılmasına Yönelik Teknikler (Techniques Referring Primarily to Getting Water Infiltrated)	Yüzeyde Yayarak Besleme Yöntemleri (Spreading Methods)	Sızdırma Havuzu, Havzası (Infiltration Ponds&Basins)	
		Taşırma, Sellendirme (Flooding)	
		Sızdırma Arkı, Karıkı, Dreni (Ditch, Furrow, Drains)	
		Aşırı Sulama (Irrigation)	
	Etkilenen Islak Yüzey Sızdırması (Induced Bank Infiltration)		
	Delgilerle Besleme Yöntemleri (Well, Shaft and Borehole Recharge)	Derin Kuyu Enjeksiyonu (Deep Well Injection)	AS(TR) (Akifer Besleme ve Uzak Üretim) (Aquifer Storage Transfer and Recovery)
ASR (Akifer Besleme - Üretim) (Aquifer Storage and Recovery)			
Sığ Kuyu, Şaft, Çukur Sızdırması (Shallow Well, Shaft, Pit Infiltration)			
Öncelikle Suyun Tutulmasına Yönelik Teknikler (Techniques Referring Primarily to Intercepting the Water)	Tutma Yapılarıyla Besleme Yöntemleri (In-channel Modifications)	Besleme Barajları (Recharge Dams)	
		Yeraltı Barajları (Subsurface Dams)	
		Kum Barajları (Sand Dams)	
		Kanal Düzenleme (Channel Spreading)	
	Yüzey Akışı Toplamayla Besleme Yöntemleri (Runoff Harvesting)	Set ve Engel Oluşturma (Barries and Bunds)	
		Hendek Oluşturma (Trenches)	

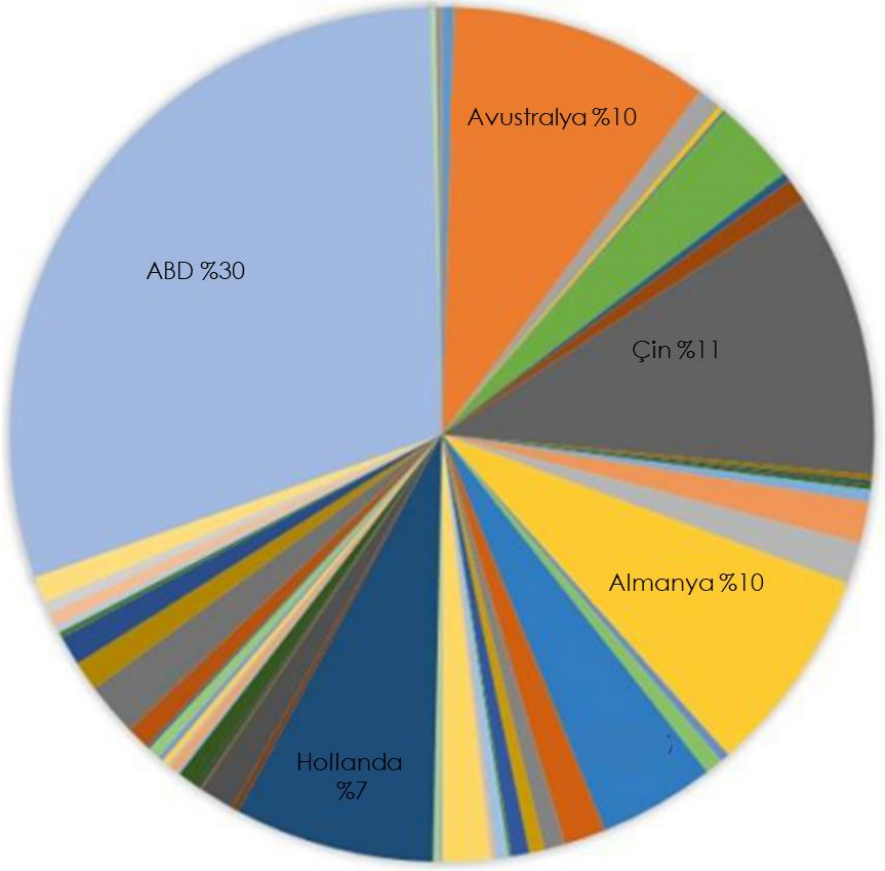
Şekil 5-75 Başlıca MAR teknikleri [27].

MAR tekniklerinin geçerli kılındığı dünya genelindeki 722 farklı uygulamanın odaklandığı amaçlar izleyen şekildeki gibi 6 farklı kategoride değerlendirildiğinde bunların 229'unun “doğal depolanma artırımı”, 202'sinin “su kalitesi yönetimi” ve 188'inin de “fiziksel akifer yönetimi” amacıyla gerçekleştirildiği görülmüştür [28].

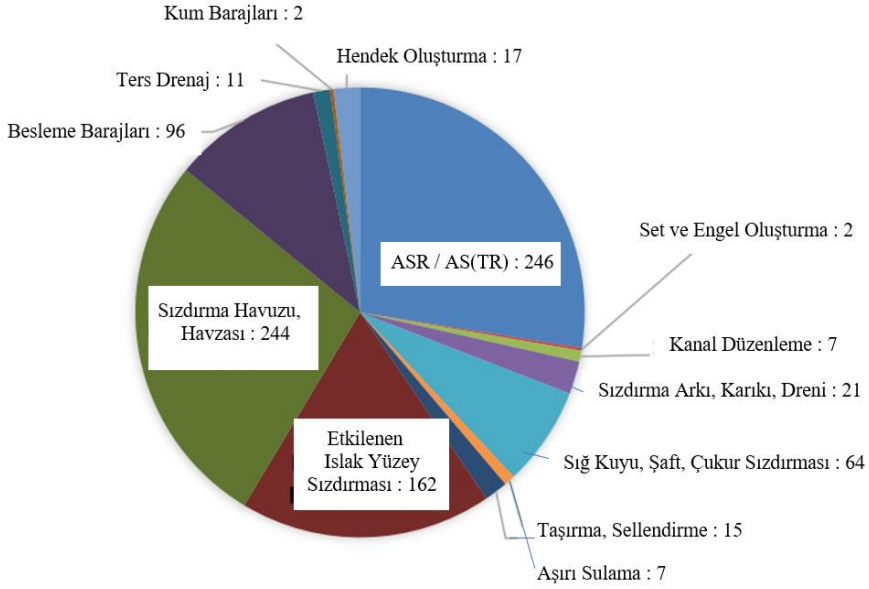


Şekil 5-76 Dünya'da gerçekleştirilen MAR uygulamalarının amaçlarına göre dağılımı, Ref. [28].

MAR tekniklerinin uygulandığı 894 projenin gerçekleştirildiği 56 ülke genelindeki dağılımı ve uygulanan MAR tekniklerinin Küresel MAR Projeleri Veritabanı'na göre yaygınlığı, izleyen daire diyagramları üzerinde gösterilmiş, sonrasında da ayrı alt bölüm başlıkları altında MAR tekniklerinin açıklaması yapılmıştır [28].



Şekil 5-77 Dünya çapında MAR uygulamalarının ülkelere göre dağılımı



Şekil 5-78 MAR tekniklerinin uygulanma dağılımı

5.1.1.1. Dan Bölgesi, İsrail, Yeraltı Suyu Besleme Projesi

İsrail'in toplam su ihtiyacı 1800 Mm³/yıl olup mevcut su kaynaklarıyla karşılanamayacak düzeydedir. Bu nedenle, ihtiyacı azaltmak maksadıyla kullanılmış sular önemli oranda sulama amacıyla kullanılmaktadır. Tel Aviv'de oluşan kullanılmış sular (130 Mm³/yıl) arıtıldıktan sonra akifer beslemesinde kullanılmakta olup bu besleme sırasında da ilave arıtım gerçekleşmektedir. Daha sonra sular yer altından çekilerek borularla San Bölgesi ve Negev Çölü'ne taşınarak sulamada kullanılmaktadır.

Dan Bölgesi Su Geri Kazanım projesi (Shaftan) İsrail'de ki en büyük kullanılmış su arıtma ve geri kazanım projesidir. Proje kapsamında geniş kapsamlı bir izleme yapılarak su geri kazanımının güvenli olmasına çalışılmıştır. İsrail yarı kurak bir bölgede bulunmakta olup, bu durum değişmeyecektir. Nüfus artışı ve gelişme ile birlikte artık mevcut su kaynakları yeterli

gelmemektedir. İsrail’de bu sorunun çözülmesi maksadıyla kullanılan stratejiler ise;

- Su tasarruf tedbirleri,
- Acı ve deniz suyu desalinasyonu,
- Kullanılmış su geri kazanımı,
- Acı su ile sulama,
- Yağmur suyu depolama,
- Bulut aşılama.

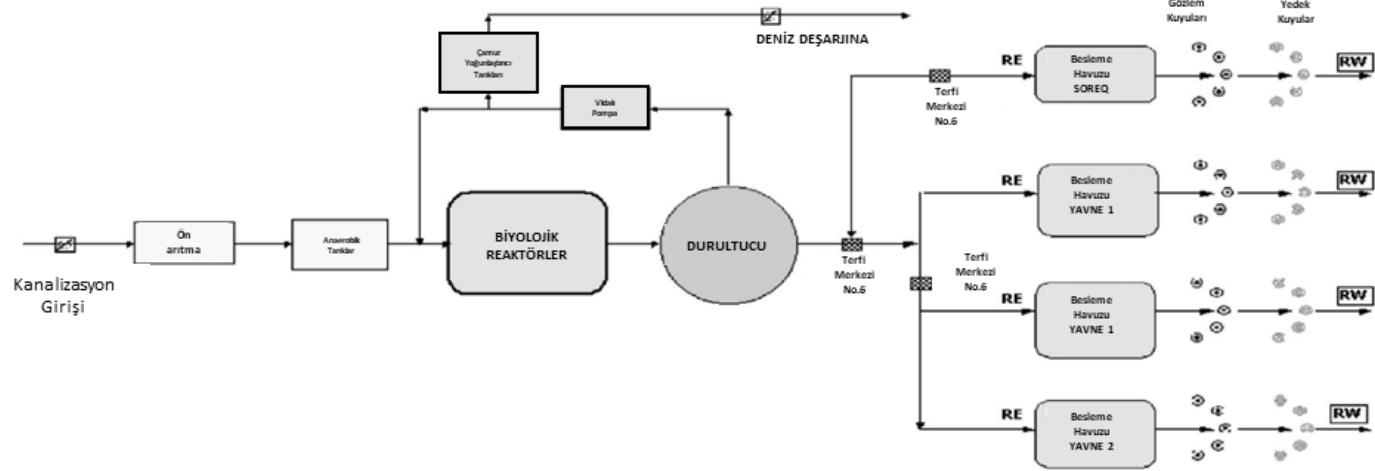
Böylece su için alternatif kaynaklar geliştirilmektedir. 2003 yılı itibariyle İsrail’de nüfusun %95’ine kanalizasyon hizmeti verilmekte olup, kullanılmış suların da %80’i kullanılmış su arıtma tesislerinde arıtılmaktadır. Kullanılmış suların %80 ve üzeri bir oranda geri kullanıldığı bilinmektedir. Farklı standartlar kapsamında arıtılmış kullanılmış sular; sulama, endüstriyel, rekreasyonel kullanım gibi amaçlarla yeniden kullanılmakta olup, içme suyu kalitesindeki su üzerindeki baskı azaltılmakta ve bu su halk kullanımına (içme ve kullanma maksatlı) sunulmaktadır [92].

Dan Bölgesi Projesi temel olarak kullanılmış su arıtma tesisi ve SAT (Soil Aquifer Treatment) sistemi ile dağıtım sisteminden meydana gelmektedir. Büyük Tel Aviv bölgesinde 220 km² ve 1,9 milyon eş değer nüfusunda toplanan su Dan Bölgesi kullanılmış su arıtma tesisinde arıtılmaktadır. Aktif çamur prosesi kullanılarak her gün 300.000-360.000 m³/gün kullanılmış su arıtılmaktadır. Bu tüm ülkenin toplam kentsel kullanılmış suyunun üçte veya dörtte birine tekabül etmektedir.

Dan Bölgesi’nde toplanan kullanılmış suların %90’ı evsel, %10’u ise endüstriyel kullanılmış su dur. Tipik olarak 430 mg/L BOİ, 1063 mg/L KOİ ve 380 mg/L AKM içermekte olup, toplam azot konsantrasyonu ise 63 mg/L dir. Şekil 5-79’da Dan kullanılmış su geri kazanım projesi şematik olarak gösterilmektedir. Arıtma tesisi; ön arıtım (ızgara, kum tutucu ve yağ tutucu), anaerobik

selektörler (ipliksi bakteri kontrolü ve P giderimi), dört adet 55.000 m³ ve 36 adet Mammoth motorlarda donatılmış havalandırma havuzları, 12 adet 53 m çapında son çöktürme tanklarından oluşmaktadır. Ön çöktürme kullanılmamaktadır. Havalandırma tankları değişikli olarak aerobik ve anoksik olarak kullanılabilir. Böylelikle eş zamanlı olarak karbon, azot ve fosfor giderimi mümkündür. Arıtma prosesiyle %97 AKM giderilerek çıkış konsantrasyonu 9 mg/L'ye düşürülmekte, %98 BOİ giderimiyle 8 mg/L'ye ve amonyum da %80 giderimle 6 mg/L'ye düşürülmektedir. Çıkış suyu iki adet 54 inç boruyla 10 km uzaklıktaki 4 adet SAT besleme havuzuna iletilmektedir.

Sızdırma havuzlarının 300-1500 m uzağına yerleştirilmiş yaklaşık 100 geri kazanım kuyusu yeraltı suyunu 100-200 m den pompalamaktadır. SAT sistemi su kalitesini iyileştirmekle birlikte mevsimsel ve çok yıllık su depolama alanı olarak da hizmet etmektedir. SAT sisteminden geri kazanılan su oldukça yüksek kalitede olup, sınırlama olmaksızın sulamada kullanılabilir.



Şekil 5-79 Dan Bölgesi su geri kazanım projesi



Şekil 5-80 Dan Bölgesi su geri kazanım tesisi

SAT sistemi çıkışında sular tek bir boru ile 87 km uzunluğunda bir boru ile ülkenin güney kısmına verilmekte ve burada sınırlama olmaksızın sulamada kullanılmaktadır. Bu su sulamada kullanıldığında, mevsimsel değişiklikler de dikkate alınarak su temini regülasyona bağlanmalıdır. Bu amaçla bir çok lokal depolama rezervuarları kurulmuş olup, toplam hacmi 10 Mm³'dür.

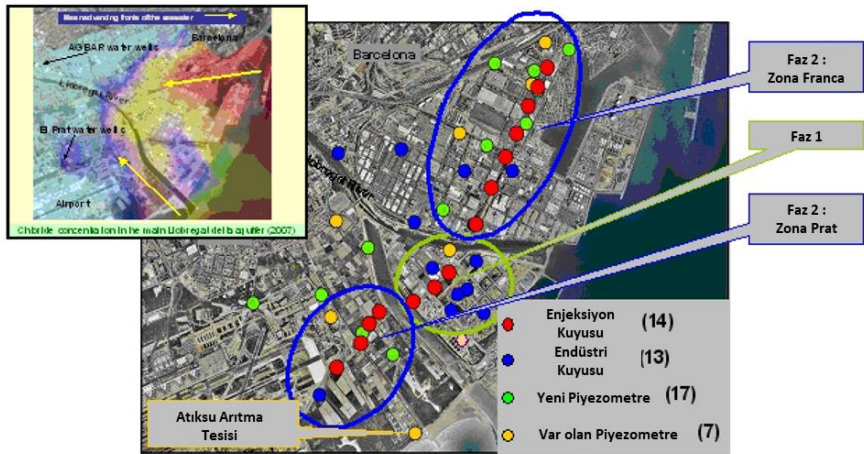
Sonuç olarak Dan Bölgesi Su Geri Kazanım Projesi; İsrail'deki en önemli su geri kazanım projesidir. Özellikle yüksek kalitede su üretilerek sulamada kullanılabilmektedir. Bu tür projelerde sulama ihtiyacının yarısının kullanılmış sulardan sağlanmasına çalışılmaktadır.

5.1.1.2. Llobregat akiferinde deniz suyu girişiminin yeraltısuyla beslenmesi ile engellenmesi

1960'lardan beri Llobregat Deltası (Barselona, İspanya) akiferi deniz suyu girişiminden etkilenmektedir. Katalan Su Ajansı arıtılmış kullanılmış sular ile yeraltı suyu beslemesi yaparak bu girişimin etkilerini önemli derecede azaltabilmiştir. Arıtılmış kullanılmış sular açılan 14 kuyu ile akifere beslenerek pozitif bir

hidrolik bariyer oluşturulmaktadır. Bu proje İşpanya'da bu kapsamdaki ilk proje olma özelliğine sahiptir. Kuyulardan arıtılmış kullanılmış suyun verilmesiyle sahilin hemen yakınında yeraltısuyunun yükselmesi sağlanarak deniz suyu girişimi engellenmektedir. Arıtılmış kullanılmış su Baix Llobregat Atıksu Arıtma Tesisi'nden gelmektedir. Bu tesiste kullanılmış su biyolojik arıtma, ultrafiltrasyon, ters osmoz ve dezenfeksiyon aşamalarından oluşmaktadır.

Llobregat Deltası akiferi daha çok kentsel ve sanayi suyu ihtiyaını karşılamak için kullanılmaktadır. Akiferden yıllık su çekimi 54 hm³/yıl olup bu 1970'lerde 100 hm³/yıl civarında olduğu belirtilmiştir [142]. Fakat yeraltı suyunun bozulmaması için çekilmesi gereken debi ise yaklaşık 40 hm³/yıl dır. Enjeksiyon kuyuları ve izleme kuyularının yerleri aşağdaki şekilde verilmiş olup, proses oldukça başarılı bir şekilde işletilmektedir.



Şekil 5-81 Llobregat akiferinde deniz suyu girişiminin yeraltı suyu beslenmesi ile engellenmesi [142]

Proje iki safhada gerçekeştirilmiştir. İlk safha 2007 yılının Mart ayında başlamış olup, 4 enjeksiyon kuyusuyla 2400 m³/gün su beslenmiştir. 2010 yılından sonra ise 11 enjeksiyon kuyusuyla

15.000 m³/gün su yeraltına beslenmektedir. Uzaktan kontrol veri sistemi ile 17 spesifik noktada piyezometre, sıcaklık ve elektriksel yük değerleri belirlenmektedir. Projenin toplam maliyeti 23 milyon Avro olup, işletme maliyeti 0,28 Avro/m³-enjekte edilen su dur.

5.1.1.3. Torreele Su Geri Kazanım Tesisi

Tesiste ikincil arıtmıdan geçmiş kullanılmış sular indirekt içme suyu olarak kullanılmak üzere arıtılmaktadır. Arıtılmış su, kum bir akifere verilmektedir. Tesiste Ultrafiltrasyon (ZeeWeed) ve ters osmoz prosesleri kullanılmaktadır. Ters osmoz membranları olarak acısu düşük-enerjili ters osmoz membranları kullanılmaktadır. Çıkış suları yeraltı suyunu beslemek amacıyla kumlu akifere verilmektedir. Tesis Temmuz 2002'den itibaren işletimde olup, yeri Şekil 5-82'de sunulmuştur.



Şekil 5-82 Torreele Su Geri Kazanım Tesisi'nin Yeri

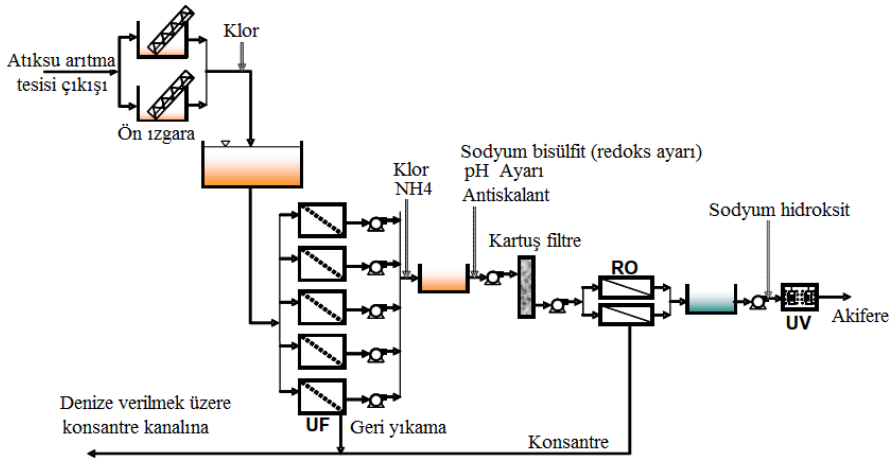
Tesiste ikincil arıtmıdan geçmiş suların geri kazanımı amacıyla UF ve TO prosesleri kullanılmakta olup, çıkış suları serbest yüzeyli bir akifere verilmektedir. Akifere verilen su için bekleme zamanı 30 gün ile 5 yıl arasında değişmekte olup verilen suyun %50'si 55 gün içinde tekrar alınmaktadır. Bu akifer işletme

yönetimi 2002'den itibaren sürdürülmekte olup hem sürdürülebilir akifer yönetimi amaçlanmış hem de yüksek kaliteli su üretilmektedir. Tesisin akım şeması Şekil 5-83'te verilmiştir.

Wulpen Atıksu Arıtma Tesisi 1987 yılında kurulmuş olup, organik madde ve askıda katı madde giderimi amaçlanmıştır. 1994 yılında tesis genişletilerek nütrient arıtımı da ilave edilmiştir.

Tesise su getiren kullanılmış su kanalı birleşik bir sistem olup tesiste mekanik arıtma amacıyla 2 kademeli ızgara, kum tutucu ve dikdörtgen bir çöktürme tankı kullanılmaktadır. Biyolojik proses klasik bir düşük yüklemeli sistem olup ödenitrifikasyon-aktif çamur sistemidir. Fosfor kimyasal çöktürme ile giderilmektedir. Tesis çıkış suyu ise Torreele Tesisi'ne cazibe ile alınmaktadır. Çıkış suyu deposuna alınmadan önce su 1 mm aralıklı bir ön-ızgaradan geçirilmektedir. Tesisin Temiz su kapasitesi yaklaşık 7.000 m³/gün'dür. Biyolojik büyümeyi kontrol altında tutabilmek için klor ilave edilmektedir.

Çıkış rezervuarından su, birbirine paralel beş ultrafiltrasyon tesisine alınmaktadır. UF olarak ZeeWeed® modülleri (ZENON, ZW500C) kullanılmakta olup maksimum akısı 36 LMH'dir. Filtrasyon zamanı 480-600 saniye, geri yıkama ise 30 saniyedir. Her bir 30-35 geri yıkamadan sonra klor ile geri yıkama yapılmaktadır. UF çıkış suyu kloraminlendikten sonra TO prosesine verilmektedir. TO tesisinde hem çökelti önleyici hem de sülfürik asit ilave edilmektedir. Ayrıca NaHSO₃'de sisteme verilmektedir. TO tesisinden önce su 15 µm'lik bir kartuş filtreden geçmektedir. TO tesisi düşük enerjili DOW membranlardan (BW30 LE-440) meydana gelmekte olup, 2/1 konfigürasyonu kullanılmaktadır. Ortalama su geri kazanım oranı %77 ve tasarım akısı maksimum 20 LMH'dir. Aşağıda Tablo 5-14'te tesisle ilgili diğer bilgiler sunulmuştur.



Şekil 5-83 Torreele Su Geri Kazanım Tesisi akım şeması [143]

Tablo 5-14 Torreele Su Geri Kazanım Tesisi tanıtımı [143]

Proje amacı	Akiferin sürdürülebilir yönetimi için geliştirilmiştir.
Proje durumu	Temmuz 2002 yılından beri işletilmektedir.
İnfiltrasyon kapasitesi	2.500.000 m ³ /yıl
Su kaynağı	AAT ikincil çıkış suyu
Besleme metodu	Açık infiltrasyon havuzu, 18.200 m ²
Ekstraksiyon metodu	112 adet kuyu. Filtre elemanları yüzeyden 8 ve 122 m aşağıdadır.
Ekstraksiyon kapasitesi	3.500.000 m ³ /yıl
Dezenfeksiyon	Dağıtımdan önce UV
Membranlar	UF: Zenon ZW500C, 15.600 m ² , maksimum akı 36 LMH RO: Dow BW30 LE-440, 15.744 m ² , maksimum akı 20 LMH
Geri kazanım	UF minimum %87 RO minimum %75

Ters osmoz tesisinde m³ su üretimi için enerji gereksinimi 0,555 kWh'dir. Ters osmoz membranları üzerinde yapılan otopside alüminyum silikat çökelekleri tespit edilmiş ve kloraminlerin membran yapısına zarar vermediği görülmüştür. Tesis çıkış suyu kalitesi Tablo 5-15'te verilmiştir.

UF ve TO prosesinin ikisi de konsantre ürettiği için, önemli bir hacimdeki su deşarj edilmektedir. Oluşan tüm konsantratin yaklaşık %35'i UF geri yıkama suları, %65'i ise TO konsantresidir. Oluşan tüm konsantrat yakındaki bir kanala verilmekte ve kanaldan da denize taşınmaktadır. Fakat oluşan konsantratin deşarjı/bertarafı için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla yapay sulak alan ve bitki sulama alternatifleri pilot çalışmalarda denenmiştir. Pilot ölçekli sazlık sulamada, bitkilerin tuza yeterli toleransı olmadığı belirlendikten sonra söğüt sulamada kullanılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır. Sulamadan sonra sudan organik madde, askıda katı madde, azot ve fosfat giderilebileceği belirlenmiştir. Böylece konsantrattan üretilen biyokütlenin ısınma ve enerji üretiminde kullanılabileceği belirtilmiştir.

Tablo 5-15 Torreele Su Geri Kazanım Tesisi su kalitesi [143]

Parametreler	Birim	UF Filtrasyon	RO Filtrasyon	İnfiltrasyon Suyu
Elektriksel İletkenlik	µS/cm	1211 (364-1735)	25 (5-54)	45 (<10-89)
pH	-	7.98 (6.94-8.33)	5.51 (4.96-6.00)	6.29 (5.28-6.86)
Toplam Organik Karbon (TOK)	mg/L	10.4 (6.8-12.8)	0.3 (0.1-1.1)	0.4 (0.1-1.11)
Toplam Sertlik	CaCO ₃ mg/L	28 (11-40)	< 0.5	< 0.5
Klorür	mg/L	220 (53-360)	5.1 (1.2-18)	3.2 (1.0-4.7)
Florür	mg/L	0.17 (0.08-0.53)	< 0.2	< 0.2
Sülfat	mg/L	75 (31-109)	14 (0.1-5)	< 1
Nitrat	mg NO ₃ /L	19 (6-32)	2.2 (0.1-5)	2.5 (< 1-6.3)
Amonyum	mg NH ₄ /L	1.9 (0.07-4.2)	< 0.1	0.13 (0.03-0.38)
Fosfat	mg PO ₄ /L	19.4 (6.9-26)	0.4 (0.07-1.1)	< 0.1
Silisyum	mg SiO ₂ /L			0.3 (0.1-0.4)

Parametreler	Birim	UF Filtrasyon	RO Filtrasyon	İnfiltrasyon Suyu
Toplam THM	µg/L			3.8 (1.2-6.7)
Alüminyum	µg/L	65 (19-128)	2.6 (0.6-21)	12 (2-59)
Krom	µg/L	1.8 (0.5-5)	< 10	< 2.5
Bakır	µg/L	32 (15-52)	< 20	< 5
Demir	µg/L	44 (16-91)	< 20	< 75
Kurşun	µg/L	2.6 (1-10)	< 20	< 5
Mangan	µg/L	155 (35-236)	< 5	< 10
Civa	µg/L	16 (7-32)	< 20	< 0.2
Nikel	µg/L		3.7 (1.4-6.4)	< 3
Sodyum	µg/L		< 20	10.5 (4.5-17.7)
Çinko	µg/L			< 20
Toplam Koliform Bakteri	sayı/100 mL	0-2	0	0
E. Coli	sayı/100 mL	0	0	0
HPC 22°C	sayı/100 mL	22 (2-80)	2 (0-20)	< 1 (0-10)

5.1.1.4. Ulu Pandan NEWater Plant

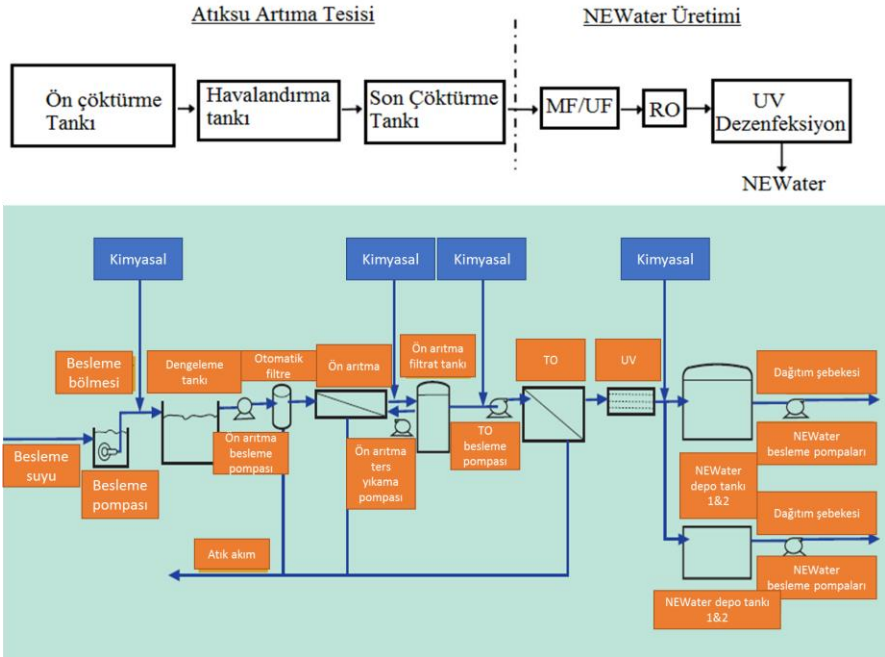
Keppel Seghers Ulu Pandan NEWater tesisi Singapur'da kurulan dördüncü NEWater tesisi olup 148.000 m³/gün kapasiteye sahiptir. Tesisin yeri Şekil 5-84'te gösterilmiştir. Kurulan tesisin kapasitesi kendinden önceki üç NEWater tesis kapasitesinden daha büyüktür. 2005 yılında yapımına başlanmış olup, 15 Mart 2005 tarihinden itibaren işletilmektedir. Tesise üçüncül arıtmıdan geçmiş sular alınarak mikrofiltrasyon ve ters osmoz ve ultraviole deznefeksiyon proseslerinden geçirilerek kullanma suyu (direkt içme suyu olarak kullanılmamakta) üretilmektedir. Böylece özellikle sanayi ihtiyacı karşılanarak mevcut içme suyu üzerindeki baskı da azaltılmıştır. NEWater hali hazırda rezarvuvar suyuyla birleştirilerek konvansiyonel su arıtma tesisine gönderilmekte ve içme suyu üretilmektedir.



Şekil 5-84 Ulu Pandan NEWater Tesisi

Proses akım şeması Şekil 5-85’da sunulmuştur. NEWater ultra temiz su anlamına gelmekte olup atıksu çeşitli membran bariyerlerinden ve dezenfeksiyon adımlarından geçmektedir.

- Mikro/ultrafiltrasyon
- Ters-osmoz
- Ultraviole dezenfeksiyon



Şekil 5-85 Ulu Pandan NEWater Tesisi proses akım şeması

Tablo 5-16'da ise temiz su üretimi amacıyla kullanılan atıksuyun özellikleri verilmiştir. Biyolojik arıtmadan ve sonrasında da mikrofiltrasyondan geçmiş atıksu özellikleri ise Tablo 5-17'de verilmiştir. Çıkış suyu direkt olarak ters osmoz prosesine beslenmektedir. Özellikle elektronik sanayiye su sağlanması durumunda TOK önem kazanmakta olup TO prosesine giren suyun TOK konsantrasyonu 6,8-6,9 mg/L civarında olup Ulu Pandan NEWater tesisinde TO prosesinde ortalama akı 17 LMH civarındadır. TO tesisi TMP değeri 7-9 bar arasındadır. Ayrıca TO tesis giriş ve çıkış suyu özellikleri sırasıyla Tablo 5-18 ve Tablo 5-19'da sunulmuştur.

Singapur'da kurulan NEWater tesisleri ile kullanma suyunun %40'ı üretilmektedir. Ters osmoz prosesi çıkış suyu TOK konsantrasyonunun değişimi Şekil 5-86'te sunulmuştur. TO prosesinden sonra TOK konsantrasyonu 30-50 ppb mertebesine kadar düşmüştür. Elde edilen başarıdan dolayı yeni tesislerin devreye alınması hedeflenmiş, tesisler Şekil 5-87'da gösterilmiştir.

Tablo 5-16 Ulu Pandan NEWater Tesis detayları

Yeri	61 Old Toh Tuck Road
Alanı	26.000 m ²
Kapasitesi	148.000 m ³ /gün
Proses tipi	
Temel İşlem	Teknoloji
Oto ızgara	Otomatik ızgara / Geri yıkama
Ön arıtım modülleri	Mikro-filtrasyon
RO modülleri	Ters osmoz
UV modülleri	Ultraviyole dezenfeksiyon
Ulu Pandan NEWater Kalitesi	
pH	7,0 – 8,5
Amonyum	<1 mg/L
İletkenlik	<200 µS/cm
Bulanıklık	<2 NTU
TOK	<0,1 mg/L
Toplam bakiye klor	0,5 – 2 mg/L

Tablo 5-17 Ulu Pandan NEWater üretimi amacıyla kullanılan atıksu arıtma tesisi giriş suyu özellikleri

Parametre	Birim	Ortalama değer
KOİ	mg/L	265
çKOİ	mg/L	109
BOİ ₅	mg/L	99
AKM	mg/L	77
TN	mg/L	45
TKN	mg/L	33
NH ₄ ⁺ -N	mg/L	26
TP	mg/L	9,2
Alkalinite	mg/L CaCO ₃	173
pH		7,05

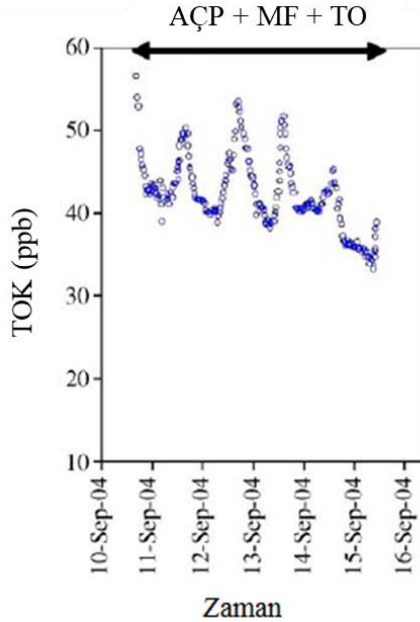
Tablo 5-18 Ulu Pandan NEWater Tesisi biyolojik arıtım+MF proses çıkış sularının (TO besleme) özellikleri

Parametre	Birim	Mikrofiltrasyon çıkışı
NH ₄ ⁺ -N	mg/L	0,97-2,57
NO ₃	mg/L	25,2-42,2
TOK	mg/L	6,8-6,9
pH		6,7-6,8

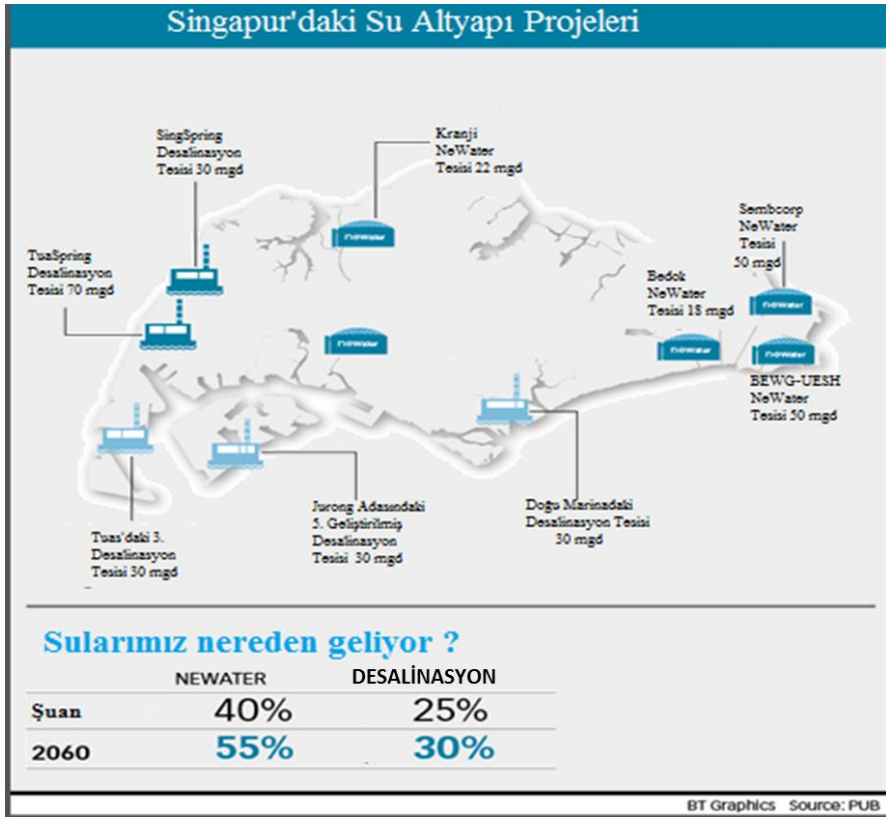
Ulu Pandan tesisinin tasarım kapasitesi 148.000 m³/gün olup, su geri kazanım oranı %75-80 civarındadır. Tesiste 2 mg/L antiskalant kullanılmakta olup, üretilen konsantre içeriği Tablo 5-20'de verilmiştir. 11 Mart 2017 tarihinde tesis TO konsantresine 3. aşama ilave ederek tesis temiz su üretimini 148.000 m³/gün değerinden 162.800 m³/gün değerine yükseltmiştir.

Tablo 5-19 Ulu Pandan NWater Tesisi TO proses performansı ve permeat çıkış suyunun karakterizasyonu

Parametreler	TO Besleme (mg/L)	TO Süzüntü (mg/L)	TO İtme (%)
	ASP-MF-RO	ASP-MF-RO	ASP-MF-RO
NH ₄ -N	1.96-5.54	0.07-0.42	87.7-97.4
B	0.080-0.100	0.059-0.074	24.1-34.7
Ca	24.8-30.0	0.001-0.004	> 99.9
Na	123-169	2.83-3.86	97.6-98.2
F	1.29-1.42	0.012-0.029	98.2-99.3
Cl	146-193	1.51-2.51	98.9-99.1
NO ₃	26.2-60.5	1.62-3.86	94.6-95.3
SO ₄	66.2-71.7	< 0.010-0.034	> 99.9
Sertlik (CaCO ₃)	104-129	0.011-0.018	> 99.9
Toplam Silisyum (SiO ₂)	7.43-8.34	0.140-0.160	98.3-98.4
TDS	575-703	9.8-13.3	98.1-98.6
pH	6.6-6.8	5.4-5.5	-



Şekil 5-86 Ulu Pandan NWater Tesisi TO proses çıkış suyu TOC değerlerinin değişimi



Şekil 5-87 Singapur'da kullanılmış sudan kullanma suyu üreten Ulu Pandan NEWater Tesisi TO proses çıkış suyu üreten tesisler ve kapasiteleri

Tablo 5-20 Ulu Pandan NEWater Tesisi konsantre özellikleri

Parametre	Birim	Değer
pH	-	6,75±0,6
Elektriksel İletkenlik	µS/cm	1574±49
Toplam Çözünmüş Katı	mg/L	1046±28
Toplam Organik Karbon	mg/L	24,3±3,4
PO ₄ ³⁻	mg/L	8,7±4,0
SiO ₂	mg/L	38,9±1,4

Parametre	Birim	Değer
Al ³⁺	mg/L	0,08±0,03
Fe ³⁺	mg/L	0,20±0,02
Bulanıklık	NTU	0,28±0,01
UV ₂₅₄	cm ⁻¹	0,52±0,05
SUVA	L/mg.m	2,01±0,003

5.2. İçme Suyu Amacıyla Geri Kullanım

1980 yılında USEPA "Protokol Geliştirme: İçme Suyu olarak Geri Kazanım ve Uygulanabilir Alternatifler" [144] adı altında bir çalıştay organize etmiştir. Bu çalıştayda kullanılmış suların artık oldukça iyi kalitelere kadar arıtılabildiği ve deşarj etmek yerine geri kazanılması gerektiği, fakat bu geri kazanımın henüz içme suyu olarak kabul göremeyeceği şeklinde bir görüş komite başkanı tarafından paylaşılmıştır. Görüldüğü gibi yaklaşık 35 yıl önce dahi kullanılmış suların içme suyu amacıyla kullanılabilirliği tartışılmış olup, bu kullanımın önündeki en önemli engel ise; arıtılmış suyun kalitesi hakkında bildiklerimizin sınırlı olması şeklinde tanımlanmıştır.

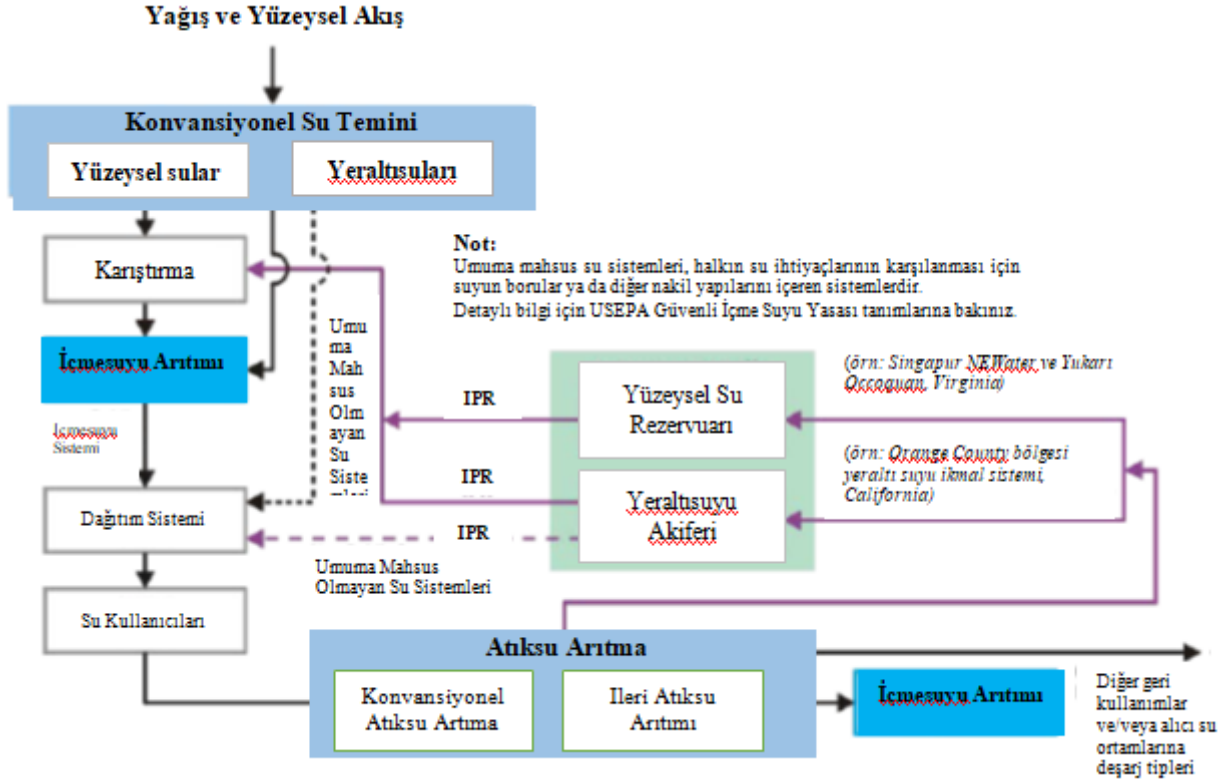
Aradan geçen yıllardan sonra, bakış açımız değişmiştir. 2012 yılında yayınlanan NRC raporu ABD'nin su geri kazanımına tarihi gelişimini paylaşmış olup, bu raporda; geri kazanım her yerde deva değilse bile deşarj edilen kullanılmış su hacmi o kadar fazladır ki ister istemez tüm su kaynakları kapsamında önemli bir rol oynamakta olup, su tasarrufu gibi diğer stratejileri de destekler niteliktedir. Bu raporda tartışılan en önemli konulardan biri direkt ve dolaylı içme suyu olarak kullanım ile planlı veya defakto içme suyu olarak kullanımdır [86].

Kullanılmış suların içme suyu dışında kullanımı yukarıda da kısmen açıklandığı gibi neredeyse tam olarak tanımlanmış ve gerek sistem ve gerekse arıtma teknolojileri bakımından tüm toplum, uygulayıcılar ve düzenleyiciler tarafından kabul

görmüştür. Fakat arıtılmış kullanılmış suların içme suyu kaynağı olarak kullanımının önemli bir potansiyeli olup, toplumların su ihtiyaçlarını karşılamada önemli bir kaynak olsa da arıtılmış kullanılmış suların içme suyu olarak direkt kullanımı (DPR) oldukça sınırlıdır. Fakat plansız veya defakto su geri kazanımı hesaba katılırsa, arıtılmış kullanılmış suların içme suyu kaynakları arasında önemli bir yere sahip olduğu ortaya çıkacaktır. Örnek olarak su kaynağı olarak kullanılan bir nehre memba tarafından bir kullanılmış su deşarjı söz konusu olabilir ve özellikle kurak havalarda deşarj edilen kullanılmış suyun nehir debisindeki oranı daha yüksek olacaktır. Mansap tarafında bu nehrin bir içme suyu arıtma tesisine kaynak olarak kullanılması durumunda plansız bir şekilde kullanılmış suyun içme suyu amacıyla kullanımı gerçekleşecektir. Dolayısıyla, de fakto geri kazanım terimi kullanılmış suların plansız ve dolaylı olarak içme suyu amacıyla kullanımını (IPR) açıklamak üzere kullanılmakta olup bu durum hem planlayıcılar hem de genel halk tarafından da giderek daha fazla anlaşılmaktadır.

Defakto geri kullanıma örnek olarak, Filedelfiya, Sinsinati ve New Orleans içme sularını, sırasıyla, Deleware, Cumberland, Ohio ve Mississippi nehirlerinden çekmektedir. Bu şehirler gibi bir çok şehir plansız içme suyu geri kazanımı yapmakta olup ilgili kuruluşlar müşterilerine uygun arıtma sistemleriyle kriterlere uygun içme suyu sağlamakla mükelleftirler.

Plansız dolaylı içme suyu olarak geri kazanıma ilave olarak, planlı dolaylı içme suyu geri kazanımı amacıyla (IPR) da kullanılmış sular kullanılmaktadır. Bu kullanımlarda ise arıtılmış kullanılmış suların içme suyu amacıyla kullanılan yüzeysel ve yeraltı sularına deşarjı teşvik edilerek, içme suyu kaynağının potansiyeli arttırılmaya çalışılır. Bu kapsamda aşağıdaki Şekil 5-88'da farklı şekillerle planlı olarak dolaylı içme suyu geri kazanımı için spesifik örnekleri sunmaktadır.



