

ISSN: 1012 - 0726 (Baskı)
ISSN: 1308 - 2477 (Online)



SAYI: 110

DEVLET SU İŞLERİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

DSİ TEKNİK BÜLTENİ

DSİ TEKNİK BÜLTENİ

Sahibi

DEVLET SU İŞLERİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Adına
Akif ÖZKALDI

Sorumlu Müdür

M. Fatih KOCABEYLER

Yayın ve Hakem Kurulu

Ali KILIÇ
Tuncer DİNÇERKÖK
Kemal ŞAHİN
Yakup DARAMA

Haberleşme adresi

DSİ Teknik Araştırma ve
Kalite Kontrol (TAKK)
Dairesi Başkanlığı 06100
Yüce-tepe - Ankara

Tel (312) 399 2793
Faks (312) 399 2795
bulten@dsi.gov.tr

Basıldığı yer

İdari ve Mali İşler Dairesi
Başkanlığı
Basım ve Foto-Film Şube
Müdürlüğü
Etilik - Ankara

SAYI : 110
YIL : OCAK 2011

Yayın Türü

Yaygın süreli yayın
Üç ayda bir yayınlanır

ISSN

1012 - 0726 (Baskı)
1308 - 2477 (Online)

İÇİNDEKİLER

HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN ÖNEMİ VE GEREKLİLİĞİ Atıl BULU	1
ERZURUM KENTİ KATI ATIK DEPOLAMA SAHASININ İNCELENMESİ VE SIZINTI SUYUNUN MEVSİMSEL KARAKTERİZASYONU İshak ÇEVİRİM, Şahset İRDEMEZ	5
PORSUK ÇAYI HAVZASININ DPSİR YAKLAŞIMIYLA İRDELENMESİ Hasan Cenk ÇETİN, Nilgün HARMANCIOĞLU, Sevinç ÖZKUL	15

DSİ TEKNİK BÜLTENİ'NİN AMACI

DSİ Teknik Bülteni'nde, su ile ilgili konularda, temel ve uygulamalı mühendislik alanlarında gönderilen bildirimler yayınlanır. Bildirimler, ilk önce konunun uzmanı tarafından incelenir ve değerlendirilir. Daha sonra, Hakem Kurulu uzman görüşünü de esas alarak bildirim yayınlanıp yayınlanmamasına karar verir. Bildirimlerin tamamı veya büyük bir kısmı diğer yayın organlarında yayınlanmamış olması gereklidir.

DSİ TEKNİK BÜLTENİ BİLDİRİ YAZIM KURALLARI

1. Gönderilen yazılar kolay anlaşılır dilde ve Türkçe kurallarına uygun şekilde yazılmış olmalıdır.
2. Yazıların teknik sorumluluğu yazarına aittir (yazılardaki verilerin kullanılması sonucu oluşabilecek maddi ve manevi problemlerde muhatap yazardır).
3. Yayın Kurulu, bildirimler üzerinde gerekli gördüğü düzeltme ve kısaltmaları yapar.
4. Bildirimler bilgisayarda Microsoft Word olarak bir satır aralıkla yazılmalı ve Arial 10 fontu kullanılmalıdır. Bildirimler A4 normundaki kâğıdın her kenarından 25 mm boşluk bırakılarak yazılmalıdır.
5. Sadece ilk sayfada, yazı alanı başlangıcından sola dayalı olarak, italic 10 fontunda Arial kullanılarak ilk satıra "*DSİ Teknik Bülteni*" yazılmalıdır.
6. Konu başlığı: Yazı alanı ortalanarak, "*DSİ Teknik Bülteni*" yazısından sonra dört satır boş bırakıldıktan sonra Arial 12 fontu kullanılarak büyük harflerle koyu yazılmalıdır.
7. Yazar ile ilgili bilgiler: Adı (küçük harf), soyadı (büyük harf), yazarın unvanı ile bağlı olduğu kuruluş (alt satıra) ve elektronik posta adresi (alt satıra) başlıktan iki boş satır sonra ilk yazardan başlamak üzere Arial 10 fontu ile yazı alanı ortalanarak yazılmalıdır. Diğer yazarlar da ilk yazar gibi bilgileri bir boşluk bırakıldıktan sonra yazılmalıdır.
8. Türkçe özet, elektronik posta adresinden dört boş satır sonra, özetten bir boş satır sonra ise anahtar kelimeler verilmelidir. Aynı şekilde, Türkçe anahtar kelimelerden iki boş satır sonra İngilizce özet, bir boş satır sonra ise İngilizce anahtar kelimeler verilmelidir.
9. Bölüm başlıkları yazı alanı sol kenarına dayandırılarak Arial 10 fontu kullanılarak koyu ve büyük harfle yazılmalı. Bölüm başlığının üzerinde bir boş satır bulunmalıdır.
10. Ara başlıklar satır başında başlamalı, üstlerinde bir boş satır bulunmalıdır. Birinci derecedeki ara başlıktaki bütün kelimelerin sadece ilk harfi büyük olmalı ve koyu harflerle Arial 10 fontunda yazılmalıdır. İkinci ve daha alt başlıklar normal harflerle Arial 10 fontu ile koyu yazılmalıdır.
11. Yazılar kâğıda iki sütün olarak yazılmalı ve sütün aralarındaki boşluk 10 mm olmalıdır.
12. Paragraf sola dayalı olarak başlamalı ve paragraflar arasında bir boş satır bırakılmalıdır.
13. Eşitlikler bilgisayarda yazılmalı ve numaralandırılmalıdır. Eşitlik numaraları sayfanın sağına oturmali ve parantez içinde yazılmalıdır. Her eşitlik alttaki ve üstteki yazılardan bir boş satır ile ayrılmalıdır. Eşitliklerde kullanılan bütün semboller eşitlikten hemen sonraki metinde tanımlanmalıdır.
14. Sayısal örnekler verildiği durumlarda SI veya Metrik sistem kullanılmalıdır. Rakamların ondalık kısımları virgöl ile ayrılmalıdır.
15. Yararlanılan kaynaklar metinde kaynağın kullanıldığı yerde köşeli parantez içerisinde numaralı veya [Yazarın soyadı, basım yılı] olarak belirtilmelidir. Örneğin: "..... basamaklı dolusavaklar için geometri ve eşitlikler [1]" veya "..... basamaklı dolusavaklar için geometri ve eşitlikler [Aktan, 1999]" gibi.
16. Kaynaklar yazar soyadlarına göre sıralanmalı, listelenirken yazar (veya yazarların) soyadı, adının baş harfi, yayın yılı, kaynağın ismi, yayınlandığı yer ve yararlanılan sayfa numaraları belirtilerek, köşeli parantez içerisinde numaralandırılmalı ve yazarken soldan itibaren 0,75 cm asılı paragraf şeklinde yazılmalıdır. Makale başlıkları çift tırnak içine alınmalı, kitap isimlerinin altı çizilmelidir. Bütün kaynaklara metin içinde atıf yapılmalıdır.
17. Çizelgeler, şekiller, grafikler ve resimler yazı içerisine en uygun yere gelecek şekilde yerleştirilmelidir. Fotoğraflar net çekilmiş olmalıdır. Şekil ve grafikler üzerine el yazısı ile ekleme yapılmamalıdır.
18. Bildirinin tamamı 20 sayfayı geçmemeli, şekil, çizelge, grafik ve fotoğraflar yazının 1/3'ünden az olmalıdır.
19. Sayfa numarası, sayfaların karışmaması için sayfa arkalarına kurşun kalem ile hafifçe verilmelidir.
20. Yazım kurallarına uygun olarak basılmış bildirim tam metni hem A4 kâğıda baskı şeklinde (2 adet) hem de dijital ortamda (CD veya DVD) yazışma adresine gönderilmelidir.
21. Yayınlanan bütün yazılar için "Kamu Kurum ve kuruluşlarınca ödenecek telif ve işleme ücretleri hakkındaki yönetmelik" hükümleri uygulanır.
22. Bildiriyi gönderen yazarlar yukarıda belirtilenleri kabul etmiş sayılırlar.
23. Yazışma adresi aşağıda verilmiştir:

DSİ TEKNİK BÜLTENİ

DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol (TAKK) Dairesi Başkanlığı

06100 Yüce-tepe ANKARA

Tel (312) 399 2793

Faks (312) 399 2795

E-posta bulten@dsi.gov.tr

Web http://www.dsi.gov.tr/kutuphane/dsi_teknik_bulten.htm

HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN ÖNEMİ VE GEREKLİLİĞİ

Atıl BULU

Prof. Dr., Okan Üniversitesi, Akfırat Yerleşkesi, Tuzla İSTANBUL

(Makalenin geliş tarihi: 09.11.2010, Makalenin kabul tarihi: 14.04.2011)

ÖZET

Elektrik enerjisi tüketimi ülkenin kalkınmışlığının bir göstergesidir. DSİ verilerine göre 2008 yılında kişi başına yıllık elektrik tüketimimiz 3000 kWh iken, dünya ortalaması 2500 kWh, gelişmiş ülkelerde 9000 kWh dir. 2008 verileriyle, enerji üretimimizin % 17 si yenilenebilir kaynak hidrolik kaynaklardan, % 81 i fosil yakıtları olarak adlandırılan termik (doğalgaz, linyit, kömür, petrol) kaynaklardan üretilmektedir. Rüzgar ve jeotermal kaynaklardan enerji üretimi, toplam enerji üretimimizin % 2 sidir. HES'ler risk taşımayan, hava kirliliği oluşturmayan, iklim değişikliğine neden olmayan ve doğal çevreyi bozmayan güç üreticileridir. Aynı zamanda, çevreyle uyumlu, temiz, yenilenebilir, yakıt gideri olmayan, uzun ömürlü (200 yıl), yatırımı geri ödeme süresi kısa (5-10 yıl), işletme gideri az (0.2 cent/kWh), dışa bağımlı olmayan elektrik üreticileridir. Ülkemizin DSİ verilerine göre 2020 yılında 550 milyar kWh (%22 si hidroelektrik) enerjiye ihtiyaç duyacağı hesaplanmaktadır. Teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilen 140 milyar kWh hidroelektrik potansiyeli vardır. 2023 yılına kadar bu kapasitenin kullanımı için 1738 adet HES projesinin devreye sokulması planlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hidroelektrik santral (HES), termik santral, hidroelektrik potansiyel

THE IMPORTANCE AND NECESSITY OF HYDROELECTRIC POWER PLANTS

ABSTRACT

The level of energy consumption indicates the level of industrialization and prosperity of a country. Annual energy consumption per capita in Turkey is 3000 kWh (kilowatt hours), which is still below the world average of 2,500 kWh. The average energy consumption for the developed countries is 9000 kWh. With 2008 DSİ data, electrical energy production is 17 % from renewable hydraulic source, 81 % from fossil thermal sources (natural gas, coal and petroleum). Energy production from geothermal and wind sources is only 2 % of the total energy production. Hydroelectric power plants are environment-friendly technologies with the lowest risk potential. Hydroelectric power is environment-friendly, clean, renewable, involves no fuel cost, has a long life-span (200 years), its cost recovery is short-run (5-10 years), its operational costs are low, (approximately 0.2 cent/kWh), and it is an indigenous source of energy which is national and natural. Energy demand projection has been estimated as 550 billion kWh (22% hydroelectric) for the year 2020 with DSİ data. Feasible and technical economical hydroelectric energy capacity of Turkey has been estimated as 140 billion Kwh. In order to use all this capacity, it has been planned to construct 1738 Hydroelectric Plant projects till the year 2023.

Keywords: Hydroelectric power plant, thermal plant, hydroelectric potential.

1 GİRİŞ

Akan suyun gücünden yararlanmak için ilk yapılan tesisler su çarklarıdır. Binlerce yıl önce tahtadan yapılan çarklarla suyun kinetik enerjisi kullanılarak tahıl öğütülmesi ve suyun sulama

ve kullanma amacıyla yükseltilmesi sağlanmıştır. [1]. Artukoğlu döneminde 1179 yılında Fırat nehrinin Haburman kolu üzerinde Çermik'de yapılan köprüde, değirmen taşı

çeviren değirmene su gönderen bir su kanalı bulunmaktadır [2].

Türkiye'de ilk Hidroelektrik Santral (HES) 1902 yılında Tarsus'da yapılan 60 kW'lık santraldir. Birkaç başka küçük santralden sonra, 1929 yılında Trabzon'da 1.1 MW gücünde, 257 m. Düşü yüksekliği ve 0.3 m³/s debi ile yılda 4 milyon kWh enerji üreten Visera santrali, Cumhuriyet döneminin ilk santralidir. [2].

Atatürk'ün emriyle 1932 yılında Nafia Vekaletince başlatılan su geliştirme çalışmaları ile 1935 yılında Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) kurulmuştur. Düzenli akım ölçümleri başlanarak, su kuvvetinden elektrik enerjisi üretimi sağlayacak plan ve projelerin hazırlığına girişilmiştir.

2 HİDROELEKTRİK ENERJİ ÜRETİMİ

Trabzon Visera, Aksaray, Antalya ve Konya'da yapılan HES'lerle elektrik enerjisi üretimi 1930 yılında 7 GWh/yıl olup, toplam elektrik enerjisi üretimindeki payı %7 dir. Tablo 1'de hidroelektrik enerji üretimi ve toplam tüketimdeki payı verilmiştir.

Tablo 1'den görüldüğü gibi, hidroelektrik enerji üretimindeki en önemli artış Sarıyar ve Seyhan barajlarının devreye girmesiyle 1955-60 yılları arasında olmuştur. 2000'li yıllara kadar yağışa bağlı olarak hidroelektrik enerjinin tüketimdeki payı % 35-40 arasında değişmiştir. 2000 yılında doğalgaz santrallerinin enerji üretimindeki payı % 40'lara çıkmış, 2008 yılı verilerine göre bu oran % 49'dur.

Tablo 1. Hidroelektrik enerji üretimi ve toplam tüketimdeki payı [2, 3]

Yıl	Hidroelektrik enerji üretimi (GWh/yıl)	Toplam tüketim (GWh/yıl)	Oran %
1930	7	106	7
1935	12	213	6
1940	14	397	4
1945	24	528	5
1950	30	790	4
1955	90	1580	6
1960	1001	2815	35
1965	2179	4953	44
1970	3033	8623	35
1975	5904	15623	38
1980	11348	23276	49
1985	12045	34219	35
1990	23148	57543	40
1995	35541	86247	41
2000	30916	124922	25
2005	39561	161956	24
2008	35531	205383	17

3 ÜLKEMİZİN ENERJİ DURUMU

Elektrik enerjisi tüketimi ülkenin kalkınmışlığı için bir göstergesidir. DSİ verilerine göre ülkemizde 2008 yılında kişi başına yıllık elektrik tüketimi 3000 kWh iken, dünya ortalaması 2500 kWh, gelişmiş ülkelerde 8900 kWh, Çin'de 827 kWh, ABD'de ise 12322 kWh değerlerindedir. [4].

2008 yılı verileriyle, enerji üretimimizin %17'si yenilenebilir kaynak olarak hidrolik kaynaklardan, % 81'i fosil yakıtları olarak adlandırılan termik (doğalgaz, linyit, kömür, petrol) kaynaklarından üretilmektedir. Rüzgar ve jeotermal kaynaklardan enerji üretimi, toplam enerji üretimimizin % 2'sidir. Ülkemiz enerji gereksinmesini karşılamak için doğalgaz, petrol ve kömür ithal etmek zorundadır.

Ülkemizin artan enerji gereksinmesi için tamamen ithale dayalı doğalgaz ile çalışan güç santralleri kurmuştur. Toplam enerji üretiminde hidroelektriğin payı azalırken (%17), termik santrallerden üretilen enerji payı (%81) artmaktadır.

Ülkemiz hızla kalkındığı için enerji gereksinmesi de aynı hızla artmaktadır. 2020 yılında 550 milyar kWh (% 22'si hidroelektrik) enerji gereksinmesi hesaplanmaktadır. Ülkemizin DSİ verilerine göre teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilecek 140 milyar kWh hidroelektrik potansiyeli vardır. 2023 yılına kadar bu kapasitenin kullanıma sunulması için 1738 adet HES projesinin devreye sokulması planlanmıştır (Tablo 4). Tablo 2'de 2020 yılına kadar ülkemizin elektrik arz tahmini verilmiştir.

