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

SAYI: 109

DSİ TEKNİK BÜLTENİ

DEVLET SU İŞLERİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

DSİ TEKNİK BÜLTENİ

Sahibi
DEVLET SU İŞLERİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Adına
Haydar KOÇAKER

Sorumlu Müdür
M. Fatih KOCABEYLER

Yayın ve Hakem Kurulu
Zuhal VELİOĞLU
Tuncer DİNÇERKÖK
Servan YILDIRIM
Kemal ŞAHİN

Haberleşme adresi
DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol (TAKK) Dairesi Başkanlığı 06100 Yücetepe - 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
Etlik - Ankara

SAYI : 109
YIL : EKİM 2010

Yayın Türü
Yaygın süreli yayın
Üç ayda bir yayınlanır

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

İÇİNDEKİLER

DERE DÜZENLEMESİNDE TEMEL KAVRAMLAR
Necati AĞIRALİOĞLU, Ebru ERİŞ 1

DEVELİ KAPALI HAVZASI'NDA YAPILAN JEOFİZİK ETÜT ÇALIŞMALARI
F.Ebru YILDIZ, Nail ÜNSAL, İbrahim GÜRER, Nurettin PELEN 13

SULARDA PESTİSİT TAYİNİ VE ÖNEMİ
Muharrem POLAT 23

BETON GEÇİRGENLİĞİNİN KOMPOZİT MALZEME KURAMI İLE İNCELENMESİ
Ali UĞURLU 31

PE BASINÇLI BORULARIN ALIN KAYNAĞI YÖNTEMİYLE BİRLEŞİMİNDEKİ YERSEL YÜK KAYBININ BORU HATTI BOYUNCA HESABI İLE SİSTEMDEKİ TOPLAM YÜK KAYBINA ETKİSİNİN BELİRLENMESİ
Sinan T. SARIOĞLU 43

DSİ TEKNİK BÜLTENİ'NİN AMACI

DSİ Teknik Bülteni'nde, su ile ilgili konularda, temel ve uygulamalı mühendislik alanlarında gönderilen bildiriler yayınlanır. Bildiriler, ilk önce konunun uzmanı tarafından incelenir ve değerlendirilir. Daha sonra, Hakem Kurulu uzman görüşünü de esas alarak bildirinin yayınlanıp yayınlanmamasına karar verir. Bildirilerin 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, bildiriler üzerinde gerekli gördüğü düzeltme ve kısaltmaları yapar.
4. Bildiriler bilgisayarda Microsoft Word olarak bir satır aralıkla yazılmalı ve Arial 10 fontu kullanılmalıdır. Bildiriler 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 numaralandırılmalıdırlar. Eşitlik numaraları sayfanın sağına oturmalı 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 virgül ile ayrılmalıdır.
15. Yararlanılan kaynaklar metinde kaynağın kullanıldığı yerde köşeli parantez içersinde 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 bildirinin 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 işlenme 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 Yücetepe 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

DSİ Teknik Bülteni
Sayı: 109, Ekim 2010

DERE DÜZENLEMESİNDE TEMEL KAVRAMLAR

Necati AĞIRALİOĞLU
Prof. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Maslak İSTANBUL
necati@itu.edu.tr

Ebru ERİŞ
İnş. Yük. Müh., İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Maslak İSTANBUL
eriseb@itu.edu.tr

(Bildirinin geliş tarihi: 07.06.2010, Bildirinin kabul tarihi: 21.12.2010)

ÖZET
Dere düzenlemesi, akarsulardan insanların faydalanması, zararlarından korunması ve doğal güzelliklerinin geliştirilmesi için yapılmaktadır. Geçmişte akarsu düzenlemeleri taşkın kontrolü gibi belirli ve tek bir hedefe hizmet ederken, günümüzde bu düzenlemeler sudan faydalanma ya da ekolojik şartları iyileştirme gibi hedefleri de içermektedir. Dere düzenlemesi yalnızca akarsu yatağını düzenlemekle kalmayıp, akarsu çevresi ve bu çevrede yaşayan canlıları da göz önüne almalıdır. Bu çalışmada, konu ile ilgili bazı temel kavramlar üzerinde durulmuş, akarsu yataklarında, taşkın yataklarında ve akarsu boğazlarında ekosistem açısından önemli bir takım süreçler gözden geçirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akarsu Düzenlemesi, Akarsu Boğazı, Ekosistem, Temel kavram

FUNDAMENTAL CONCEPTS IN STREAM RESTORATION

ABSTRACT
Stream restoration has some processes, such as to benefit from streams, to avoid from damages and to enhance esthetic view. The main aim of stream restoration is previously single such as flood control; today it includes different goals such as getting a benefit from water or development ecologic conditions. It should be considered not only stream bed development but also stream environment and habitats in stream restoration. In this study, it is focused on fundamental concepts related to stream restoration, overviewed a set of processes occurred in stream beds, flood beds and stream corridors in terms of ecosystem.

Keywords: Stream Restoration, Stream Corridor, Ecosystem, Fundamental Concepts

1 GİRİŞ

Dere düzenlemesi (restorasyonu: onarımı) konusunda, son yıllarda Dünyada çok **hızlı ve önemli gelişmeler** olmuştur [FISRGW, 2001].

Önceleri yalnız taşkın kontrolü için dere düzenlemesi yapılırken 2000'li yıllarda sudan faydalanma ve ekolojik şartları iyileştirme de işin içine katılmıştır [Ağıralioğlu ve Eriş, 2010; Erkek ve Ağıralioğlu, 2010].

Günümüzde pek çok gelişmiş ülkede **proje standartlarını** ve **teknik şartnamelerini** belirlemek üzere özellikle şehir içi dereleri ile ilgili komiteler oluşturulmuştur [ASCE, 2003]. Bu arada, başta Japonya, Çin, Güney Kore olmak üzere Asya ülkeleri 1997 yılında "Assian River Restoration Network" (Asya Nehir Onarım Ağı) adlı uluslararası bir kuruluş kurarak veri, bilgi, tecrübe, insan ve mali kaynaklarını ortak değerlendirme yoluna gitmişlerdir. ABD gibi bazı ülkelerde ise modellemeler ve tasarım ölçütleri ile ilgili kitap ve el kitapları

hazırlanmıştır [USDA, 2007]. Ayrıca çeşitli ülkelerde konu ile ilgili kurslar düzenlemiş ya da düzenlenmektedir. Dünyanın pek çok yerinde dere düzenlemesinde çok iyi projeler uygulanarak **dere çevresinin** ve **şehirlerin kalitesi** yükseltilmiştir. Bu konuda 2009 yılında, Güney Kore'de ilk yazarın da katıldığı "Dünya Şehir ve Su Forumu, 2009" teknik konferansı düzenlenmiş, konunun çeşitli yönleri uzmanlar tarafından ortaya konmuş ve tartışılmıştır [World City Water Forum, 2009]. Türkiye'de ise bu konu ile ilgili son olarak Afyonkarahisar'da bir taşkın sempozyumu yapılmıştır [TK, 2010].

Akarsularla ilgili özel projelerle; taşkın kontrolü, katı madde denetimi, akaçlanmanın geliştirilmesi, derelerde kıyı şevlerinin sağlamlaştırılması, balık ortamlarının geliştirilmesi, ekolojik fonksiyonların iyileştirilmesi, bir derenin ve onun taşkın yatağının düzenlenmesi gibi çeşitli hedefler gerçekleştirilir.

Bu hedeflere ulaşmak için pek çok **yaklaşım** ve **teknik** kullanılabilir. Fakat bir akarsu ekosisteminin[1], onun havzasının canlı ve cansız bileşenlerinin iyi anlaşılması ve bunların etkileri ile etkileşimlerinin ve akarsu süreçleriyle ilgili zaman dilimlerinin iyi bilinmesi düzenlemenin başarı şansını arttırır.

Burada öncellikle dere düzenlemesi ile ilgili bazı temel kavramlar [USDA, 2007] açıklanmış, akarsuların düzenlenmesi ve fonksiyonlarının geliştirilmesi için projeler planlayan ve tasarlayan disiplinler arası takımların kullanacağı bir kılavuz hazırlanmıştır. Ayrıca akarsu boğazlarında (**koridorlarında**) ve ekosistemlerinde önemli olan kavramlar ve süreçler de bu bağlamda gözden geçirilecektir.

2 ONARMA, UYGUNLAŞTIRMA VE İYİLEŞTİRME TERİMLERİ

Akarsu fonksiyonlarının ve değerlerinin başlangıçtaki şartlara veya geçmişteki herhangi bir duruma tam olarak dönüştürülmesi mümkün değildir. Bu durum akarsuların nasıl şekillendiklerinin ve zaman içersinde nasıl dengeye ulaştıklarının bilinmezliğinden kaynaklanır.

Akarsuların fonksiyonlarının ve değerlerinin onarımı üzerinde çalışırken aşağıdaki üç terim bazen birbirlerinin yerine kullanılır.

Onarma (restoration) ekosistemlerin yapısını ve işlevini yeniden kurmaktır. Ekolojik onarım; bozulmadan önceki fonksiyona ve şartlara mümkün olduğu kadar yakın bir şekilde dönüştürme sürecidir. Bu terim bir açıdan ekosistemlerin dinamik olduğunu da ifade eder. Bu sebeple bir ekosistemi yeniden tam olarak oluşturmak mümkün değildir. Onarım süreci, ekosistemin genel yapısı ve fonksiyonunu ve kendi kendini sürdüren dinamik durumunu yeniden kurmayı içerir.

Uygunlaştırma (rehabilitation) her hangi bir bozulmadan sonra araziyi yeniden kullanışlı hale getirmektir. Uygunlaştırma ile azalan habitattaki (yaşama alanındaki) ekosistem fonksiyonları ve süreçleri iyileştirilir. Uygunlaştırma; bozulmadan önceki şartları sağlamak durumunda değildir, ancak bu yolla doğal ekosistem mozaiği, jeolojik ve hidrolojik bakımdan kararlı alanlar haline getirilir.

İyileştirme (reclamation) (ıslah etme) bir ekosistemin biyolojik ve fiziksel kapasitesini değiştirmek üzere yapılan bir dizi etkinliktir. Bu etkinlikler sonucu oluşan ekosistem, iyileşmeden önceki ekosistemden farklıdır. İyileştirmede çevre insanına da hizmet etmek önem taşır. Bu hizmet, kıyı alanlarını veya ıslak alanları; tarım, sanayi ve şehir gibi kullanımlara dönüştürerek yapılır.

Onarma bütüncül bir süreç olduğundan ve bu süreçte her bir eleman bağımsız olarak ele alınmadığından, **uygunlaştırma** ve **iyileştirmeden** farklıdır. **Onarma** bir ekosistemi eski ve doğal haline getirmeyi hedeflerken, **uygunlaştırma** ve **iyileştirme** belli bir araziyi insanoğlunun belli bir kullanım amacı için yeni ve değişik bir duruma dönüştürmek demektir.

Onarma etkinlikleri, sadece yıllarca süren bozulmaları gidermek veya azaltmak şeklinde **edilgen** olabilir. Bazen onarım, belirli tedbirler öngörerek ve sürece eklenerek **etken** de olabilir. Bu tedbirler ekolojik yapıdaki ve akarsu boğazı fonksiyonlarındaki hasarları onarmak üzere özel olarak tasarlanır.

Bir akarsuyu önceki durumuna dönüştürmek; havzadaki arazi kullanımı, çevre nüfusu ve az da olsa iklim değişimleri açısından çok zor hatta hemen hemen imkânsızdır. Aynı zamanda geçmişteki durumunu da tam olarak belirlemek kolay değildir. Belirlenmesi istenen geçmiş durum akarsuyun şekli yanında fiziksel, biyolojik ve kimyasal nitelikleri, yani onun ekolojisini de içerir.

[1] ***Ekosistem**, ekoloji ve sistem terimlerinden kısaltılmıştır. **Ekoloji (Çevre bilim):** Bitki, hayvan ve insanların birbirleriyle ve çevreleri ile ilgili bilim dalıdır. **Sistem**: Bir sonuç elde etmeye yarayan metotlar düzenidir.*

3 AKARSU BOĞAZI DİNAMİKLERİ

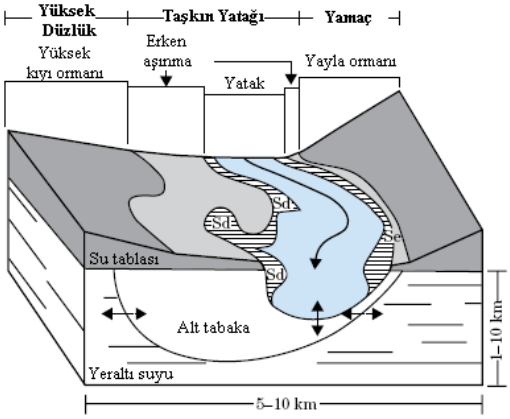
Akarsu boğazları (koridorları), akarsu yatağını, kıyı alanlarını ve taşkın yataklarını kapsar (Şekil 1). Akarsu boğazlarının özellikleri, topografya ve jeoloji özelliklerine bağlı olarak akarsuyun ortaya çıkardığı kuvvetlerle şekillenir. Akarsu boğazları bu kuvvetlerden başka, aynı zamanda yüksek ve yukarı kesimlerdeki etkinliklerin ve uygulamaların da etkisi altındadırlar. Bu etkinlikler tarım üretimi, ormancılık, dinlenme yeri ve diğer arazi kullanımları ve şehir gelişmeleri gibi çalışmalardır.

Akarsu boğazları karmaşık ve dinamiktirler. Doğal olan veya en az değişime uğramış olan akarsu boğazları, büyüklüklerine bakılmaksızın, şekillerinin çeşitliliği ve canlı yuvaları türleri açısından fiziksel olarak homojen değillerdir. Geniş akarsu boğazları enine doğrultuda (akıma dik) daha değişken ve karmaşıktırlar. Öte yandan küçük akarsu boğazları ise boyuna değişmeye daha eğilimlidirler.

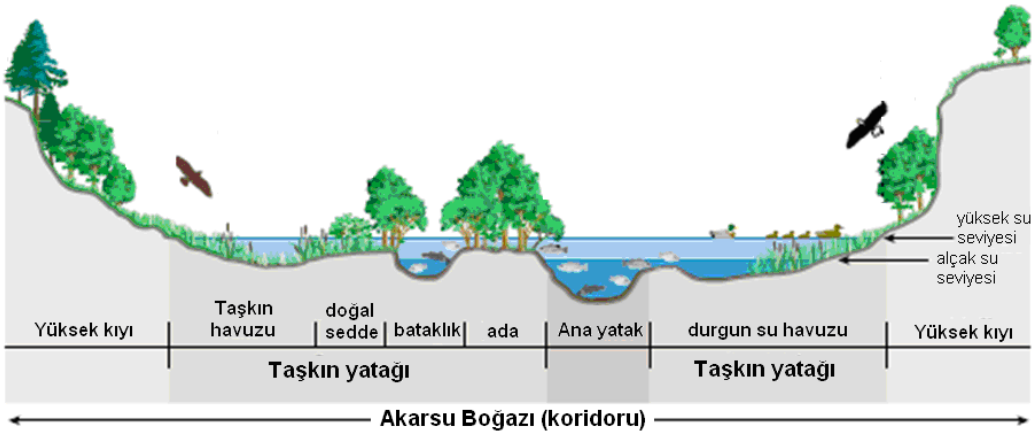
Enerji, su ve malzemelerin dere sistemi boyunca akışı, Şekil 2'de görüldüğü gibi, üç boyutlu (uzunluk, genişlik ve derinlik) canlı ortamlar mozaiğini ve fiziksel şartları meydana getirir. Yatağın alt bölgesinde yüzey ve yüzey altı suları birbirine karışır. Şekil 2'de Sd katı madde yığılma yerlerini, Se ise kıyı şevinin aşınma yerlerini göstermektedir.

Akarsu boğazları; boyuna, enine ve düşey (**uzunluk, genişlik** ve **derinlik**) boyutları ile de tanımlanır. Bu fiziksel **büyüklükler** zamanla değişir ve akarsu boğazlarındaki tipik canlı çeşitliliğinin artışına katkıda bulunur. Akarsu boğazında farklı bitki ve hayvan türleri arasında oluşan etkileşimler çok büyüktür. Kıyıda, yatak içinde, yatağın alt bölgesinde ve yer altı suyu bölgesindeki bütün canlı ortamlarında farklı **bitki ve hayvan türleri** yaşar.

Akarsu boğazlarındaki **insan etkinlikleri** (örneğin kıyıdaki bitkilerin kaldırılması) ile kıyıdaki yapı genellikle basitleştirilir. İnsan etkinlikleri ayrıca, birçok tür için önemli olan doğal süreçleri önleyerek veya azaltarak dere yatağı ile taşkın yatağı gibi bazı ayrı parçaları birleştirerek tek bir parça haline getirebilir. Akarsu boğazlarındaki ekolojik bağlantıların ya da karmaşık fiziksel bağların iyileştirilmesi veya bakımının yapılması için tasarlanan projeler, su içindeki veya kıyıdaki türlerin azalmasını durdurmanın veya bölgedeki su kalitesini yükseltmenin tek çözüm yoludur.



Şekil 2 – Akarsu boğazına ait üç boyutlu enkesit görünümü



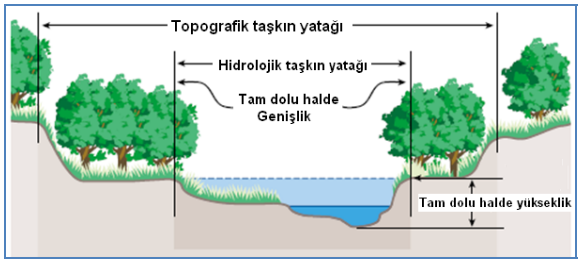
Şekil 1 - Bir akarsu boğazının enkesit görünümü

4 AKARSU YATAKLARI ve AKICI SİSTEMLER

4.1 Yatakların Tanımlanması

Ortalama bir akarsu **yatağının enkesiti**, suyun akımına, su ile taşınan katı madde miktarına ve toprağın jeolojisine bağlı olarak değişebilir. Eğimli kıyılar arasındaki bir yatağın enkesitinin boyutları etkin yatağı ifade eder ve kenarlardan su taşmayacak şekilde geçirebileceği su miktarını belirler (Şekil 3). Yatağın en derin kısmı ise **talveg** olarak adlandırılır.

Yatağın eğimi talvegden alınan boy kesitin ortalama eğimidir. Akımın hızı ve akımın gücü eğimle orantılıdır. Bu değişkenler aşınma miktarını belirlediği için akarsu eğimi yatağın şeklini ve türünü belirleyen önemli bir faktördür.



Şekil 3 – Akarsu yatağı enkesiti

Bir akarsuyun şekli, akarsuyun yukarı kollarından aşağıdaki seviyelerine kadar değişir. Akarsuyun yukarıdaki kesimlerindeki dik kısımlarda akarsu yatağı tek ve nispeten doğru biçiminde olma eğilimindedir. Orta kesimdeki ve orta eğimdeki yataklar, tek yatak durumunu koruma eğiliminde olmakla birlikte, **dolanma oranları** artar. Havzanın katı madde yığılan düz ve aşağı kesimleri ise birden çok kola ayrılmaya ve daha fazla dolanma oranına sahip olmaya eğilimlidirler.

Çok kollu yataklar, kollara ayrılmış (braided) ve **çok ağızlı** (anastromosed) olmak üzere ikiye ayrılır. Kollara ayrılmış ve durağan yataklara sık sık rastlanmaz. Bunlar aşınabilen şevlerde, yoğun katı madde taşıyan akarsularda ve su miktarının birden ve sıkça değiştiği akarsularda oluşur. Bu tür kollara ayrılmada, akarsular genellikle sığlaşır ve genişlerler. Buna karşılık çok **ağızlı yataklar** çoğunlukla dar ve derin olurlar. Bu tür yatakların kıyıları genellikle kohezyonlu malzemeden oluşmuştur.

Doğal dere yatakları hiçbir zaman **planda** tam doğru şeklinde değillerdir ve farklı eğrilik yarıçaplı kıvrımlar gösterirler. **Dolanma oranı** yatak uzunluğunun vadi uzunluğuna oranı olarak hesaplanır. Bu oran vadi eğiminin akarsu eğimine oranı şeklinde de belirlenebilir. Dolanma oranı 1.2'den az ise menderesleşme düşük; 1.2-1.5 arasında ise orta ve 1.5'ten büyük ise yüksek olarak sınıflanır. Dolanma oranı hem akım miktarına hem de eğime bağlıdır. Genellikle, dolanma oranı, akarsuyun yukarı kısımlarında düşük ve orta seviyelerde iken, düz ve geniş aşağı kısımlarında (vadilere) yüksek değerler alır.

Dere yatakları, yatak biçimlerinden bağımsız olarak, nadiren **üniform derinliğe** sahiptirler ve akarsu derinliği **gölcükler (derin)** ve **sığlıklar** şeklinde birbiri ardınca sıralı değişir. Gölcükler, **talveg** sığlıklara yaklaşırken dirseklerde yani dış tarafta meydana gelir. Sığlıklar ise talvegin bir taraftan öteki tarafa geçtiği yerlerde oluşur.

Değerlendirme ve tasarım açısından akarsu yataklarını **kararlı** ve **hareketli** yataklar şeklinde sınıflandırmak faydalıdır. **Kararlı yataklar,** dere ve nehir akımları ile kolayca hareket etmeyen taban ve kıyılara sahiptir. **Hareketli yataklar** ise aşınma ve yığılmalarla sürekli ve sık sık şekil değiştirir. Bu yüzden hareketli yataklar akımlarla şekillenir. Bu iki tür yatağı birbirinden ayırmak kolay değildir. Çünkü hemen hemen bütün yataklar aşırı yüksek akımlar altında değişime uğrayabilmektedir. **Hareketli yataklar** başta hâkim bir debi değeri ile değerlendirilse de, sonradan beklenen bütün akım şartları altında da incelenirler. **Kararlı yataklar** ise çeşitli kaynaklarda **eşik** olarak adlandırılmıştır. Eşik olarak adlandırılan bu kritik durum belli bir debide akımın doğurduğu kuvvetlerin, parçacıkları ya hareket ettirecek büyüklükte olması ya da bu büyüklükten az olması anlamına gelir. Genellikle, kararlı yatak sınırları, tasarım debisi şartları altında hareketli kabul edilirler. Taban sağlam kaya ise veya eski çağlarda taşınmış iri malzemeler yatak sınırında mevcutsa **kararlı yatak** oluşur. Kararlı yataklar dere veya nehir akımları ile yavaşça değişebilen taban ve kıyılara sahip olabilirler.

Hareketli yataklarda, akım ile sınırdaki malzemeler sık sık değişim halindedir. Kararlı yataklarda menderes yılda bir metreye kadar yer değiştirirken, hareketli yataklarda herhangi bir taşkında bile menderes birkaç metre yer değiştirebilir.

4.2 Havzalar

Bir **su toplama havzası**; yağışı toplayan, süzen, suyu biriktiren ve bir yatak ağı vasıtası ile bir göle, başka bir havzaya, halice veya denize boşaltan belli bir topografya ile çevrili

arazi alanıdır. Bir havza daha büyük bir havzanın içinde yer alabilir. Havzalar toprak türlerinin, jeomorfolojik özelliklerin, bitki örtüsü ve arazi kullanımlarının bir mozaiğidir. Bir havza **üst kısımlar** ve **akarsu boğazları** olarak ikiye ayrılabilir. Üst kısımlar pek çok havzada, havza alanın büyük bir kısmını oluşturur. Üst kısım suyun miktarını, zamanla değişimini ve akarsu oluşumunu sağlayan malzemeleri denetler. Bunun için su kalitesi, miktarı, kıyının fonksiyonu ve balık hayatı gibi akarsu **boğazının** çevre şartları bütün havzaya bağlıdır Bu iki kısım (üst kısımlar ve akarsu boğazı) arasındaki bağıntılar **çift yönlüdür**. Mesela esas olarak üst kısımlardaki ortamlarda yaşayan hayvanlar; hareket, beslenme, barınma ve su ihtiyacı için sık sık akarsu boğazlarına uzanırlar.