Şekil 5-88 Planlı dolaylı içme suyu geri kazanım senaryo ve örnekleri

Her bir durum için planlı dolaylı içme suyu kullanımları aşağıdaki faktörleri içermektedir;

- Diğer kaynakların sınırlı olması veya üretkenliğinin düşük olması,
- Alternatif su kaynakları geliştirmenin pahalı olduğu,
- Bilinçli veya bilinçsiz olarak halkın kabulü,
- Hem ileri kullanılmış su arıtma tesisine hem de kullanılan içme suyu arıtma tesisine güven ve arıtma prosesi üzerindeki etkin kontrol.

IPR'ye ilave olarak, DPR de özellikle son zamanlarda gündeme gelmektedir. DPR için aşağıdaki Şekil 5-89'da incelenebilir. Kullanılmış sular oldukça ileri arıtmadan geçirilip kalitelerinin her zaman içme suyu kriterlerini karşıladıklarından emin olunduktan sonra, içme suyu şebekelerine direkt verilebilmekte veya arıtılan kullanılmış su içme suyu kaynağıyla karıştırılarak içme suyu arıtma tesisinde ilave bir arıtmadan geçmesi sağlanabilir.

Şekil 5-89'da kullanılmış suların içme suyu olarak kullanımına dair iki seçenek bulunmaktadır. İlk seçenekte; arıtılan kullanılmış su tasarlanmış bir depoda bekletilir ve buradan içme suyu arıtma tesisine giden su ile karıştırılır. İkinci seçenekte ise; depolama kullanmadan arıtılan kullanılmış su kullanıcılara dağıtılmak üzere içme suyu sistemine verilir. Birçok farklı uygulama alternatifi de mevcuttur. Örnek olarak; Big Spring, Teksas'ta ileri arıtmadan geçmiş ve kalitesi içme suyunun üzerinde olan kullanılmış sular altı farklı bölgeye su sağlayan içme suyu arıtma tesisi girişine verilmektedir. Bu projede toplam çözünmüş maddesi oldukça düşük olan kullanılmış su arıtma tesisi çıkış suyu, TDS'i oldukça yüksek olan göl suyuyla birleştirilir ve böylece yüzeysel suyun kalitesi arttırılmaktadır.

Bu projede asıl amaç; içme suyu sağlanması için Teksas'ta yüzey ve yeraltı sularına olan bağımlılığı azaltmak olup, Kolorado Nehri Eysel Su İşletmesi yönetimi Big Spring'de yeni bir Ham Su Üretim Tesisi (RWPF) kurmuştur. Big Spring, 27.000 nüfusu olan bir yerleşim yeri olup, Batı Teksas'ta bulunur ve Dallas'a da 200 mil kadar bir mesafededir. Bu RWPF'de kullanılmış su arıtma tesisi çıkış sularını Odesa'da bulunan ve başka yerleşim yerlerine de su veren içme suyu arıtma tesisi girişine verilir. Bu tesiste Şekil 5-89'da görüldüğü gibi mikrofiltrasyon, ters osmoz ve kalan organiklerin giderimi ve ilave dezenfeksiyon için UV oksidasyonu kullanılmaktadır.

Benzer başka bir örnek ise Singapur'da bulunan Ulu Pandan NEWater kullanılmış su arıtma tesisidir. Bu tesis çıkış suları da direkt olarak içme suyu temininde kullanılmaktadır. Keppel Seghers Ulu Pandan NEWater tesisi Singapur'da kurulan dördüncü NEWater tesisi olup, 148.000 m³/gün kapasiteye sahiptir. Kurulan tesisin kapasitesi kendinden önceki üç NEWater tesisin kapasitesinden daha büyüktür. Tesis yapımına 2005 yılında başlanmış olup Mart 2007 tarihinden itibaren işletilmektedir. Tesise üçüncül arıtmadan geçmiş kullanılmış sular alınarak mikrofiltrasyon ve ters osmoz ve ultraviole dezenfeksiyon proseslerinden geçirilerek kullanma suyu (direkt içme suyu olarak kullanılmamakta) üretilmektedir. Böylece özellikle sanayi ihtiyacı karşılanarak mevcut içme suyu üzerindeki baskı da azaltılmıştır. NEWater hali hazırda rezarvuar suyuyla birleştirilerek konvansiyonel su arıtma tesisine gönderilmekte ve içme suyu üretilmektedir.

Bu aşamada tartışılması gereken dört önemli konu vardır; *Halkın algısı, sağlık risklerine yönelik kaygılar, teknik yapılabilirlik ve maliyet*. Kullanılmış suların direkt içme suyu olarak yeniden kullanımı toplumun kabul etmesi bakımından en zor geri kullanım kategorisidir. Toplumda, doğal olarak, insan dışkı

içeren suların nasıl arıtılırlarsa arıtılsınlar kullanımlarına dair bir direnç bulunmaktadır.

Özellikle insanların suyun seyreltilmediği, içindekilerin yeteri kadar giderilmediğine dair inançları varsa, kullanılmış suların içme suyu olarak kabul edilmesine dair isteksizlik vardır. San Diego ve Kaliforniya'da uygun eğitim ve sosyal programlarla ilgili deneyimlere dayanılarak dolaylı içme suyu geri kazanımının başarılabilceği söylenebilir. Dolayısıyla, halkın düşünceleri de bu noktada önemli olmaktadır.

Eser inorganik ve organik bileşenlerin ölçümüne dair analitik tekniklerin son zamanlarda gelişmesi bu bileşenlerin halk sağlığına etkilerine dair bilgilerimizin ilerisindedir. Düşük konsantrasyondaki birçok inorganik ve organik bileşeni artık ölçebiliyor olmamıza rağmen, bu kirleticilerin halk sağlığı üzerindeki etkileri ve özellikle de uzun vadedeki etkileri bilinmemektedir. Dolayısıyla, sularda bulunabilecek düşük konsantrasyondaki kirleticilerin halk sağlığı üzerindeki etkileri tam olarak bilinmeden kullanılmış suların içme suyu olarak kullanımına dair tartışmalar da devam edecektir. Kullanılmış suların direkt içme suyu olarak kullanımlarının %100 güvenli olduklarından tam olarak emin olmak mümkün olamamakla birlikte, eşit riskin geleneksel su sağladığımız sistemlerde ve desalinasyon tesislerinde de olduğunu unutmamak gerekir. Memba tarafında bulunan şehir ve yerleşim yerlerinin deşarjlarının yapıldığı (defakto geri kullanım) geleneksel içme suyu kaynakları üzerine sağlık ve toksikolojik çalışmalar az da olsa yapılmıştır. Aslında, eser miktardaki mikrokirleticiler için duyulan kaygı belki de yersizdir. Benzer durum aslında içme suyu amacıyla kullanılan acısu ve deniz suyu desalinasyon tesisleri için de geçerlidir. Çünkü bu su kaynakları da haliç veya kıyı sularına yapılan deşarjlardan etkilenebilirler. Dolayısıyla, belki de aynı seviyede fakat daha az belirgin risk "saf" deniz suyunun içme

suyu kaynağı olarak kullandığı desalinasyon tesislerinde de vardır.

Kullanılmış suların direkt içme suyu olarak kullanılması durumunda her zaman içilebilecek su üreteceğine dair kullanılan teknolojiye güvenmemiz gerekmektedir. Bu kapsamda, ilgili su otoritelerince içilebilecek su üretebilecek teknolojilerin bilindiğine veya kullanıldığına dair kuşkular her zaman dile getirilmektedir. Bu kapsamda teknolojik kaygıların üstesinden gelinmesi için birden fazla ardı ardına gelen arıtma prosesleri kullanılarak kaygı duyulan kirleticilerin gideriminden emin olunur. Ayrıca, izleme sistemleri de son zamanlarda oldukça gelişmiş olup eş zamanlı izleme teknolojileriyle de kirleticiler izlenebilmekte ve arıtma proseslerine müdahale edilebilmektedir. Bilimsel çalışmalar neticesinde yeni geliştirilen membran ve oksidasyon sistemleri uygulanmakta olup, diğer yeni teknolojilerle birlikte iz miktardaki birçok kirletici tamamen giderilebilmektedir. Günümüz arıtma teknolojileri o kadar gelişmiştir ki; kullanılmış sular içme suyu kriterlerinin de çok üstünde bir seviyeye kadar arıtılabilmektedirler.

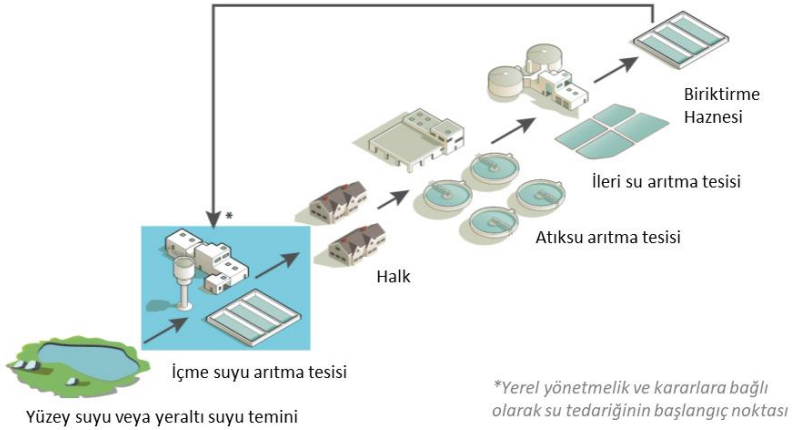
Kullanılmış suların yeniden kullanılması için gereken yüksek kaliteye getirilmesi için kullanılan teknolojilerin gerek yatırım ve gerekse işletme maliyetleri yüksek olabilir. Özellikle arıtılmış suların dağıtımı için gerekli depolama ve borulama sistemleri önemli bir maliyettir. Çoğu durumda iki farklı borulama sisteminin kurulması oldukça pahalı olup geri kazanım uygulamalarını sınırlandırabilir. Direkt içme suyu olarak kullanım alternatifinde mevcut içme suyu dağıtım hatlarında karışım yapılacağı için geri kazanılacak olan suyun taşınım ve iletim maliyetini önemli ölçüde düşürülmektedir. Dolayısıyla, mor şebeke kullanımı belki de kötü bir yatırım olacaktır. Direkt ve dolaylı içme suyu olarak kullanılmış suların geri kazanılması, haliyle kullanılmış suyu da bir su kaynağı haline getirecektir.

5.2.1. Doğrudan içme suyu amaçlı geri kullanım (DPR)

Nüfus artışı, hızlı ve çarpık kentleşme, havza üzerindeki baskılar, kuraklık ve iklim değişikliği gibi global etkiler kıt olan su kaynaklarının giderek azalmasına neden olmaktadır. Bu durumda mevcut nüfusun su ihtiyaçlarının karşılanması için alternatif su kaynaklarının kullanımını zorunlu hale getirmektedir. 2050 yılında dünya nüfusunun %33 kadar artarak 9,2 milyar seviyesine ulaşması bekleniyor [145], [146]. Bu aynı zamanda kentleşme oranının da giderek artması anlamına gelmektedir. Aynı zamanda iklim değişikliği ve iklim değişkenliği ile ilişkili kuraklık ve seller de su kaynaklarına olan baskıyı artırmaktadır [12], [147], [148]. Bu nedenle içme suyu temininde en önemli alternatif kaynaklardan birini kullanılmış sular oluşturmaktadır. Dünyada son yıllarda yaşanan su kıtlığına bağlı olarak kullanılmış suların içme suyu olarak geri kullanımı uygulamaları giderek artmaktadır. 1960'lerde Montebello Forebay'deki [1] dolaylı içme suyu kullanımı (IPR) uygulaması ve 1969'da Windhoek'teki doğrudan içme suyu amaçlı kullanım uygulaması [149] başta olmak üzere Afrika, Asya, Avrupa ve Kuzey Amerika'da çeşitli uygulamalar bulunmaktadır [146]. İçme suyu amaçlı geri kullanım planlarının çoğunluğu 21. yüzyılda geliştirilmiştir ve kısıtlı su kaynakları üzerindeki nüfus ve baskılar artmaya devam ettikçe içilebilir yeniden kullanımın artması beklenmektedir.

Kullanılmış suların içme suyu amaçlı kullanımında doğrudan içme suyu amaçlı geri kullanım (DPR) ve dolaylı içme suyu amaçlı geri kullanım (IPR) olmak üzere temel iki farklı uygulama bulunmaktadır. DPR uygulamaları oldukça sınırlı sayıda olsa da giderek yaygınlaştığı da bir gerçektir. IPR uygulamaları ise ABD başta olmak üzere dünyanın pek çok yerinde 50 yıldan beridir kullanılmaktadır. DPR ve IPR uygulamalarında kullanılmış suların içme suyu olarak geri kullanımı söz konusu olduğundan

halk sağlığının korunması planlama aşamasında dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan birini oluşturmaktadır.



Şekil 5-90 DPR uygulamasının şematik gösterimi [150]

DPR, arıtılmış kullanılmış suyun tasarlanmış bir biriktirme yapısı ya da depo olmaksızın bir çevre tamponuna boşaltılmadan bir doğrudan bir içme suyu kaynağına sokulmasını ifade etmektedir. Arıtılan kullanılmış su, bir içme suyu arıtma tesisinden hemen önce bir nehir, göl, rezervuar veya akiferden ham su ile karıştırılabilir; geleneksel bir içme suyu arıtma tesisinin aşağı akışında arıtılmış su ile harmanlanabilir; veya doğrudan bir içme suyu dağıtım sistemine sokulabilir. IPR ise, arıtılmış kullanılmış suyun içme suyu kaynakları olarak kullanılan su kütlelerine planlı olarak ilave edilmesini temsil eder. Nehirleri, gölleri, rezervuarları ve akiferleri içerebilen su kütleleri, çevresel tamponlar olarak adlandırılır. Bu uygulamada arıtılmış kullanılmış suyun bir kısmı, çevre tamponundan alınır ve içme suyu sağlamak için ileri arıtmaya tabi tutulmaktadır. DPR ve IPR uygulamalarının her ikisinde de kullanılmış suların arıtılması ve içme suyu olarak kullanılmadan önce içme suyu arıtma tesislerinde yeniden arıtılması söz konusu olmaktadır. Yani DPR ve IPR uygulamalarının ikisi de arıtma içermektedir. Aralarındaki en önemli farklılık ise IPR uygulamalarında bir çevresel

tamponun kullanılmasıdır. DPR uygulamalarında kullanılmış sular arıtıldıktan sonra içme suyu arıtma sistemine alınmadan önce belirli oranlarda yüzeysel veya yeraltı sularıyla harmanlanabilmektedir. Daha sonra içme suyu şebeke sistemine verilmektedir. IPR uygulamalarında ise kullanılmış sular arıtıldıktan sonra nehir, göl, dere, baraj ve yeraltı suları gibi içme suyu amacıyla kullanılan bir çevresel tampona verilmektedir. Daha sonra bu su kütlelerinden içme suyu tedariki yapılmakta ve içme suyu arıtma tesislerinde arıtıldıktan sonra içme suyu şebeke sistemine verilmektedir.

1960'lı yıllardan itibaren IPR uygulamaları özellikle su sıkıntısı yaşanan bölgelerde yaygın olarak kullanılmaya başlamış olmasına [4] rağmen son yıllarda ABD başta olmak üzere birçok ülkede DPR uygulamalarının sayısı giderek artmaya başlamıştır [151], [4], [100], [152], [153], [154], [155], [156], [157], [158]. Aşağıdaki Tablo 5-21'de DPR ve IPR uygulama örnekleri sunulmuştur.

Tablo 5-21 Dünya’da uygulanan çeşitli DPR ve IPR örnek uygulamaları [146]

Uygulama Örnekleri	Uygulama türü	Çevresel tampon türü	Kuruluş tarihi	Arıtma prosesleri
Montebello Forebay, Los Angeles County, California, USA	IPR	Yeraltı suyu	1962	Media filtration, SAT, Cl ₂
Old Goreangab plant, Windhoek, Namibia	DPR	-	1969-2002 (yenilendi)	Algae flotation, chemical clarification, media filtration, GAC, Cl ₂
New Goreangab plant, Windhoek, Namibia	DPR	-	2002	O ₃ , DAF, rapid sand filtration, O ₃ , BAC, GAC, UF, Cl ₂
Water Factory 21, Orange County, California, USA (replaced, see below)	IPR	Yeraltı suyu	1976-2004 (yenilendi)	Lime clarification, media filtration, GAC, Cl ₂ RO added 1977, AOP (UV/H ₂ O ₂) added 2001
Groundwater Replenishment System, Orange County, California, USA	IPR	Yeraltı suyu	2008	Cl ₂ , MF, RO, AOP (UV/H ₂ O ₂)
Upper Occoquan Service Authority, Fairfax County, Virginia, USA	IPR	Yüzeysel su	1978	Lime clarification, media filtration, GAC, Cl ₂ , chloramination
Hueco Bolson recharge project, El Paso Water Utilities, Texas, USA	IPR	Yeraltı suyu	1985	PAC, lime clarification, media filtration, O ₃ , GAC, O ₃ , Cl ₂
Clayton County Water Authority, Georgia, USA	IPR	Yüzeysel su	1985	Land application, UV, Cl ₂
West Basin water recycling plant, California, USA	IPR	Yeraltı suyu	1995	MF, RO, AOP (UV/H ₂ O ₂), NH ₂ Cl
Langford Recycling Scheme, Chelmsford, UK	IPR	Yüzeysel su	1997	UV
Gwinnett County, Georgia, USA	IPR	Yüzeysel su	1999	Chemical phosphorus removal, UF, O ₃ , GAC
Scottsdale Water Campus, Arizona, USA	IPR	Yeraltı suyu	1999	Media filtration, MF, RO, Cl ₂
Torrelee, Wulpen, Belgium	IPR	Yeraltı suyu	2002	UF, RO, UV

Uygulama Örnekleri	Uygulama türü	Çevresel tampon türü	Kuruluş tarihi	Arıtma prosesleri
NEWater, Singapore	IPR	Yüzeysel su	2003	UF, RO, UV
Los Alimitos, Water Replenishment District of Southern California, USA	IPR	Yeraltı suyu	2005	MF, RO, UV
Chino Basin groundwater recharge project, Inland Empire Utility Agency, California, USA	IPR	Yeraltı suyu	2007	Media filtration, SAT, Cl ₂
Arapahoe County/Cottonwood, Colorado, USA	IPR	Yeraltı suyu	2009	Media filtration, RO, AOP (UV/H ₂ O ₂), Cl ₂
George, South Africa	IPR	Yüzeysel su	2009/2010	UF, Cl ₂
Prairie Waters Project, Aurora, Colorado, USA	IPR	Yeraltı suyu	2010	Riverbank filtration, AOP (UV/H ₂ O ₂), BAC, GAC, Cl ₂
Beaufort West, South Africa	DPR	-	2010	Media filtration, UF, RO, AOP (UV/H ₂ O ₂), Cl ₂
Permian Basin, Colorado River Municipal Water District, Texas, USA	IPR	Yüzeysel su	2012	UF, RO, AOP, Cl ₂
Dominguez Gap Barrier, Los Angeles, California, USA	IPR	Yeraltı suyu	2012	MF, RO
Big Spring, Texas, USA	DPR	-	2013	MF, RO, AOP (UV/H ₂ O ₂), blending, media filtration, Cl ₂
Beenyup groundwater replenishment scheme, Perth, Australia	IPR	Yeraltı suyu	2016	UF, RO, UV
Cloudcroft, New Mexico, USA	DPR	-	Geliştirilmekte	MBR (enhanced secondary treatment), Cl ₂ , RO, AOP (UV/H ₂ O ₂), blending, UF, UV, GAC, Cl ₂

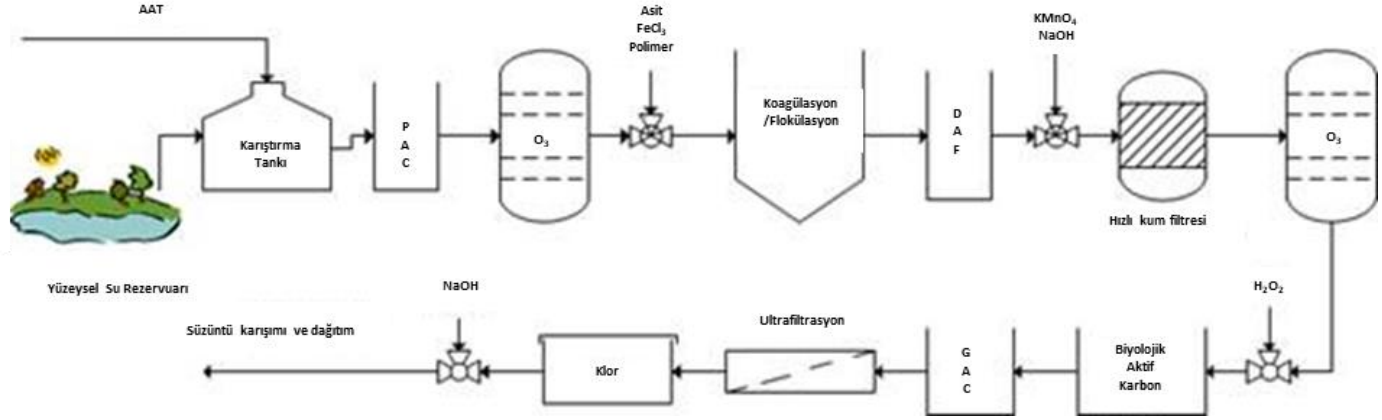
Not: AOP: ileri oksidasyon prosesi, BAC: biyolojik aktif karbon, BNR: biyolojik nutrient giderimi, Cl₂: klorlama, DAF: çözünmüş hava flotasyonu, GAC: granüller aktif karbon, H₂O₂: hidrojen peroksit, MBR : membrane biyoreaktör, MF: mikrofiltrasyon, NH₂Cl: monokloramin, O₃: ozonlama, PAC: toz aktif karbon, RO: ters ozmos, SAT: toprak-ekifer arıtımı, UF: ultrafiltrasyon, UV: ultraviyole.

5.2.1.1. New Goreangab Tesisi DPR sistemi (Namibia, Windhoek)

Namibya'nın başkenti olan Windhoek, doğuda Kalahari Çölü ile batıda Namib Çölü arasında yer almaktadır. Bölgede içme suyu ihtiyacının karşılanabileceği nehir, 50 km uzaklıktaki Kavango'dur. Bölgede yaşanan kuraklık ve şiddetli su sıkıntısı yaşanmaktadır. Bölgede dünyanın ilk içme suyu arıtma tesisi olarak bilinen Goreangab Tesisi, 1968 yılında 4.800 m³/gün kapasite inşa edilmiştir [159], [160], [21]. Tesis, 30 yıldır kabul edilebilir içilebilir kalitede su üretmektedir [161]. Zaman içerisinde artan içme suyu talebinin karşılanması amacıyla kapasite artışı yapılmıştır. Yakın zamanda membran teknolojileri kullanılarak Goreangab Tesisi'nin kapasitesi yaklaşık 21.000 m³/gün'e çıkarılmıştır [89]. Sistem toplam su ihtiyacının %35'ini karşılayacak şekilde planlanmış olsa da kurak dönemlerde ise toplam su ihtiyacının %50'sini karşılayabilmektedir. Windhoek'teki DPR sistemi New Goreangab Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suları ile kurak dönemlerde 1:1 oranında karıştırılarak içmesuyu dağıtım sistemlerine verilmektedir. 1968 yılında ise bu karışım oranı 1:3,5 civarında olmuştur [89]. Windhoek şehri, 45 yıldır DPR sistemini başarıyla uygulamaktadır. İçme suyu kullanıcıları tarafından bu uygulama benimsenmiş durumdadır [146].



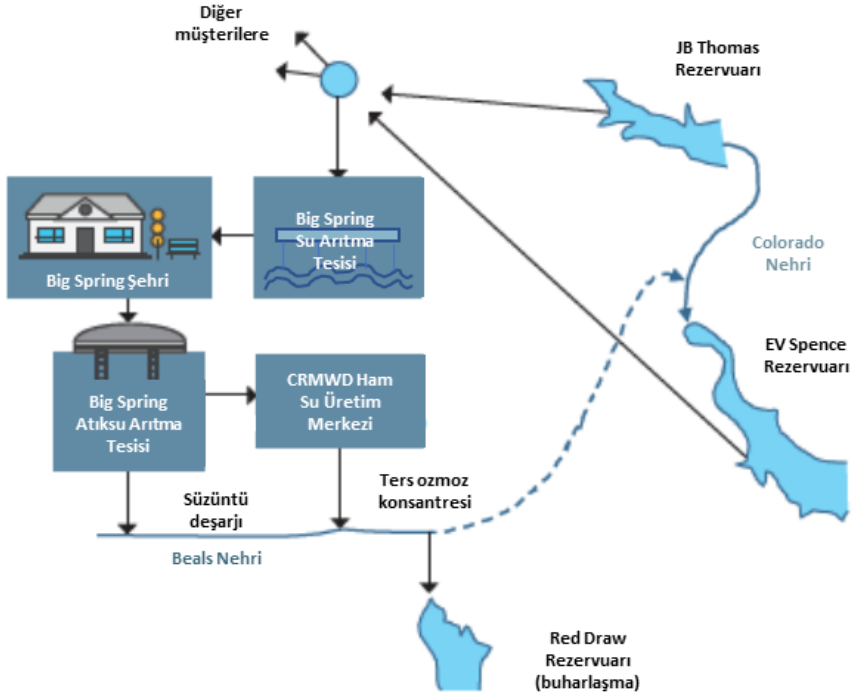
Şekil 5-91 2002 yılında Windhoek, Namibia’da tamamlanan DPR tesisi



Şekil 5-92 Windhoek, Namibia’da 2002 yılında tamamlanan Goreangab DPR Tesisi akım şeması

5.2.1.2. Colorado River Municipal Water District Raw Water Production Facility, Big Spring DPR sistemi (Big Spring/Teksa)

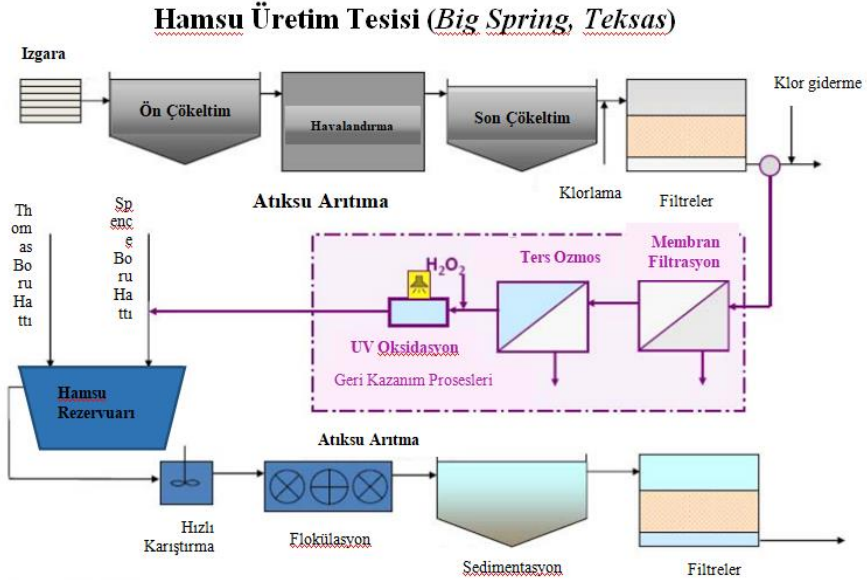
ABD'nin Teksa Eyalatı'nda yer alan Permien havzasında önemli bir kuraklık yaşanmıştır [146]. Yaklaşık 30.000 nüfusa sahip olan bölgede içme suyu tedarikinde sıkıntılar yaşanması üzerine Big Spring'te kullanılmış sulardan içme suyu tedariki yapmak için bir DPR projesi gerçekleştirilmiştir [146]. Böylelikle bölgedeki kısıtlı içme suyu kaynaklarının artırılması sağlanmıştır.



Şekil 5-93 Teksa Big Spring DPR Tesisi şematik gösterimi [146]

DPR uygulaması için Big Spring'de arıtma tesisi ileri arıtma teknolojileriyle moderniz edilmiştir. Big Spring Arıtma Tesisi çıkış suyu kalitesi bölgedeki yüzeysel su kaynaklarından daha iyi durumdadır. Big Spring DPR uygulamasında kullanılmış sular

arıtıldıktan sonra %15 oranında yüzeysel sularla harmanlanmakta ve içme suyu arıtma tesisinde arıtılmaktadır. İçme suyu arıtma tesisi çıkış suları bölgenin içme suyu şebekesine verilmektedir. Big Spring'deki DPR sisteminin kapasitesi yaklaşık 10.000 m³/gün'dür. 2013 yılından itibaren ise işletilen DPR sistemi bölgenin su ihtiyacının yarısını karşılayacak duruma gelmiştir [162], [146].

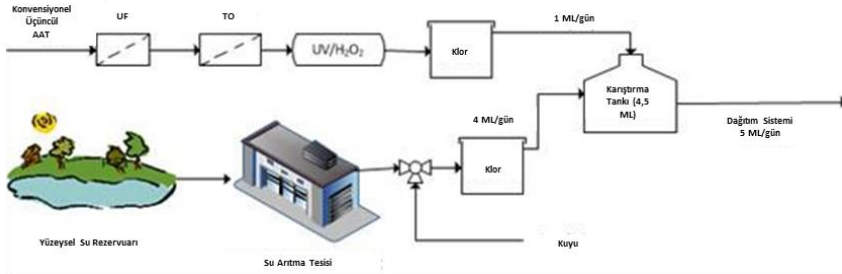


Şekil 5-94 Big Spring'deki direkt içme suyu geri kazanımı amacıyla kullanılan ham su üretim tesisi [163]

Big Spring DPR projesinde kullanılmış sular hamsularla belirli oranlarda (%15) karıştırılarak içme suyu arıtma tesisinde arıtıldıktan sonra içme suyu dağıtım sistemine verilmektedir. DPR sisteminin kapasitesi ilk inşa edildiğinde yaklaşık 10.000 m³/gün dür. DPR sisteminin kapasitesi artırılarak günlük 1,8 milyon galon'a çıkarılmıştır [161]. 2013 yılından beri işletilen DPR sistemi bölgenin su ihtiyacının yarıya yakınına karşılamaktadır. DPR sisteminin toplam maliyeti 14 milyon dolar civarındadır [161].

5.2.1.3. Beaufort West DPR uygulaması (Beaufort West/South Africa)

Beaufort West, Güney Afrika'da Great Karoo'da yer alan bir bölgedir. Bölgede yaşanan kuraklık nedeniyle içme suyu kaynakları oldukça sınırlıdır. Beaufort West'te içme suyu ihtiyacının karşılanması için bir DPR sistemi bulunmaktadır. Bu sistem, dünyadaki en önemli DPR uygulamalarından birini oluşturmaktadır. Bölgedeki kullanılmış sular arıtıldıktan sonra içme suyu amacıyla tekrar arıtılmakta ve içme suyu dağıtım sistemine verilmektedir. Bölgede yaklaşık nüfus 40.000 kişidir. 2011 yılında DPR sistemi 8000'den fazla haneye su temini sağlayacak şekilde faaliyete geçmiştir [161]. DPR sisteminin kapasitesi yaklaşık 2000 m³/gün dür [164], [161]. DPR sisteminde kullanılmış sular %20-25 oranında hamsularla karıştırılarak içme suyu olarak verilmektedir.



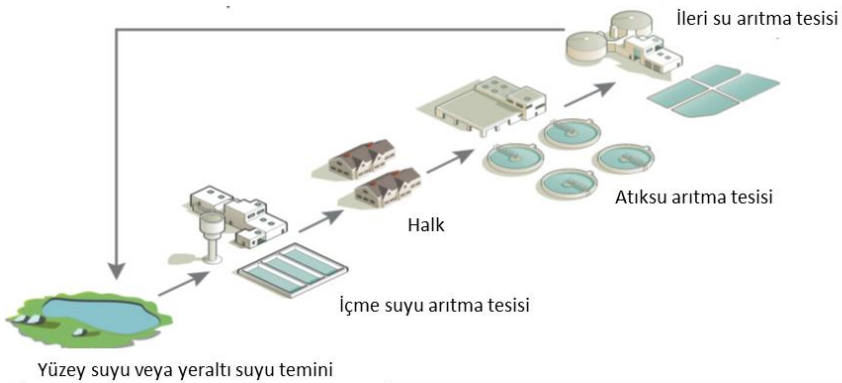
Şekil 5-95 Beaufort West DPR Sistemi akım şeması [164]



Şekil 5-96 Beaufort West kullanılmış su arıtma tesisi [165]

5.2.2. Dolaylı içme suyu amaçlı geri kullanım (IPR)

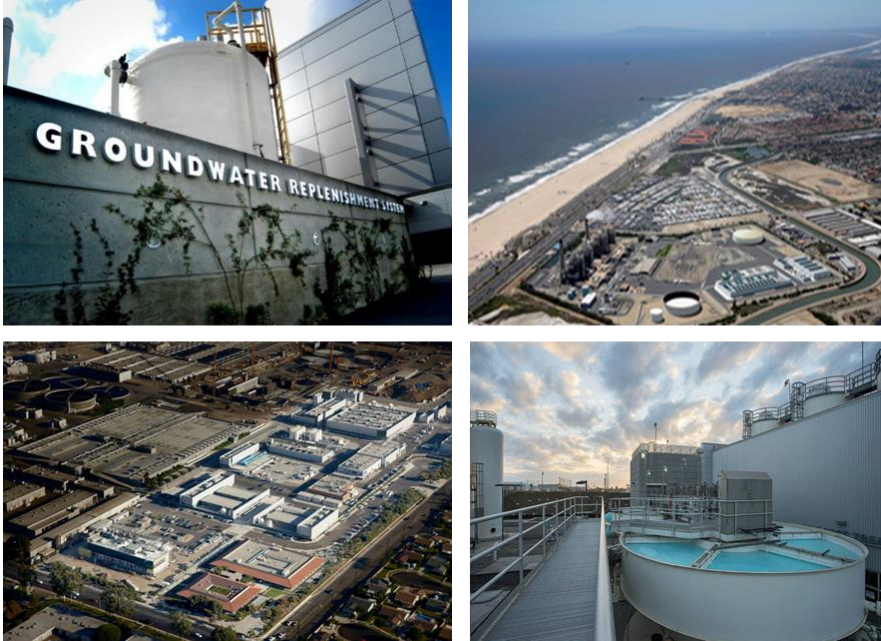
Planlı olarak dolaylı içme suyu amacıyla geri kullanım (IPR); kullanılmış suların arıtdıktan sonra içme suyu tedariki yapılan bir çevresel tampona verilmesi ve bu ortamda bulunan su kütlesiyle birlikte içme suyu arıtma tesisinde arıtdıktan sonra içme suyu olarak kullanılmasını içermektedir. IPR uygulamalarının planlanmamış/defakto kullanımlardan en önemli farkı kullanılmış suyun içme suyu amacıyla geri kullanımının planlanmış olmasıdır. IPR uygulamalarında kullanılmış suların içme suyu amaçlı geri kullanımının daha önceden planlanmış olması ileri arıtma teknolojilerinin kullanılmasını gerektirmektedir. Defakto kullanımlarda ise içme suyu amaçlı geri kullanım daha önceden planlanmadığı için konvansiyonel arıtma tesisleri kullanılabilir. Defakto kullanımlar IPR uygulamalarına göre güvenli içme suyu tedarikinde daha büyük risklere sahip olabilmektedir. Günümüzde kuraklık ve su kıtlığının yaşandığı bölgelerde nüfusun içme suyu ihtiyacının karşılanmasında IPR uygulamaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Aşağıda IPR için büyük ölçekli uygulama örnekleri sunulmuştur.



Şekil 5-97 Kullanılmış suların dolaylı olarak içme suyu amacıyla geri kullanımı (IPR) [150]

5.2.2.1. Orange County Yeraltı Suyu Yenileme Sistemi- IPR uygulaması (Kaliforniya/ABD)

Güney Kaliforniya’da Orange Bölgesi’nde yeraltı sularına tuzlu su girişinin önlenmesi için kullanılmış sular arıtıldıktan sonra basınç altında yeraltındaki içme suyu kaynağı da olarak kullanılan akiferlere beslenmektedir [89]. Bu amaçla içme suyu akiferine beslenen artırılmış kullanılmış su miktarı yaklaşık 57.000 m³/gün’dür [89], [146]. 15 yıllık süreç içerisinde bu IPR uygulamasının halk sağlığı üzerinde herhangi bir olumsuzluğa rastlanmamıştır. Son yıllarda tesis membran prosesleri kullanarak modernize edilmiş ve kapasitesi yaklaşık 4 kat (200.000 m³/gün) artırılmıştır [89].

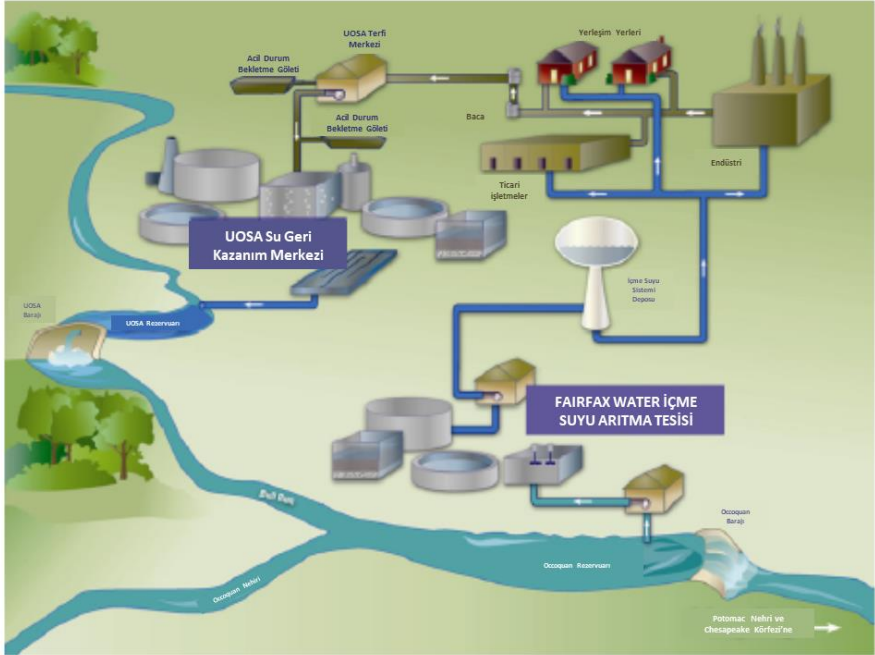


Şekil 5-98 Kaliforniya, Orange County Yeraltı Suyu İkmal Sistemi

5.2.2.2. Upper Occoquan IPR sistemi (Virginia/ABD)

Occoquan Rezervuarı, Washington’nun batısında yer alan yüksek oranda kentleşmiş bir bölge olan Kuzey Virginia'daki yaklaşık 1,5 milyonluk su ihtiyacının karşılanmasında kritik bir bileşendir.

Geri kazanılan su, rezervuardan içilebilir su temin verimine önemli bir katkı sağlar ve otuz yılı aşkın bir süredir içme suyu kaynağını başarılı bir şekilde arttırmaktadır. 1960'lı yıllarda, büyük ölçüde kırsal kesimlerden büyük ölçüde kentsel bölgelere hızlı bir dönüşüm yaşanmıştır. 1960'ların ortalarında yaşanan bu hızlı ve beklenmedik kentleşme su kaynaklarının azalması ve su kalitesinin bozulmasına neden olmuştur. Bu dönemde, Occoquan Rezervuarı'na yeterli seviyede arıtılmadan verilen atıksular bir defakto içme suyu kullanımına neden olmuştur. 1971 yılına gelindiğinde halk sağlığının korunması adına Occoquan bölgesinde IPR uygulamasının yapılmasına karar verilmiştir [161].



Şekil 5-99 Upper Occoquan IPR Sistemi şematik gösterimi (USEPA, 2017)

Upper Occoquan IPR tesisi yıllık ortalama 32 milyon galon (1400 L/sn) su üretilmektedir ve tesisin toplam kapasitesi günlük 54 milyon galon (2370 L/sn) dur. Gelecekte günlük kapasitenin 65.162

milyon galona kadar geliştirilmesi planlanmaktadır. Sistemde üretilen suyun önemli bir bölümü içme suyu kaynaklarının beslenmesi amacıyla kullanılıyor olsa da 1-3 milyon galon/gün (44-130 L/sn) arasında değişen miktarlarda arıtılmış su da içme suyu dışındaki amaçlar için kullanılmaktadır [89], [161].

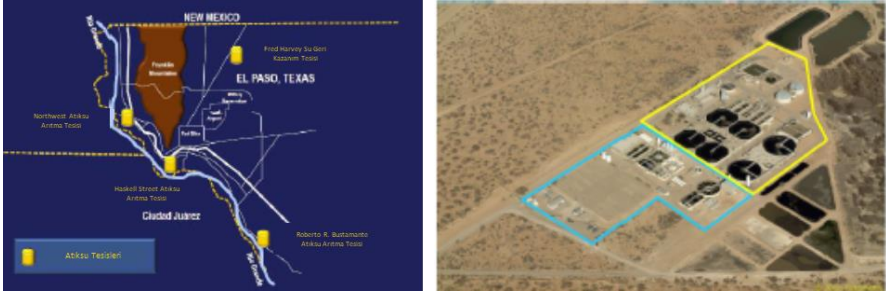


Şekil 5-100 Occoquan Rezervuarı'nın havadan görünümü [161]

5.2.2.3. Hueco Bolson-El Paso IPR sistemi (Teksas/ABD)

Teksas El Paso'nun Fred Hervey Kullanılmış Su Geri Kazanım Tesisi, Hueco Bolson içme suyu akiferine enjeksiyon için 1985 yılında kurulmuştur. Tesisin kapasitesi yaklaşık 38.000 m³/gündür [4], [13], [161]. Tesis genel olarak dört ana kullanım için su sağlamaktadır. Bunlar; ekolojik dengeye sahip sulak alanların restorasyonu, parklar ve golf sahalarının sulanması, akifer şarjı (Hueco Bolson) ve endüstriyel kullanımlardır. Kullanılmış su geri kazanım tesisi birincil arıtma, akış dengeleme, denitrifikasyon, iki aşamalı aktif çamur, anaerobik arıtma, susuzlaştırma ve bertaraf kademelerinden oluşmaktadır. Buna ek olarak, kum filtrasyonu, ozonlama, granüller aktif karbon (GAC) filtrasyonu ve son olarak dezenfeksiyon ile içme suyu kalite standartlarına getirilmektedir. Son çıkış suyu (içme suyu kalitesi), akiferi de şarj eden iletim sistemi aracılığıyla sulama ve endüstriyel kullanımlar için kullanılmaktadır. Tesisin ilk yatırım maliyeti 23,46 USD

doları/kgal/yıl ve ortalama işletme maliyeti 2,05-2,38 USD/kgal dır [4].



Şekil 5-101 El Paso Hueco Bolson ve Fred Harvey Su Geri Kazanım Tesisleri Haritası

Günümüzde El Paso'da diğer dört arıtma tesisinden de arıtılmış kullanılmış sular alınmakta ve %10 seviyesinde olan geri kullanım oranı %15 seviyesine çıkarılmıştır. Ayrıca tesiste kapasite ve su kalitesinin artırılmasına katkı sağlaması adına yaklaşık 9.500 m³/gün'lük üçüncül bir arıtma sistemi eklenmesi planlanmıştır [4]. 1985'den beridir faaliyette olan bu IPR sisteminde sağlıkla ilgili su kalitesi parametreleri üzerinde olumsuz bir etki gözlenmemiştir ancak akiferdeki toplam çözünmüş katı madde içeriğinde bir miktar artış olmuştur [89].

Plansız (defacto) dolaylı geri kullanım; arıtılmış kullanılmış suların geri kullanım amacı güdülmeden ve geri kullanım planlaması yapılmadan, yüzeysel sulara (nehirlere, derelere, göllere, vb.) deşarj edilmesi ve deşarj edilen kaynağın herhangi bir noktasından ve/veya deşarj noktasının mansabından farklı amaçlar için su çekilmesini ifade etmektedir [146], [154]. Örneğin, ikincil arıtma çıkışı deşarjı alan bir nehirden, deşarjın mansap tarafından, zirai sulama, içme suyu arıtma veya diğer amaçlar için su çekilmesidir. Defakto kullanımlar net olarak bilinmese de birçok ülkede 100 yılı aşkın süredir uygulanmaktadır (WRRF, 2015). Defakto kullanım uygulaması IPR uygulamaları ile benzerlikler gösterse de aslında geri kullanım amacı söz konusu olmadığından ayrılmaktadır. Bu

konudaki tartışmalar halen devam etmektedir [166], [4], [146]. Defakto geri kullanımlarda temel amaç içme suyu olarak geri kullanım sağlamak değildir. Bu uygulamada temel amaç arıtılmış kullanılmış suların alıcı ortamlara deşarj edilerek uzaklaştırılmasıdır. Bu alıcı su kütlelerinin içme suyu amaçlı kullanımı durumunda insan sağlığı üzerinde risklerin oluşması muhtemeldir [166], [167], [146]. Bu koşullarda, atık su arıtımı ve içme suyu arıtımı kaynak suyu kalitesi ile orantılıdır. Uygun kontrol tedbirleri uygulanarak, plansız içilebilir su kullanımını içeren içme suyu kaynakları güvenli içme suyu sağlayabilmektedir [166], [146].

İçme suyu kaynaklarına çeşitli miktarlarda kullanılmış suların plansız olarak içme suyu kaynaklarına eklenmesi yaygın olsa da, planlı yeniden kullanımın önemli avantajları vardır. Planlı geri kullanım uygulamaları bir yönetim gerektirmekte ve planlı geri kullanım uygulamalarında su kalitesi önemli bir parametre olarak ele alınmaktadır. Bu nedenle planlı geri kullanım uygulamalarında kullanılmış suların ileri arıtma teknikleri kullanılarak arıtılması ya da karışım oranları ve su kalitesine bağlı olarak içme suyu arıtma tesislerinde ileri arıtma tekniklerinin kullanılması sağlanabilmektedir. Bu sayede içme sularının insan sağlığı üzerinde oluşturabileceği potansiyel risklerin önemli ölçüde önüne geçilebilmektedir [146]. Ancak unutulmamalıdır ki; uygun şekilde yönetildiği takdirde plansız ve planlı içme suyu amaçlı geri kullanım tesisleri güvenli içme suyu tedarikinde kullanılabilir. Dünya genelinde uzun süredir kullanılan bu defakto uygulamalar bunun mümkün olabileceğini göstermektedir.

5.2.2.4. Dallas/Fort Worth Arıtma Tesisi (Dallas/Teksa)

Teksa'taki Trinity Nehri kullanılmış suların yoğun olarak deşarj edildiği bir alıcı ortamdır. Özellikle kurak akım dönemlerinde Dallas/Fort Worth kısmında nehir suyu neredeyse tamamen atıksu kaynaklıdır. Tesiste nütrient arıtımı yapılarak 2 milyon

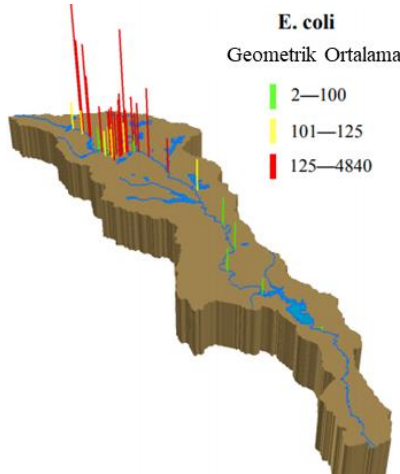
m³/gün su nehre verilmektedir. Deşarjın yapıldığı bölgede sınırlı bir seyrelme meydana gelmekte olup, nehir suyu Houston'da içme suyu kaynağı olarak kullanılmaktadır (Şekil 5-102). Nehir suyu Livingston Göl'ü ne ulaştıktan sonra şebekeye verilmeden önce içme suyu arıtma tesisine alınmaktadır (Şekil 5-103). Hidrolojik modelleme ve kirletici izleme analizleri hem nehirde hem de rezervuarda önemli derecede kirletici gideriminin gerçekleştiğini göstermektedir. Suyun Dallas/Fort Wort ile Livingston Göl'ü arasındaki 2 haftalık su akışı süresince iz organik maddelerin önemli derecede mikrobiyal ve fotokimyasal bozunmaya uğradığı belirlenmiştir. İlave kirletici giderimi ve patojen inaktivasyonun da olduğu ayrıca belirlenmiştir. Dolayısıyla, içme suyu arıtma tesisine giren suyun %50 sinin kullanılmış su kaynaklı olduğu ve kullanılmış suyun yaklaşık 2 hafta süresince nehirde, 1 yıl da göl de bekledikten sonra arıtma tesisine girdiği tespit edilmiştir. Trinity Nehri'nden alınarak arıtılan içme suyunun USEPA içme suyunu tamamen karşıladığı belirlenmiş olup, bu şekilde bir defacto yeniden kullanımın da bölgenin su planlamasının önemli bir elementi olduğu belirlenmiştir.