Tablo 2. Türkiye'nin Uzun Dönem Elektrik Arz Tahmini [3]

Santral tipi	2010			2015			2020		
		Yağışlı	Kurak		Yağışlı	Kurak		Yağışlı	Kurak
	MW	Milyar kWh		MW	Milyar kWh		MW	Milyar kWh	
Termik	30583	211	211	45603	314	314	62273	426	426
Hidroelektrik	18234	62	46	25670	89	60	34076	118	77
Toplam Arz	48817	273	257	71273	403	374	96349	544	503

Avrupa Birliği enerji politikalarında yenilenebilir enerji kaynaklarına (hidroelektrik, rüzgar, güneş ve biokütle) büyük önem vermektedir. Türkiye'de yürürlükte bulunan enerji politikaları ve ilgili mevzuat ile AB mevzuatı arasındaki farklılıkların giderilmesi zorunlu olmuştur.

4 GÜÇ SANTRALLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Güç santralleri; genel olarak termik (doğalgaz, linyit, ithal kömür, petrol), hidroelektrik ve nükleer santrallerdir. Bu santrallerin birim yatırım bedelleri Tablo 3'de verilmiştir.

HES'ler risk taşımayan, hava kirliliği oluşturmayan, iklim değişikliğine neden olmayan ve doğal çevreyi bozmayan güç üreticileridir. Aynı zamanda çevreyle uyumlu, temiz, yenilenebilir, yakıt gideri olmayan, uzun ömürlü (200 yıl), yatırımı geri ödeme süresi kısa (5-10 yıl), işletme gideri (0,2 cent/kWh), dışa bağımlı olmayan elektrik üreticileridir.

5 ÜLKEMİZİN HİDROELEKTRİK POTANSİYELİ

Bir ülkede, ülke sınırlarına ve denizlere kadar bütün doğal akışların %100 verimle değerlendirilmesi varsayımına dayanılarak hesaplanan hidroelektrik potansiyel, o ülkenin *brüt teorik hidroelektrik potansiyelidir*. Topoğrafya ve hidrolojinin bir fonksiyonu olan brüt hidroelektrik enerji potansiyeli ülkemiz için 433 milyar kWh değerindedir [5]. *Teknik yönden değerlendirilebilir su kuvveti potansiyeli*, bir akarsu havzasının hidroelektrik enerji

üretimini teknolojik üst sınırını gösterir. Ülkemizin teknik yönden değerlendirilebilir hidroelektrik enerji potansiyeli 216 milyar kWh'dir.

Ekonomik olarak yararlanabilir hidroelektrik potansiyel, beklenen faydaları (gelirleri), masraflarından (giderlerinden) fazla olan su kuvveti projelerinin hidroelektrik enerji üretimini gösterir. Ülkemiz için teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilir potansiyel hidroelektrik enerjisi 140 milyar kWh olarak hesaplanmıştır [4]. Türkiye'nin teorik hidroelektrik potansiyeli dünya teorik potansiyelinin % 1 i, Avrupa teorik potansiyelinin % 16 sıdır.

DSİ'nin verilerine göre, günümüzde Türkiye'de 172 adet hidroelektrik santral işletmede bulunmaktadır. Bu santraller 13700 MW bir kurulu güce ve ekonomik potansiyelin %35 ine karşı gelen 48000 GWh yıllık ortalama üretim kapasitesine sahiptir. 8600 MW bir kurulu güç ve toplam potansiyeli %14 olan 20000 GWh yıllık üretim kapasitesine sahip 148 hidroelektrik santral halen inşa halindedir. Geriye kalan 72540 GWh/yıl potansiyeli kullanabilmek için ileride Türkiye'de 1418 HES yapılacak ve ilave 22700 MW Kurulu güçle hidroelektrik santrallerin toplam sayısı 1738 olacaktır. Gelecekte yapılacak HES ile Türkiye'nin toplam ekonomik kurulu gücü olan 45000 MW, 1738 HES ile ülkenin nehirlerindeki tüm ekonomik hidroelektrik enerji potansiyelinden faydalanma olanağı doğacaktır.

Tablo 3. Güç Santrallerinin Birim Yatırım Bedelleri [3]

Santralin Yakıt Cinsi	İşletme Bakım Gideri (Cent/kWh)	Yakıt Gideri (Cent/kWh)	Kurulu Güç Birim Yatırım Bedeli (\$/kW)
Doğalgaz	0.415	3.61	795
Linyit	1.50	1.84	1500
İthal Kömür	1.41	1.97	1325
Hidroelektrik	0.20	0	1200 – 1500
Nükleer	0.780	1.00	2000

Tablo 4. Ekonomik olarak yapılabilir HES projeleri [4]

Proje Durumu	HES Sayısı	Toplam Kurulu Kapasite (MW)	Ortalama Yıllık Üretim (GWh/yıl)	Oran (%)
İşletmede	172	13700	48000	35
İnşa Halinde	148	8600	20000	14
İnşaatına Henüz başlanmayan	1418	22700	72000	51
Toplam Potansiyel	1738	45000	140000	100

6 SONUÇLAR

1. Ülkemizin enerji gereksinmesi hızla artmakta olup, çevreye zararlı, karbon salınımı fazla yeni termik santraller yerine, kullanılabilir hidroelektrik potansiyelin en kısa zamanda hayata kavuşturulması gereklidir.

2. 2020 yılında enerji tüketiminin % 75 inin termik santralle karşılanması planlanmaktadır. Doğal gaz santrali yerine çevreye daha duyarlı nükleer santrallerin yapımı tercih edilmelidir. Ülkemiz bu konuda çevreci baskısından dolayı çok geri kalmıştır.

3. Bugün yapılmakta olan ve proje safhasındaki HES'lerin yapımı çevreci baskısından dolayı durdurulsa, 2023 verilerine göre 80 milyar Kwh enerjiyi termik santrallerle karşılamak zorunda kalacaktır. Bunun için her yıl 15 milyar m³ doğal gaza gereksinme vardır. Dışarıya ödenecek doğal gaz bedeli her yıl yaklaşık 3 milyar dolardır.

4. Hidroelektrik santrallerin doğayı katlettiği feryatları doğru değildir. Doğaya ve çevreye etkisi yok denecek kadar azdır. [4]

5. Yaşayabileceğimiz tek bir dünya vardır. Hepimiz bu dünyamızı ve ülkemizi en iyi şekilde korumalıyız. Bunu yaparken hem gelişmiş ülke olmak için çalışmak, doğal çevremizi koruyarak enerji üretimimizi artırmak zorundayız. Bu nedenle, enerji santralleri arasında doğaya en az zararlı olan Hidroelektrik Santrallere karşı çıkmak, en yumuşak deyişle “**abesle iştigal**” dir.

7 KAYNAKLAR

[1] Öziş, Ü.(1981): “Anadolu’da su kaynaklarının geliştirilmesinin dünü, bugünü, yarını”. *Su ve Toprak Kaynaklarının Geliştirilmesi Konferansı*, DSİ, Ankara.

[2] Öziş, Ü. (1985): “Türkiye’nin hidroelektrik potansiyeli ve enerji üretimi”, *Hidroelektrik Enerji Sempozyumu Tebliğleri*, EİEİ, Ankara.

[3] DSİ 2010 yılı ajandası.

[4] <http://www.dsi.gov.tr/hizmet/enerji.html>

[5] http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/HES/index_hidrolikenerji.html

ERZURUM KENTİ KATI ATIK DEPOLAMA SAHASININ İNCELENMESİ VE SIZINTI SUYUNUN MEVSİMSSEL KARAKTERİZASYONU

İshak ÇEVİRİM
Erzurum Palandöken Belediyesi, Park ve Bahçeler Müdürlüğü, ERZURUM
ishakcevrin@hotmail.com

Şahset İRDEMEZ
Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, ERZURUM
sirdemez@atauni.edu.tr

(Makalenin geliş tarihi: 25.03.2010, Makalenin kabul tarihi: 14.04.2011)

ÖZET

Bu çalışmada, Erzurum Kenti düzenli depolama sahasının ve katı atık sızıntı suyunun bazı karakteristiklerinin aylara göre değişimi incelenmiştir.

Erzurum kenti katı atık düzenli depolama sahası 2007 yılında işletmeye başlatılmış genç bir depolama sahasıdır. Çalışmada öncelikle katı atık düzenli depolama sahası planlanırken kullanılan kriterler değerlendirilmiş ve proje aşaması incelenmiştir. Depolama sahası 30 yıllık bir kullanım için projelendirilmiş olup, saha işletme esnasında 800.000 m³, 900.000 m³ ve 1.190.000 m³ olmak üzere üç bölgeye ayrılmıştır. Deponi sahasında oluşacak sızıntı sularını toplamak amacıyla bir drenaj sistemi oluşturulmuş ve bu sızıntı suları 3 bölmeli bir sızıntı suyu havuzunda toplanmaktadır. Ayrıca oluşacak metan gazının toplanması içinde gerekli gaz bacaları yapılmıştır. Deponi sahasının yeni olması nedeniyle henüz yeterli miktarda metan gazı oluşumu görülmemektedir. Daha sonra sızıntı suyundan her ayın ilk haftasında numuneler alınarak bazı kirlilik parametreleri ölçülmüş ve bunların aylara göre değişimi incelenmiştir.

Sızıntı suyunun arıtıldığı ters osmoz ünitesinin çıkış suyundan da örnekler alınarak ters osmoz ünitesinin arıtım verimi incelenmiştir.

Çalışma sırasında Erzurum İli için işletmeye alınan depolama sahasının oldukça iyi şekilde tasarlandığı ve işletmenin düzenli şekilde yapılması sonucu İlin katı atık sorununu çözeceği düşünülmektedir. Ayrıca sızıntı suyu arıtımı için kullanılan ters osmoz sisteminde yeterli arıtımı sağladığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Katı atık, deponi sahası, sızıntı suyu, ters osmoz.

INVESTIGATING ERZURUM URBAN'S SOLID WASTE LANDFILL AREA AND LEAK WATER'S SEASONAL CHARACTERIZATION

ABSTRACT

In this study, Erzurum city regularly, and solid waste landfill area and who the variation of characteristic of leachates from this area were investigated.

Erzurum city solid waste landfill area regularly to operating started in 2007 is a landfill area is young. Study of the landfill area regularly scheduled solid waste is first used, and project evaluation phase is a review of criteria. Landfill area for a 30-year project has been operating the field during the 800,000

m³, 900,000 m³ and 1,190,000 m³ which is divided into three regions. Will occur in the field to collect water leaking landfill to build a drainage system and a leak of water that leaks water division 3 are collected in the pool. Also in the collection of methane gas to generate gas chimneys have been necessary. Because of the new area yet Deponi methane gas formation is not enough. Later in the first week of each month from leachates samples were measured by taking some pollution parameters and their changes were examined according to months.

Reverse osmosis water treated unit is leaking out of the water samples taken from the reverse osmosis unit is a review of the treatment efficiency.

Consequently, It was seen that Erzurum urban in operation in the landfill area is designed very well and the business to be done on a regular basis as a result of the province is likely to solve the problem of solid waste. Also used for treatment of leachates reverse osmosis was found to system provide adequate treatment.

Keywords: Solid waste, landfill area, leachates, reverse osmosis

1 GİRİŞ

Katı atıkların depolanmasında en önemli sorunlardan biri oluşan sızıntı sularının bertarafıdır. Katı atık deponi sahası atıksuları yüksek organik madde ve toksitite içeriği nedeniyle klasik arıtım yöntemleri ile arıtımı oldukça güç olan sulardır. Bu nedenle genellikle yüksek maliyetli ileri arıtım yöntemleri ile arıtılma yoluna gidilmektedir. Ayrıca deponi sahalarının yaşlı veya genç olması sızıntı suyu bileşimini oldukça etkilemektedir.

Katı atıklar kaynaklarına göre; evsel katı atıklar, endüstriyel atıklar, açık alandan kaynaklanan atıklar, zirai atıklar, hastane atıkları, arıtma tesisi atıkları ve radyoaktif atıklar olarak sınıflandırılabilir [Çay vd., 2007].

Katı atıklar, bileşenleri bakımından çok büyük farklılıklar gösteren heterojen karışımlardır [Özcan vd, 2005]. Katı atık bileşimi sosyo-ekonomik şartlara, bölgelere, iklime ve birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Bileşimindeki farklılıklara rağmen, katı atıkları oluşturan en büyük bileşen organik maddelerdir. Çoğu organik maddeler biyolojik olarak parçalanabilir ve aerobik ve anaerobik mikroorganizmalarla daha basit bileşenlere dönüşebilir [Boni et al., 2006].

Günümüzde geliştirilen teknolojilere rağmen birçok atık türünün yeniden üretime kazandırılması, öncelikle ekonomik olarak mümkün olmamaktadır. Çöplerin bertarafında da yakma, kompostlaştırma gibi yeni teknolojik işlemler uygulanmakta fakat sonuçta yine de bir miktar çöpün son uzaklaştırma işlemi için depolanması gerekmektedir. [Nozhevnikova et al., 1993]. Katı atık yönetiminde; düzenli depolama birçok ülke tarafından kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir [Olivero-Verbel, 2008]. Dünyada yılda 450-500 milyon ton evsel

katı atık üretildiği bilinmektedir. Bunun yaklaşık %70'i düzenli depolama ile bertaraf edilmektedir [Veli, 2008].

Düzenli depolama, katı atıkların çevre sağlığına uygun şekilde tabanı kil ve geomembranla geçirimsiz hale getirilmiş bir araziye dökülüp sıkıştırılması ve üzerinin toprakla örtülmesini, içinde bulunan depo gazının uygun bacalarla kontrol edilerek toplanmasını ifade eder. Ayrıca çöp sızıntı ve süzüntü sularının derlenip toplandığı ve arıtıldığı bir bertaraf yöntemidir [Borat, vd., 2002].

Katı atıkların düzenli depolanmasında ortaya çıkan önemli sorunlardan biri katı atıklardan süzülerek tabana ulaşan, çözünmüş ve askıda bileşenler içeren sızıntı sularındır [Kulikowska and Klimiuk, 2007; Pala ve Şirin, 2001]. Sızıntı suyu oluşumunun iki önemli kaynağı vardır. Birincisi dışarıdan depoya giren su miktarı, diğeri de depolanan atıktaki su muhtevasıdır. Saha içerisinde organik maddelerin ayrışması sonucunda oluşan su miktarı, bu iki kaynağa göre daha önemsizdir.

Katı atık düzenli depolama tesisi sızıntı suyu miktarını depo yaşı, iklim değişikliği, atığın türü ve bileşimi (çevre halkının yaşam standardı, yerin yapısı) gibi birçok faktör etkilemektedir [Renou, 2008; Sormunen et al., 2008].

Düzenli depolama tesislerinde katı atıkların ayrışmasıyla oluşan sızıntı suları koyu gri renkli, kötü kokan çözeltilerdir [Moraes, 2005]. Sızıntı suyunun özellikleri katı atıkların bileşimine, hidroloji ve hidrojeolojiye, sıkıştırma oranına, örtü şekline, atık yaşına, örnekleme yöntemlerine, sızıntı suyunun temas ettiği çevreye, düzenli depolamanın tasarım ve işletmesine bağlı olarak değişmektedir [Papadopoulou, 2007].

Düzenli depolama sahası sızıntı suları hümik asit, amonyak azotu, ağır metaller, ksenobiyotik ve inorganik tuzlarında bulunduğu yüksek derişimler de organik ve inorganik kirleticiler içermektedirler [Wisznowski et al., 2006; Etlar et al., 2008; Lin et al., 2008; Slack et al., 2005].

Proteinlerin bozunması ile oluşan amonyak; sızıntı sularında 500 ile 2000 mg NH₄-N/L arasında bulunmaktadır. Katıdan ayrıldığından dolayı derişiminde zamanla azalma olmaz. Bundan dolayı amonyak uzun dönemler için sızıntı suyunun en önemli bileşimi olarak tanımlanmaktadır [Kjeldsen, 2002].

Düzenli katı atık depolama sahalarından kaynaklanan sızıntı suları, içerdikleri yüksek miktardaki organik maddeler, azotlu maddeler, ağır metaller, klorlanmış organik ve inorganik tuzlardan dolayı hem toprak kirlenmesine hem de yer altı ve yüzey sularının kirlenmesine neden olmaktadır [Wang et al., 2002; Yalılı vd., 2006; Karadag et al.,2008]. Bu nedenle sızıntı sularının deşarj kriterlerine kadar artırılması gerektirmektedir [Yalılı vd., 2006].