4.2.1 Havzaların mekân ölçeği

Arazinin **mekan yapısı;** enerji, akım, malzeme taşınması, canlı türlerin havza içinde dağılımı gibi ekolojik ve fiziksel süreçlere etki eder. Bütün su süreçler bir havzada üç boyutludur ve ayrıca zamana da bağlıdır. İlgili kişiler, arazinin yapısını, incelenen hususa bağlı olarak ya **büyük ölçekli** (uydu fotoğraflarının incelenmesi) ya da **küçük ölçekli** (belli bir akarsu dilimindeki canlı yaşama alanlarının incelenmesi) olarak ele alırlar. Bu çerçevede ekosistemler ölçeklerine göre; 1.**Havza** ölçeğinde (Sakarya Havzası), 2. **Bölge** ölçeğinde (Orta Sakarya Bölgesi), 3. **Akarsu boğazı** ölçeğinde (Solaklı Boğazı), 4. **Şehir içi** ölçeğinde (Adana içi-Seyhan Nehri), veya 5. Akarsuyun **bir dilimi** ölçeğinde (Kağıthane Deresi- 3 km'lik dilim) olarak sınıflandırılabilir.

Kimi hususlar projenin hedefine bakmaksızın, büyük ya da küçük bütün ölçeklerde göz önüne alınmalıdır. Söz gelimi, akarsuyun yalnız bir dilimine yoğunlaşmak projede çok etkili olan bazı önemli hususları gözden kaçırmaya neden olabilir. Bazı uygulama projeleri sadece akarsuyun belli bir kesimi ile ilgili olsa bile, akarsuyun bütün havzası dikkate alınmalıdır.

Nehirler, dereler ve akarsu boğazları, canlı yaşama alanlarının veya nehir etraflarının **uzun bir şeridi** olarak düşünülmelidir. Nehir etrafları kara bitkileri ve hayvanları için de önemlidir. Çünkü akarsu boğazları, ıslak ve kuru canlı yuvaları arasında bir geçiş bölgesi oluşturur. Canlı yaşama alanları bir organizmanın yaşadığı, canlıların üreyip büyüdüğü ve farklı çevre şartları çeşitliliğini (fiziksel, kimyasal ve biyolojik) içeren alanlardır. Bir canlı yaşama alanının mekan ve zaman ölçeği sabit değildir. Bu ölçeğe alanı oluşturan fiziksel ve biyolojik süreçler etki eder. Ayrıca canlının etkinlik genişliği, onun diğer canlı türleri ile etkileşimi, diğer türlerin nüfus dinamikleri de canlı yaşama mekânlarına etki eder.

Büyük ve geniş hareket yeteneği olan canlıların yaşama mekânları, **küçük** ve daha az hareketli **canlıların** yuvalarını da içine alır. İç içe geçmiş farklı yaşam alanlarında oluşan herhangi bir değişiklikte canlıların davranışları iyi belirlenmelidir. Bu değişimlere karşı canlı türlerinin tepkisi, sadece üzerinde çalışılan yere bağlı değil, ayrıca etraftaki havzanın ekolojisine de bağlıdır.

Akarsu tasarımında **hiyerarşik yaklaşım** kabulü, daha düşük basamaktaki bileşenlerin daha önemsiz olduğu anlamına gelmemelidir. Bazen küçük ölçekli bir sistemden büyük ölçekli bir sisteme de geri besleme yapılabilir. Bunun için, akarsu boğazına etki eden farklı yer ölçekli parametreler dikkate alınmalıdır. Bu çeşit bir planlamada uzun süreli canlı nüfus hareketleri göz önüne alınır. Bu tür biyolojik bilgiler yerel kurumlardan sağlanabilir.

4.2.2 Havzalar, akarsu boğazlari ve zaman boyutu

Akarsu boğazlarının şekli **zamanla** değişir, buna bağlı olarak yatağın su iletme ve geri tutma kapasitesi de değişir. Bütün akarsular ve bu akarsulara ait taşkın yatakları hareketlidir. Katı maddelerin aşınması veya yığılması ile akarsu tabanları ve etraflarındaki taşkın alanları da değişir. Kısa zaman dilimlerinde aşınmalarla gölcükler oluşur ve/veya katı madde birikimleri ile organik yığınlar, kum ve çakıl yığıntıları meydana gelir. Daha uzun zaman dilimlerinde ise, bu kısa süreli etkilerin dalgalanmaları sonucu, sürekli değişimler birbirini dengeler.

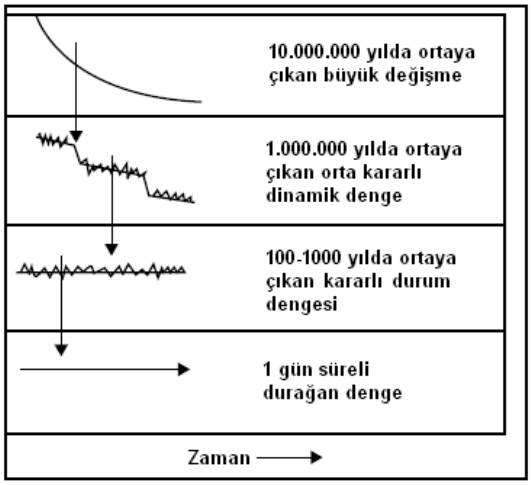
Bu değişimler göz önüne alınarak, dere projeleri birkaç on yıllık yapılır ve bu süre **genellikle 50-100** yıla kadar çıkar. Bazı araştırmacılara göre, birkaç on yıldan bir yüzyıla kadar süren bu zaman diliminde akıcı sistemler bir dengeye varır ve bu denge durumuna "dinamik orta kararlı denge" denir.

Bu teoriye göre, denge süreçleri sırasında yatağın fiziksel özellikleri nispeten sabit kalır. Ancak **iç dengede** bazı **eşikler** aşıldığı zaman ani ve hızlı değişiklikler ortaya çıkar. Başka bir deyişle, denge süreçleri içersinde su ve katı madde girdisine karşı yatak kendini dengeler ve böylece ortalama yatak genişliği, yüksekliği, eğimi ve katı madde çapı belli bir bölge için çok küçük bir değişim gösterir.

Bu denge süreçleri Şekil 4'te, dört farklı zaman dilimi olarak ele alınmıştır. En üste 10.000.000 yıl içinde oluşan kararlı yatak görülmektedir. Onun altında 1.000.000 yıllık dönemde zaman içinde kararsızlıklar görülmektedir. Onun altında 100 ile 1000 yıllık değişimlerin küçük dalgalanmalar şeklinde olduğu anlaşılmaktadır. En altta ise 1 günde yatakta bir değişiklik olmadığı kararlı denge durumu gösterilmiştir.

4.3 Su Hareketi

Su bir havzaya yağış olarak girer, arazi üstünden akarak yüzey akışı şeklinde dere yataklarına gelir veya zemin içine sızarak yeraltına geçer ve yer altı suyu olarak akar. Yataktaki akış durumuna göre akarsu akımı **dolaysız akış** veya **taban akışı** olarak ikiye ayrılır. Dolaysız akış, yağış suyunun yüzeyden veya yüzey altından kısa bir süre içinde yatağa ulaşan kısmıdır. Taban akışı ise yatağa ulaşmadan önce yavaşça zemine sızan ve orada kısa bir süre akmaya devam eden veya yağış olmadan da akan sudur.



Şekil 4 – Akarsu boğazı sistemlerinde jeomorfik denge kavramları

Akımın değişebilirliği, akımın yapısını ve dinamiğini belirlemede canlı ve cansız süreçlere etki eden baş faktördür. Bir havzada suyun geçtiği yol, akarsuya ulaşan katı maddelerin ve çözünmüş maddelerin miktarını belirler. Genel olarak belli bir su sütunundaki askıdaki madde miktarı, küçük dere yataklarında, arazi hendek ve çukurlarında **en çok;** tabaka akımlarında **orta** ve yer altı akımında **en azdır**.

Sudaki **besin** maddelerinin miktarı, su yüzeyden kök bölgesine doğru derine sızarken azalır. Akarsular üzerinde bulunan yapılar, bitkiler veya büyük ağaçlar, yatağın altındaki kısımda zemin içine ve dışına doğru olan su hareketleri, menderesler ve taşkın yatakları akımı yavaşlattığı veya durdurduğu için besin yoğunluğunu etkiler. Genel olarak besin birikmesi akımın geri tutulması ile birlikte artar. Akım hızını artırmak ve taşkın sularının tutulma sürelerini azaltmak için tasarlanan taşkın kontrol sistemleri, akarsu boğazı ekosistemindeki besin dinamiklerini büyük oranda değiştirebilir.

4.4 Organik Olmayan Katı Maddelerin Hareketi

Havzalarda suyun yanında **katı maddeler** de taşınır. Taşınan katı madde miktarı su akımının (debisinin) bir fonksiyonu olarak değişir. Bunun sonucu olarak bir akarsuda akan suyun miktarı ve süresi katı madde taşımını değiştirir. **Hareketli yataklar,** üzerlerinden akan katı madde yüküne göre geometrilerini dengelerler. **Hareketli yatak**, önceden de söz edildiği üzere suyun etkisi ile taban ve kıyılardaki malzemelerin kolaylıkla taşınabildiği yataktır. **Kararlı yatak** ise, iri malzemeli veya sağlam kaya tabanlı, aşınma ve oyulmalara dayanıklı yataktır.

Katı maddeler çapı birkaç mikron olan kil parçacıklarından iri çakıllara kadar irilikleri değişen malzemelerdir. Fakat belli bir akarsuda taşınan katı maddeler daha dar bir aralıktaki malzemeyle (kumdan çakıla veya sadece ince kum) tanımlanabilirler. **Akarsu canlılarının türlerini** akarsu yatağında duran veya hareket eden katı maddelerin miktarı ve irilik dağılımı belirler. Su canlıları katı madde irilik dağılımına karşı son derece hassastırlar. Taban malzemesi hareketinin sıklığı ve katı madde irilik dağılımı yatağın alt tabakalarındaki küçük yaşama alanlarında (microhabitat) değişiklik meydana getirir. Örneğin, üniform ve ince taneli akarsu tabanları doğal olarak daha az türde su böceği barındırır.

Zengin canlı türleri bulunan **yatağın alt tabakaları** genellikle kumdan daha büyük irilikteki katı maddelerden oluşur. Dere yatağında yüksek porozite (boşluk) bulunması yatakta ve onun alt tabakalarında oksijen-su karışımının giriş ve çıkışını kolaylaştırır. Akarsu boğazlarının bu bileşeni, zamana ve mekâna bağlı olarak görülen değişimlerin ve kalıcı olmayan sınırların bir başka bölgesidir.

4.5 Organik Maddelerin Hareketi

Bir akarsu sistemindeki organik madde taşınmasının süresi, miktarı ve niteliği; akarsu yatağındaki bitkilere, yatağın karmaşıklığına, sudaki besin ağı dinamiklerine, güneşten gelen ışık yoğunluğuna, akımdaki mevsimlik dalgalanmalara ve daha önce de bahsedilen su ve katı maddeye etki eden bütün süreçlere

bağlıdır. Organik maddeler ağaç ve çalı parçalarını, böcekleri, yüzey akışındaki besinleri ve su organizmalarını kapsar.

Ormanlık arazilerde, üst kısımlardaki **ağaçlar** toprak kaymaları ile akarsu yataklarına taşınınca, akarsu boğazlarının birer yapı elemanı olur. Hatta pek çok arazide, ağaç ve çalılar akarsu yatağının sınırını oluşturur. Kıyıdaki ağaçlar ise kış fırtınalarında, taşkınlarda, şev düşmelerinde ve arazi kaymalarında akarsuya düşerler. Ağaçlar ve diğer odun türü maddeler akarsu koridorlarının fiziksel ve biyolojik yapılarına etki eden, ekosistemlerinin kritik öğeleridir. Dere ve nehirlerdeki odunların hareketi, yatağın büyüklüğü, eğimi ve şekli kadar, odunların özelliklerine bağlı olarak da mekândan mekâna farklılıklar gösterir. Özellikle odunların büyüklüğü, biçimi, yoğunluğu, çürüme hızı ve yatakta kalma süresi çok önemlidir. Odun yığınları ve tek kütükler, değişime uğramayan veya az değişen akarsularda on yıllarca hatta yüzyıllarca yatakta kalarak sağlam, basamaklı havuz alanları oluştururlar.

Büyük nehir yataklarında **odunlar** mevsimlik akımlarla değişir. Dolayısıyla köprü vb. alt yapıların etkilenmesinde ya da dinlenme amaçlı alanların güvenliğinin sağlanmasında bu husus dikkate alınmalıdır. Büyük odunlar akarsularda önemli problemler doğurur. Odun artıkları akım yolunu ve akış sisteminin şeklini değiştirebildiği için akarsularda, odunların kaldırılması veya belli yerlere kütük ve ağaçlar yerleştirilmesi için bir takım düzenlemeler geliştirilmiştir.

5 MODELLER

5.1 Sınıflama Sistemleri

Yatakların tanımlanmasında sınıflama sistemleri kullanılır. Klasik olarak akarsular şehir içi dereleri ve şehir dışı dereleri şeklinde sınıflanır. Şekil 5'te insanlar tarafından hiç bozulmamış bir şehir dışı dere, Şekil 6'da ise düzenlenmiş bir şehir içi dere örnekler olarak gösterilmiştir.

Her bir akarsuyun havza özellikleri, yatak sınır şartları, iklim ve hidrolojik özellikleri kendine özgü olduğu halde, insanlar bir sınıflama sistemi geliştirerek akarsular hakkındaki bilgilerini genelleştirmek için uzun zamandan beri girişimde bulunmaktadırlar. Bazı araştırmacılar çevre sınıflandırma sistemlerini, bazıları ise akarsu sınıflandırma sistemlerini benimsemiştir. Sınıflama sistemleri arazi gözlemlerini genelleştirir, iletişimi kolaylaştırır ve etkin süreç gruplarını belirlerler. En basit sınıflama sistemleri akım durumuna (kısa süre akan, kesikli akan, sürekli akan), plan şekline (doğru şeklinde, kollara ayrılmış veya menderesleşmiş) veya sınır hareketliliğine (kararlı veya hareketli yatak) dayanır. Diğerleri ise fiziksel değişkenler (yatak malzemesi iriliği, eğimi, dolanma oranı, yatak genişliği, vadi şekli gibi) veya biyolojik özellikleri (kıyı bitkileri, böcek türleri, balık türleri) içerir. Çoğu akarsu sınıflama sistemleri, süreç değişkenlerinden çok, morfoloji veya şekil değişkenlerine dayanır. Süreç değişkenleri zamana bağlı olduğu için, şekil değişkenlerini belirlemek her zaman daha kolaydır. Bu bakımdan süreç belirlemeleri ardışık gözlemleri, geçmişteki tarihi verileri veya onların yerine kullanılacak değerleri bilmeyi gerektirir. Ne yazık ki akıcı sistemler karmaşıktır (kararlı/değişken davranışlar, canlı uyumluluğu) ve sıklıkla değişirler (iklim, akarsu akımı, yer sarsıntı olayları ve arazi kullanım değişiklikleri). Mevcut morfolojiden akarsuyun gelecekteki davranışını tam doğru belirlemek zordur.

Şekil 5 – İnsanlar tarafından hiç bozulmamış şehir dışı bir dere

Şekil 6 – Düzenlenmiş bir şehir içi deresi

Bu bakımdan bir **sınıflama sistemi**, onarım (restorasyon) çalışmalarının türünü, yerini ve amacını belirlemek için tek başına yeterli değildir.

5.2 Yatak Şekli ve Akıcı Süreçler

Akarsuyun **fiziksel yönlerine** dayanan eski çalışmalarda, akarsu şekilleri hakkında pek çok ilginç gözlem elde edilmiştir. Taban eğimi, yatağın genişliğinin derinliğine oranı, menderesleşme, dalga uzunluğu, taban malzemesi iriliği gibi biçim değişkenleri arasında fonksiyonel bağıntılar bulunmaktadır. Ancak bu bağıntılar düzenlenmiş yataklarda geçerli olamamaktadır. Biçim değişkenlerine dayanan çalışmalar yatakların bu değişkenlere göre sınıflandırılmasına neden olmuşlardır. Bu tür sınıflamalarda, sınıf sayısı kimi zaman üç-dört sınıftan bir düzineye kadar değişmektedir. Günümüzde yapılan çalışmalarda ise yatak biçimlerini oluşturan **fiziksel, biyolojik** ve **kimyasal süreçler** üzerinde durulmaktadır.

Geçmişte, ana süreçlerinin en önemlileri doğru belirlendiği ve akarsu biçimini şekillendiren süreçlerin önemi bilindiği halde, bu tür çalışmalarda **izleme teknikleri** ve **matematik modelleme** imkânları bulunmamaktaydı. **Bilim ve teknolojideki ilerlemeler**, bilim insanlarına, doğrudan ölçümden elde edilen ve/veya uzaktan kumandalı sistemlerden sağlanan çok miktarda veriyi toplamalarına fırsat verdi ve bu verileri sayısal model kurmada ve düzeltmede kullanma imkânı sağladı. Buna rağmen akarsu ekosistem hareketliliğini anlama ve belirlemede yapılması gereken daha pek çok çalışma vardır. Ancak son gelişmeler, en iyi akarsu tasarım çalışmasının, daha çok genel ve analitik işleme dayanan yaklaşımlar olduğunu göstermiştir.

5.3 Bilim ve Akarsu Projesi Tasarımı

Akarsu boğazlarının karmaşık **fiziksel, biyolojik** ve **sosyal yapısı**, akarsu fonksiyonlarını ve şartlarını geliştirmekten sorumlu olanlar için birtakım zorluklar oluşturmaktadır. Yapılan çalışmalarda genellikle düzenlenmiş sistemler incelendiğinden; ağaçların temizlenmesi, suyun göllendirilmesi, yatağın açılması, kaplanması, seddelenmesi veya diğer büyük yapı türleri ile kısıtlanması gibi düzenlemeler çoğu zaman boğaz süreçlerinin yanlış değerlendirilmesine sebep olmuştur. Oysa bozulmamış doğal akış rejimli sistemler hem zamanda hem de mekânda yüksek derecede heterojenlik gösterirler. Bu sistemlerin tepkilerinin belirlenmesi, tahmin edilmesi, düzenlenmiş olanlara göre daha zordur ve günümüzde giderek daha az karşılaşılabilir sistemler haline gelmişlerdir.

Doğal akışlı sistemlerde, hatta kısmen doğal akışlı sistemlerde ve özellikle kollara ayrılmış sistemlerde, fiziksel ve biyolojik süreçleri anlamak için daha çok çalışma yapılmasına ihtiyaç vardır. Akarsu sistemlerinin fiziksel değişimini belirlemede kullanılan ve bilimsel açıdan geçerliliği gösterilmiş modeller çoğunlukla tek menderesi olan yataklara dayanarak geliştirilmişlerdir. Akarsu ekolojisindeki son çalışmalar ise, akarsu yatağı, kıyı alanları, taşkın yatakları ve su altındaki zemin altı bölgeleri arasındaki bağlantıların önemi üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Akarsu projesi tasarımları, **bilime ve meslek hükümlerine** dayanır. Mesleki hükümler genellikle yanlı ve uygulama olanakları sınırlı olduğundan ve farklı disiplinlerde çalışan insanlar da işin içine katılması gerekir. Jeomorfoloji, hidroloji, su ve kıyı çevre bilimleri ve zemin mekaniği uzmanlarının katıldığı akarsu boğazı projeleri, hem ekonomik hem de ekolojik görüşlerin ele alındığı, çok amaçlı hedeflerin bulunduğu hallerde daha çok verimlidirler.

5.4 Model Kullanımı

Karmaşık sistemleri anlamak ve yönetmek için **kurulan modeller**, birbirleriyle ilişkili kavramlardan oluşan sistemleri tanımlarlar. Modellerin kavram, fizik, matematik modelleme gibi çeşitli türleri bulunmaktadır. **Kavram modelleri,** nesneleri ve onların ilişkilerini kelimelerle veya diyagramlarla tanımlar. **Fizik modelleri,** belli ölçekteki üç boyutlu gösterimlerdir. **Matematik modellerde** ise kavramlar ve bu kavramlar arasındaki etkileşimler denklemlerle gösterilir ve işlemlerin yürütülmesi bilgisayarlarla gerçekleştirilir.

Kavram modelleri dere projeleri tasarımında, önemli vasıtalardır. Çünkü bunlar ekosistemin önemli bileşenlerini ve ekosistemi oluşturan süreçleri belirler. Proje tasarımı ile ilgili kişiler, bu modelleri, sistemin genel olarak anlaşılmasını sağlamak ve beklenen çıktıları oluşturması muhtemel eylemleri belirlemek için kullanır.

5.4.1 Modellerin uygulanması

Bir model seçilirken **modelin gerçekçiliği, hassaslığı ve genelliği** dikkate alınmalıdır. Kimi zaman seçilen modeller (yatağın boyutlarının değişmesi, balık eksilmesi vb.) gerçekçi ve hassas olsa bile genele uygulanamayabilirler. Model **temel işlemleri**

ve ölçümlemeyi (kalibrasyonun) açıklamalı ve ayrıca model **geçerliliği** de sağlamalıdır. Onarım veya iyileştirmede kullanılan modeller aşağıdaki hallerde, iyi sonuç vermeyebilirler.

- Modeller sistemdeki **önemli bileşenleri veya süreçleri** dikkate alamıyorsa,
- Modeller kritik bağıntıları **çok fazla basitleştirmişse**,
- Modeller sistemi ilgilendiren verilerin mevcut olmamasından dolayı **mesleki hükümlere dayanıyorsa**,
- Modeller, uzun bir süre sonrasındaki sonuçları tahmin ederken, **sadece son gözlemleri içeriyorsa,**
- Modeller dere sisteminin ve/veya burada yaşayan **su ve kıyı canlılarının** bir kısmını ele alıyorsa,
- Modeller sistemde önemli olan **bozulmaları** ve **belirlenemeyen süreçleri** hesaba katmıyorsa,
- Modeller, arazideki **özel jeolojik şartları** göz önüne almıyorsa veya bu şartların farklı havzalarda sabit olduğu kabulüne dayanıyorsa.

İyi bir model, **mevcut veriler** veya **gözlenebilen şartlar** altında sonuçlar verir. Bu tür bir model, model ve veri sınırlaması olsa dahi, onarılan veya değiştirilen her bir şart için, beklenen sonuçları verebilmelidir. Mükemmel model olmasa da; modeller; alternatif iyileştirmeler veya sistemler göz önüne alındığında da akarsu ekosisteminde oluşacak göreceli farkları ve değişimleri gösterebilmelidir.

5.4.2 Anahtar fiziksel değişkenler

Akarsu yataklarını **fiziksel** olarak tam tanımlamak için sayıları 13'e varan bir **değişkenler** takımı gereklidir. Bununla beraber bilindiği üzere 3 tane temel denklem bulunmaktadır. Ayrıca sadece 6 değişken belli bir yer için sabit alınabilir (Çizelge 1). Fiziksel değişkenler açısından, denklem sayısından daha fazla bilinmeyen olduğu için yataklar belirsiz sistemlerdir. Kararlı yataklar için, belli bir kısımda bu değişkenlerin çoğu ya sabit alınır ya da tasarımcı tarafından seçilir. Ancak hareketli yatakların geometrileri değişkendir. Mevcut modeller, akımdaki su ve katı madde hareketleri kesin olarak bilinse bile, yataklardaki uzun dönem değişimlerinin tahmininde yeterli değillerdir.