Dolayısıyla, biz istesek de istemesek de kullanılmış sular yeniden kullanılmakta ve hatta içme su kaynaklarına da ulaşmaktadır. Bu nedenle kullanılmış sular arıtıldıktan sonra akıbetlerinin izlenmesi, su geri kazanımı yapılarak doğru planlamaların ve uygun arıtmaların yapılması, hedefe uygun arıtma düzeyinin seçilmesi son derece önem arz etmektedir. Bu tür defacto Yeniden kullanımlara ilave olarak ülkeler önemli planlamalar yaparak kullanılmış suyu yeniden kullanmak için politikalar geliştirmekte ve ikincil bir su kaynağı olarak görülen kullanılmış suyu daha iyi değerlendirmek için yatırımlar yapmaktadır.



Şekil 5-102 Trinity Nehir Havzası. Houston şehri memba tarafında yer alan Dallas/Fort Worth'un gösterimi

Nehir boyunca *E. Coli* değişimi de ayrıca aşağıdaki şekilde verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi yerleşim yerlerinin yakın olduğu ve deşarjın olduğu bölgelerde *E. coli* yüksek görülmekte ve nehir akışı süresince de azalmaktadır.



Şekil 5-103 Trinity Nehir Havzasında E.coli Değişimi

6. KULLANILMIŞ SULARDA SU KALİTESİ

Yeniden kullanım için arıtma seçenekleri tartışılırken, temel amaç, hedeflenen kullanıma uygun, insan sağlığına ve çevreye karşı koruyucu bir arıtılmış su elde etmektir. Su arıtımı için ikincil hedefler ise doğrudan son kullanım amacı ile bağlantılıdır ve estetik hedefleri (örneğin, renk veya koku giderimi için ek arıtma) veya belirli kullanıcı gereksinimlerini (örneğin sulama için tuz azaltma veya endüstriyel geri kullanım) içerebilir. Bu nedenle geri kazanılan su için uygulanacak arıtma belirli bir amaca göre yapılmalıdır. Bu kapsamda kurgulanacak arıtma hedefleri hem maliyet etkin olacak hem de halk sağlığı ve çevrenin korunması için uygun olacaktır. Geri kullanıma uygun arıtmanın kapsamı tabi olunan mevzuatın özel gereksinimlerine bağlı olarak değişebilmektedir. ABD’de bazı eyaletler spesifik arıtma süreçleri isterken bazıları geri kullanım için su kalite kriterleri koymakta ve bazıları da her ikisini de talep etmektedir. Birçok eyalet ayrıca proses arızalarının giderilmesi, elektrik kesintilerine karşı önlem veya ekipman hataları için gereksinimler talep etmektedir [1].

ABD’de çok çeşitli son kullanım amaçları için yüzlerce geri kullanım projesi gerçekleştirilmiştir. Bu projeler, kontroller uygun yapıldığında ve kullanım alanı gereksinimlerini karşılayacak şekilde arıtılan sular kullanıldığında insan sağlığına ve çevreye zararlı olmadığını göstermiştir. Bir raporda [168] şu ifade kullanılmıştır: “ABD’de geri kullanım kriterlerine uygun sular ile sulama yapılan herhangi bir rekreasyon alanında patojen mikroorganizmaların teması, yutulması veya inhalasyonundan kaynaklanan teyitli bir vaka kaydedilmemiştir”. Kimyasal

tehlikelere ve risklere ilişkin olarak bir diğer raporda ise [4] "Bugüne kadar yapılan epidemiyolojik analizlerde ABD'de arıtılmış suların geri kullanımı ile ilişkili olabilecek olumsuz sağlık etkilerinin geri kullanım projeleri ile herhangi bir ilintisine rastlanılmadığı" ifadesi kullanılmıştır [1].

Tablo 6-1 dolaylı veya doğrudan içilebilir son kullanım uygulamaları için geliştirilmiş çeşitli arıtma senaryolarını göstermektedir. Bu tabloya yansıtılmayan başka arıtma teknolojileri de vardır. Örneğin konvansiyonel ikincil arıtma ardından doğal arıtma sistemlerinin (sulak alanlar, akifer besleme öncesi perkolasyon gibi) uygulamaları da mevcuttur [1].

Tablo 6-1 İçme suyu amaçlı geri kullanım için arıtma senaryoları ([169]'ten adapte edilmiştir)

Arıtma Modeli	Arıtma Kademeleri							
	AAT	MF	RO	UV-A	Tampon	İSAT		
Kaliforniya Modeli	AAT	MF	RO	UV-A	Tampon	İSAT		
Namibya Modeli	AAT	DAF	Medya Filtrasyonu	Ozon	GAK	UF	Tampon Paçalı	İSAT
Gwinnet County Modeli	AAT	MF	GAK	Ozon	Tampon Paçalı	İSAT		
Cloudcraft Modeli	MBR	RO	UV-A	Tampon Paçalı	İSAT			

AAT: atıksu arıtma tesisi; MBR: membran biyoreaktör; DAF: Çözünmüş hava flotasyonu; GAK: granül aktif karbon; İSAT: içme suyu arıtma tesisi; MF: mikrofiltrasyon; RO: ters osmoz

Günümüz için altının çizilmesi gereken husus, suyu hedeflenen son kullanım için gereken kalite seviyesine getirmek için gerekli olan teknolojiler mevcuttur. Geri kazanılmış su üretmek için ileri arıtma teknolojilerinin başarılı bir şekilde uygulanmasına ilaveten, bu süreçlerin optimize edilmesi ve hem patojenler hem de kimyasal bileşenler için arıtma hedeflerini karşılamak için ortaya çıkan teknolojilerin araştırılması için devam etmekte olan araştırmalar bulunmaktadır [170], [171].

6.1. Halk Sağlığı

Herhangi bir yeniden kullanım programındaki en kritik hedef halk sağlığını korumaktır. Geri kullanılan sudaki mikrobiyal ve kimyasal kirleticileri azaltmak ve belirli su kalitesi hedeflerini karşılamak için çok çeşitli arıtma seçenekleri mevcuttur [4]. Bu kapsamda çevresel bozulmayı önleme, halkın tedirginliğini giderme ve kullanıcı gereksinimlerini karşılama gibi diğer hedefler de yerine getirilmelidir [1].

Halk sağlığının korunması için aşağıdaki ana adımlar önemlidir:

- Geri kullanılan sudaki patojen bakterilerin, parazitlerin ve enterik virüslerin konsantrasyonunun azaltılması veya ortadan kaldırılması
- Geri kullanılan sudaki kimyasal bileşenlerin kontrol edilmesi
- Halkın maruziyetini (temas, teneffüs veya yeme) sınırlandırmak.

Geri kullanım proejelerinde insani maruziyet seviyelerinde önemli ölçüde değişiklikler gözlenebilir ve bu durum potansiyel sağlık riskinde farklılık yaratabilir. İnsani maruziyet olasılığı yüksek olduğunda, geri kullanılacak suyun ileri derecede arıtımı gereklidir. Bu kapsamda 5. Bölümde verilen Tablo 5-1 incelenebilir.

Geri kullanılacak suyun son kullanım amacı ne olursa olsun en kritik arıtma amacı patojen inaktivasyonudur. Vücuda temas veya yutma şeklinde insani maruziyet varsa geri kullanılacak su mikrobiyolojik açıdan bir risk oluşturmamalıdır. EPA, hem içme suyu hem de tüm vücut teması için mikrobiyolojik riskler için standartlar ve kriterlerin geliştirilmesinde kullanılan risk değerlendirme yöntemleri ve kriterleri oluşturmuştur [1].

Bu risk değerlendirme yöntemleri ve kabul edilebilir risk seviyeleri, ABD İçme Suyu Standartlarının Belirlenmesinde Mikrobiyal Risk Değerlendirmesinin Kullanımı ve Rekreatiyonel Su Kalitesi Kriterleri Taslağı'nda [144], [172] açıklanmıştır. Geri kazanılmış suyun insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkileri üzerine araştırmalar devam etmektedir. Ayrıca geri kullanılan suya maruziyetlerle ilgili risk değerlendirme metotları ve araçlarına dair halen devam eden araştırmalar mevcuttur [170], [173].

Çoklu arıtma kademelerinin uygulanması ile kullanılmış su bünyesindeki hemen hemen tüm bileşenlerin şu anda kabul görmüş analitik tespit seviyelerine kadar giderebildiği bilinmektedir. Ayrıca mikrobiyal ve kimyasal kirleticiler endişe yaratmayacak düzeyde arıtılabilmektedir. Buna ek olarak, n arıtmanın etkili bir şekilde kullanılması ile kullanılmış sudaki arıtmı zor kirleticilerin tesise girmesine engel olunabilmektedir [1].

ABD'de ve dünyadaki geri kullanım uygulamalarının başarısı, insan sağlığının ve vrenin güvenliğini sağlayan ileri mühendislik tasarımına sahip arıtma işlemlerinin sonucudur. Bununla birlikte, geri kullanım üzerine sayısız çalışma, teknolojik ilerleme ve başarılı projelerin izlenmesi konularındaki son yirmi yıllık tecrübeye dayanarak, mevcut uygulamaların etkinliği ve güvenilirliği de göz önüne alındığında, arıtma proseslerinde bu derece yüksek düzeyde standartların konulmasının gereksiz olabileceği de değerlendirilebilir. Örneğin, arıtılmış sulara ileri oksidasyon proseslerinin (İOP) uygulanması içme arıtma tesisinde kapsamlı prosesler var ise gereksiz olabilir. UV tek başına dezenfeksiyon yan ürünü NDMA'nın giderimini sağlayabilir ve deşarjdan önce UV/İOP'da gereksiz olabilir. Azot ve fosforun mkemmek bir şekilde giderimi yüzeyssel su kaynağına deşarj için gerekli olabilir, oysa bu nütrientler belirli

sulama uygulamaları için bir avantaj teşkil eder ve giderimi gerekmebilir [1].

Geri kullanılacak sudaki mikrobiyal ve kimyasal bileşenlerin izin verilen konsantrasyonları, spesifik tekrar kullanım uygulamasının veya geri kullanım kategorisinin bir fonksiyonudur. Bu gereksinimler eyaletten eyalete göre farklı olabilse de, genel olarak insan sağlığına karşı koruyucu olacak şekilde tasarlanmıştır. Geri kullanılacak suyun kalite standartları hem bilimsel araştırmalara hem de pratik tecrübeye dayanarak geliştirilmiştir. Doğrudan veya dolaylı olarak içme amaçlı kullanılacak arıtılmış suların içme suyu standartlarını karşılaması gerektiği için ulusal bazda bir konsantrasyon limitleri düzenlemesine gerek bulunmayabilir. Yine de yeni kirleticiler (emerging pollutants) için arıtma rehberlerine ve içme suyu standartları bağlamında sağlık önerilerine ihtiyaç duyulabilecektir [1].

Arıtılmış suların geri kullanımının güvenliğini sağlamak için su kalitesi sürekli izlenmektedir. Bu bağlamda HACCP tipi yönetim sistemine sahip olmak avantajlıdır. Performanstan emin olmak adına gerçek zamanlı izlemeden mümkün olduğunca yararlanılması gerekmektedir. Performans izleme için birtakım çevrimiçi yöntemler halihazırda kullanılmaktadır (örn. bulanıklık ve kalıntı klor). İçme amaçlı geri kullanım projeleri için güvenilirlik ve proses kontrolü için çevrimiçi izleme konusunda ilave araştırmalar finanse edilmektedir [1].

6.2. Kullanılmış Su Bileşenleri

Belli bir arıtma sürecinden önce suyun geri kullanım projelerinde uygulanması için spesifik proses tasarımı yapılabilir. Hangi bileşenlerin önemli olduklarını ve hangi konsantrasyonda bulunduklarını anlamak önemlidir. Ham kentsel kullanılmış su, çözünmüş metallerden ve eser organik bileşiklerden yüzen

cisimler ve kuma kadar geniş bir aralıkta salınan bir dizi bileşen içerir. Tüm geri kullanım sistemleri, büyük nesnelere, parçacıklara ve daha da önemlisi çözünen organik maddelere, bazı nütrientlere ve diğer inorganik maddelere hitap edecek şekilde en az ikincil arıtım gerektirir. Bununla birlikte, ikincil olarak arıtılmış kullanılmış suda kalan mikroorganizmalar ve çözünmüş organik ve inorganik bileşenler de dahil olmak üzere geri kullanım için daha ileri arıtmaya ihtiyaç duyulmaktadır [1].

Mikroorganizmalar doğada her yerde bulunur ve çoğu insan için patojen özellikte değildir. Mikroplar olarak da adlandırılan mikroorganizmalar çok çeşitli olup ekosistemlerde besin maddelerinin geri dönüşümü için kritik önem taşır. Bir mühendislik ekosistemi olan kullanılmış su arıtma sistemlerinde, besin maddeleri ve organik maddelerin yararlı ayrıştırıcıları olarak hareket ederler. Mikroorganizmalar çok yüksek konsantrasyonlarda bulundukları için konsantrasyonları tipik olarak logaritmik ölçekte (örn. 1 milyon= 10^6 mikroorganizma) ifade edilir. Mikroorganizmaların giderilmesi de tipik olarak logaritmik olarak ifade edilir. 1-log %90 giderime, 2-log %99 giderime, 3-log %99,9 giderime, 4-log %99,99 giderime karşılık gelmektedir. Yararlı mikroorganizmalara ek olarak, ham evsel atık su, insanların dışkılarından gelen ve esas olarak "fokal-oral" yolla bulaşan çok çeşitli patojen mikroorganizmaları da içerebilir. Bir patojen, konakçıda hastalığa neden olan mikroorganizmadır. Patojenler, üriner şistozomiyaza, tifo ateşine, leptospirosise ve bazı cinsel yolla bulaşan enfeksiyonlara neden olabilecek patojenler dahil olmak üzere idrarda da bulunabilir. Bununla birlikte, ilk üç hastalık ABD'de çok düşük hastalık insidansına sahiptir. İdrar kaynaklı bazı patojenler kullanılmış su koşullarında hayatta kalamamaktadırlar. Dolayısıyla idrar kaynaklı patojenler, suyun geri kullanılmasında halk sağlığı açısından düşük risk arz ederler [1].

Tablo 6-2, ham evsel atık suda potansiyel olarak bulunan bulaşıcı ajanların çoğunu listelemektedir. Bunlar üç geniş gruba ayrılır: bakteriler, parazitler (parazitik protozoa ve helmintler) ve virüsler. Tablo 6-2 ayrıca, her bir patojenle ilişkili bazı hastalıkları da listelemektedir. Kullanılmış sudaki patojenlerin konsantrasyonu, genel nüfusun yanı sıra mevsime göre de değişebilmektedir. Araştırmada gözlemlenen bazı mikroorganizmaların konsantrasyonları, Tablo 6-2'de genel bir karşılaştırma sağlamak için rapor edilmiştir. Ancak, bu tür testlerin finanse edilmemesi nedeniyle mevcut veriler seyrek [1].

İndikatör mikroorganizmaların ve patojenlerin ortadan kaldırılması hem meydan okuma (challenge) testi hem de operasyonel izleme ile anlaşılmaktadır. Meydan okuma testi, deteksiyon sağlamak için normal mikroorganizma konsantrasyonlarının üstünde olan bir mikroorganizma konsantrasyonunun numuneye ilave edilerek günlük giderimlerin gösterilmesini sağlar.

Tablo 6-2 Ham kullanılmış sularda potansiyel olarak bulunabilecek enfeksiyöz ajanlar [1]

Patojen	Hastalık	Ham Kullanılmış suda Sayı (sayı/L)
Bakteriler		
<i>Shigella</i>	Shigellosis (dizanteri)	10 ⁴ 'e kadar
<i>Salmonella</i>	Salmonellosis, gastroenterit (ishal, kusma, ateş), reaktif artrit, tifo	10 ⁵ 'e kadar
<i>Vibrio cholera</i>	Kolera	10 ⁵ 'e kadar
<i>Enteropatojenik E. Coli</i>	Gastroenterit ve sepsisemi, hemolitik üremik sendrom	
<i>Yersinia</i>	Yersiniosis, gastroenterit, sepsisemi	
<i>Leptospira</i>	Leptospirosis,	

Patojen	Hastalık	Ham Kullanılmış suda Sayı (sayı/L)
<i>Campylobacter</i>	Gastroenterit, reaktif artrit, Guillain-Barre sendromu	10 ⁴ 'e kadar
<i>Atypical mycobacteria</i>	Solunum hastalıkları (zatürre)	
<i>Legionella</i>	Solunum hastalıkları (zatürre, Pontiac ateşi)	
<i>Staphylococcus</i>	Deri, göz, kulak enfeksiyonları, sepsis	
<i>Pseudomonas</i>	Deri, göz, kulak enfeksiyonları	
<i>Helicobacter</i>	Kronik gastrit, ülser, gastrik kanser	
Protozoalar		
<i>Entamoeba</i>	Amebiasis (dizanteri)	10 ² 'ye kadar
<i>Giardia</i>	Giardiasis (gastroenterit)	10 ⁵ 'e kadar
<i>Cryptosporidium</i>	Cryptosporidiosis, ishal, ateş	10 ⁴ 'e kadar
<i>Microsporidia</i>	İshal	
<i>Cyclospora</i>	Cyclosporiasis (ishal, abdominal distansiyon, ateş mide krampları, kas ağrıları)	
<i>Toxoplasma</i>	Toxoplasmosis	
Helmintler		
<i>Ascaris</i>	Ascariasis	10 ³ 'e kadar
<i>Ancylostoma</i>	Ancylostomiasis	10 ³ 'e kadar
<i>Necator</i>	Necatoriasis	
<i>Ancylostoma</i>	Kutanöz larva migrans	
<i>Strongyloides</i>	Strongyloidiasis	
<i>Trichuris</i>	Trichuriasis	10 ² 'ye kadar
<i>Taenia</i>	Taeniasis	
<i>Enterobius</i>	Enterobiasis	
<i>Echinococcus</i>	Hydatidosis	
Virüsler		
<i>Enterovirüsler (polio, echo, coxsackie, serotype 68-71 vb.)</i>	Gastroenterit, kalp anomalileri, menenjit, solunum hastalıkları, sinir bozuklukları	10 ⁶ 'ya kadar
<i>Hepatit A ve E</i>	Enfeksiyöz hepatit	

Patojen	Hastalık	Ham Kullanılmış suda Sayı (sayı/L)
<i>Adenovirüs</i>	Solunum hastalıkları, göz enfeksiyonları, gastroenterit (serotip 40 ve 41)	10 ⁶ 'ya kadar
<i>Rotavirüs</i>	Gastroenterit	10 ⁵ 'e kadar
<i>Parvovirüs</i>	Gastroenterit	
<i>Astrovirüs</i>	Gastroenterit	
<i>Calicivirüsler (norovirüs, sapovirüs)</i>	Gastroenterit	10 ⁹ 'a kadar
<i>Coronavirüs</i>	Gastroenterit	

Tespit edilen gerçek patojen konsantrasyonları, mevcut analitik yöntemlerin tespit edilebilir en düşük konsantrasyonlarına yaklaşmaya meyilli olduğundan, bu alanda daha fazla araştırma yapılarak operasyonel izleme hassasiyetinde daha büyük bir doğruluk ve güven oluşturabilir. Tablo 6-3, literatürde farklı arıtma prosesleri için bildirilen, mikrobiyal log giderimlerin aralığını sunmaktadır [1].

Tablo 6-3 Kullanılmış su arıtımının çeşitli aşamalarında indikatör mikroorganizmaların ve enterik patojenlerin gösterge log giderimleri [1]

Mikroorganizma tipi	İndikatör mikroorganizmalar				Patojen mikroorganizmalar			
	<i>Escherischia coli</i>	<i>Clostridium perfringens</i>	Faj (indikatör virüs)	Enterik bakteriler (ör: <i>Campylobacter</i>)	Enterik virüsler	<i>Giardia lamblia</i>	<i>Cryptosporidium parvum</i>	Helmintler
Bakteriler	X	X		X				
Protozoalar ve helmintler						X	X	X
Virüsler			X		X			
Kullanılmış su arıtımının çeşitli aşamalarında gösterge log giderimleri								
İkincil arıtım	1-3	0,5-1	0,5-2,5	1-3	0,5-2	0,5-1,5	0,5-1	0-2
Çift medya filtrasyonu	0-1	0-1	1-4	0-1	0,5-3	1-3	1,5-2,5	2-3
Membran filtrasyonu (UF, NF, RO)	4->6	>6	2->6	>6	2->6	>6	4->6	>6
Rezervuar depolama	1-5	Uygulanmaz	1-4	1-5	1-4	3-4	1-3,5	1,5->3
Ozonlama	2-6	0-0,5	2-6	2-6	3-6	2-4	1-2	Uygulanmaz

Mikroorganizma tipi	İndikatör mikroorganizmalar				Patojen mikroorganizmalar			
	<i>Escherichia coli</i>	<i>Clostridium perfringens</i>	Faj (indikatör virüs)	Enterik bakteriler (ör: <i>Campylobacter</i>)	Enterik virüsler	<i>Giardia lamblia</i>	<i>Cryptosporidium parvum</i>	Helmintler
UV dezenfeksiyonu	2->6	Uygulanmaz	3->6	2->6	1->6	3->6	3->6	Uygulanmaz
İleri Oksidasyon	>6	Uygulanmaz	>6	>6	>6	>6	>6	Uygulanmaz
Klorlama	2->6	1-2	0-2,5	2->6	1-3	0,5-1,5	0-0,5	0-1

6.3. Mikrobiyal İçeriklerin Risk Değerlendirmesi

Çoğu mikroorganizma zararsız ya da faydalı olsa da, bazıları son derece tehlikelidir. Bunlar endişe yaratan biyolojik ajanlar (BAC) olarak adlandırılır. BAC'nin tümü ciddi ve genellikle ölümcül hastalıklara neden olabilir. Ancak fiziksel özellikleri, çevredeki taşınımları ve enfeksiyon süreçleri ile farklılaşırlar. Kantitatif mikrobiyal risk değerlendirme (QMRA), mikroorganizmaların davranışlarını ve hangi aşamada tehlike haline gelebileceklerini belirleyerek insan sağlığı üzerinde oluşturdukları tehdidin boyutunu ve kapsamını tahmin eder. QMRA, Ulusal Bilimler Akademisi'nin Nicel Risk Analizi çerçevesine dayanan dört aşamaya sahiptir. Ancak BAC gibi canlıların özelliklerini hesaba katacak şekilde değiştirilmiştir [174]. Bu dört aşama aşağıda tanımlanmıştır [1]:

Tehlike Tespiti: Bu süreç, bir mikroorganizma ve onun neden olduğu hastalıkları; semptomlar, şiddet ve mikroptan ölüm oranlarını temel alarak açıklar. Özellikle enfeksiyona eğilimli hassas popülasyonları tanımlar.

Doz-Yanıt: Doz (bünyeye alınan mikrop sayısı) ile ortaya çıkan sağlık etkileri arasındaki ilişkiyi kurmak bu süreçte kritik bir adımdır. İnsan ve hayvan çalışmalarından elde edilen veri setleri, doz yanıtını tahmin etmek için matematiksel modellerin oluşturulmasına izin verir.

Maruziyet Değerlendirmesi: Bu adım, bir mikrobu bireylere ulaşmasını ve enfeksiyona neden olmasını (hava yoluyla, içme suyu vasıtasıyla) sağlayan yolları tanımlar. Maruz kalmanın boyutunu ve süresini her bir yol için belirlemek ve ayrıca maruz kalan insan sayısını ve etkilenen insan kategorilerini tahmin etmek gerekir.

Risk Karakterizasyonu: Sürecin son adımı, önceki aşamalardan alınan bilgileri, riski hesaplamak için tek bir matematiksel modele (enfeksiyon, hastalık veya ölüm gibi sonuçların olasılığı) entegre eder. İlk üç adım tek bir değer sağlamaz. Bunun yerine maruz kalma, doz ve tehlike için bir dizi değer sunar. Çünkü bu aralıklardaki tüm değerler için risk hesaplanmalıdır. Bu hesaplama Monte Carlo Analizi kullanılarak gerçekleştirilir ve sonuç ortalama ve en kötü durum senaryoları da dahil olmak üzere olası risklerin tümüdür. Bunlar, karar vericilerin düzenleyici politika tanımlarken ve bilim insanlarının daha iyi bilgi elde etmek için ek araştırmanın nerede yapılması gerektiğini belirlemek için gözden geçirdiği riskleri değerlendirir. QMRA hakkında ek bilgi, Avrupa Komisyonuna QMRA: Risk Yönetimine Olan Değer adlı 2006 raporunda mevcuttur [175].

6.4. Kullanılmış Sulardaki Kimyasal Bileşikler

Tüm sular doğal çevrimde nihai olarak geri kullanılır ve tespit edilebilir seviyede çeşitli kimyasallar içerebilirler. Yağmur suları atmosferle temas etmeleri sonucunda bazı kimyasal maddeleri içerebilmektedir. Yeraltı suları jeolojik yapılarla temas etmeleri nedeniyle inorganik maddeleri bünyesine alabilmektedir. Yüzeysel sular ise yüzeysel akış, endüstriyel ve diğer deşarjlar nedeniyle doğal maddeler, pestisitler ve diğer kimyasalları içerebilmektedir. Kullanılmış sular; kaynakları, toplama sisteminin özellikleri ve uygulanan arıtma prosesleri gibi birçok faktöre bağlı olarak farklı konsantrasyonlarda kimyasallar içerebilir.

6.4.1. İnorganik kimyasallar

Kullanılmış sular içerisindeki inorganik bileşenler arasında metaller, tuzlar, oksitleyici maddeler, besi maddeleri ve

muhtemel nano malzemeler içerebilmektedir. Geri kazanılmış sulardaki inorganik madde konsantrasyonları kullanılmış suyun kaynağı ve arıtım seviyesine bağlıdır. Farklı geri kullanım uygulamalarında geri kazanılmış sulardaki inorganik maddelerin varlığı yeniden kullanım potansiyelini etkileyebilmektedir. Mevcut arıtma teknolojileri kullanılarak genellikle birçok iz element sulama ve içme suyu olarak geri kullanım için limit değerlerin altına düşürülmesi sağlanabilmektedir. Genel olarak, inorganik bileşenlerin doğrudan ya da gıda yoluyla vücuda alınması sağlık riskleri iyi şekilde tanımlanmalıdır. Su içerisindeki inorganik maddeler toplam konsantrasyonları; toplam çözünmüş katılar (TDS) ve iletkenlik parametreleri ile ölçülebilmektedir. Evsel su kullanımında tipik olarak 300 mg/L (150-500 mg/L) çözünmüş inorganik katılar eklenebilmektedir [3].

6.4.2. Metaller ve tuzlar

Kullanılmış suların deşarjı ve endüstriyel kullanılmış suların ön arıtımıyla ilgili yasal düzenlemelerde toksik metallerin belirlenen limit değerlerin altında olması ön görülmektedir. Bu nedenle evsel kullanılmış sulardaki toksik metal konsantrasyonlarının çoğu halk sağlığı ve deşarj limit değerlerinin altındadır. Deterjanlarda bulunan metallere biri olan bor, evsel kullanılmış sulara bulunabilir, ancak genellikle bazı çevre ve sağlık kuruluşlarının (USEPA ve WHO) ön gördüğü limit değerlerin altındadır. Borun farklı konsantrasyonları bazı bitki türleri için toksik olabilmektedir. Bor içeren geri kazanılmış suların sulamada kullanılması bazı bitki türleri üzerindeki negatif etkilerinden dolayı sınırlandırılmıştır. Benzer şekilde, geri kazanılmış sulardaki tuzlar genellikle eşik değerleri aşmadığı sürece insan sağlığı üzerinde risk oluşturmazken bitkileri etkileyebilir. Tuz içeriği yaprakların yanmasına neden olabilir, killi toprakların geçirgenliğini azaltır ve toprak yapısını etkileyebilmektedir. Tuzluluk aynı zamanda estetik kaygılara,

tortu oluşumu ve korozyona neden olabilmektedir. Tuzluluk bazı arıtma teknikleri kullanılarak giderilebilir ancak bu uygulamalar maliyetli ve oluşan konsantrelerin (tuzlu su) bertarafı sorun olabilmektedir.

Tarımsal sulama amaçlı geri kullanımda dikkat edilmesi gereken su kalite parametrelerinden biri tuzluluktur. Suyun iletkenliği sudaki iyonların toplam ve bağlı konsantrasyonlarına, hareketliliğine, değerliklerine ve ölçüm sıcaklıklarına bağlıdır. Elektriksel iletkenlik değeri ölçülerek sudaki iyon miktarı hakkında yaklaşık olarak bir fikir edinmek mümkündür. Topraktaki tuzluluğun su kalitesi, toprak geçirgenliği, organik madde içeriği, toprak drenajı ve taban suyu derinliği gibi faktörlere bağlıdır. Geri kazanılmış suların tarımsal sulamada geri kullanımında tuz içeriğinin kontrol edilmesi gereklidir. Yüksek tuz konsantrasyonlarına sahip geri kazanılmış sular; tarımsal alanlarda toprakların tuzlanmasına, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bozulmasına ve yetiştirilen bitki türlerine zarar verebilmektedir. Ulusal mevzuatta çeşitli bitki türlerinin tuzluluğa tolerans değerleri verilmiştir [58].

6.4.3.Oksitleyici maddeler

Suyun geri kullanımında dikkat edilmesi gereken oksitleyici maddeler bromat, kromat ve perklorattır. Bromat, brom içeren kullanılmış suların ozonlamasıyla oluşabilmektedir. Bu nedenle arıtma tesisleri arıtma sırasında oksitleyici maddelerin oluşumunu en aza indirmek için tasarlanmalı ve işletilmelidir. Bromat, klorat ve perklorat ev tipi çamaşır sularından oluşabilmektedir. Perklorat bazı bitkilerde biyobirikime neden olabilmektedir ve sulamada kullanılacak sularda kontrol edilmesi gerekmektedir.

6.4.4.Besi maddeleri

Kullanılmış sularda bulunan azot, fosfor ve potasyum bitkiler için önemli nütrientlerdir. Azot ve fosfor arıtılmış sularda bir miktar

bulunabilmekte ve bu suların sulamada geri kullanılması durumunda bitki gelişimini etkilemektedir. Bitki büyümesini sağlayan azot sulamada kullanılan geri kazanılmış sularda çoğunlukla amonyum nitrat formunda bulunmaktadır. Ancak sulamada kullanılan geri kazanılmış sularda istenilen seviyenin üzerindeki konsantrasyonlarda azot bulunması bitkilerin büyümesi, gelişmesi ve olgunlaşmasını engelleyebilmektedir [58]. Fosfor konsantrasyonunun ise fazla olması bitkiler için herhangi bir olumsuz etkiye neden olmamaktadır. Ancak yüksek konsantrasyonlarda fosfor içeren geri kazanılmış suların yüzeysel sulara karışması durumunda istenmeyen çevresel etkilere neden olabilmektedir [176], [58].

6.4.5. Nanomateriyaller

Nanomateriyaller, boyutlarına bağlı olarak genellikle nano ölçekte (1nm) morfolojik özelliklere sahip malzemeler olarak tanımlanabilir. Nanomateriyaller 1-100 nm arasında değişen bir veya birden fazla boyuta sahiptir. Nanofilmler (bir boyutlu), nanotüpler (iki boyutlu) ve nanopartiküller (üç boyutlu) olabilmektedir. Zeolitler gibi büyük parçacıklar, gözenekleri nanometre boyut aralığında (0,4-1 nm) olduğundan nanomateriyal olarak düşünülebilir. Nano materiyaller organik, inorganik ya da bunların kombinasyonu şeklinde olabilmektedir.

Nanoteknoloji, su arıtımında ve su kalitesinin izlenmesinde ilgi çeken yeni imkanlar sağlamaktadır. Nanosorbentler, nanokatalizörler, biyoaktif nanopartiküller, nano yapıli katalitik membranlar ve nanopartiküller ile güçlendirilmiş filtrasyon su arıtımında ve su kalitesinin izlenmesinde kullanılabilen yeni nanoteknolojilerdir [177]. Aslında, nanotüpler su ve kullanılmış su arıtımı (tuz giderimi dahil) için yeni membranlar geliştirmek için araştırılmaya devam etmektedir. Birçok tüketici ürünü artık daha büyük ölçekli eşdeğerlerine kıyasla benzersiz yüzey kimyası, katalitik özellikleri, kuvveti, ağırlık ve iletkenlik özelliklerinden dolayı tasarlanmış nanomateriyaller içermektedir

[178], [179]. Tüketici ürünlerindeki nanomalzemeler pazarı 2014 yılında 2 trilyon doları aşan bir potansiyele sahiptir [180].

Doğal olarak oluşan partiküller virüsleri ve doğal organik maddeleri içerirken, sentetik olarak üretilmiş nanomateriyaller çevredeki akibeti, çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkileri nedeniyle son zamanlarda farklı soruları gündeme getirmiştir. Nanomateriyellerin insan sağlığı üzerindeki risklerini belirlemek için ön çalışmalar, risk değerlendirmesi, toksisite ve arıtılabilirliği konusunda çalışmalar devam etmektedir (WEF, 2008). Bu güne kadar kullanılmış sulara bulunan nanopartiküller iz konsantrasyonlarının insan sağlığı üzerinde herhangi bir olumsuz etkisi kanıtlanmış değildir. Nanopartiküller evlerde ve kişisel bakım ürünlerinde de kullanıldığından potansiyel maruziyet kullanılmış sulardan daha fazla olmaktadır. Ancak nanopartiküllerin yüzey sularına verilmesiyle ortaya çıkabilecek potansiyel ekotoksikolojik risk, nanomateriyal içeren ticari ürünlerin kullanımı ve bertaraf edilmesi için rehber dokümanların hazırlanmasına ve risklerin belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır [171].

6.4.6.Organik maddeler

Arıtılmamış kullanılmış suların organik bileşimi doğal yollarla oluşan hümitik maddeler, fekal maddeler, mutfak atıkları, sıvı deterjanlar, yağ, gres, tüketici ürünleri, endüstriyel atıklar ve başka yollarla kullanılmış suların bir parçası haline gelen diğer maddeleri içermektedir. Geri kazanılmış sudaki bu bileşenlerin arıtma seviyesi, geri kazanılmış suyun son kullanımıyla ilgilidir. Organik maddelerle ilgili olumsuz etkilerin bazıları aşağıda sıralanmıştır. Bunlar;

- Estetik etkiler: Organik maddeler kötü kokuya ve renge neden olabilir.

- Tıkanma: Partikül maddeler sulama başlıklarında tıkanmaya neden olabilir, toprakta birikebilir ve gerçirgenliği etkileyebilir.
- Mikroorganizmaların çoğalması: Organik maddeler mikroorganizmalar için besi maddesi niteliğindedir.
- Oksijen tüketimi: Organik maddelerin biyolojik bozunması akarsu ve göllerde çözünmüş oksijen konsantrasyonları azaltmaktadır. Bu durum suda oksijene ihtiyaç duyan canlılar üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir.
- Kullanımın sınırlanması: Birçok endüstriyel uygulamada yüksek organik içeriğe sahip sular kullanılamamaktadır.
- Dezenfeksiyon etkileri: Organik maddeler klor, ozon ve UV dezenfeksiyonda fazla dezenfektan tüketimine neden olacağından dezenfeksiyonu olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Ayrıca organik maddelerin klorla reaksiyona girmesi sonucunda daha zararlı klorlu dezenfektan yan ürünlerinin oluşmasına neden olabilir.
- Sağlık etkileri: Bazı organik bileşiklerin vücuda alınması durumunda akut ve kronik sağlık etkileri gözlemlenebilir.

Evsel kullanılmış sularda çeşitli organik kimyasalların saptanması geri kazanılan suda potansiyel olarak oluşan kimyasal kirleticilerin mevcudiyeti ve sağlık üzerinde oluşturacağı riskleri artırmaktadır. Bazı geri kullanım uygulamalarını düzenleyen kuruluşlar kullanılmış sulardaki kimyasal bileşiklerin eliminasyonu üzerine çalışmışlardır. Ancak bazı kimyasallar hala çok düşük konsantrasyonlarda bulunabilmektedir. Bu bileşiklerin birçoğu yeni düzenlenmeye çalışıldığında, kalıcı kimyasalların arıtılmış kullanılmış suların geri kullanılması durumunda sağlık üzerinde oluşturabileceği potansiyel riskler endişeye neden olabilmektedir. Bu kapsamda insan sağlığı üzerindeki risk potansiyellerinin değerlendirilebilmesi için daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır [181].

Kullanılmış sularda organik madde içeriğinin belirlenmesinde toplam organik karbon (TOK), çözünmüş organik karbon (ÇOK), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) parametreleri kullanılmıştır. Ancak bu parametreler arıtma verimliliği ve arıtılmış kullanılmış suların içme suyu olarak kullanılmadığı durumlarda su kalitesini belirlemede kullanılan göstergelerdir.

Kullanılmış sulardaki organik bileşikler klorla dezenfeksiyon işlemlerinde dezenfektan yan ürünlerine dönüşebilir. Dezenfektan yan ürünlerine maruziyeti ile mesane kanseri arasında güçlü ilişkiler bulunmaktadır (Freeman, 2010; Cantor vd., 2010). Bu kapsamda daha önceleri trihalometan (THM) bileşiklerine odaklanılmıştır. Kloroform karaciğer ve böbrek kanseri oluşumuna neden olabilmektedir. Haloasetik asitler ise (HAAs), benzer sağlık etkileri olan klorinasyonun istenmeyen bir yan ürünüdür. Son yıllarda analitik ölçüm yöntemlerindeki gelişmeler su içerisindeki düşük konsantrasyonlardaki kimyasal bileşiklerin sağlık açısından önemli olan kimyasalların ve dezenfektan yan ürünlerin belirlenebilmesine katkı sağlamıştır. Özellikle kanserojen olduğu bilinen NDMA kullanılmış sularda bulunabilmekte ve geri kazanılmış suların klorla dezenfekte edilmesi durumunda oluşmaktadır (Mitch vd., 2003). Kullanılmış suların dezenfeksiyonunda klor hala yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu nedenle geri kazanılmış sularda dezenfektan yan ürünlerinin incelenmesi kritik bir öneme sahiptir. Bazı planlanmış geri kullanım uygulamalarında NDMA konsantrasyonları geri kazanılmış suların RO prosesleriyle arıtılması sonrasında bile içme suyu limit değerlerinin üzerinde olabilmektedir. Bu nedenle bazı uygulamalarda dezenfektan yan ürünleri ve diğer iz organik bileşiklerin sağlık üzerinde oluşturduğu endişelerin önüne geçebilmek için RO ile arıtım sonrasında ileri oksidasyon prosesleriyle ilave arıtımı yapılmaktadır.

6.4.7. Mikrokirleticiler

Gelişmiş analitik enstrümantasyon, sudaki bağımsız inorganik ve organik bileşenlerin aşırı derecede düşük seviyelerini tanımlamayı ve sayıca belirlemeyi mümkün kılmaktadır. Örnek olarak gaz kromatografisi/tanden kütle spektrometresi (GC/MS/MS) ve yüksek performanslı sıvı kromatografisi/kütle spektrometresi (HPLC/MS) sayılabilir. Bu analizler genellikle maliyetli ve özellikle uçucu organik olmayan organikler için kapsamlı ve zor numune hazırlığı gerektirmektedir. Bunlar ve diğer analitik kimya tekniklerindeki gelişmeler, kimyasalların suda çok düşük konsantrasyonlarının tayin edilmesini sağlamaktadır. Yakın gelecekte daha ileri analitik gelişmeler yüzeysel sularda, kullanılmış sularda, geri kazanılmış sularda ve içme sularında mikrokirleticilerin belirlenebilmesini sağlayacaktır. Ancak insan ve çevre sağlığı açısından düşük konsantrasyonların değerlendirilebilmesi hala büyük bir sorundur.

Analitik teknikler geliştikçe, çok sayıdaki antropojenik kimyasal bileşikler içme suyu, kullanılmış su akımları ya da çevresel sularda genellikle çok düşük konsantrasyonlarda tespit edilmiştir. Bu bileşiklerin tespit edilmesi çevreye muhtemelen on yıllardır salındığını ifade etmemektedir. İz konsantrasyonlardaki bazı kimyasallar ve bileşik sınıfları mikrokirleticiler ve öncelikli kirleticiler gibi tanımlanabilmektedir. Bu kimyasal kirleticiler son zamanlarda farmosötikler, reçetesiz ilaçlar, kişisel bakım ürünleri, ev kimyasalları, gıda katkı maddeleri, alev geciktiriciler, plastikleştiriciler, biyositler, endokrin sistem bozucular gibi sınıflandırılmıştır. Özellikle ulusal içme suyu düzenlemelerinde sınıflandırılan bu kirleticiler hayvan endokrin sistemlerinde bozukluklarına neden olduğu gibi insan sağlığı üzerinde de önemli sağlık problemlerine neden olabilmektedir.

Mikrokirleticiler, çevre içerisinde arka plan seviyelerinin üstünde bulunmaları durumunda “kirletici maddeler” olsalar da bunlar

mutlaka “kontaminant” değildir. Uzmanlar bu konuda endişe ve kafa karışıklığı oluşturmayacak ortak bir terim üzerinde çalışmalarını sürdürmektedir. Bununla birlikte, çok sayıda bileşeni alt gruplarda ya da tekil kimyasallar olarak tanımlamak halk tarafından anlaşılamamasına ve kafa karışıklıklarına neden olmaktadır. Bu kapsamda su içerisindeki mikrokirleticilerin terminolojisi ve ilgili riskleri üzerine tartışmalar ve araştırmalar hala devam etmektedir.

6.4.8. Askıda Katı Madde

Kullanılmış suların geri kazanıldıktan sonra sulama amaçlı geri kullanımı durumunda askıda katı madde (AKM) konsantrasyonları dağıtım sistemlerinde tıkanmaya neden olabilir. Bu nedenle AKM konsantrasyonları sulama sularında istenmezken 30 mg/L gibi AKM konsantrasyonları geleneksel sulama sistemlerinde tolere edilebilmektedir. Bunun yanı sıra sulama sistemlerinin tıkanmasında; sıcaklık, güneş ışığı ve debi gibi diğer faktörler de etkilidir [55]. Ulusal AATTUT’de özellikle damla sulama sistemlerinde tıkanmaya neden olabilecek kalite kriterlerine yer verilmiştir. Ayrıca, geri kazanılmış sularda dezenfeksiyon verimini etkileyeceğinden öncelikli olarak bulanıklık değerlerinin de kontrol edilmesi gereklidir [58].

6.5. Geri Kazanılmış Sular İçin Arıtma Alternatifi Hedeflerinin Oluşturulmasına Yönelik Düzenleyici Yaklaşımlar

Geri kazanılmış suların endüstriyel proses suyu ve içme suyu dahil olmak üzere kullanım alanlarının giderek yaygınlaşması nedeniyle arıtımında dezenfeksiyonun ötesinde metaller, çözünmüş katılar ve mikrokirleticileri de kapsayacak şekilde arıtımının gerçekleştirilmesi gerekli olabilmektedir. Bu

kapsamda ileri oksidasyon prosesleri, oksidasyon prosesleri, aktif karbonla adsorpsiyon, membran filtrasyon prosesleri vb. arıtma teknikleri kullanılabilmektedir.

Kullanılmış suların arıtılmasında kullanılan arıtma prosesleriyle ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda yeraltı suyunun ve diğer su kaynaklarının kirlenmesini önlemek için yeterli proseslerin geliştirilmesi ve sürdürülmesi için gerekli jeolojik parametrelerin yanı sıra, çevre üzerindeki etkinlik ve patojen ve kirleticili davranış, akıbeti ve aktivitesi değerlendirilmiştir. Bununla birlikte farklı ülkelerin çevre mevzuatlarında ve kılavuz dokümanlarında kullanılmış suların geri kullanılmasına yönelik düzenlemeler bulunmaktadır ve çoklu-bariyer yaklaşımının kullanımını önermektedir (Örneğin Kaliforniya’da Code of Regulation for Water Recycling Criteria (Title 22) ve Florida’da Administrative Code For Reuse of Reclaimed Water And Land Application 2009).

6.5.1. Mikrobiyal inaktivasyon

Özellikle insanlarla doğrudan temas halinde olan su kaynaklarında (eğlence alanları, yüzme, sörf, havuz gibi) su kalitesinin izlenmesinde mikrobiyal kriterlerin göz önünde bulundurulması gerekli olmaktadır (EPA’s Recreational Water Quality Criteria (RWQC)). Bunun için kullanılmış suların insanlarla doğrudan temas ederek maruziyet oluşturabileceği alanlarda mikrobiyal standartların sağlanması gerekmektedir. Ayrıca bitki sulama ve yeraltı sularına kullanılmış suların beslenmesinde de mikrobiyal kontrollerin yapılması ve standartların sağlanması gerekli olmaktadır. Bu durumda çoğu zaman konulan standart değerlerin sağlanması adına dezenfeksiyon tek başına yeterli olmaya bilmekte ve ekstra ileri arıtma teknolojilerinin kullanımı gerekli olabilmektedir.