Sızıntı sularının arıtımı için geliştirilen metotlar fiziksel, kimyasal, biyolojik ve ileri arıtma metotlarıdır. Bu metotlardan herhangi birini tek başına kullanarak yüksek oranda arıtma verimi ve çıkış suyu kalitesi elde etmek zordur. Bunun için sızıntı sularının arıtımında genellikle fiziksel, kimyasal ve biyolojik metotların kombinasyonu; ileri arıtma metotlarında ise adsorpsiyon ve membran teknolojileri kullanılmaktadır [Amokrane et al., 1997; Bohdziewicz et al., 2001; Marttinen et al., 2002; Vogelpohl et al., 1995; Yalılı vd., 2006].

Sızıntı sularının arıtımında kullanılan kimyasal metotlar koagülasyon-flokülasyon [Amokrane et al., 1997; Ahn et al., 2002], kimyasal çöktürme ve kimyasal-elektrokimyasal oksidasyonlar, biyolojik metotlar ise aerobik, anaerobik ve anoksik proseslerin bir kombinasyonudur [Lin et al.,2008]. Fiziko-kimyasal metotlar genellikle sızıntı suyundan biyolojik olarak giderilemeyen maddeleri gidermek için biyolojik metotlarla beraber kullanılırlar [Bohdziewicz et al., 2001, Ahn et al., 2002; Yalılı vd., 2006].

Genellikle yapılan arıtma tesislerinde inorganik maddelerin giderilmesinde fiziksel-kimyasal arıtım, organik maddelerin giderilmesinde ise biyolojik arıtım kullanılmaktadır. Biyokimyasal arıtım olarak aerobik ve anaerobik arıtımın her ikisinin de uygulanması mümkündür. Ancak anaerobik arıtım ağır metallere olan toleransı

nedeniyle daha uygun görülmektedir [Mazlum,1996].

Bu sebeplerden dolayı bu çalışmada Erzurum katı atık düzenli depolama tesisinin incelenmesi ve tesiste oluşan sızıntı sularının karakterizasyonunun mevsimsel olarak değişimi incelenmiştir. Erzurum katı atık düzenli depolama tesisi 2007 yılında işletmeye alınmış genç bir deponi alanıdır. Ayrıca tesiste bulunan tıbbi atık sterilizasyon ünitesi 2008 yılı sonlarında işletilmeye başlatılmıştır. Bu tesiste şu anda yaklaşık olarak günde 35 m³ sızıntı suyu oluşmaktadır.

2 MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmanın yapıldığı bölge olan Erzurum Kenti katı atık düzenli depolama sahası 3 kademeli olarak tasarlanmış ve 20 yıl şehrin ihtiyacını karşılayacak şekilde projelendirilmiştir. Birinci kademe kapasitesi 7 yıl için 800000 m³, ikinci kademe kapasitesi 910000 m³ ve üçüncü kademe kapasitesi 1190000 m³ olarak projelendirilmiştir. Tesisin inşasına 2005 yılı Eylül ayında başlanmış ve 2007 yılında tamamlanarak faaliyete geçirilmiştir.

Tesiste deponi sahasında oluşan sızıntı sularının toplandığı 3 adet sızıntı suyu toplama havuzu bulunmaktadır. Bunlardan birisi depolama alanından gelen suların toplanıp ters osmoz ünitesine verildiği havuzu, diğeri ters osmoz ünitesinden gelen konsantre atıksuyun toplandığı havuz olarak kullanılmakta 3. Havuz ise yedek olarak kullanılmaktadır. Tesisten günlük yaklaşık 35 m³ sızıntı suyu havuzlara gelmektedir.

Çalışmada Ekim 2008-Mayıs 2009 tarihleri arasında sızıntı suyu örnekleri alınarak pH (WTW multiset F4), iletkenlik (WTW 340i) , toplam karbon ve toplam organik karbon (Apollo 3000 TOC-TN analiz cihazı), kimyasal oksijen ihtiyacı (Shimadzu 160 A spektrometre cihazı), yağ ve gres (Wilksir HART-2 yağ-gres analiz cihazı), toplam azot (Apollo 3000 TOC-TN Analiz cihazı)ve toplam fosfat (Shimadzu 160 A spektrometre cihazı) analizleri yapılarak bu maddelerin aylara göre değişimi incelenmiştir.

3 DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

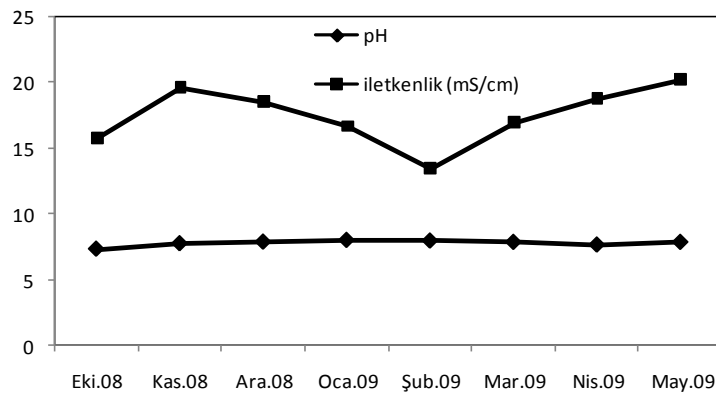
Erzurum katı atık düzenli depolama sahası sızıntı suyu havuzlarından Ekim 2008 ve Mayıs 2009 tarihleri arasında sızıntı suyu numuneleri alınarak çeşitli kirleticili parametreleri analiz edilmiş ve sonuçlar Tablo 1' de verilmiştir.

Bu verilere dayanarak Ekim 2008-Mayıs 2009 tarihleri arasında Erzurum kenti düzenli

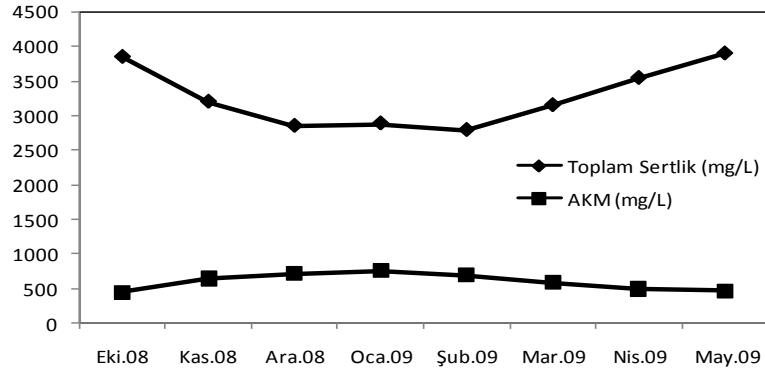
depolama sahasından alınan su numunelerindeki bazı kirlilik parametrelerinin aylara göre değişimi Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'de verilmiştir.

Tablo 1. Erzurum Katı Atık Düzenli Depolama Sahası Sızıntı Suyu Bileşiminin Aylara Göre Değişimi

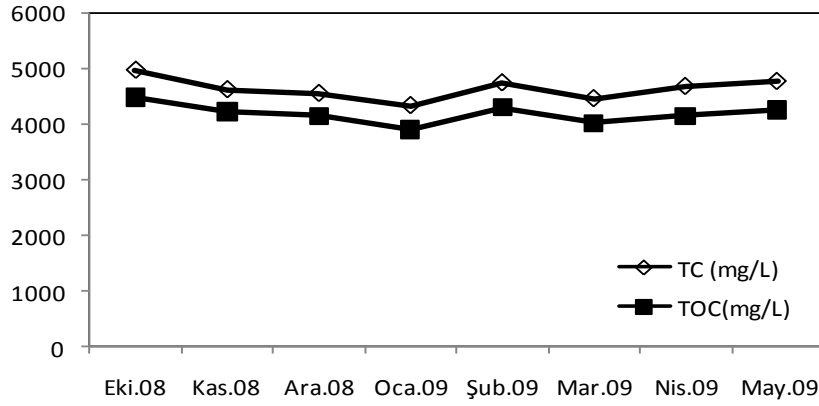
Parametre	Sızıntı Suyu							
	Ekim 2008	Kasım 2008	Aralık 2008	Ocak 2009	Şubat 2009	Mart 2009	Nisan 2009	Mayıs 2009
pH	7,29	7,70	7,82	7,95	7,9	7,8	7,6	7,8
İletkenlik (mS/cm)	15,76	19,63	18,56	16,67	13,42	16,98	18,8	20,25
TC (mg/L)	4978,1	4627,25	4559	4340	4750,6	4465	4685	4775
TOC (mg/L)	4485,53	4225,32	4150,4	3900,85	4300,86	4022,15	4150,15	4250
KOİ (mg/L)	16680	10790	9875	9550	14750	10150	12455	15580
Toplam azot (mg/L)	525,14	1078,775	988,45	955,9	1186,75	885,8	975,45	1045,6
Yağ ve gres (mg/L)	686,32	277,86	266,8	305,87	369,76	406,85	480,4	552,45
Fosfat (mg/L)	72,79	55,37	45,48	42,95	59,54	65,72	75,4	88,48
AKM (mg/L)	437	640	705,65	750,86	685,45	582,54	488,55	450,18
Toplam sertlik (mg/L CaCO ₃)	3850	3200	2850	2885	2790	3150	3545	3900



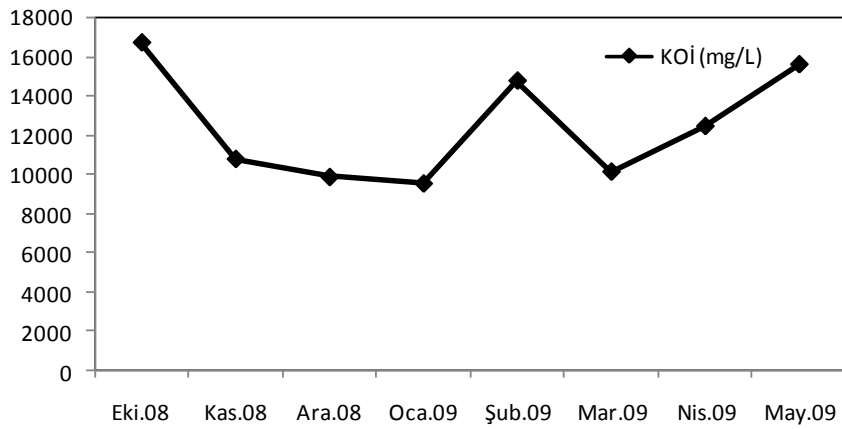
Şekil 1. Erzurum Kenti Katı Atık Depolama Sahası Sızıntı Suyunun pH ve İletkenlik Değerinin Aylara Göre Değişimi



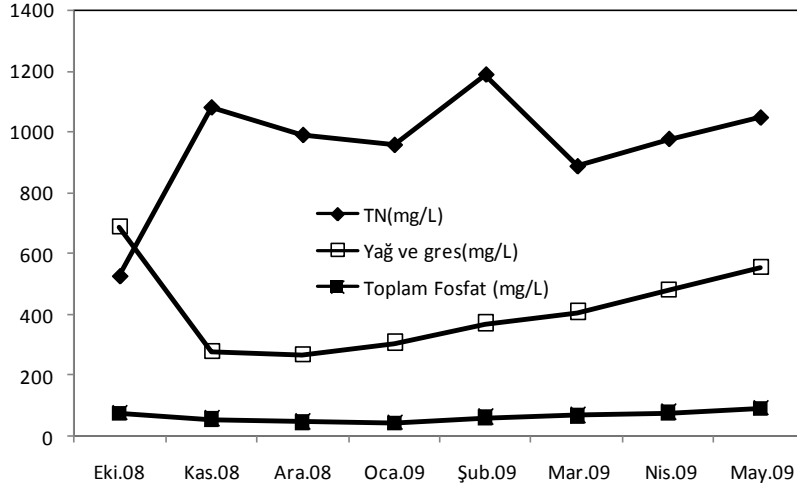
Şekil 2. Erzurum Kenti Katı Atık Depolama Sahası Sızıntı Suyunun Toplam Sertlik ve Askıda Katı Madde Değerinin Aylara Göre Değişimi



Şekil 3. Erzurum Kenti Katı Atık Depolama Sahası Sızıntı Suyunun Toplam Karbon ve Toplam Organik Karbon Değerinin Aylara Göre Değişimi



Şekil 4. Erzurum Kenti Katı Atık Depolama Sahası Sızıntı Suyunun Kimyasal Oksijen Değerinin Aylara Göre Değişimi



Şekil 5. Erzurum Kenti Katı Atık Depolama Sahası Sızıntı Suyunun Toplam Azot, Toplam Fosfat ve Toplam Yağ ve Gres Değerinin Aylara Göre Değişimi

Yukarıdaki grafikler incelendiğinde suyun pH sının aylara göre pek fazla değişmediği ve 7,2 ila 8 aralığında değerler gösterdiği görülmektedir. Suyun iletkenliğinin ise 13 mS/cm ile 20 mS/cm gibi geniş bir aralıkta değiştiği ve en düşük iletkenlik değerinin şubat 2009, en yüksek iletkenlik değerinin ise Mayıs 2009 tarihinde elde edildiği görülmektedir. İletkenlik değerlerinin bu denli yüksek olması suyun içinde çözülmüş iyon konsantrasyonunun fazla olduğu manasına gelir.

Erzurum kenti deponi alanı sızıntı suyunun organik madde muhtevası incelendiğinde ise toplam karbon değerinin en düşük miktarının 4340 mg/L ile Ocak 2009, en yüksek değer ise 4978,1mg/L ile Ekim 2008 tarihinde olduğu görülmektedir. Toplam organik karbon değerleri de toplam karbon değerleri ile paralellik göstermektedir. TC değerinin TOC değerine oranı deponi sahası karbon muhtevasının genellikle organik içerikli olduğunu göstermektedir. Bu durum deponi sahasının henüz yeni olması ve sızıntı suyunun genç sızıntı suyu olmasından kaynaklanmaktadır.

Kimyasal oksijen ihtiyacı değerlerinin ise TC ve TOC analizleri ile aynı paralellikte olduğu ve KOİ değerlerinin 9550- 16680 mg/L değerleri arasında olduğu görülmektedir.

Yapılan toplam azot analizleri ise Ekim 2008 tarihinde 525,14 mg/L ile en düşük değere sahip olduğu diğer aylarda ise 900-1200 mg/L arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Sızıntı suyundaki yağ ve gres miktarının ise kış aylarında daha düşük yaz aylarına doğru geldikçe yükseldiği görülmektedir. Fosfat miktarının da yağ ve gres ile paralellik gösterdiği söylenebilir. Bununla beraber askıda katı madde miktarları kış aylarında daha yüksek yaz aylarına yaklaştıkça da gittikçe düşmektedir. Toplam sertlik değerleri de yağ ve gres ile aynı eğilime sahiptir.

Sızıntı suyu arıtımı için kullanılan ters osmoz ünitesi çıkış suyundan Ekim 2008- Kasım 2008- Mayıs 2009 tarihlerinde alınan numunelerden elde edilen sonuçlar ise Tablo 2' de verilmiştir.

Kış aylarında sızıntı suyu toplama borularındaki problem nedeniyle ters osmoz cihazı çalıştırılmadığından numune alınamamıştır. Tablo 2'de görüldüğü gibi ters osmoz ünitesi sızıntı suyunu oldukça verimli şekilde arıtmaktadır. Maliyetinin yüksek olmasına rağmen düşük debili ve problemliler için ters osmoz arıtım sistemleri tercih edilmektedir. Çıkış suyu araziye deşarj edilmektedir.

Tablo 2. Ters Osmoz Ünitesi Çıkış Suyunun Analiz Sonuçları

Parametre	Ekim 2008		Kasım 2008		Mayıs 2009	
	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
pH	7,29	6,02	7,70	6,4	7,8	6,3
İletkenlik (mS/cm)	15,76	0,474	19,63	0,655	20,25	0,58
Toplam karbon (mg/L)	4978,1	95,934	4627,25	90,580	4775	101,2
Toplam organik karbon (mg/L)	4485,53	80,45	4225,32	75,85	4250	80,25
Kimyasal oksijen ihtiyacı (mg/L)	16680	98,40	10790	90,65	15580	105,55
Toplam azot (mg/L)	525,14	4,645	1078,775	6,85	1045,6	5,58
Yağ ve gres (mg/L)	686,32	0	277,86	0	552,45	0
Fosfat (mg/L)	72,79	0	55,37	0	88,48	0
Askıda Katı Madde (mg/L)	437	0	640	0	450,18	0

4 SONUÇLAR

1. Araştırma esnasında öncelikle katı atık depolama sahasının projelendirilmesi incelenmiş ve tesisin bu projeye ve standartlara uygun olarak yapıldığı ve Erzurum'un katı atık sorununu düzenli olarak çözeceği görülmüştür.