Çizelge 1 - Serbestlik Dereceleri ve Temel Denklemler

Yatak Türü	Temel Denklemler	Sabitlenen Değişkenler	Bağımsız Değişkenler	Serbestlik Derecesi	Bağımlı Değişkenler
Kararlı, sabit tabanlı, katı madde taşınması yok	Süreklilik, akım direnci	S, W, d_m, λ, Δ, ρ,z	Q, D, D_R, D_L	2	V, d
Plan şekli ve genişlik sabit, yatak hareketli	Yukarıdakiler ve katı madde taşınması	W, d_m, λ, Δ, ρ, z	Q,Q_s, D, D_R, D_L	3	V, d, S
Tam hareketli	Yukarıdaki denklemler ve 6 tane ek süreç denklemi tanımlamak için gereklidir. Fakat bunları sağlamak genellikle mümkün değildir.		Q, Qs, D, D_R, D_L, S_v	>3	Hemen hemen bütün bağımsız değişkenler

V: Ortalama akım hızı, d: Ortalama derinlik, S: Taban eğimi, W: Genişlik, d_m: Maksimum akım derinliği, λ: Taban şekli dalga boyu, Δ: Taban şekli büyüklüğü, ρ : Dolanma oranı, z: menderes kiriş uzunluğu, Q: Su akımı, S_v : Vadi eğimi, Q_s : Katı madde akımı, D, D_R ve D_L: Sıra ile tabanın, sağ ve sol kıyının katı madde çapıdır.

5.4.3 Kavram modelleri

Akarsu yatağı dinamiklerini anlamak için kullanılan **kavram modelleri**, akarsu yataklarının yapı özelliklerini ve akarsuların içinde oluşan kritik süreçleri birbirine bağlar.

Kavram modelleri dere **ekolojistleri** tarafından da kullanılır. Akarsu ekolojisindeki kavram modellerinin çoğu, nehrin sürekliliği ve besin zinciri kavramını, doğal akış rejimini, dilim dinamik ve süreksizlik kavramını, kıyılardaki ekosistem kavramlarını içerir.

Örneğin, **Nehir Süreklilik Kavramı** (NSK) (**river continuum concept**) ile dere ve nehirlerin fiziki şeklinin, yukarıdaki kollardan aşağıdaki geniş taşkın yataklı nehirlere kadar belirlenebileceği amaçlanmıştır. NSK kavram modeli, böylece bir akarsu ekosisteminin nasıl yapılandırılacağı hakkında insanlara bilgi sağlar. Ayrıca yukarıdaki küçük kollardan aşağıdaki nehirlere kadar bütün ağ boyunca hangi süreçlerin ortaya çıkacağı hakkında da bir fikir verir. Bu tür kavram modelleri, derelerdeki onarım hedeflerinin ortaya konmasında faydalıdır. Çünkü bu modeller fiziksel yaşama alanlarının, bu alanlar için

önem arz eden (habitat) su ve ekolojik süreçlerle nasıl bağlantılı olduğunu gösterir.

5.4.4 Matematik modeller

Akarsu yatağı davranışlarını belirlemek için **matematik modeller** kullanılır. Nicelik (su, katı madde miktarı vb.) tahminleri genellikle bir dizi **hesaplama** gerektirir. Önceden de belirtildiği gibi, dere ve havza sistemleri karmaşıktır. Öyle ki bir tahmin için gerekli olan hesaplama çok farklı modelleri işin içine katmayı gerektirir. Matematik modellerin bileşenleri ölçülebilen birimler cinsinden tanımlanır ve modellerdeki bağıntılar ve süreçler açık formüllerle ifade edilir. Çoğu karmaşık matematik modeller ancak bu konudan anlayanlar ya da özel bir konuda eğitim görmüş insanlar tarafından kullanılır. Bazı karmaşık matematik modeller kullanıcı arabirimleri içerir. Karmaşık model kullanıcıları çalışma kapsamı konusunda, modeldeki kabuller ve modelde kullanılması gereken veriler hakkında dikkatli olmalıdırlar. Akarsu proje tasarım uygulamalarında, matematik modeller, geniş içerikli kavram modellerine nazaran daha az yaygındırlar. Bununla birlikte, matematik modeller, tasarım aşamasında uygun bir uzman yardımıyla proje tasarımını zenginleştirirler.

Akarsu nicelik modelleri karmaşıktırlar ve başarılı uygulama için genelde akademik düzeyde bir uzmanlık eğitimi gerektirirler. Modeller benzeştirdikleri ve/veya ele aldıkları değişkenlerin zamana ve yere bağlılıklarına göre sınıflandırılabilirler. Belirli bir geometri ve akım için akarsu yatağındaki derinliklerin ve hızların belirlenmesi üzerine hazırlanan akarsu modellerli en yaygın olanlarıdır. Fakat katı madde hareketini, su kalitesini ve fiziksel yaşama alanı niteliklerini de içeren modeller de çok geniş şekilde kullanılmaktadır.

Akarsu **ekosistem modelleri**, canlı yaşama alanlarındaki, canlı türleri ve ekolojik süreçlerdeki değişimleri akarsu ekosistemi içersinde benzeştirirler. **Su kalitesi** (çözünmüş oksijen, sıcaklık, askı maddesi, azot ve fosfor), canlı yaşama alanları (bitki planktonu, balıklar vb.) dere ve nehirler için farklı bölgelerde ve arazi kullanım şartlarında yaygın bir şekilde modellenir.

Günümüzde dere ve akarsular için geliştirilen 14 farklı benzeşim modeli bulunmaktadır. Bu modellerden pek çoğu bütün akarsu ekosistemini benzeştirmektedir. Bu modellerdeki en önemli kısıt ekoloji, su kalitesi ve jeomorfoloji arasındaki bağlantının karmaşıklığıdır. Öte yandan Dünya'da bölge kaynaklarını değerlendiren kurumlar ve halk teşkilatları akarsu proje tasarımlarında daha karmaşık modellerin kullanımını desteklemektedirler.

Matematik modellerin esas türleri şunlardır:

Zamanla değişmeyen modeller, verilen sınır şartlarında durumu inceler.

Zamanla değişen modeller, zamanla değişen değişkenleri tahmin etmede kullanılır. Mekân açısından modeller bir, iki veya üç boyutlu olabilirler.

Bir boyutlu modeller, akım yönündeki kuvvetleri dikkate alır. Hız ve diğer akım özellikleri membadan mansaba değişir, bir kıyıdan öteki kıyıya veya yataktan su yüzeyine değişmez. Yaygın bir örnek HEC-RAS modelidir.

İki boyutlu modeller, ortalama derinliği esas alırlar. Değişimi yatay düzlemde benzeştirirler; düşey yöndeki değişimi dikkate almazlar.

Üç boyutlu modeller her üç doğrultuda da değişimi incelerler. Bu durumda modelin maliyeti, büyüklüğü ve karmaşıklığı artar.

6 SONUÇLAR

Dere düzenlemesi, akarsulardan insanların faydalanması, zararlarından korunması ve doğal güzelliklerinin geliştirilmesi için yapılmaktadır. Bu düzenlemelerde mühendislik kadar sosyal ve estetik bilimlerin ve teknolojilerin dikkate alınması gerekir.

Akarsu düzenlemesi konusunda geçmişte mevcut olan doğal akışı sağlamadan, ekolojik şartları geliştirmeye ya da taşkın kontrolünden dinlenme yeri sağlamaya kadar pek çok farklı hedef bazen ayrı olarak bazen de bir arada gerçekleştirilmelidir. Akarsu boğazları sadece suyun aktığı mekanlar değil, havanın, nemin, ısının ve katı maddenin de hareket ettiği mekanlar olarak günümüzde büyük önem kazanmıştır. Bu öneme uygun olarak konu ile ilgili çalışmalar çoğalmış, bilgi ve teknolojiler gelişmiştir. Bu gelişmelerin ışığı altında dünyanın pek çok yerinde çok iyi ve güzel dere düzenleme projeleri hazırlanmış ve uygulanmıştır.

Ülkemizde konu ile ilgilenen kişi ve kuruluşlar **Çevre ve Orman Bakanlığı ve DSİ, Ulaştırma Bakanlığı, TCK ve TCDD, belediyeler ve özellikle büyükşehir belediyeleri, üniversiteler, meslek odaları ve sivil toplum kuruluşları ile kişi ve şirketler** olarak sıralanabilir. Yukarıda söz edilen Dünyadaki bu gelişmeleri değerlendirmek, bilgi ve teknolojileri ülkemize ve ilgili kişi ve kuruluşlara

kazandırmak için bu konuda özetle aşağıdaki çalışmaların yapılması gerekir:

(1) Bir **uzmanlar komitesi oluşturmak**,
(2) Geniş katılımlı bir **kurs düzenlemek**,
(3) Uygulama ve modellemeye yönelik **kitap veya el kitabı hazırlamak**.

7 KAYNAKLAR

[1] Ağıralioğlu, N., Eriş, E., 2010, "Akarsu Düzenlemesinde Gelişmeler", 15-27, IMO, İstanbul Bülteni, Sayı 106, 19-25.

[2] ASCE River Restoration Subcommittee on Urban Stream Restoration, 2003, "Urban Stream Restoration", *Journal of Hydraulic Engineering*, 129 (7): 491-493.

[3] Erkek, C. ve Ağıralioğlu, N., 2010, "Su Kaynakları Mühendisliği", Beta Yayınevi, İstanbul.

[4] FISRWG (The Federal Interagency Stream Restoration Working Group), 2001, Stream Corridor Restoration, Principles, Processes, and Practices, USDA.

[5] TK (Tebliğler Kitabı), 2010, II. Ulusal Taşkın Sempozyumu, 22-24 Mart, Afyonkarahisar, Türkiye.

[6] USDA (United States Department of Agriculture), 2007, Stream Restoration Design, National Engineering Handbook, NEH 654.

[6] World City Water Forum, 2009, 17-21 Ağustos, Innovation and Harmony of Water and Cities Technical Conference, Incheon, Korea.

DSİ Teknik Bülteni
Sayı: 109, Ekim 2010

DEVELİ KAPALI HAVZASI'NDA YAPILAN JEOFİZİK ETÜT ÇALIŞMALARI

F.Ebru YILDIZ
Dr, İller Bankası, Proje Geliştirme Dairesi 06053 Ulus ANKARA
februyildiz@yahoo.com

Nail ÜNSAL
Prof. Dr. Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 06570 Maltepe ANKARA
nunsal@gazi.edu.tr

İbrahim GÜRER
Prof. Dr. Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 06570 Maltepe ANKARA
gurer@gazi.edu.tr

Nurettin PELEN
Dr., DSİ Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Dairesi 06100 Yücetepe ANKARA
npelen@dsi.gov.tr

(Bildirinin geliş tarihi: 05.05.2010, Bildirinin kabul tarihi: 11.11.2010)

ÖZET
Sultansazlığı Sulak Alanı, Kayseri ili sınırları içinde, Develi Kapalı Havzası'nın ortasında yer alan bir sulak bir alandır. Bu tatlı su kompleksi Güney ve Kuzeyde yarı tuzlu Yay Gölü ile ayrılmaktadır. Sultansazlığı özellikle son yıllarda kuraklık ve tuzluluk sorunları ile karşı karşıyadır. Sultansazlığı'ndaki kuraklığın sebeplerini ortaya koyabilmek için Sultansazlığı'nın yüzey suyu ile yer altı suyu arasındaki ilişki araştırılmıştır. Sultansazlığı Sulak Alanı'nın yer altı suyu ile olan ilişkisini belirlemek amacıyla Develi Kapalı Havzası'nda doğal izotop çalışmaları, jeoloji ile hidrojeoloji etüdleri ile birlikte su kimyası analizleri yapılmıştır. Bu çalışmaların yanı sıra Sultansazligi Sulak Alanı çevresinde zeminin yapısını belirlemek için jeofizik elektrik özdirenç (rezistivite) etüdleri yapılmıştır. Ayrıca DSI tarafından 1966 yılında Develi Kapalı Havzası için yapılmış olan elektrik özdirenç etüdleri de bu inceleme kapsamında değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Develi Kapalı Havzası, Sultansazlığı Sulak Alanı, jeofizik, elektrik özdirenç testi

GEOPHYSICAL INVESTIGATIONS AT DEVELI CLOSED BASIN

ABSTRACT
Sultansazligi is a wetland that is located at the middle of Develi Closed Basin; in Kayseri. There are two reedfield area at the southern and the nortern part of Yay Lake. There is freshwater in the reedfield and Yay Lake has semi-salty water. In the recent years; there are aridity and salinity problems at Sultansazligi Wetland. Intrusion between surface water of Sultansazligi and groundwater had been investigated in order to define the aridity problem at Sultansazligi. For this purpose; natural isotope studies, geological-hydrogeological investigations and water chemistry analysis had been made. As an addition; geophysical electrical resistivity tests had been made around Sultansazligi Wetland in order to define the characteristic of the soil. Additionally electrical resistivity investigations which had been made by DSI (Turkish State of Hydraulic Works) in 1966 had been evaluated in the content of this study.

Keywords: Develi Closed Basin, Sultansazligi Wetland, geophysics, electrical resistivity test

1 GİRİŞ

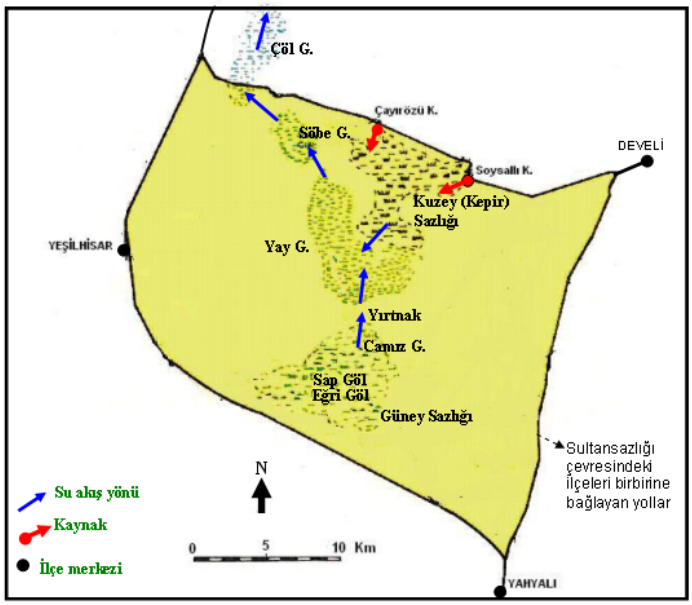
Sultansazlığı Sulak Alanı, 15 no'lu Kızılırmak Havzası'nın alt havzası olan ve Kayseri ili sınırları içinde bulunan Develi Kapalı Havzası'nda yer almaktadır. Sultansazlığı Türkiye'nin önemli kuş cennetlerinden birisi olması sebebiyle 1994 tarihinde Yer altı RAMSAR Sözleşmesi'nin "A Sınıfı Sulak Alanlar" listesine dahil edilerek koruma altına alınmıştır. Sultansazlığı Sulak Alanı çok tuzlu sığ bir göl olan Çöl Gölü, yarı tuzlu sığ bir göl olan Yay Gölü ve tatlı su içeren Kuzey ve Güney Sazlıkları'ndan oluşmaktadır. Sultansazlığı Sulak Alanı Şekil 1'de verilmiştir.

Develi Kapalı Havzası'nın kuzey ve kuzey batısında, Erciyes Dağı'nın volkanik faaliyetlerinden kaynaklanan bazalt, andezit ve tüf, havzanın orta kesiminde, sulak alana doğru yaklaştıkça dane çapı incelen alüvyon, güneyde ise gri, masif, kalın tabakalı kireçtaşları mevcuttur. Tortul kayaçlardan oluşan formasyonlar Develi Kapalı Havzasında doğu-batı yönünde, mağmatik kayaçlar ise kuzey- güney doğrultusunda dar bir şerit şeklinde uzanmaktadır [DSİ, 1995]. Develi Kapalı Havzası'na ait jeoloji haritası Şekil 2'de verilmiştir.

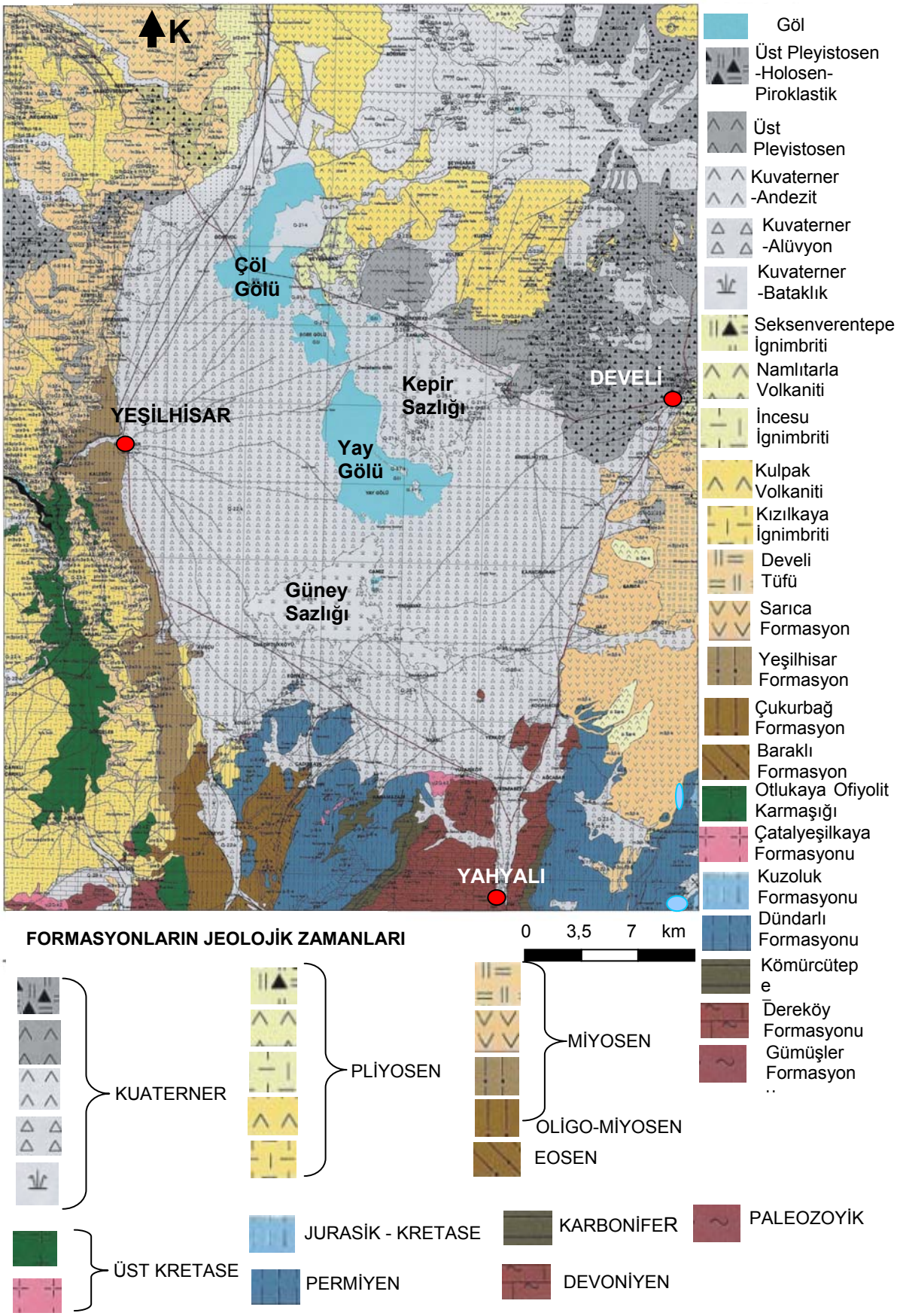
Develi Kapalı Havzası'nda Paleozoyik'den başlamak üzere Kuvaterner'e kadar değişik jeolojik zamanlara ait formasyonlar bulunmaktadır. Develi Tüfü, Tahar İgnimbrit Üyesi, Susuzdağ Volkaniti, Salur Kireçtaşı, Dündarlı Formasyonu, Sarıca Formasyonu ve Yeşilhisar Formasyonu Develi Kapalı Havzası'nda görülen başlıca formasyonlardır [Yıldız, 2007; Dönmez ve ark., 2005].

Develi Kapalı Havzası'nın güneyinde Aladağ kireçtaşları ile bunlar arasında yer alan ofiyolitik melanj içeren bir jeolojik yapı görülmektedir. Batıda, kuzey ve doğuda ise Kapadokya volkanik bölgesine ait volkanik ve volkano-tortul birimler yaygındır. Develi Kapalı Havzası'nın batı ve doğu kesimlerinde ignimbiritle, kuzeyde Erciyes ve batıda Deveci Dağı'nda ise değişik volkanik kayaçlar yaygın olarak gözlenmektedir. Sultansazlığı Sulak Alanı'nın da bulunduğu Develi Ovası, çek-ayır tipi (pull-apart) tektonik çöküntü havzasıdır. Develi Ovası bu yapıya bağlı olarak Pliyo-kuvaterner boyunca civar yükseltilerden türeyen kırıntılı malzeme ile dolmuştur [Yıldız ve ark., 2009].

Küresel iklim değişikliğine bağlı olarak Sultansazlığı Sulak Alanın'nda son yıllarda kuraklık ve tuzluluk önemli sorunlar haline gelmiştir. Sultansazlığı'ndaki kuraklığın sebeplerini tanımlayabilmek için Sultansazlığı'nda yüzey suyu ile yer altı suyu arasındaki ilişki araştırılmıştır. Sultansazlığı Sulak Alanı'nın yer altı suyu ile olan ilişkisini belirlemek için Develi Kapalı Havzası'nda doğal izotop çalışmaları, jeoloji –hidrojeoloji etüdleri ve su kimyası analizlerinin yapılmış ayrıca zeminin yapısını belirlemek için Sultansazliği çevresinde 2003 yılında elektrik özdirenç etüdleri yapılmıştır. Ayrıca bu inceleme kapsamında Develi Kapalı Havzası'nda 1966 yılında DSİ tarafından yapılmış olan elektrik özdirenç etüdleri de değerlendirilmiştir. 2003 yılında elektrik özdirenç etüdü yapılan noktaların koordinatları ve yeri ile ilgili bilgiler Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 1 – Sultansazlığı Sulak Alanı [Milli Parklar, 2002'den uyarlanmıştır]



(MTA, 2005 haritasından alınarak düzenlenmiştir)

Şekil 2 – Develi Kapalı Havzası'nın jeoloji haritası [Yıldız, 2007]

Çizelge 1 – Ölçüm yapılan noktaların GPS aletiyle ölçülen koordinatları

Ölçüm No	Yeri	E (Doğu)	N (Kuzey)	Elev. (yükseklik)
1	Tuzla Mevkii	38°22'67"	34°35'72"	1078
2	Devesazı Mevkii-Yay Gölü	38°33'94"	34°42'60"	1066
3	Yay Gölü doğu-batı istikameti	38°34'82"	34°37'23"	1068
4	Çayırözü	38°38'81"	34°39'45"	1072

2 ELEKTRİK ÖZDİRENÇ METODU

Yer katmanlarının jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi için birçok jeofizik analiz yöntemi vardır. Elektrik özdirenç yöntemi de bunlardan birisidir. Bu yöntemde amaç, yerin jeolojik yapısının, yerin elektrik geçirgenliğine göre belirlenmesi ve buna göre haritaların hazırlanmasıdır. Yöntem hidrojeoloji ve mühendislik jeolojisi problemlerinin çözümünde de yoğun olarak kullanılmaktadır. Doğru Akım elektrik özdirenç (rezistivite) ölçü düzeneği Şekil 3' de gösterilmiştir. Bu düzenekte, bir güç kaynağı (akü), bir akım ölçer (ampermetre) ve bir gerilim farkı ölçer (voltmetre) gereklidir. Burada, iki noktada yere çakılmış elektrotlar yardımı ile zemine akım uygulanır (A ve B akım elektrotları) ve diğer iki noktada çakılmış elektrotlar arasında oluşan gerilim farkı ölçülür (M ve N gerilim elektrotları). Kullanılan elektrotlar genelde paslanmaz çelikten yapılmıştır. Şekil 3 de A noktasından yere verilen akım, yer içinden geçer ve B noktasına ulaşır. Şekil 3'de akım çizgileri noktalı çizgi ve buna dik gerilim çizgileri ise düz çizgi olarak çizilmiştir. Bu akımdan dolayı M ve N elektrotlarının arasında oluşan gerilim farkı ölçülür. Arazide ölçülen gerilim farkı ve amper kullanılarak (1) no'lu formül ile görünür özdirenç hesaplanır

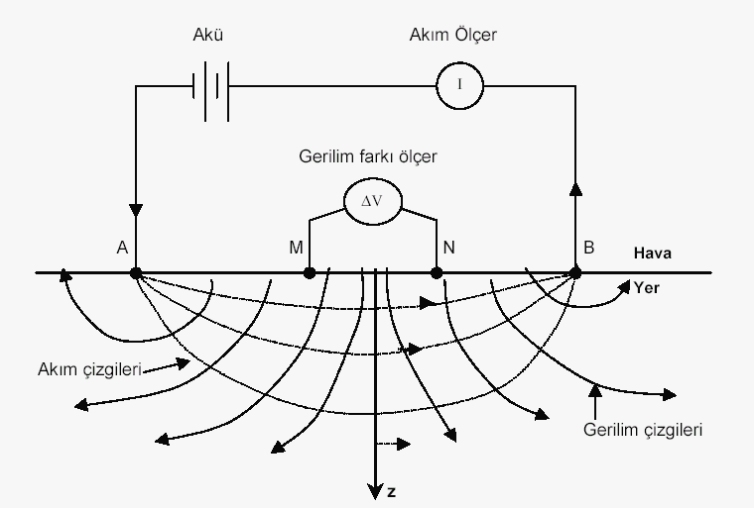
$$\rho = k\frac{\Delta V}{I} \qquad (1)$$

Burada ΔV arazide ölçülen gerilim farkı (volt), I amper, k geometrik katsayı olarak adlandırılmaktadır. Geometrik katsayı (2) no'lu formüle göre hesaplanır.

$$k = \frac{2\pi}{\frac{1}{\overline{AM}} - \frac{1}{\overline{BM}} - \frac{1}{\overline{AN}} + \frac{1}{\overline{BN}}} \qquad (2)$$

Geometrik katsayı, elektrotlar arasındaki uzaklığa bağlıdır.