6.5.2. Mikrokirleticiler

Kullanılmış sulardaki mikrokirleticilerin çoğu ABD’de özel olarak düzenlenmemektedir, ancak ön arıtma, atık kılavuzları, ikincil ve ileri arıtma çoğu kimyasal yükünün azaltılmasında faydalı olabilmektedir. Dahası, geri kazanılmış suda potansiyel olarak binlerce kimyasal madde mevcut olduğundan, eser konsantrasyonlarda mevcut olabilecek kimyasalların kapsamlı bir listesini derlemek mümkün değildir. Ancak USEPA tarafından Aday Kirletici Listeleri (Candidate Contaminant List-CCL3) ve Düzenlenmemiş Kontaminant İzleme Kuralları 3 (Unregulated Contaminant Monitoring Rule-UCMR3) olmak üzere bazı düzenlemeler içme suları için yapılmıştır. Ayrıca Dünya Sağlık Örgütü (WHO) su tedarik edilen kaynaklarda farmatik bileşiklerin ölçülmesi ve izlenmesinin gerekmediğini belirtmiştir [182]. İçilebilir su ve içme suyu için geri dönüştürülmüş sudaki mikrokirleticiler için geniş düzenlemeler büyük olasılıkla mümkün ya da gerekli değildir. Özellikle nihai kullanımlar için arıtma özellikleri veya kılavuz ilkeler, tüm ABD içme suyu tedariklerine yönelik yaklaşım faydalı olabilir. Bununla birlikte, su kalitesi bileşimi kriterleri, karar vericilere ve kamu güvenine yararlıdır. Spesifik kimyasallar, özellikle ilaçlar ve böcek öldürücüler için kriterlerin geliştirilmesi, kayıt ya da onay sürecinin bir parçası olarak geliştirilen çok geniş veri tabanlarına sahip oldukları için mümkündür ve maruz kalma marjları, terapötik ya da toksik dozlara göre mevcuttur [183]. Zehirli Maddenin Eşiğinin Tahmini gibi tarama teknikleri, uzun kimyasal listelerini potansiyel daha fazla ilgi çekenlere öncelik vermede ve azaltmada kullanılabilir [184]. Bu teknikler hızlı ve düşük maliyetle uygulanabilir. Düzensiz su kirleticileri için kriterlerin üretilmesi için bir diğer kullanışlı model 20 yılı aşkın süre önce başlatılan düzenleyici olmayan USEPA İçme Suyu Sağlık Tavsiyeleri gibidir [1], [185]. 2012 yılı itibariyle geri kazanım suyunda özel düzenlemeleri bulunmamakla birlikte, konuyla ilgili nihai kararlar alınmadan önce daha fazla soruşturma yapılması

gerekmektedir. Kentsel ve peyzajlı sulama için geri kazanılan suyun (örneğin, çimenler, golf sahaları, parklar, gıda dışı bahçeler, vs.) uygulanması, sulanan çeşitli bitkiler/yüzeylerle temas eden insanlar için çok düşük risk oluşturduğu düşünülse de, son araştırmalar, tarımsal uygulamalarda arıtılmış suyun kullanılmasından kaynaklanan dolaylı sağlık etkilerinin olabileceğini göstermektedir [186]. Bu çalışmada Hollanda'da 1940 yılından itibaren (antibiyotik kullanımı yaygınlaşmaya başladığında) Hollanda'da alınan örneklerde toprak bakterilerinde antibiyotik direncindeki değişimler patojen bakterilerde antibiyotik direncinin arttığını göstermiştir. Bu durum kamu ve çevre sağlığı için yeni bir tehdit oluşturabilir [186]. USDA Tarım ve Gıda Araştırma Girişimi (AFRI) Programı için belirtilen öncelikli alanlardan biri olan mikrokirleticilerin bu daha geniş, dolaylı etkilerini anlamak için geri kazanılmış suyun sulamada uygulanması durumunda ortaya çıkabilecek olan biyoakümüülasyonunun potansiyelini ve uygunluğunu araştırmaktır. Ayrıca USDA-AFRI, geri kazanılmış su ile sulama yapılan ürünlerin farmasötikler ve kişisel bakım ürünlerinin biyoakümüülasyon potansiyelini incelemek için fon sağlamaktadır. Bu çalışma, bu kirleticilerin biyoakümüülasyona uğrayan gıda ürünlerinin tüketilmesi ile ortaya çıkabilecek potansiyel sağlık riskleri üzerine endişeleri gidermek amacıyla yapılmaktadır [187].

7. GERİ KULLANIM UYGULAMALARINDA FAYDALAR VE RİSKLER

Geri kullanım uygulamalarında riskler şu ana başlıklar altında toplanmıştır:

- Çevresel riskler
- Ekonomik riskler
- Sosyal ve sağlık riskleri
- Teknik riskler

Su kaynaklarının hızla tükenmesiyle birlikte artık kullanılmış sular arıtılarak deşarj edilmeli bakış açısının yerine, kullanılmış sular alternatif bir su kaynağı olarak görölmeye başlanmıştır. Dolayısıyla, çok yakın bir zamanda kullanılmış suların yeniden kullanılması artık bir alternatif olmaktan çıkarak bir zorunluluk halini alacaktır. Kullanılmış suları yeniden kullanırken, hem faydalarını bilmek, hem de potansiyel risklerinin farkında olarak gerekli tedbirleri almak gereklidir.

Kullanılmış suların çok farklı yeniden kullanım alanları mevcuttur. Ayrıca, arıtma teknolojilerinin çok gelişmesiyle birlikte istenilen su kalitesine kadar kullanılmış sular arıtılabilmektedir. Geri kullanım noktasındaki su kalitesi talebine göre arıtma prosesleri seçilebilmektedir. Farklı konvansiyonel ve ileri arıtma proseslerinin gelişmiş ve uygulanmakta olması yeniden kullanım uygulamaları için avantajdır. Geri kullanım noktasındaki su kalitesinin ne olması gerektiğı çok önemlidir. Projeye ve geri kullanım noktasına göre gerekli arıtma prosesleri

uygulanmazsa gerekli su kalitesi sağlanamayabilir ve çevre ve halk sağlığı açısından sorunlar oluşabilir.

7.1. Geri Kullanım Uygulamalarının Faydaları

Bu bölümde kullanılmış suların geri kullanım uygulamalarındaki faydalar tartışılacaktır. Örnek olması bağlamında, aşağıda bazı faydalar sıralanmıştır.

- Kullanılmış suların geri kullanımıyla, ham su kaynaklarının (tatlı ve tuzlu sular) nitelik ve nicelik olarak korunmakta ve sürdürülebilirliği sağlanmaktadır.
- Arıtılmış kullanılmış su deşarjlarının azaltılmasıyla çevresel ortamlarda etkin nütrient yönetimi sağlanmaktadır.
- Arıtılmış kullanılmış su deşarjlarının azaltılmasıyla hassas sucul ortamlara ve organizmalara olası etkileri azaltılmaktadır.
- İçme ve kullanma suları için kaynaktan ham su temini, iletimi, arıtımı ve dağıtımının ön yatırım ve işletme maliyetleri bulunmaktadır. Arıtılmış kullanılmış suların geri kullanımıyla bu maliyetler azaltılmaktadır. Ayrıca, küresel olarak ham su kaynaklarındaki nitelik ve nicelik daralmaları neticesinde içme ve kullanma suları için alternatif su kaynakları bulunması zorunluluğu hasıl olmaktadır. Kullanılmış suların geri kullanılmasıyla alternatif su kaynakları ve arıtımı için ek ön yatırım ve işletme maliyetleri de ortadan kalkmış olmaktadır.
- Su ihtiyacının, kesintisiz su talebinin ve su fiyatının en yüksek olduğu yerler genellikle büyük yerleşim birimleri ve büyük şehirlerdir. Arıtılmış kullanılmış sular da genellikle yüksek debilerde büyük şehirlerde

bulunmaktadır (kullanılmış su arıtma tesisinde). Dolayısıyla, bu iki husus birbirini tamamlamaktadır.

- Zirai sulamada kullanılabilecek arıtılmış kullanılmış sulardaki kalıntı nütrientler bir avantaj olup, zirai faaliyetlerdeki sentetik gübre kullanımını azaltmaktadır. Sentetik gübre üretiminde; gübre hammaddelerinin madencilik ile doğadan temininin, zenginleştirilmesinin, gübre üretimi sırasında endüstriyel faaliyetlerin olumsuz  vresel etkileri olabilmektedir. Sentetik gübre üretiminin karbon ayak izi, eko-verimliliği temiz üretim konsepti bağlamında tartışma konusudur. Kullanılmış sulardaki nütrientler hem sentetik gübre üretimini hem de tüketimini azaltabilir. Böylece, azot ve fosfor içerikli doğal cevherler korunmuş olur.
- Kullanılmış suların geri kullanımı ile alıcı ortama deşarjlar ve dolayısıyla kirlilik yükleri azaltılmaktadır. Alıcı ortamların su kalitesinin bozulmamasıyla turizm, balıkçılık, tarım, kentsel yerleşim, sanayi vb. faaliyetler de olumsuz etkilenmemektedir.

Yukarıda kullanılmış suların yeniden kullanımının faydaları genel anlamda sıralanmış olmakla birlikte, aslında bu faydalar kullanım yerine göre değişiklik göstermektedir. Ayrıca, her bir kullanım örneğinin getireceği fayda bir diğerinden farklı olabilir. Coğrafik koşullar, istenilen su kalitesi, suyun fiziksel bulunabilirliği, ekonomik durum, mevcut su iletim hatları, su kullanım öncelikleri, su fiyatları, su politikaları, halkın görüşü ve diğer birçok husus göz önüne alınarak yeniden kullanım planlanmalı ve getireceği faydalar da tüm bu öğeler göz önüne alınarak değerlendirilmelidir. Dolayısıyla, suyun kullanım amacı belirlenirken; en az arıtmıla, halk sağlığını en az etkileyecek, en çok su kullanılan sektörlere hizmet verecek, mevcut su kalitesini ve kaynaklarını koruyacak kullanımlar öncelik olarak alınabilir. Karar verme aşamasında karar destek sistemlerinden faydalanılmalıdır.

Kullanılmış suların geri kullanımında, uzun yıllardır bilinçli veya bilinçsiz yapılan en eski ve akla ilk gelen geri kullanım uygulaması; tarımsal sulamadır. Her ne kadar bir takım riskleri olsa da sulama sistemine, sulanacak bitkiye, sulama yapan çiftçilerin bilinçlilik düzeylerine bağlı olarak diğer birçok geri kullanımdan daha az riskli olduğu söylenebilir. Dünyada ve ülkemizde toplam ham su çekimlerinin ortalama %70'nin tarımsal sulamada kullanıldığı düşünülürse, mevcut su kaynaklarını içme amacıyla saklamak için kullanılmış suların tarımsal sulamada kullanılması oldukça mantıklı gelmektedir. Bunun yanı sıra, kullanılmış suların arıtılarak deşarj edilmesi gerektiğinde, organik maddelerin giderimi yanında pahalı teknolojiler ve bazen de kimyasallar kullanarak azot ve fosforun da giderilmesi gerekmektedir. Fakat kullanılmış suların tarımsal sulamada kullanımında, karbon arıtımının deşarj kadar iyi yapılması gerekmediği gibi, azot ve fosfor da aslında gübre olarak tarımda kullanılabilir. Dolayısıyla, diğer birçok kullanım alternatifine kıyasla, kullanılmış suların, sulamada kullanımı durumunda sadece kullanılmış sular geri kazanılmamakta aynı zamanda kullanılmış su içerisindeki azot ve fosfor da geri kazanılmaktadır. Ayrıca, kullanılmış su arıtma tesislerinde azot ve fosfor giderimi için yatırım daha az yapılmış olacaktır. İşletme ve enerji maliyetleri yüksek olan ileri biyolojik arıtma tesislerine (azot ve fosfor gideren) talep azalmış olacaktır.

Ülkemizde mevcut durumda 6 milyon hektar kadar arazinin sulandığı ve yaklaşık 30-40 milyar m³/yıl suyun tarımda kullanıldığı düşünülürse, elde edilecek faydalar daha da belirginleşecektir. Ülkemizde deşarj edilen evsel/kentsel kullanılmış sularla kaybedilen azot, fosfor ve organik karbon miktarları aşağıda sunulmuştur. Ayrıca, deşarj edilecek kullanılmış suların zirai sulamada geri kullanılması durumunda, gübresel değer bağlamında maliyet analizleri de yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sadece evsel/kentsel AAT'ler için olup, endüstriyel kullanılmış sular (bireysel endüstriler ve OSB'ler)

dikkate alınmamıştır. Olası mikrokirleticiler, biyolojik olarak zor parçalanabilir organik maddeler, ağır metaller vb. hususlardan dolayı endüstriyel kullanılmış suların arıtım sonrası zirai sulamada geri kullanımı tavsiye edilen bir uygulama değildir.

Belediyeler, köyler, imalat sanayi işyerleri, termik santraller, OSB ve maden işletmeleri tarafından 2014 yılında doğrudan alıcı ortamlara deşarj edilen kullanılmış su miktarı 12,7 milyar m³'dür [10]. Evsel/kentsel AAT'lerden geri kazanılabilecek kullanılmış su potansiyelinin, 2010 yılında $\approx 3,94 \times 10^9$ m³/yıl mertebesinde olduğu hesaplanmıştır. Bu miktar suyun 2/3'ünün teknik ve ekonomik olarak yeniden kullanımının mümkün olduğu kabulüyle pratikte geri kazanılabilecek kullanılmış su miktarı $\approx 2,63 \times 10^9$ m³/yıl'dır (10. Kalkınma Planı, 2014).

7.1.1. Toplam azot için hesaplamalar

Evsel/kentsel AAT deşarjlarında ülkemiz genelinde ortalama toplam azot (TN) konsantrasyonunun 20 mg N/L olduğu varsayıldığında (Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ve/veya Kentsel Atıksu Arıtma Yönetmeliğinde farklı şartlara göre farklı deşarj limitleri mevcuttur veya TN için limit yoktur; 20 mg/L'nin temsil edici olduğu düşünülmüştür):

2010 yılında evsel/kentsel AAT'lerden deşarj edilen ($3,94 \times 10^9$ m³/yıl) toplam TN miktarı=**78.800 ton azot/yıl**.

Azotun birim fiyatının 4 TL/kg-N olduğu varsayıldığında (farklı azot bileşiklerini içeren farklı sentetik gübreler mevcuttur, birim fiyatları ve yüzde kütle değerleri değişkenlik göstermektedir, 4 TL/kg-N birim fiyatı ortalama olarak kabul edilmiştir):

2010 yılında evsel/kentsel AAT'lerden deşarj edilen ve kaybedilen ($3,94 \times 10^9$ m³/yıl) toplam TN miktarının ekonomik değeri=**315.200.000 TL/yıl**.

Toplam deşarj edilen debinin 2/3'ünün teknik ve ekonomik olarak yeniden kullanılabilir olduğu varsayılırsa ve zirai

sulamada geri kullanılması durumunda, 2010 yılı için geri kazanılacak TN'nin ekonomik değeri=**210.133.000 TL/yıl**.

7.1.2. Toplam fosfor için hesaplamalar

Evsel/kentsel AAT deşarjlarında ülkemiz genelinde ortalama toplam fosfor (TP) konsantrasyonunun 5 mg P/L olduğu varsayıldığında (Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ve/veya Kentsel Atıksu Arıtma Yönetmeliğinde farklı şartlara göre farklı deşarj limitleri mevcuttur veya TP için limit yoktur; 5 mg/L'nin temsil edici olduğu düşünülmüştür):

2010 yılında evsel/kentsel AAT'lerden deşarj edilen ($3,94 \times 10^9$ m³/yıl) toplam TP miktarı=**19.700 ton fosfor/yıl**.

Fosforun birim fiyatının 3 TL/kg-P olduğu varsayıldığında (farklı fosfor bileşiklerini içeren farklı sentetik gübreler mevcuttur, birim fiyatları ve yüzde kütle değerleri değişkenlik göstermektedir, 3 TL/kg-P birim fiyatı ortalama olarak kabul edilmiştir):

2010 yılında evsel/kentsel AAT'lerden deşarj edilen ve kaybedilen ($3,94 \times 10^9$ m³/yıl) toplam TP miktarının ekonomik değeri=**59.100.000 TL/yıl**.

Toplam deşarj edilen debinin 2/3'ünün teknik ve ekonomik olarak yeniden kullanılabilir olduğu varsayılırsa ve zirai sulamada geri kullanılması durumunda, 2010 yılı için geri kazanılacak TP'nin ekonomik değeri=**39.400.000 TL/yıl**.

7.1.3. Organik karbon için hesaplamalar

Evsel/kentsel AAT deşarjlarında ülkemiz genelinde ortalama KOİ konsantrasyonunun 100 mg KOİ/L olduğu ve KOİ/TOK oranının 2,5 olduğu varsayıldığında (Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ve/veya Kentsel Atıksu Arıtma Yönetmeliğinde farklı şartlara göre farklı deşarj KOİ limitleri mevcuttur; 100 mg/L'nin temsil edici olduğu düşünülmüştür):

2010 yılında evsel/kentsel AAT'lerden deşarj edilen ($3,94 \times 10^9$ m³/yıl) toplam organik karbon miktarı=**157.600 ton organik karbon/yıl.**

Organik karbonun birim fiyatının 1,5 TL/kg-Org C olduğu varsayıldığında (farklı organomineral sentetik gübreler, doğal gübreler, organik ürünler (kompost ürünleri vb.) için farklı birim fiyatlar ve yüzde kütle değerleri mevcuttur, 1,5 TL/kg-Org C birim fiyatı ortalama olarak kabul edilmiştir):

2010 yılında evsel/kentsel AAT'lerden deşarj edilen ve kaybedilen ($3,94 \times 10^9$ m³/yıl) toplam organik karbon miktarının ekonomik değeri=**236.400.000 TL/yıl.**

Toplam deşarj edilen debinin 2/3'ünün teknik ve ekonomik olarak yeniden kullanılabilir olduğu varsayılırsa ve zirai sulamada geri kullanılması durumunda, 2010 yılı için geri kazanılacak organik karbonun ekonomik değeri=**157.600.000 TL/yıl.**

7.1.4.Genel Sonuç

Toplam deşarj edilen debinin 2/3'ünün teknik ve ekonomik olarak yeniden kullanılabilir olduğu varsayılırsa ve zirai sulamada geri kullanılması durumunda, **2010 yılı için geri kazanılacak azot, fosfor ve organik karbonun toplam ekonomik değeri=407.133.000 TL/yıl.**

Sonuç olarak, evsel/kentsel AAT'lerden deşarj edilen debinin (2010 yılı verileri) Türkiye genelinde 2/3'ünün zirai sulamada geri kullanımı ile, kaybedilen toplam **407.133.000 TL** eş değerindeki azot, fosfor ve organik karbon miktarları geri kazanılmış olacaktır. **Bu rakama suyun kendi maliyeti/bedeli ile azot ve fosforun kullanılmış su arıtma tesislerinde giderimi için harcanan yatırım ve işletme maliyetleri dahil değildir.** Kullanılmış suların geri kazanılmasıyla birlikte zirai faaliyetlerde çok daha az miktarlarda sentetik gübre kullanılmış

olacaktır. Sentetik gübre üretiminde hammadde ve enerji kullanımının azaltılmasıyla doğal kaynaklar ve cevherler korunmuş olacaktır. Deşarj edilen kullanılmış suların deşarj edilmemesi ve sulamada geri kullanımıyla alıcı ortamlarda su kalitesinin bozulması engellenmiş olacaktır. Hassas su alanlarının ve tatlı su kaynaklarının korunması daha da kolaylaşacaktır. En önemli hususlardan biri olarak da, zirai sulamada tatlı su kaynaklarımızın kullanılmamasıyla, tatlı su kaynaklarının sürdürülebilirliği sağlanacak, tatlı su kaynakları korunacak ve tatlı su tahsisleri içme, kullanma ve endüstriyel amaçlara daha kolay yapılabilir olacaktır. Yukarıda bahsedilen hususlar da maliyet analizine katıldığında aslında kaybedilen toplam meblağ çok daha yüksektir.

7.2. Geri Kullanım Uygulamalarında Riskler

Geri kullanımı sınırlandıran riskler aşağıda ana hatlarıyla sunulmuştur [68], [188], [189], [1].

7.2.1. Çevresel riskler

Çevresel riskler aşağıda sıralanmıştır. Diğer çevresel riskler proje boyunca belirlenip, değerlendirilecektir.

- Kullanılmış suların sulamada kullanılmasıyla toprakta tuz birikimi ve müteakip yıllarda verim kaybı riskleri.
- Minerallerin toprak geçirimsizliğini azaltması.
- Kullanılmış sulardaki olası mikrokirleticiler (farmasotikler, endokrin bozucular, ağır metaller, öncelikli maddeler, belirli kirleticiler, vb.) ve bunların yeniden kullanım noktalarında olası etkileri.
- Kullanılmış sulardaki olası patojenler (bakteriler, virüsler, protozoalar, helminth yumurtaları, vb.).

- Mikrokirleticiler ve/veya patojenlerin zirai ürünlerde birikmesi.
- Mikrokirleticiler, patojenler ve diğer konvansiyonel kirleticilerin aşırı kullanım/sulamalar sonucu infiltrasyonla yeraltı sularını, yüzeysel akışlarla da yüzeysel suları kirletmesi.
- İçme suyu kaynaklarına olası kirlenme tehditleri.
- Yüksek azot veya nitrat muhtevasından dolayı yeraltı sularının kirlenmesi, istenmeyen vejetasyonun oluşup ürün kalitesini bozması.
- Çeşitli yeniden kullanımlar sırasında istenmeyen koku oluşabilmesi.
- Yapılan sulamalarda biriken fazla azot nedeniyle mantar enfeksiyonlarının oluşabilmesi.
- Fazla nütrient olması durumunda alg patlamaları.
- Proje çalışmaları sırasında belirlenecek diğer riskler.

7.2.2. Ekonomik riskler

Ekonomik riskler aşağıda sıralanmıştır. Diğer ekonomik riskler proje boyunca belirlenip, değerlendirilecektir.

- Sulama sonrasında çeşitli tuzların (klorür, bor, sodyum gibi) toprakta birikmesi nedeniyle mahsul azalması.
- Karbonat ve bikarbonat miktarına göre toprakta su geçirimliliğinin azalması.
- Suda bulunan bileşiklerin ürün işlenmesini etkilemesi.
- Farklı ürün desenlerinin nütrientlere karşı hassasiyet göstermesi.
- Sulama sistemleri ve püskürtücülerin tıkanması.
- Yetersiz depolamadan dolayı olası mevsimsel veya günlük kesintiler.
- Fazla tortu ve korozyon oluşumu sonrası tesisatlarda tıkanmalar, tesisat değişimleri.

- Su kalitesine göre değişmekle birlikte tesisatlarda olası korozyonlar.
- Endüstrilerde yeniden kullanım sırasında ağır metal vb. olası kirleticilerden dolayı üretim proseslerine ve nihai ürün kalitesine olası olumsuz etkiler.
- Yeniden kullanım uygulamaları için ayrı iletim hatları gerekmektedir. Bu hatlar için ön yatırım ve işletme maliyetleri söz konusudur.
- Mikrokirleticiler, patojenler ve diğer konvansiyonel kirleticilerin aşırı kullanım/sulamalar sonucu infiltrasyonla yeraltı sularını, yüzeysel akışlarla da yüzeysel suları kirletmesi sonucu bu tatlı su kaynaklarının arıtılması/rehabilite edilmesi riski.
- Habitat/sulak alan beslenmesi uygulamalarında, mevcut flora ve faunaya ve biyolojik çeşitliliğe uzun dönemli olası etkiler.
- Halkın arıtılmış kullanılmış suların kullanılarak üretildiği ürünlere tepkili yaklaşımları neticesinde ekonomik kayıplar.
- Proje çalışmaları sırasında belirlenecek diğer riskler.

7.2.3.Sosyal ve sağlık riskleri

Sosyal ve sağlık riskleri aşağıda sıralanmıştır. Diğer sosyal ve sağlık riskleri proje boyunca belirlenip, değerlendirilecektir.

- Kullanılmış sulardaki olası patojenlerin (bakteriler, virüsler, protozoalar, helminth yumurtaları, vb.), mikrokirleticilerin, ağır metallerin ve diğer kirleticilerin zirai ürünlerde birikmesi/bulunması sonucu salgın hastalıklar, kronik hastalıklar ve benzeri sağlık riskleri.
- Mikrokirleticiler, patojenler ve diğer konvansiyonel kirleticilerin aşırı kullanım/sulamalar sonucu infiltrasyonla yeraltı sularını, yüzeysel akışlarla da

yüzeysel suları kirletmesi. İçme suyu kaynaklarına karışım riskleri.

- Park, bahçe, golf alanları, rekreasyonel alan sulanması sırasında insanlara (özellikle çocuklara) direkt kontak veya soluma sonucu sağlık riskleri.
- Kullanılmış sularla rekreasyonel amaçlı kullanılan yüzeysel suların dolaylı veya doğrudan beslenmesi uygulamalarında, yüzeysel sularda zamanla kalite kötüleşmesi riski ve neticesinde yüzme, kano, tekne ile gezinti vb. aktivitelerde insan sağlığına olası riskler.
- Yeniden kullanım uygulama noktalarında, şebekelerde, iletim hatlarında çalışan personele/işçilere olası sağlık riskleri.
- Sosyal, dini ve kültürel alışkanlıklardan ve kaygılardan dolayı insanların kullanılmış suların özellikle doğrudan yeniden kullanımına sıcak bakmaması.
- Kullanılmış sular çok iyi kaliteye kadar arıtılsa bile psikolojik faktörler nedeniyle toplumların yeniden kullanım uygulamalarını kabullenmemesi.
- Toplumların eksik bilgilendirilmesinden dolayı turizme ve emlak değerlerine olası negatif etkiler.
- Proje çalışmaları sırasında belirlenecek diğer riskler.

7.2.4. Teknik riskler

- Sulama sistemleri ve püskürtücülerin tıkanması.
- Yetersiz depolamadan dolayı olası mevsimsel veya günlük kesintiler.
- Fazla tortu ve korozyon oluşumu sonrası tesisatlarda tıkanmalar, tesisat değişimleri.
- Su kalitesine göre değişmekle birlikte tesisatlarda olası korozyonlar.
- Proje çalışmaları sırasında belirlenecek diğer riskler.

7.2.5.Yeniden kullanım sırasında karşılaşılan problemler ve çözüm önerileri

Kullanılmış suların çeşitli yeniden kullanım alanlarında global olarak karşılaşılan problemler ve çözüm önerileri Tablo 7-1’de sunulmuştur.

Tablo 7-1 Kullanılmış suların çeşitli geri kullanım alanlarında karşılaşılan problemler ve çözüm önerileri [188], [1]

Kullanım Alanı	Spesifik Kullanım	Kullanım Gözlenebilen Problemler	Sırasında	Çözümler/Arıtma Seçenekleri
Zirai Sulama	Ekin Sulama	Karbonat ve bikarbonat miktarına göre toprak geçirimsizliğinin azalması		İleri arıtma yöntemleriyle karbonat ve bikarbonat giderimi
		Suda bulunan bileşiklerin ürün işlenmesini etkilemesi		Spesifik olarak giderimi istenen bileşiğe göre optimize edilmiş ileri arıtma
		Klorür, bor, sodyum gibi iyonların toprakta birikmesi nedeniyle mahsul azalması		İleri arıtma ile yumuşatma (membran prosesleri); toprağa şartlandırıcılar eklemek ve periyodik olarak aşırı mineralleri topraktan sızdırmak; arıtma öncesi tuzluluk kontrolü
		Çiçek türü bazı ürünlerin nütrientlere karşı hassasiyet göstermesi		Biyolojik nütrient giderim prosesleri (nitrifikasyon/denitrifikasyon ve fosfor giderimi)
		Kadmiyum, kurşun ve civa gibi ağır metallerin ürünlerin biyolojisine zarar vermesi		İleri arıtma sistemleri (membran prosesleri, adsorpsiyon prosesleri)

Kullanım Alanı	Spesifik Kullanım	Kullanım Sırasında Gözlenebilen Problemler	Çözümler/Arıtma Seçenekleri
		Sulama sistemleri ve püskürtücülerin tıkanması	Kullanım sahasında ön-filtrelerin kurulması
		Yüksek azot veya nitrat muhtevsından dolayı yeraltı sularının kirlenmesi, istenmeyen vejetasyonun oluşup ürün kalitesini bozması	Biyolojik nütrient giderim prosesleri (nitrifikasyon/denitrifikasyon)
Yeraltı Suyu	Besleme / İnfiltrasyon	Toplumun geri kazanılmış kullanılmış suyun yeraltı suyu kalitesini değiştireceği kaygısı	Toplumu bilgilendirme programlarının hazırlanması
Kentsel Kullanım	Bahçe / Golf Sahası Sulaması	Düşük demir içeriği nedeniyle ferrik klorür oluşumu	Demir sülfat ya da demir çelatlarla uygulamalar
		Tuzluluğa bağlı olarak toprak geçirimliliğinin azalması	İleri arıtma ile yumuşatma (membran prosesleri); toprağa şartlandırıcılar eklemek ve periyodik olarak aşırı mineralleri topraktan sızdırmak.
		Sulama sırasında istenmeyen koku oluşumu	Hidrojen sülfür oluşum potansiyelinin azaltılması; klor dozlamalarının optimizasyonu, arıtma öncesi tuzluluk kontrolü

Kullanım Alanı	Spesifik Kullanım	Kullanım Gözlenebilen Problemler	Sırasında	Çözümler/Arıtma Seçenekleri
		Yazın yapılan sulamalarda biriken fazla azot nedeniyle sonbaharda mantar enfeksiyonlarının oluşabilmesi		Fungusitlerin uygulanması
	Su Tesisatı ve Çeşmeler	Su içeriğinden dolayı koku ve diğer istenmeyen parametrelerin oluşumu. Fazla nütrientden dolayı alg patlamaları.		Yeterli sistem dizaynı ve işletimi
	Yerüstü Su Beslenmesi	Toplumun eksik bilgilendirilmesinden dolayı turizme ve emlak değerlerine negatif etki		Toplumu bilgilendirme programları
		Fazla nütrientden dolayı alg patlamaları ve ötrofikasyon		Biyolojik nütrient giderim prosesleri (nitrifikasyon/denitrifikasyon ve fosfor giderimi)
Tuvalet Pisuarları	Tuvalet Pisuarları	Yetersiz depolamadan dolayı mevsimsel veya günlük kesintiler		Yeterli dengeleme hazneleri
	Kanalizasyon Şebekelerinin Temizliği	İşçilerin sağlığına potansiyel riskler		Sağlık ve güvenlik için gerekli donanım. Üçüncül arıtma gerekebilir.

Kullanım Alanı	Spesifik Kullanım	Kullanım Gözlenebilen Problemler	Sırasında	Çözümler/Arıtma Seçenekleri
Habitat	Sulak Alanlar	Toplumun doğal sulak alanların su kalitesinin değişeceği kaygısı		Toplumu bilgilendirme programları
		Koku oluşumu		Yeterli sistem dizaynı ve işletimi
		Alg patlamaları/ötrofikasyon oluşumu		Yeterli sistem dizaynı ve işletimi
		Sentetik organiklerin ve ağır metallerin yüksek konsantrasyonda olabilmesinden dolayı habitatın olumsuz etkilenmesi		İleri arıtma sistemleri (membran, adsorpsiyon prosesleri). Kanalizasyona ticari ve endüstriyel kullanılmış su deşarjları için daha fazla ön arıtma ve kontrol.
Endüstriyel/ Ticari	Halı Boyama	Boyama prosesinin etkilenebilme ihtimali ve koku oluşumu		Su kalitesi gereksiniminin değerlendirilmesi, pilot testler yapılması
	Kazan Besleme Suyu	Fazla tortu ve korozyon oluşumu		Demineralizasyon
	Ticari Araç Yıkama	Araç üzerinde fazla miktarda lekelerin oluşması		Yıkama suyunu yumuşatmak ve nihai durulama suyunu demineralize etmek
	Toz Kontrolü	Tanker taşıyıcılarının kirlenmesi		İçme suyu ile geri kazanılmış kullanılmış su taşıyan tankerlerin

Kullanım Alanı	Spesifik Kullanım	Kullanım Gözlenebilen Problemler	Sırasında	Çözümler/Arıtma Seçenekleri
				ayrılması veya taşınımlar arası uygun dezenfeksiyon
	Enerji Santralleri Soğutma Suyu	Yüksek karbonat içeriği nedeniyle minerallerin soğutma kulelerinde birikmesi		Karbonatı uzaklaştırmak için yeterli filtrasyonun yapılması
		Amonyak ve azot miktarının soğutma prosesini etkilemesi		Nitrifikasyon/Denitrifikasyon
		Amonyaga bağlı olarak metallerin korozyona uğraması		Amonyak giderimi
		Aşırı tortu oluşması		Döngülerin azaltılması veya demineralizasyon
	Kimya Endüstrisi	Kimyasal proseslerde sudaki bileşiklerin istenmeyen etkileri		Membran filtrasyonu
		Yüksek miktarda demir ve çinko olabilmesi nedeniyle boyamada problem		Demir ve çinko giderimi
	Tekstil Endüstrisi	Yüksek metal konsantrasyonu olabilmesi nedeniyle boyama prosesinin etkilenmesi		İleri arıtma sistemleri (membran, adsorpsiyon prosesleri)
		Yüksek demir ve mangan konsantrasyonunun suya renk verip boyama prosesini etkilemesi		Demir ve mangan giderimi

Kullanım Alanı	Spesifik Kullanım	Kullanım Gözlenebilen Problemler	Sırasında	Çözümler/Arıtma Seçenekleri
	Petrol ve Kömür Ürünleri	Kimyasal proseslerde istenmeyen bileşikler	sudaki	Membran filtrasyonu
Diğer uygulamalar	Yangın Önleme	Yetersiz depolamadan dolayı mevsimsel veya günlük kesintiler	dolayı	Yeterli dengeleme haznelerinin inşası
		İtfaiye araçlarına geri kazanılmış kullanılmış su kabul edilmeyebilir		Ayrı bir dahili su pompalama sistemini itfaiyeye temin etmek

8. SU GERİ KAZANIMINDA HALKIN ALGISINI ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İRDELENMESİ

Water Reuse Association (Su Geri Kazanım Birliği) tahminlerine göre ABD'de 2005 yılında yaklaşık 11×10^6 m³/gün evsel kullanılmış su geri kazanılmakta olup, geri kazanımın her yıl %15 artacağı tahmin edilmektedir. Birçok büyük projenin hayata geçmesi için halkın desteği önemli olup, bu kapsamda halkın doğru bilgilendirilmesi ve eğitilmesi de önemlidir. Bu kapsamda iki husus önem kazanmaktadır;

- Su geri kazanımına halkın bakışı,
- Suyun yeniden kullanımı seçeneklerinin halk tarafından değerlendirilmesi.

Halkın su geri kazanımına bakış açısının önemli olduğu konusu artık bilinen bir gerçektir. ABD'de halkın su geri kazanımına bakışı veya farklı geri kullanım alternatiflerine karşı tutumları 30 yıldan uzun bir süredir farklı anketlerle değerlendirilmiştir. Genel olarak, peyzaj amaçlı sulamada arıtılmış kullanılmış suların kullanımı halk tarafından %83-98 oranında kabul görmektedir. ABD'de peyzaj amaçlı sulama ve golf sahalarının sulamasında arıtılmış kullanılmış sular uzun yıllardan beri kullanılmakta olup her hangi bir negatif sağlık riski ile karşılaşılmamıştır. Yapılan anketlerde beklendiği gibi halk çok büyük oranda direkt olarak içme suyu şeklindeki kullanıma karşı çıkmaktadır. Fakat anketlerin hazırlanmasında soruların sorulma şekilleri bile

sonuçları etkilemektedir. Örnek olarak sorunun 1-Aşağıdaki kullanılmış su geri kullanım alternatiflerinden hangisine karşısınız? veya 2- Aşağıdaki kullanılmış su geri kullanım alternatiflerini destekliyor musunuz? şeklinde sorulması durumunda alınan sonuçlar farklı olabilmektedir. Ayrıca, halkın bilgilendirilmesi ve kitapçıkların dağıtılarak geri kazanımın tanımı, amacı ve geri kazanılan su kalitesinden bahsedildiğinde halktan alınacak cevaplarda farklı olabilmektedir.

Yapılan anketlerde, içme suyuna kıyasla direkt temasın söz konusu olduğu geri kazanımlar nispeten halktan kabul görmektedir. Genel olarak halkın %15-25'i geri kazanılmış suların yüzme havuzlarında kullanımına ve %14-21'i de sebzelerin geri kazanılmış su ile sulanmasına karşı çıkmaktadır. Fakat çok az bir kesim kullanılmış suların peyzaj amaçlı sulamada kullanımına veya golf sahalarında kullanımına karşı çıkmaktadır [6]. Aşağıda verilen sorunlar ve endişeler kullanılmış su geri kazanımının kabul edilebilirliğini etkilemektedir;

- Su kalitesi ve halk sağlığı,
- Ekonomi,
- Mevcut su kaynaklarının durumu ve su ihtiyacındaki büyüme,
- Çevresel adalet ve eşitlikle ilgili sorunlar,
- "İğrenme" Faktörü (The "yuck" faktor)
- Diğer sorunlar.

Dolayısıyla birçok faktör halkın kullanılmış su geri kazanım projelerine algısını etkilemektedir. Bu tür projeler oldukça yüksek yatırım maliyeti gerektirmekte olup toplumu hem ekonomik hem de sağlık yönünden etkileyecektir. Dolayısıyla, halkın alınan kararlara ve geliştirilen projelere katılımı önem arz etmektedir.

Değişen sosyal ve çevresel trendler nedeniyle artık daha iyi iletişim şart olmaktadır. Geçmişte sadece halkın bilgilendirilmesi

esas olup, iletişim tek yönlüydü. Şimdi ise halkın bilgilendirilmesi yetmemekte ve katılımı da gündeme gelmektedir. Böylece artık çift taraflı bir iletişim söz konusudur.

Halkın aktif katılımının olduğu birçok örnek proje bulunmakta olup bu bölümde örnek projelerden de bahsedilerek, halkın bu projelere katılımını ve dolayısıyla yeniden kullanımı daha kolay kabullenmesinin yolları irdelenecektir [190].

8.1. Halkın Algısını Etkileyen Faktörler

Kullanılmış suların yeniden kullanımında başarı elde edilmesi için halk tarafından kabul edilmesi en önemli faktörlerden biridir. Bu konuda sosyal çalışmalar oldukça sınırlı sayıda olup, daha fazla çalışmanın da yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda A.B.D.'de bir çalışma yapılarak dolaylı içme suyu amaçlı yeniden kullanım hakkında halkın algısı araştırılmıştır. Proje kapsamında 25 iyi uygulama örneği tanıtılarak halkın daha kolay kabul etmesi konusunda yardımcı olmaya çalışılmıştır.

Yeniden kullanım projelerinin halk tarafından kabul edilebilirliğini etkileyen faktörler aşağıdaki gibi sıralanmıştır [191]:

- Yeniden kullanıma dair risklere yönelik algılar,
- İğrenme faktörü,
- Arıtılmış suyun spesifik kullanım amacı,
- Yeniden kullanılacak suyun kaynağı,
- Seçme alternatifinin olup olmama durumu,
- Güven ve bilgi,
- Çevreye yönelik algı,
- Çevresel adalete yönelik konular,
- Sosyo-demografik faktörler,
- Yeniden kullanılacak suyun fiyatı.

8.1.1. Yeniden Kullanım Riskleri

Kullanılmış suların halk tarafından kabul edilmesini etkileyen en önemli faktörlerden biri bu suların kullanımıyla ilgili oluşabilecek risklere yönelik algıdır. Tablo 8-1 yeniden kullanımla ilgili halkın algısına yönelik bazı riskleri özetlemektedir. Avustralya'da yapılan bir çalışmada, katılımcılar kullanılmış sudaki patojenler ve su arıtımı amacıyla kullanılan kimyasalların güvenilirliğine yönelik endişelerini dile getirmiştir. Jeffrey ve Jefferson (2002) tarafından Birleşik Krallık'ta yapılan bir çalışmada katılımcıların büyük bir kısmı (%89) "güvenlik garanti edilirse yeniden kullanıma itirazım yoktur" ifadesini kabul etmiştir. Özellikle yeniden kullanımın çocuklar üzerinde oluşturabileceği etkiler daha çok ön plana çıkmıştır. Sydney'de yapılan bir çalışmada katılımcıların %92'si kullanılmış suların yeniden kullanımı durumunda çocuklara olabilecek etkileri hakkında endişe duyacaklarını ifade etmişlerdir.

Halk; belirsizlik, korku, kontrol, felaket potansiyeli ve kendi risk denklemlerinde eşitlik gibi algıları birleştirerek daha bir risk algısı oluşturma eğilimindedir. Uzmanlar ise riskleri, farklı olarak, olasılıklar üzerinden tanımlar ve öznel faktörlere tesadüfi risk boyutları olarak yaklaşır. Fakat bu "tesadüfi" risk boyutları riskli bir durum karşısında insanların algısını oluşturmada önemli rol oynar. Sydney Water tarafından yapılan bir çalışmada halkın yarısından fazlası (%59) "hiç kimse kullanılmış suyun güvenliğini garanti edemez" ifadesine katılmıştır [85].

Dolayısıyla, halk arıtılmış suyu riskli görürse kullanımdan kaçınmaya çalışacaktır. Halk bu kapsamda mevcut durumda kullandığı sudan vazgeçmek istemeyebilir çünkü iğrenme ve hayal kırıklığının olma olasılığı daha düşüktür.

Tablo 8-1 Risk algıları ile ilgili olarak halkın değerleri

Halkın değerleri	Risklere Yönelik Algılar
Halk sağlığı için temizlik birincil önceliklidir; bozulmamış su kaynakları her türlü kirleticiden, hatta henüz tanımlanmamış olanlardan, uzak tutulmalıdır.	• Kullanılmış su güvenilir bir kaynaktır. Çünkü arıtmadan soran dahi iz miktardaki kirleticiler suda kalacaktır. • Kullanılmış sular güvenilir kaynaklardır, çünkü gelecekte zararlı oldukları belirlenecek kimyasallar içerebilirler.
Doğa, teknolojiye daha güvenilirdir. Nehir ve kaynaklardan temin edilecek sular, arıtma tesislerinden alınacak suya tercih edilir.	• Arıtılmış su güvenilir değildir çünkü doğal değildir. • Halk yeniden kullanılacak suyun güvenirliliği ve kalitesine yönelik kontrole sahip değildir.
Topluluk, pahalı ve geri dönüşümsüz kararlar vermek suretiyle "bütün yumurtalarını bir sepete koymamalıdır".	• Su geri kazanım uygulamaları doğal kaynakları kullanmaktan daha maliyetlidir. • Arıtılmış suyun kullanım kararı geri dönüşümsüz olup, bir defa su kaynağına girdiğinde kolaylıkla giderilemez. • Kullanılmış suların yeniden kullanımı gelecekte bilinmeyen sonuçların oluşmasına neden olabilir.
Kamu görevlileri dürüst olmalı, fakat konumlarını korumak için genellikle yalan söylerler.	• Yöneticilerin kullanılmış suların yeniden kullanım projelerinde çıkarları olduğundan, suyun kalitesine güvenilmemelidir.

8.1.2.İğrenme - "Yuck" Faktörü

Kullanılmış suların yeniden kullanılmasına yönelik çalışmaların başlamasıyla birlikte "iğrenme faktörü" de 1970'li yıllardan itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Birçok kişi kullanılmış suların yeniden kullanımıyla ilgili psikolojik bir bariyer olduğunu belirtmiştir. Bu psikolojik bariyer ise insanlardaki iğrenme duygusundan ileri gelmektedir.

Bu iğrenme duygusunun temel nedeni ise geri kazanılmış suyun bir zamanlar atık ile temas etmiş olmasıdır. Kişilerin bu iğrenme duygusu ise kişinin bu tür geri kazanım projelerini desteklemesine yönelik tepkileri için iyi bir indikatördür [190].

8.1.3.Arıtılmış suyun spesifik kullanım amacı

Yukarıda bahsedilen kullanılmış suların yeniden kullanımı durumunda iğrenme ve risk duyguları, haliyle kullanılmış suların geri kazanım alternatiflerini etkilemektedir. Spesifik olarak geri kazanılmış su insanların temas veya kullanımına ne kadar yakın ise insanlar bu tür suları kullanmaya o kadar uzak olacaktır.

Yapılan çalışmalar göstermiştir ki; kullanılmış su geri kazanımı ortak halk alanlarından evlere veya tuvaletlerden, banyolardan, duşlardan içme suyu kullanımına taşındıkça halk tarafından görüldüğü destek de azalmıştır. Bruvold (1988) su geri kazanımına yönelik halkın algısını etkileyen iki önemli faktörden bahsetmiştir. Bunlar: (1) insanların temas derecesi, (2) beş faktördür (sağlık, çevre, arıtım, dağıtım ve koruma).

8.1.4.Geri kazanılmış suların kaynakları

Geri kazanılacak olan suyun kaynağı ve kullanım geçmişi ayrıca geri kazanılacak olan kullanılmış suyun kabul edilebilirliğini etkilemektedir. Spesifik olarak gri suların veya birinin kendi evindeki kullanılmış suların yeniden kullanımı, başka insanların veya ikincil kaynakların kullanılmış sularının yeniden kullanımından daha kabul edilebilir bir durumdur. Tabi bu

durum kullanılmış sularla ilintili iğrenme faktöründen kaynaklanmaktadır. İnsanlar kendilerine ait kullanılmış suları diğerlerinininkine kıyasla daha az iğrenç bulmaktadır. Tabi geri kazanılan suyun kaynağı insanların kabul etmesi bakımından son derece önemlidir. İnsanlar başka insanların kullanılmış sularını veya gri sularını yeniden kullanmaktansa onların çatılarından elde edilen yağmur sularını kullanmayı tercih edeceklerini ifade etmişlerdir. Yapılan çalışmalarda; insanlar gri suların ev bahçelerinde, kullanılmış suların da park ve bahçelerde kullanımını geri kazanılmış kullanılmış suların akifer beslemesinde kullanımından daha kabul edilebilir olduğunu belirtmişlerdir. Çoğu zaman insanlar kararını açıklamadan önce arıtım düzeyinin ne olduğunu sormuşlardır.

8.1.5.Seçme alternatifinin olup olmama durumu

Seçme alternatifinin olup olmama durumu da insanların kullanılmış suları yeniden kullanmayı kabul etme algılarını etkilemektedir. Su kıtlığının yaşandığı yerlerde insanlar kullanılmış suların yeniden kullanımını daha kolay kabul etmektedir çünkü su kıtlığının farkında olup suyu israf etmemeleri gerektiğinin zaten farkındadırlar. Örnek olarak İsrail'de insanları kullanılmış suların geri kazanımını konusunda ikna etmeye gerek yoktur, çünkü zaten herkes ülkedeki su kıtlığının zaten farkındadır. Eğer başka alternatifler mevcut ise insanlar kullanılmış suların yeniden kullanımını sorgulamaktadır. Genel olarak insanlar, kullanılmış suların yeniden kullanımı için gerçekten buna ihtiyaç duyulması gerektiğinde kabul edilebilecek bir durum olduğunu ifade etmişlerdir. Fakat diğer su kaynaklarına artan ihtiyaç da her zaman insanların kullanılmış suları kabulleneceği anlamına gelmemektedir. 1987-1992 yılları arasındaki kurak dönemde gündeme gelen ve başarısızlıkla sonuçlanan San Gabriel Valley Yeraltı suyu besleme projesi buna örnek olarak verilebilir.

8.1.6.Yetkililere ve bilimsel bilgi birikimine olan güven

Güvenilir su sağlayacaklarına dair otoritelere yani yetkililere olan güven ile bilimsel araştırmalar ve teknolojiye olan güven su geri kazanımını konusunda toplumun kabul derecesini etkilemektedir. Sydney Water tarafından yapılan bir çalışmada üniversiteler veya araştırmacılar insanların bu konuda en güvendikleri kaynaklar olduğunu ortaya koymuştur [85]. Tabi bu güven uzun yıllara bağlı olarak kurulmakta olup, parasal veya politik etkilere çok da bağımlı değildir. Fakat güvene rağmen insanlar riskli kullanımlardan uzak durmak isteyebilirler. Ayrıca, bilgi kaynağına olan güven ile bu bilginin kişinin risk algısına etkisi arasındaki ilişki de belirsizdir. Dolayısıyla, bilgi sahibi olan insanın ne hissettiğinin anlaşılması önemlidir. Genel olarak su geri kazanımına karşı olan insanların en çok dile getirdiği neden güvensizliktir. Bu kapsamda insanların ilgili otoritelere güveni son derece önemlidir [190].