2. Tesiste sızıntı suyunun toplanması için yapılan toplama boruları günde yaklaşık olarak 35 m³ sızıntı suyunu toplayarak sızıntı suyu birinci havuzuna aktarmaktadır. Bu sızıntı suyunun arıtıldığı bir ters osmoz ünitesi mevcut olup bu tesisten çıkan konsantre atıksu 2. toplama havuzuna verilmektedir. 3. toplama

havuzu ise yedek toplama havuzu olarak tasarlanmıştır.

3. Deponi sahası sızıntı sularından Ekim 2008-Mayıs 2009 tarihleri arasında numuneler alınarak sızıntı suyundaki bazı kirlilik parametrelerinin aylara göre değişimi incelenmiştir. Bazı parametrelerin aylara göre fazla değişmediği görüldüğü halde bazı parametrelerin oldukça geniş aralıkta değiştiği gözlenmiştir. Bu durumun özellikle bölgenin aldığı yağış miktarıyla orantılı olduğu söylenebilir. Yağış suları da sızıntı suları ile birlikte kanallarda toplandığından sızıntı suyunun bileşimini oldukça değiştirmektedir.

4. Ayrıca ters osmoz ünitesinin arıtım veriminin incelenmesi için Ekim 2008-Kasım 2008 ve Mayıs 2009 tarihlerinde arıtım ünitesi çıkış suyundan da numuneler alınmıştır. Sistemin atıksuyu yaklaşık % 99 civarlarında arıttığı ve deşarj standartlarının çok altına kadar düşürdüğü tespit edilmiştir.

5 KAYNAKLAR

- [1] Çay T., Nas B., Berktaş A., İşcan F., 2007, Katı atık deponi alanlarının yer seçiminde coğrafi bilgi sistemleri (CBS) uygulaması, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, KTÜ, Trabzon
- [2] Özcan H.K., Borat M., Bayat C., 2005, Katı atık depo sahası gazları ve çevresel etkileri, II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacıları Kongresi MBGAK, İstanbul.
- [3] Boni M.R., Chiavola A., Scaffoni S., 2006, Pretreated waste landfilling: Relation between leachate characteristics and mechanical behaviour, Waste Management 26 1156–1165.
- [4] Nozhernikova A.N., Nekrasova V.K., Lebedev V.S., and Lifshits A.B., 1993, Microbiological process in landfills WST, Vol.27, No.2, 242-252.
- [5] Olivero-Verbel J., Padilla-Bottet C., De la Rosa O., 2008, Relationships between physicochemical parameters and the toxicity of leachates from a municipal solid waste landfill, Ecotoxicology and Environmental Safety 70 294–299.
- [6] Veli S., Öztürk T., Dimoglo A., 2008, Treatment of municipal solid wastes leachate by means of chemical and electro-coagulation; Separation Purification Technology 61, 82-88.
- [7] Borat M., Nemlioğlu S., Demir G., Sezgin N., Bayat C., 2002, İstanbul'daki kapatılmış ve kullanımdaki bazı katı atık depolama alanlarının depo gazı emisyonlarının karşılaştırılması, I. Ulusal Çevre Sorunları Sempozyumu, Atatürk Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma Merkezi Müdürlüğü, 460-468, Erzurum.
- [8] Kulikowska D., Klimiuk E., 2007, The effect of landfill age on municipal leachate composition, Bioresource Technology.
- [9] Pala A.İ., Şirin G., 2001, Atıkların arazide bertarafında kullanılan mineral ve sentetik tabakaların uygulama örnekleri, ÇEVKOR Cilt 10, Sayı 40, 25-29.
- [10] Renou S., Givaudan J.G., Poulain S., Dirassouan F., Moulin P., 2008, Landfill leachate treatment: Review and opportunity, Journal of Hazardous Materials Volume 150, Issue 3.
- [11] Sormunen K., Ettala M., Rintala J., 2008, Internal leachate quality in a municipal solid waste landfill: Vertical, horizontal and temporal variation and impacts of leachate recirculation, Journal of Hazardous Materials.
- [12] Moraes P.B., Bertazzoli R., 2005, Electrodegradation of landfill leachate in a flow electrochemical reactor, Chemosphere 58:41-46.
- [13] Papadopoulou M.P., Karatzas G.P., Bougioukou G.G., 2007, Numerical modelling of the environmental impact of landfill leachate leakage on groundwater quality- a field application, Environmental Model Assess 12:43-54.
- [14] Wisznioowski J., Robert D., Surmacz-Gorska J., Miksch K., Weber J.V., 2006, Landfill leachate treatment methods: A review, Environmental Chemical Lett 4:51-61.
- [15] Ettler V., Mihaljevic M., Matura M., Skalova M., Sebek O., Bezdicka P., 2008, Temporal variation of trace elements in waters polluted by municipal solid waste landfill leachate, Bull Environ Contam Toxicol 80:274–279.
- [16] Lin L., Lan C.Y., Huang L.N., Chan G.Y.S., 2008, Anthropogenic N₂O production from landfill leachate treatment, Journal of Environmental Management 87, 341–349.
- [17] Slack R.J., Gronow J.R., Voulvoulis N., 2005, Household hazardous waste in municipal landfills: contaminants in leachate, Science of the Total Environment 337, 119– 137.
- [18] Kjeldsen P., Barlaz M.A., Rooker A.P., Baun A., Ledin A., Christensen T.H., 2002, Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology 32 (4), 297–336.
- [19] Wang Z., Zhang Z., Lin Y., Deng N., Tao T. ve Zhuo K., 2002, Landfill leachate treatment by a coagulationphotooxidation process, Journal of Hazardous Materials, 95(1-2), 153-159.
- [20] Yalılı M., Kestioğlu K., Mert B.K., 2006, Sızıntı sularının evsel atıksularla birlikte arıtılabilirliğinin respirometrik yöntemle izlenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 11, Sayı 1, 65-73.
- [21] Karadağ D., Tok S., Akgül E., Turan M., Öztürk M., Demir A., 2008, Ammonium removal from sanitary landfill leachate using natural G^ordes clinoptilolite, Journal of Hazardous Materials 153, 60–66.

- [22] Amokrane A., Comel C. ve Veron J., 1997, Landfill leachate pretreatment by coagulation-flocculation, *Water Research*, 31(11), 2775-2782.
- [23] Bohdziewicz J., Bodzek M. ve Gorska J., 2001, Application of pressure-driven membrane techniques to biological treatment of landfill leachate, *Process Biochemistry*, 36(7), 641-646.
- [24] Marttinen S.K., Kettunen R.H., Sormunen K.M., Soimasuo R.M. ve Rintala J.A. 2001, Screening of physical-chemical methods for removal of organic material, nitrogen and toxicity from low strength landfill leachates, *Chemosphere*, 46(6), 851-858
- [25] Vogelpohl A., Morawe B. ve Ramtekejune D.S., 1995, Activated carbon column performance studies of biologically treated landfill leachate, *Chem. Eng. Process.*, 34(3), 299-303.
- [26] Ahn D. H., Yun-Chul C. ve Won-Seok C., 2002, Use of coagulation and zeolite to enhance the biological treatment efficiency of high ammonia leachate, *Journal of Environmental Science. Health A: Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, 37(2), 163-173.
- [27] Mazlum S., Tokgöz S., 1996, Deponi alanlarından kaynaklanan sızıntı sularının arıtılması. I. Uludağ Çevre Mühendisliği Sempozyumu, Bursa.

PORSUK ÇAYI HAVZASININ DPSİR YAKLAŞIMIYLA İRDELENMESİ

Hasan Cenk ÇETİN
İnş. Yük. Müh., Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Buca-İZMİR
hccetin76@yahoo.com

Nilgün HARMANCIOĞLU
Prof. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, SUMER,
Tınaztepe Kampüsü, 35160, Buca-İZMİR
nilgun.harmancioglu@deu.edu.tr

Sevinç ÖZKUL
Prof. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisli Bölümü,
Tınaztepe Kampüsü, 35160, Buca-İZMİR
sevinc.ozkul@deu.edu.tr

(Makalenin geliş tarihi: 21.01.2011, Makalenin kabul tarihi: 14.04.2011)

ÖZET

Sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin gerçekleştirilebilmesi amacıyla su kaynaklarının iyi ve etkin yönetilmesi, entegre havza yönetim sistemlerinde DPSİR yaklaşımı gibi yöntemlerin uygulanmasını gerektirmektedir. DPSİR yaklaşımı, sorunlu bir havza olan Porsuk havzası üzerinde uygulanarak sürücü güçler (D), güçlerin sistem üzerinde oluşturduğu baskılar (P) ve sistemin baskı altındaki durumu (S) belirlenmiş, alternatif senaryolar oluşturularak sistemin etkileri (I) ve tepkileri (R) ortaya çıkarılmıştır. DPSİR yaklaşımından elde edilen sonuçlara göre gelecekte beklenen olası durumlarda havza, su kirliliği ve su miktarı (kıtılığı) açısından kapsamlı bir şekilde irdelenmiştir. Halihazırda Porsuk çayından içme, kullanma ve sulama suyu açısından faydalanılmakta ve taleplerin karşılanamaması gibi bir mevcut durumda bulunmamaktadır. Ancak, su kalitesinin mevcut durumu su kirliliği kriterleri açısından kabul edilebilir sınırların üzerindedir.

Geleceğe yönelik olarak oluşturulan üç farklı senaryonun sonuçları incelendiğinde, talep bölgelerinin talebin karşılanmama durumu bulunmakta; su kalitesi açısından, iyimser (optimistik) durum da dahil bütün senaryoların kirlilik sorununun çözümünde yetersiz kaldığı görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Porsuk Çayı Havzası, DPSİR, Entegre Havza Yönetimi, QUAL2K Modeli, WEAP Modeli, Su Kıtılığı, Su Kirliliği

ASSESSMENT OF PORSUK RIVER BASIN BY USING THE DPSİR APPROACH

ABSTRACT

Management of water resources in an effective and efficient way in respect of sustainable development goals requires the application of sound methods for integrated river basin management, like the DPSİR approach. In this study, the DPSİR approach is applied to the case of the Porsuk which is a problematic river basin. D (driving forces), P (pressures) and S (state) components of the methodology are identified and alternative scenarios are generated to reveal, I (impacts) and responses (R) of the study area. The case is comprehensively investigated from water pollution and water scarcity perspectives. The results reveal that the recent condition of water quality in the river is not within acceptable boundaries according to various water pollution criteria. The basin is investigated under three different scenarios: baseline, optimistic and pessimistic. According to these scenarios, most of the demand sites do not receive sufficient supply of water. Furthermore, none of the scenarios, even the optimistic one, can effectively solve the water pollution problem.

Keywords: Porsuk River Basin, DPSİR, Integrated River Basin Management, QUAL2K Model, WEAP Model, Water Famine, Water Pollution

1 GİRİŞ

Çevre bütünü'nün bir parçası olan su kaynakları aynı zamanda hayatın devamı ve ekosistemin sürdürülebilirliği için de en önemli yapıtaşlarından birisidir. Çevreyle ilgili konularda sürdürülebilirlik, en genel anlamda, toplumun günümüze ait hedef ve ihtiyaçlarını karşılarken, doğal çevreyi ve kaynakları bozmadan, gelecek nesillere ait talep ve hedeflerin karşılanması olarak açıklanmaktadır [Harmancıoğlu, 2004].

Ancak, hızla artan nüfus, büyüyen sanayi ve tarım sektörleri, dünyadaki tatlı su miktarının dağılımındaki düzensizlikler, iklim değişikliğinin olumsuz etkileri gibi etmenler çevrenin ve özellikle de su kaynaklarının sürdürülebilirliğini ciddi ölçüde tehdit etmektedir. Söz konusu bu tehditler, bir yandan suya olan talebi artırırken, diğer yanda suyun kalitesinin bozulmasına yol açmakta, bu ise kullanılabilir su kaynaklarını kısıtlamaktadır. Bu durum, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada etkin bir su yönetiminin gerekliliğini ortaya koymakta, "Entegre Havza Yönetimi (EHY)" gibi yaklaşımların uygulanmasını kaçınılmaz kılmaktadır.

Türkiye'nin GÜNDEM 21'e taraf olması ve Avrupa Birliğine girme çalışmaları nedeniyle Entegre Havza Yönetimine örnek olabilecek projelere ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak, bu alandaki çalışmalar az sayıda ve çok yeni başlamış olup, henüz kurumsal anlamda kapsamlı bir uygulamaya dönüşmemiş durumdadır.

EHY, tüm kesimlerin görüş, beklenti ve amaçlarını dengeleyecek şekilde, su sistemlerinin planlanmasını, organizasyonunu ve kontrolü için oluşturulacak işlevleri içermektedir [Grigg, 1999]. Bu işlevlerin gerçekleştirilebilmesinde ise güçlü ve güvenilir yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Söz konusu yöntemlerden biri de halen Avrupa ülkelerinde yaygın olarak kullanılmakta olan ve Avrupa Birliği "Su Çerçeve Direktifinde (WFD)" de önerilen DPSIR; D (sürücü güçler), P (baskılar) ve S (sistem durumu), I (etkiler), R (tepkiler); yaklaşımıdır.

Türkiye'de, Entegre Havza Yönetiminde DPSIR yaklaşımının uygulanmasına ait ciddi anlamda bir çalışma bulunmamaktadır. Sadece Avrupa Birliği fonları tarafından desteklenen SMART, OPTIMA gibi uluslararası projelerde akademik çalışma olarak yer almaktadır [Giupponi, Mysiak ve Crimi, 2006].

Yapılan çalışmayla, Batı İç Anadolu Bölgesinde bulunan Porsuk Çayı havzasının durumunun,

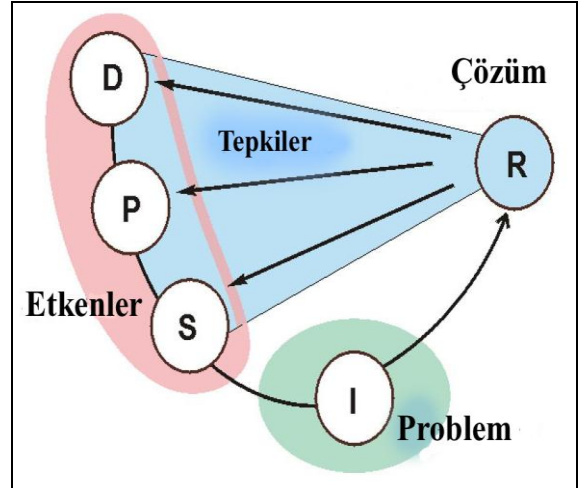
problemlerinin DPSIR yaklaşımı gibi Avrupa Çevre Ajansının tavsiye ettiği bir yöntemle irdelenmesi; "QUAL2K" ve "WEAP" modelleri yardımlarıyla alternatif yönetim senaryoları üretilerek karar vericilere çözüm için yardımcı olması amaçlanmaktadır.

2 METODOLOJİ

2.1 DPSIR Yaklaşımı

DPSIR, bir havza sistemi üzerine gelen etkilerin ve baskıların tanımlanmasını, bu etkiler altında sistemin durumunun, etkilerin yaratacağı sonuçların ve sistemin verdiği tepkilerin belirlenmesini içeren bir yaklaşımdır.

Sürdürülebilir kalkınmayı tam anlamıyla ölçebilen evrensel bir ölçü sistemi olmamasına karşın DPSIR yaklaşımı, çevresel problemlerin analizinde, neden-sonuç ilişkilerinin bulunmasında tercih edilmektedir [Langeweg, 1998].



Şekil 1 - DPSIR yaklaşımı

Şekil 1'de görüldüğü üzere DPSIR yaklaşımı kısaca, bir çevresel sistem üzerine nitelik ve nicelik yönünden etki eden "Sürücü Güçler (D)", güçlerin sistem üzerinde oluşturduğu "Baskılar (P)", sistemin baskı altındaki "Durumu (S)", baskıların sistem üzerindeki "Etkileri (I)", alınan önlemler ve "Tepkiler (R)" olarak ifade edilmektedir.

Sürücü Güçler (Driving Forces)

"Sürücü Güçler (D)" çevresel sistemi etkileyen, kaynak ihtiyacına neden olan etmenleri ifade etmektedir. Bir başka deyişle, sanayileşme, enerji ihtiyacı, nüfus ve tüketim artışı vb. çevreyi doğrudan olumsuz etkileyen birimler sürücü güçler olarak tanımlanmaktadır.