Elektrot dizilimleri, elektrotların bir simetri merkezine göre, çizgi boyunca dizilmesinden elde edilen; Schlumberger, Wenner ve dipol-dipol (dipole-dipole) ve pole-dipol (pole-dipole) dizilimleridir. Görünür özdirenç hesaplandıktan sonra x-ekseni AB/2, y-ekseni ise ölçülen görünür özdirenç değerleri olacak şekilde "Düşey Elektriki Sondaj" (DES) eğrisi çizilir. DES eğrisinin her iki ekseni de logaritmiktir. DES eğrisi yorumlanarak, zemin tabakalarının cinsi, yer altı suyu, ana kaya üstündeki örtü kalınlığının tespit edilebilir [Yıldız, 2007].



Şekil 3 – Elektriksel özdirenç ölçüm düzeneği Schlumberger [Van Nostran ve Cook,1966]

3 DEVELİ KAPALI HAVZASI İÇİN YAPILAN ELEKTRİK ÖZDİRENÇ ÇALIŞMALARI

3.1 1966 Yılı Çalışmalarının Analizi

DSI tarafından 1966 yılında, Develi Kapalı Havzası'nda, Yay Gölü, Güney ve Kuzey Sazlıkları çevresinden 33 adet hat boyunca jeofizik etüt (elektrik özdirenç ölçümü) yapılmış ve elektrik özdirenç ölçüm sonuçları yorumlanarak 33 hat boyunca kesitler çizilmiştir. [Tezel, 1966] raporunda çizilmiş olan kesitlerin aynı yerde açılmış olan kuyu logları ile olan korelasyonunu belirleyebilmek için DSI' nin 1966 yılında elektrik özdirenç ölçümü yaptığı hatları gösteren harita (bu harita [DSI, 1970] raporundan alınmıştır) ile [DSİ,1995] Hidrojeolojik Etüt Raporu'nda yer alan hidrojeoloji haritası çakıştırılarak elektrik özdirenç ölçüm hatları üzerine denk gelen sondaj kuyuları belirlenmiştir. Sondaj kuyularının logları ile elektrik özdirenç etüdü ile çizilen kesitler karşılaştırılmıştır. (Tüm kuyu logları DSİ 12.Bölge Müdürlüğü Yer altı Suları Şubesi'nden temin edilmiştir) Bu karşılaştırmaya göre elektrik özdirenç ölçümleri sonucu çizilen kesitlerle belirlenen jeolojik yapıların sondaj kuyusu loglarında gösterilen jeolojik yapılarla uyumlu oldukları belirlenmiştir. Karşılaştırmada kullanılan sondaj kuyuları Çizelge 2'de verilmiştir.

Develi Kapalı Havzası'nda zeminin yapısını belirleyebilmek için kuyu logları incelendiğinde; Yahyalı civarında açılmış olan 849, 1549, 7810 ve 20306 no'lu kuyular incelendiğinde kumlu kalker, kil-kum-çakıl karışımı ve kil-kum karışımı seviyeler ardalanmalıdır. 849 no'lu kuyuda yüzeyden itibaren 37 m derinlikte marn, 1549 no'lu kuyuda yüzeyden itibaren 129 m derinlikte kalkerli kum, 7810 no'lu kuyuda yüzeyden itibaren 215 m derinlikte sonra killi kalker ve 20306 no'lu kuyuda ise yüzeyden itibaren 47 m derinlikte şist mevcuttur. Develi Kapalı Havzasının güneybatısında bulunan 853 ve 17062 no'lu kuyularda kumlu silt, killi kum ve çakıl seviyeleri ardalanmalıdır. 853 no'lu kuyuda yüzeyden itibaren 199 m derinlikte marn, 17062 no'lu kuyuda ise yüzeyden itibaren 180 m derinlikte fliş görülmektedir. Yahyalı'nın kuzeyinde yer alan 15743 ve 15714 no'lu kuyularda çakıllı kum, killi çakıl, çakıl, çakıllı killi seviyeler ardalanmakta, 15743 no'lu kuyuda yüzeyden itibaren 150 m derinlikte kalker, 15714 no'lu kuyuda ise yüzeyden itibaren 160 m derinlikte çakıllı kil seviyesi yer almaktadır. Yay Gölü'nün güneydoğusunda yer alan 16817 no'lu kuyuda kil-kum-çakıl karışımı, kil, killi kum ve çakılın ardalandığı görülmektedir. Bu kuyuda kil seviyeleri ince seviyeler halindedir. Yay Gölü'ne ve sazlık alanlara yaklaştıkça kuyu tabanlarında kalın kil yer almaktadır. Eski bir araştırma kuyusu olan ve kullanılmayan 7815 no'lu kuyunun logu ve bu kuyunun elektrik özdirenç ölçüm hattı kesiti üzerindeki yeri incelendiğinde bu kuyunun tamamen kil ve marn kestiği görülmektedir. (7815 no'lu kuyu Yay Gölü'ne en yakın kuyudur). Yay Gölü'ne yakın olan ve gölün kuzeybatısında yer alan 2677 no'lu kuyuda kum-çakıl, aglomera ve kum-çakıl seviyeleri altında,131 m derinlikte az kumlu killi seviyeler yer almaktadır.

Develi Kapalı Havzası'nın kuzeyinde Çöl Gölü'ne yakın bir yerde açılmış 7813 no'lu eski ve kullanılmayan araştırma kuyusunun elektrik özdirenç ölçüm hattı kesiti üzerindeki yeri ve kuyu logu incelendiğinde kalkerli marn, marn, tüf, tüflü marn ve killi marn tabakaları bulunmakta ve kuyunun en alt kesiminde 99 m derinlikte bazalt tabakası görülmektedir. (Develi Kapalı Havzası'nın kuzey kesiminde yer alan kuyularda bulunan tüf tabakası geçmişte faal durumda olan volkanik Erciyes Dağı'nın soğuyan lavlarından kaynaklanmaktadır).

Çizelge 2 – Karşılaştırmada kullanılan elektrik özdirenç ölçümü yapılan hatlarıyla bu hatlar üzerinde bulunan kuyuların numaraları

Elektrik özdirenç ölçümü yapılan hattın numarası	Elektrik özdirenç ölçüm hattı üzerinde açılmış olan kuyu numarası
II	7810-I, 7810-II,
IV	17062,849,853
V	1549
IX	16817
XI	20306
XII	15714, 15743
XIII	849, 848
XIX	14610, 854
XX	24609, 7811
XV	7813
XXIX	7815, 2678
XXX	2677, 22103

Yeşilhisar İlçesi'nin kuzeyinde bulunan 24609 no'lu kuyuda kum-çakıl ve kum-çakıl-kil karışımı seviyeler ardalanmalıdır. 24609 no'lu kuyunun güneyindeki 854 no'lu kuyuda da siltli çakıl, killi çakıl ve killi kum seviyelerinden sonra yüzeyden itibaren 196 m derinlikte killi çakıl seviyesi bulunmaktadır. 24609 no'lu kuyunun kuzey-doğusunda açılmış olan 7811 no'lu kuyuda ise nebati toprağın altından itibaren kum, çakıl, killi kum, marn, kalker, kil-kum-çakıl, tüf seviyeleri ardalanmalıdır ve yüzeyden itibaren 225 m derinlikte kumlu kil görülmektedir. 7811 no'lu kuyuda; 55-130 m arasında değişen bantlar halinde su taşıyan kireçtaşı tabakaları yer almaktadır. 7811 no'lu kuyunun kuzeyinde bulunan 14618 no'lu kuyuda ise kil-kum-çakıl ve kil seviyeleri ardalanmalıdır ayrıca yüzeyden itibaren 140 m derinlikte kil mevcuttur. Özetlenecek olursa Çizelge 2'de numaraları verilen kuyu logları incelendiğinde genel olarak doğu ve batıdan Sultansazlığı Sulak Alanı'na doğru yaklaşıldıkça tane çapının azalarak çakıldan kuma, kumdan kile geçiş olduğu, kuzeyde tüflü birimler, güneyde ise kireçtaşlarının bulunduğu görülmektedir:

1) Develi Kapalı Havzası'nda kil seviyelerinin elektrik özdirenç değeri 5-15 ohm-m arasında değişmektedir. Havzanın ortasına doğru, tabandaki kil kalınlığı artmakta, kenarlarda kil-kum-çakıl karışımı tabakalar görülmektedir.

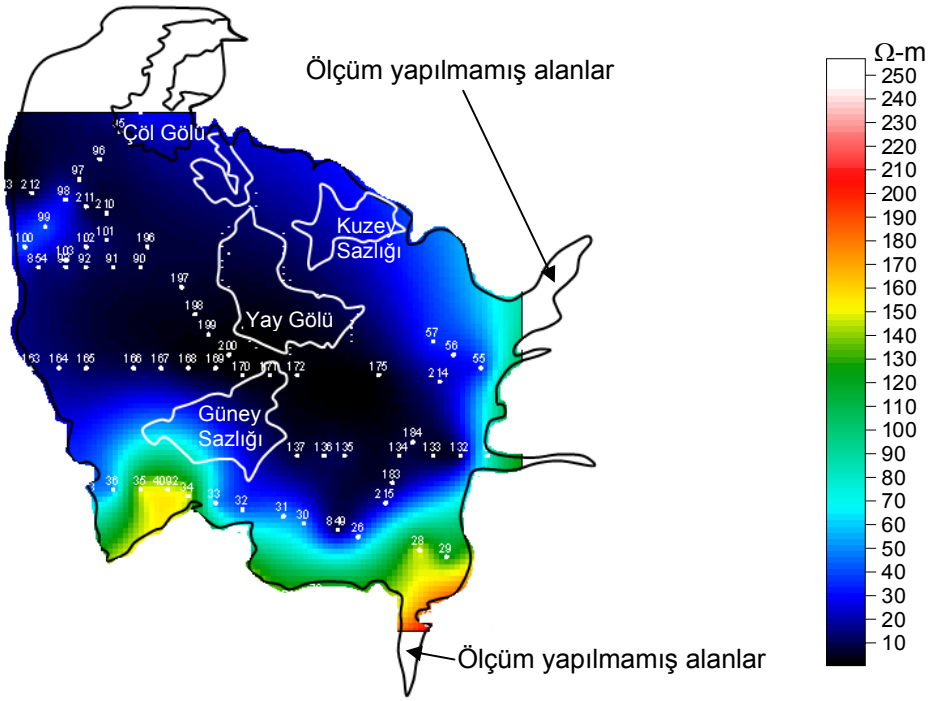
2) Develi Ovası'nın orta kesiminde 40 – 300 ohm-m arasında elektrik özdirenç değerlerine sahip iri çakıl içeren seviyeler mevcuttur. Develi Kapalı Havzası'nın doğusunda 15-50 ohm-m arasında elektrik özdirenç değerine sahip kil ve kil-kum-çakıl karışımı tabakalar mevcuttur. (DSİ tarafından elektrik özdirenç çalışmalarının yapıldığı 1966 yılında bu bölgede hidrojeolojik açıdan artezyen karakterinde akiferler belirlenmiştir). Ayrıca yine ovanın orta kesiminde 50-150 ohm-m arasında elektrik özdirenç değerlerine sahip aglomera seviyelerine de rastlanmaktadır.

3) Yeşilhisar alüvyon konisi 25-60 ohm-m arasında elektrik özdirenç değerine sahip olup Develi alüvyon konisine göre daha ince çakıllı tabakalar içermektedir.

4) Yay Gölü ve sazlık alana yakın kesimlerde 25-50 ohm-m arasında elektrik özdirenç değerine sahip kumlu marn tabakalarına rastlanmaktadır.

5) Develi Kapalı Havza'sının güneyinde fliş yer almakta olup bu birimin elektrik özdirenç değeri 60-150 ohm-m arasında değişmektedir, fliş serisi, kiltaşı, marn ve kumtaşı içermektedir. Kireçtaşları da havzanın güneyinde yer almaktadır ve elektrik özdirenç değeri 80-250 ohm-m arasında değişmektedir. Ayrıca bu bölgede 100-150 ohm-m arasında elektrik özdirenç değerine sahip mağmatik kayaçlara da (diyorit) rastlanmaktadır [Tezel, 1966].

Bu inceleme kapsamında 1966 yılı elektrik özdirenç verileri kullanılarak 780 m kotu için çizilen elektrik özdirenç haritası Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4 – 780 m kotu için elektrik özdirenç dağılım haritası

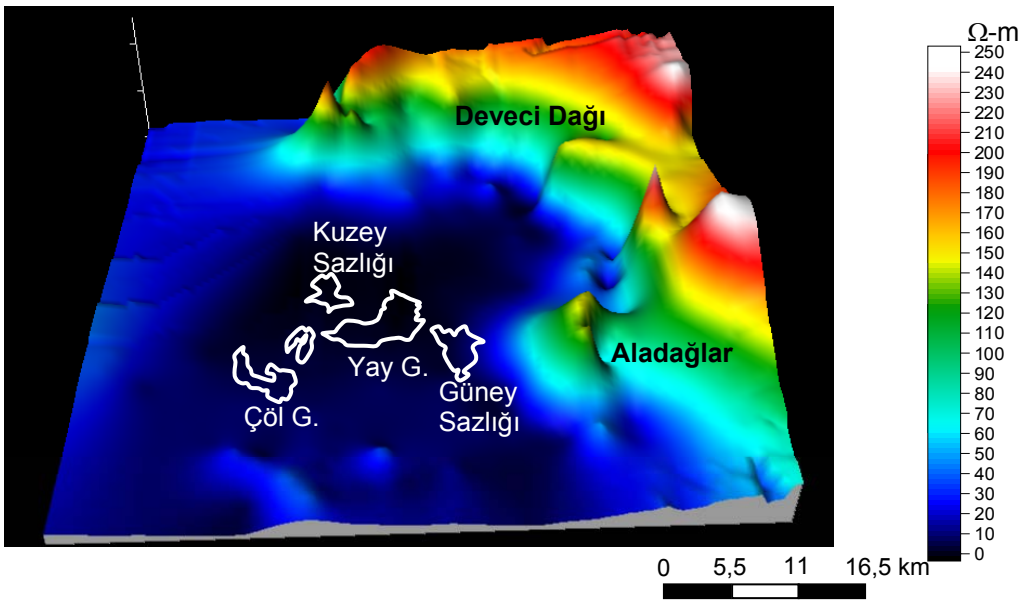
Şekil 4 incelendiğinde Sultansazlığı Sulak Alanı'nda Yay Gölü, Kuzey, Güney Sazlıkları ile Çöl Gölü'nün altında 1-10 Ω-m arasında değişen elektrik özdirenç dağılımı görülmektedir. Develi Kapalı Havzası'nda jeolojik zamanlar içinde Geç Pleyistosen'den itibaren birçok göl oluşmuş ve iklim değişimine bağlı olarak zaman içinde kurumuşlardır [Erol, 1999]. Kille kaplı kurumuş göl tabanları; 1-10 Ω-m arasında değişen elektrik özdirence sahip farklı genişlikte killi alanlar oluşturmuşlardır. Develi Kapalı Havzası'nın güney ve güneydoğusunda; Yahyalı civarında ve Develi'nin güneyinde ise kireçtaşlarından dolayı elektrik özdirenç değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir.

Develi Kapalı Havzası'nda 1966 yılı elektrik özdirenç verilerinden faydalanarak; 1080-780 m kotları arasındaki her 20 m düşey kalınlık için belirlenen elektrik özdirenç değerleri, ölçüm yapılan noktaların x ve y koordinatları ile birlikte kullanılarak 3 boyutlu elektrik özdirenç grafiği elde edilmiştir. 3 boyutlu grafik Şekil 5'de verilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde de Develi Kapalı Havzası'nın ortasında bulunan çok geçirimsiz hacmin ters koni şeklinde olduğu ve derine inildikçe kesit alanının azaldığı belirlenmiştir.

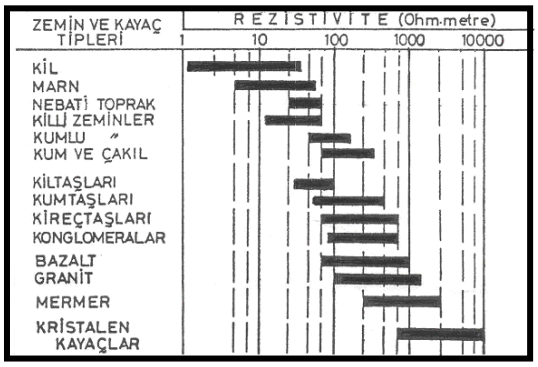
Zemin ve kayaç tiplerine göre özdirenç (Ω-m) değerleri [Öncel, 2000] ise Şekil 6'da verilmiştir.

3.2 2003 Yılı Elektrik Özdirenç Ölçümleri

Sultansazlığı Sulak Alanı'nda bu çalışamanın ekibi tarafından, Yay Gölü ve civarındaki yer katmanlarının jeolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 05-06 Temmuz 2003 tarihlerinde; Tuzla mevki, Yay Gölü – Devesazı mevki,Yay Gölü batı yönü, Çayırözü mevkii olmak üzere toplam dört noktada elektrik özdirenç yöntemi ile ölçümler yapılmıştır (bkz. Çizelge 1). Bu ölçümlerde Schlumberger elektrot dizilimi kullanılmıştır. Her bir ölçüm noktasında akım elektrotları, sabit bir nokta simetri merkezi olacak şekilde her iki yönde bir çizgi boyunca toplam 190 m açılmıştır. 05-06 Temmuz 2003 tarihlerinde Sultansazlığı çevresinde yapılmış olan elektrik özdirenç ölçüm sonuçları ile ölçüm noktalarına en yakın yerlerde açılmış olan sondaj kuyularının logları karşılaştırılarak elektrik özdirenç verileri ile kuyu logları arasındaki korelasyon belirlenmiştir.



Şekil 5 – 3 boyutlu elektrik özdirenç dağılım haritası



Şekil 6 – Zemin ve kayaçların elektrik özdirençleri [Öncel, 2000]

2003 yılında yapılmış olan elektrik özdirenç ölçüm noktalarına en yakın konumdaki kuyular Tuzla mevki için; 20306 no'lu DSI kuyusu, Yay Gölü-Devesazı mevki için 7815 no'lu DSI kuyusu ve Çayırözü mevki için 7813 no'lu DSI kuyusudur. Bu kuyuların loglarına bakılacak olursa 20306 no'lu kuyuda çakıllı kil, tüf, killi çakıl, çakıl ve yüzeyden 47 m derinlikte şist mevcuttur. 7813 no'lu kuyuda kalkerli marn, killi marn, kalkerli marn, tüf, tüflü marn ve bazalt tabakalarının olduğu, 7815 no'lu kuyuda kil, marn ve tekrar kil seviyelerinin olduğu belirlenmiştir.

2003 yılında yapılan ölçümlere göre hesaplanan elektrik özdirenç değerleri kullanılarak her ölçüm noktası için DES eğrileri hazırlanmış ve tüm bu veriler yorumlanarak ölçüm yapılan noktalarda zeminin yapısı belirlenmiştir. Elektrik özdirenç etüdleri ile belirlenen zemin yapısının ölçüm noktalarına yakın konumlarda açılmış olan sondaj kuyularının logları ile uyumlu oldukları da tespit edilmiştir. Buna göre elektrik özdirenç etüdü yapılan ölçüm noktalarının zemin yapıları ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir:

3.2.1 1 no'lu ölçüm noktası: Tuzla mevkii

Tuzla mevkiinde yüzeyde tuzlanma vardır. Akım penetrasyonu ilk 10 m'ye kadar sağlanamamaktadır ve akım yüzeyde bulunmaktadır. 0- 10 m arası killi ve tuzludur. 10-55 m arasında da tuzlanma vardır. Bu kısım tüf ve tüfitleri alterasyonu ile oluşan çok sıkı olmayan ve yüksek poroziteli bir birimdir ancak bu birim tuzlu olduğundan özdirenç değeri düşük çıkmıştır. 56 -65 m arasında tuzlu, çok ince daneli altere malzeme ve kil katmanı bulunmaktadır (5 Ω-m). 65-150 m'de ise yine tüf ve tüfitlerin bozulması sonucu oluşan ve tuz içeren bir birim mevcuttur, bu birim de tuz içerdiği için özdirenç değeri düşük çıkmıştır.

3.2.2 2 no'lu ölçüm noktası: Yay Gölü-Devesazi mevkii

0-18 m arasında yüzeyde de bulunan killi, siltli, ince daneli alterasyon ürünü ve tuzlanma mevcuttur. Tuzlanma 2-3 m'den daha derinlere doğru inildikçe artmaktadır. Poroz ve boşlukların tamamı tuzla dolmuştur. 18 -200 m arasında tuzlanma fevkalade yüksektir (2 Ω-m -3 Ω-m), kil ve silt boyutunda çok ince tüf malzemeleri bulunmaktadır.