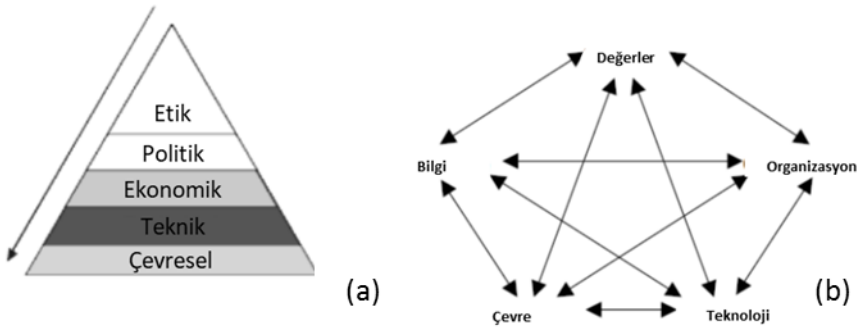
8.1.7.Çevreye yönelik algı

Çevreye karşı duyarlılık derecesi de su geri kazanım çalışmalarına destek vermede belirleyici bir faktör olabilmektedir. rnek olarak Güney Avustralya'da bulunan Mawson Lakes bölgesinde arıtılmış sular ile yağmur sularının karışımı yeniden kullanılmaktadır. Bu amaçla iki farklı su şebekesi bulunmakta olup, mor şebeke uygulamasıyla halka kullanılmış su sağlanmaktadır. Bu bölgede yaşayanlar evre için pozitif bir şeyler yaptıkları için burada yaşamaktan mutlu olduklarını ifade etmişlerdir. Bununla birlikte, 20 hanede yaşayan hiç kimse Mawson Lakes bölgesinde yaşamayı şmelerinin nedeni olarak kullanılmış suların yeniden kullanımını belirtmemiştir.

Sydney Water tarafından yapılan bir çalışmada ise kullanılmış suların yemek yapma ve içme amaçlı kullanımını onaylayan

insanların çevreye faydalı bir şeyler yapmanın önemli olduğunu vurgulamışlardır [85].

Dolayısıyla, çevresel değerlerin farkında olunması durumu kullanılmış suların yeniden kazanılmasına gösterilecek yaklaşımı etkilemektedir. Yapılan çalışmalarda halkın değerlerinin risklerle ilgili algıları etkileyen en önemli etki olduğunu göstermektedir. Diğer önemli bir nokta ise politik kararlardır. Politika yapımcıların çevresel, teknolojik ve ekonomik faktörleri dikkate almaları durumunda etki yukarıdan aşağı doğru olacaktır, bu durumda da yeterli politik istekle birlikte ekonomik kaynaklar oluşturularak gerekli teknik ve teknolojik çözüm satın alınabilir ve sürdürülebilir çevre için uygun kalitede su üretilerek dağıtılabilir. Rosenblum (2005) tarafından etik değerlerin politik motivasyonu belirlediği karar verme sürecinin hiyerarşik bir modelini (Şekil 8-1(a)) sunmuştur. Rosenblum (2005) ayrıca değerler, teknoloji ve sosyal organizasyonların evrimsel bir ilişki içinde gösterildiği Norgaard (Şekil 8-1(b)) diyagramına da atıfta bulunmuştur.



Şekil 8-1 Karar-verme sürecinde etik değerleri (a) ve çevresel konuları ilişkilendiren (b) iki model [190]

8.1.8.Çevresel adalete yönelik konular

Bir geri kazanım projesinin kabul edilebilirlik algısını aynı zamanda çevresel adalet kavramı da etkilemektedir. San Diego

Geri Kazanım Projesinin en önemli muhaliflerinden biri olan Herman Collins, kullanılmış suların alıcıları olarak kabul edilen düşük ve orta gelirli topluluğa karşı adil olmayan algının aldığı karardaki en önemli etken olduğunu belirtmiştir.

Karar alma sürecindeki adalet algısı da önemli bir husustur. Maroochy ve Caloundra konseyleri, proses başlangıcının bazı gruplar tarafından adil görülmemesi nedeniyle başlatılamamıştır. Rivermouth Action Group kendilerine danışılmadığını ve proje konseptinin hazırlanmasına dahil edilmediklerini dile getirmişlerdir.

Sydney Water katılımcıları hemen yanı başlarındaki arıtma tesislerinin estetikliği üzerine kaygılarını da dile getirmişlerdir [85]. Arıtma tesislerinin toplumsal yaşam alanlarından uzak olması gerektiğini ve kötü koku ve bulaşma nedeniyle yerinde arıtımın yapılmaması gerektiğini savunmaktadırlar. Ayrıca katılımcılar kullanılmış suların yeniden kazanılmasına çok su kullanan sektörlerden mesela endüstrilerden başlanması gerektiğini böylece daha fazla su tasarrufunun da yapılabileceğini belirtmişlerdir.

8.1.9.Sosyo-demografik faktörler

Su geri kazanımını etkileyebilecek faktörlerden biri de demografik faktörlerdir. Bazı çalışmalarda özellikle 50 yaş üzerindeki insanların su geri kazanım projelerini daha az desteklediklerini ifade etmişlerdir. Dolayısıyla bu yaşı hedef alan bazı eğitim programları düzenlenmiştir. Yine Sydney Water tarafından farklı yaş, cinsiyet, eğitim düzeyi ve ana dillere sahip insanlardan farklı tutumlar aldıklarını belirtmişlerdir [85].

8.1.10. Geri kazanılan suyun fiyatı

Geri kazanılan suyun fiyatı da halkın kabul etme durumunu etkileyen faktörlerden biridir. Daha düşük kalitede olduğu

düşünülerek geri kazanılmış kullanılmış suyun daha ucuz olması halk tarafından beklenmektedir.

8.2. İstişare

8.2.1. Toplum ile istişare yolları

Proje planlamada ve geliştirmede halkın katılımı yerel yetkililer tarafından sağlanabilir ve ayrıca halka danışılarak fikirlerinin de dikkate alınacağına dair güvence verilmesini gerektirir. İstişare; tüm katılımcıların temas içinde olduğu bir prosestir. Bu proseste bilgi alış verişi ve paylaşımı temeldir. Halkı istişareye katarak istekleri daha net anlaşılabilir ve bu sayede su kaynakları çok daha kolay ve etkili yönetilebilir. Halk ile istişarenin ve halka danışmanın birçok nedeni olup, bunlardan bazıları;

- Toplumun ihtiyaçlarını ve bilgi seviyesini anlama,
- Herkesin üzerinde uzlaşabileceği hedeflerin belirlenmesi,
- Sosyal, çevresel ve ekonomik konularla ilgili endişeleri tespit etme,
- Önerilen projenin toplum tarafından daha iyi anlaşılmasını hızlandırmak,
- Sorunları çözmek için alternatiflerin belirlenmesi,
- Muhtemel sorun oluşturabilecek hususların erkenden çözülmesi,
- Katılımcılar arası güvenin ve bütünsel bir yaklaşımın geliştirilmesi,
- Halkın fikirlerini açıklamasına ve yetkililerden değerlendirme yapmasını istemelerine fırsat verme,
- Halk tarafından ortaya konulan muhtemel sorunların uygun şekilde değerlendirileceğine ve daha sonra nihai kararın verileceğine dair toplumun tatmin edilmesi.

8.3. Paydaşların Belirlenmesi

Toplum; amaç, hedef, motivasyon ve sorunları kendine özgü farklı gruplardan oluşur. Dolayısıyla, toplum ile istişare planlarken bu grupları incelemeli ve projeden etkilenecek veya projeye ilgi gösterecek grupları belirlemek gerekecektir. Bir kişi ayrıca farklı gruplarda da yer alabilir ve deneyim veya ilgisini diğerleriyle de paylaşabilir.

Topluluk içerisindeki grupların ve paydaşların belirlenmesi için birçok yaklaşım vardır. Yaklaşımlardan biri paydaşları spesifik ilgilerine göre gruplamaktır. Paydaş kategorilerini şu şekilde belirlemiştir [192]:

Geniş ilgi grubuna sahip olanlar: Durumu toplum ilgisi ve çevresel açıdan incelerler. Önerinin kabulü tamamen liyakate bağlı olarak yapılır. Eğer karar vericiler projeyi objektif olarak iyi niyetle incelemelerse bu grubun tepkisini alırlar.

Kazancı olacak ilgi grupları: Projeden etkilenecek gruplardır. Verecekleri kararlar proje etkilerine bağlıdır. Tamamen sonuca bakarlar ve kendilerinin nasıl etkileneceklerine göre karar verirler.

Etkilenecek tekil kişiler: Projeden etkilenecek tekil kişiler olup, projenin kendilerine yükleyebileceği maliyetle ilgilenirler.

Genel Toplum: Genelde toplum kendiyle kalmak ister, kompleks ve görev alacakları projelerin içinde yer almak istemez. Fakat bu genel toplumun duruma aldırmadığı anlamına gelmez.

Şampiyonlar: Bazı bireyler kamusal konularda kamu yararına şampiyonluk amacıyla katılırlar. Kişisel ilgiler de bu durumu etkiler.

Medya: Genellikle kompleks konularda medyanın gerçeği yansıtması güç olabilir. Genellikle en iyi yaptıkları şey çatışmaları

ve farklılıkları gündeme getirmektir. Destekçilerin ne dediğiyle veya ne yaptığıyla ilgilenmezler. Medyanın bir projeyi kabul etmesi tamamen liyakate bağlı olabileceği gibi tersi de tamamen olabilir [190] .

8.4. Toplumun Projelere Dahil Edilmesi

Başarılı bir şekilde toplumu projelere dahil etmenin aslında bir formülü yoktur. Bunun en önemli nedeni ise; farklı toplumlar için ve farklı konular için farklı istişare tekniklerinin bulunmasıdır. Örnek olarak küçük bir toplum için basit bilgilendirme teknikleri yeterli iken, daha kompleks ve büyük bir toplum için daha resmi tekniklerin izlenmesi gerekmektedir.

Doğru yöntemin bulunması özellikle istişarenin amacına da bağlıdır. Amaçlar; bilgiye ulaşma, bilgi paylaşımı veya karar-alma süreç prosesinin paylaşımı olabilir. Genel olarak, istişarenin amacı; bilgi paylaşımı, geri bildirim almak ve otoriteler ile paydaşların ortaya koyduğu konuları ve seçenekleri açık bir şekilde tartışmaktır.

Toplumla iletişim ister toplantılarla ister medya aracılığıyla olsun, etkili iletişim için proje konu ve amaçları üzerine yüksek kalitede bilginin sunulması önemlidir. İletişim metotları aşağıda sunulmuştur [190] ;

- **Halkla toplantı:** Geniş katılımlı kitlelerle bilgi paylaşımı için uygundur. Ayrıca, halka soru sormaları ve proje hakkında fikirlerini söylemeleri için de izin verilir. Burada risk bazı anlaşmazlıkların çıkmasıdır. Bu nedenle deneyimli bir kişi tarafından toplantının planlanması ve organize edilmesi şarttır. Ayrıca, katılımcılar toplumun önemli bir kısmını temsil etmeyebilir ve toplantı; önerilen proje için bir konsensüs için kullanılmamalıdır.

- Forumlar: Paydaşlar ve ilgili grupların fikirlerini beyan edip tartıştığı toplantılardır.
- Çalıştaylar: Profesyoneller ile toplum üyelerinin bir araya gelerek çalıştıkları, bilgi alış verişinde bulunarak spesifik bir soruna çözüm aradıkları toplantılardır.
- Topluluk danışma komiteleri: Daha resmi bir yöntem olup, toplum temsilcilerinin katılımını sağlar. Toplumsal gruplara karar alma süreciyle ilgili bir pencere sunması bakımından önemlidir.
- Arazi Ziyareti: Toplum temsilcilerine arıtma tesislerini ve su geri kazanım tesislerini ilk elden göstermek etkili olacaktır. Ayrıca, topluluk üyelerine bir eğitim verilmesi de oldukça etkileyici olabilmektedir.
- Görseller/ekranlar: Toplumu bilgilendirmek ve geri dönüş imkanı vermek için etkili bir yoldur. Proje ile ilgili fotoğrafların ve görsellerin kütüphaneler ve alış veriş merkezleri gibi halkın sık gittiği yerlerde gösterilmesi önemlidir.
- Basılı materyaller: Broşür ve gerçekleri gösteren basılı materyallerle halk bilgilendirilebilir. Çeşitli dergi ve magazinlerle birlikte ek olarak da bu gibi tanıcı materyaller dağıtılabilir.
- Video ve sesli mesajlar: Hazırlanan videolarla proje çok net bir şekilde tanıtılabilir. Televizyon ve radyo programları da bu kapsamda oldukça etkili araçlardır.

8.5. Toplumun Eğitimi

Yeryüzündeki suyun sürdürülebilir olarak kullanılmasının gerekliliğinin artmasıyla birlikte su geri kazanımı artarak daha önemli bir hal almaktadır. Arıtma alanındaki teknolojinin gelişmesiyle birlikte, bugün artık toplumun ihtiyaç duyduğu her alandaki kullanım seviyesine kadar kullanılmış sular arıtılabilmektedir.

Fakat, halktaki algı her zaman bu şekilde olmayıp, geri kazanılmış suyun kalitesinin kötü olduğu, kaynağının kullanılmış su olması, insan kullanımına uygun olmadığı gibi fikirleri barındırabilmektedir. Toplumdaki bu algının nedeni ise oluşabilecek sağlık riskleridir. Bununla birlikte kullanılan bazı terimler de (örnek olarak kanalizasyon çıkışı, kullanılmış su, kirletici deşarjı) halktaki endişeyi arttırabilmektedir. Ayrıca, geri kazanılmış su ile temas durumu konusunda halkta önemli bir bilgi eksikliği de söz konusudur. Bu eksikliğin nedeni ise; toplumun su geri kazanım sistemlerinin çalışması hakkında fikir sahibi olmamalarından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla toplum aslında bu konularla ilgili olarak daha iyi bilgilendirilir ve daha sonra projeye başlanırsa halkın desteğinin artması muhtemeldir.

Daha fazla su geri kazanımının mümkün olabilmesi için toplumdaki algının yıkılması amacıyla halkın eğitilmesinde yeni bir yol önerilmiştir [193]. Önerilen adımlar ise:

- Su endüstrisi için ortak bir dil geliştirmek ve odağı kullanılmış su probleminden uzaklaştırıp, geri kazanılmış suyun yeni bir kaynak olduğunun ve dünyada sürdürülebilir su geri kazanımının başarılabilmesi için bir fırsat olduğunun vurgulanması.
- Farklı kullanım amaçları için gerçekten ihtiyaç duyulan su kalitesi ile ilgili açık tanımların yapılması: doğru su doğru kullanım.
- Geri kazanılmış suyun faydalarının belirtilmesi,
- Su geri kazanım başarı hikayelerinin online olarak paylaşıldığı bir ortam kurulması,
- Su geri kazanım vakalarını halka ve endüstriye tanıtıcı halk programlarının hazırlanması.

9. ÜLKEMİZDE GERİ KAZANIM UYGULAMALARI İÇİN ÖNCELİKLENDİRMEYE YÖNELİK YOL HARİTASI

Kullanılmış suların geri kazanılmasının birçok faydası bulunmaktadır. Aşağıda bu faydalardan önemli olanlar sunulmuştur:

- Kullanılmış suların geri kullanımıyla, ham su kaynaklarının (tatlı ve tuzlu sular) nitelik ve nicelik olarak korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması.
- Kullanılmış su deşarjlarının azaltılmasıyla çevresel ortamlarda etkin nütrient yönetimi sağlanması.
- Arıtılmış kullanılmış su deşarjlarının azaltılmasıyla hassas sucul ortamlara ve organizmalara olan olası etkilerin azaltılması.
- İçme ve kullanma suları için kaynaktan ham su temini, iletimi, arıtımı ve dağıtımının ön yatırım ve işletme maliyetleri bulunmaktadır. Kullanılmış suların geri kazanımı bu maliyetleri azaltılmaktadır. Ayrıca, global olarak ham su kaynaklarındaki nitelik ve nicelik daralmalar neticesinde içme ve kullanma suları için alternatif su kaynakları bulunması zorunluluğu hasıl olmaktadır. Kullanılmış suların geri kullanılmasıyla

alternatif su kaynakları ve arıtımı için ek ön yatırım ve işletme maliyetleri de ortadan kalkmış olmaktadır.

- Su ihtiyacının, kesintisiz su talebinin ve su fiyatının en yüksek olduğu yerler genellikle büyük yerleşim birimleri ve büyük şehirlerdir. Kullanılmış sular da genellikle yüksek debilerde büyük şehirlerde bulunmaktadır (kullanılmış su arıtma tesisinde). Dolayısıyla, bu iki husus birbirini tamamlamaktadır.
- Zirai sulamada kullanılabilecek arıtılmış kullanılmış sulardaki kalıntı nütrientler bir avantaj olup, zirai faaliyetlerdeki sentetik gübre kullanımını azaltmaktadır. Sentetik gübre üretiminde; gübre hammaddelerinin madencilik ile doğadan temininin, zenginleştirilmesinin, gübre üretimi sırasında endüstriyel faaliyetlerin olumsuz çevresel etkileri olabilmektedir. Sentetik gübre üretiminin karbon ayak izi, eko-verimliliği temiz üretim konsepti bağlamında tartışma konusudur. Kullanılmış sulardaki nütrientler hem sentetik gübre üretimini hem de tüketimini azaltabilir. Böylece, azot ve fosfor içerikli doğal cevherler korunmuş olur.
- Kullanılmış suların geri kazanımı ile alıcı ortama deşarjlar ve dolayısıyla kirlilik yükleri azaltılmaktadır. Alıcı ortamların su kalitesinin bozulmamasıyla turizm, balıkçılık, tarım, kentsel yerleşim, sanayi vb. faaliyetler de olumsuz etkilenmektedir.

Kullanılmış su geri kazanımının planlanmasını yaparken en önemli kriterlerden biri hangi kalitede geri kazanılmış su üretileceği ve üretilen bu suyun hangi amaçla kullanılacağına karar verilmesidir. Eysel kullanılmış su geri kazanım sistemlerinin boyutları ne olursa olsun dikkate alınması gereken planlama aşamaları vardır. Endüstriyel sular için geri kazanım sistemleri ise farklı planlamalar gerektirebilirler. Planlama; entegre planlama prosesinde belirtilen genel su kaynakları yönetimi amaçlarıyla uyumlu olmalıdır. Entegre su kaynakları

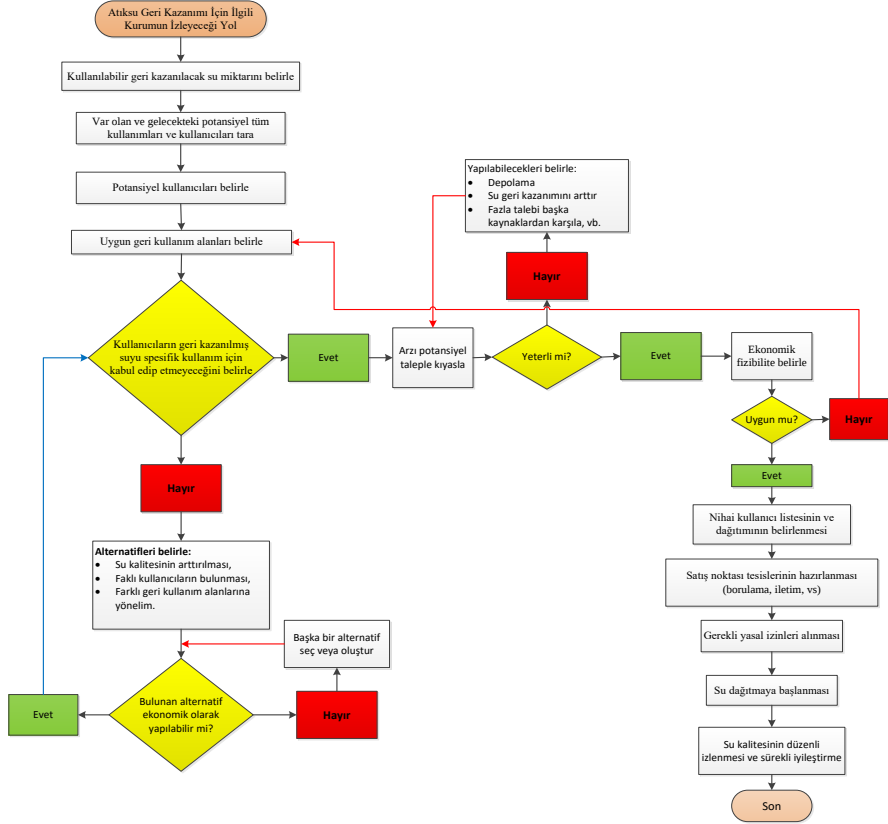
planının bir parçası olarak, su geri kazanım master planı; geri kazanılan suyun kullanılacağı alanları, potansiyel müşteri ve talepler ile ihtiyaç duyulan su kalitesini belirlemelidir. Bu planlar yapılırken, arıtma tesisindeki günlük su debisindeki dalgalanmalar da dikkate alınarak yeniden kullanılabilir su hacmi belirlenmelidir. Bu durum aslında küçük bir detay olarak görünse de oldukça önemlidir. Su tasarruf uygulamaları kapsamında kullanılmış suların sulamada kullanımı günün sabah ve akşam saatlerinde yapılmaktadır. Fakat bu saatlerde kullanılmış su arıtma tesisine gelen debiler düşük olup ayrı bir planlamayı beraberinde getirmektedir. Sulamanın debinin düşük olduğu periyotlarda yapılması durumunda, geri kazanılan su debisi yeterli olmayabilir. Dolayısıyla depolama; su temini ile ihtiyacı arasındaki dengesizlik için bir çözüm olabilir [1].

Kullanılmış su geri kazanım master plan çalışmaları aşağıdaki adımları içermelidir;

- Geri kazanılabilir su miktarının belirlenmesi,
- Var olan ve gelecekteki potansiyel tüm kullanımların taranması,
- Potansiyel kullanıcıların belirlenmesi,
- Kullanıcıların geri kazanılmış suyu kabul edip etmeyeceğinin belirlenmesi,
- Belirlenen kullanım alanı ve kullanıcılara ilişkin yasal sınırlıkların belirlenmesi,
- Arzın potansiyel taleple kıyaslanması,
- Dağıtım sistemi planının hazırlanması,
- Nihai müşteri listesinin belirlenmesi,
- Ekonomik fizibilitenin yapılması,
- Nihai kullanıcı listesinin ve dağıtımının derlenmesi,
- Satış noktası tesislerinin hazırlanması,
- Gerekli yasal izinlerin alınması,
- Yerinde yenileme gerçekleştirilmesi,
- Çapraz bağlantı testlerinin yapılması,

- Su dağıtmaya başlanması.

Bu plan çerçevesinde yöneticilerin yapması gerekenler ayrıca aşağıda (Şekil 9-1) bir akış diyagramı olarak verilmiştir.



Şekil 9-1 Kullanılmış su geri kazanımında yönetim tarafından izlenebilecek yol

Genel olarak kullanılmış suların geri kullanım alanlarına göre standartları ülkeden ülkeye değişmektedir [86]. Bu nedenle, gerek kullanım ihtiyaçlarının ve gerekse potansiyel kullanıcıların tam olarak belirlenmesi için kullanılmış suların geri kazanımına dair mevzuatın tam olarak bilinmesi ve hangi kullanımlara izin verileceğinin netleştirilmesi gerekmektedir. Bu bilgilere tam olarak hâkim olunduktan sonra, ilgili bölgedeki su kullanım

verileri detaylı olarak incelenmeli ve kullanılmış suların en fazla geri kullanılacağı sektörler belirlenmelidir. Bu durum karar algoritmasında da (Şekil 9-1) belirtilmiştir. Burada özellikle geri kazanılan kullanılmış sudan en yüksek oranda faydalanacak kullanıcılara ilk olarak odaklanmak oldukça faydalıdır. Bunun nedeni ise, yapılan yatırımların geri dönüşü çok daha hızlı olabilir, ayrıca içme suyu kaynaklarına olan baskı en yüksek oranda azaltılabilir. Su kullanım verilerine ilave olarak, havadan alınacak fotoğraflar da kullanılmış suların sulama amacıyla kullanımına karar vermede yardımcı olacaktır. Bu değerlendirmelerde kullanılmış suların tarımsal sulama, golf alanlarının sulanması ve diğer rekreasyonel kullanım potansiyelleri de dikkate alınabilir [1].

Kullanılmış suyun geri kullanım alternatiflerini belirlemede dikkate alınması gereken en önemli kriterler:

- Kullanılmış suların geri kazanılacağı bölgede su ihtiyacı: Çoğu zaman ülkenin genel olarak su ihtiyacı değerlendirilmekle birlikte, herhangi bir kullanılmış su kaynağından suyun geri kazanımında lokal durum daha önemlidir. Ülkenin genel durumuna bakıldığında ortalamada su kaynakları yeterli gibi görünse de çoğu durumda nüfus ve su kaynakları eşit dağılmadığından bazı yerlerde su çok fazla iken bazı yerlerde su kıtlığı çekilebilir. Dolayısıyla, kullanılmış su kaynağının bulunduğu bölgenin su ihtiyacının net olarak tespit edilmesi çok daha önemlidir.
- Yasaların izin verdiği kullanılmış su geri kazanım alternatifleri ve istenen su kalitesi: Bu en önemli kriterdir. Yasaların izin vermediği bir geri kazanım alternatifi üzerinde çalışmak veya yatırım yapmak olanaksızdır. Bununla birlikte izin verilen su geri kazanım alternatifleri için gerekli su kalitesi de oldukça önemlidir. Basit arıtım

gerektiren uygulamalar mali bakımdan uygulanabilir olacağından yatırımın yapılması daha kolay olacaktır.

- İlgili bölgede su kullanımlarının değerlendirilmesi ve alternatif geri kazanım uygulamalarına karar verilmesi: Kullanılmış suların geri kazandırılmasında önceliklendirme yapılırken, doğal olarak en az arıtım gerektiren ve insan sağlığına en az zarar veren uygulamadan başlanması gerekmektedir. Bununla birlikte en çok su kullanılan alana yönelmek de oldukça makuldür. En çok su kullanılan alanlarda suyun geri kazanılmasıyla birlikte içme suyu üzerindeki baskılar azalacak, yapılan yatırımlar daha hızlı geri dönecek ve kullanılan su için kullanıcı aranması sorunu kalmayacaktır. Karar verme aşamasında her bir kriterin değerlendirilmesi ve bu kriterlerin bir arada düşünülerek kararın verilmesi önemlidir.
- Mevcut su kaynaklarına artan ve rekabetçi talepler: Nüfus artışı, sanayileşme ve artan zirai sulama suyu talepleriyle birlikte mevcut su kaynaklarına olan baskı ve talepler artmaktadır. Bu kapsamda bir önceliklendirme yapılırken baskı altında olan su kaynakları belirlenmeli ve bu baskıları kaldıracak kullanılmış su geri kazanım yöntemleri önceliklendirilmelidir.
- Halkın ilgisi ve kabullenmesi: Tatlı su kaynaklarının aşırı kullanımı ve tükenmesi hususlarında artık toplumlar bilinçlenmeye başlamıştır. Özellikle gelişmiş ülkelerin toplumları kullanılmış suların geri kullanımı konusunda hevesli hale gelmeye başlamıştır. Bununla birlikte su ihtiyaçları ve geri kazanım alternatifleri değerlendirilirken halkın kabul edebileceği kullanımlara öncelik verilmesi önemlidir. Örnek olarak, kullanılmış suların direkt veya dolaylı olarak içme suyu amacıyla kullanımına halk büyük oranda karşı çıkacakken, yenilmeyen bitki ve ağaçların sulanması amacıyla

kullanılmış suların geri kazanımına halk çoğunlukla destek verecektir.

- Kullanım noktasına yakınlık: Arıtılmış kullanılmış sular genellikle yüksek debilerde büyük şehirlerin kullanılmış su arıtma tesislerinde bulunmaktadır. Kentsel geri kullanımda iletim açısından bu durum avantajdır. Fakat kullanılmış suların geri kazanılmasında bilinen ve uygulanan en eski yöntem ise sulama amaçlı kullanımdır. Bunun en önemli nedenleri ise; su talebinin fazla olması, sulanacak bitkiye bağlı olarak insanların daha az temas ettiği bir geri kullanım olması, insan sağlığını olumsuz etkileme olasılığının sulama çeşidi ve sulanacak bitkiye bağlı olarak en düşük seviyelere çekilebilmesi ve insanların birincil ihtiyacını karşılamaya olan katkısıdır. Fakat bazı durumlarda kullanılmış suyun olduğu nokta ile sulanacak alan arasındaki mesafe bu kullanımı olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle sulama amaçlı kullanım akla gelen ilk alternatif olsa da, lokal olarak suya duyulan ihtiyaçlara göre diğer geri kullanım alanları da ön plana çıkabilmektedir.
- Mali ve bürokratik sorumluluklar: Su kaynaklarının korunması gerekliliğine, sürdürülebilir su yönetimine ve suyun tükenebilir bir kaynak olduğuna dair bilinç düzeyi her geçen gün artmaktadır. Artık kişiler dahi kendilerini bu konuda sorumlu hissetmekte olup, birçok medya aracılığıyla da bu bilinç düzeyinin arttırılmasına çalışılmaktadır. Hal böyle olunca, su kaynaklarının yönetiminden sorumlu idarelere de oldukça fazla iş düşmekte ve sorumlulukları da artmaktadır. Kullanılmış suların geri kullanımı konusunda su ve kullanılmış su idareleri artık tekno-ekonomik ve çevresel faydaları da fark etmiş durumdadır. Geçmiş yıllarda gözlenen geri kullanıma karşı dirençler hafiflemeye başlamıştır. Dolayısıyla, mevcut idarecilerin ve yöneticilerin bakış

açıları da su geri kazanım önceliklendirilmesini etkileyebilecek bir husustur. Bununla birlikte, su geri kazanımına yapılacak yatırımlar için yeterli mali kaynağın olup olmaması da oldukça önemlidir. Mali kaynağın yeterli olmaması durumunda en az arıtım gerektiren alternatif önceliklendirmede ön plana çıkabilmektedir.

- Başarılı ve ispatlanmış geri kullanım referans uygulamaları: Birçok farklı ülkede farklı ve başarılı geri kullanım uygulamaları hızlı bir şekilde artmaktadır. Referans projelerin artması potansiyel projelerin uygulamaya geçmesini tetiklemektedir. Özellikle belirli spesifik alanlarda uygulanmış özel geri kazanım uygulamaları ve/veya özel arıtma yöntemleri/prosesleri test edilip başarıları kanıtlanmış ise, bu tür uygulamalara öncelik verilmesi uygun olabilir.
- Su maliyetlerinin etkisi: Bazı bölgelerde özellikle sanayi için su maliyeti yüksek olabilmektedir. Yerel yönetimler sulama suyu, kentsel kullanım ve sanayi için ayrı su tarifi belirleyebilir. Bu durumda da özellikle su fiyatının yüksek olduğu alanlarda su geri kazanımının yapılması veya planlanması yapılan yatırımların hızlı bir şekilde geri dönüşüne neden olabilir. Haliyle geri kazanım alanlarının önceliklendirilmesini de etkileyebilir.
- Bazı özel su kaynaklarının korunması: Bazı su kaynakları sanayi, sulama ve içme suyu amacıyla kullanılabilir ve çok yoğun bir su baskısı altında kalabilir. Ayrıca medya, halkın baskısı neticesinde de yerel yönetimler bu su kaynağına baskıyı ve su çekimini azaltmak için özel geri kazanım alternatifleri belirleyerek önceliklendirme yapabilir.
- Sıklaşan su kalite standartları: Kullanılmış su arıtma tesislerinin alıcı ortamlara deşarjında su kalite standartları ve ilgili parametreler daha da çeşitlenmekte ve sıklaşmaktadır. Arıtma tesisleri standartları sağlayabilmek için revize edilmekte ve ilave yatırımlar

yapılmaktadır. Kısaca, alıcı ortama deşarjların mali yükü geri kullanımın mali yükü ile örtüşmeye başlamaktadır. Ayrıca, hassas bölgelere veya bazı özel alanlara deşarjların sınırlandırılması durumunda da su geri kazanımı bir zorunluluk halini alabilir. Bu durumda da en uygun su geri kazanım uygulaması belirlenerek önceliklendirme yapılabilir.

- Fırsatlar ve gereklilikler: Kuraklık, su kesintileri, suyun yeterli olmamasından dolayı endüstrilerin sekteye uğrayabilmesi, deniz suyu girişimleri, deşarj standartlarının sıkılaştırılması gibi hususlar su geri kazanımı motive etmektedir. Ayrıca, ekonomik, politik ve teknik şartlar da su geri kazanım uygulamalarını destekleyebilmektedir. Bu hususlar proje bazlı olarak değişebilmektedir. Haliyle hangi etki/husus ilgili lokal bölge için önemliyse, o bölgeye özel su geri kazanım önceliklendirilmesi yapılabilir.

Sayılan bu faktörlere ilave olarak, ilgili alanın iklimi, su kullanımına yönelik yönetmelikler ve en yaygın endüstriler gibi değişkenler potansiyel en iyi su kullanıcıları belirlemede kullanılacak veriler olup, su geri kazanım önceliklendirilmesinde verilecek kararı etkileyebilmektedir. Su geri kazanımında önceliklendirme yapılırken güvenilir kullanıcıların, suya gerçekten ve her zaman ihtiyacı olan kullanıcıların belirlenmesi önemlidir. Bu kapsamda en güvenilir kullanıcılar; suyu her gün ve mevsimden bağımsız olarak sürekli kullanacaklardır, örnek olarak kazan ve soğutma suyuna ihtiyaç duyan kullanıcılar ile su geri kazanılmış suyu üretimde kullanacaklar verilebilir. Bu potansiyel müşteriler sabit ve belirli bir kullanım hacmine sahip olduklarından su arıtımı yapan idare için planlamaları kolaylaştıracak ve su kullanım hacimleri mevsimsel değişimlerden etkilenmeyecektir. Dolayısıyla, mevsimsel değişimlerden etkilenmeyecek müşterilerin mevcudiyetiyle birlikte, kullanılmış su sağlayacak olan otorite yapacağı yatırımı

daha hızlı geri alabileceği gibi, planlamalarını da daha kolay yapabilecektir. İlave olarak entegre su yönetiminin adaptasyonu ile birlikte, ilgili idare tarafından hangi geri kazanım alternatifinin toplam su sistemi için daha değerli olabileceğine de karar verilebilecektir.

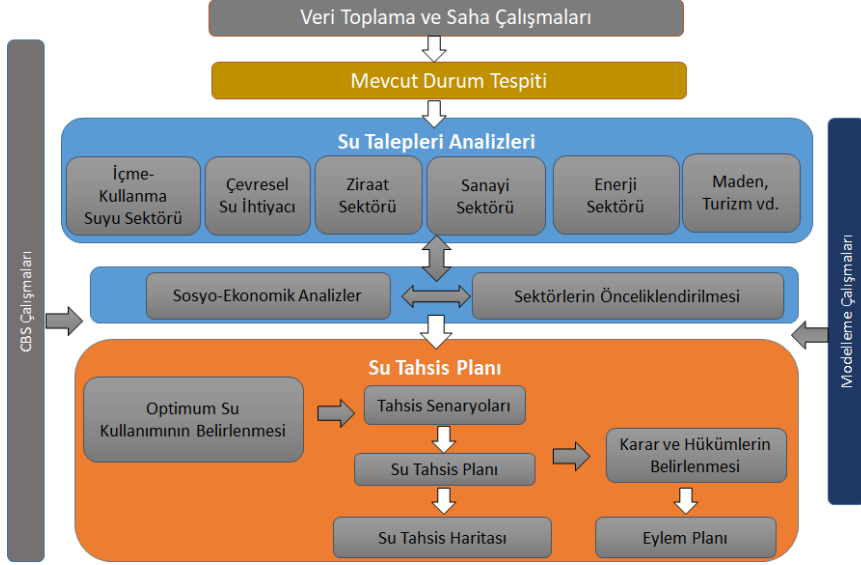
AB normlarına uyum süreçlerinin de bir sonucu olarak ülkemizde havza bazlı çalışmalar başlamış olup, ülkemizin bu konuyla ilgili son yıllarda oldukça önemli bir mesafe kaydettiğini söyleyebiliriz. Şöyle ki; dünyada havza ölçeğinde ilk olarak Konya ve Akarçay Havzaları için kuraklık eylem planları 2015 yılında tamamlanmış olup, diğer havzalar için de çalışmalar devam etmektedir. Bu kuraklık yönetim planlarında kuraklık indisleri, havzadaki su potansiyeli ve havza esaslı sektörel su tahsislerine yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Su Kanunu Taslağına göre ülkemizde kullanım önceliklendirmesi aşağıdaki şekildedir;

- İçme-kullanma,
- Çevre,
- Ziraat,
- Ticari ve enerji,
- Turizm, rekreasyon, maden vb.

Sektörel Su Tahsis Planları'nın asıl amacı ise; su kaynaklarının havza ve sektörel alt havza ölçeğinde paylaşımının sağlanması, geleceğe yönelik planlanması ve her sektörün ihtiyacı olan suyun adil bir şekilde karşılanması planlanmasıdır. Sektörel bazlı su tahsisi planlarında da aşağıdaki adımlar kullanılabilir (Şekil 9-2).

Şekil 9-2'den de görüldüğü gibi bir bölgede yapılacak çalışmalar ilk olarak etkin ve doğru veri toplama ile başlar ki, çoğu zaman doğru veriye ulaşmak hiç de kolay değildir. Veriler toplandıktan sonra mevcut durum tespiti yapılarak, farklı sektörlerdeki su ihtiyaçları belirlenir. Modelleme ve CBS çalışmalarının da yardımıyla sosyo-ekonomik analizler yapılarak sektörlerin önceliklendirmesi yapılır. Bu çalışmalardan sonra yağışlı, kurak,

aşırı kurak senaryolar için su tahsis önceliklendirmesi de dikkate alınarak optimum su kullanım alanları belirlenir ve su tahsis haritaları elde edilir. Elde edilen planlara göre karar ve hüküm belirleme çalışmaları yapılarak, eylem planları hazırlanır. Doğal olarak bu tür çalışmalar birçok katılımcıların yer almasını gerektiren büyük ölçekli çalışmaları gerektirmektedir.



Şekil 9-2 Sektörel bazlı su tahsisi planlarında izlenecek yol [194]

Su geri kazanımında önceliklendirmede yukarıdaki parametreler önemli olmakla birlikte, ülkemiz için genel bir değerlendirme yapıldığında, ilk etapta dikkate alınması gerekli parametreler ve bu parametreler için önceliklendirmede kullanılacak ölçekler aşağıda verilmiştir. Doğal olarak bu kriterlerin sayısı arttırılabileceği gibi, lokal geri kazanım uygulamalarında özel kriterler de belirlenebilir. Bununla birlikte her bir kriterin etkisi ve önemi de farklıdır. Örnek olarak halk sağlığı ödün verilemeyecek ve mali kaygılardan daha önemli bir kriterdir. Bu kapsamda Tablo 9-1’de kriterler verilmiş olmakla birlikte, yukarıda da belirtildiği gibi her bir kriterin ağırlık faktörü değişmektedir.

Tablo 9-1 Su geri kazanımı alternatiflerinin önceliklendirilmesinde önemli parametreler ve değerlendirme kriterleri

Multi Kriter Analizi (MCA): Kriterler	Ağırlık	Puanlar ve Tanımlar			
İlgili geri kullanımın uygulanmasıyla yapılacak su tasarrufu miktarı	8	Puan	1	2	3
		Tanım	AAT çıkış debisinin <%30'u geri kullanılabilir	AAT çıkış debisinin %30-70'i geri kullanılabilir	AAT çıkış debisinin >70'i geri kullanılabilir
İlgili geri kullanımın sürdürülebilir bir şekilde uygulanması	5	Puan	1	2	3
		Tanım	Su talebi bitince geri kullanım sonlanabilir (örneğin, <3 yıl proje süresi)	Su talebi ve geri kullanım 5-10 yıl sürecektir	Su talebi sürekli olacaktır ve yatırımı yapılan geri kullanım projesi en az 20 yıl uygulanacaktır
İlgili geri kullanımın uygulanmasıyla mevcut tatlı su kaynaklarının kullanılmayıp, miktarsal olarak korunması	8	Puan	1	2	3
		Tanım	Mevsimsel uygulanan debisi düşük minör uygulamalar (park-bahçe sulanması gibi), veya az su tüketen endüstriler.	Orta derecede su talebi olan kullanımlar (örneğin, endüstriyel geri kullanım, kentsel geri kullanım gibi). Not: proje özelinde debiler değişebilir.	Tarımsal sulama gibi yüksek su talebi olan geri kullanımlar
İlgili geri kullanım için gerekli ileri arıtma düzeyi	4	Puan	1	2	3
		Tanım	İkincil arıtma çıkışlarına örneğin UF+RO+Dezenfeksiyon (UV + bakiye klor için nihai klorlama) uygulanması (örneğin, direkt veya indirekt içme suyu amaçlı geri kullanım, veya endüstrilere proses/soğutma suyu temini)	İkincil arıtma çıkışlarına örneğin basınçlı filtrasyon (MF gibi)+Dezenfeksiyon (UV ve/veya bakiye klor için nihai klorlama) uygulanması (örneğin, tarımsal sulama)	İkincil arıtma çıkışlarının en az yatırımla geri kullanılması (SKKY AATTUT'ne uygun bulunması durumunda) (örneğin, sadece klorlama ile insan teması olmayan rekreasyonel kullanım veya endüstrilerde yıkama amaçlı kullanımlar)
	2	Puan	1	2	3

Multi Kriter Analizi (MCA): Kriterler	Ağırlık	Puanlar ve Tanımlar			
İlgili geri kullanım için yatırımı yapılacak ileri arıtma teknolojilerinin kompleksliği, işletim zorlukları, personel gereksinimleri		Tanım	MBR veya tersiyer UF filtrasyonu + NF/RO + Dezenfeksiyon (UV/AOP/klorlama) veya benzeri ileri arıtma teknolojilerinin yatırımının yapılması. Kompleks işletim, know-how ve kalifiye personel gereksinimi.	Sadece basınçlı filtrasyon + dezenfeksiyon ve benzeri yatırımlar yapılması. Mevcut personelin eğitimi ile işletmeye devam edilmesi.	Mevcut AAT'de sadece operasyonel revizyonlar yapılması ve klorlama gibi minör prosesler eklenmesi
İlgili geri kullanım için gerekli ilave arıtma yatırımının yaklaşık maliyeti	4	Puan	1	2	3
		Tanım	İlave yatırımın ek işletme maliyeti (>4 TL/m ³ arıtılan su). İlave yatırımın ek ilk yatırım maliyeti (>3500 TL / m ³ /gün kapasite)	İlave yatırımın ek işletme maliyeti (2-4 TL/m ³ arıtılan su). İlave yatırımın ek ilk yatırım maliyeti (1000-3500 TL / m ³ /gün kapasite)	İlave yatırımın ek işletme maliyeti (<2 TL/m ³ arıtılan su). İlave yatırımın ek ilk yatırım maliyeti (<1000 TL / m ³ /gün kapasite)
İlgili geri kullanımın uygulanmasıyla çevresel, ekolojik ve jeopolitik anlamda önemli ve risk altında bulunan su kaynaklarının kurtarılması/korunması	8	Puan	1	2	3
		Tanım	Su tüketimleri az olan (<1000 m ³ /gün gibi) ve su miktarları bol olan kaynaklardan su temin eden endüstriyeler tesislerde geri kullanım. Veya, minör kentsel kullanımlar.	Su miktarlarında azalmalar olan su kaynaklarının geri kullanımlar ile korunması (örneğin, kullanılmış sularla tarımsal sulama yapılarak yeraltı sularının korunması)	Kurumakta olan kritik bir su kütlelerinin beslenmesi (örneğin, doğal göl, Ramsar alanı, ekolojik önemde sulak alan, vb)
	8	Puan	1	2	3

Multi Kriter Analizi (MCA): Kriterler	Ağırlık	Puanlar ve Tanımlar			
İlgili geri kullanıma halkın potansiyel bakış açısı/kabul edilebilirlik/halkın katılımı		Tanım	Direkt veya indirekt içme suyu amaçlı geri kullanım	Örneğin kentsel kullanımlar: Park, bahçelerin, refüjlerin, sosyal tesislerin, vb sulanması. Yangın söndürme, cadde yıkama. Konutlarda geri kazanılmış suların çamaşır, bulaşık makinelerine, tuvalet pisuvarlarına bağlantısı, vd.	Tarımsal sulamalar (özellikle suyla direkt temas etmeyen veya işlenme sonucu tüketilen gıda ürünlerinin, yem/enerji bitkilerinin sulanması)
İlgili geri kullanımın halk sağlığına potansiyel etkileri	8	Puan	1	2	3
		Tanım	Direkt veya indirekt içme suyu amaçlı geri kullanımlarda <u>olası</u> mikrobiyal, ağır metal ve mikrokirletici riskleri	Kentsel ve endüstriyel (gıda veya ürünleri suyla temas eden diğer sektörler) geri kullanımlar. İçme suyu dışında ekolojik amaçlı yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının beslenmesi.	Tarımsal sulamalar (özellikle suyla direkt temas etmeyen veya işlenme sonucu tüketilen gıda ürünlerinin, yem/enerji bitkilerinin sulanması)
İlgili geri kullanımın çevresel ortamlara potansiyel etkileri	4	Puan	1	2	3
		Tanım	İçme suyu kaynaklarının kirlenme riski	İçme suyu kaynakları dışında alıcı ortamlarda orta derecede kirlenme riski	Çevresel kirlenme riski çok düşük olan uygulamalar (örneğin, endüstrilerde kapalı devre su döngüsü)
İlgili geri kullanımda depolama gereksinimi ve depolama yatırım maliyetleri	3	Puan	1	2	3
		Tanım	Çoğu tarımsal sulama uygulamalarında özellikle kış aylarında depolama (gölet yapımı vb) gerekecektir	Günlük su arz/talep piklerinin sönmülenmesi için küçük boyutlarda depoların yapılması (örneğin, endüstriyel, bazı kentsel geri kullanımlar)	Depolama gerektirmeyen uygulamalar (örneğin, yüzeysel suların ve yeraltı sularının sürekli beslenmesi, vb)
	3	Puan	1	2	3

Multi Kriter Analizi (MCA): Kriterler		Ağırlık	Puanlar ve Tanımlar		
İlgili geri kullanımda iletim hususları		Tanım	Tarımsal sulama gibi geniş alanlara iletim gerektiren geri kullanımlar	Kullanılmış su kaynağına yakın olan ve makul iletim hattı yatırımı gerektiren geri kullanım uygulamaları (örneğin, 3-5 km iletim hattı)	Kullanılmış su kaynağına çok yakın olan ve noktasal kaynaktan su talep eden geri kullanımlar (örneğin, AAT yanında tekil bir endüstri/OSB)
		Puan	1	2	3
İlgili geri kullanımda iletim (pompaj, ön yatırım) maliyetleri (proje-spesifik olarak değişse de genel bir kriter olarak sunulmuştur)	4	Tanım	Kot farkından dolayı (>100 m) majör pompaj gerektiren uygulamalar (örneğin, proje spesifik olarak tarımsal sulama, su kaynağı beslenmesi gibi)	Kısmı pompaj gerektiren uygulamalar (<100 m kot farkı) (örneğin, AAT çıkışının mevcut bir sulama göletine basılması, bu göletten de cazibe ile tarımsal sulama yapılması)	Tamamen cazibeyle iletim yapılabilecek tüm uygulamalar
		Puan	1	2	3
İlgili geri kullanımın uygulanması sonrası uygulama noktasında olası teknik problemler ve işletme zorlukları (proje-spesifik olarak değerlendirme değişebilir).	7	Tanım	Örneğin, damlama sulamada boruların zamanla tıkanması, arazide tuz birikimi, toprak kalitesi bozulması, geçirimsizlik azalması, vb. Bu tür sorunlar diğer uygulamalar için de dikkate alınmalıdır.	Örneğin, yeraltı suyu enjeksiyonunda kuyuların ve hatların tıkanması, akiferdeki hidrodinamik değişimler, yeni enjeksiyon ve izleme kuyularının açılması gereksinimi	Minör teknik ve işletme zorlukları (örneğin, yerüstü sularının beslenmesi vb).
		Puan	1	2	3
	8	Puan	1	2	3

Multi Kriter Analizi (MCA): Kriterler	Ağırlık	Puanlar ve Tanımlar			
Mevcut durumda deşarj edilen ve kaybedilen kullanılmış sulardaki değerli besin maddelerinin (N, P gibi) geri kullanım sonucunda geri kazanımı (su + besin maddesi kazanımı)		Tanım	Sulama dışında diğer geri kullanımlar (azot ve fosfora ihtiyaç olmayan uygulamalar). Hassas su kütlelerine yapılacak kullanılmış su deşarjlarında/beslemelerde ötrofikasyonun engellenmesi için N ve P kısıtı bulunacaktır.	Kentsel sulamalar (kullanılmış sulardaki karbon, azot ve fosfor bileşiklerinin gübre görevi görmesiyle sentetik gübre kullanımında azaltım)	Tarımsal sulamalar (kullanılmış sulardaki karbon, azot ve fosfor bileşiklerinin gübre görevi görmesiyle sentetik gübre kullanımında azaltım)
İlgili geri kullanım projesinin bölgesi ve ülkemiz için ekonomi/sanayi/gelişme açılarından kritik önemde olması durumu ve katma değeri	8	Puan	1	2	3
		Tanım	Düşük katma değer (su talebi nispeten az olan uygulamalar)	Orta derecede katma değer (park-bahçe sulanması gibi kentsel kullanımlar).	Yüksek katma değer (Örneğin, kuru tarım yapılan veya tarım yapılmayan geniş bir arazinin sulamaya açılması. Kullanılmış su sayesinde yeni bir endüstriyel faaliyetin devreye girmesi, vb.)
İlgili geri kullanım projesinin 'İmaj ve İnovatif' proje olma durumu	8	Puan	1	2	3
		Tanım	Rutin geri kazanım uygulamaları	Global olarak uygulaması olan ancak ülkemizde olmayan veya çok az olan projeler (tarımsal sulama, kentsel kullanım gibi)	Global olarak uygulaması olmayan veya çok sınırlı sayıda olan projeler

Daha önce detaylı olarak tartışıldığı gibi kullanılmış suların geri kazanım alternatifleri toplam 8 başlık altında toplanabilir:

- Kentsel geri kullanım
- Zirai amaçlı geri kullanım
- Çevresel/ekolojik amaçlı geri kullanım
- Endüstriyel geri kullanım
- İçme suyu amacı dışında yeraltı suyu beslemesi
- İçme suyu amacıyla geri kullanım
- Plansız (defacto) dolaylı geri kullanım
- Proje boyunca karşılaşılabilecek diğer geri kullanımlar.