Baskılar (Pressures)

Çevresel sistem üzerine etki eden sürücü güçlerin (D) sistem üzerinde oluşturduğu

stresler “Baskılar (P)” olarak tanımlanmaktadır. Sisteme etki eden baskılar, kaynakların aşırı kullanımı, kirlilik emisyonu ve baskıların getirdiği maliyet olarak ifade edilmektedir.

Durum (State)

Çevresel sistemin baskı altındaki vaziyeti “Durum (S)” olarak ifade edilmektedir. Hidroloji, bitki örtüsü ve kaynakların kullanılması *fiziksel durumu*; hava, su ve toprak kalitesi *kimyasal durumu*; sistemdeki tatlı su kaynakları, ormanlar ve deniz sularının durumları da sistemin *ekosistem durumunu* ifade etmektedir.

Etkiler (Impacts)

DPSIR yaklaşımında sistem üzerindeki baskıların sistemin durumunda oluşturduğu olumsuz değişikliklere “Etki (I)” denilmektedir. Baskılar sistem üzerinde *çevresel* (ekosistem üzerinde değişiklik) ve *ekonomik* etki (ekonomik yapı üzerindeki değişiklik) oluşturmaktadır.

Tepkiler (Responses)

Çevresel sistem üzerindeki baskıların oluşturduğu etkiler sistemde olumsuz değişikliklerle neden olmaktadır. Bu sorunların çözümü ve sistemin istenilen düzeye getirilmesi için alınan önlemler “Tepki (R)” olarak ifade edilmektedir [EEA, 1999].

2.2 Çalışmada Yararlanılan Modeller

Entegre havza yönetimi, havzayı bir bütün olarak değerlendirip çeşitli senaryolar ışığında çözümler ele almakta, değerlendirmede farklı modellerden faydalanmaktadır. Çeşitli strateji ve senaryolara göre belirlenen su kalitesi ve su kıtlığı sorunları çözümlerinde ise akarsu kalite modellerine ve su bütçesi modellerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Çalışmada su bütçesi modeli olarak WEAP, akarsu kalite modeli olarak QUAL2K modellerinden yararlanılmıştır.

WEAP

WEAP; “Water Evaluation and Planning System” modeli ABD’de bulunan SEI “Stockholm Environment Institute” tarafından geliştirilen su bütçesi, planlaması ve değerlendirilmesi konularında kullanılan bir modeldir.

Model, çeşitli senaryo ve politikalar ışığında sulama sistemlerini talep, arz (rezervuar, yeraltısuyu, akış), yeniden kullanım, kirlilik ve fiyatlandırma açısından değerlendirmektedir [WEAP, 2007].

WEAP modelinde öncelikle, mevcut veriler ışığında uygun ve mantıklı bir şekilde

modellenecek sistemin halihazırdaki durumu oluşturulmakta, hazırlanan bu baz duruma göre gelecekle ilgili kabuller yapılmaktadır.

Oluşturulan referans senaryonun baz alınmasıyla farklı konuları veya soruları içeren alternatif senaryolar üretilebilmektedir. Modellerin özellikle de WEAP modelinin en önemli avantajı çok sayıda ve farklı değişkenlere göre kolaylıkla alternatif senaryolar üretebilmesi ve karar vericilere yardımcı olmasıdır.

QUAL2K

U.S.EPA tarafından bedelsiz olarak kullanıma açılan ve bir önceki sürümün geliştirilmiş bir hali olan QUAL2K, nehir ve akarsu modellemesinde kullanılan tek boyutlu, deterministik bir su kalite modelidir [Chapra, Pelletier ve Tao, 2007].

Model, akarsu kanalının dikeyde ve yatayda iyi bir şekilde karıştığını, sistemin akarsu ve kollarından oluştuğunu ve kararlı hal hidroloji benzeşimi yaptığını kabul etmektedir.

QUAL2K modelinde, akarsu sistemi benzer hidrolik özelliklere (eğim, taban genişliği vb.) sahip olan akarsu parçalarına ayrılarak hesaplamalar yapılmaktadır.

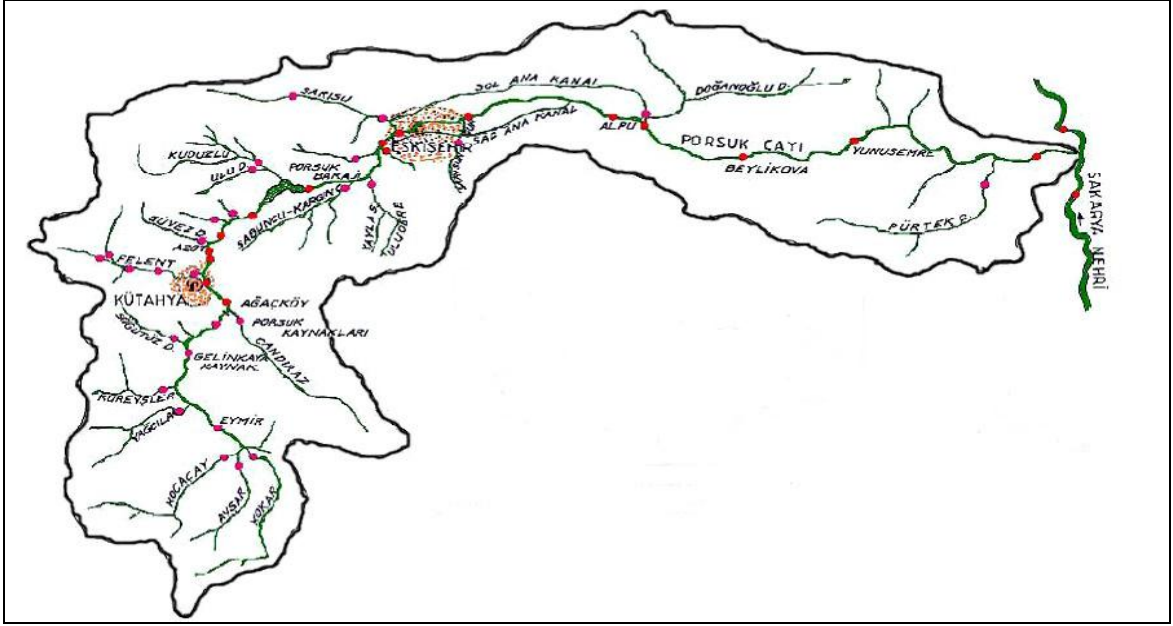
QUAL2K modeli ile DO (çözünmüş oksijen), BOD (biyokimyasal oksijen ihtiyacı), sıcaklık, amonyak, nitrit ve nitrat azotları, organik ve çözünmüş fosfor vb. su kalitesi parametreleri modellenebilmektedir [Park, Clough ve Wellman, 2008]

3 PORSUK HAVZASI

Sakarya nehrinin bir kolu olan Porsuk çayı havzası, Kütahya ve Eskişehir illerinin bulunduğu Batı İç Anadolu Bölgesinde 11.188 km²’lik bir alanda yer almaktadır (Şekil 2).

460 km. uzunluğundaki Porsuk çayı havzının güneyinde bulunan Murat Dağı eteklerinden doğmakta, Kokar çayı ve Çat dere yan kollarıyla birleşerek kuzeye doğru ilerlemektedir. Porsuk çayı, Kütahya ve Eskişehir ilinden geçtikten sonra doğuya doğru ilerleyerek Sazılar mevkiinde Sakarya nehrine karışmaktadır.

Porsuk çayından Eskişehir ve Kütahya illerinin içme ve kullanma suyu karşılanmaktadır. Eskişehir ilinde içme suyu ihtiyacı Porsuk çayının arıtılmasıyla, Kütahya ilinde ise Porsuk çayına karışan Porsuk kaynaklarının klorlama işlemi yapılmasıyla karşılanmaktadır.



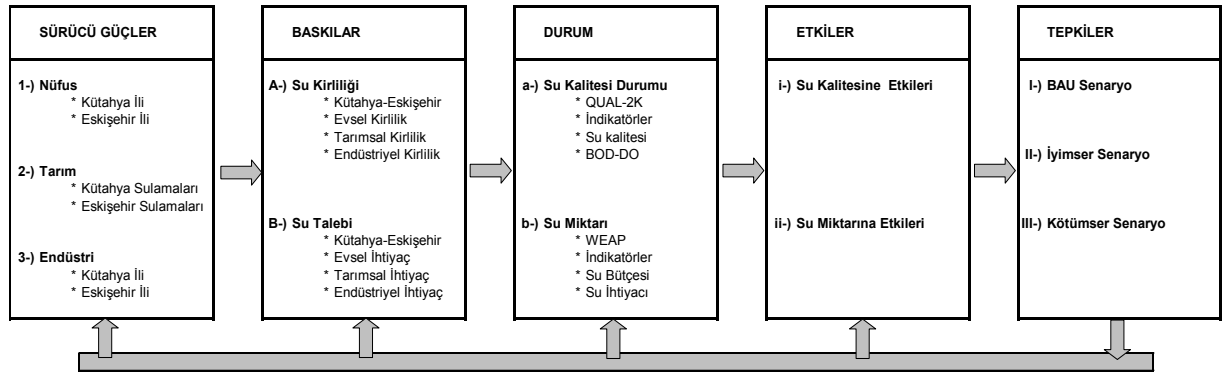
Şekil 2 - Porsuk Çayı Havzası

Şekil 3'de Porsuk çayı havzasının DPSIR yaklaşımıyla tanımlanması yapılmıştır. Porsuk çayı havzasında Eskişehir ve Kütahya gibi önemli yerleşim merkezlerinin nüfusu, tarımsal ve endüstriyel faaliyetleri havza üzerinde sürücü güçleri oluşturmaktadır.

Özellikle kent merkezlerindeki artan nüfus evsel atıkların artmasına neden olmakta,

beraberinde getirdiği tüketim artışıyla kaynakların kullanılmasını artırmaktadır.

Nüfus, tarımsal ve endüstriyel faaliyetler havza üzerinde kirlilik yönünden ve su miktarı açısından baskılar oluşturmaktadır. Baskılar çoğunlukla evsel, tarımsal ve endüstriyel faaliyetler sonucunda oluşmakta ve Porsuk çayı su kalitesinde ve miktarında etkileri görülmektedir.



Şekil 3 - Porsuk Çayı Havzasında DPSIR yaklaşımı uygulaması

Porsuk çayında uzun yıllardan beri su kalitesi ölçümleri yapılması nedeniyle Porsuk havzası, su kalitesi gözlem çalışmaları açısından diğer havzalara göre daha şanslıdır. Memba, baraj ve mansap bölgelerindeki kalite gözlem istasyonlarıyla Porsuk çayının su kalitesi membadan Sakarya nehrine döküldüğü bölüme kadar incelenmektedir.

4 UYGULAMA

4.1 Veriler

Çalışmada, Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından ölçülmüş akım ve kalite (BOD ve DO) verileri

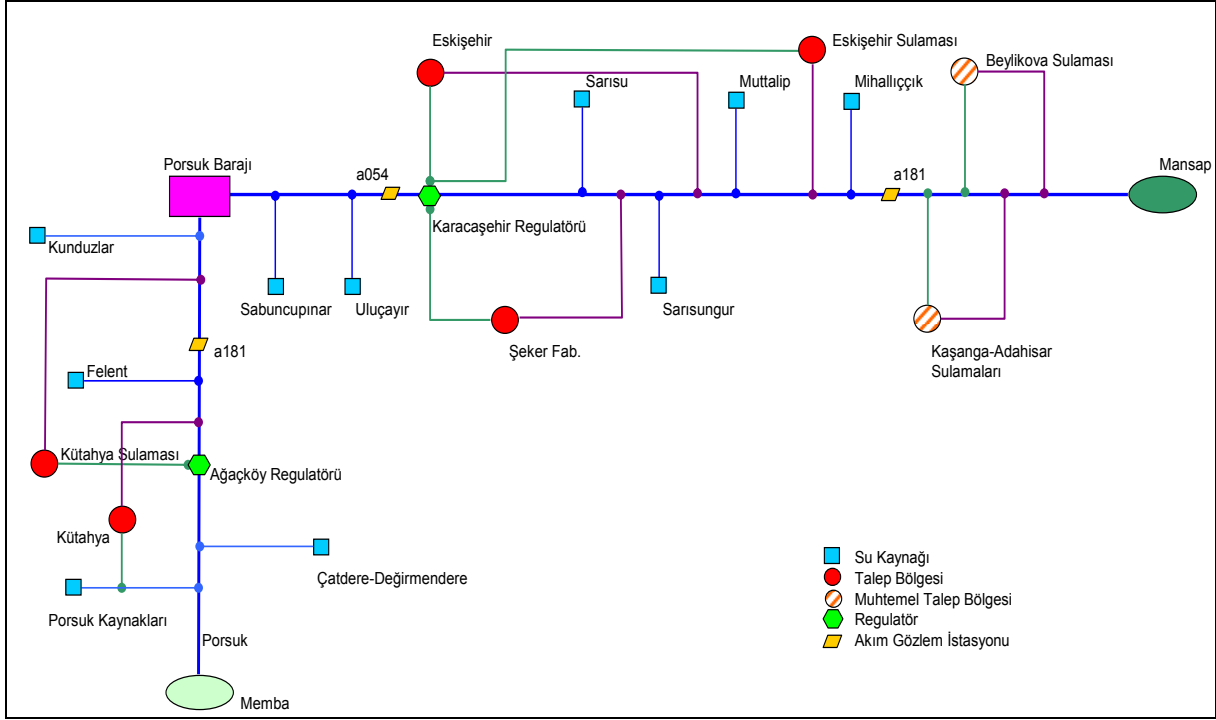
kullanılmıştır [DSİ, 2001]. Meteorolojik bilgiler bölgedeki Devlet Meteoroloji (DMİ) istasyonlarından, hidrolik özellikler ise yine DSİ'den temin edilmiştir. Deşarjlarla ilgili bilgiler için Çevre İl Müdürlüğü ve DSİ envanterlerinden faydalanılmıştır.

4.2 Mevcut Durum Su Miktarı (Kıtlığı)

Porsuk çayı havzasında karşılaşılan su miktarı (kıtlığı) probleminin çözüm bulma çalışmalarında WEAP modelinden faydalanılmıştır.

Havza su bütçesi modelinde “Memba-Kütahya-Porsuk Barajı-Eskişehir-Mansap” olmak üzere tek bölümde ifade edilmiştir.

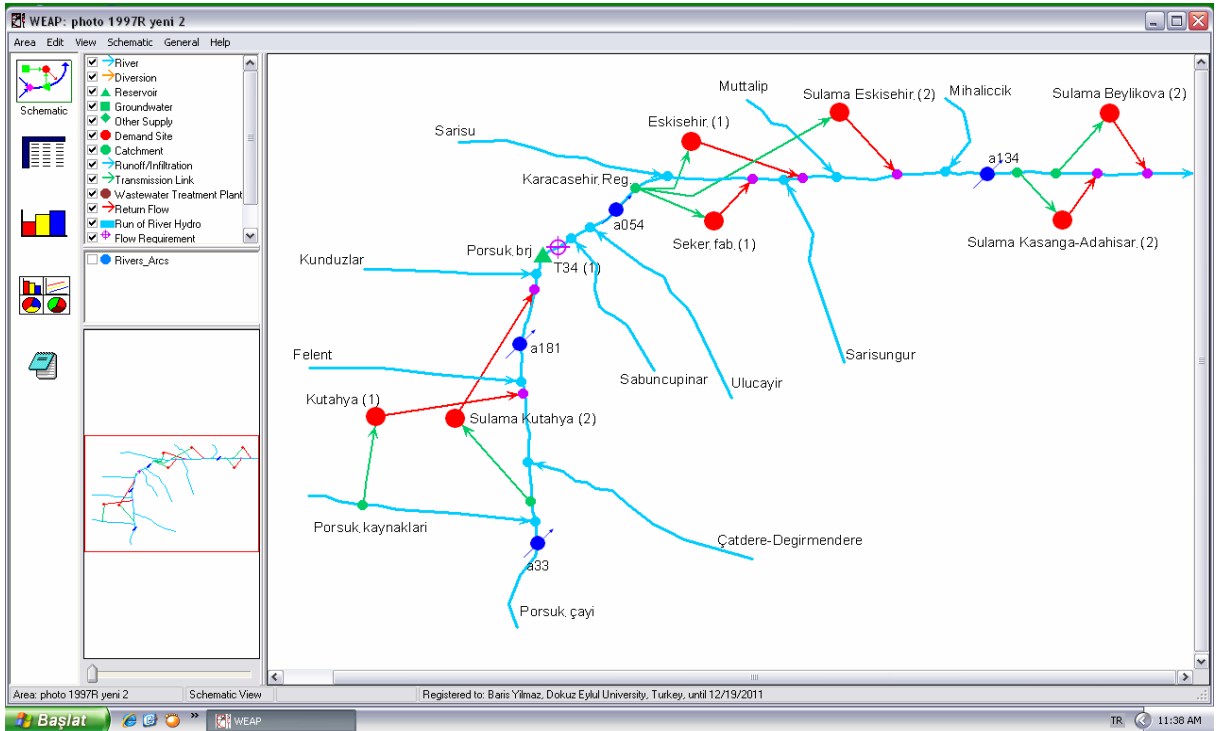
Çalışmada su ihtiyacı (m^3), kayıplar dahil su ihtiyacı (m^3) ve karşılanamayan su ihtiyacı (m^3) su bütçesi indikatörleri olarak seçilmiştir.