3.2.3 3 no'lu ölçüm noktası: Yay Gölü batı yönü

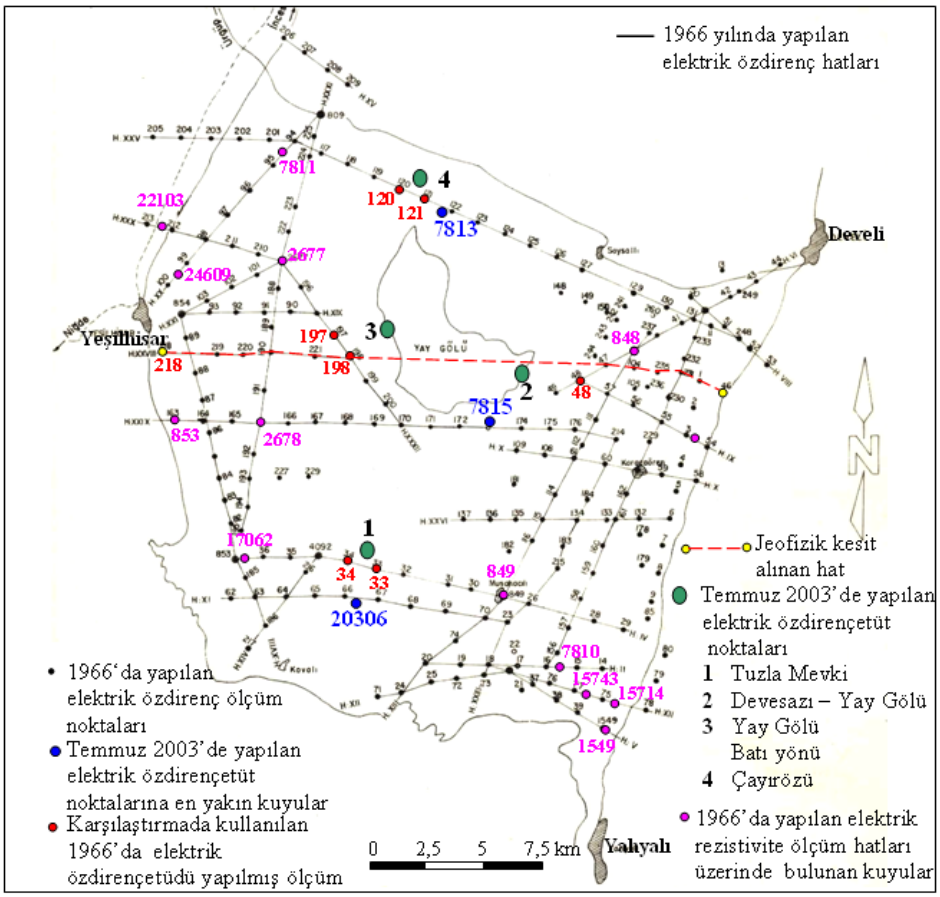
Bu ölçüm noktasında da tuzlanma vardır ancak 1. Ve 2. Ölçüm noktalarında olduğu kadar yoğun bir tuzlanma yoktur. 15 m'ye kadar killi, siltli, tüf ve tüfitlerin erezyonu sonucu oluşmuş malzeme mevcuttur. Çok sıkı yapıda olmayan ince daneli ürünlerdir. 15-22 m arasında çok tuzlu killi birim vardır (3 Ω-m). 150 m'ye kadar ise yine killi, siltli altere malzeme vardır, bu malzemenin tuzluluk derecesi üst katlara oranla daha düşüktür. Bu ölçüm noktasında elektrik özdirenç değerinin üst katlara göre daha yüksek olmasının sebebi silt ve az çakıllı kum birimlerinin dane iriliğine ve tüflerin koyu renkli elemanlardan oluşmasına bağlı olabilir.

3.2.4 4 no'lu ölçüm noktası: Çayırözü Mevkii

0-3 m yüzeydeki gevşek ve az tuzlu olan nispeten tüf ve tüfitlerin feldspat türü altere malzemeden oluştuğu killi seviyelerdir (6 Ω-m). 3-30 m arasında killi, siltli tuzlu olan bir birim mevcuttur. Tuz oranı derine doğru artmaktadır. Bu bünyedeki suyunda geçirgenliğin artma özelliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. 30-100m arası killi ve çok tuzlu bir birimdir(1 Ω-m). 100-200 m arası ise killi, siltli, üst katlara oranla tuzlanmanın daha az olduğu bir birimdir (5 Ω-m). Ama yine de tuzlanma vardır.

2003 yılı elektrik özdirenç etüdlerine göre belirlenen ölçüm noktalarının zemin yapılarına ait yukarıda verilen bilgiler incelendiğinde tüm ölçüm noktalarında tuzlanmanın çok fazla olduğu görülmektedir. 2003 yılı ölçümlerinde zeminde daneler arasında biriken tuz nedeniyle oluşan yüksek tuzluluk ölçümleri olumsuz etkileyerek elektrik özdirenç değerlerinin çok düşük hesaplanmasına sebep olmuştur. Sultansazlığı Sulak Alanı yağışın yanı sıra tuzlu drenaj sularıyla da beslendiği için bu sulak alanda tuzluluk problemi mevcuttur. Değişik dönemlerde sulak alandaki göl sularından alınan su örneklerine yapılan su kimyası analizleri ile de tuzluluğun zaman içinde Sultansazlığı'nda arttığı belirlenmiştir [Yıldız, 2007]. 2003'de tüm elektrik özdirenç ölçüm noktalarında aşırı tuzlanma görülürken 1966 ölçümlerine göre elde edilen ve DSİ tarafından çizilen kesitlerde sadece 48, 120 ve 121 no'lu ölçüm noktalarında tuzlanma mevcuttur bu da 1966 yılından 2003 yılına kadar geçen sürede Develi Ovası'nda, zemindeki tuz miktarındaki artışın bir göstergesidir.

1966 yılında Develi Kapalı Havzası'nda yapılmış olan elektrik özdirenç ölçüm hatları ile 2003 yılında Sultansazlığı Sulak Alanı çevresinde yapılan elektrik özdirenç ölçüm noktaları Şekil 7'de verilmiştir. Elektrik özdirenç ölçüm sonuçları ile karşılaştırma yapılan loglara ait sondaj kuyuları da Şekil 7 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 7 – Elektrik özdirenç ölçüm noktaları

4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1. Sultansazlığı Sulak Alanı'nda yüzey suyu ve yer altı sularının ilişkisini ortaya koymak amacı ile izotop, su kimyası analizleri, jeoloji, hidrojeoloji etüdlerinin yanında bir jeofizik etüd yöntemi de olan elektrik özdirenç yöntemi kullanılmıştır.

2. Sultansazlığı Sulak Alanı çevresinde bu çalışmanın araştırma ekibi tarafından 2003 yılında elektrik özdirenç etüdleri yapılmıştır. Ayrıca DSI Genel Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yer altı Suları Dairesi Başkanlığı'ndan 1966 yılında DSİ'nin jeofizik mühendislerince Develi Kapalı Havzası'nda 33 hat boyunca yapılmış olan elektrik özdirenç etüd raporu da temin edilerek 1966 yılı ölçüm sonuçları da analiz edilmiştir. Kuyu logları ile birlikte 1966 ve 2003 yılı elektrik özdirenç etüdleri bir bütün olarak değerlendirilerek Develi Kapalı Havzası'nın hidrojeolojik modeli ortaya konmuştur.

3. Kuyu logları ile elektrik rezistivite ölçüm sonuçları birlikte değerlendirildiğinde Develi Kapalı Havzası'nda Sultansazlığı'nın bulunduğu orta kesimlere doğru gidildikçe dane çapının azalarak kile dönüştüğü, güney de kireçtaşları(Aladağlar), kuzey de ise Erciyes Volkanizması'ndan dolayı mağmatik – volkanik kayaçların bulunduğu tespit edilmiştir. Sultansazlığı Sulak Alanı'nın altında düşük elektrik özdirence sahip (1-10Ω-m) kalın bir kil tabakası mevcuttur bu nedenle yer altı suyu ile Sultansazlığı Sulak Alanı'nın yüzey suyu arasında direkt bir ilişki olmadığı, ancak çok uzun dönem içinde yer altı suyunun kil tabakası içine sızarak sazlığı besleyebileceği söylenebilir.

4. Sultansazlığı Sulak Alanı'nda göl su seviyelerinin son yıllarda azalmasının büyük oranda küresel iklim değişikliğine bağlı olarak yağışların azalmasına ve buharlaşmanın artmasına bağlı olduğu düşünülmektedir.

5. Develi Kapalı Havzası'nda uzun dönem yağış, buharlaşma, sıcaklık gibi meteorolojik veriler incelenerek küresel iklim değişikliğinin ve diğer meteorolojik olayların Sultansazlığı Sulak Alanı'nın su bütçesine olan olası etkileri bir başka çalışmada incelenebilir.

KATKI BELİRTME
Yazarlar veri temini konusunda kendilerine yardımcı olan DSİ Genel Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Dairesi Başkanlığı'na, DSİ 12. Bölge Müdürlüğüne (Kayseri), arazi çalışmalarında kendilerine yardımcı olan jeoloji mühendisi Sayın Selami Türkileri'ye, şube müdürü jeoloji yüksek mühendisi Sayın Sedat Çelenk'e, Sayın Yrd. Doç.Dr.Filiz Dadaşer Çelik'e ve inşaat yüksek mühendisi Sayın Hüseyin Kökçüoğlu'na ve değerli fikirleri ile bu çalışmaya katkıda bulunan şube müdürü jeofizik mühendisi Sayın Seyhun Karabiber'e, jeofizik mühendisi Sayın Metin Mıhçı'ya ve jeofizik mühendisi Sayın Mustafa Şişman'a teşekkür ederler.

5 KAYNAKLAR

[1] Dönmez, M., Akçay, A.E., Türkecan, A., "Türkiye Jeoloji Haritaları, Kayseri K34 Paftası Raporu, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 2005.
[2] DSİ, "Develi-Yeşilhisar Ovası Hidrojeolojik Etüd Raporu", DSİ Yer altı Suları Dairesi Başkanlığı, Ankara, 1970.
[3] DSİ, "Kayseri Develi-Yeşilhisar Ovası Revize Hidrojeolojik Etüd Raporu", DSİ XII.Bölge Müdürlüğü, Kayseri,1995.
[4] Erol, O., "A Geomorphological Study of the Sultansazlığı Lake, Central Anatolia", *Quaternary Science Reviews*, 18: 647-657 1999.
[5] Milli Parklar, "Biyolojik Çeşitlilik ve Doğal Kaynak Yönetimi Projesi (GEF II) Broşürü", Milli Parklar Kayseri GEF II Proje Koordinatörlüğü, Kayseri, 2002.
[6] Öncel, K., "Zemin ve Kayaçlardaki Yeraltısuyu Araştırma Çalışmalarına Temel Olan Elektriksel Rezistivite Yönteminin İlkeleri", İller Bankası Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 2000.
[7] Tezel, H., "Develi Yeşilhisar Ovası Jeofizik Rezistivite Etüdü Raporu", DSİ Yer altı Suları Dairesi Başkanlığı, Ankara, 1966.
[8] Van Nostrand, R.G., Cook, K.L., "Interpretation of Resistivity Data, USGS Prof Paper", US Govt. Printing Office, Washington DC, USA, 1966.
[9] Yıldız, F.E., "Kayseri- Sultansazlığı Sulak Alanı'nda yer altı ve yerüstü suları ilişkisinin belirlenmesi", Doktora tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
[10] Yıldız, F.E., Ünsal, N., Gürer, İ., "Develi Kapalı Havzası'nda Yer altı Suyu Kimyası Çalışmaları",SES 2008 Sempozyumu Bildiri Kitabı, (Ed: M. Afşin ve M. A. Hınıs), sayfa:26-36, Aksaray, 2009.

DSİ Teknik Bülteni
Sayı: 109, Ekim 2010

SULARDA PESTİSİT TAYİNİ VE ÖNEMİ

Muharrem POLAT
Kimya Müh., DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı
Kimya Laboratuvarı Şube Müdürlüğü, Altınova ANKARA
muharremp@dsi.gov.tr

(Bildirinin geliş tarihi: 16.03.2010, Bildirinin kabul tarihi: 25.11.2010)

ÖZET
İçmesuyu kaynaklarında genellikle fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik parametrelerin analizleri yapılmaktadır. Türkiye büyük bir tarım ülkesi olması nedeniyle ayrıca sularda pestisit analizlerinin de yapılması önem arz etmektedir. Bitkileri zararlı ve hastalık yapıcı unsurlardan korumak için pestisit kullanılmaktadır. Su kaynaklarımızın bir kısmı tarımsal faaliyetlerden olumsuz etkilenmektedir.

Bugün için pestisitin kullanılmadığı hiçbir tarımsal ürün bulunmamaktadır. Pestisitler kullanıldığında hava, toprak ve su kaynakları kirletilmektedir. Su kaynaklarında ve tarımsal ürünlerde bulunan pestisit, insan sağlığını en çok etkileyen mikro kirleticilerdir. Pestisitler, zehir olarak anılan siyanürden 500, arsenikten ise 100 kat daha zehirlidir. Bu nedenle sularda pestisit analizi çok önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Pestisit, kromatografi, bozunma süresi, örnekleme zamanı, örnek hazırlama, katı faz ekstraksiyonu

PESTICIDE ANALYSIS IN WATER AND ITS IMPORTANCE

ABSTRACT
In drinking water resources usually physical, chemical and bacteriological analysis of the parameters are performed. In addition, since Turkey is an agricultural country, analysis of pesticides in water should also be done. To protect plants from harmful and disease effects, pesticides are used. A part of our water resources are affected negatively by agricultural activities.

Today, all agricultural products include pesticides. When pesticides are used, air, soil and water resources are polluted. The pesticide in water resources and agricultural products is micro-pollutants that highly affect human health. Pesticides are more toxic than cyanide (500 times) and arsenic (100 times). Therefore, analysis of pesticides in water is very important

Keywords: Pesticide, chromatography, degradation time, sampling time, sample preparation, solid phase extraction

1 GİRİŞ

Pestisitler, insan ve hayvan vücudu ile bitkiler üzerinde veya çevresinde yaşayan, besin kaynaklarının üretim, depolama, tüketimi sırasında besin değerini düşüren yada zarara uğratan böcek, kemirici, yabani ot, mantar gibi canlı formların yıkıcı etkisini azaltmak için kullanılan kimyasal maddelerdir.

Giderek artan dünya nüfusunun gıda ihtiyacını karşılayabilmek ve tarımsal ürün artışını güvence altına alabilmek amacıyla 1960-1970'li yıllarda dünyada uygulanan tarım politikaları sonucu yaygınlaşan monokültür uygulamaları içerisinde tarım ilaçları kullanımı geniş bir yer tutmuştur.

Bugün yaklaşık 6,5 milyar olan dünya nüfusuna oranlandığında kişi başına 0,5 kg

miktara ulaşan pestisit kullanımının ülkemizde birim alana düşen aktif madde miktarı 630 g/ha olup Fransa ve Almanya'da bu değer ülkemizden 9 kat, Amerika'da 15 kat daha fazladır [6]. Pestisitler kısaca çevre kirliliği olarak özetlenen olumsuzlukların yanı sıra, özellikle gıda ve su kaynaklarında bıraktıkları kalıntılar sonucu insan sağlığını tehdit etmektedir.

2.PESTİSİTLERİN ÇEVRESEL ÖNEMİ

Pestisitler suya kanalizasyondan, endüstriyel atık sularından ya da jeolojik formasyondan karışmazlar. Pestisitlerin tek kaynağı vardır. O da tarımsal üretimde ürün verimliliğini arttırmak için kullanılan tarım ilaçlarıdır.

Pestisitlerin önemini 2 ana başlıkta inceleyebiliriz. Birincisi Türkiye'nin büyük bir tarım ülkesi olması, dolayısıyla bir tarımsal girdi olarak pestisitlerin kullanılması ve su kaynaklarının kullanılan tarım ilaçlarından olumsuz etkilenmesidir. İkincisi pestisitlerin insan ve hayvanlar için zehirli olması ve pestisitler için verilen sınır değerlerin µg/L düzeyinde olmasıdır.

TS 266 – İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardında yer alan bazı önemli parametreler için sınır değerler aşağıdaki tabloda verilmiştir[9]. Standard da verilen değerler Sınıf 1-kaynak (memba) suları için verilen sınır değerlerdir. Bilindiği gibi CN, Hg, As ve Sb zehir etkisi yapmaktadır. Pestisit CN den 500, As'den 100, Sb'den 50 ve Hg'den 10 defa daha zehirlidir (Tablo 1).

Pestisitler (tarım ilaçları) **insan ve hayvanlar için zehirlidir**. Tarım (Zirai Mücadele) İlaçlarının Sınıflamasına Ait Yönerge'ye göre zirai mücadele ilaçları insan ve sıcak kanlı hayvanlara zehirlilik bakımından dört sınıfa ayrılmıştır. Sınıf 1 **çok zehirli**, Sınıf 2 **zehirli**, Sınıf 3 **orta derecede zehirli** ve Sınıf 4 ise **az zehirlidir** [1].

Tablo 1-Bazı Parametrelerin Sınır Değerleri

Parametre	Sınır değer µg/L en çok
Cl (klorür)	30 000
SO4 (sülfat)	25 000
Na (sodyum)	100 000
NH_4 (amonyum)	50
NO_2 (nitrit)	100
Fe (demir)	50
Mn mangan)	20
CN (siyanür)	500
Sb (antimon)	5
As (arsenik)	10
Hg (civa)	1
Pestisit	0,100

Toprak ve su ortamında zamanla birikmiş olan pestisit artıkları çevre sağlığı açısından genel olarak şu sonuçlara yol açmaktadır:
1-Pestisit artıkları ile kirlenmiş toprakta yetiştirilen ürünler pestisit artıklarını kökleriyle topraktan aldıkları için insanlar ve hayvanlar tarafından gıda maddesi ve yem olarak kullanılacak ürünler az da olsa tarım ilacı (pestisit) içerirler.
2-Toprak ve sudan oluşan yaşama ortamındaki makro ve mikrofloranın kısmen veya tamamen yok olmasına sebep olurlar.
3-Toprak verimliliğini artırmada rol oynayan solucanlar, topraktaki ilaç kalıntılarını doğrudan alacakları için önemli zarar görürler.
4-Pestisit artıkları topraktan süzülerek yeraltısularına, akarsularla baraj ve göllere, buharlaşma ile atmosfere karışabilirler [2].

Türkiye'de sağlıklı ve kaliteli su üretmekle görevli kurumlar olan yerel yönetimler, sularda tarım ilacı kalıntısı ölçümlerini kısmen yapmaktadırlar. Türkiye'deki büyükşehir belediyelerinin internet sitelerinden içme ve kullanma suyunun kaliteleri ve hangi parametrelerin kalitesinin izlendiği kolaylıkla takip edilebilmektedir. Bu veriler incelendiğinde sadece 3 büyükşehir belediyesinde ürettikleri suyun pestisit analizinin yapılmakta olduğu görülmüştür.

Türkiye'de sağlıklı su üretimi açısından bakıldığında pestisit analizi yapılmasının çok önemli olduğu ortaya çıkmaktadır.

3 BİTKİ DESENİNİN PESTİSİT ANALİZLERDEKİ ÖNEMİ

Türkiye bir tarım ülkesidir. Farklı iklimlere sahip coğrafi bölgelere ayrılmıştır. İklim farklılıklarından dolayı çok çeşitli bitkisel ürünler yetiştirilmektedir. Bitkisel ürünleri hastalık ve zararlılardan korumak için zirai mücadele ilaçları kullanılmaktadır. Kullanılan ilaçlar bitkilerin türüne göre değişiklik göstermektedir. Pamuk, tütün, fındık, fıstık, tahıl, sebze, meyve, bağcılık vs. için farklı tarım ilaçları kullanılmaktadır.

Sularda pestisit analizi daha önceden belirlenmiş parametrelere göre yapılmaktadır. Su numunesi hangi yöreden (bölgeden) gelirse gelsin hepsinde aynı parametrelerin miktarı belirlenmektedir. Oysa pestisit analizlerinde **bitki deseni** esas alınarak pestisit analizleri yapılmalıdır. Su numuneleri analiz edilmeden önce numunelerin hangi bölgeden geldiği, hangi ürünlerin yetiştirildiği ve bu ürünlerin hastalık ve zararlılardan korumak amacıyla hangi tarım ilaçlarının kullanıldığı hakkında bilgi toplanmalıdır.

Elde edilen bilgiler doğrultusunda analizin yapıldığı cihazın kalibrasyonu yapılmalıdır. Daha sonra analize geçilmelidir. Bitki deseni esas alınmadan yapılacak analizlerin sonuçları güvenilirliği düşük olacaktır. Kullanılmayan tarım ilaçlarının analizlerinin yapılması durumunda, su numunesinde de ilaç kalıntısı bulunmaz ve su pestisit bakımından iyi kaliteli olacaktır.

Buğday hemen her yörede üretilmekte olması nedeniyle böceklerin buğdaya zarar vermemesi için aktif maddesi **tebuconazole** olan ilaçlar kullanılmaktadır. Ayrıca ilkbaharda buğdayı zararlı otlardan da korumak için etkin maddesi **2,4-D (isooctyl ester)** olan ilaçlar kullanılmaktadır**.** Cihaz kalibrasyonunda bu iki parametre mutlaka yer almalıdır.

4 PESTİSİTLERİN ANALİZİ VE ANALİZ TEKNİKLERİ

Bitkileri korumak amacıyla yüzlerce tarım ilacı (pestisit) kullanılmaktadır. Pestisit analizlerinde, sularda tarım ilacının içindeki **etkin/aktif madde** tespit edilmektedir.

Bir karışımda gaz halinde bulunan veya kolayca buharlaşabilen bileşenlerin birbirinden ayrılması amacıyla kullanılan kromatografi yönteminin genel adı gaz kromatografisidir.

Küçük miktarda bir madde karışımı kromatografi denilen cihaza enjekte edilir. Taşıyıcı gaz/sıvı, kromatografi içinde bulunan ve kolon olarak adlandırılan ince bir boru içerisinde bu karışımı sürükler. Örnek, kolon boyunca sürüklenirken bileşenler birbirinden ayrılır. Kolondan tek tek çıkan her bileşenin konsantrasyon profili pik olarak adlandırılır. Karışım bileşenlerinin oluşturduğu pik tablosu ise kromotogram olarak adlandırılır [3].

4.1.Örnek Hazırlama

4.1.1 Klorlu ve Fosforlu Pestisitler

Klorlu ve azot-fosforlu pestisitlerin cihazda analizi yapılmadan önce numune, "**Örnek hazırlama**" aşamalarından geçirilmektedir. Sıvı-sıvı ekstraksiyonu, katı faz ekstraksiyonu (SPE), distilasyon, süzme, santrifüj gibi çeşitli örnek hazırlama teknikleri bulunmaktadır. DSİ TAKK Dairesi Kimya Laboratuvarında yapılan analizlerde numune hazırlamada az çözücüye ihtiyaç göstermesi, emülsiyon oluşmaması, ekonomik olması, daha temiz ekstrakt elde edilmesi ve yüksek geri kazanım oranları nedeniyle **Katı Faz Ekstraksiyonu (SPE)** metodu kullanılmaktadır. SPE yöntemi genel olarak küçük, tek kullanımlık ekstraksiyon kolon veya disklerine çeşitli tutucu maddelerin doldurulması ve sıvı örneklerini istenmeyen bileşenlerden ayırma, yoğunlaştırma ve ileriki analiz aşamaları için örnek matris yapısının değiştirilmesi amaçlarıyla hazırlanmış olan kolon ve disklerden geçirilmesi esasına dayanmaktadır. Sıvı örneğin kolondan geçirilmesi SPE vakum manifoldları yardımıyla yapılmaktadır(Şekil 1).

Sularda pestisit miktarı çok az (µg/L düzeyinde) olması nedeniyle zenginleştirme (ekstraksiyon) yapılmaktadır. Numune hazırlama işlemi uzun bir süreç olup **6 aşamada** gerçekleştirilmektedir.

1-Askıdaki katı maddelerin su numunesinden uzaklaştırılması için numuneler adi süzgeç kâğıdında süzülür. Süzüntüden 200 mL numune alınır.
2-SPE kolonu şartlandırılır. Şartlandırmanın amacı, kolonun içinde bulunan tutucu maddenin pestisitleri tutmasını ve diğer maddelerin kolondan geçmesinin sağlanmasıdır. Bunun için kolondan 6 mL hegzan, 12 mL metil alkol ve 10 mL ultra saf su (deiyonize su) geçirilir.
3-Kolon şartlandırıldıktan sonra 200 mL numune kolondan geçirilir. Böylece pestisitler kolonda tutulur.
4-Kolondan 1 mL saf su geçirilerek kolonda kalan kalıntıların geçmesi sağlanır.
5-Kolonda kalan nemin uçurulması için, kolondan 20 dakika azot gazı geçirilir.
6-Kolonda tutulan pestisitler, kolondan dietil eter-hegzan (1+1) karışımı geçirilerek 1 mL lik viallere (küçük şişe) alınır.

4.1.2 Karbamatlı Pestisitler

Bazı cihazlar ekstraksiyona gerek kalmadan numunede karbamatlı analizleri yapabilmektedir. Doğrudan numunede okuma yapamayan cihazlarda ekstraksiyon yapılmalıdır.