Bu kapsamda her hangi kullanılmış su kaynağının geri kazanımı değerlendirilirken aşağıda verilen potansiyel geri kazanımlardan uygun olanları puanlanarak geri kazanım alternatifleri birbirleriyle kıyaslanabilir. Örnek olarak debisi yaklaşık 46.000 m³/gün olan Isparta Merkez Atıksu Arıtma Tesisi'nin potansiyel geri kazanım alanları incelenmiş olup, bu kapsamda aşağıdaki potansiyel geri kullanım potansiyellerinin değerlendirilebileceğine karar verilmiştir:

- Tarımsal sulamada kullanım (Sav, Kuleönü, Atabey ve Gönen sulamaları).
- Burdur Gölü'nün beslenmesi
- Kentsel sulamada kullanım (park-bahçe vd)
- Endüstriyel kullanım (Deri OSB, Bozanönü'nde yeni kurulacak sanayi, SDÜ OSB).

Tespit edilen potansiyel geri kazanımlardan hangisine öncelik verileceğini belirlemek için Tablo 9-1'de belirtilen kriterler ve puanlama sistemi ve Tablo 9-1'deki ağırlık faktörleri kullanılarak Tablo 9-2'de kullanılmış suların farklı noktalarda geri kullanım alternatiflerinin kantitatif karşılaştırılması için çoklu kriter analizi (MCA) analizi yapılmıştır. Analiz sonucuna göre, yapılacak tesis revizyonları sonrası, Isparta AAT çıkışlarının geri kullanım

alternatifleri almış oldukları puanlar baz alınarak aşağıda sıralanmıştır.

- Burdur Gölü'nün beslenmesi (233/300 puan): Yapılacak pilot ölçek kullanılmış su arıtılabilirliği ve fizibilite çalışması sonucunda uzun vadede (2027-2030) önerilen bu alternatif kısa vadeye de çekilebilir.
- Tarımsal sulamada kullanım (Kısa vade, 2019-2022: Sav, Kuleönü, Atabey ve Gönen sulamaları). Orta vadede (2023-2026) genişletilmiş tarımsal sulama (229/300 puan).
- Kentsel sulamada kullanım (Isparta merkezde park-bahçe vb sulamalar) (189/300 puan). Kısa vade (2019-2022).
- Endüstriyel kullanım (Deri OSB, Bozanönü'nde yeni kurulacak sanayi, SDÜ OSB) (177/300 puan). Orta vade: 2023-2026.

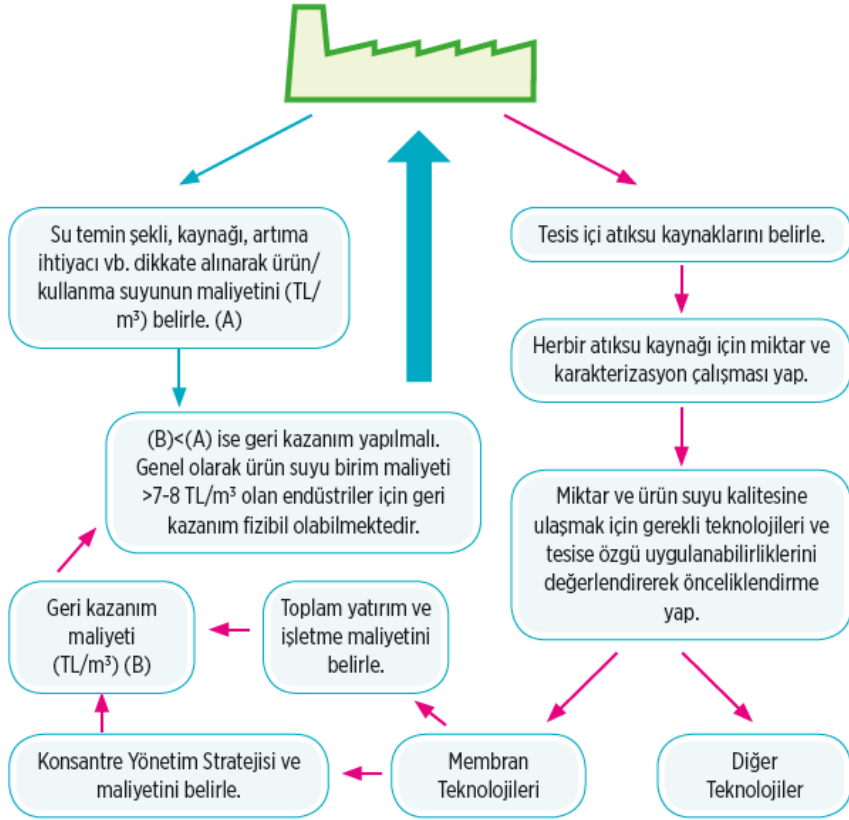
Dolayısıyla MCA ile kullanılmış suyun hangi geri kazanım alternatifi için uygun olacağına karar verilebilir. Sonuç her durum için değişebileceği gibi; kriterler ve ağırlık faktörleri de bölgeye, suya ve önceliklere bağlı olarak kısmen değişebilecek ve ilgili idarenin değerlendirmesine bağlı olacaktır.

Kentsel kullanılmış sular, farklı alanlarda yeniden kullanılmak üzere geri kazanılabileceği gibi, endüstri içerisinde oluşan kullanılmış sular da farklı amaçlarla geri kazanılabilir. Bu tür bir geri kazanımı özendiren en önemli gerekçeler ise aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Bölgede su kaynaklarının kıtlığı,
- Bölgede su maliyetinin yüksek olması,
- Deşarj standartlarının sıkı olması nedeniyle, üretilen kullanılmış suyun geri kazanımının ekonomik olarak ve teknik olarak daha kolay olması,
- Müşteri baskılarının ve pazarda rekabetin daha çevreci üretim lehine dönmesi,

- İlgili yönetimin ve/veya markanın çevre hassasiyeti ve politikaları.

Bu kapsamda bir endüstride uygulanabilecek yaklaşımlar ve izlenecek yol haritası ayrıca Şekil 9-3'te sunulmuştur.



Şekil 9-3 Endüstriyel sektörlerde kullanılmış su geri kazanımı için izlenebilecek yol haritası

Ülkemizde yeraltı ve yerüstü su kaynakları potansiyelinin korunması ve en iyi bir biçimde kullanımının sağlanması için, su kirlenmesinin önlenmesini sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde gerçekleştirmek üzere gerekli olan hukuki ve teknik esasları belirlemek amacıyla 31 Aralık 2004 tarihinde 25687 sayılı Resmi Gazete’de “Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği

(SKKY)" yayımlanmıştır [54]. SKKY'de kullanılmış suların yeniden kullanımına yönelik herhangi bir limit değeri bulunmamaktadır. SKKY daha çok kullanılmış suların alıcı su ortamlarına deşarj standartlarını düzenlemektedir.

Ülkemizde 20 Mart 2010 tarihinde 27527 sayılı Resmi Gazete'de "Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliğı (AATTUT)" yayımlanarak yürürlüğe konulmuştur [53]. Bu tebliğın 7. Bölümü ve ekleri ise arıtılmış kullanılmış suların geri kazanımı ve yeniden kullanımına ilişkin düzenlemeleri içermektedir [56]. Arıtılmış kullanılmış suların geri kullanım alanları, kullanılmış suların geri kazanım tesisinin yeri, arıtılmış kullanılmış suların depolanması, kullanılmış suların geri kazanımı için teknoloji seçimi ve arıtılmış kullanılmış suların sulama suyu kullanım kriterleriyle ilgili maddelerde ve eklerde verilmiştir [55]. Bu tebliğde kullanılmış suların geri kazanılmasına ilişkin kullanılması gerekli arıtma sistemlerine de atıflar yapılmaktadır. Örnek olarak "Kentsel kullanılmış sular tarımsal veya yeşil alan sulamasında kullanılacak ise iyi bir şekilde dezenfekte edilmiş biyolojik arıtma çıkışı gerekir. Doğrudan veya dolaylı geri kazanım söz konusu ise membran teknolojileri, aktif karbon ve ileri oksidasyon gibi daha ileri arıtma alternatifleri gerekir." İlgili tebliğde kullanılmış suların depolanması konusunda da alternatiflere değinilmiştir; "Depolamanın çeşitli yöntemleri vardır. Bunlar; yeraltısuyuna dolaylı deşarj, göl ve rezervuarlarda depolama şeklinde olur. En çok kullanılan yöntem, mevsimsel rezervuarların kullanılmasıdır. Mevsimsel rezervuarlar, stabilizasyon havuzu veya havalandırmalı lagünlerin bir parçası şeklinde inşa edilir. Burada, ilave bir arıtma da gerçekleşir."

Kullanılmış suların tarımsal sulamada kullanılması büyük bir potansiyele sahip olup gıda ürünlerinin direkt olarak yenmesine ve yağmurlama sulamada havadan gelebilecek aeresollara dikkat edilmelidir. Tarımsal sulamada en önemli risk mikroorganizmalar tarafından bulaşabilecek sulardır [55]. Bu

kapsamda ilgili mevzuatın Tablo E7.1'de sulamada tekrar kullanılacak kullanılmış sular için kriterler verilmiştir. Ayrıca ilgili yönetmelikte kimyasal içeriğe ilişkin de sınırlamalar konulmuş olup, aşağıda özet olarak verilmiştir;

- Su içindeki çözünmüş maddelerin toplam konsantrasyonu ve elektriksel iletkenlik
- Sodyum iyonu konsantrasyonu ve sodyum iyonu konsantrasyonunun diğer katyonlara oranı
- Bor, ağır metal ve toksik olabilecek diğer maddelerin konsantrasyonu
- Bazı şartlarda Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarının toplam konsantrasyonu
- Toplam katı madde, organik madde yükü ve yağ gres gibi yüzen maddelerin miktarı
- Patojen organizmaların miktarı [55].

Ulusal mevzuat rehber dokümanın başka bir bölümünde daha detaylı olarak verildiğinden, burada daha fazla detaylandırılmayacaktır.

Ülkemizde kullanılmış suların sanayi tesislerinde yeniden kullanımına dair bir sınırlama yoktur. Bunun nedeni ise her tesisin farklı kalitede su ihtiyacının olmasıdır. Tabi bu tür geri kazanımlarda da çevresel etki değerlendirme (ÇED) iznine ihtiyaç duyulabilmektedir.

Ülkemizde kullanılmış suların yeraltına beslenmesi, içme suyu amaçlı olarak direkt veya dolaylı kullanımına dair ise yasal sınırlamalar bulunmaktadır. Bu kapsamda çalışmaların yapılması gerekmektedir. Örnek olarak 28257 sayılı ve 7 Nisan 2012 Resmi Gazete'de yayımlanan Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik'in 5. maddesinin 2. fıkrasına göre "(2) İçme suyu temini maksadıyla kullanılan ve/veya kullanımı planlanan YAS kütlelerinin kalite durumu 17/2/2005 tarihli ve 25730 sayılı Resmî Gazete'de

yayımlanan İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik eklerinde yer alan parametre listesi ve standartları dikkate alınarak bu Yönetmelikte belirtilen esaslara göre değerlendirilir. Bu su kütlelerinin koruma alanlarına, arıtılmış olsun ya da olmasın atık suların doğrudan ve/veya dolaylı deşarjı yasaktır." denilmektedir. Dolayısıyla bu hüküm neticesinde kullanılmış suların içme suyu kaynağı olarak dolaylı kullanımı pek mümkün görünmemektedir.

Bununla birlikte aynı yönetmeliği 5. fıkrasında ise içme suyu kaynağı potansiyeli dışındaki yeraltı sularına, farklı kullanımlar için dolaylı deşarja izin verilebileceği hükmü bulunmakta olup ilgili metin aşağıdaki şekildedir; "Bunun dışında kalan durumlarda, arıtılmış atık suların YAS kütlelerine dolaylı olarak deşarjına, yeraltı suyunun kullanım maksadı, kalitesi ve verilecek olan arıtılmış suların yeraltı suyuna karışması halinde yeraltı suyunun taşıma kapasitesi de dikkate alınarak yapılacak olan mühendislik çalışmaları sonucunda, 29/4/2009 tarihli ve 27214 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Çevre Kanununca Alınması Gereken İzin ve Lisanslar Hakkında Yönetmelik hükümleri gereğince Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından izin verilir. Verilen izinlerin envanteri yılda bir kez SYGM’ye bildirilir." Dolayısıyla, içme suyu olarak kullanılmayan yeraltı su kütleleri uygun arıtmadan geçmiş kullanılmış suların depolanması amacıyla kullanılabilir.

Ayrıca, kullanılmış sularla tarımsal sulamanın bilinçsiz veya aşırı yapılması sonucunda yeraltı suyu kütleleri zarar görebilir. Özellikle nitrat kirlenmesi ve tuzluluğun artması bu noktada önem kazanmaktadır. İlgili yönetmeliğe göre, bu tür durumların tespiti neticesinde idareler gerekli tedbirleri alabilecektir. Bu kapsamda yönetmeliği 5. maddesinin 6. fıkrasında "Yeraltı sularının tarımsal faaliyetler sonucunda kirlenmiş olduğunun tespiti durumunda, 18/2/2004 tarihli ve 25377 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı

Suların Korunması Yönetmeliği hükümlerine göre tedbirler alınır ve uygulanır." denilmektedir.

Kullanılmış suların geri kazanılmasının birçok faydası olmasıyla birlikte, su kullanımının arttırılması için çözülmesi gereken bazı sorunlar vardır. Bu kapsamda ülkemizde kullanılmış suların yeniden kullanımının önündeki engeller ve bazı çözüm önerileri aşağıda tartışılmıştır.

9.1. Ülkemizde Kullanılmış Su Geri Kazanımının Önündeki Problemler ve Çözüm Önerileri

Yukarıda bahsedilen su geri kazanımının önündeki engeller tüm ülkelerde gözlenebilecek genel sorunlar olmakla birlikte aşağıda ülkemiz özelinde gözlenebilen daha spesifik problemler ve çözüm önerileri sunulmuştur:

Problem No.1. Hangi kullanılmış suların geri kazanılması gerekir?

Çözüm Önerisi

Kullanılmış su geri kazanımının özendirilmesi gerekmele birlikte, ekonomik olarak geri kazanımının yapılması gereken sular önceliklendirilebilir. Evsel kullanılmış suların TDS konsantrasyonu genel olarak 1.000 mg/L civarında olup iletkenlik değeri 1.500-2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değerlerine kadar yükselebilmektedir. Dolayısıyla, tuzluluk seviyesi olarak evsel/kentsel kullanılmış sular acı su seviyesindedir. Endüstriyel kullanılmış suların tuzluluk seviyeleri ise oldukça farklılık göstermekte olup tekstil endüstrisinde iletkenlik seviyesi 12.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ seviyelerine kadar çıkmaktadır. Su kullanımının fazla olduğu bu tür endüstrilerde su geri kazanımı için membran proseslerin kullanımına yönelik çalışmalar yoğun şekilde

yapılmaktadır. Kullanılmış sular arıtıldıktan sonra yukarıda da bahsedildiği gibi kullanım yerine bağlı olarak farklı arıtma seviyeleri gerektirebilmektedir. Kullanılmış suların geri kazanımında en büyük kullanım tarımsal sulama olup yetiştirilecek ürüne bağlı olarak klorür standardı 350 ile 2.000 mg/L arasında değişmektedir (Greenlee vd., 2009). Dolayısıyla, evsel kullanılmış suların tarımsal sulama amacıyla geri kazanımı sırasında iletkenlik giderimi gerekmeyebilir veya suyun sadece bir kısmına iletkenlik giderimi yapılarak paçallama yoluyla karışım suyunun iletkenliği istenilen seviyelere düşürülebilir. Bazı endüstriyel kullanımlarda da yüksek iletkenlik seviyeleri tolere edilebilirken, bazı endüstriyel kullanımlarda iletkenliğin 50-100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'nin altında olması istenebilir. Bu durumda çok daha ileri bir arıtma uygulanmalıdır.

Kullanılmış su geri kazanımında öncelik verilebilecek kaynaklar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Bu kısımda belirtilen öncelik verilebilecek kaynaklar, literatür taraması sonucu elde edilen bilgiler değerlendirilerek sıralanmıştır);

- İletkenlik < 2.000 $\mu\text{S}/\text{m}$ ve KOİ < 500-1.000 mg/L: Evsel kullanılmış sular bu sınıfta olup uygun biyolojik arıtım ve dezenfeksiyonla sulama için kullanılabilirken, bazı iletkenlik giderim prosesleri (RO, ED, EDR vb.) ile tuzluluğu giderilmiş su endüstriyel kullanım ve diğer kullanımlar için düşünülebilir. TÜPRAŞ Petrol Rafinerisi Arıtılmış Su Geri Kazanım Tesisi'nde arıtılmış kentsel kullanılmış sular ters osmoz membranlardan geçirilerek endüstride kullanılmaktadır. Bu iyi bir uygulama olup çok su kullanan tesisler için benzer uygulamaların sayısı arttırılmalıdır.
- İletkenlik değeri 2.000-10.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve KOİ <2.000 mg/L: Bu tür kullanılmış suların ancak debisi çok yüksek ise geri kazanımı uygulanabilir olabilir. Örnek olarak tekstil kullanılmış suları bu sınıftadır. Tekstil endüstrisi su

kullanımı oldukça yoğun bir sektör olup, bu tür endüstriyel suların uygun arıtmalar neticesinde geri kazanımı özendirilmelidir. Çok genel olarak bu tür endüstrilerde geri kazanılan suların proses içinde kullanılabilmesi için iletkenlik $<1.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ istenmekte olup uygun biyolojik ve kimyasal arıtma işlemlerinden sonra tuzluluk giderimi yapılmalıdır. Arıtılmış sudan kalıntı KOİ, renk ve iletkenlik giderimi için ters osmoz prosesi uygun bir seçenek olabilir. Fakat oluşan konsantrenin bertarafı için de uygun bir çözüm gerekmektedir. Konsantre şehir kanalizasyonuna verilebilir. Çünkü oluşacak konsantrede KOİ $<1.000 \text{ mg}/\text{L}$ ve iletkenlik $5-20 \text{ mS}/\text{cm}$ arasında olabilir. Bununla birlikte konsantreden KOİ ve renk giderimi yapılarak derin deniz deşarjı da uygun olabilir.

- KOİ $>5.000 \text{ mg}/\text{L}$ ve/veya iletkenlik $>15 \text{ mS}/\text{cm}$: Bu tür kullanılmış suların arıtıldıktan sonra geri kazanımı maliyetli olabilir. Çok gerekmedikçe bu tür kullanılmış sular uygun şekilde arıtılarak deşarj edilebilirler.
- Çok spesifik kirletici içeren kullanılmış sular, arıtımı oldukça zor ve özel kimyasal içeren kullanılmış sular, yüksek sıcaklığa sahip kullanılmış sular: Bu tür kullanılmış suların da arıtılarak geri kazanımı maliyetli ve zor olabilir. Çok gerekli olmadıkça uygun şekilde arıtılarak deşarj edilmesi uygun olabilir. Eğer endüstri için uygun su kaynağı yok ise, belediyeye bağlı kullanılmış su arıtma tesisi çıkış suları geri kazanılarak sanayi suyu olarak kullanılabilir. Ülkemizde bu yönde TÜPRAS'daki gibi iyi uygulamalar mevcuttur.

Problem No.2. Ters osmoz tesislerinde oluşan konsantrenin uygun bertaraf alternatifi bulunamadığından, bazı tesisler su geri kazanım uygulamalarına uzak durmaktadır.

Çözüm Önerisi

Özellikle endüstriyel kullanılmış sularda biyolojik ve kimyasal arıtmadan sonra bile KOİ ve renk gibi parametreler ile iletkenlik değeri geri kazanım için istenen su kriterlerini aşabilmektedir. Bu nedenle ters osmoz gibi proseslerle gerek organik ve gerekse inorganik maddeler ayrılarak permeat suyu geri kazanılır. Özellikle endüstriyel kullanılmış sularda geri kazanım oranı %50-80 arasında olup konsantrenin iletkenlik ve diğer kirlilik parametreleri ters osmoz girişine göre 2 ile 5 kat daha konsantre olmaktadır. Her ne kadar konsantrenin hacmi 2-5 kat azalmış olsa da aynı oranda kirlenici konsantrasyonu artmakta ve teorik olarak da kirlilik yükü değişmemektedir. Oluşan konsantratin bertaraf sorunun çözümü, sıfır veya yaklaşık sıfır sıvı atık şeklinde bir prosesin adaptasyonu ile teknik olarak mümkün olsa da ülkemiz koşullarında oldukça pahalıdır ve uygulanması günümüz şartlarında ve ülkemiz koşullarında çok zordur. Bu nedenle Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından konsantre bertarafı için alternatifler belirlenmeli ve bir önceliklendirme yaparak konsantre bertarafının nasıl yapılacağı netleştirilmelidir. Böylece sanayici bu bilinmezi aşacak ve yatırımlarını hızlandıracaktır. Bu konuda çalışmalar yaparken halk sağlığını koruyucu yönde tedbirler belirlerken, şartların gereğinden fazla zorlanarak yatırım yapılmasını ve su geri kazanımını zorlaştırmamak gerekmektedir. Alınacak kararlar yatırımcıları cesaretlendirecek nitelikte olmalıdır.

Literatürde mevcut membran konsantre bertaraf teknikleri aşağıda sıralanmıştır. Bu liste dünyadaki mevcut uygulamaları göstermekte olup Türkiye için bir önceliklendirme önerisi anlamına gelmemektedir.

- Tuzlu veya tatlı yerüstü sulara deşarj,
- Oluşan konsantre; arıtma ile sonlanan belediye kanalına verilerek evsel kullanılmış sularla birlikte arıtılabilir. Bu durumda kanalizasyona deşarj standartları sağlanmalıdır. Deşarj edilecek konsantre debisinin ortalama günlük bazda kanalizasyondaki toplam debinin %10'undan daha az olması gerekmektedir. Bunun temel nedeni, özellikle tuzluluk/iletkenlik/organik madde parametreleri açısından kanalizasyonun sonlandığı AAT'lerdeki biyolojik arıtma aktivitesinin korunmasıdır. Literatürde AAT'lerde konvansiyonel biyolojik arıtma ünitelerinin genelde 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ tuzluluğa kadar olumsuz etkilenmediği rapor edilmiştir. Tuzluluk açısından olumsuz etki yapmaması için kanalizasyona deşarj edilen toplam RO konsantre debilerin kanalizasyondaki günlük bazda toplam debinin %10'undan daha az olması gerekir. Böylece konsantredeki KOİ ve iletkenlik gibi parametreler evsel kullanılmış su ile seyreltilmiş olur.
- Arazi uygulamaları ve sulama,
- Derin kuyu enjeksiyonları,
- Buharlaştırma havuzları,
- Mekanik evaporasyon,
- Arıtılmış kullanılmış su veya soğutma suları ile karıştırılmış deşarj,
- Hassas bir bölgede su geri kazanımı yapılıyor ve deşarj edilebilecek kanalizasyon, deniz, akarsu vs. söz konusu değilse, su geri kazanımı da elzem ise yaklaşık sıfır sıvı atık olacak şekilde bir yaklaşım son seçenek olarak benimsenebilir.

Desalinasyon tesislerinde membran konsantrelerinin çoğunlukla yerüstü sulara deşarj edildiği literatürde rapor edilmiştir. İkinci sırada ise konsantre akımının kanalizasyona deşarjı vardır. Düşük maliyete sahip metot oluşu ve birçok fabrikanın yüzey su kaynaklarına yakın kurulmuş olmasından dolayı desalinasyon

tesislerinde membran konsantrelerinin yerüstü su kaynaklarına deşarjı çok kullanılan bir yöntem olduğu literatürde belirtilmiştir. Konsantreler yüzey sularına verilebildikleri gibi deniz ve okyanuslara da derin deniz deşarjı ile verilebilmektedir.

Problem No.3. Ülkemizde tatlı su kaynaklarından yararlanma maliyeti diğer ülkelere kıyasla daha ekonomiktir. Birçok sanayi bölgesinde ham su temini, proses suyu arıtma ve kullanılmış su arıtma-katılım bedelleri 1-3 TL/m³ civarlarında olduğu için, geri kazanım ekonomik olmamaktadır.

Çözüm Önerisi

Ülkemizde sanayicinin temiz suya ulaşım bedeli, geri kazanım bedelinden genelde daha ucuzdur. Bu durum da yukarıda bahsedildiği gibi su geri kazanımını sınırlamaktadır. Bu her ne kadar makul gibi görünse de sürdürülebilir değildir. Su kaynaklarımız hızla azalmaya devam etmekte ve su geri kazanımı yerine sürekli su kaynakları üzerindeki baskıların arttırılması doğru bir yaklaşım değildir. Bu nedenle özellikle çok su kullanan endüstriler ve organize sanayi bölgeleri için kullanılmış sularının bir kısmını geri kazanma zorunluluğu getirilmeli ve bu konuda sanayici teşvik edilmelidir. Böylece temiz su kaynakları üzerindeki baskılar da azalacaktır.

Problem No.4. Su geri kazanımında kullanılan ileri arıtma teknolojileri hakkında ülkemizde yeterli bilgi birikimi ve işletme tecrübesin bulunmamaktadır.

Çözüm Önerisi

Ülkemizde yeteri kadar su geri kazanım tesisi bulunmamaktadır. Bazı tesislerde de hatalı tasarım ve işletme nedeniyle kötü sonuçlar alınmakta olup bu durum yatırım yapmayı planlayan diğer sanayicilerin de geri adım atmasına neden olmaktadır. Bu nedenle özellikle su geri kazanım çalışmalarının hızlandığı ülkemizde doğru çalışan iyi uygulamalara ihtiyaç vardır. Gerek proses seçiminde ve gerekse işletme koşullarının optimizasyonunda pilot ölçekli tesislerin kurulup işletilmesi ülkemizde yaygın değildir. Milyon liralara mertebesinde bir yatırım maliyeti olan tesis için belki de 50-100 bin TL mertebelerindeki pilot tesis işletimlerinden kaçınılarak, hatalı proses seçimi ve yanlış işletimler nedeniyle, pilot tesisin 100-1000 katı mertebesinde sermaye kaybedilebilir. Bu nedenle özellikle büyük su geri kazanım projelerinin onayında Çevre ve Şehircilik Bakanlığın belirli bir süre boyunca (3-12 ay gibi) pilot tesis test çalışmalarının yapılması zorunluluğunu getirmesi önerilmektedir. Su geri kazanım tesisine giriş debisinin 10.000 m³/gün ve üzerinde olması durumunda; pilot tesis kurulması ve işletilerek prosesin belirlenen koşullarda istenen performansı gösterdiği kanıtlanmalıdır. Bununla birlikte, debi daha düşük olsa da literatürde yeterince veri bulunmayan kullanılmış suların geri kazanımı durumunda da Çevre ve Şehircilik Bakanlığı pilot tesis kurulum ve işletimini zorunlu hale getirebilir. Böylece seçilen proses ve işletme koşullarının bir ispatı yapılmış olacaktır.

Pilot tesis çalışmaları sırasında üretilen konsantrenin deşarj edildiği alıcı ortamın izlenmesine gerek bulunmamaktadır. Mevcut bir tesis varsa üretilen konsantrenin mevcut tesis deşarj hattına bağlanması önerilmektedir.

Problem No.5. Konsantre ve permeatda mikrokirletici tür ve konsantrasyonları hakkında yeterli veri ve bilgi bulunmamaktadır.

Çözüm Önerisi

Son zamanlarda özellikle mikrokirleticiler oldukça dikkat çekmeye başlamıştır. Mikrokirleticilerin bazıları düşük konsantrasyonlarda dahi (örnek endokrin bozucular) insan sağlığını ciddi biçimde tehdit edebilir. Özellikle geri kazanılan suların tarımsal kullanımı veya içme suyu havzalarına karışması durumları için bu konuda ilave tedbirler gerekebilir. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından mikrokirleticilerle ilgili çalışmalar yapılmakta olup kullanılmış su geri kazanımının bazı uygulamaları için de çalışmaların yapılması gerekebilir.

Problem No.6. Ülkemizde proje firmaları kullanılmış su özeline göre, 1-2 yıllık kullanılmış su karakterizasyon verilerini dikkate almadan, kopyala-yapıştır projelerle veya yan komşu çözümlerini dikkate alarak prosesler önermektedir. Doğal olarak kullanılmış su karakterinin değişmesi durumunda önerilen çözümler işe yaramamakta ve istenen verimler alınamamaktadır.

Çözüm Önerisi

Her endüstriyel kullanılmış su içerdiği kirletici türleri bakımından farklılıklar içerebilmektedir. Ayrıca, üretim proseslerine bağlı olarak da zaman zaman kullanılmış su karakterizasyonunda önemli derecede değişimler olabilmektedir. Özellikle kullanılmış su geri kazanımı projelerinde su karakterizasyonunun uzun zaman izlenmesi ve bir önceki maddede de değinildiği gibi pilot ölçekli tesislerin kurularak belirli bir süre izlenmesi gerekmektedir. Pilot tesislerin kurulması ile hem kullanılmış su karakterizasyonundan emin

olunacak hem de seçilen proses ve/veya işletme koşullarından da emin olunacaktır.

Problem No.7. Arıtma tesisi operatörlerinin genellikle işletme ve proses bilgileri yeterli değildir. Mekanik, elektrik, PLC-SCADA konusunda operatörlerin yeterli bilgileri bulunmaktadır. Fakat proses mühendisliği, dozaj kontrolü, proses optimizasyonu konularında ülkemizde operatörlerin tecrübe/bilgi seviyesi istenilen düzeyde değildir.

Çözüm Önerisi

Bu konu yatırımı engelleyen hususlardan biridir. Arıtma prosesleri konusunda operatörlerin bilgilendirilmesi için Bakanlık aracılığıyla çeşitli kurslar/seminerler düzenlenebilir. Ayrıca, üniversiteler bünyesinde de bir takım hizmet içi eğitim etkinlikleri düzenlenebilir. Bunun yanı sıra kullanılmış su geri kazanım tesisi işletecek olan personeller için özellikle proses sağlayıcı firmalar tarafından eğitimlerin verilmesi geri kazanım yatırımı yapan firmalar tarafından da talep edilmelidir. Üniversitelerin Çevre Mühendisliği Bölümlerinde arıtma tesisi işletimi konusundaki derslere gereken özen gösterilmeli ve ders içerikleri de sanayi ihtiyaçlarını karşılayacak düzeyde olmalıdır. Bakanlık ve üniversiteler ortak çalışarak Türkçe işletme/proses kitapları yayınlanabilir.

Problem No.8. Membranların pahalı olduğu, sürekli tıkanıdığı yönünde bir algı mevcuttur. Bu durum kullanılmış su geri kazanım yatırımları önündeki önemli engellerdendir.

Çözüm Önerisi

Bu sorun yukarıda bahsedilen sorunlardan biraz farklı olsa da çözüm için benzer uygulamalar kullanılabilir. Ülkemizdeki iyi

uygulamaların sayılarını arttırmak gerekmektedir. Bu da doğru prosesin seçilmesi ve optimum işletme koşullarının belirlenmesinden geçmektedir. Bunun için de su karakterizasyonun uzun süre izlenmesi ve pilot çalışmalar yapılarak seçilen prosesin verimliliğinin, permeat kalitesinin ve işletme koşullarının optimize edilmesi gerekmektedir. Özellikle farklı yaklaşımlar gerektiren geri kazanım tesisleri için üniversitelerle ortak çalışmalar yaparak, bilgiye en hızlı ve en kolay yoldan ulaşmak da hata yapılma olasılığını azaltacaktır.

Problem No.9. Ülkemizde kullanılmış su geri kazanımı ve geri kullanımı konusunda uygulamada olan yönetmelikler geliştirilmelidir.

Çözüm Önerisi

Ülkemizde yürürlükte olan "Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği" altında verilen "Arıtılmış Atıksuların Geri Kazanımı ve Yeniden Kullanımı" na yönelik düzenlemeler yeterli değildir. A.B.D., İsrail ve bazı Arap ülkelerindeki kullanılmış su geri kullanım mevzuatları kadar detaylı ve yönlendirici bir yönetmeliğimiz mevcut değildir. Özellikle mevcut tebliğ farklı geri kullanım alanları, farklı bitki desenleri ve türlerine göre su kalitesi limitleri açısından daha fazla detaylandırılmalıdır. Mevcut tebliğ daha çok zirai sulama tabanlı olup diğer endüstriyel ve kentsel kullanımlar (park, bahçe sulanması, rekreasyonel kullanım, yangın söndürme, yüzey suyu ve/veya yeraltı suyu besleme, beton santrallerinde kullanım, endüstriyel kullanımlar, vb.) için yeterli detayda değildir. Bu nedenle ilgili mevzuatın güncel ihtiyaçlara göre revizyonu gerekmektedir. Ayrıca, yeni yapılan yeşil binalar, uydu yerleşimler, şehirden uzak toplu konutlar ve yazlık siteler gibi yerleşimlerde kullanılmış suların geri kazanım potansiyeli oldukça yüksek olup, bu yerleşim

yerlerinde kullanılmış su geri kazanımları özendirilmeli ve revize edilecek tebliğ bu düzenlemeleri de içermelidir.

Problem No.10. Plansız (De fakto) geri kazanımın ülkemizde yaygın olması nedeniyle su kalitesi amaçlanan geri kullanım alanı için uygun olmamaktadır.

Çözüm Önerisi

Ülkemizde de fakto kullanım sadece drenaj kanalları ile sınırlı olmayıp birçok yerde AAT çıkışının deşarj edildiği dere ve akarsulardan sulama suyu temini söz konusudur. Ülkemizde planlı kullanılmış su geri kazanımına yönelik proje sayıları artmakla birlikte, defakto geri kazanım yaygındır. Bu tür kullanımlardan en yaygın olanı ise; özellikle tarımsal alanlarda nehir veya yerüstü sulara deşarj edilen arıtılmış kullanılmış suların etraftaki tarımsal alanların sulanması maksadıyla kullanımıdır. Ayrıca, arıtılmış kullanılmış suların nehir veya göl gibi yerüstü sulara ulaşması nedeniyle çevresel bir geri kullanım da söz konusudur. Bu tür geri kullanımlar temiz su kaynaklarının korunmasına katkı sağlamakla birlikte kullanılmış su arıtma tesisleri bu tür geri kazanımlar için tasarlanmadığından halk sağlığı açısından sorun oluşturabilmektedir. Arıtılmış evsel/kentsel kullanılmış suların nehirlere deşarj edilmesi neticesinde plansız olarak tarımda kullanımı özellikle Gediz, Büyük Menderes ve Küçük Menderes havzalarında oldukça yaygındır. Fakat bu havzalardaki çoğu kullanılmış su arıtma tesisleri sadece deşarja yönelik olarak tasarlanmış olup sulamaya yönelik olarak tasarlanmamıştır. Bu durumda da sulamada kullanılan kullanılmış sular ilgili yönetmeliklerde belirtilen kriterleri sağlamamaktadır. Aşağıda AATTUT Ek 7'de tarımsal sulama için verilen sınır değerler sunulmuştur (Tablo 9-2).

Tablo 9-2 Sulamada geri kullanılacak arıtılmış kullanılmış suların sınıflandırılması

Geri kazanım türü	Arıtma tipi	Geri kazanılmış suyun kalitesi ^a	İzleme periyodu	Uygulama mesafesi ^b
Sınıf A				
<i>a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenmeyen gıda ürünleri^l</i>				
<i>b-Kentsel alanların sulanması</i>				
a) Yüzeysel ve yağmurlama sulama ile sulanan ve ham olarak direkt olarak yenilebilen her tür gıda ürünü	-İkincil arıtma ^c -Filtrasyon ^d -Dezenfeksiyone	-pH=6-9 -BOİ5 < 20 mg/L -Bulanıklık < 2 NTUf -Fekal koliform: 0/100 mL ^{g,h} -Bazı durumlarda, spesifik virüs, protozoa ve helmint analizi istenebilir. -Bakiye klor > 1 mg/L ⁱ	-pH: Haftalık -BOİ5: Haftalık -Bulanıklık: Sürekli -Koliform: günlük -Bakiye klor: sürekli	İçme suyu temin edilen kuyulara en az 50 m mesafede
b) Her türlü yeşil alan sulaması (Parklar, golf sahaları vb.)				
Açıklamalar:				
-Tarımsal sulamada tavsiye edilen ağır metal analizlerine dikkat edilmelidir.				
-Standartları sağlamak üzere filtrasyon öncesinde koagülant ilavesi yapılabilir.				
-Geri kullanılacak arıtılmış kullanılmış su renksiz ve kokusuz olmalıdır.				
-Virüs ve diğer parazitlerin yok edilmesi için daha uzun dezenfeksiyon temas süreleri kullanılabilir.				
-Arıtılmış kullanılmış su dağıtım sisteminde (en son uygulama noktasında) bakiye klor değeri 0.5 mg/L'nin üzerinde olmalıdır.				
-Virüs ve diğer parazitlerin yok edilmesi için daha uzun dezenfeksiyon temas süreleri kullanılabilir.				
-Yüksek nütrient içeriği besinleri büyüme aşamasında etkileyebilir.				
Sınıf B				
<i>a-Tarımsal sulama: Ticari olarak işlenen gıda ürünleri^m</i>				
<i>b-Girişi kısıtlı sulama alanları</i>				
<i>c- Tarımsal sulama: Gıda ürünü olmayan bitkiler</i>				
a) Meyve bahçeleri ve üzüm bağları gibi ürünlerin salma sulama ile sulanması	-İkincil arıtma ^c -Dezenfeksiyone	-pH=6-9 -BOİ5 < 30 mg/L -AKM < 30 mg/L -Fekal koliform < 200 ad/100 mL ^{g,j,k}	-pH: Haftalık -BOİ5: Haftalık -AKM: günlük -Koliform: günlük -Bakiye klor: sürekli	-İçme suyu temin edilen kuyulara en az 90 m mesafede. -Yağmurlama sulama yapılıyor ise
b) Çim üretimi ve kültür tarımı gibi halkın girişinin kısıtlı olduğu yerler				

Geri kazanım türü	Arıtma tipi	Geri kazanılmış suyun kalitesi ^a	İzleme periyodu	Uygulama mesafesi ^b
c)Otlak hayvanları için mera sulaması		-Bazı durumlarda, spesifik virüs, protozoa ve helmint analizi istenebilir. -Bakiye klor > 1 mg/L ⁱ		halkın bulunduğu ortama en az 30 m mesafede

Açıklamalar:

-Tarımsal sulama için tavsiye edilen limitlerde gözönünde bulundurulmalıdır.

-Püstkürtmeli sulama yapılıyor ise AKM < 30 mg/L olmalıdır.

-Yüksek nütrient içeriği besinleri büyüme aşamasında etkileyebilir.

-Süt hayvanlarının meralara girişi sulama yapıldıktan 15 gün sonra olmalıdır. Bu süre kısa olması gerektiği durumlarda, fekal koliform değeri en fazla 14 ad/100 mL olabilir.

^aAksi belirtilmedikçe, arıtılmış kullanılmış su kalitesini belirtmektedir.

^bSu kaynaklarını ve dolayısıyla insanları arıtılmış kullanılmış suyun etkisinden korumak için konuluş bir sınırlamadır.

^cİkincil arıtma, aktif çamur sistemleri, biyodisk, damlatmalı filtreler, stabilizasyon havuzları, havalandırmalı lagünleri vb içerebilir.

^dKum filtreleri veya mikrofiltrasyon ile ultrafiltrasyon gibi membran filtreler olabilir.

^eDezenfektant olarak klor kullanılması, diğer dezenfeksiyon yöntemlerinin de kullanımını kısıtlamaz.

^fTavsiye edilen bulanıklık değeri dezenfeksiyon öncesinde sağlanmalıdır. Hiç bir zaman 5 NTU'yu geçmemelidir. Bulanıklık yerine AKM'nin kullanıldığı durumlarda, AKM değeri 5 mg/L'nin altında olmalıdır.

^g7günlük ortalama değerleri karakterize eder.

^hFekal koliform değeri hiç bir zaman 14 ad/100 mL'yi geçmemelidir.

ⁱBakiye klor değeri 30 dk temas süresi sonrasındaki değeri karakterize etmektedir.

^jFekal koliform değeri hiç bir zaman 800 ad/100 mL'yi geçmemelidir.

^kStabilizasyon havuzları fekal koliform değerini dezenfeksiyon olmadan da sağlayabilir.

^lİleri arıtma uygulanmalıdır.

^mTicari olarak işlenen gıda ürünleri halka satılmadan önce patojen mikroorganizmaların öldürülmesi için fiziksel veya kimyasal bir işlemde geçirilen ürünlerdir.

Tablodan da görüldüğü gibi ticari olarak işlenmeyen gıda bitkilerinin ve kentsel alanların sulanmasında Bulanıklık <2 NTU ve Fekal koliform 0/100 mL olmalıdır. Ayrıca ikincil arıtmadan sonra filtrasyon ve dezenfeksiyon gerekmektedir. Fakat yukarıda da bahsedildiği gibi kullanılmış su arıtma tesisleri daha çok deşarj amacıyla tasarlanmakta olup plansız geri kullanım yaygındır. Bu durum da halk sağlığı için sorun oluşturabilecektir. Özellikle Büyük Menderes ve Gediz havzalarında bulunan bazı AAT çıkışlarında UV ile dezenfeksiyon bulunsu da filtrasyonun olmaması UV'ye ilave olarak bir klorlamanın olamaması ve çoğu tesiste UV ünitesinin istenilen performansta çalışmaması/çalıştırılamaması gibi nedenlerle çıkış suyunda mikrobiyolojik kalite tarımda gereken kaliteyi sağlayamamaktadır.

Buna ilave olarak birçok bölgede endüstriyel tesisler yerüstü su kaynaklarına arıtım sonrası deşarj yapmaktadır. Özellikle nehirlerle yapılan deşarjlar sonrasında yine bu nehirler tarımsal sulama amacıyla kullanılmaktadır. Bu durum her ne kadar plansız geri kullanım nedeniyle su tasarrufuna yol açsa da, arıtılmış endüstriyel kullanılmış suya sulama kriterlerini sağlayacak şekilde arıtım uygulanmadığından bu durum yukarıda belirtildiği gibi hem halk sağlığı için risk oluşturmakta hem de ürün kaybına neden olmaktadır. Endüstriyel kullanılmış su içerisinde bulunabilecek mikro kirleticiler ve çoğu zaman yüksek tuz hem halk sağlığı açısından sorun oluşturmakta hem de toprakta tuzlanmaya neden olmaktadır.

Endüstriyel deşarj nedeniyle tarımsal alanlarda geri kullanılacak suyun tuzlanması üç şekilde olabilmektedir. Bunlardan ilki; belediye kanalizasyonuna endüstriyel kullanılmış suların direk deşarjıdır. Kanalizasyona deşarjlarda genel olarak klorür konsantrasyonuna yönelik sınırlamalar oldukça yüksek olup (10.000 mg/L klorür gibi) bu tür endüstriyel kullanılmış suların kanalizasyona deşarjı neticesinde kentsel kullanılmış su arıtma

tesisleri sularında aşırı tuzlanma gözlenebilmektedir. Bu durum özellikle küçük yerleşim yerlerinde kendini daha net göstermektedir. Küçük yerleşim yerlerinde evsel kullanılmış su debisi düşük olup bölgede bulunan bir OSB'nin deşarjı neticesinde kentsel kullanılmış su arıtma tesisi gerek tuzluluk ve gerekse ağır metal veya diğer kirleticiler açısından sulama suyu kriterlerine uymayabilmektedir. Fakat plansız geri kazanımda bu durum dikkate alınmadan sulama yapılmakta olup gerek halk sağlığı tehlikeye sokulmakta ve gerekse toprak ve bitki zarar görmektedir. Geri kullanılabilecek suların kalitesinin düşmesine neden olan ikinci durum ise endüstriyel kullanılmış suların sulama yapılan nehirlerle deşarjıdır. Bu duruma en önemli örneklerden biri Nilüfer Çayı'dır. Deşarj standartları çerçevesinde yapılan deşarjlar neticesinde, yüzeysel suda aşırı tuzluluk, KOİ ve renk mevcut olup sulamada kullanılmaması gerekmektedir. Fakat yine de tuzluluğa toleranslı bitkilerin sulaması yapılmaktadır. Son durum ise, evsel kullanılmış su taşıyan boruya tuzlu deniz suyu girişidir. Bu duruma en güzel örnek ise Çiğli AAT'dir. Büyük kanal projesi bünyesinde kullanılmış sular toplanmakta olup Çiğli AAT'de arıtılmaktadır. Fakat yaklaşık %10 tuzlu su girişi neticesinde kullanılmış sudaki iletkenlik değerleri 15 mS/cm civarına yükselmekte olup tesisin son etabının tamamlanmasıyla birlikte 850.000 m³/gün gibi yüksek bir kullanılmış su debisi geri kullanılmayacak duruma gelmektedir. RO veya başka prosesle tuzluluk giderilebilir, fakat bu tuzlanma kullanılmış suyun geri kazanımının önünde bir bariyer oluşturmaktadır.