Şekil 4 - Porsuk Çayı Havzasının topolojik gösterimi

Havzanın fiziksel, topografik, hidrolojik ve hidrolik özellikleri tanımlanmış, noktasal, yayılı çekim ve deşarjlar belirlenmiş, rezervuar özellikleri tanımlanmış, gelecekte yapılması

planlanan sulamalar belirtilmiş ve havzanın topolojik gösterimi oluşturulmuştur (Şekil 4).



Şekil 5 - Porsuk Çayı Havzasının WEAP programındaki modelinin şematik gösterimi

Oluşturulan topolojik gösterim ve gösterimdeki her bir elemanın bütün özellikleri WEAP programına girilmiş, Porsuk çayı üzerinde bulunan akım gözlem istasyonlarının gözlenmiş değerleriyle akım (debi) değerleri kalibre edilerek havzanın WEAP programında modellenmesi gerçekleştirilmiştir (Şekil 5).

Modelde, su kirliliği modeli çalışmasıyla bir bütünlük oluşturması amacıyla, havzanın "Memba-Kütahya-Porsuk Barajı-Eskişehir-Mansap" bölümü için su kıtlığı açısından kurak yıl olarak 1997 yılı seçilmiştir. Membadan Porsuk Barajına kadar olan bölümde Kütahya içmesuyu ihtiyacının bir bölümü (Porsuk Kaynakları Porsuk çayına mansaplanmakta), Kütahya sulaması, Porsuk Barajından-mansap bölümüne kadar olan bölümde Eskişehir içmesuyu ihtiyacı, şeker fabrikası ihtiyacı, Eskişehir sulaması ihtiyaçları karşılanmaktadır. Mevcut durumda Porsuk çayından içme, kullanma ve sulama suyu açısından faydalanılmakta, taleplerin karşılanamaması gibi bir durum bulunmamaktadır.

Su Kalitesi

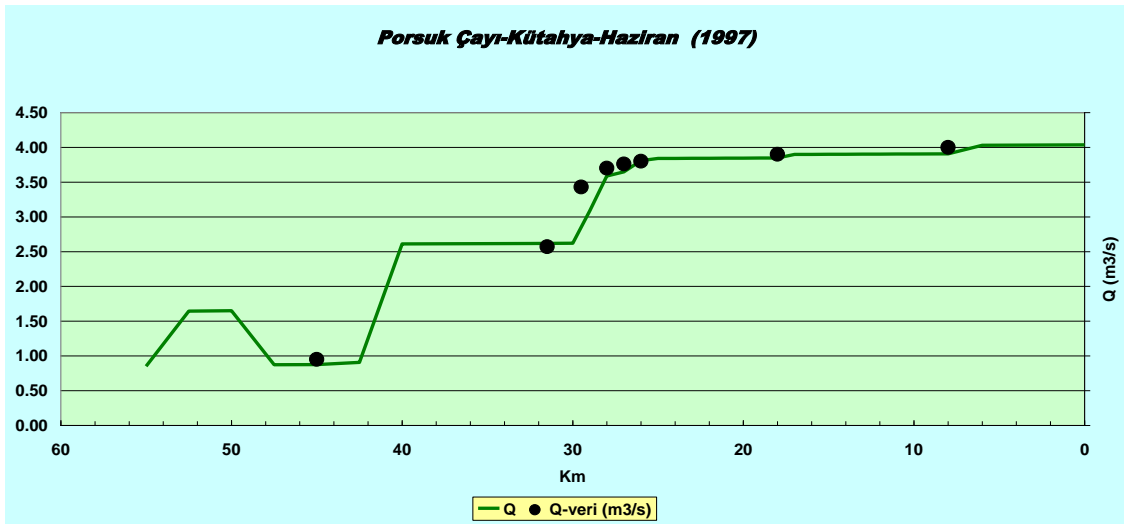
Porsuk çayı havzasında su kalitesini inceleyebilmek amacıyla QUAL2K modeli ile gerçekleştirilen modelleme çalışmalarında akarsu sistemi, "Memba-Kütahya-Porsuk Barajı" ve "Porsuk Barajı-Eskişehir-Mansap" olmak üzere iki bölümde ele alınmıştır. Her iki bölümün fiziksel, topoğrafik, hidrolojik ve hidrolik özellikleri tanımlanmış, noktasal ve

yayıllı, çekim ve deşarjlar sisteme kaydedilmiştir. Kalite çalışmalarında gösterge olarak genellikle biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOD) ile çözülmüş oksijen (DO) kullanılmaktadır. Ayrıca, havzada bu parametrelere ait daha uzun süreli veri bulunmaktadır. Bu nedenlerle, çalışmada kirlilik göstergesi olarak BOD ve DO parametreleri seçilmiştir.

Model, oluşturulan deşarj girdi seti korunarak, incelenen ayların farklı yıllardaki başlangıç şartları altında ayrı ayrı çalıştırılmış; model parametreleri tüm yıllar için gözlenmiş ve modellenmiş debi, BOD ve DO değerlerinde uyumu sağlayacak şekilde kalibre edilmiştir.

Porsuk çayı havzası kurak yıllardan olumsuz etkilenmektedir. Çalışmada da havzanın karşılaşacağı olumsuz durumu incelemek için kirlilik ve su kıtlığı açısından en olumsuz koşulların olduğu 1997 yılı seçilmiştir. Mevcut verilerin eksiksiz olması nedeniyle, havzanın "Memba-Kütahya-Porsuk Barajı" bölümü Haziran, "Porsuk Barajı-Eskişehir-Mansap" bölümü için ise Ağustos ayı için modellenmiştir.

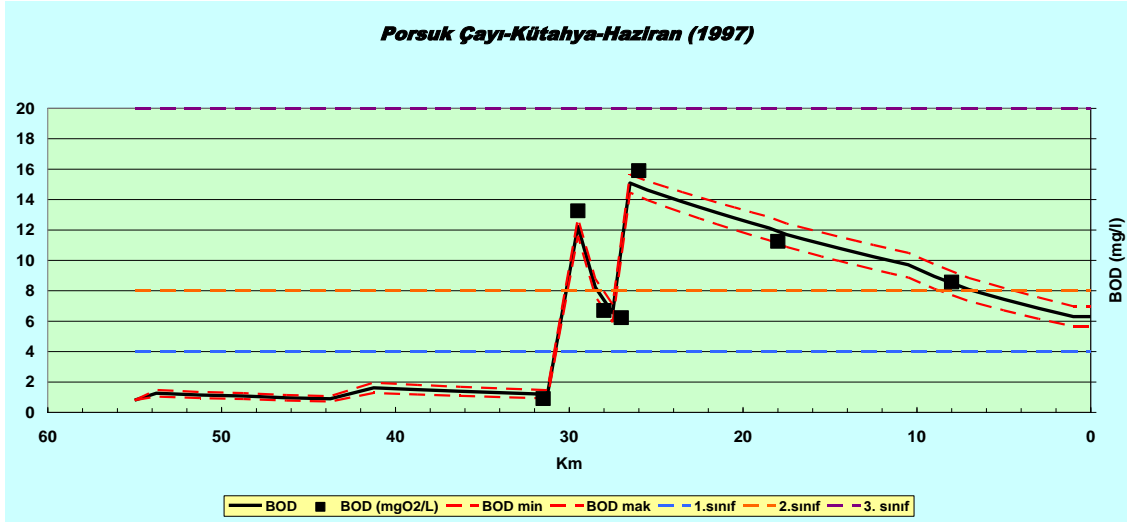
Şekil 6'da "Memba-Kütahya-Porsuk Barajı" bölümü için noktasal ve yayıllı, çekim ve deşarjlar dikkate alınarak elde edilen akarsu boyunca debi değişimi görülmektedir. Bu ve bundan sonraki şekillerdeki siyah noktalar gözlenmiş akımları temsil etmektedir.



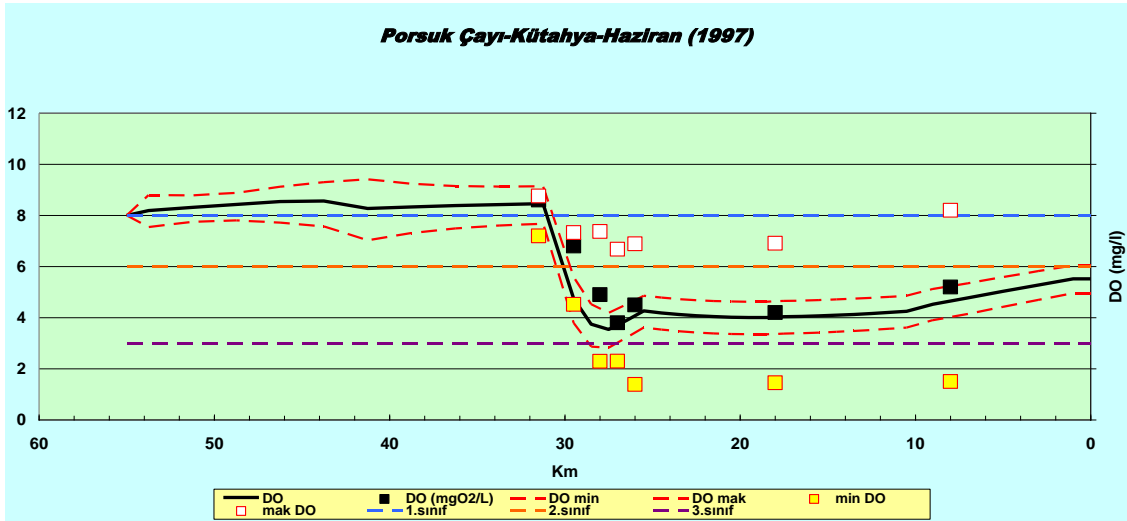
Şekil 6 - "Memba-Kütahya-Porsuk Barajı" bölümü debi değişimi (Mevcut Durum)

"Memba-Kütahya-Porsuk Barajı" bölümünün mevcut durumu için BOD ve DO parametrelerine ait konsantrasyonların akarsu boyunca değişimleri Şekil 7 ve Şekil 8'de sunulmaktadır. Grafiklerdeki kesikli çizgiler

modelleme aralığını, siyah noktalar o yılda gözlenen değerleri, sarı ve beyaz noktalar ise tüm yıllar için gözlenmiş en düşük ve en yüksek konsantrasyonları temsil etmektedir.



Şekil 7 - "Memba-Kütahya-Porsuk Barajı" bölümü BOD dengesi (Mevcut Durum)



Şekil 8 - "Memba-Kütahya-Porsuk Barajı" bölümü DO dengesi (Mevcut Durum)

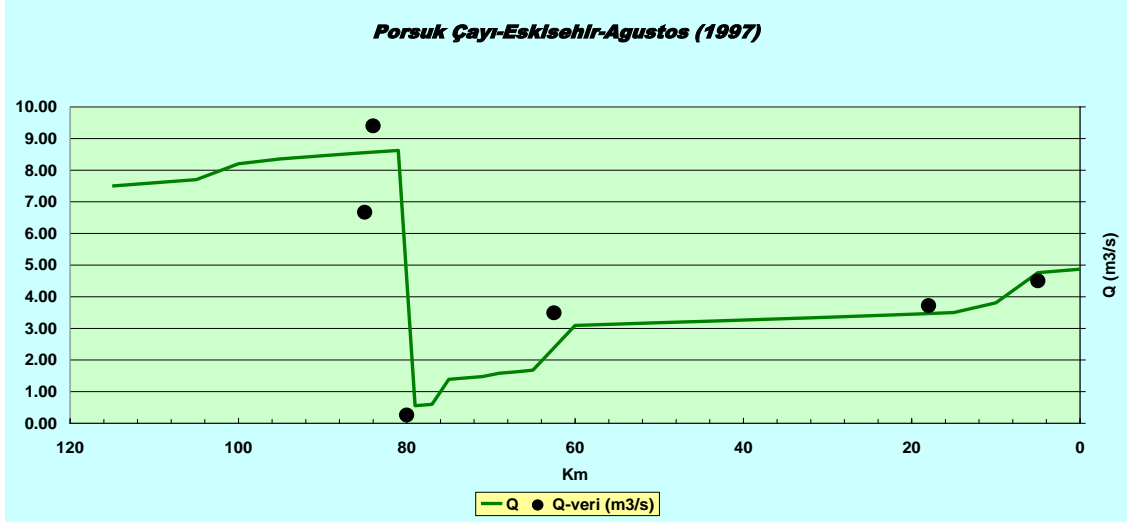
Memba ve Kütahya ili arasında yoğun sanayi ve yerleşim yeri etkileri bulunmadığı için su kalitesi DO ve BOD açısından Kıta İçi Su Kaynakları Kontrol Yönetmeliği'ne (SKKY) göre 1. sınıf kalitede bulunmaktadır. Kütahya iline girişte özellikle mezbaha, atıksu arıtma tesisi deşarjlarıyla su kalitesi 3. sınıfa düşmekte, porselen sanayi, azot sanayi vd. sanayi deşarjlarıyla Porsuk Barajına kadar bu kalite sınıfı devam etmektedir. Porsuk Barajı gölü doğal arıtma görevini yerine getirmesiyle Porsuk Baraj çıkışı su kalitesi 1. sınıf su kalitesi sınıfına gelmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümü olan "Porsuk Barajı-Eskişehir-Mansap" bölgesinde Porsuk çayına etkileyen noktasal ve noktasal olmayan çekim ve

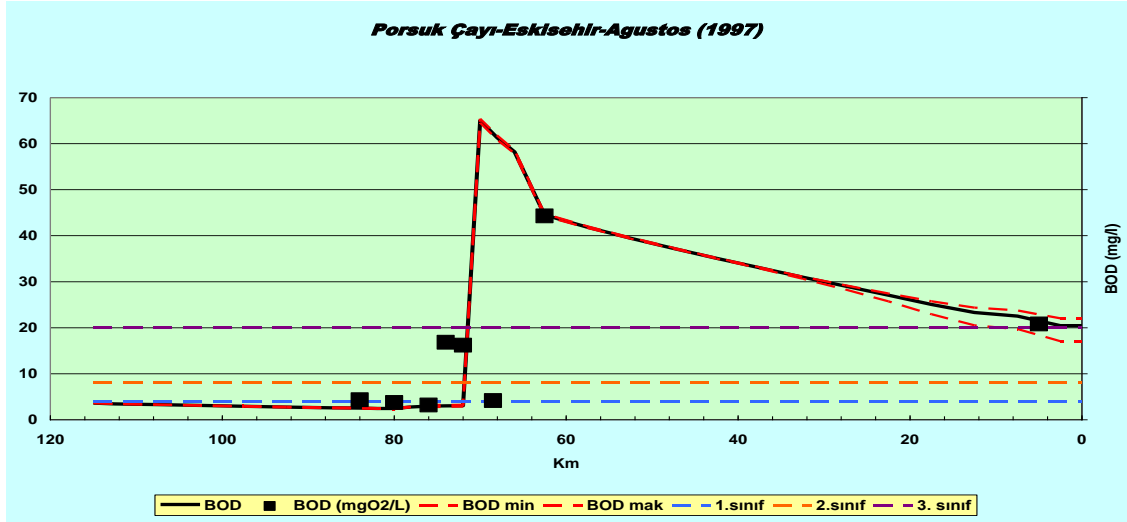
deşarjlar sisteme dahil edilerek ölçülmüş değerlerde dikkate alınarak debi dengesi oluşturulmuştur (Şekil 9).