Numune hazırlamada katı faz ekstraksiyon (SPE) metodu kullanılır. Klorlu pestisitlerde olduğu 200 mL numune adi süzgeç kağıdında süzülür. Numune kolondan geçirilmeden önce kolon şartlandırılır. Şartlandırmada aşağıdaki uygulamalar yapılır.
1-Kolondan 3 mL metanol, 3 mL saf su geçirilir. Kolonun kurumamasına dikkat edilir.
2-Numune vakumla veya basınçla kolondan geçirilir.
3-Kolon 3 mL asidik asit/saf su (5:95, v/v) karışımı ile yıkanarak kirlilikler uzaklaştırılır.
4-Polar ve temel bileşiklerin uzaklaştırılması için kolondan, 3 mL metanol/su (1:1, v/v)+ %10 NH3 geçirilir.

Şekil 1-SPE Vakum Manifold

5-Polar ve asitli bileşiklerin kolondan uzaklaştırılması için 3 mL metanol/su (1:1, v/v)+ %10 asetik asit geçirilir.
6- Polar olmayan ve notr bileşiklerin kolondan uzaklaştırılması için 3 ml metanol/aseton (1:5, v/v) geçirilir.
7-Daha sonra yukarıda 5 ve 6.maddelerde bahsedilen işlemler uygulanır ve cihazda analize geçilir. Pestisitlerin değişik ortamlardaki analizleri için birçok farklı analitik teknik kullanılmaktadır. Laboratuvarımızda pestisit analizlerinde Gaz Kromotografisi (GC-NPD), Gaz Kromotografisi-Elektron Yakalamalı Dedektör (GC-ECD) ve Post Kolon Türevlendirmeli Yüksek Performanslı Sıvı Kromotografisi (HPLC) teknikleri kullanılmaktadır. GC-NPD ve GC-ECD teknikleri bir çok pestisit grubu için kullanılmakla birlikte uçuluğu az olan ve GC kolon sıcaklık şartlarında kararsız olan (özellikle karbamatlı pestisitler) için uygun olmamaktadır. Bu nedenle yüksek sıcaklıkta bozunan pestisitler için HPLC tekniği kullanılmaktadır.

Laboratuvarımızda 29'u klorlu, 21 tanesi fosforlu ve 12 tanesi de karbamatlı olmak üzere toplam 62 adet pestisitin analizi yapılmaktadır (Tablo 2).

1-Klorlu Pestisitler: Pestisitlerin çok büyük bir kısmı organik yapıdadır. Yapısında klor bulunan pestisitler, organokorlu pestisitler olarak adlandırılır. Organoklorlu pestisitler Gaz Kromotografisi-Kütle Spektrometresi (GC-MS) tekniği ile tayin edilmektedir (Şekil 2). Sistemde taşıyıcı gaz olarak helyum, yardımcı gaz olarak ise saf azot gazı kullanılmaktadır. Analizler EPA Method 508.1 ile yapılmaktadır. Analizlerde Elektron Yakalamalı Dedektör (ECD) kullanılmaktadır. Laboratuvarımızda Tablo 2'de verilen 29 adet klorlu pestisit parametresi analiz edilmektedir.

2-Fosforlu Pestisitler: Yapısında azot ve fosfor bulunan organik yapıdaki pestisitler organofosforlu pestisitler olarak bilinmektedir. Söz konusu pestisitler Gaz Kromotografisi (GC) cihazı ile analiz yapılmaktadır (**Şekil** 3). Analizlerde EPA Method 507 kullanılmaktadır. Azot fosfor analizlerinde kullanılan seçici detektör (NPD) dir. GC-NPD'de taşıyıcı gaz hidrojen, yardımcı gaz saf azot gazı ve kuru hava kullanılmaktadır. Tablo 2'de verilen azot-fosfor sütununda yer alan parametrelerin analizi yapılmaktadır.

3-Karbamatlı Pestisitler: Analizlerini yaptığımız diğer pestisit grubu ise karbamatlı pestisitlerdir. Bu grupta yer alan pestisitlerin yapısında karbamat bulunmaktadır. Post Kolon Türevlendirmeli Floresan Dedektörlü Yüksek Performanslı Sıvı Kromotografisi (PCD-HPLC) tekniği ile analizler gerçekleştirilmektedir (Şekil 4). C18 dolgulu kolon kullanılarak, karbamatlı pestisit tayini yapılmaktadır. Analiz metodu ise EPA 632'dir. HPLC sıvı kromatografisi olması nedeniyle taşıyıcı olarak sıvı (su-metanol karışımı kullanılmaktadır. Analizi yapılan karbamatlı pestisitler Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2- Analizi Yapılan Pestisit Parametreleri

Klorlu pestisitler		Karbamatlı pestisitler	Azot fosforlu	
1-Alfa BHC	**16**-2,2,4,5,5 Pentaklorofenil	**1**-Aldicarb sulfone	**1**- Ametryn	**16**- Terbuthylazine
2-Hegzaklorobenzen	**17**-Alfa endosülfan	**2**-Aldicarb sulfoxide	**2**- Atrazin	**17**- Terbutryn
3-Beta BHC	**18**-Cis klordane	**3**-Oxamyl	**3**- Azinphos-etyl	**18**- Trifluralin
4-Gama BHC	**19**-p,p-DDE	**4**-Methomyl	**4**- Azinphos-metyl	**19**- Dichlorvos
5-Delta BHC	**20**-o,p-DDD	**5**-3-Hydroxy carbofuran	**5**- Chlorpyriphos	**20**- Butralin
6-Epsilon BHC	**21**-Endrin	**6**-Aldicarb	**6**- Diazinon	**21**- Mathidation
7-2,2,4 Trikloro bifenil	**22**-Beta endosülfan	**7**-Propoxure	**7**- Malathion	
8-Heptaklor	**23**-p,p-DDD	**8**-Carbofuran	**8**- Metolachlor	
9-2,2,5,5 Tetraklorobifenil	**24**-o,p-DDT	**9**-Carbaryl	**9**- Molinate	
10-Aldrin	**25**-2,2,4,4,5,5-Hekzaklorobifenil	**10**-1-Naphtol	**10**- Parathion-etyl	
11-İsodrin	**26**-p, p DDT	**11**-Metiocarb	**11**- Parathion-metyl	
12-Heptaklor exo epoxide	**27**-2,2,3,4,4,5 Hekzaklorobifenil	**12**-BDMC	**12**- Pirimicarb	
13-Heptaklor endo epoxide	**28**-Methoksiklor		**13**- Prometryn	
14-Trans klordane (gamma)	**29**-2,2,3,4,4,5,5 Heptaklorbifenil		**14**- Propazine	
15-o,p-DDE			**15**-Simazine	

Şekil 2- Gaz Kromotografisi-Kütle Spektrometresi (GC-MS)

Şekil 3- Gaz Kromotografisi (GC)

Şekil 4- Post Kolon Türevlendirmeli Yüksek Performanslı Sıvı Kromotografi (HPLC)

5 PESTİSİTLERİN BOZUNMASI VE BOZUNMA SÜRELERİ

Pestisitler uygulandıktan sonra kendilerinin veya bozunma türevlerinin ne kadar süreyle toprak veya suda kalabildikleri geniş ölçüde pestisidin molekül yapısına, toprak, su ve çevre şartlarına bağlı bulunmaktadır.

Özellikle toprak zararlılarına karşı etkili bir şekilde kullanılan organoklorlu pestisitler, toprakta parçalanmaya karşı dirençli oldukları ve çok az parçalandıkları için bu grup pestisitler öncelikle toprak ve suda olmak üzere çevrede uzun süre kalarak büyük bir atık birikimine neden olmaktadır.

Pestisitler, suda bulunan kalsiyum, magnezyum, sodyum, potasyum vb. parametreler gibi sonsuza kadar kalmazlar. Bunlar doğal olmayıp yapay kimyasal madde oldukları için belli bir süre sonunda bozunurlar. Bozunduklarında, suda tespit edilemezler. Ancak bozunma ürünleri tespit edilebilir.

Organik azot-fosforlu pestisitler ile karbamatlı pestisitlerin bozunma süreleri 1-12 hafta arasında değişmektedir. Bu süre sonunda bozunurlar ve kalıcı değildirler. Dolayısıyla etkilerini en geç 12 hafta sonra yitirirler.

Klorlu pestisitlerin bozunma süreleri 2-5 yıl arasındadır. Klorlu pestisitlerin bozunma süreleri çok uzun olması nedeniyle su, toprak, hava dolayısıyla canlılar için çok tehlikelidir [2].

Pestisitlerin bozunma türevlerinin hangi ürünler olduğu önemlidir. Örneğin DDT'nin DDE ye, Aldrinin Dieldrin'e, Malathion'un Maloxon'a, Parathion'un Paraxon'a, ve heptaklorun heptaklor epokside dönüşümleri asıl bileşiklerin metabolize olarak kalıntıyı azalttığını göstermez. Bu gibi durumlarda asıl bileşikten daha zehirli olan bu dönüşüm ürünlerinin de dikkate alınması gerekir [2].

6 STANDARDLARDA PESTİSİT DEĞERLERİ

Pestisit parametreleri için Su Kirliliği Kontrolu Yönetmeliği ve TS 266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardında sınır değerler getirilmiştir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde toplam pestisit için kriterler verilmiştir. Buna göre toplam pestisit sınıf I sular için toplam pestisit<1, sınıf II sular için 1<toplam pestist<10, sınıf III sular için 10<toplam pestisit<100 ve sınıf IV sular için toplam pestist>100 µg/L olmalıdır [5].

TS 266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardında **pestisitler** ve **toplam pestisit** özellikleri yer almaktadır. Toplam pestisit, sınıf 1 ve sınıf 2 sularda en çok 0,500 µg/L olmalıdır [8].

Standard da **Pestistler** ifadesi, organik insektisitler, 0rganik herbisitler, organik fungusitler, organik nematositler, organik acarisitler, organik algisitler, organik rodenitisitler, organik slimisitler ve ilgili ürünler (bunlarla birlikte büyüme düzenleyicileri) ile bunların metabolitleri, parçalanma ve tepkime ürünlerini kapsamaktadır. Söz konusu standarda göre her bir pestisit için değer 0,100 µg/L'yi geçmemelidir. Ancak sularda aldrin, dieldrin, heptaklor ve heptaklor epoksit varsa bunlar için sınır değer en çok 0,030 µg/L olmalıdır [9].

7 SONUÇ

Dünya'da maalesef vahşi tarım yapılmaktadır. Gereksiz ve aşırı kullanılan tarım ilaçları nedeniyle hava, toprak ve su kaynakları kirletilmektedir. Bu durum sürdürülebilir bir tarımın yapılmasını güçleştirmekte, insan ve çevre sağlığı olumsuz etkilemektedir.

Tarımsal üretim ve bitki koruması amacıyla pestisit kullanılan yerlerde açılan kuyulardan içmesuyu temin edilmesi durumunda bu kuyularda pestisit analizinin yapılması önemlidir.

TS 266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardında pestisit parametreleri için sınır değerler getirilmiştir. Yerel yönetimler içme sularında pestisit parametrelerin analizlerinin yapılmasına önem vermelidir.

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği'nin 34.maddesine göre paketlenmiş suların etiketlerinde "**gösterge parametrelerin**" konsantrasyon değerleri yer almaktadır [8]. Pestisit gösterge parametreler arasında bulunmamaktadır. Sağlık Bakanlığınca, yönetmelikte değişiklik yapılarak pestisit parametreleri de gösterge parametreler içinde yer almalıdır. Çünkü pestisitlerin su içindeki değerleri sabit değildir. Aksine bunların sudaki değerleri çok hızlı değişmektedir.

Sularda pestisit belirlemede örnekleme zamanı önemlidir. Her zaman örnekleme yapılabilir. Ancak pestisitlerin su kaynaklarını en çok kirlettiği zamanı belirlemek gereklidir. Bu nedenle örnekleme, bitkiye tarım ilacı uygulandıktan ve yeteri kadar yağıştan sonra yapılmalıdır.

Tarımsal üretimde bitkileri korumak amacıyla yüzlerce tarım ilacı kullanılmaktadır. Her gün hayatımıza yeni bir tarım ilaçları girmektedir. Buda sularda pestisitlerin takibini ve analizini zorlaştırmaktadır. Bu durum bütün tarım ilaçlarının analizini imkansız hale getirmektedir. Ancak en yaygın olarak kullanılan pestisitlerin analizleri yapılabilmektedir.

Tarım ilaçlarının insan sağlığına zararları ortaya çıktıkça bunların kullanımı yasaklanmaktadır. Tarım Bakanlığı 1 Ocak 2009'da 75, 31 Ağustos 2009 da ise 49 tarım ilacının kullanımı yasaklanmıştır. Yeni tarım ilaçlarının üretimi, daha önce kullanılan bazı tarım ilaçlarının yasaklanması nedeniyle **pestisit analizlerinin sürekli güncellenmesini zorunlu kılmaktadır**.

8 KAYNAKLAR

[1] Bitki Koruma Ürünleri, Tarım İlaçları Sanayici, İthalatçı ve Temsilcileri Derneği, 2002

[2] Düzce Sakarya Bölgesinden Alınan Su ve Toprak Örneklerinde Pestisitlerin Gaz Kromatografisi ve Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi Teknikleri İle İncelenmesi, DSİ TAKK dairesi Başkanlığı, Yayın No Kİ-984 2006.

[3] Kalite Kontrol Teknik Semineri, Tarım İlaçlarından Suya Geçen Pestisitlerin Gaz Kromatografi Aletiyle Tayini, DSİ TAKK dairesi Başkanlığı, 2002.

[4] Sağlık Bilimleri Dergisi, Fırat Üniversitesi, 2006.

[5] Su Kirliliği Kontrolu Yönetmeliği, Çevre ve Orman Bakanlığı, 2004.

[6] Tarım Bilimleri Dergisi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, 2006.

[7] Tarım İlaçları Kongre ve Sergisi, Ankara, 2007.

[8] TS 266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, Sağlık Bakanlığı, Ankara, 2005.

[9] TS 266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular, Türk Standartları Enstitüsü Başkanlığı, Ankara, 2005.

DSİ Teknik Bülteni
Sayı: 109, Ekim 2010

BETON GEÇİRGENLİĞİNİN KOMPOZİT MALZEME KURAMI İLE İNCELENMESİ

Dr. Ali UĞURLU

DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, 06100, Ankara
aliu@dsi.gov.tr

(Bildirinin geliş tarihi: 08.01.2010, Bildirinin kabul tarihi: 27.12.2010)

ÖZET
Herhangi bir şekilde su ile temas eden ya da başka bir deyişle suya (ve/veya sıvılara) maruz beton veya betonarme yapılarda betonun geçirgenliği önemli bir parametredir. Bu durum, olabilecek su kayıplarından çok betondaki sıvı akımı ile ortaya çıkan dayanıklılık problemleri ile ilgilidir. Betondaki sıvı akımı hareketi baraj, regülatör, açık deniz platformu, gaz tankları, depo ve kanal gibi yapılarda su kaybı ile birlikte yapıda ciddi anlamda stabilite problemlerinin ortaya çıkmasını doğurabilir. Bu çalışmada şimdiye kadar ancak deneysel olarak ölçülebilen beton geçirgenliğinin, kompozit malzeme kuramı yardımıyla teorik olarak ta açıklanabileceği, bunun olmaması durumunda ise geçirgenliğin belli bir yere kadar tahmin edilebileceği görülmüştür. Bu amaçla farklı özeliklerde harç ve beton numuneler üretilerek bunlar üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, kompozit model denklemleri kullanılarak yeniden yorumlanmış ve deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar, betondaki sıvı hareketinin kompozit malzeme kuralları ile açıklanabileceğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Beton, Kompozit, Kompasite, Geçirgenlik, Su emme

INVESTIGATION OF PERMEABILITY OF CONCRETE USING COMPOSITE MATERIAL THEORY

ABSTRACT
The permeability of concrete is an important parameter in concrete and reinforced concrete structures which exposed to water any wise. This situation is rather related with durability problems caused by liquid flow besides water loses that occurred in concrete. The liquid flow in concrete causes vital stability problems besides water loss, in structures of dam, regulator, open sea platform, gas tanks, storage tanks and drains. In this study, it was proved that the permeability of concrete can be calculated with the theory of material composite besides experimental theory or it can only be estimated under unsuccessful circumstances. For this purpose, mortar and concrete specimens were produced with different properties and tests were then conducted on these specimens. The results obtained using composite model equations were reinterpreted, and then compared to the experimental results. The conclusion proved that the liquid flow in concrete can be explained by the theory of material composite.

Keywords: Concrete, Composite, Compasity, Permeability, Water absorption

1 GİRİŞ

Suya maruz yapılarda su kayıplarını belirlemek belirli bir oranda tutmak ve betonda meydana gelen su-sıvı geçirgenliği sonucu görülen dayanıklılık problemlerinin ortaya çıkmasını engellemek üzere beton tasarımı yapılırken geçirgenlik dikkate alınır ve hesaplanır. Son yıllarda betonun çok farklı alanlarda kullanılması nedeniyle beton tasarımında dayanımın yanında başka parametrelerin de

en az dayanım kadar dikkate alınması durumu ortaya çıkmıştır. Açık deniz platformlarından, barajlara, gaz tanklarından nükleer santral yüksek basınç depolarına kadar betonun çok farklı ve kritik alanlarda kullanılması gerçeği betonun etkisi altında kaldığı diğer etkilerin en az dayanım özeliği kadar önemli olduğu gerçeğini ortaya koymuştur. Bunun sonucunda betonda servis ömrü kavramı tanımlanarak geçirgenlik, dayanıklılık, tokluk gibi özelikleri de içeren performansa dayalı tasarımlar yapılmaya başlanmıştır. Bu amaçla hazırlanmış olan yeni standartlarda da performans kriterleri geliştirilerek yerini almıştır [1].

Yukarıdaki gerekçeler nedeniyle betonda geçirgenlik ve su emme gibi değişik sıvı akımları oldukça önemlidir. Betonda görülen birçok hasar genellikle geçirgenlikle birlikte başlar. Betonun kullanıldığı ortamdaki hasar etkenlerinin ya da hasar yaratabilecek bazı olayların betonu tahrip edebilmesi için bu etkenlerinin beton içerisine taşınması, hasar etkenleri ile ortaya çıkan tepkime ve olayların da beton içerisinde gerçekleşmesi gereklidir. Örneğin, sülfatlı suların betona etkisi için sülfat anyonlarının beton içerisine taşınıp genleşme reaksiyonlarının burada oluşması ya da donma-çözülme olayında da suyun beton boşluklarına taşınıp burada donup-çözülmesi gibi.

Doğadaki diğer malzemeler gibi beton da geçirgendir. Buna karşılık geçirimsiz olarak kabul edilen malzemeler gibi beton da geçirimsiz olarak üretilebilir ya da geçirimsiz hale getirilebilir. Betonda geçirgenlik daha çok betonun yapısal durumu ile ilgili bir durumdur. Pratikte bazen yapısal olmayan kusur ve sorunların da geçirgenliğe yol açtığı bilinir. Burada söz konusu edilen bu hataların dışında var olan geçirgenlik olgusudur. Betondaki geçirgenlik; beton bileşenleri, bileşim parametreleri ve sonradan betonun maruz kaldığı değişik hasar etkenlerinin bir fonksiyonu olarak karşımıza çıkar. Bu nedenle geçirimsiz bir beton için beton üretim süreçlerinin eksiksiz ve sorunsuz yaşanması gereklidir.

Betonun geçirgenlik derecesi ve durumunu ölçmek için pratikte farklı deneyler yapılır. Bu deneyler için kullanılan aparatların büyük olması, deneyin en az 3-4 gün devam etmesi, sıvı akımının bazen çok uzun süre rejime tartışmalıdır. Bilinen kompozit model denklemlerinin yazıldığı dönemde betondaki ara yüz ve ara yüzeyin önemi yeterince bilinmemekteydi. Ancak elektron mikroskopları geçememesi, su basıncı için bir kompresöre gereksinim duyulması gibi nedenler deney yapımını güçleştirir. Ayrıca deney sonuçlarının değerlendirilmesi de beton açısından oldukça zordur. Ortalama bir betonun geçirgenliği genelde iyi çıkar. Ama dayanıklılık kriterleri ve betonun uzun süreli davranışı açısından bu sonuçları değerlendirmek gerekir ki bu da oldukça deneyim ve birikim gerektiren bir durumdur. Bu çalışmada, yukarıda kısaca söz edilen beton geçirgenliğinin betonun bileşim oranları ve parametreleri ile bazı özelikleri temel alınıp kompozit denklemleri kullanılarak betondaki sıvı hareketi incelenmiştir. Özet olarak çimento hamuru ve agregadan meydana gelmiş iki fazlı bir kompozit malzeme olarak kabul edilen betonda sıvı hareketinin kompozit denklemleri ile açıklanabileceği düşünülmüş ve deneyler sonucunda elde edilen değerler deneysel sonuçlar ile karşılaştırılarak kompozit model denklemleri ile yeniden yorumlanmıştır. Elastisite modülü, basınç ve çekme dayanımı, aşınma gibi bazı beton özeliklerinin kompozit malzeme denklemleri yardımı ile açıklanabildiğini daha önceden bilmekteyiz. Yapılan literatür çalışmasında betondaki sıvı hareketini kompozit model kuramı yardımı ile açıklayan herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır [2-5]. Çalışma bu özelliği itibari ile özgündür.

2. KOMPOZİT MALZEME OLARAK BETON

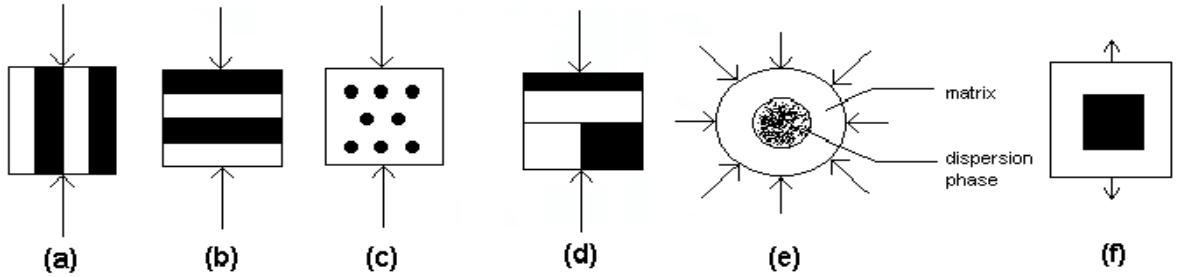
İki ya da daha çok sayıda malzemenin fiziksel olarak bir araya gelmesi ile elde edilen ve başlangıçtaki malzemelerden farklı ve daha iyi özeliklere sahip sistemler kompozit malzemeler olarak tanımlanır. Bir malzemenin kompozit olarak kabul edilmesi için bileşimleri birbirinden farklı iki ya da daha fazla sayıda malzemeden oluşması ve bu yapı içinde malzemelerin birbirinden kesin ve belirgin sınırlarla ayrılmış olması gerekir. Sertleşmiş beton aslında; agrega, çimento hamuru, hava boşluğu, çimento hamuru-agrega ara yüzeyinden meydana gelmiş fazlardan oluşmasına rağmen kompozit modellemesinde genelde agrega ve çimento hamurundan oluşmuş iki fazlı bir malzeme olarak kabul edilmektedir [4,5]. Bu durum betonun kompozit kavramı ile incelenebilmesi için geliştirilmiş basit bir kabuldür. İkinci kabul ise; kompozitin birbirinin aynı birim hücrelerin bir araya gelmesi ile oluştuğu varsayımıdır. Üçüncü kabul de; iki fazı birbirinden ayıran ara yüzün etkisizliğidir. Denklemler ara yüz etkisini dikkate almadan yazıldığı için eksiktir. Bundan kompozit model ile içyapı incelendikten sonra bu bölgenin betonun yük altındaki davranışında rolü anlaşılmıştır. Bu nedenle bilinen mevcut denklemler ara yüz etkisini dikkate almadan

yazıldığı için eksiktir. Bundan kompozit model denklemleri kullanılarak yapılan çalışmalar deneysel pratik sonuçları tam karşılayamamaktadır [5,7]. Bu üç kabulden hareketle çok fazlı malzemeler için geliştirilmiş olan yöntemler betona da uyarlanabilir. Çok fazlı bir malzemenin belirli bir özelliği, o özelliği onu oluşturan fazların her birinin niteliğine ve her bir fazın malzeme içerisindeki hacim oranına bağlı olduğu kabul edilir. İncelenen özellik C ile hacim oranları V ile gösterilecek olursa, n fazlı bir sistem için denklemi

$$C:f(C_1V_1,C_2V_2,\ldots\ldots,C_nV_n) \qquad (1)$$

yazılabilir. Günümüzde betonun birçok özeliği bu teori kapsamında incelenmektedir. Fakat her zaman elde edilen sonuç deneysel değerler ile uyumlu olmayabilir. Bunun nedeni hesaplamalarda temel alınan kabullerin beton için yapısını tam olarak yansıtamamasıdır [7]. Bu nedenle birçok araştırmacı aynı özelliği incelerken birden çok kompozit denklem kullanarak bir sonuca varmıştır [3,6]. Bu amaçla en çok kullanılan kompozit modelleri **Voight**'in paralel faz, **Counto** ve **Hashin** modelleridir. Bu her model için yazılmış farklı kompozit denklemi vardır [3,7,8].