Sorunun farklı çözümleri olmakla birlikte en önemli tedbirler;

- Kullanılmış suların arıtmadan sonra alıcı ortam bazlı deşarjına yönelik yasal düzenlemelerin gelmesi önemlidir. Özellikle su kaynaklarındaki tuzlanmanın da bu yolla sınırlandırılması mümkündür.

- Kullanılmış su arıtma tesisleri tasarlanırken, ilk olarak etrafta bu kullanılmış suyu kullanabilecek sektörlerin tespit edilmesi ve buna yönelik olarak arıtma tesislerinin tasarlanması gerekmektedir. Kullanılmış suya deşarj edilecek su olarak değil, tam tersi bir kaynak olarak bakmak gerekmektedir. Dolayısıyla, kullanılmış su arıtma tesisleri tasarımları, deşarj odaklı değil, geri kullanım odaklı tasarlanmalıdır.

Problem No.11. AAT tasarımlarının deşarj standartları bazında yapılması, geri kazanıma göre baştan yapılmaması nedeniyle sonradan AAT’de geri kazanım için yapılan revizyon projelerinin daha zor (örneğin, alan olmaması, hidrolik sorunlar, enerji beslemeleri vs) ve pahalı olmasıdır.

Çözüm Önerisi

Bu en önemli sorunlardan biridir. Kullanılmış su arıtma tesisleri tasarlanacağı zaman ilk olarak kullanılmış suyun deşarj yapılacağı yüzeysel su kütlesi belirlenir. Daha sonra bu su kütlesine deşarj edebilmek için standartlara uygun olarak kullanılmış su arıtma tesisi tasarlanır. Örnek olarak evsel kullanılmış suların deşarj standartları SKKY Tablo 21’de yüke ve nüfusa göre düzenlenmiş olup, nüfusu >100.000 olan bir yerleşim bölgesi için deşarj standartları aşağıda Tablo 9-3’te sunulmuştur.

Tablo 9-3 Sektör: Evsel Nitelikli Atıksular (Sınıf 4: Kirlilik Yükü Ham BOİ Olarak 6000 Kg/Gün’den Büyük, Nüfus > 100000)

Parametre	Birim	Kompozit numune 2 saatlik	Kompozit numune 24 saatlik
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ ₅)	(mg/L)	40	35
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	(mg/L)	120	90
Askıda Katı Madde (AKM)	(mg/L)	40	25
pH	-	6-9	6-9

Benzer olarak Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği sınır değerleri de aşağıda Tablo 9-4 ve Tablo 9-5’de sunulmuştur.

Tablo 9-4 Kentsel atıksu arıtım tesislerinden ikincil arıtıma ilişkin deşarj limitleri*

Parametreler	Konsantrasyon (mg/l)	Minimum arıtma verimi (%)	Referans ölçüm metodu
Nitrifikasyonsuz ¹ Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (20°C’de BOİ ₅)	25	70-90 40 Madde 8 (c)	Homojen, filtre edilmemiş, çökeltilmemiş ham örnek. Tamamen karanlık ortamda 20°C ±1°C’de beş günlük inkübasyondan önce ve sonra çözünmüş oksijenin ölçülmesi. Bir nitrifikasyon inhibitörünün ilavesi
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	125	75	Homojen, filtre edilmemiş, çökeltilmemiş ham örnek. potasyum dikromat yöntemi.
Toplam askıda katı madde (TAKM)	35 35 Madde 8 (c) (10000 E.N.’den fazla) 60 Madde 8 (c) (2000-10000E.N.)	90 ² 90 Madde 8 (c) (10000 E.N.’den fazla) 70 Madde 8 (c) (2000-10000 E.N.)	-Temsili örneğin 0,45 µm membran ile filtrasyonu. 105 °C’de kurutulması ve tartılması. - Temsili örneğin santrifüj edilmesi (ortalama 2800-3200 g.lık ivme ile en az beş dakika kadar),105 °C’de kurutulması ve tartılması.

* Konsantrasyon değerleri veya arıtma verimleri uygulanacaktır.

¹ Eğer BOİ₅ ile yerine kullanılan parametre arasında korelasyon kurulabilirse, bu parametre bir başka parametre ile değiştirilebilir: toplam organik karbon (TOK) yada toplam oksijen ihtiyacı (TOİ) gibi.

² Bu şart yerleşim biriminin büyüklüğüne bağlıdır.

Lagünlerden deşarlara ilişkin analizler filtre edilmiş örnekler üzerinde yapılmakla birlikte; filtre edilmemiş su örneklerinde toplam askıda katı madde konsantrasyonu 150 mg/l’yi aşmamalıdır.

Tablo 9-5 Kentsel atıksu arıtım tesislerinden ileri arıtıma ilişkin deşarj limitleri*

Parametreler	Konsantrasyon	Minimum arıtma verimi (%)	Referans Ölçüm Metodu
--------------	---------------	---------------------------	-----------------------

Toplam fosfor	2 mg/l P (10000-100000 E.N.) 1 mg/l P (100 000 E.N.'den fazla)	80	Moleküler absorpsiyon spektrofotometre
Toplam azot	15 mg/l N (10000-100000 E.N.) 10 mg/l N (100 000 E.N.'den fazla)	70-80	Moleküler absorpsiyon spektrofotometre

*Yerel şartlara bağlı olarak parametrelerin biri veya ikisi birden uygulanabilir.Konsantrasyon değerleri veya arıtma verimleri uygulanacaktır.

Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği'ne tabi bir tesiste nüfusun >100.000 olması ve deşarjın da hassas bir su alanına KOİ 125 mg/L ve çikıl TP ile TN nin de, sırasıyla, 1 mg/L ve 10 mg/L olması gerekmektedir.

Gerek SKKY ve gerekse Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği'nin deşarj standartlarına uygun olarak arıtımı yapılan kullanılmış sular alıcı ortamlara deşarj edildikten sonra sulama gibi dolaylı (de fakto) bir geri kazanım amacıyla çekilmektedir. Fakat yukarıda da verildiği gibi, sulama amacıyla kullanılacak kullanılmış sular için standartlar farklı olup filtrasyon+dezenfeksiyon gerekmektedir. Bunun yanında iletkenlik ve SAR için de sınır değerler AATTUT'da belirlenmiştir.

Benzer olarak, bazı durumlarda bir alıcı ortama arıtım sonrası deşarj edilen evsel kullanılmış sular, içme suyu amacıyla kullanılan yerüstü ve yeraltı sularına dahi karışabilmekte ve plansız olarak içme suyu amacıyla kullanılabilir. Hâlbuki dolaylı içme suyu olarak kullanılmış suların kullanımına yönelik ülkemizde bir standart geliştirilmemiş olup içme suyu havzalarına deşarj yasaklanmıştır. EPA Su Geri Kazanım Klavuzu'na göre her ne kadar bu tür bir dolaylı geri kazanım mümkün olsa da çok daha sıkı standartlar uygulanmaktadır. Örnek olarak Florida eyaletinde dolaylı içme suyu amacıyla kullanılmış suların kullanılması durumunda ikincil arıtma,

filtrasyon, yüksek seviyede dezenfeksiyon, patojen ve organik giderimi için çoklu önlem gerekmektedir. Ayrıca arıtılmış suda AKM < 5 mg/L, çözünmüş BOİ (haftalık ortalama) < 45 mg/L, bulanıklık < 2-2,5 NTU, toplam koliform < 4/100 mL ve ayrıca üç ayda bir Giardia, Cryptosporidium örneklemesi gerekmektedir.

Haliyle plansız geri kazanım durumlarında arıtılmış kullanılmış su kalitesi, genel olarak amaçlanan su geri kazanımından çok daha düşük olmaktadır. Bunun en önemli sonucu ise halk sağlığının olumsuz etkilenmesidir.

Bu durumun engellenmesi için AAT tasarımı aşamasında ilk olarak bölgede kullanılmış suları kullanabilecek potansiyel kullanıcıların tespit edilmesi ve bu kullanıcılar için su kaynağı üretmek maksadıyla ilgili geri kazanım için uygun mevzuata göre AAT'nin tasarlanmasıdır.

Problem No.12. Farklı geri kazanım alternatifleri için seçilen AAT prosesi yeterli olmamaktadır.

Çözüm Önerisi

Kullanılmış sular genel olarak sulama amacıyla geri kullanılmakla birlikte, sulama suyuna dönemsel olarak ihtiyaç duyulmakta olup bu dönem sonunda kullanılmış suların farklı amaçlarla geri kullanımı (çevresel, sanayi, vb) veya deşarjı gerekebilmektedir. Farklı geri kullanım alternatifleri veya deşarj durumu farklı kalitede su gerektirebilmektedir. Örnek olarak kullanılmış su tarım amacıyla kullanılacaksa iyi bir dezenfeksiyon gerekmele birlikte azot ve fosfor gideriminin yapılması tavsiye edilmez. Çünkü kullanılmış suda bulunan N ve P'nin gübre değeri olup tarımda kullanılması son derece faydalıdır. Fakat sulama mevsimi dışında deşarj edilen suyun alıcı ortamda ötröfikasyona neden olmaması için N ve P giderimi gerekebilir. Ayrıca dezenfeksiyon da gerekemeyebilir veya daha az yoğun bir dezenfeksiyon yeterli

olabilir. Dolayısıyla, farklı geri kullanım alternatiflerinin bulunması veya dönemlik geri kullanımın mümkün olduğu tesislerde arıtma tesisi modüler şekilde yapılarak, ihtiyaca göre ünitelerin kullanılması gerekebilir.

Benzer olarak, bir geri kazanım alanı için farklı kalitede su da gerekebilir. Örnek olarak tarımda yenilen ve yenilmeyen ürünlerin sulanması veya bir organize sanayi bölgesinde farklı endüstri kuruluşların farklı kalitede suya ihtiyaç duyması gibi. Bu duruma yönelik uygulamalar ülkemizde de yaygınlaşmaya başlamıştır. Örnek olarak Bursa OSB'de kullanılmış su, ters osmoz prosesinden geçirilmekte ve kum filtresi ile karıştırılarak ikincil kalitede su üretilmektedir. Dolayısıyla, ihtiyaca uygun kalitede su üretimi ve buna göre fiyatlandırılması önemlidir. İlgili kullanım alanının gereksiniminden çok daha iyi kalitede su üretilmesi durumunda, geri kazanılan suyun maliyeti çok yüksek olacaktır. Bu durumda da kullanıcı bu suyu talep etmeye gönüllü olmayabilmektedir.

Farklı mevsimlerde farklı ünitelerin kullanılarak farklı geri kullanım alternatiflerinin karşılandığı AAT'ler dünya genelinde de oldukça yaygındır. Örnek olarak, Barcelona AAT modüler şekilde tasarlanmış olup farklı geri kullanım noktalarına göre farklı mevsim ve taleplere göre farklı kalitelerde geri kazanılmış su üretebilmektedir. İhtiyaç duyulması halinde nütrient giderim tesisini çalıştırmakta, duyulmaması halinde de çalıştırmadan su üretmekte ve sulama maksadıyla kullanılabilmektedir.

Sonuç olarak kullanılmış sulara, birer kaynak gözüyle bakmalı ve arıtma tesislerini de birer “Su Fabrikası” olarak görmeli, fabrikadan tek kalitede ürün değil, ihtiyaca yönelik farklı kalite ve fiyatta ürün çıkacak şekilde tasarım yapılmalıdır.

Problem No.13. Kullanılmış su arıtma tesislerinde mevcut durumda işletme giderleri karşılanamamaktadır.

Çözüm Önerisi

Evsel/kentsel kullanılmış su arıtma tesislerine gelen suda KOİ konsantrasyonu genel olarak 300-600 mg/L olup bu durumda da enerji gideri 0,3-0,7 kWh/m³ arasında değişmektedir. Özellikle küçük AAT'lerde enerji maliyeti kısmen yüksek olup 0,5 kWh/m³ gibi bir değer alınabilir. Örnek olarak debisi 2000 m³/gün olan bir tesiste aylık enerji gereksinimi 30.000 kwh/m³ civarında olup enerji maliyetinin 0,4 kuruş/kWh olduğu kabul edilirse, aylık enerji maliyeti 12.000 TL/ay civarında olacaktır. Tesis işletimi için bir adet teknik personel ve bekçi (3 vardiya, 3 teknik personel ve 3 bekçi) ve bir işletme sorumlusu düşünülürse toplam 7 kişiye ihtiyaç duyulacak olup aylık işletme maliyeti 30.000 TL/ay değerlerine ulaşabilmektedir. Bu durumda birim su hacmi başına işletme maliyeti 0,5 TL/m³ olabilmektedir. Debinin artması durumunda bu maliyet çok düşecektir. Örnek olarak debisi 20.000 m³/gün olan bir tesis için enerji ihtiyacı 0,4 kwh/m³ alınır ve çalışan sayısı da 8 alınırsa aylık işletme maliyeti yaklaşık 120.000 TL/ay olacaktır. Birim hacim başına arıtma maliyeti ise 0,2 TL/m³ değerlerine kadar düşebilecektir. Dolayısıyla debiye bağlı olarak evsel/kentsel kullanılmış su arıtma tesislerinde birim işletme maliyeti 0,2-0,5 TL/m³ arasında değişebilmektedir. Elektrik fiyatı, debi ve çalışan personel maliyetine bağlı olarak bu gider kısmen artacak olsa da 0,2 TL/m³ değerinin altına düşmesi klasik AAT'lerde oldukça zordur. Bu maliyet içerisinde bakım-onarım giderleri, sarf malzeme (çamur arıtımında kullanılan poli elektrolit v.b.) gibi maliyetler de dahil edilmemiştir. Bu maliyetlerin de çok genel olarak 0,1 TL/m³ olduğunu kabul edersek, işletme maliyet aralığı 0,3-0,6 TL/m³ arasında olabilecektir.

Evsel/kentsel AAT'lerde bu tür giderler yerel yönetimlerce karşılanmaktadır. Yukarıda da bahsedildiği gibi AAT'lere "Su Fabrikası" gözüyle bakılırsa işletilen fabrika ürününü satamamakta veya plansız geri kullanım nedeniyle kullanıcılar ürüne ücret ödememektedir. Bu durumun kısmen çözümü ise; AAT'leri tasarlarken kullanıcıların talepleri alınmalı ve ona göre

su üretilmesi ve üretilen suyun kalitesine bağlı olarak da suyun fiyatlandırılmasıdır. Yukarıda bahsedilen fiyat aralığı dikkate alınırsa, ikincil arıtım+dezenfeksiyon neticesinde suyun bir alıcıya satılması durumunda fiyatın en az 0,3 TL/m³ olması gerekmektedir.

Alıcıların bu suya ücret ödemesi için yerüstü veya yeraltı sularının kaçak ve ücretsiz kullanımının engellenmesi gerekmektedir. Aslında bahsedilen ücret de oldukça makuldür. Örnek olarak ülkemizde birçok yerde gerek sulama ve gerekse endüstriyel tesislerde yeraltı suyu kullanılmakta olup çoğunlukla 50 m'nin ve hatta 100 m'nin üzerinde pompaj gerekmektedir. Yeraltı suyu tablasının 50 m ve 100 m aşağıda bulunması durumlarında pompaj için gerekecek enerji ise sırasıyla 0,2 kWh/m³ ve 0,4 kWh/m³ olacaktır. Bu durumda da gerekli enerji maliyeti sırasıyla 0.1 TL/m³ ve 0,2 TL/m³ olacaktır. Her ne kadar evsel kullanılmış su arıtma tesisinden daha az bir maliyetle su çekilebilse de su kaynaklarının korunması amacıyla yeraltı sularının gelişi güzel kullanılması engellenmelidir. Alternatif bir önlem olarak, bölgedeki yeraltı su seviyesi belirlenerek pompaj maliyeti hesaplanabilir ve sırf teşvik için kullanılmış su yeraltı suyu pompaj maliyetine veya kısmen altında fiyatlandırılabilir. Böylece, zaten ücretsiz kullanılan su, makul ve kabul edilebilir bir şekilde fiyatlandırılmış olur. Özellikle sulamada bu durum önemli olup sudaki azot ve fosfor da geri kazanılmış olur.

Ülkemizde İstanbul, Bursa, Kocaeli, Sakarya ve Çorlu gibi bölgelerde birçok endüstri ve organize sanayi bulunmaktadır. Bu sanayiler ihtiyaç duydukları proses sularını yerüstü ve yeraltı su kaynaklarından çekerek temiz suları tüketmektedirler. Temel olarak endüstriler için su kaynağı belirlenirken ilk alternatif bölgedeki evsel/kentsel arıtılmış sular olmalıdır. Zaten bahsedilen bölgelerde yüksek nüfus nedeniyle evsel kullanılmış su debileri bir hayli yüksek olup ihtiyaç duyulacak su büyük oranda karşılanabilecektir. Hatta bu durum, evsel kullanılmış su

kaynağının makul mesafede olması durumunda sanayici için bir zorunluluk haline getirilerek entegre bir su yönetimi de gerçekleştirilmiş olacaktır. Bu duruma ülkemizden de örnek projeler verilebilir, fakat örnek proje sayıları oldukça az olup sayılarının arttırılması gerekmektedir. Örnek olarak Tüpraş A.Ş. proses su üretimini biyolojik olarak arıtılmış kentsel bir kullanılmış sudan karşılamaktadır. Gerçekten örnek olan bu yaklaşım yaygınlaşırsa, özellikle büyük AAT'lerin işletme giderlerinin önemli bir kısmı karşılanmış olacaktır.

Problem No.14. Su geri kazanımı planlayan OSB'lerin yüksek pompaj maliyetleri sebebiyle arıtılmış evsel/kentsel kullanılmış suları geri kullanmak yerine kendi kullanılmış sularını geri kazanmaya odaklanmaktadır.

Çözüm Önerisi

Genel olarak OSB'lerde evsel/kentsel AAT çıkış sularının sanayi bölgesine getirilmesi için pompaj ihtiyacı söz konusu olup OSB'ler kendi sularını geri kazanma yoluna gitmektedir. Fakat bu tür bir yaklaşım bazen doğru olsa da bazen de yanlış bir yaklaşım söz konusudur. Örnek olarak tekstil sektöründe bir biyolojik AAT çıkış suyunda 100 mg/L KOİ, 200 Pt-Co renk ve 6 mS/cm iletkenlik bulunabilmekte ve deşarj standartlarını sağlamaktadır. Bu suyun ilgili sanayide proseste kullanılması için KOİ'nin < 10 mg/L, renk <50 Pt-Co ve iletkenlik <1 mS/cm değerlerine getirilmesi gerekmektedir. Bu durum ancak ters osmoz membranlarının kullanımıyla mümkün olacaktır. Bu durumda da gerek RO beslemeden önce rengin giderilmesi veya oluşan konsantrede rengin giderilmesi, tuz nedeniyle 12-14 bar arası basınç gereksinimi söz konusu olacaktır. Haliyle su geri kazanım maliyeti 1,5 TL/m³ veya üzerinde olabilmektedir. Bu yüksek maliyetin en önemli nedeni ise yüksek RO basıncı nedeniyle (12-

14 bar) yaklaşık 0,7-0,8 kWh/m³ enerjinin sadece RO ünitesinde gerekmesidir. Fakat iletkenliği 1-1,5 mS/cm olan bir evsel kullanılmış suyun ters osmoz prosesine verilmesi durumunda 7-10 bar arasında bir basınç yetebilecek ve ters osmoz işletme maliyeti de yarı yarıya düşecektir. Ayrıca endüstriler kendi sularını geri kazanırsa, UF ünitesinde %85 gibi bir geri kazanım ve ters osmozda da %70 gibi bir geri kazanım ön görürsek, toplam geri kazanım oranı %60 civarlarında kalacaktır. Dolayısıyla ihtiyaç duyulan suyun yaklaşık %40'ının temiz su kaynağından alınması gerekecektir. Fakat evsel kullanılmış suyun geri kazanım amacıyla kullanılması durumunda yine %70 geri kazanım yapılsa da, ihtiyaç duyulandan yaklaşık %30 fazla su ters osmoz ünitesine verilerek tüm ihtiyaç arıtılmış kullanılmış sudan karşılanabilir. Ayrıca, endüstriyel kullanılmış suyun ters osmoza verilmesi durumunda oluşan konsantre çok daha yoğun kirliliğe sahip olup deşarj edilmeden önce pahalı arıtım alternatiflerine ihtiyaç duyabilir. Fakat evsel kullanılmış suların ters osmoz prosesine verilmesi durumunda oluşan konsantre çok daha kolay deşarj edilebilir nitelikte olacaktır. Dolayısıyla, evsel kullanılmış suların OSB'lerde geri kullanımı düşünülürken pompaj maliyetiyle birlikte endüstrinin kendi suyunu kullanması durumunda oluşacak işletme maliyet farkı da beraber düşünülmelidir.

Fakat bütüncül bir yaklaşımla bakılırsa, OSB'lere izin verilirken ilk bakılması gereken ilgili OSB'nin su ihtiyacı ve bu suyu nereden karşılayacağıdır. OSB'ler kurulurken evsel kullanılmış suyu geri kazanıp kullanılacağı düşünülerek veya zorunlu tutularak, bu suyu kullanmasının çok maliyetli olmayacağı kullanılmış su arıtma tesisine yakın bir yerde kurulması durumunda OSB'lere izin verilmelidir. Bu süreç OSB'nin yer seçimi ve kurulum izinleri sürecinde ÇED izinlerine ilave edilecek bir süreç haline getirilebilir ve önemli bir mesafe alınabilir.

Benzer olarak, büyük bir AAT'nin inşa durumu söz konusu olduğunda kot ve hakim rüzgarların vb. diğer koşulların

elvermesi durumunda müşterilerin (örnek OSB) üretilen suyu pompaj gerektirmeden alabilecekleri bir yere kurulması da sağlanabilir. Bu sayede AAT işletme maliyetinin en azından bir kısmı geri kazanılabilir.

Problem No.15. OSB’lerde suya düşük ücret ödenmesi sebebiyle su geri kazanımı istenilen seviyede olmamaktadır.

Çözüm Önerisi

Birçok OSB’de yeraltı veya yerüstü sularını ücretsiz olarak kullanılmakta olup bunun neticesinde de OSB bulunan firmalarda su satışı çoğunlukla 1 TL/m³ civarlarında veya daha düşük olabilmektedir. Doğal olarak su sadece yeraltı suyundan pompaj ile 0.5 TL/m³ veya daha altında bir maliyetle çekilip işlenerek veya işlenmeden sanayiciye ulaştırıldığından kullanılmış su geri kazanımı yapmaya gerek duyulmamaktadır. Fakat İstanbul, Bursa ve Kocaeli gibi bazı illerimizde yerüstü ve yeraltı suyunun çok sınırlı olup ihtiyacı karşılamaması ve şehir şebeke suyunun 5-6 TL/m³ veya üzerinde bir fiyatlarda sanayiciye sağlanması durumu söz konusu olan OSB’lerde kullanılmış su geri kazanım alternatifi düşünülmektedir.

Fakat su kaynaklarımızın korunması amacıyla OSB’lerin yüzeysel ve yeraltı sularını kullanmaya sınırlama getirilmelidir. Bu kapsamda OSB’lere ihtiyaç duydukları suyun belli bir kısmını (örnek en az %30)’unu kullanılmış evsel/kentsel su veya kendi kullanılmış sularından geri kazanmaları konusunda yaptırımlar getirilmeli ve bu konuda OSB’ler teşvik edilmelidir.

Problem No.16. Kullanılmış su arıtma tesislerinin genellikle şehirlerin düşük kotlarında konumlandırılmış olması sebebiyle su geri kazanımı yapılabilmesi için pompaja ihtiyaç duyulmaktadır.

Çözüm Önerisi

Bu önemli bir sorun olup özellikle kullanılmış suların kentsel geri kullanımları söz konusu olduğunda pompaja ihtiyaç duyulmaktadır. Örnek olarak, şehirde park ve refüjlerin sulanması durumunda en doğru yaklaşım şehirde bir depo kurmak ve arıtma tesisi çıkışından buraya suyu pompalamaktır. Bu kaçınılmaz bir durum olmakla birlikte, bazı durumlarda AAT gereğinden daha düşük kotlara da inşa edilmektedir. Dolayısıyla, yukarda da bahsedildiği gibi AAT tasarlanırken deşarj bazlı değil geri kullanım yer ve alanlarına göre tasarlanmalı ve yer seçimi de buna göre yapılmalıdır. Ayrıca, OSB'ler kurulurken kullanılmış suyu daha düşük maliyete geri kazanabilmelerini sağlayacak şekilde büyük AAT'lere yakın pompaj gerektirmeyen veya minimum pompaj gerektiren alanlara kurulması sağlanabilir. Böylece, entegre su yönetimi yapılabilir ve temiz su kaynakları korunabilir.

Problem No.17. OSB'lerde izinsiz kuyular açılmakta ve kuyulardan çekilen su miktarının tespit edilemediğinden OSB'lerdeki talebin tam olarak anlaşılamamakta ve yeraltı suyu seviyesinde düşümler olmaktadır.

Çözüm Önerisi

OSB yönetimleri tarafından sanayicilere su dağıtılarak faturalandırılmaktadır. Ülkemizde genellikle yerüstü ve yeraltı suları bu amaçla kullanılmakta olup temiz su kaynakları kullanıldığından çoğunlukla arıtılmadan sanayiciye verilmektedir. Sanayici ise, proses ihtiyacına göre sağlanan suda bir takım iyileştirmeler yaparak (ters osmoz, reçineli iyon değiştirici vb) kullanmaktadır. OSB'lerde su, genel olarak düşük ücretle sanayicilere sağlanmakla birlikte bazı durumlarda OSB su tahsisi sanayiciye yeterli gelmeyebilmekte veya daha ucuza mal etmek için tekil sanayici veya OSB'nin bizzat kendisi doğrudan

kaçak kuyu açabilmektedir. Bu durum yeraltı su seviyelerinde önemli derecede düşüşlere neden olmaktadır. Dolayısıyla denetimlerin sıkı yapılması ve OSB'lere ihtiyaç duydukları suyun en az %30'unu kullanılmış sulardan elde etmeleri konusunda zorunluluklar ve teşviklerin getirilmesi gerekmektedir. Böylece, örnek projelerin sayıları artacak, kullanılmış su geri kazanımının önemi anlaşılabilecek ve bu tür uygulamaların sayısı artacaktır.

Problem No.18. Drenaj kanallarında toplanan suların tarım uygulamalarında kontrolsüz kullanılması (de facto kullanımın yoğun olması) neticesinde sulama suyu kalitesi düşmekte ve buna bağlı halk sağlığı ve ürün kaybı sorunları gözlenmektedir.

Çözüm Önerisi

Drenaj kanallarında toplanan sular genel olarak tuz, tarım ilacı ve bulanıklık içermektedir. Bu suların tarımda tekrar kullanılması su kaybını önleyecektir. Fakat bu sularda bulunacak tuzluluk ve tarım ilaçları nedeniyle kontrollü bir şekilde tarımda tekrar kullanılması gerekmektedir. Aksi takdirde ürün kayıpları yaşanabilecektir. Bu kapsamda diğer bir sorun ise, tarımdan dönen su debilerinin doğru bir şekilde ölçülmesidir. Sulamaya bağlı olarak tarımdan dönen su, ağırlıklı olarak Mart-Ekim ayları arasında çan eğrisi şeklinde artıp azalmaktadır. Yılda iki debi ölçümü mevsimsel debi salınımlarını ve çan eğrisi değişimini vermeyecektir. Sulama kapasitesi yıllara göre değişiklik göstermekte olup herhangi bir sene yapılan anlık ölçümlerle de genelleme yapmak doğru değildir. Düzenli ve sık ölçümlerin yapılması gerekmektedir.

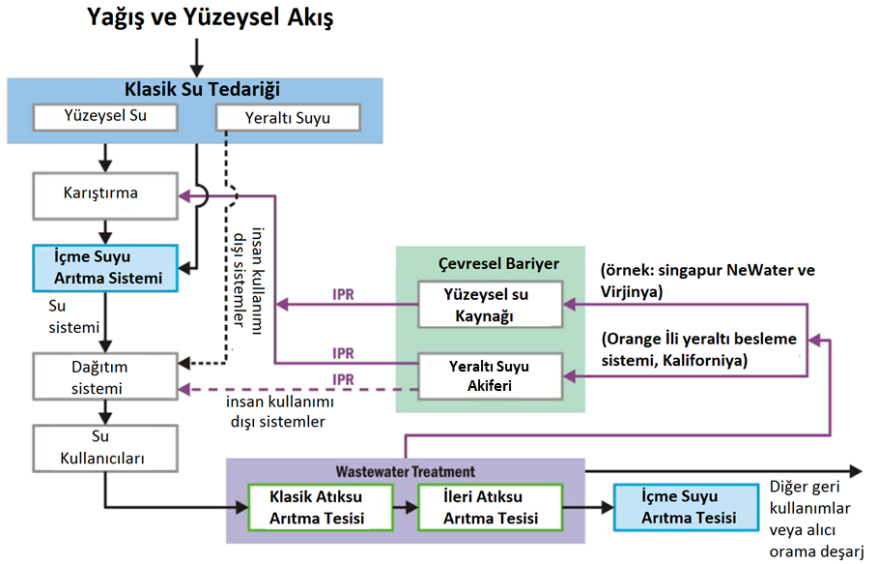
Problem No.19. YAS beslemesi Türkiye'de yasak durumdadır.

Çözüm Önerisi

Kullanılmış sularla yeraltı suyu besleme ülkemizde yönetmeliklerle yasaklanmıştır. Fakat dünya genelinde YAS beslemesi birçok amaçla yapılmaktadır. Özellikle içme suyu amacı dışındaki kullanımları çok yaygın olup en önemlileri sıralanacak olursa,

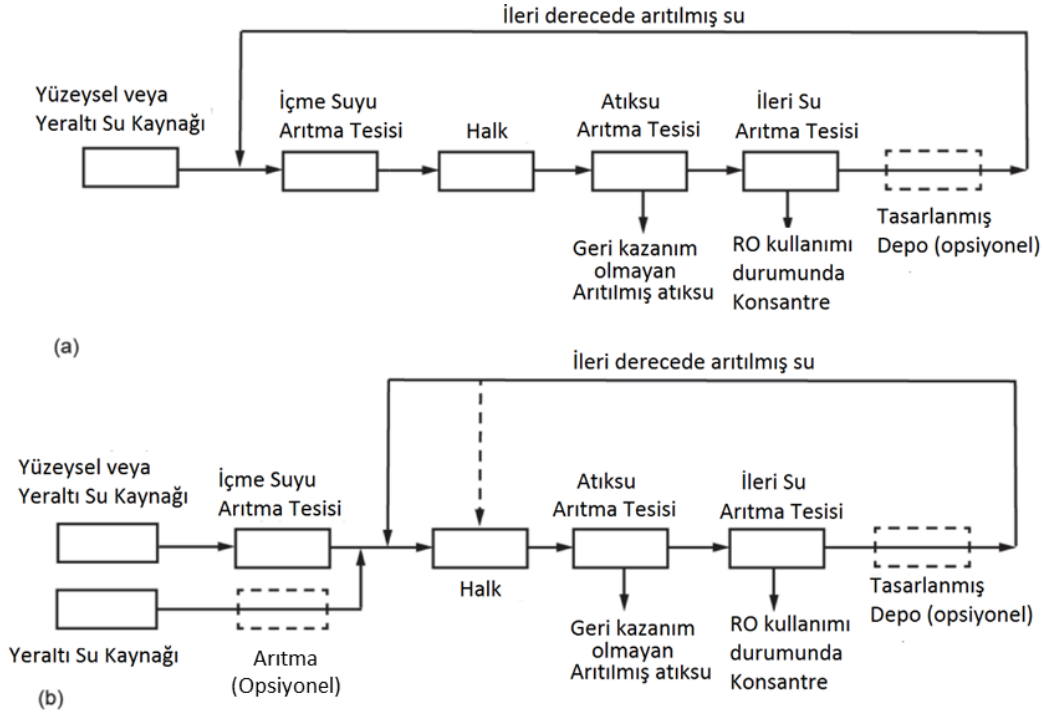
- Sulama suyu depolaması,
- Endüstriyel kullanım amacıyla suyun depolanması,
- Deniz suyunun yeraltı suyuna girişini engellemek amacıyla hidrolik bariyer oluşturulması.

Bunun dışında kullanılmış suların dolaylı içme suyu olarak kullanımı da birçok ülkede söz konusudur. Kullanılmış suların içme suyu olarak kullanımında dolaylı kullanım önerilmekte olup çevresel bariyerlerin kullanımı önerilmektedir. Bu kapsamda kullanılmış sular infiltrasyon ile yeraltı sularına beslenmekte, belirli bir mesafede ise çekilerek arıtmadan geçirilmekte ve içme suyu olarak kullanılmaktadır. Kullanılmış su yeraltına beslendiğinde çevresel bir bariyer söz konusu olduğundan son kullanıcıya daha güvenli bir su verilmektedir. Dolayısıyla kullanılmış sular içme suyu maksadıyla direk kullanım, planlı indirekt kullanım ve plansız indirekt kullanım şeklinde sınıflandırılabilir. Farklı kullanımları gösteren bir diyagram Şekil 9-4'te ayrıca sunulmuştur.

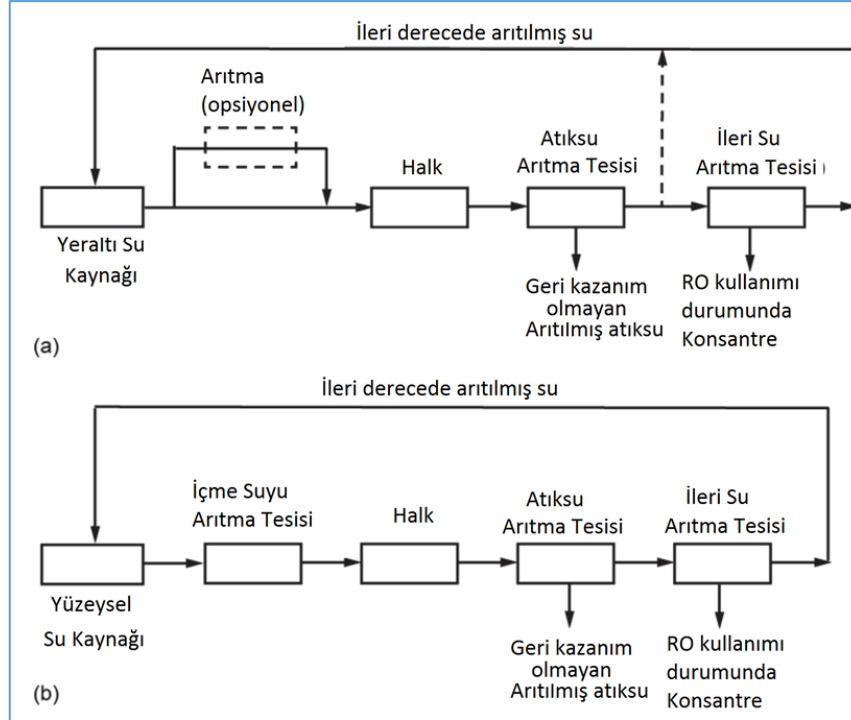


Şekil 9-4 Kullanılmış suların içme suyu olarak kullanımına dair farklı alternatifler [1]

Birçok ülkede arıtılmış kullanılmış sular farklı amaçlarla yeraltına beslenebilirken ülkemizde yasak olması, su geri kazanımının önünde önemli bir engeldir. Bu kasamda çalışmaların yapılarak yeraltına beslenecek suya ilişkin kriterler belirlenebilir. Bununla birlikte direkt ve dolaylı olarak kullanılmış suların içme suyu amacıyla kullanımına yönelik akış diyagramları, sırasıyla, Şekil 9-5 ve Şekil 9-6'da verilmiştir.



Şekil 9-5 Kullanılmış suların direkt olarak içme suyu amacıyla kullanımı (a) İleri arıtmadan sonra suyun içme suyu arıtma tesisine beslenmesi, (b) İleri arıtmadan sonra arıtılmış kullanılmış suyun direkt içme suyu dağıtım sistemine bağlanması [154]



Şekil 9-6 Kullanılmış suların dolaylı olarak içme suyu amacıyla kullanımı (a) İleri arıtmadan sonra arıtılmış atık suyun çevresel bariyer olarak yeraltı akiferine verilmesi, (b) İleri arıtmadan sonra arıtılmış kullanılmış suyun çevresel bariyer olarak yüzeysel su kaynağına alınması

Yukarıda özellikle teknik ve bazı yönetsel sorunlara değinilerek çözüm alternatifleri de belirlenmeye çalışılmıştır. Bu sorunlara ilave olarak yanlış uygulamalar veya bazı teknik yetersizlikler de kullanılmış su yönetimini, arıtımını ve geri kullanımını olumsuz etkilemektedir.

Bu sorunlardan en önemlileri ise;

- Mevcut tarım alanlarının tamamını sulayacak miktarda su sağlanamaması ve bunun sonucunda kaçak kuyuların açılarak tarım arazilerinin sulanması ve buna bağlı yeraltı suyu seviyesinde düşümler olması,
- Mevcut sulama kanallarının basınçlı sistem olmaması, çiftçilerin modern sulama tekniklerini uygulamaması ve gölleme tipi sulama yapması nedeniyle tarımsal sulama veriminin düşük olması,
- Sulama kanallarına ham ve/veya arıtılmış kullanılmış su deşarj edilmesi neticesinde sulama suyu kalitesindeki azalma,
- Kıyı bölgelerde içme suyu şebekesine tuzlu su girişi olması, kullanılmış su arıtma tesislerine iletkenliği yüksek kullanılmış su gelmesi ve arıtılmış suyun sulama amaçlı kullanımında yüksek iletkenlik nedeniyle sorunların yaşanması.
- Ayrık yağmur suyu toplama sistemi olan/olmayan belediyelerde toplanan yağmur suyunun kanalizasyonla karıştırılması ve kullanılmış su arıtma tesislerine alınması. Bunun neticesinde, birçok geri kazanım alanında yararlanabilecek olan yağmur suyu kaybedildiği gibi, AAT kapasiteleri aşarak düşük kalitede çıkış suyu elde edilmesine neden olmaktadır.

Yukarıda ülkemiz özelinde su geri kazanım sorunlarına dair değerlendirmeler yapılmış olmakla birlikte, geri kazanım alanına göre tüm dünyada bazı ortak sorunlar gözlenebilmektedir. Bu

kapsamda aşağıda Bۆlۆm 7, Tablo 7-1’de farklı geri kazanım alanlarına göre tۆm dۆnyada gۆzlenebilecek bazı teknik sorunlar ve cۆzۆm ۆnerileri verilmiştir.

9.2. ۆlkemizde Endۆstriyel Sektörlerde Su Tۆketimleri ve Kullanılmış Su Geri Kazanım ۆnceliklendirilmesi

ۆlkemizde genel olarak spesifik su tۆketimleri (tۆketilen su miktarı/birim kۆtle nihai ۆrۆn) fazla olan endۆstriler ana hatlarıyla aşağıda sıralanmıştır.

- Gıda sektۆrۆ
- Tekstil sektۆrۆ (ۆzellikle boyama yapan tesisler)
- Kimyasal madde sektۆrۆ
- Metal sanayi sektۆrۆ
- Kağıt sektۆrۆ
- Demir celik sektۆrۆ
- Soğutma suyu kullanan enerji santralleri, demir celik fabrikaları, vb.

Avrupa Birliği Endۆstriyel Emisyonlar Direktifi (EED) ve IPPC (Entegre Kirlilik ۆnleme ve Kontrol) BREF dokۆmanlarında bircۆk farklı endۆstriyel sektۆr için ۆnerilen spesifik su tۆketimleri belirtilmiştir. BREF dokۆmanlarında belirtilen spesifik su tۆketimleriyle ve/veya kۆresel diğer benzer tesislerin su tۆketimleriyle tesisin kendi spesifik su tۆketimi karşılaştırılmalı ve tesisin ‘su tۆketim performansı’ belirlenmelidir. İzleme ve tespitlere ve EED/IPPC BREF dokۆmanlarına gۆre su verimliliğinin artırılması, spesifik su tۆketimlerinin azaltılması ve temiz ۆretim amaçlı olarak tesis ۆzelinde ve BREF dokۆmanlarını baz alarak Mevcut En İyi Teknikler (MET) belirlenmeli ve fizibilite sonucu uygun bulunan teknikler uygulamaya konulmalıdır.

Ülkemizde endüstriyel tesislerde genel anlamda spesifik su tüketimleri detaylı olarak izlenmemekte, kontrol edilmemekte ve neticesinde su kullanım/tüketim verimliliği genelde düşük seviyelerde kalmaktadır. Bunun temel nedenleri aşağıda listelenmiştir.

- Su temini, proses suyu hazırlama, kullanılmış su arıtma ve deşarjla ilgili tüm su maliyetlerinin toplamı, genelde üretim maliyetlerinin çok küçük bir kısmını oluşturmaktadır (%1-10 arası). Toplam birim işletme su maliyetinin >10 TL/m³ seviyelerine çıktığı bazı spesifik bölge ve tesislerde bile bu oran ancak %20-30 aralığında olmaktadır. Bunun temel nedeni, ülkemizde kuyu suyu ve ham su satış ücretlerinin düşük olmasıdır. Kaçak su kullanımları da önemli boyutlarda olabilmektedir. Dolayısıyla, tesisler daha çok enerji, kimyasal ve hammadde kullanım verimliliğine ve proses iyileştirme çalışmalarına odaklanmaktadır. Endüstrilerde 'su hususu' hem ekonomik hem de teknik anlamda genelde ikinci planda kalmaktadır.
- Su tüketimlerinin online izlenmesi ve otomasyonlu kontrolü ülkemizde nadir uygulanmaktadır.
- Su tüketim noktalarındaki gerekli su kalitesi gereksinimleri (üretim ve ürün kalitesi açısından) yeterli olarak belirlenmemektedir. Dolayısıyla, bazı tesislerde gereksiz yere daha düşük su kalitesi gerektiren kullanım noktalarında yumuşatılmış hatta tuzsuzlaştırılmış (örneğin RO prosesleriyle) proses suları kullanılmaktadır. Bu husus üretim maliyetlerini de arttırmaktadır. Her bir tesis hangi noktada, hangi miktarlarda, hangi kalitede su kullanması gerektiğini üretim ve ürün testleri de yaparak optimize etmelidir.
- Su tüketimlerini en aza indirecek proses iyileştirmeleri yapılmalı veya yeni teknolojiler seçilmelidir. Örneğin, tekstil sektöründe son durulamaların geri kullanılması,

kimyasal dozaj otomasyonları, seviye ayarlı boyamalar, vb. gibi.

- Farklı kullanılmış su kaynaklarındaki debiler ve su kalitesi belirlenmediği ve kullanılmış su kaynakları ayrık olarak değerlendirilmediği için, bazı durumlarda direkt olarak hatta arıtmasız olarak geri kullanılabilecek kullanılmış su kaynakları gereksiz yere kompozit kullanılmış sularla birleştirilmektedir. Gereksiz yere su tüketimi olmakta ve mevcut kullanılmış su arıtma tesisine daha çok debi gelmektedir.
- Endüstrilerin çoğunda su tüketimleri ve kullanılmış su oluşumları için kütle denklik hesapları yapılmamaktadır. Kaçak/verimsizlik tesbiti ve kontrolleri seyrek yapılmaktadır.
- Endüstrilerin çoğu 'su tüketim performanslarını' belirlememekte ve izlememektedir. Dolayısıyla da, BREF dokümanlarını ve küresel rakip firmaların spesifik su tüketimlerini baz alarak karşılaştırma yapmamaktadır.
- Ülkemizde temiz üretim çalışmaları ve çevresel performans analizi çalışmaları yapıp MET'leri belirleyip, MET'leri uygulamaya geçiren çok az sayıda firma vardır. Bunların çoğu tekstil, maya ve demir çelik sektöründedir.
- Ülkemizde ham su maliyetleri genelde düşük olduğu için kullanılmış su geri kazanımı ikinci planda kalmaktadır.
- Konvansiyonel kullanılmış su arıtma tesislerinin işletiminde zorlanabilen özellikle küçük tesisler ileri kullanılmış su arıtma ve geri kazanım tesislerine ön yatırım ve işletme maliyetleri ve olası işletme zorlukları açısından sıcak bakmamaktadır. Bu tesisler mevcut işletme ve geri kazanım durumundaki su işletme maliyetlerini detaylı hesaplamalı ve maliyetleri ve geri ödeme sürelerini daha uzun vadede değerlendirmelidir. Ülkemizde endüstriler geri ödeme süresini en fazla 2 yıl

olarak öngörmektedir. Gelişmiş ülkelerde ise bu süreler 10 yıla kadar fizibil olarak kabul edilmektedir.

- İleri arıtma prosesleri hakkında bilgi, tecrübe ve know-how sanayimizde yeterli olmadığı için ve referans olabilecek tam ölçekli geri kazanım tesisi az sayıda olduğu için, sanayicimiz genelde kullanılmış su geri kazanımına şüphe ile bakmaktadır. Referans uygulamalar ülkemizde artarsa diğer uygulamaları tetikleyeceği bir gerçektir.
- Geri kazanılan kullanılmış suyun ürün kalitesine olası etkileri konusunda özellikle tekstil sektöründe ciddi oranda kaygılar mevcuttur. Bu kaygılar geri kazanılmış kullanılmış sularla üretilmiş ürünlerde ürün kalitesi testleri yaparak değerlendirilmelidir.
- Geri kazanılan kullanılmış suların tesiste çevre ve personel sağlığı açısından olası riskleri konusunda endişeler mevcuttur. Bu konuda yeterli eğitim verilmeli ve yönlendirme sanayimize yapılmalıdır.

Ülkemizdeki endüstrilerin su tüketimlerini kontrol ve optimize etmeleri ve kullanılmış su geri kazanımını önceliklendirmeleri için kullanabilecekleri bir yönlendime çalışması hazırlanmıştır. Bu yönlendirme rehberi, akım şeması olarak **Error! Reference source not found.**'de sunulmuştur. Ülkemizde endüstriyel temiz üretim uygulamaları ve su tüketimi azaltımı çalışmaları hakkında daha detaylı uygulama bazlı bilgiler temin edilmek istenirse aşağıdaki kaynaklara başvurulabilir.

- Sanayide kaynak verimliliği potansiyelinin belirlenmesi projesi (SANVER). Yürütücü kurum: TÜBİTAK MAM. Destekleyen kurum: Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Verimlilik Genel Müdürlüğü. 2017 yılında tamamlanmıştır.
- Sanayide temiz üretim olanaklarının ve uygulanabilirliğinin belirlenmesi projesi (SANTEM) (Demir çelik ve maya sektörleri). Yürütücü kurum:

TÜBİTAK MAM. Destekleyen kurum: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü. 2016 yılında tamamlanmıştır.