Şekil 10 ve Şekil 11'de sunulan akarsu boyunca modellenmiş BOD ve DO konsantrasyon değişimlerinden görüldüğü gibi, Eskişehir ilinden çıkışta mezbaha, Eskişehir ili atıksuları ve özellikle kış aylarında şeker fabrikası deşarjlarıyla su kalitesi 3. ve 4. sınıf seviyelerine gelmektedir.

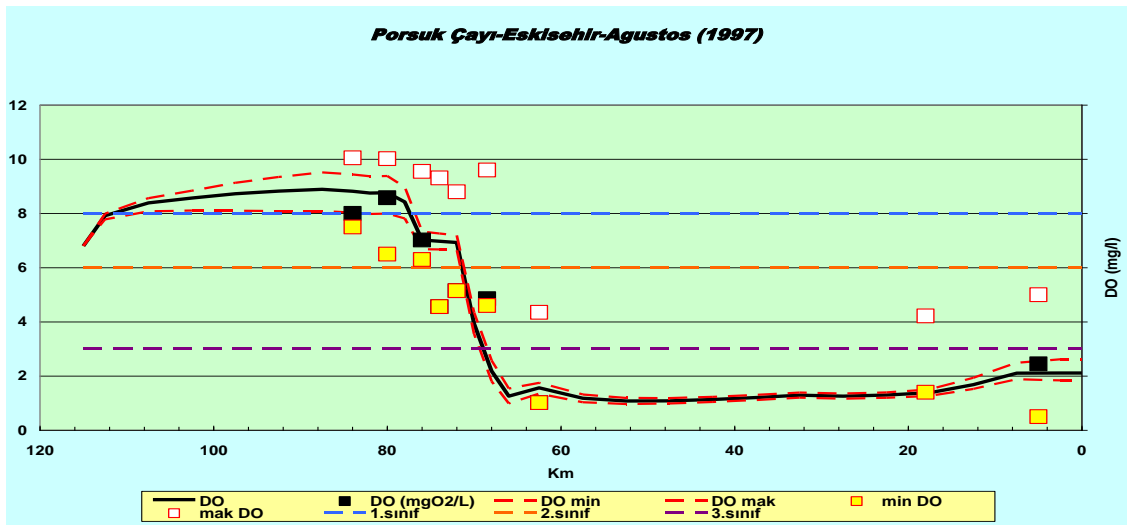
Porsuk çayının Eskişehir ilinden Sakarya nehri birleşimine kadar olan bölümünde, sulamadan dönen sular mansap kısmına kadar su kalitesinin 3. sınıfta yer almasına neden olmaktadır.



Şekil 9 - "Porsuk Barajı-Eskişehir-Mansap" bölümü debi dengesi (Mevcut Durum)



Şekil 10- "Porsuk Barajı-Eskişehir-Mansap" bölümü BOD dengesi (Mevcut Durum)



Şekil 11 - "Porsuk Barajı-Eskişehir-Mansap" bölümü DO dengesi (Mevcut Durum)

Sonuç olarak, Porsuk Çayı Havzası su kalitesinin mevcut durumu Kıta İçi Su Kaynakları yönetmeliği su kriterleri açısından kabul edilebilir sınırlar içerisinde bulunmamaktadır. Mevcut durumun düzeltilmesi için bazı önlemlerin ele alınması gerekmektedir.

4.3 Geleceğe Ait Senaryolar

Gelecek yıllarda bölgedeki illerin artan içme ve kullanma suyu talepleri, yeni açılacak sulama alanları, mevcut sulamalardaki su kullanım oranlarının artması vb. nedenler su ihtiyacını ve kirlilik deşarjlarını artırmakta, beraberinde taleplerin karşılanamaması ve su kalitesi sorunu riskini oluşturmaktadır. Bu durum önlem alınması ihtiyacını doğurmaktadır.

Havzayla ilgili olarak su kalitesindeki eğilimlerin belirlenmesine yönelik diğer bir çalışmada Porsuk çayı üzerinde seçilen 9 gözlem istasyonuna ait 1986-2005 dönemi su kalitesi verileri parametrik olmayan (Spearman-rs ve Kendall-τ) yöntemlerle eğilim analizleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1- Porsuk Çayı Havzası için oluşturan senaryolara ait kabuller

Değişkenler	Talep Bölgeleri	Mevcut Durum	Mevcut (BAU)	İyimser (OPT)	Kötümser (PES)
Nüfus Artış Hızı	Kütahya Eskişehir	170.000 kişi 485.000 kişi	0,024 0,016	0,020 0,014	0,030 0,030
Su Kullanım Artış Hızı	Kütahya Eskişehir	29,2 m ³ /kişi 30,3 m ³ /kişi	%0,50/yıl %0,50/yıl	%0,50/yıl %0,25/yıl	%0,75/yıl %0,75/yıl
Kayıplar	Kütahya Eskişehir	%60 %66	%60 %66	%30 %30	%60 %66
Sulama Oranları	Kütahya sul. Eskişehir sul. Adahisar sul. Kaşanga sul. Beylikova sul.	%30 %68 %0 %0 %0	%30 %68 %70 %70 %70	%30 %68 %70 %70 %70	%50 %80 %80 %80 %80
Yıllık Su Kullanım Miktarı	Kütahya sul. Eskişehir sul. Adahisar sul. Kaşanga sul. Beylikova sul.	3941 m ³ /ha 3173 m ³ /ha 4000 m ³ /ha 4000 m ³ /ha 4000 m ³ /ha	%0 %0 %0 %0 %0	-%10 +%10 -%10 -%10 -%10	+%10 +%10 +%10 +%10 +%10
Sulama Kayıpları	Kütahya sul. Eskişehir sul. Adahisar sul. Kaşanga sul. Beylikova sul.	%61,5 %55 - - -	%61,5 %55 %35 %35 %35	%30 %30 %25 %25 %25	%61,5 %55 %50 %50 %50
Aritma Durumu		Yok	Yok	Var	Yok
Su Kalitesi		-	-	Kirlilik seviyesini %50 azaltma	-

Havzada bulunan Kütahya ve Eskişehir sulamalarında Porsuk çayından faydalanılarak sulama yapılmaktadır. Sulama işlemi mevcut sulama tesislerinden yararlanarak veya çiftçi olanaklarıyla sulama tesisini kullanmadan gerek yeraltı gerekse yerüstü sulaması yapılarak gerçekleştirilmektedir. Sunulan çalışmada sulamalara ait sulama oranlarında, mevcut tesislerin kullanılması ve Porsuk

Elde edilen sonuçlardan, Porsuk çayı kalite parametrelerinin kötüleşme eğiliminde olduğu belirlenmiştir [Çetin ve Harmancıoğlu, 2007].

Çalışmanın son bölümünde, havza DPSIR yöntemiyle değerlendirilerek geleceğe ait (2050 yılı) muhtelif senaryolar üretilmiş ve havzanın durumu irdelenmiştir.

Havzanın su kirliliği ve su kıtlığı açısından değerlendirilmesinde, gelecekle ilgili öngörüler yapabilmek için üç farklı senaryo ele alınmıştır. Bunlar;

- “mevcut durumun devam ettiği (BAU) senaryo”
- “iyimser durum-optimistik (OPT) senaryo”
- “kötümser durum-pesimistik (PES) senaryo”

olarak ifade edilmiştir.

Porsuk çayı havzasının yukarıda belirtilen 3 farklı duruma ait senaryo oluşumunda Çizelge 1’de belirtilen kabuller yapılmıştır.

çayından çiftçi olanaklarıyla sulanan alanların oranları birlikte değerlendirilmiştir.

Kütahya ve Eskişehir sulamalarında bölgelerin farklı sosyo-ekonomik ve iklimsel özelliklerinden dolayı sulanan alanlardaki bitki deseni dağılımında değişiklikler gözükmemektedir. Kütahya sulamasında büyük oranda şeker pancarı ve yem bitkileri,

Eskişehir sulamasında ise hububat ve şeker pancarı üretimi yapılmaktadır. Farklı bitki desenleri farklı bitki su ihtiyacına neden olmakta, Eskişehir sulamasında diğer bölgelerden farklı olarak hububat sulaması yapılmasına rağmen Kütahya sulamasından daha az miktarda bitki su ihtiyacına gereksinim duymaktadır. Senaryo çalışmasında mevcut ve açılacak sulama alanlarında bitki deseninin (iyimser senaryoda az veya kötümser senaryoda çok su isteyen bitkiler) mevcut durumdan farklı şekilde oluşacağı kabul edilmiştir.

Mevcut sulama tesislerinden Kütahya sulamasının üçte ikisi klasik sistem geri kalanı ise kanaletli sistem, Eskişehir sulamasının tamamı klasik sistem olarak hizmet vermektedir. Bilindiği üzere klasik sistemlerin kullanıldığı yüzeysel yöntemlerle yapılan sulamalarda yersel kayıplar oldukça fazla olmaktadır. Havzadaki mevcut sulamalarda kayıpların yaklaşık %55-62 arasında değiştiği tespit edilmiş, açılacak yeni sulamaların borulu sistem olacağı için kayıpların daha düşük seviyede olacağı düşünülmüştür.

Porsuk çayından direkt olarak (arıtma yapılarak) Eskişehir ili, dolaylı olarak da (Porsuk Kaynakları) Kütahya ili kullanma ve içmesuyu ihtiyacı karşılanmaktadır. Ülkemizdeki diğer şehirlerde görüldüğü üzere söz konusu illerde iletim ve dağıtım hattında yüksek oranda kayıplar gözükmemektedir. Artan nüfus, kayıplar ve gelişmişlik düzeyiyle artan

kişi başına tüketilen su miktarı şehirlerin gelecekle ilgili su ihtiyacını önemli ölçüde artırmaktadır. Senaryo oluşumunda şehirlerin geçmişteki nüfus eğilimlerine göre tespit edilen nüfus artış hızları, gelecekteki olması muhtemel su kullanım miktarları ve kayıpların azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılacağı kabullerinden faydalanılmıştır.

Yukarıda da belirtilen kabuller ışığında mevcut (BAU), iyimser (OPT) ve kötümser (PES) senaryolar oluşturulmuş, her bir durumun su kirliliği ve su miktarı (kıtılığı) açısından etkileri belirlenmiştir.

4.4 Senaryoların Etkileri

Sunulan çalışmada Porsuk çayı havzasının DPSIR yaklaşımıyla irdelenmesi ve gelecekle ilgili olası senaryoların oluşturulmasında, yukarıdaki bölümlerde belirtildiği üzere, "WEAP" su bütçesi modeli ve "QUAL2K" su kalite modelinden faydalanılmıştır.

Havzanın farklı senaryolar altındaki gelecekteki (2050 yılı) olası durumu ve senaryoların havza üzerine etkileri su miktarı (kıtılığı) ve su kalitesi açısından incelenmiştir.

Su Miktarı Açısından

Mevcut durumda, Porsuk çayı havzası su miktarı açısından incelendiğinde, çalışma yılının kurak bir yıl seçilmesine rağmen su kıtlığıyla karşılaşılan çok kritik bir bölge bulunmadığı görülmüştür.

Çizelge 2- Porsuk Çayı Havzası su miktarı çalışması için senaryolara göre WEAP model sonuçları

TALEP BÖLGELERİ	YILLIK SU İHTİYACI (milyon m3)				KAYIPLAR DAHİL YILLIK SU İHTİYACI (milyon m3)				KARŞILANAMAYAN YILLIK SU İHTİYACI (milyon m3)			
	Mev	BAU	OPT	PES	Mev	BAU	OPT	PES	Mev	BAU	OPT	PES
	1997	2050			1997	2050			1997	2050		
Kütahya Sulaması	2,0	2,0	1,8	3,7	5,2	5,2	2,6	9,6	0	4,9	0	9,6
Kütahya İçmesuyu	5,0	22,7	18,5	35,3	12,4	56,8	26,4	88,3	0	23,3	0	54,7
Eskişehir İçmesuyu	14,7	44,4	35,0	104,6	43,2	130,6	50,1	307,7	0	6,1	0	148,3
Eskişehir Sulaması	35,8	35,8	39,4	46,3	79,6	79,6	56,3	103,0	0	51,2	0	101,5
Şeker Fabrikası	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	0	0,8	0	7,1
Beylikova Sulaması	0	30,4	27,4	38,2	0	46,8	36,5	76,4	0	0	0	4,5
Kaşanga Sulaması	0	8,6	7,8	10,9	0	13,3	10,4	21,7	0	0	0	1,3

Ancak gelecek yıllarla (2050 yılı) ilgili olarak şehirlerin artan kullanma suyu ihtiyaçları, Kaşanga, Adahisar, Beylikova vb. yeni açılacak sulama alanları, mevcut sulamalardaki su kullanım oranlarının artması gibi nedenler Porsuk çayından su kullanım taleplerinin artışına neden olacaktır.

Oluşturulan üç farklı durumun sonuçlarının bulunduğu Çizelge 1 incelendiğinde, iyimser senaryo (OPT) hariç diğer iki senaryoda 2050 yılında talep bölgelerinde talebin karşılanamama riskinin bulunduğu görülmektedir.

Özellikle Kütahya ve Eskişehir illerinin içme ve kullanma suyu ihtiyaçlarının karşılanmasında

sıkıntılarla karşılaşmaktadır. Kütahya ilinin içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılayan Porsuk Kaynakları zamanla yetersiz kalmakta yerüstü ve yeraltı olmak üzere alternatif kaynaklara gereksinim duyulmaktadır. Alternatif kaynakların bulunması ilave yatırım ve arıtma ihtiyaçlarına yol açmaktadır.

Devlet Su İşleri (DSİ) ile Eskişehir Büyükşehir Belediyesi arasında protokoller uyarınca Eskişehir Kentinin İçme ve kullanma ihtiyacı için Porsuk çayından 100 hm³/yıl su ayrılmıştır [Efelerli ve Büyükerşen, 2006]. Mevcut durumun sürmesinde yaklaşık 2050'li yıllarda, kötümser senaryonun oluşması halinde 2030'lu yıllarda bu tahsis yetersiz kalacak, alternatif kaynak arayışına yönelinecektir.

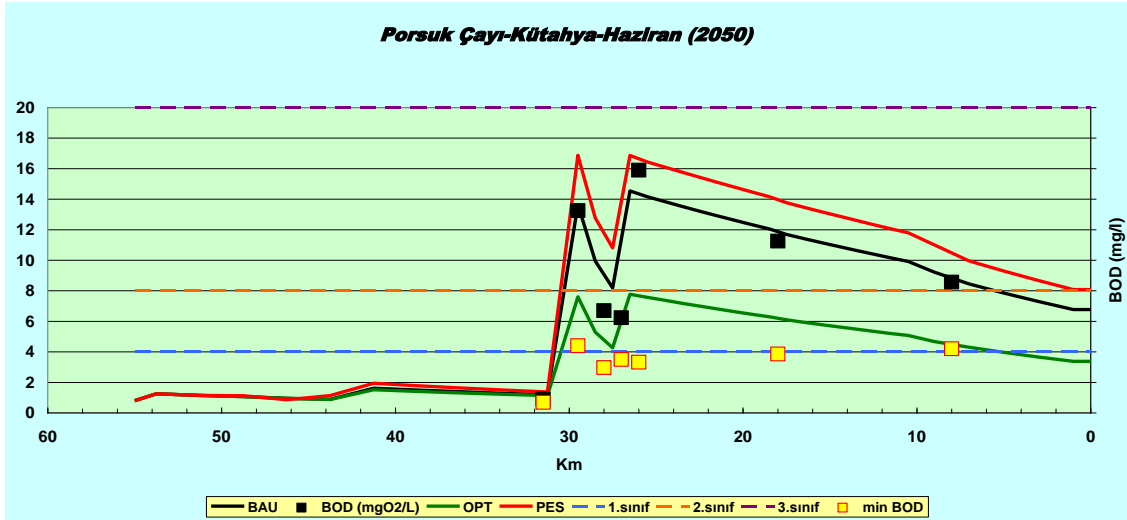
Eskişehir ve Kütahya sulamaları mevcut hallerinde yüksek yersel kayıplar nedeniyle önemli oranda su tüketimine neden olmaktadır.

Sulamalarda herhangi bir rehabilitasyon çalışması yapılmaması halinde (BAU ve PES senaryo) talebin karşılanamama durumlarıyla karşılaşmaktadır. Bu durum hizmete açılacak Beylikova, Kaşanga ve Adahisar sulamalarını da etkileyecek, bu sulamalar için gerekli su tahsisini de engelleyecektir.