Şekil 1'den de görüleceği üzere kompozit modellemede en çok kullanılan bu modellerde beton için bir içyapı modeli oluşturulmaya çalışılmış ve bu durum matematiksel olarak denklemler ile ifade edilmiştir. Bu yaklaşımdaki amaç kompozit yapıyı, bileşen özellikleri ve bileşenlerin hacimsel oranları cinsinden analitik bağıntılar ile ifade edebilmektir. Literatür çalışmalarında kompozit malzeme kuramı esas alınarak kompozit modelleme yöntemi ile betonda geçirimsizliğin incelendiği bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Konuya yakın, bağlayıcı lifli kompozitlerde buhar difüzyonunu inceleyen bir çalışmaya rastlanılmıştır, [9].



a) Paralel Faz b) Seri Faz c) Dağınık Faz d) Hirch-Dougill e) Hashin f) Counto

Şekil 1. Bazı kompozit modeller

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

3.1 Kullanılan Malzemeler

Agrega: Agrega, granülometrisi standartlara uygun hale getirilmek amacıyla üç gruba ayrılarak en büyük agrega tane çapı 32 mm şeklinde ayarlanıp kullanılmıştır. Kullanılan agreganın fiziksel özelikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Çimento: Çalışmalarda CEM II A-P çimentosu kullanılmıştır. Tablo 2'den görüldüğü gibi çimentonun fiziksel ve kimyasal özelikleri standartlara uygundur.

3.2 Hazırlanan numuneler

Deney programı şu şekilde hazırlanmıştır;

i – (0-7) mm tane grubuna ayrılmış kum sabit miktarda yani birim hacimde % 50 düzeyinde kullanılarak 0.80, 0.65 ve 0.50 su-çimento oranlarında harç üretimi,

ii – 0.80 su-çimento oranındaki harç fazına sırasıyla birim hacmin % 15, 20, 25 ve 30'u oranında (7-15) mm'lik ince çakıl katılarak dört ayrı seri beton üretimi aynı şekilde 0.65 ve 0.50 su-çimento oranındaki harç numunelerine de yine sırasıyla birim hacmin % 15, 20, 25 ve 30'u oranında (7-15) mm ince çakıl katılarak A serisi,

iii – 0.65 su-çimento oranındaki harç fazına sırası ile birim hacmin 15, 20, 25 ve 30'u oranında (15-30) mm'lik iri agrega katılarak B serisi olmak üzere dört farklı beton üretimi gerçekleştirilmiştir. Görüleceği üzere çalışma kapsamında toplam olarak 5 adet harç 15 adet de beton üretilerek toplam 20 seri numune hazırlanmıştır.

Deneylerde değişen seriler ve su-çimento oranlarına göre çimento dozajı 350 ile 500 kg/m^3 arasında değişmiştir. Kullanılan agrega ve su-çimento oranları yukarıda açıklandığı

gibidir. Üretilen numuneler genel olarak Tablo 3'te ifade edildiği şekildedir. Burada ilk rakam su-çimento oranını, ikinci rakam ise agreganın beton içerisindeki hacim yüzdesini göstermektedir. Bunların yanı sıra aynı su-çimento oranına sahip fakat farklı iri agrega kullanılan karışımlar ise A ve B gibi (yukarıda açıklanmıştı) harfler ile gösterilmiştir. İri agregası (7-15) mm olan serilerde A, su-çimento oranı 0.65 olan fakat iri agregası (15-30) mm olan seride ise B harfleri üçüncü sırada gösterilmiştir.

Tablo 1. Agrega özelikleri

Agrega	Birim Ağ. Kg/dm^3	Özgül Ağ.	Su emme %	Top. Gözeneklilik %	Organik madde
(0–7) mm	1.65	2.63	1.26	3.31	Açık Sarı
(7–15) mm	1.50	2.63	0.83	2.18	
(15–30) mm	1.44	2.64	0.83	2.17	
Petrografik bileşim, %	Kuvars:50, Kavkı:1, Feldspat:5, Mika:2, Kalsit:8, Kalker:6, Granit: 14, Kalsedon: 5, Opal: 5, Jips:1, Diğer:3				

Tablo 2. Kullanılan CEM II A–P çimentosunun özelikleri

Oksit bileşenleri	Ağırlıkça, %	Fiziksel Özelikler	
CaO	52.88	Özgül ağırlık	2.97
MgO	1.39	Özgül yüzey, cm^2/g	3450
SiO_2	21.71	Basınç dayanımı, Mpa	
Al_2O_3	6.55	2 gün	11.2
Fe_2O_3	3.6	7 gün	21.3
Na_2O	0.07	28 gün	38.6
K_2O	0.49	Çekme dayanımı, Mpa	
SO_3	2.68	2 gün	2.0
Cl	0.004	7 gün	7.2
Serbest CaO	0.42	28 gün	11.1
Kızdırma kaybı	3.25	Priz süresi, (saat. Dakika)	
		başlangıç	3.30
		bitiş	6.15
Çözünmeyen kal.	7.47	Hacim genleşmesi, mm	1.0

Tablo 3. Harç ve beton serilerinin kodlanması

Su-çimento oranı	İri Agrega Hacim Oranları, %				
	0	15	20	25	30
0.80	0.80/0/A	0.80/15/A	0.80/20/A	0.80/25/A	0.80/30/A
0.65	0.65/0/A	0.65/15/A	0.65/20/A	0.65/25/A	0.65/30/A
	0.65/0/B	0.65/15/B	0.65/20/B	0.65/25/B	0.65/30/B
0.50	0.50/0/A	0.50/15/A	0.50/20/A	0.50/25/A	0.50/30/A

Geçirgenlik deneyleri için her seriden 6 adet (20x15x15) cm numune, basınç dayanımı deneyleri için yine her seriden 3 adet (Φ15x30) cm silindirik numune ve diğer deneyler için de bütün serilerden (20x20x20) cm boyutlarında 3 adet küp numune hazırlanmıştır. Numuneler ilk 24 saat sonunda kalıplardan alınarak 21 gün ıslak çuval altında bırakılmıştır. Daha sonra 7 gün de su havuzunda bekletilen numuneler 28. Gün sonunda deneye tabii tutulmuştur. Deneyde numunelere alt yüzlerinden basınçlı su uygulanmıştır. Deneylerde su-çimento oranı 0.80 olan numunelere 3 atm, su-çimento oranı 0.65 ve 0.50 olan numunelere 6 atm ve yine su-çimento oranı 0.50 olan numunelere ise 8 atm basınç altında su uygulaması tatbik edilmiştir. Deney, numunelerin üst yüzeyinden su çıkışı bir rejim haline gelene kadar devam ettirilmiş ve bu sürenin 70 ila 80 saat arasında olduğu kaydedilmiştir. Deney sonuçları D'arcy formülü ile hesaplanarak geçirgenlik katsayısı belirlenmiştir.

3.3 Hazırlanan Numuneler Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler

Bu kapsamda harç ve beton üzerinde taze beton deneylerinden çökme deneyi ve birim ağırlık deneyleri gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan harç ve beton numunelerin mekanik özeliklerini belirlemek amacıyla basınç dayanımı, statik elastisite modülü deneyleri yapılmıştır. Beton ve harçların geçirimlilik özeliğini belirlemeye

yönelik ise basınçlı geçirgenlik, hacimsel ve kılcal su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

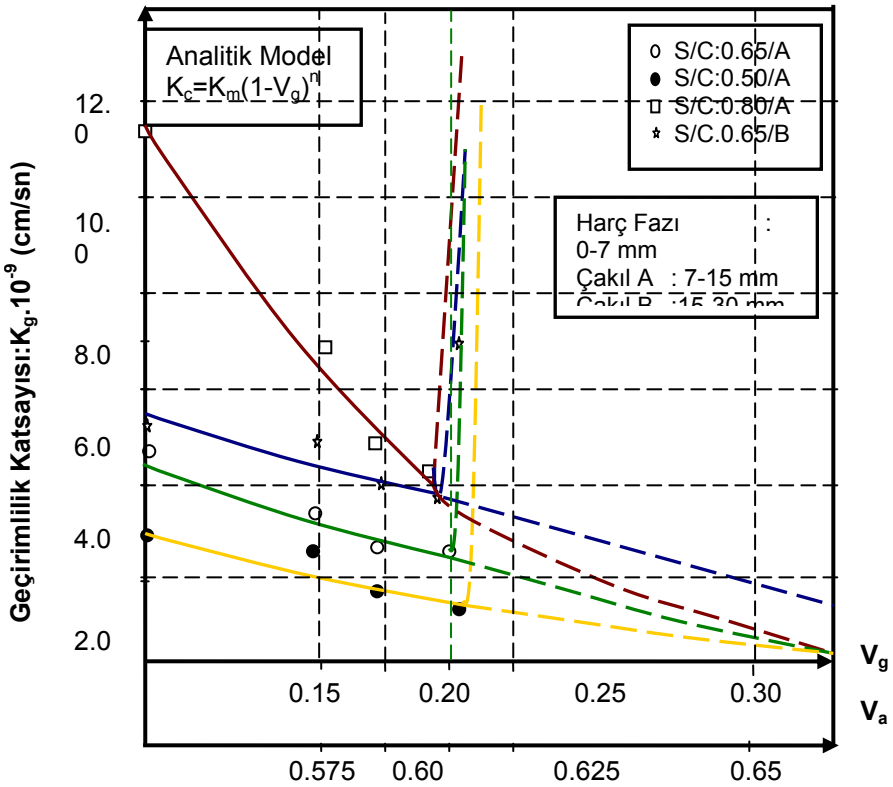
Deney sonuçlarının değerlendirilebilmesi ve mevcut kompozit malzeme kuramına uyarlık açısından betonun agrega ve çimento hamuru fazından meydana gelmiş iki fazlı bir kompozit olduğu yaklaşımı kabul edilmiştir. Bu kabuller deney sonuçlarını daha anlaşılır hale getirmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 4‘ de verilmiş ve bu sonuçlar Şekil 2, 3, 4,ve 5’ de gösterilmiştir.

4.1 Harç fazının Sıvı Hareketine Etkisi

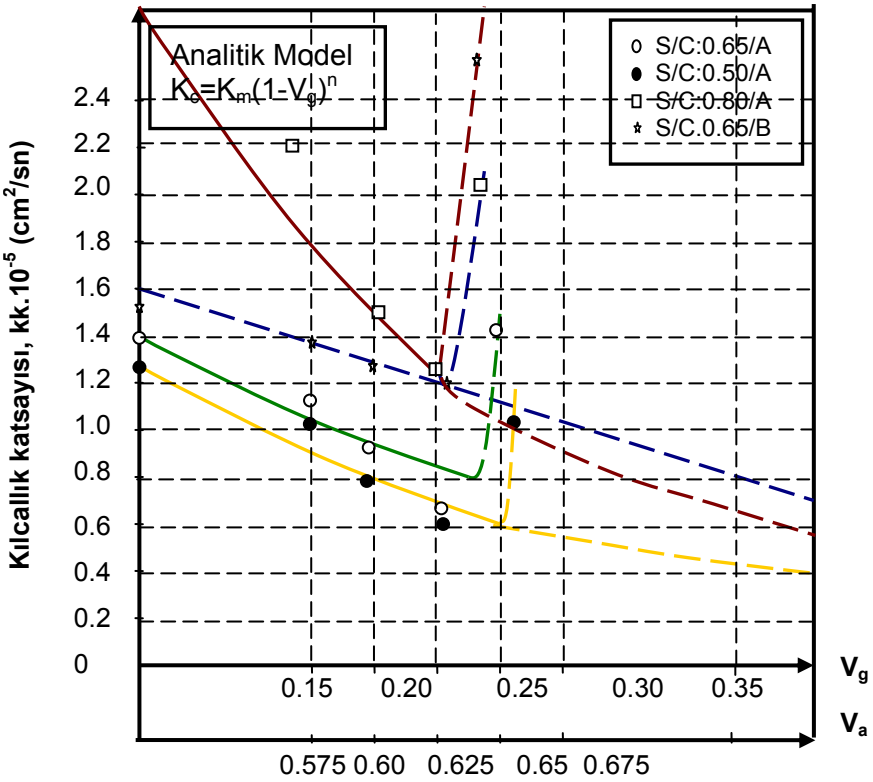
Çalışmada beton harç ve iri agrega fazlarından meydana gelmiş bir kompozit olarak kabul edilmiştir. Buna göre Tablo 4 ve Şekil 2, 3 ve 4’ten görüleceği üzere harç fazına ilave edilen agrega miktarının artmasıyla yani betondaki harç fazı hacmi azaldıkça geçirgenlik, kılcal ve hacimsel su emme değerlerinde bir azalma meydana geldiği görülmüştür.

Tablo 4. Sertleşmiş ve taze beton deney sonuçları

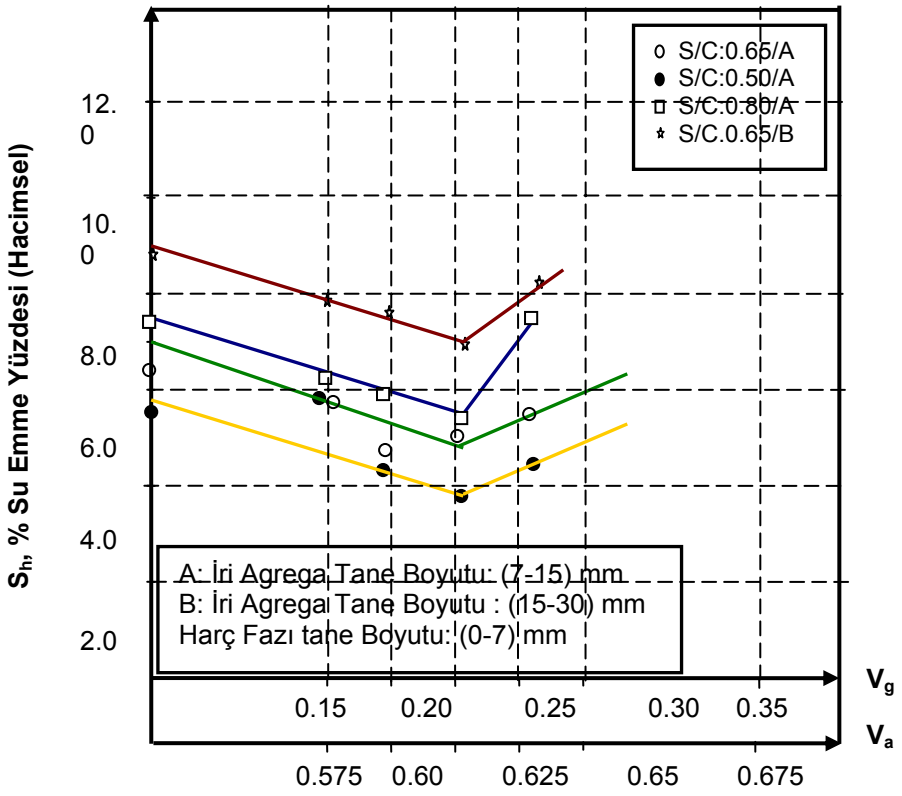
Numune kodu	Geçirgenlik katsayısı, 10^{-9} cm/sn	Kılcal su emme katsayısı, 10^{-5} cm^2/sn	Hacimsel su emme, %	Basınç dayanımı, Φ15x30 Mpa	Statik E modülü, Mpa	Kompasite, m^3/m^3	Birim ağırlık, Kg/l	Çökme, cm
0.50/0/A	2.93	1.29	11.7	21.8	22836	0.665	2.18	5
0.50/15/A	1.94	0.92	10.8	23.0	29319	0.755	2.29	2
0.50/20/A	1.15	0.68	8.21	27.2	31204	0.773	2.32	1
0.50/25/A	0.75	0.52	7.28	23.2	31883	0.783	2.33	0
0.50/30/A	11.1	0.82	9.39	20.4	30083	0.802	2.27	0
0.65/0/A	4.65	1.42	13.0	11.3	17879	0.683	2.17	17
0.65/15/A	3.00	1.08	10.9	12.2	20277	0.736	2.26	13
0.65/20/A	2.08	0.78	8.87	16.4	24210	0.755	2.29	10
0.65/25/A	1.81	0.58	9.22	13.6	24308	0.770	2.31	9
0.65/30/A	10.8	1.31	10.6	10.2	21514	0.776	2.30	6
0.80/0/A	10.9	2.60	15.0	17.3	17776	0.665	2.15	24
0.80/15/A	6.16	2.11	12.3	13.0	17986	0.720	2.23	21
0.80/20/A	4.18	1.35	11.5	11.6	19880	0.735	2.25	19
0.80/25/A	3.50	0.72	10.2	11.0	21231	0.760	2.30	18
0.80/30/A	14.7	1.87	17.5	8.21	17278	0.774	2.32	17
0.65/0/B	5.03	1.54	17.4	9.70	17063	0.677	2.18	18
0.65/15/B	4.49	1.31	14.1	11.6	21017	0.730	2.24	15
0.65/20/B	3.46	1.20	13.6	12.7	21918	0.750	2.28	12
0.65/25/B	3.21	1.11	12.6	11.7	23162	0.785	2.31	10
0.65/30/B	11.0	2.43	16	9.06	19519	0.784	2.33	7



Şekil 2. Basınçlı su geçirgenliğinin s-ç oranı, iri agrega fazı ve tane boyutu ile değişimi



Şekil 3. Kılcallık katsayısının s-ç oranı, agrega fazı ve tane boyutu ile değişimi



Şekil 4. Hacimsel su emmenin, su – çimento oranı, agrega fazı ve tane boyutu ile değişimi

Ancak bu azalma belirli bir sınıra kadardır. Harç miktarının agrega arasında kalan boşlukları tam olarak doldurma yeterliliğinin azalmaya başlaması noktasından sonra geçirgenlik artış göstermeye başlamıştır. Aynı şekilde su-çimento oranının yükselmesi ile de geçirgenlik artmıştır. Özellikle 0.50 su-çimento oranı değerinden sonra su-çimento oranının büyümesi ile geçirgenlik artmaktadır. Yaptığımız çalışmalarda 0.50 su-çimento oranının altındaki karışımlarda katkı maddesi kullanılmadığı için kıvamın çok düşük olması nedeniyle harç ya da betonun iyi yerleşemediği için yine geçirimlilik ve kılcallığın arttığı belirlenmiştir.

4.2 İri Agrega Hacmi Oranının Sıvı Hareketine Etkisi

Basınçlı su geçirgenliği, kılcal ve hacimsel su emme özeliklerinin iri agrega hacmi ile değişimi Şekil 2, 3 ve 4'te verilmişti. Agrega en büyük tane çapı (7–15) ve (15–30) mm olan serilerin deney sonuçlarının betondaki agrega hacminin artması ile geçirgenliğin azaldığını göstermiştir.

Yalnız bu azalma belirli bir değerden sonra yeniden artmaktadır. Bu durum iri agrega hacmi oranın artmasıyla beton kompasitesinin belirli bir maksimum değerden sonra azalması gerçeği ile açıklanabilir. Çünkü beton içerisine giren toplam agrega miktarı, ince ve iri agrega karışımının maksimum kompasitesi olan Δ_a / γ_a = 0.63 civarında belirli bir Va_{max} değerini geçtikten sonra mevcut çimento hamurunun agrega yığını arasındaki boşlukları tam olarak dolduramadığı için bu noktadan sonra geçirgenlik hızla artmaktadır. Şekil 2 ve 4'te verilen eğriler incelendiğinde (15–30) mm en büyük tane çapına sahip betonların (B serisi), en büyük tane çapı (7-15) mm olan (A serisi) betonlardan daha geçirimli olduğu görülecektir.

Araştırılan bileşim-özelik ilişkisinin tipi en basit tipteki kompozit modellerden paralel fazlı modele,

$K_c=V_m.K_m+V_a.K_a$ ..... (5)

veya $K_a = 0$ için,

$K_c=K_m.(1–V_a)$ ..... (6)

lineer olduğu için, seri fazlı modele ise

$1/K_c=V_m/K_m+V_a/K_a$ .....(7)

$K_a \tilde{=} 0$ için anlamı olmadığından uymamaktadır. Bunların yanı sıra Hirsch modeli de;

$1/K_c = 0.5\,(1/V_m.K_m+V_a.K_a) + 0.5\,(V_m/K_m + V_a/K_a)$ .....(8)

$K_a \tilde{=} 0$ olması halinde K_c sonsuz olduğundan yine deney sonuçlarına uymamıştır.

Bu irdelemenin sonucunda deney sonuçlarının analitik bir ifade ile aşağıdaki bağıntıda olduğu gibi üstel bir fonksiyon ile gösterilebileceği düşünülmüştür.

$$K_c=K_m.(1-V_g)^n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(9)$$

Üstel fonksiyondaki K_m ve n malzeme sabitlerinin deney sonuçlarından hesaplanarak Tablo 5'de verilmiştir.

Geçirgenlik katsayısının agrega miktarı ile gerçek değişimi doğrusal olmaktadır. Bu durum, beton özeliklerini incelemek için çeşitli araştırmacılar tarafından kabul edilen modellerin gerçekleşme olasılığının az olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Çünkü beton içerisindeki agreganın kabul edilen kompozit modellerinkine benzer şekilde paralel, seri ya da homojen bir şekilde dağılması gerçekte çok zordur.

4.3 Taze Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Kıvam belirlemek üzere ölçülen çökme ve birim ağırlık deneyleri beton geçirgenliğinin taze beton özelikleri ile de ilgili olduğunu göstermektedir. Bilindiği üzere kıvam ve birim ağırlık, beton bileşenlerinin özelikleri ve beton hacmi içerisindeki konsantrasyonu ile yakından ilgilidir. Betonun kıvamı, su-çimento oranı, iri agrega hacmi ve iri agreganın tane çapı büyüklüğü ile doğrudan ilgili bir parametredir. Bütün bunların sonucunda kıvamın belli bir değerinde geçirimliliğin en az olduğu optimum bir nokta vardır. Keza iri agrega fazı hacminin de artması ile betonun birim ağırlığında doğrusal bir artış olduğu gözlenmiştir. Yine su-çimento oranının artması ile birim ağırlığın arttığı belirlenmiştir. Kısacası taze beton özelikleri bileşim parametreleri üzerinden beton geçirgenliğini etkilemektedir, Tablo 4.