- Özel sektördeki bazı tesisler temiz üretim ve su tüketimi minimizasyonu için TÜBİTAK Teydeb veya diğer programlardan destekler alarak Ar-Ge çalışmaları yapmıştır/yapmaktadır. Gizlilik sözleşmeleri gereği bu projelerin hakları/çıktıları ilgili firmalara ve TÜBİTAK'a aittir.
- Tekstil sektöründe Avrupa Birliği IPPC Direktifi ile uyum çalışmaları: BAT uygulamaları, TÜBİTAK Projesi (ÇAYDAG, 105Y088), Proje Yöneticisi: Prof.Dr. Ülkü Yetiş, ODTÜ. 2008.
- Emrah Öztürk, "Tekstil sektöründe entegre kirlilik önleme ve kontrolü ve temiz üretim uygulamaları", Doktora tezi, SDÜ, Çevre Mühendisliği, Isparta, 2014.

Proses suyu olarak kullanılacak ham su kaynağı/kaynaklarında su miktarı ve su kalitesi sık olarak izlenmelidir. İzlenecek su kalitesi parametrelerinin seçimi üretim prosesine ve ürüne olası etkiler dikkate alınarak yapılmalıdır.

Proses suyu hazırlamada kullanılan sertlik giderimi amaçlı iyon değiştirme proseslerinde dikkat edilecek hususlar:

- 1) Reçine kolonu çıkışlarında sertlik parametresi online veya sık bir şekilde offline olarak takip edilerek, reçine rejenerasyon sıklığı ve süresi optimize edilmelidir. Optimize edilmeyen kolonlarda gereksiz tuz/kimyasal ve su tüketimi olmaktadır.
- 2) Reçine rejenerant solüsyonu hazırlama prosedürü ve gerekli konsantrasyonlar izlenmeli ve teyit edilmelidir.
- 3) Rejenerasyon atıksuları karakterize edilmelidir. Bu karakterizasyon sonucuna göre, bu atıksuların üretim proseslerinde herhangi bir noktada geri kullanım imkanı varmıdır? Örneğin, iyi su kalitesi gerektirmeyen yıkamalar, rejenerasyon atıksuları asidik/bazık karakterde ise nötralizasyon amaçlı geri kullanım, vb.
- 4) Rejenerasyon atıksuları tesisdeki atıksu toplama hattına veriliyorsa, kompozit atıksudaki su karakterine olumsuz etkileri nelerdir? Örneğin, kompozit atıksuyun aşırı tuzlanması ve bu tuzluluğun biyolojik arıtmaya olası olumsuz etkileri. Olumsuz etkiler varsa, rejenerasyon atıksuları ayrık toplanıp, atıksu hattına verilmeden geri kullanılabilir mi?
- 5) Reçinelerle iyon değiştirme prosesine alternatif olarak diğer teknolojilerin (örneğin, nanofiltrasyon, NF) tesisde uygulanması değerlendirildi mi?

Proses suyu hazırlamada kullanılan membran proseslerinde (NF, ters osmoz: RO gibi) dikkat edilecek hususlar:

- 1) Ham su olarak yeraltı suları kullanılıyorsa ve bu yeraltı sularında tipik TOK 1 mg/L, iletkenlik 300-900 mikros/cm ise, NF veya RO konsantreleri genellikle geri kullanıma çok elverişli temiz sular olmaktadır. Bu konsantrelerin tesislerdeki farklı üretim proseslerindeki su ihtiyaçlarına ve gerekli su kalitesine göre geri kullanılması tavsiye edilmektedir. Bazı tesisler ham suları önce reçinelerle yumuşatmakta sonra RO'dan geçirmektedir (kazan besleme, buhar üretimi vb. amaçlı). Bu durumlarda RO konsantreleri sertlik açısından da sorunsuz olmakta ve geri kullanım şansı artmaktadır (örneğin, belirli oranlarda ham sularla paçallayarak ham su tankına geri basılması gibi). Ülkemizde bu tür yüzlerce tesis olup, gereksiz yere RO konsantreleri atıksu hattına verilmekte ve su kayıpları olmaktadır.
- 2) NF, RO konsantrelerindeki su kalitesi detaylı olarak analiz edilip, farklı üretim proseslerindeki gerekli su kalitesine göre geri kullanılabilir.
- 3) NF, RO proseslerinde uygulanan tıkanma kontrol stratejileri işletmede optimize edilmelidir (antiskalan tür ve dozaj optimizasyonu, LSI, doygunluk indeksleri izlemeleri gibi). Geri yıkamaların, kimyasal yıkamaların sıklık ve süreleri işletme bazında kimyasal ve su tasarrufu için optimize edilmelidir.
- 4) Geri yıkamalar, kimyasal yıkama atıksuları karakterize edilmeli ve ayrık toplama/geri kullanım opsiyonları değerlendirilmelidir. Membran konsantreleri ile karıştırma, müteakip arıtma, deşarj veya arıtma tesisi girişine geri devir seçenekleri su kalitesi ve su tasarrufu açılarından değerlendirilmelidir.
- 5) Diğer demineralizasyon proseslerindeki tüm atıksular karakterize edilmeli ve ayrık toplama/geri kazanım veya kompozit atıksu hattına verilmesi hususları değerlendirilmelidir.

Yukarıda bahsedilmeyen diğer proses suyu hazırlama süreçlerinden kaynaklanan tüm atıksu kaynakları irdelenmeli, karakterize edilmeli ve ayrık toplama/geri kullanım veya diğer atıksularla birleşik toplama hususları değerlendirilmelidir.

- Üretim proseslerindeki her bir su kullanım noktası tek tek tespit edilmelidir. Her bir kullanım noktasındaki gerekli spesifik su miktarı (L/kg ürün gibi) ve su kalitesi ürün kalitesi de dikkate alınarak belirlenmelidir. Kısaca, su kullanımı ve tüketim noktaları konusunda tesisde bir tür röntgen çekilmelidir.
- Bazı tesislerde kaliteli proses suyu gereksiz yere daha düşük kalitede su gerektiren noktalarda kullanılmaktadır. Bu ve benzeri sorunlar giderilmelidir.

- Her bir su kullanım noktasında ve toplam üretim için tespit edilen spesifik su tüketimleri, Avrupa Birliği Endüstriyel Emisyonlar Direktifi (EED) ve IPPC (Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol) BREF dokümanlarında belirtilen spesifik tüketimlerle ve/veya global diğer tesislerin tüketimleriyle karşılaştırılmalı ve tesisin 'su tüketim performansı' belirlenmelidir.
- Üretim dışında diğer su kullanım noktaları da incelenmelidir.
- Tesis genelinde ham su çekimi, proses suyu hazırlama, tüm su tüketimleri ve atıksu oluşumları dikkate alınarak 'su ve atıksu kütle denglikleri' oluşturulmalıdır. Kütle denglikleri baz alınarak kayıp ve kaçaklar belirlenmelidir.
- Mümkün olduğunca online su sayaçları, otomasyona bağlı vanalar ve debimetreler ile su tüketimleri ve atıksu oluşumları SCADA ile izlenmeli ve kontrol edilmelidir. Benzer izlemeler ve kontroller enerji, hammadde ve kimyasal tüketimlerinde de yapılabilir.
- İzleme ve tespitlere ve EED/IPPC BREF dokümanlarına göre su verimliliğinin artırılması ve temiz üretim amaçlı olarak tesis özelinde ve BREF dokümanlarını baz alarak Mevcut En İyi Teknikler (MET) belirlenmeli ve fizibilite sonucu uygun bulunan MET'ler uygulamaya konulmalıdır.

- Tesisdeki her bir üretim prosesi kaynaklı ve proses dışı (evsel atıksular, yıkamalar, drenajlar, vs.) atıksu oluşum noktaları belirlenmelidir. Bu noktalardaki atıksu miktarları/debileri günlük ortalama bazda belirlenmelidir.
- Her bir atıksu noktasındaki atıksu kalitesi günlük, aylık veya mevsimsel üretim trendlerindeki değişimleri yakalamak için detaylı olarak analiz edilmeli ve belirlenmelidir. Kısaca, atıksu oluşum noktalarındaki debiler ve su kalitesinin röntgeni çekilmelidir.
- Her bir atıksu kaynağındaki su debisi ve kalitesine göre, üretim proseslerindeki su kalite gereksinimlerini de dikkate alarak, atıksular ayrık toplanabilir ve direkt olarak geri kullanılabilir mi? Hangi atıksu kaynakları direkt geri kullanılabilir, hangileri spesifik arıtma proseslerinden sonra geri kullanılabilir? Hangi atıksu kaynakları hiçbir şekilde geri kullanılamaz?
- Çok yüksek kirlilik yükü olan atıksu kaynakları kompozit atıksu hattına verilmeden ayrık toplanabilir mi?
- Yapılacak bu atıksu analizleri sonucunda ayrık toplama mı, kısmi ayrık toplama mı yoksa tüm atıksuların kompozit olarak birleşik toplanması mı uygundur?
- İleri atıksu arıtma ve geri kazanım tesisi ayrık atıksu noktaları için mi yoksa kompozit atıksular için mi tasarlanmalıdır?
- Geri kazanılacak atıksu kalitesi, üretim proseslerindeki gerekli su kalitesi ile uyumlu mudur? Geri kullanım noktaları nelerdir?
- Üretim prosesleri dışındaki atıksu kaynaklarının yönetimi belirlenmelidir. Endüstriyel atıksularla birleşik toplama, ayrık toplama gibi.
- Toplam birim su maliyetleri (ham su temini, pompaj, proses suyu hazırlama, atıksu toplama ve arıtma, deşarj, kanalizasyona katılım, vb. tüm su maliyetleri) dikkate alınarak, bölgedeki su tahsisleri, havza su bütçesi ve olası kuraklık riskleri irdelenerek, kesintisiz üretim için, atıksu geri kazanımı, kısmi geri kazanımı veya arıtma sonrası deşarj onisyonları entegre olarak değerlendirilmelidir.

Şekil 9-7 Endüstrilerde su tüketimini kontrol/optimize etmek ve su geri kazanımını önceliklendirmek için izlenecek genel yaklaşım

KAYNAKLAR

- [1] U. United States Environmental Protection Agency, «Guidelines for Water Reuse,» U.S. Environmental Protection Agency Office of Wastewater Management Office of Water Washington, D.C., Washington, D.C., 2012.
- [2] K. B. T. A. T. A. Ç. M. B. Ö. G. S. S. G. Z. U. Muluk Ç., «Türkiye’de Suyun Durumu ve Su Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar,» *Çevresel Perspektif*, no. 104, 2013.
- [3] Metcalf&Eddy, Wastewater Engineering, Treatment and Reuse, New York: McGraw-Hill, 2003.
- [4] N. National Research Council, «Water Reuse: Potential for Expanding the Nation’s Water Supply Through Reuse of Municipal Wastewater,» The National Academies Press, Washington, D.C., 2012.
- [5] «Akıllı Şehirler için İnovasyon ve Değişim Rehberi,» [Çevrimiçi]. Available: <http://www.akillisehirler.org/>. [Erişildi: Aralık 2017].
- [6] Metcalf&Eddy, Water Reuse: Issues, Technologies and Applications, New York: McGraw-Hill, 2007.
- [7] V. Gude, «Desalination and Water Reuse to Address Global Water Scarcity,» *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.*, pp. 591-609, 2017.
- [8] T. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, «Su Alanı Ulusal Ar-Ge ve Yenilik Stratejisi Hazırlanmasına İlişkin Bilgi Notu: EK 6,» Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, TÜBİTAK, Ankara, 2010.
- [9] E. Özcan, «Türkiye Kıyılarında Yüzme Suyu Profillerinin Belirlenmesi ve Turizmde Atıksu Yönetimi Eğitimi Sunumu,» %1 içinde *T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü*, Kocaeli, 2014.
- [10] T. Türkiye İstatistik Kurumu, «Sektörel Su ve Atıksu İstatistikleri-2014 yılı,» Türkiye İstatistik Kurumu, TÜİK, Ankara, 2016.
- [11] T. T.C. Kalkınma Bakanlığı, «Onuncu Kalkınma Planı (2014-2018): Su Kaynakları Yönetimi ve Güvenliği Özel İhtisas Komisyonu Raporu,» T.C. Kalkınma Bakanlığı, TCKB, Ankara, 2014.
- [12] W. World Water Assesment Programme, «The United Nations World Water Development Report, Wastewater: The Untapped Resource,» World Water Assesment Programme, Paris, 2017.

- [13] U. United States Environmental Protection Agency, «2012 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories,» Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D.C., 2012.
- [14] D. S. İ. G. Müdürlüğü, «Toprak ve Su Kaynakları,» [Çevrimiçi]. Available: <http://dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari/>. [Erişildi: Aralık 2017].
- [15] D. S. İ. G. Müdürlüğü, «Resmi Web Sitesi,» [Çevrimiçi]. Available: <http://www.dsi.gov.tr/>. [Erişildi: Aralık 2017].
- [16] G. Akın, «Küresel Çevre Sorunları,» *C.Ü. Sos. Bilim. Derg.*, no. 31, pp. 43-54, 2007.
- [17] G. A. F. O. Harmancıoğlu N., «Entegre Su Kaynakları Yönetimi,» *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, no. 419, pp. 29-39, 2002.
- [18] C. Güney, «Entegre Su Yönetiminde Yasal-Kurumsal Yapı ve İşleyiş,» T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Uzmanlık Tezi, Ankara, 2015.
- [19] Ö. Bilen, Türkiye'nin Su Gündemi: Su Yönetimi ve AB Su Politikaları, Ankara, 2008.
- [20] G. Can, «Entegre Su Yönetiminde Yasal-Kurumsal Yapı ve İşleyiş,» T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Uzmanlık Tezi, Ankara, 2015.
- [21] W. WateReuse Research Foundation, «Application of Microbial Risk Assessment to Estimate Risk Due to Reclaimed Water Exposure,» WateReuse Research Foundation, Alexandria, VA, 2007.
- [22] L. C. E. C. A. Rodrigo D., «Total Water Management,» U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 2012.
- [23] D. o. W. A. a. F. DWAF, «Best Practice Guideline H3: Water Reuse and Reclamation,» 2006.
- [24] P. Fox, «Soil Aquifer Treatment: An Assessment of Sustainability,» %1 içinde *In Management of Aquifer Recharge for Sustainability*, A.A. Balkema Publishers, 2002.
- [25] R. M. T. Maliva, «Arid Lands Water Evaluation and Management,» %1 içinde *Managed Aquifer Recharge*, Springer, 2012, pp. 559-630.
- [26] C. G. W. Board, «Manual on Artificial Recharge of Ground Water,» Ministry of Water Sources., Faridabad, 2007.

- [27] I. Gale, «Strategies for Managed Aquifer Recharge (MAR) in Semi-arid Areas,» UNESCO, 2005.
- [28] E. de Jeude, «Managed Aquifer Recharge (MAR): Opportunities and Barriers,» MSc Thesis in Utrecht University, Utrecht, 2016.
- [29] E. Escalante, «La Gestión de la Recarga Artificial de Acuíferos en el Marco del Desarrollo Sostenible Desarrollo Tecnológico,» Madrid, 2010.
- [30] P. Dillon, «Future Management of Aquifer Recharge,» *Hydrogeology Journal*, cilt 1, no. 13, pp. 313-316, 2005.
- [31] MARSOL, «Menashe Infiltration Basin, Hadera, Israel,» 2016. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.marsol.eu/19-0-Menashe.html>.
- [32] E. G. R. F. S. M. Á. S. F. Escalante, «Economic Assessment of Opportunities for Managed Aquifer Recharge Techniques in Spain Using an Advanced Geographic Information System (GIS),» *Water*, cilt 7, no. 6, pp. 2021-2040, 2014.
- [33] IGRAC, «Artificial Recharge of Groundwater in the World,» 2007.
- [34] A. V. S. F. V. P. & T. L. Tuinhof, «Profit from Storage: The Costs and Benefits of Water Buffering,» %1 içinde *The Netherlands: 3R Water Secretariat*, Wageningen, 2012.
- [35] L. W. H. H. G. M. Wolf, «Exploring the Potential of Managed Aquifer Recharge to Mitigate Water Scarcity in the Lower Jordan River Basin within an IWRM Approach,» %1 içinde *6th International Symposium on Managed Artificial Recharge of Groundwater*, Phoenix, 2007.
- [36] d. P. J. d. K. M. Delsman J., «Application of the FWOO Method in the Vega Baja Segura Catchment: Potential for Local Solutions to Optimize Fresh Water Supply in European Regions Under Increasing Water Stress,» *Deltares*, 2015.
- [37] R. Oosterbaan, «Effectiveness and Social / Environmental Impacts of Irrigation Projects: A Critical Review,» ILRI Annual Report, 1988.
- [38] H. Bouwer, «Artificial Recharge of Groundwater: Hydrogeology and Engineering,» *Hydrogeology Journal*, cilt 1, no. 10, pp. 121-142, 2002.
- [39] R. Pyne, *Aquifer Storage Recovery: A Guide to Groundwater Recharge through Wells* 2nd edition, Gainesville, FL: ASR Systems Publishing, 2005.
- [40] C. Shrier, «Reclaimed Water ASR for Potable Re-Use: The Next Frontier,» %1 içinde *Proceedings of the Aquifer Recharge Conference*, Orlando, FL, 2010.

- [41] C. L. F. B. H. K. W. Schmidt, «Experiences with Riverbank Filtration and Infiltration in Germany,» %1 içinde *International Symposium on Artificial Recharge of Groundwater*, Daejon, 2003.
- [42] U. S. E. P. Agency, «Aquifer Recharge and Aquifer Storage and Recovery,» 2016. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.epa.gov/uic/aquifer-recharge-and-aquifer-storage-and-recovery#main content>.
- [43] I. M. D. C. R. I. Gale, «Managed Aquifer Recharge: An Assessment of Its Role and Effectiveness in Watershed Management: Augmenting Groundwater Resources by Artificial Recharge,» 2006.
- [44] M. K. T. E. D. E. Ramli, «The Stability of Gabion Walls for Earth Retaining Structures,» *Alexandria Engineering Journal*, cilt 4, no. 52, pp. 705-710, 2013.
- [45] G. Haimerl, «Groundwater Recharge in Wadi Channels Downstream of Dams :Efficiency and Management Strategies,» Technische Universität München, PhD Thesis, 2004.
- [46] E. S. J. Escalante, «Rechargeable Sustainability: The Key is the Storage,» 2012. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.dina-mar.es/pdf/DM-Rechargeable%20sustainability-en-sp.pdf>.
- [47] A. D. A. S. K. S. Apaydın, «Orta Anadolu Bölgesinde Kuraklıkla Mücadelede Alternatif Öneri: Yeraltı Barajları, Kuraklık ve Su yönetimi Toplantısı Bildiriler Kitabı,» Ankara, 2008.
- [48] R. & V. P. Lasage, «Evaluation of Small Scale Water Harvesting Techniques for Semi-arid Environments,» *Journal of Arid Environments*, no. 118, pp. 48-57, 2015.
- [49] S. & K. T. Bhalerao, «Artificial Recharge of Groundwater: A Novel Technique for Replenishment of an Aquifer with Water from Land Surface,» *International Journal of Geology Earth and Environmental Sciences*, pp. 165-183, 2013.
- [50] H. B. R. P. M. Hashemi, «Artificial Recharge by Floodwater Spreading Estimated by Water Balances and Groundwater Modelling in Arid Iran,» *Hydrological Sciences Journal – Journal des Sciences Hydrologiques*, cilt 2, no. 60, pp. 336-350, 2015.
- [51] İ. Boztaş, «Yukarı Havza Sel Kontrolü Eylem Planı ve Uygulamaları,» Rize, 2016.
- [52] N. Şahin, «Binalarda Su Korunumu,» İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2010.

- [53] Ö. İ. C. G. Tanık A., Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı ve Yağmur Suyu Hasadı Sistemleri, El Kitabı, Ankara: Türkiye Belediyeler Birliği, 2015.
- [54] «Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, SKKY,» 25687 sayılı Resmi Gazete, Ankara, 2004.
- [55] T. Ç. v. O. Bakanlığı, «Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği (AATTUT),» T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 2010.
- [56] M. A. I. E. İ. G. K. B. İ. T. P. E. Ş. Hocaoglu, «Turizmde Çevre Dostu Atıksu Yönetimi Rehberi,» T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Kocaeli, 2014.
- [57] O. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, «Sulama Sularının Kalitesi Ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkında Yönetmelik Taslağı,» Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Ankara, 2017.
- [58] H. Duman, «Arıtılmış Kentsel Atıksuların Sulamada Yeniden Kullanımı: Kayseri Atıksu Arıtma Tesisi Örneği,» T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Uzmanlık Tezi, Ankara, 2017.
- [59] M. Ö. B. B. M. A. Ö. S. İ. Çakmakçı, «Atıksu Arıtımı Eylem Planı (2014-2023),» T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara, 2014.
- [60] H. Kurtkulak, «Kentsel Atıksuların Geri Kazanımı ve Yeşil Alanların Sulanmasında Yeniden Kullanımı: Konya Kenti Örneği,» Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 2014.
- [61] Ö. Y. M. S. Ü. A. C. Demir, «Atıksuların Geri Kazanılması ve Yeniden Kullanılması,» *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, no. 2, pp. 1-14, 2017.
- [62] Ç. v. P. G. M. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, «Türkiye Çevre Durum Raporu, TÇDR,» T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü, Ankara, 2007.
- [63] Hitachi, «Resmi Web Sitesi,» [Çevrimiçi]. Available: <http://www.hitachi.eu/tr-tr>. [Erişildi: Mayıs 2018].
- [64] M. A. A. S. Ltd., «Resmi Web Sitesi,» [Çevrimiçi]. Available: <http://www.mbraritma.com.tr/>. [Erişildi: Mayıs 2018].
- [65] D. Açıktepe, «Atıksuların Geri Kazanımı,» Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bitirme Tezi, Samsun, 2016.

- [66] M. M. S. v. K. İdaresi, «MUSKİ», [Çevrimiçi]. Available: <https://www.muski.gov.tr/aritmaveicmesuyutesislerimiz.aspx>.
- [67] S. Eslamian, Urban Water Reuse Handbook, Florida: CRC Press, Taylor&Francis Group, 2016.
- [68] W. World Health Organization, «Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture,» WHO Scientific Group, Geneva, 1989.
- [69] F. Food and Agriculture Organization, «Irrigation and Drainage Paper,» Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1985.
- [70] H. Salas, «History and Application of Microbiological Water Quality Standards in the Marine Environment,» World Health Organization, WHO, 2000.
- [71] T. C. E. & Architects, «Service Contract for the Support to the Follow-up of the Communication on Water Scarcity and Droughts: Updated report on wastewater reuse in the European Union,» Typsa Consulting Engineers & Architects, 2013.
- [72] A. Krisher, «Chemical Engineering,» *Chemical Engineering*, no. 85, pp. 78-98, 1978.
- [73] E. Environment Protection Policy, «Act Wastewater Reuse of Irrigation,» Canberra, 1999.
- [74] B. Hart, «A compilation of Australian Water Quality Criteria, Technical Paper No. 7,» Australian Water Resources Council, Dept. of Environment and Conservation, Australian Government Public Service, Canberra, 1974.
- [75] F. Brissauf, «Wastewater Reclamation and Reuse in France,» %1 içinde *3rd International Symposium on Wastewater Reclamation, Recycling and Reuse*, Paris, 2000.
- [76] CSHPF, «Inter-ministry Water Mission and the National Council for Public Health, Recommandations Sanitaires Concernant l'utilisation, Après Épuration, des Eaux Résiduelles Urbaines Pour l'irrigation des Cultures et des Espaces Verts,» French Ministry of Health, Paris, 1991.
- [77] A. F. d. S. S. d. A. Ç. (F. F. S. A. AFSSA, «Réutilisation des eaux usées traitées pour l'arrosage ou l'irrigation. (Effluent reuse for irrigation.),» 2008.
- [78] C. Canadian Council of Ministers of the Environment, «Canadian Water Quality Guidelines,» Canadian Council of Ministers of the Environment, CCME, 1999.

- [79] C. Canadian Council of Ministers of the Environment, «Canadian Water Quality Guidelines,» Canadian Council of Ministers of the Environment, CCME, 2008.
- [80] O. Ontario Ministry of Environment, «Guidelines and Criteria for Water Quality Management in Ontario,» Ontario Ministry of Environment, OME, Water Resources Branch, Ontario, 1974.
- [81] D. S. İ. G. Müdürlüğü, «KKTC'ye Su Temin Projesi,» [Çevrimiçi]. Available: <http://www.dsi.gov.tr/projeler/kktc-su-temin-projesi>. [Erişildi: Aralık 2017].
- [82] M. M. Abdel-Shafy H.I., «Sustainable Sanitation Practice,» *Journal of Sustainable Sanitation Practice*, no. 14, pp. 17-25, 2013.
- [83] C. L. A. V.-M. I. S. E. M. C. N. O. Becerra-Castro, «Wastewater Reuse in Irrigation, A Microbiological Perspective on Implications in Soil Fertility and Human Environmental Health,» *Environment International*, no. 75, pp. 117-135, 2015.
- [84] S. Water, «Wollongong Water Recycling Plant».
- [85] Sydneywater, «Resmi Web Sitesi,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.sydneywater.com.au/>. [Erişildi: Mayıs 2018].
- [86] B. H. Maryam B., «Wastewater reclamation and reuse trends in Turkey: Opportunities and challenges,» *J. Water Process Eng.*, cilt 1, 2017.
- [87] A. D. B. Angelakis, «Water recycling and reuse in EUREAU countries: Trends and challenges,» *Desalination*, no. 218, pp. 3-12, 2008.
- [88] M. C. A. Commissioner. [Çevrimiçi]. Available: <https://montereycounty.wixsite.com/waterconservation>.
- [89] J. Anderson, «The environmental benefits of water recycling and reuse,» *Water Science and Technology: Water Supply*, cilt 3, no. 4, pp. 1-10, 2003.
- [90] Acciona. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.acciona-agua.com/pressroom/in-depth/2018/july/atotonilco-wwtp-m%C3%A9xico-the-world-s-largest-wastewater-treatment-plant-celebrates-its-first-year-in-operation/>.
- [91] Accinoa. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.slideshare.net/acciona/innovaciones-medioambientales-de-la-edar-de-atotonilco>.

- [92] A. O. S. J. C. H. Icekson-Tal N., «Water reuse in Israel-the Dan Region Project: evaluation of water quality and reliability of plant's operation,» *Water Science and Technology: Water Supply*, cilt 4, no. 3, pp. 231-237, 2003.
- [93] T. Group, «Wastewater Collection, Treatment and Reuse System,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.tahal.com/project/wastewater-collection-treatment-and-reuse-system-shafdan-dan-region/>.
- [94] V. Virginia Cooperative Extension, «Water Reuse: Using Reclaimed Water for Irrigation,» Virginia Tech & Virginia State University, College of Agriculture and Life Sciences, 2008.
- [95] W. C. II, «Resmi Web Sitesi,» [Çevrimiçi]. Available: <http://www.waterconservii.com/reclaimed-water-process/>. [Erişildi: Mayıs 2018].
- [96] T. Municipal. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.themunicipal.com/2013/07/water-reuse-success/>.
- [97] USGS, «United States Geological Survey,» [Çevrimiçi]. Available: <https://pubs.usgs.gov/circ/circ1186/html/boxg.html>.
- [98] D. Hamlyn-Harris, «Integrated Urban Water Management and Water Recycling in SE Queensland,» %1 içinde *Institute of Public Works Engineering, Queensland Division Inc., State Conference*, 2003.
- [99] A. A. o. T. S. a. E. ATSE, «Drinking Water through Recycling,» Australian Academy of Technological Sciences and Engineering (ATSE), Melbourne, Victoria, 2013.
- [100] A. A. o. T. S. a. E. ATSE, «Water Recycling in Australia,» ATSE, Australian Academy of Technological Sciences and Engineering, Parkville, Victoria, 2004.
- [101] Q. R. W. D. Middel A., «Water reuse in central Arizona,» Arizona State University, Arizona, 2013.
- [102] «Tres Rios Wetlands Official Web Page,» [Çevrimiçi]. Available: <http://www.aeromoe.com/Tresrios.html>. [Erişildi: Mayıs 2018].
- [103] U. o. Arizona, «College of Agriculture and Life Sciences,» [Çevrimiçi]. Available: cals.arizona.edu.
- [104] Aeromoe. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.aeromoe.com/Tresrios.html>.
- [105] S. W. R. Station. [Çevrimiçi]. Available: sewaneewetlands.org.

- [106] Azcentral. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.azcentral.com/story/travel/local/hiking/2014/03/26/hike-week-sedona-wetlands-preserve/6914695/>.
- [107] S. Lazorchak, «National Screening Survey of EDCs in Municipal Wastewater Treatment Effluents,» Environmental Protection Agency, EPA, Washington, D.C., 2004.
- [108] L. V. A. D. C. N. D. W. J. Barber, «Fish endocrine disruption Responses to a Major Wastewater Treatment Facility Upgrade,» *Environmental Science & Technology*, cilt 4, no. 46, pp. 2121-2131, 2012.
- [109] K. M. E. Cupps, «Case Studies in Reclaimed Water Use: Creating New Water Supplies across Washington State,» Washington State Department of Ecology, WA, 2005.
- [110] H. Herrera Environmental Consultants, «Storm And Surface Water Master Plan,» Herrera Environmental Consultants, Inc., Seattle, 2016.
- [111] N. H. G. W. Chen Z., Urban Water Reuse Handbook: Water Reuse Environmental Benefits, Taylor & Francis Group, LLC CRC Press, 2016.
- [112] S. D. Hempleman C., «Water Cleanup Plan for Bacteria in the Lower Dungeness Watershed: Total Maximum Daily Load (TMDL) Submittal Report,» Department of Ecology Southwest Regional Office, 2002.
- [113] CELP. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.celp.org/programs/dungeness-river/>.
- [114] C. o. Sequim. [Çevrimiçi]. Available: sequimwa.gov.
- [115] F. N. O. S. S. K. Kitamura K., Milestones in water reuse the best success stories restoration of environmental stream flows in megacities: the examples in the Tokyo metropolitan area, IWA Publishing, 2013.
- [116] J. Visitor. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.japanvisitor.com/japan-city-guides/tamagawa-josui>.
- [117] WordPress. [Çevrimiçi]. Available: <https://tokyobicycling.wordpress.com/2012/12/17/nobidome-and-tamagawa-waterways-and-nogawa-river/>.
- [118] W. Roque. [Çevrimiçi]. Available: <https://wilsonroque.blogspot.com/2017/01/dallas-anuncia-parque-com-11-vezes-o.html>.

- [119] F. Kılıçcıoğlu, «Su Soğutmalı Santrallerde Korozyon ve Birikinti Oluşumunun Engellenmesi İçin Uygulanan Kimyasal Koşullandırma Programlar,» %1 içinde *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Jeotermal Enerji Seminer Kitabı*, 2009.
- [120] E. Burkut, «Buhar Sistemi Ekonomisinde Kazan Besi Suyu İletkenliğinin Önemi,» *Su ve Çevre Teknolojileri*, no. 2, pp. 30-32, 2010.
- [121] K. W. Journal. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.waterjournal.co.kr/news/articlePrint.html?idxno=6952>.
- [122] I. International Water Association, *Milestones in Water Reuse: The Best Success Stories*, IWA Publishing, 2013.
- [123] A. Dost, «Endüstriyel Tesislerde Soğutma Suyu Şartlandırması,» %1 içinde *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 2009.
- [124] Ö. M. A. H. Kincay O., «Buhar Kazan ve Tesisatlarında Korozyon Koruma Programı,» 2011.
- [125] H. Bulut, *Buhar Kazanları Ders Notları*, Şanhurfa: Harran Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 2011.
- [126] L. B. K. Hopkins, «Operating a water reclamation plant to convert sewage effluent to high quality water for industrial use,» %1 içinde *3rd World Water Congress of the IWA*, Melbourne, 2002.
- [127] N. Büyükkamacı, «Su Yönetiminin Etkin Bileşeni: Yeniden Kullanım,» %1 içinde *İzmir Kent Sorunları Sempozyumu*, İzmir, 2009.
- [128] R. Akay, «Kağıt Fabrikası Atıksuyunun Geri Kullanımı,» Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2010.
- [129] E. I. European Commission Integrated Pollution Prevention and Control, «Endüstriyel Soğutma Sistemleri Alanında Mevcut En İyi Tekniklerin Uygulanmasına İlişkin Kaynak Belge,» European Commission Integrated Pollution Prevention and Control, 2001.
- [130] E. Öztürk, «Tekstil Sektöründe Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü ve Temiz Üretim Uygulamaları,» Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta, 2014.
- [131] E. I. European Commission Integrated Pollution Prevention and Control, «Reference Document based on Best Available Technologies for the Textile Industry (BREF),» European Commission IPPC Bureas, Seville, 2003.

- [132] G. H. A. S. P. S. J. L. J. F. K. Daigger, «Full-scale experience with the membrane bioreactorreverse osmosis water reclamation process».
- [133] E. I. European Comission Integrated Pollution Prevention and Control, «Integrated Pollution Prevention and Control: Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries.» European Comission Fodd and Drink Manufacturing, FDM, 2003.
- [134] M. Kuhn, «Wirtschaftlich PET Flaschen reinigen, Getränke!», *Technologie und Marketing*, pp. 14-16, 2004.
- [135] Krones, «Krones PET-Asept L Process, Krones Technical Information,» 2010.
- [136] M. U. Kraft A., «Das WABAG Submerged Membrane System für Prozesswasserreinigung und -recycling am Beispiel der Mälzereiprozesswasser-Aufbereitung,» %1 içinde *Colloquium produktionsintegrierter Umweltschutz-Abwasserreinigung*, Bremen, 1997.
- [137] P. D. Jung H., «Water in the Pulp and Paper Industry,» *Water Science*, cilt 4, pp. 667-684, 2011.
- [138] H. U. K. J. Diedrich K., «Biologische Kreislaufwasserbehandlung in einer Papierfabrik mit geschlossenem,» *Das Papier*, 1997.
- [139] D. D. V. f. Wasserwirtschaft, «Merkblatt DWA-M 731 Abwasser und Abfälle aus der Papierherstellung,» DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Hennef, 2011.
- [140] T. Presas, «Water-let's lead this issue,» IPW, 2011.
- [141] C. Müller, «Energie aus Industrieabwasser, wwt wasserwirtschaft wassertechnik,» pp. 32-34, 2010.
- [142] M. E. C. I. J. T. G. J. F. Ortuño J., «Seawater intrusion barrier in the deltaic Llobregat aquifer (Barcelona, Spain): performance and pilot phase results,» %1 içinde *21st Salt Water Intrusion Meeting.*, 2010.
- [143] E. V. J. Van Houtte, «Long-time membrane experience at Torreele's water re-use facility in Belgium,» *Desalination and Water Treatment*, no. 51, pp. 4253-4262, 2013.
- [144] U. United States Environmenal Protection Agency, «Guidelines for Water Reuse,» United States Environmenal Protection Agency, USEPA, Washington, D.C., 1992.

- [145] U. United Nations Department of Economic and Social Affairs, «World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights,» United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division, New York, 2014.
- [146] W. World Health Organization, «Potable Reuse: Guidance for Producing Safe Drinking Water,» World Health Organization, Geneva, 2017.
- [147] I. Intergovernmental Panel on Climate Change, «5th assessment report,» %1 içinde *Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge & New York, 2014.
- [148] S. a. C. O. U. United Nations Educational, «The United Nations World Water Development Report,» United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, 2017.
- [149] P. Du Pisani, «Direct reclamation of potable water at Windhoek's Goreangab reclamation plant,» *Desalination*, no. 188, pp. 79-88, 2006.
- [150] A. American Water Works Association, «Potable Reuse 101: An innovative and sustainable water supply solution,» American Water Works Association, 2016.
- [151] T. G. A. T. Leverenz H.L., «Direct Potable Reuse: A Future Imperative,» *Journal of Water Reuse and Desalination*, no. 1, pp. 2-10, 2011.
- [152] C. J. C. J. M. E. O. A. S. A. T. R. Tchobanoglous G., «Framework for direct potable reuse,» WaterReuse Research Foundation, Alexandria, VA, 2015.
- [153] T. Texas Water Development Board, «Final report: Direct potable reuse resource document,» Texas Water Development Board, Austin, TX, 2015.
- [154] N. National Water Research Institute, «Final report of an NWRI independent advisory panel: Recommended DPR general guidelines and operational requirements for New Mexico,» National Water Research Institute, 2016.
- [155] C. J. A. M. B. R. D. J. H. C. J. W. M. P. N. K. R. J. S. D. W. T. Olivieri A.W., «Expert panel final report: Evaluation of the feasibility of developing uniform water recycling criteria for direct potable reuse,» National Water Research Institute, NWRI, 2016.
- [156] J. Burgess, «Water reuse in South Africa,» *Water*, cilt 5, no. 42, pp. 42-44, 2015.
- [157] R. Dahl, «Advanced Thinking: Potable Reuse Strategies Gain Traction,» *Environmental Health Perspectives*, cilt 12, no. 122, pp. 332-335, 2014.

- [158] J. H. N. Drewes, «Recent developments in potable reuse,» %1 içinde *The Handbook of Environmental Chemistry*, Zurich, Springer International Publishing, 2015, pp. 269-290.
- [159] U. United Nations Environment Programme, «Water And Wastewater Reuse: An Environmentally Sound Approach for Sustainable Urban Water Management,» Division of Technology, Industry and Economics-International Environmental Technology Centre, Paris, 2005.
- [160] W. Water Research Commission, «Wastewater reclamation for potable reuse volume 2: integration of MBR technology with advanced treatment processes,» Water Research Commission, 2014.
- [161] U. United States Environmental Protection Agency, «2017 Potable Reuse Compendium,» United States Environmental Protection Agency, Washington D.C., 2017.
- [162] W. WaterReuse Research Foundation, «Framework for Direct Potable Reuse,» WaterReuse Research Foundation, 2015.
- [163] E. Mancha, «Texas Water Reuse: National Science Foundation and Energy Positive Water Resource Recovery Workshop,» Texas, 2015.
- [164] K. S., «Drinking Water Through Recycling: The Benefits and Costs of Supplying Direct to the Distribution System,» Australian Academy of Technological Sciences and Engineering, funded by the Australian Water Recycling Centre of Excell, 2013.
- [165] A. American Water Works Association. [Çevrimiçi]. Available: awwa.org.
- [166] B. F. L. H. T. R. T. G. Asano T., Water reuse: Issues, technologies, and applications, New York: McGraw-Hill, 2007.
- [167] W. P. Rice J., «Spatial and temporal variation in de facto wastewater reuse in drinking-water systems across the USA,» *Environmental Science & Technology*, no. 49, p. 982-989, 2015.
- [168] W. WaterReuse Research Foundation, «Irrigation of Parks, Playgrounds, and Schoolyards with Reclaimed Water: Extent and Safety,» WaterReuse Foundation, Alexandria, VA, 2005.
- [169] R. Y. D. P. M. C. D. Chalmers, «Indirect Potable Reuse versus Potable Reuse - What's the Difference,» %1 içinde *WaterReuse Symposium*, Phoenix, AZ, 2011.

- [170] W. WateReuse Research Foundation, «Pathogen Removal and Inactivation in Reclamation Plants - Study Design,» WateReuse Research Foundation, Alexandria, VA, 2007.
- [171] W. WateReuse Research Foundation, «Review of Nanomaterial Research and Relevance for Water Reuse,» WateReuse Research Foundation, Alexandria, VA, 2012.
- [172] U. United States Environmental Protection Agency, «Draft Recreational Water Quality Criteria,» Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D.C., 2011.
- [173] W. WateReuse Research Foundation, «Tools to Assess and Understand the Relative Risks of Indirect Potable Reuse Water: Development and Application,» WateReuse Research Foundation, Alexandria, VA, 2010.
- [174] N. National Academy of Science, «Risk Assessment in Federal Government: Managing the Process,» National Academy Press, Washington, D.C., 1983.
- [175] A. N. Medema G., «QMRA: It's Value for Risk Management,» 2006.
- [176] T. Başkan, «Aritılmış Eysel Atıksuların Tarımda Sulama Amaçlı Yeniden Kullanılması,» İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2006.
- [177] D. M. Savage N., «Nanomaterials and Water Purification: Opportunities and Challenges,» *Journal of Nanoparticle Research*, cilt 7, no. 331, 2005.
- [178] N. National Science and Technology Council, «National Nanotechnology Initiative, Strategic Plan,» National Science and Technology Council, Committee on Technology (CoT), Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering, and Technology (NSET), Washington, D.C., 2011.
- [179] W. Water Environment Federation, «Effects of Nanoparticles on the Wastewater Treatment Industry,» Water Environment Federation, Arlington, VA, 2008.
- [180] U. United Nations Environment Programme, «Global Environmental Outlook (GEO) Year Book 2007: An Overview of our Changing Environment,» United Nations Environment Programme, Paris, 2007.
- [181] W. WateReuse Research Foundation, «Identifying Health Effects Concerns of the Water Reuse Industry and Prioritizing Research Needs for Nomination of Chemicals for Research,» WateReuse Research Foundation, Alexandria, VA, 2012.

- [182] W. World Health Organization, «Pharmaceuticals in Drinking Water,» World Health Organization, Geneva, 2011.
- [183] R. C. J. W. M. C. J. Bull, «Therapeutic Dose as The Point of Departure in Assessing Potential Health Hazards From Drugs in Recycled Municipal Wastewater,» *Regulatory Toxic and Pharmacology*, cilt 1, no. 60, 2011.
- [184] J. Cotruvo, «A Suggested Comprehensive Regulatory Strategy for Implementing the Safe Drinking Water Act,» %1 içinde *AWWA Annual Conference*, Washington D.C., 2011.
- [185] J. Cotruvo, «The Safe Drinking Water Act: Current and Future,» *Journal of the AWWA*, cilt 1, no. 104, 2012.
- [186] D. J. E. P. G. D. Knapp C.W., «Evidence of Increasing Antibiotic Resistance Gene Abundances in Archived Soils Since 1940,» *Environmental Science & Technology*, cilt 44, no. 580, 2010.
- [187] C. S. A. W. J. F. M. C. K. Wu, «Uptake of Pharmaceutical and Personal Care Products by Soybean Plants from Soils Applied with Biosolids and Irrigated with Contaminated Water,» *Environmental Science & Technology*, cilt 16, no. 44, 2010.
- [188] U. U.S. Bureau of Reclamation, «Southern California Water Recycling Projects,» U.S. Bureau of Reclamation, USBR, 2003.
- [189] U. United States Environmental Protection Agency, «Use of Microbial Risk Assessment in Setting U.S. Drinking Water Standards,» Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D.C., 1992.
- [190] A. T. Jiménez B., «Water reclamation and reuse around the world,» %1 içinde *Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs*, Londra, IWA Publishing, 2008, pp. 3-16.
- [191] K. J. N. B. Po M., «Literature review of factors influencing public perceptions of water reuse,» %1 içinde *Australian Water Conservation and Reuse Research Program*, 2004.
- [192] P. O. D. Brotherton, «Sustainable Development: The Public Consultation Imperative,» %1 içinde *International Hydrology and Water Resources Symposium*, Vienna, 1991.
- [193] S. J. Macpherson L., «Communicating Rightly in a Left-Brained Industry - Promoting Public Understanding about Water Use and Reuse Workshop,» %1 içinde *Hatfield School of Government Portland State University*, Portland, 2004.

- [194] K. T., «Su Kaynakları Yönetimi,» Afyonkarahisar, 2017.
- [195] C. Bohner, «Membrane technology for recycling and recovery of resources in industrial water and wastewater applications-from lab testings to production experiences,» %1 içinde *10th World Filtration Congress*, Leipzig, 2008.
- [196] W. Bruvold, «Public opinion on water reuse options,» *Journal of Water Pollution Control Federation*, cilt 1, no. 60, pp. 45-49, 1988.
- [197] J. P. R. L. T. D. S. C. G. Bryk, «National Database of Water Reuse Facilities: Summary Report,» WateReuse Foundation, Alexandria, VA, 2011.
- [198] K. P. V. C. S. D. F. J. R. F. G.-C. M. M. N. C. S. Y. M. T. A. G.-C. R. S. C. C. A. C.-V. G. S. C. R. N. K. M. Cantor, «Polymorphisms in GSTT1, GSTZ1, and CYP2E1, Disinfection By-products, and Risk of Bladder Cancer in Spain,» *Environmental Health Respective*, cilt 11, no. 118, 2010.
- [199] T. Cazurra, «Water reuse of South Barcelona's wastewater reclamation plant,» *Desalination*, no. 218, pp. 43-51, 2008.
- [200] J. Cortuvo, «Direct Potable Reuse: Then and Now. World Water: Water Reuse,» *Desalination*, no. 5, pp. 10-13, 2014.
- [201] Ü. Çiçek, «Konya Kanalizasyon Sistemine Kaçak Deşarjların Biyofilm Toplayıcı Ahtapot Kullanılarak İzlenmesi,» Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 2016.
- [202] J. O. M. D. L. T. J. Dobrowolski, «Opportunities and Challanges in Agricultural Water Reuse: Final Report,» %1 içinde *USDA-CSREES*, 2008.
- [203] J. O. M. D. L. Dobrowolski, «Agricultural Water Security Listening Session: Final Report,» %1 içinde *USDA Research, Education, and Economics*, 2004.
- [204] K. Freeman, «Disinfection By-products and Bladder Cancer: Common Genetic Variants May Confer Increased Risk,» *Environmental Health Perspectives*, cilt 11, no. 118, 2010.
- [205] L. D. F. B. M. B. M. P. Greenlee L.F., «Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges,» *Water Research*, cilt 9, no. 43, pp. 2317-2348, 2009.
- [206] J. B. Jeffrey P., «Public receptivity regarding 'in-house' water recycling: Results from a UK survey,» %1 içinde *Enviro 2002 Convention and Exhibition*, Melbourne, 2002.

- [207] G. A. S. D. Mitch W.A., «A N-Nitrosodimethylamine (NDMA) Precursor Analysis for Chlorination of Water and Wastewater,» *Water Research*, cilt 37, no. 3733, 2003.
- [208] N. National Water Research Institute, «Guidance Framework for Direct Potable Reuse in Arizona,» National Water Research Institute, NWRI, 2018.
- [209] R. E., «House Rules: Environmental Ethics for a Sustainable World,» %1 içinde *Australian Water Association OzWater 2005 Annual Conference*, Brisbane, 2005.
- [210] S. B., «White Paper on Graywater,» WateReuse Association, Alexandria, VA, 2010.
- [211] L. H. N. M. C. J. Tchobanoglous G., «Direct Potable Reuse: A Path Forward,» WateReuse Research and WateReuse California, Washington, D.C., 2011.
- [212] U. S. E. P. Agency, «Guidelines for Water Reuse,» United States Environmental Protection Agency, U.S. Agency for International Development, Washington, D.C., 2004.
- [213] W. WateReuse Association, «Framework for Direct Potable Reuse,» WateReuse Research Foundation, 2015.
- [214] W. WateReuse Research Foundation, «Irrigation of Parks, Playgrounds, and Schoolyards with Reclaimed Water: Extent and Safety,» WateReuse Foundation, Alexandria, VA., 2005.
- [215] «Tarımsal Sulama ve Enerji Verimliliği Sistemleri,» Mayıs 2018. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.hbsulamaenerji.com/>.
- [216] S. Khan, «Drinking Water Through Recycling: The Benefits and Costs of Supplying Direct to the Distribution System,» 2013.
- [217] I. M. D. C. R. I. Gale, «Managed Aquifer Recharge: An Assessment of Its Role and Effectiveness in Watershed Management,» 2006.
- [218] W. C. II, «Water Reclamation Process,» [Çevrimiçi]. Available: <http://www.waterconservii.com/reclaimed-water-process/>.



T.C.
Tarım ve Orman Bakanlığı
Su Yönetimi Genel Müdürlüğü
Beştepe Mahallesi Alparslan Türkeş Caddesi No:71
Yenimahalle / ANKARA, PK: 06560

Tel: [0312] 207 63 30