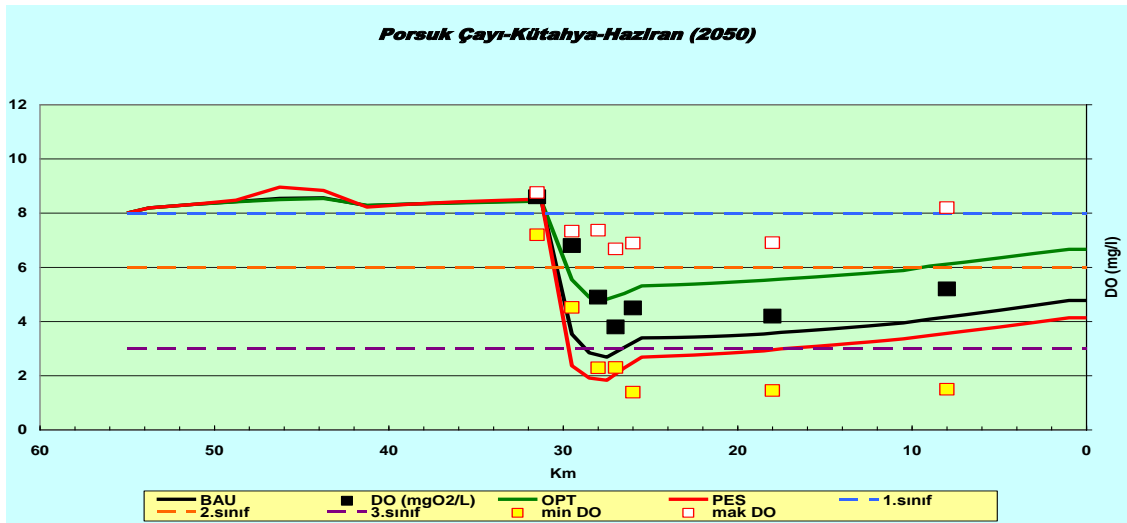
Ayrıca ileriki yıllarda şeker fabrikasının aynı üretim kapasitesini sürdürmesi veya ilave yatırımla kapasiteyi artırması halinde farklı su kaynaklarına ihtiyacı oluşacaktır.

Su Kalitesi Açısından

Havzanın alternatif senaryolara göre gelecekteki durumu su kirliliği açısından incelendiğinde, Şekil 11 ve Şekil 12'den de görüldüğü üzere, memba bölgesinden Kütahya iline kadar olan bölümde herhangi bir kirletici kaynak olmadığı için su kalitesi 1. sınıf niteliğini korumaktadır.



Şekil 11 - "Memba-Kütahya-Porsuk Barajı" bölümü BOD açısından senaryolara ait sonuçlar



Şekil 12 - "Memba-Kütahya-Porsuk Barajı" bölümü DO açısından senaryolara ait sonuçlar

Mevcut durum (BAU) ve kötümser (PES) senaryoda, Kütahya iline girişte bulunan mezbaha, atıksu arıtma tesisi ve sanayi bölgesi (Tügsaş, porselen sanayi) deşarjlarında herhangi bir düzelme olmadığı aksine deşarjların arttığı kabulüyle su kalitesinin 3. sınıf kalite sınıfında bulunacağı ve çok kötü kalite seviyesi olan 4. sınıf kalite sınıfına yaklaşacağı görülmektedir.

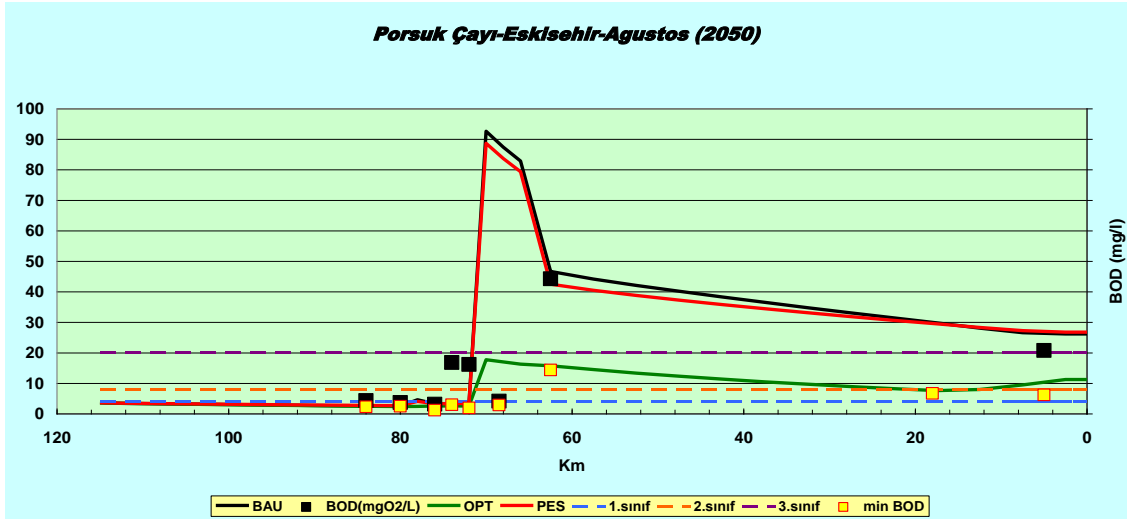
Ancak dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta da, iyimser (OPT) senaryoda deşarjlarda %50 seviyesinde arıtma yapıldığı kabulüyle, su kalitesi sınıfınının 3. ve 2. sınıf kalite seviyesine yükselmesidir.

Buna göre, gelecekte Kütahya ilinden sonra istenilen seviyelerde su kalitesini sağlayabilmek için sanayi tesislerinde atıksu arıtma tesislerinin devreye girmesi, düzenli

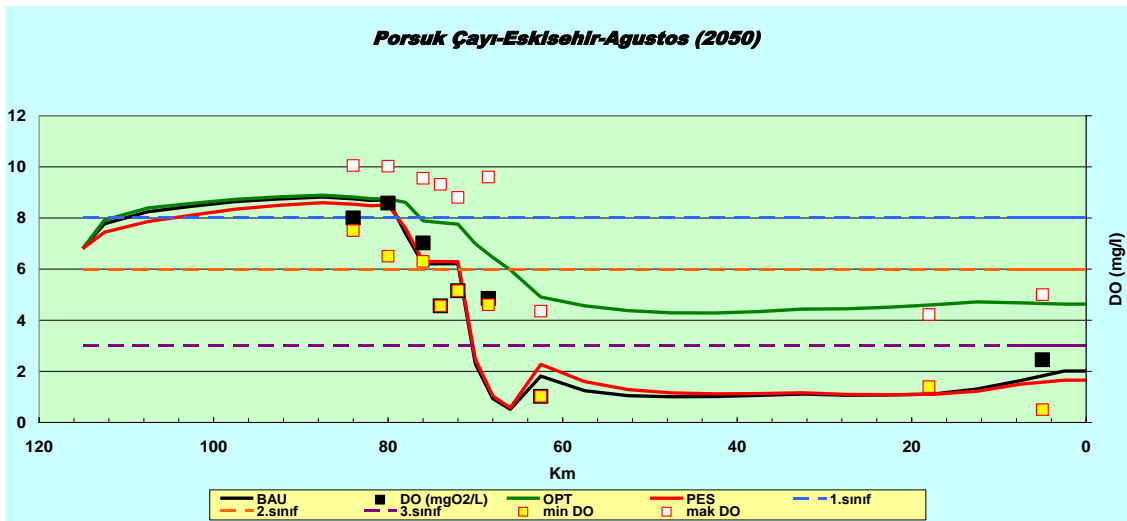
çalıştırılması, yoğun kirlilik taşıyan evsel ve sanayi deşarjlarının engellenmesi gerekmektedir. Bu doğrultudaki politika ve planlamalarla mevcut sorunun çözümü mümkün olabilecektir.

Kütahya ilinden 3. sınıf su kalitesiyle çıkan Porsuk çayı, Eskişehir iline varmadan Porsuk Barajına mansaplanmaktadır. Baraj gölü doğal arıtma görevini yerine getirmesiyle Porsuk Baraj çıkışı su kalitesi 1. sınıf su kalitesi sınıfına gelmektedir.

Şekil 13 ve Şekil 14'de görüldüğü üzere, baraj çıkışından Eskişehir iline kadar olan bölümde kirlilik yükü taşıyan deşarjlar bulunmaması nedeniyle, her üç senaryo durumunda, su kalitesi açısından sıkıntılar yaratmayacaktır. Su kalitesi genellikle 1. ve 2. sınıf kalite arasında değişecektir.



Şekil 13 - "Porsuk Barajı-Eskişehir-Mansap" bölümü BOD açısından senaryolara ait sonuçlar



Şekil 14 - "Porsuk Barajı-Eskişehir-Mansap" bölümü DO açısından senaryolara ait sonuçlar

Porsuk Nehrinin kent geçişini oluşturan 10 km'lik bölümünü Eskişehir Büyükşehir Belediyesi'nin ıslah etmesi sayesinde, Porsuk çayı kent içi geçişlerde bir sorun yaratmamaktadır. Her üç senaryoda mevcut durumun süre geleceği kabul edilmiştir.

Ancak, Eskişehir kent içinden çıkışta Porsuk çayına şeker fabrikası, mezbaha, atıksu arıtma tesisi, hava ikmal akım merkezi vb. gibi kuruluşlara ait yoğun kirlilik yükü taşıyan deşarjların, mevcut durum (BAU) ve kötümser (PES) senaryoda, arttığı kabulüyle Porsuk çayının kalite sınıfı 3. ve 4. sınıf seviyelere yükselmektedir.

Mevcut (BAU) ve kötümser (PES) senaryolar incelendiğinde, Eskişehir çıkışında yoğun bir şekilde kirlenen Porsuk çayının Eskişehir sulaması gibi sulamalardan dönen su kaynaklı kirliliklerin katılımıyla Sakarya nehrine mansaplandığı noktaya kadar 3. ve 4. sınıf su kalitesi sınıfını korumakta olduğu gözlemlenmiştir.

Eskişehir ilinden sonra istenilen seviyelerde su kalitesini sağlayabilmek için yoğun kirlilik taşıyan sanayi deşarjlarının %50 arıtıldığı kabulüyle oluşturulan iyimser (OPT) senaryoda, arıtma işlemiyle Porsuk çayının kalite sınıfının 3. ve 2. sınıf seviyelere yükselmesi görülmüştür.

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Mevcut durumda Porsuk çayından içme, kullanma ve sulama suyu açısından faydalanılmakta, taleplerin karşılanamaması gibi bir durum bulunmamaktadır.

Ancak, Porsuk Çayı Havzası su kalitesinin mevcut durumu Kıta İçi Su Kaynakları Sınıfları, Avrupa Birliği ve Dünya su kriterleri açısından kabul edilebilir sınırlar içerisinde değildir.

Su miktarı (kıtlığı) ve su kalitesi açısından havzanın gelecekteki durumunu DPSIR yaklaşımıyla irdelleyebilmek ve öngörüler yapabilmek için mevcut, iyimser ve kötümser durumu ifade eden üç farklı senaryo oluşturulmuştur.

En olumsuz koşulların olduğu 1997 yılı değerlerinin baz alınmasıyla oluşturulan üç farklı senaryonun sonuçları incelendiğinde, iyimser senaryo hariç olmak üzere talep bölgelerinin ihtiyaçlarının karşılanmadığı görülmüştür.

Kent içi içmesuyu dağıtım hatlarındaki yüksek orandaki kayıplar, su kullanım taleplerinin artışı

ve çeşitlenmesi, sulama alanlarındaki iletim hatlarının yetersizliği, kayıplarının fazlalığı, yanlış sulama yöntemlerinin seçimi vb. etkenler taleplerin karşılanamama durumuna yol açmaktadır.

Kütahya ilinin su ihtiyacının karşılayan ve Porsuk çayına mansaplanan Porsuk kaynaklarının gelecekte yetersiz kalacağı görülmektedir. İçme ve kullanma suyu iletim ve dağıtım hatlarındaki yaklaşık %60 seviyesindeki kayıpların yapılacak rehabilitasyon ve yenileme çalışmalarıyla azaltılması, Porsuk kaynakları gibi işletme maliyetleri artırılmış suyu göre daha düşük kaynakların daha uzun süre kullanılmasını sağlayacaktır.

Yapılan protokol uyarınca Porsuk çayından arıtma yapılarak Eskişehir ili su ihtiyacı karşılanmaktadır. Kent içi içmesuyu dağıtım hatlarındaki yaklaşık %60-65 seviyelerdeki orandaki kayıpların Avrupa Birliği ülkeleri seviyelerine indirilebilmesi Porsuk çayından Eskişehir ili içme ve kullanma suyu ihtiyacının karşılanma yeterliliği ve süresi açısından büyük önem arz etmektedir.

Eskişehir ve Kütahya sulamalarında iletim ve dağıtım hatları kayıplarının yapılacak iyileştirmelerle azaltılması, halihazırdaki büyük orandaki klasik sulama sistemlerinden daha az kayıplara sahip borulu sulama sistemlerine geçilmesi talep bölgelerinde oluşacak kısıtları azaltacaktır.

Ancak bu şekilde, ilave açılacak sulama alanları ve ekstrem nüfus artışları nedeniyle oluşacak muhtemel durumlarda taleplerin karşılanması mümkün olabilecektir.

Senaryo sonuçları su kalitesi açısından değerlendirildiğinde, kirlilik sorununun çözümünde, iyimser (OPT) senaryo hariç diğer iki senaryonun (BAU, PES) yetersiz kaldığı görülmektedir. Sadece iyimser senaryoda yoğun kirlilik taşıyan deşarjların %50 arıtıldığı kabulüyle elde edilen sonuçlardan su kalitesi açısından iyileşme görülmektedir.

Bu nedenle sorunun çözümü için alınması gereken öncelikli önlem, özellikle kent çıkışında deşarj edilen yoğun kirliliklerin etkili arıtma sistemleriyle azaltılması, kabul edilebilir seviyelere getirilmesi olarak düşünülmektedir.

Sonuç olarak, çalışma alanımıza benzer havzaların sorunlarının çözümünde; konunun entegre yönetim uygulamasıyla bir bütün olarak ele alınması, su miktarı (kıtlığı) ve su

kirilligi konularinin birlikte değerlendirilmesi, çözüm çalışmalarında ilgili devlet kurumları, belediyeler, özel sektör, sivil toplum örgütleri vb. mümkün olan bütün paydaşların süreçte yer almasının sağlanması, çözüm için yapılması gerekenlerin en kısa sürede ve en etkili şekilde gerçekleştirilmesi, sonuçların sürekli olarak takip edilmesi ve en önemlisi de su sorunları hakkında toplumsal bilincin oluşturulması büyük önem arz etmektedir.

6 KAYNAKLAR

- [1] Chapra S.C., Pelletier G.J. and Tao H. "QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.07: Documentation and Users Manual", 2007.
- [2] Çetin H.C. ve Harmancıoğlu N., "Porsuk Havzası Entegre Yönetiminde DPSIR Yaklaşımının Uygulanması", V. Ulusal Hidroloji Kongresi, 2007.
- [3] Devlet Su İşleri (DSİ) III.Bölge Müdürlüğü-Eskişehir. "Porsuk Havzası Su Yönetim Planı Projesi", Su/Yapı Mühendislik-Müşavirlik A.Ş., 2001.
- [4] Efelerli S.S. ve Büyükerşen Y., "Porsuk Havzası Su Yönetimi ve Eskişehir Örneęi", TMMOB Su Politikaları Kongresi, 2006.
- [5] European Environment Agency (EEA), "Environmental Indicators: Typology and Overview" Technical Report No 25, 1999.
- [6] Giupponi C., Mysiak J. and Crimi J.S.C., "Participatory Approach in Decision Making Processes for Water Resources Management in the Mediterranean Basin" SMART, 2006.
- [7] Grigg N.S., "Integrated Water Resources Management: Who should Pay?", Journal of American Water Resources Association, vol.35, pp. 527-534, 1999.
- [8] Harmancıoğlu N., "Su Kaynaklarının Yönetiminde Sürdürülebilirlik Göstergeleri", IV. Ulusal Hidroloji Kongresi, 2004.
- [9] Langeweg F., "The Implementation of Agenda 21 'our common failure'?", The Science of the Total Environment, 218, 1998
- [10] Park R., Clough J. and Wellman M., "AQUATOX:Modelling Environmental Fate and Ecological Effects in Aquatic Ecosystems", Ecological Modelling 213, 2008.
- [11] "WEAP:Water Evaluation And Planning System User Guide", 2007.