4.4 Basınç Dayanımı Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yapılan deneyler sonucunda basınç dayanımının artması ile basınçlı su geçirgenliği ve kılcal su emmede genel olarak azalmalar kaydedilmiştir, Tablo 4. Bu durum su-çimento oranı ve dolayısıyla betonun boşluk yapısı ve karakterinin bir sonucudur. Aynı parametreler her iki özeliği de doğrudan etkilemektedir. Ancak bu çalışmada, basınç dayanımı ile geçirgenlik arasında analitik bir ifade elde etmek mümkün olmamıştır. Kılcal su emme için de aynı şeyler söylenebilir. Elde edilen sonuçlardan; betonun su-çimento oranının 0.80 olduğu serilerde iri agrega fazı hacmi oranının artışı ile basınç dayanımın azaldığı, su-çimento oranının 0.65 ve 0.50 olduğu serilerde ise iri agrega hacmi oranının artması ile dayanımın arttığı görülmüştür. $(V_a)_{max:}$ 0.625 kritik değerinden sonra ise dayanımın tekrar azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum **Hobbs**'un beton çekme dayanımı için **Hirsch** modelinden esinlenerek geliştirdiği

$$f_a=f_{ma}/2[(1-E_m/E_a).V_a+(1+E_m/E_a)] \quad \ldots\ldots\ldots(10)$$

bileşim-özelik ifadesine uymaktadır [10]. Elde edilen basınç dayanımı sonuçları değerlendirildiğinde, agrega en büyük tane çapı etkisinin aynı su-çimento oranı için tane büyüklüğünün artması ile 0.65 ve 0.50 serilerinde dayanımı arttırıcı yönde, 0.80 su-çimento oranında ise azaltıcı yönde olduğu görülmüştür.

4.5 Elastisite Modülü Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yapılan deneyler sonucunda, iri agrega hacmi oranının artması ile statik elastisite modülü değerinin arttığı ve bu artışın **Hashin** tarafından yazılan

$$E_b=E_m(1+kV_q/1-kV_q), \qquad k=E_a-E_m/E_a+E_m \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(11)$$

ifadelerine uygun olduğu görülmüştür, [11].

4.6 Geçirgenlik ile Kompasite Arasındaki İlişki

Betonda su ve hava hacmi dışında kalan dolu hacmi tanımlayan kompasite bir anlamda betonun katı hacmini gösterir. Yüksek kompasite daha az boşluklu bir yapıyı ifade eder. Bu aynı zamanda düşük porozite demektir. Porozitenin doğrudan geçirgenlik ile ilgili bir parametre olması nedeniyle kompositenin artması ile betonun geçirgenliği azalır, tersi durumunda ise geçirgenlik artar [12,13]. Beton içerisindeki boşlukların karakteri ve dağılımı önemli olmakla birlikte son kertede daha az porozite daha az geçirgenlik demektir. Tablo 4 ve Şekil 5'te bu ilişki açıkça görülebilir.

Çalışmada basınçlı su geçirimliliği K_c ile betonun kompositesi (k_b) arasında

$$K_c=K_m(1-k_b/1+k_h)^n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(12)$$

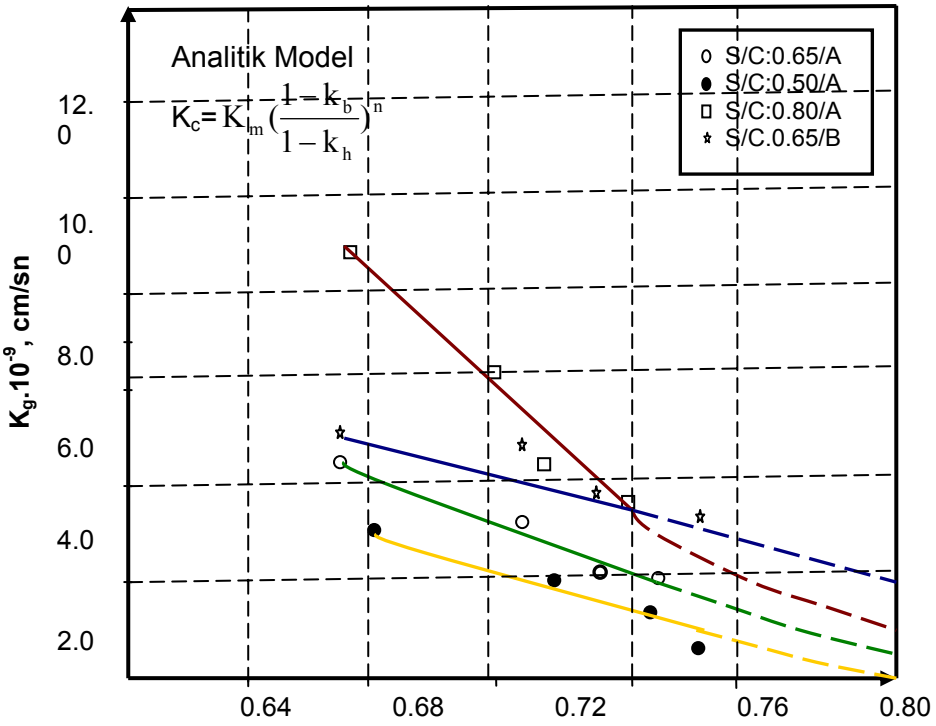
şeklinde bir bağıntı olduğu varsayılmıştır.

Burada K_c, K_m sırasıyla beton ve harcın geçirimlilik katsayısı, k_b ve k_h ise beton ve harcın kompositesidir. Şekilden de görüleceği üzere kompositenin artma yönü iri agrega

miktarının artış yönü ile aynıdır. Buna bağlı olarak basınçlı su geçirgenliği ve kılcal su emme değerlerinde azalmalar ortaya çıkar. Yalnız burada da azalma $(V_a)_{max}$ kritik değeri ile sınırlı kalmaktadır. Geçirgenlik için ortaya çıkan bu ilişkilerin kılcal ve hacimsel su emme değerleri için de geçerli olduğu söylenebilir. Bunun yanı sıra su-çimento oranı 0.65 olan A ve B serisi betonlarında; iri agrega boyutunun artmasıyla kompasitenin azaldığı ve B serisi betonlarının A serisi betonlarına oranla daha boşluklu ve geçirgen olduğu belirlenmiştir.

Tablo 5. Geçirgenlik ve kılcallık analitik ifadelerinin hesaplanan sabitleri

Simge	Su-çimento oranı	Geçirgenlik		Kılcal su emme	
		K_m(cm/sn)	n	K_m(cm^2/sn)	n'
0.80 /A	0.80 (7–15) mm	$11x10^{-9}$	3.92	$2.6x10^{-5}$	2.9
0.65/A	0.65 (7–15) mm	$4.65x10^{-9}$	3.40	$1.40x10^{-5}$	2.46
0.50/A	0.50 (7–15) mm	$2.80x10^{-9}$	3.68	$1.30x10^{-5}$	2.56
0.65/B	0.65 (15–30)mm	$5.50x10^{-9}$	1.73	$1.60x10^{-5}$	1.30



Şekil 5. Basınçlı su geçirgenliğinin betonun kompasitesi ile değişimi

5. SONUÇ

Yukarıdaki bölümlerde açıklandığı üzere, yerleştirme, bakım ve sonradan uygulanan işlemlerde herhangi bir aksaklık olmasa bile beton da diğer yapı malzemeleri gibi geçirgendir. Bu durum beton içyapısını tanımlayan bileşen ve bileşim parametreleri ve bunların oluşturduğu yeni fazlar ile ilgili yapısal bir durumdur. Geçirgenliğin karakteri ve büyüklüğü de bu parametreler ile belirlenir. Geçirgenlik, deneyinin zor olması nedeniyle kolayca ve her zaman ölçülemeyen bir özeliktir, [13,14]. Bu nedenle beton bileşenleri ve bazı bileşim parametreleri esas alınarak yazılmış olan kompozit model denklemleri yardımıyla betondaki sıvı hareketini ya da başka bir deyimle geçirgenliğin düzeyini kestirmek-ölçmek çalışma sonuçlarına göre

olası gözükmektedir. Çalışma sonuçları açısından anlamlı ve geliştirilmeye açıktır.

Yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar özetlenecek olursa;

- Harç içerisine katılan iri agrega hacmi oranının artması ile geçirgenlik ve su emme azalmaktadır. Bu ilişki (9) denklemi ile ifade edilebilir. Ancak bu ilişki $(V_a)_{max}$ değerinden sonra değişmektedir.
- Aynı bir su-çimento oranı için, iri agrega tane boyutunun artması, kesikli agrega tane dağılımının kullanılması durumunda geçirgenlik artmaktadır.
- Su/çimento oranının artması ile geçirgenlik artmakta tersi durumunda azalmaktadır. Bu azalma çok düşük su-çimento oranlarındaki katkısız betonlarda betonun yerleşememesi dolayısıyla artmaktadır.
- Kompasitenin artmasıyla geçirgenlik azaltmakta olup bu ilişkiyi (12) denklemi ile ifade etmek mümkündür.
- Çalışma kapsamı ile sınırlı olmakla birlikte deney sonuçları; basınç dayanımın iri agrega hacmi oranı ile arttığını göstermektedir. Ancak basınç dayanımı ile geçirgenlik arasında doğrudan bir ilişki de kurulamamıştır.
- Elastisite modülü de iri agrega hacmi oranı ile artmakta ama buna karşılık elastisite modülü ile geçirgenlik arasında kesin bir ilişkiden bahsetmek mümkün olmamaktadır.
- Beton geçirgenliğinin kompozit model denklemleri ile belirlenmesi bir yere kadar olası olmakla birlikte kesin ifadeler için deneysel çalışmaya gereksinim duyulmaktadır. Geçirgenlik belirlenmesinde (9), (11) ve (12) denklemleri ile ifade edilen analitik ilişkiler kurulmuştur. Yapılan deneysel çalışmalar bu ifadelere uymaktadır.

SEMBOLLER

C :Bileşen özeliği
E_m :Harç fazı elastisite modülü
E_a :Agrega fazı elastisite modülü
E_b :Betonun elastisite modülü
f_a :Çekme dayanımı
V :Hacim oranı
V_f :Lif hacmi oranı
V_g :İri agrega hacmi oranı
V_a :Toplam agrega hacmi oranı
V_m :Harç fazı hacim oranı
V_q :Çimento fazı hacmi oranı
K, K_c :Betonun geçirgenlik katsayısı
K_a :Agrega geçirgenlik katsayısı
K_m :Harç fazının kılcallık katsayısı
k_k :Betonun kılcallık katsayısı
k_b :Betonun kompasitesi
k_h :Harç fazının kompasitesi
n,n' : Üstel fonksiyonların üst derecesi
S_h :Betonun hacimsel su emmesi

KAYNAKLAR

[1] TS EN 206–1, Beton; Performans, Özelik, İmalat ve Uygunluk, Türk Standardı, TSE, Ankara

[2] Mindess, S., Young, J.F., Concrete, Prentice-Hall Inc., New Jersey, USA, 1981

[3] Kocataşkın, F., Beton Özeliklerinin Kompozit Malzeme Kuralları ile İncelenmesi, İTÜ İnşaat Fakültesi, Yapı Malzemeleri Semineri, 1985.

[4] Topçu, İ.B., Hafif Beton Özeliklerinin Kompozit Malzeme Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mart 1988, İstanbul, 126s.

[5] Topçu, İ.B., Uğurlu, A., Betonda Elastisite Kuramı ve Baraj Betonları için Statik E-Modülünün Kompozit Modellerle Tahmini, İMO Teknik Dergi, Cilt 18, Sayı 1, Ocak 2007, ss. 4055–4067.

[6] Counto, T.J., Magazine of Concrete Research, Vol. 16, p.129, 1964

[7] Villardell, J. Aguado, A., Agullo, L. and Gettu, R., Estimation of the Modulus of Elasticity for Dam Concrete, Cement and Concrete Research, No. 1, pp. 93–101, 1998.

[8] Sümer, M., Betonda Sıvı Hareketinin Kompozit Malzeme Kuralları ile İncelenmesi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kasım 1988, İstanbul.

[9] Mehta, P.K, Concrete, Prentice-Hall Inc, USA.

[10] Hirsch, T.J., Modulus of Elasticity of Concrete Affected by Elastic Moduli of Cement Paste Matrix and Aggregate by Hirsch, ACI Journal, Proceedings, Vol. 59, pp. 1363–1372, 1962.

[11] Hobbs, D.W., The Effect of Aggregate Concentration Upon the Strength and Modulus of Elasticity of Concrete, Magazine of Concrete Research, Vol. 32, No. 113, December 1980, pp. 246–247.

[12] Hashin, Z., The Elastic Moduli of Heterogeneous Materials, Journal of Applied Mechanics, pp. 143–150, March 1962.

[13] Uğurlu, A., Betonun Basınç Dayanımı ile Geçirgenliği Arasındaki İlişki, DSİ TAKK, Yayın No. MLZ-781, Ankara 1990,

[14] Kocataşkın, F., Uğurlu, A., Betonda Geçirimsizlik, Basınç Mukavemeti ve İşlenebilme Özellikleri ile Bileşim Arasında Korelasyonlar, İMO Teknik Dergi, Cilt 2, sayı 2, yıl 1999, Ankara

DSİ Teknik Bülteni
Sayı: 109, Ekim 2010

PE BASINÇLI BORULARIN ALIN KAYNAĞI YÖNTEMİYLE BİRLEŞİMİNDEKİ YERSEL YÜK KAYBININ BORU HATTI BOYUNCA HESABI İLE SİSTEMDEKİ TOPLAM YÜK KAYBINA ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Sinan T. SARIOĞLU
İnşaat Y. Mühendisi, DSİ 24. Bölge Müdürü-KARS
sinant@dsi.gov.tr

(Bildirinin geliş tarihi: 15.03.2010, Bildirinin kabul tarihi: 11.02.2011)

ÖZET
Basınçlı sulama şebekelerinde kapalı sistemlerin projelendirilmesi, günümüz koşullarına daha uygun olduğu düşünülerek son yıllarda daha çok tercih edilmektedir.

Kapalı sulama sistemlerinde; gerek ana kanal açık şebeke kapalı olsun, gerekse ana kanal ve/veya iletim kanalı ile şebekenin tamamı kapalı olsun, küçük sulama alanları hariç birden fazla boru cinsi kullanılmaktadır. Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE 100) borularda diğer cins borulardan farklı olarak, alın kaynağı birleşim şeklinde boru kesitlerinde lokal daralmalar (dudak) oluşmaktadır. Bu da diğer tip borularda olmayan ilave yersel yük kaybına neden olmaktadır.

Bu çalışma ile söz konusu yersel yük kaybının teorik olarak hesaplanması, boru hattı boyunca toplam değerinin hesaplanması ve toplam yük kaybına oranının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Basınçlı borular, HDPE 100 boru, alın kaynağı, yersel yük kaybı,

ABSTRACT
It has been realized that pressurized irrigation systems got to be used in irrigation projects as far as technically possible.

Except those of small irrigation projects, different types of pipes are utilized for pressurized irrigation systems depending on the technical and economical requirements of the project. Welding causes extra decreases in the internal area of pipes because of bulging in High Density Polietilen (HDPE) Pipes. Thus, extra local head loses are created in HDPE pipes when compared with the others.

This study focuses on the calculation of those local head loses and on the computation of total head losses so that the ratio of total head loss to initial head could be figured out.

Keywords: Pressurize pipes, HDPE 100, butt welding, local head loss.

GİRİŞ

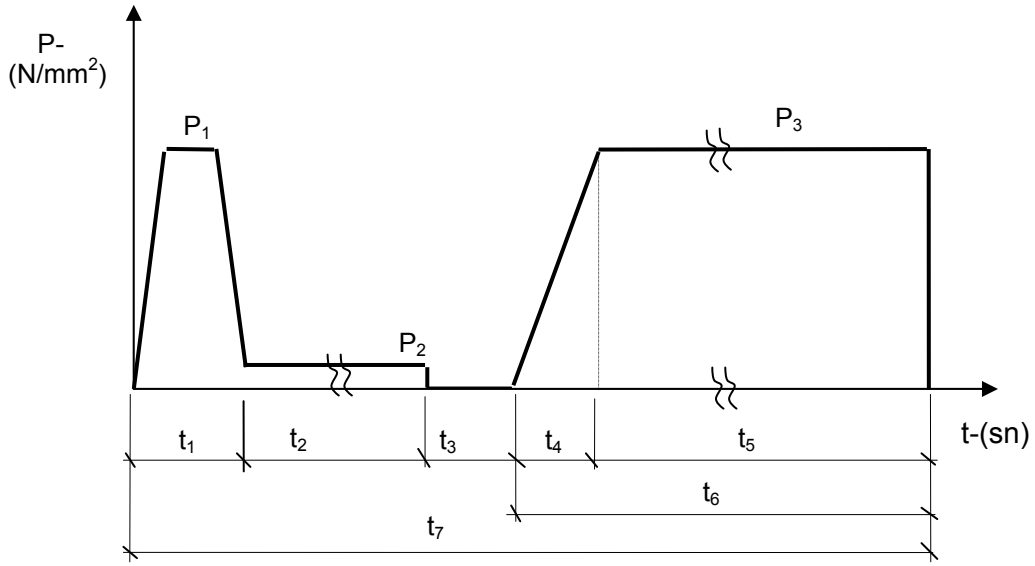
Basınçlı sulama şebekelerinde, günümüz verilerine ve değerlendirmelere göre teknik ve ekonomik mukayeseler sonucu 110-710 mm çaplarında HDPE 100 boru cinsleri kullanılmaktadır. Bu tip boruların birleşiminde çeşitli yöntemler uygulanmakla birlikte; teknik, ekonomik ve pratik olması yönüyle yaygın olarak kullanılan yöntem "alın kaynağı metodu" dur. Bu çalışmada; İsale hatlarında ve sulama şebekelerinde kullanılan Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE 100) boruların alın kaynağı yöntemi ile birleştirilmesi sonucu oluşan kesit daralmasının (dudak) neden olduğu yersel yük

kaybının toplam yük kaybına oranı bir örnek üzerinden belirlenmiştir.

HDPE 100 BORULARDA ALIN KAYNAĞI BİRLEŞİM YÖNTEMİ

Basınçlı sistem olarak projelendirilen, Ana kanal açık, şebeke kapalı veya tamamı kapalı mansap kontrollü sulama projelerinde hali hazırda 110 mm den başlayıp 710 mm ye kadar HDPE 100 basınçlı borular kullanılmaktadır.

HDPE 100 boruların Alın Kaynağı makinesi ile boru birleşim süreci Şekil 1. de gösterilmiştir.



Şekil 1. Boru birleşimlerinde kaynak süreci

Şekil 1. de; alın kaynağı yöntemi ile birleştirilecek boruların çeşitli aşamalarda uygulanması gereken basınç ve zaman aralıkları aşağıdaki gibi belirlenir. Belirlenen zaman aralıkları boru et kalınlığına göre değişkenlik göstermektedir.

Birleştirilecek boruların eksenlerini yeterli miktarda birleştirecek, ancak boru uçlarının ezilmemesine de müsaade edilmeyecek miktardaki basınç;P_1=0.15±0.01 Nt/mm^2,

Birleştirilecek boruların belirli ısı düzeyine çıkmasının sağlanması, ancak aşırı erimesinin önüne geçilmesi için gereken basınç; $P_2 \leq 0.02$ Nt/mm^2,

Boru birleşiminin belirli hızda ve zamanda oluşması için gereken basınç; P_3=0.15±0.01 Nt/mm^2, olarak belirlenmiştir.

Belirlenen bu basınç değerleri laboratuvar çalışmaları sonucu, boru birleşim kesitlerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini değiştirmeyecek sınır değerler olarak tespit edilmiştir.

Burada;

t_1:Birleştirilecek boruların eksenlerini P_1 basıncı ile çakıştırma süresi, maksimum 8 sn
t_2:Birleştirilecek boru yüzeylerini P_2 düşük basınç ile ısıtma süresi, 112-124 sn

t_3:Basıncı kaldırıp, ısı plakasını uzaklaştırma süresi, maksimum 8 sn
t_4:Boru birleşimleri için gerekli P_3 basınca ulaşma zamanı, 7-9 sn
t_5:Birleştirme basıncı (P_3) altında kaynak ile birleştirilen boruların soğutma süresi, 1080sn
t_6:Toplam birleştirme süresi, 1087-1089 sn,
t_7:Toplam kaynak süresi,
(Butt Welding of Polyethylene Pipes, Waters &Farr)

YÜKSEKLİĞİ ve BOYUNUN BELİRLENMESİ

Birçok PE boru üreticisine ait üretim kataloglarında; boru birleşimlerinde oluşan dudak yüksekliği (t_d),

$$t_d = 0.50\text{mm} + (0.1t) \quad \text{.....(1)}$$

olarak belirlemektedir (PakPlast Polietilen Borular, Pakpen Şirketler Grubu, Web sitesi, 2007).

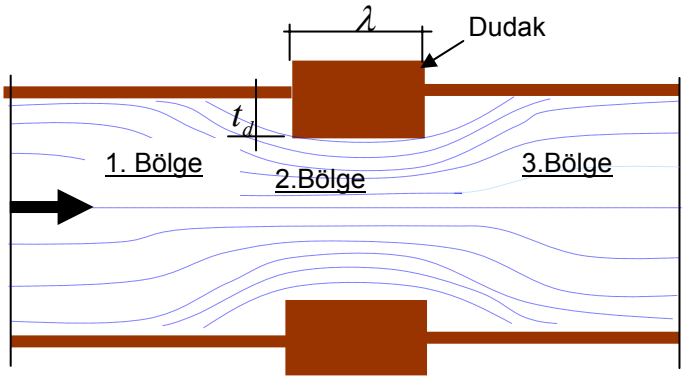
Burada;
t; boru et kalınlığı, mm
Dudak boyu (λ) ise birleştirilen borulardaki dudak yüksekliği toplamı olarak alınması yeterli bir yaklaşımdır. Yani $\lambda=2t_d$ olarak kabul edilebilir.

YERSEL YÜK KAYBI HESABI

Basınçlı borularda sürekli yük kaybı ve lokal yük kaybı olmak üzere iki tür yük kaybından söz etmek mümkündür.

Sürekli yük kaybının belirlenmesinde, ampirik ve yarı ampirik birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu çalışmada Manning ifadesi kullanılmıştır.

PE basınçlı boruların alın kaynağı yöntemi ile birleştirilmesi sonucu oluşan kesit daralmasının neden olduğu yersel yük kaybını hesaplamak için; sistem 3 ayrı bölgeye ayrılarak analiz yapılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. PE boruların alın kaynağı ile birleşimleri

Oluşan yersel yük kayıplarını 3 bölümde hesaplamak mümkündür. Bunlar sırasıyla;
1- Geniş borudan dar boruya geçiş olan 1. bölge ile 2. bölge arası,
2- Dar boruda sürekli yük kaybı olan 2. bölge, (çok kısa mesafede oluşsa da hesaplanmalıdır).
3- Dar borudan geniş boruya geçiş olan 2.bölge ile 3. bölge arası,

1- Geniş Borudan Dar Boruya Geçiş - 1. bölge ile 2. bölge arası (Ani daralma)

Şekil 3'de; D_1,A_1,V_1; geniş borunun sırasıyla, iç çapı (m), kesit alanı (m^2), ortalama su hızı (m/s) ve D_2,A_2,V_2; dar borunun sırasıyla, iç çapı, m, kesit alanı, m^2, ortalama su hızı, m/s olmak üzere,

-(1) nolu kesit, (1') nolu kesit ve (2) nolu kesit arasında süreklilik ifadesi;

$$Q = A_1V_1 = A_{1'}V_{1'} = A_2V_2 \quad .....(2)$$

yazılabilir.

Burada (1) nolu kesit ile (1') nolu kesit arasında enerji kaybı ihmal edilebilecek seviyededir. Esas kayıp (1') ile (2) nolu kesit arasında oluşacağından,
-(1') ile (2) nolu kesit arasında Enerji ifadesi;

$$\frac{P_{1'}}{\gamma}+\frac{V_{1'}^2}{2g}=\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2^2}{2g}+h_{1_2}$$

$$h_{1'-2}=\frac{V_{1'}^2-V_2^2}{2g}-\frac{P_2-P_{1'}}{\gamma} \quad .....(3)$$

elde edilir.

Burada;
γ ; akışkanın özgül ağırlığı, (kg/m^3)
g; yerçekimi ivmesi, (m/s^2)
$P_{1'}/\gamma$; (1') nolu kesitin basınç yüksekliği, (m)
$V_{1'}^2/2g$; (1') nolu kesitin hız yüksekliği, (m)
P_2/γ ;(2) nolu kesitin basınç yüksekliği, (m)
$V_2^2/2g$; (2) nolu kesitin hız yüksekliği, (m)
$h_{1'-2}$; (1') nolu kesit ile (2) nolu kesit arasındaki yük kaybı, (m)

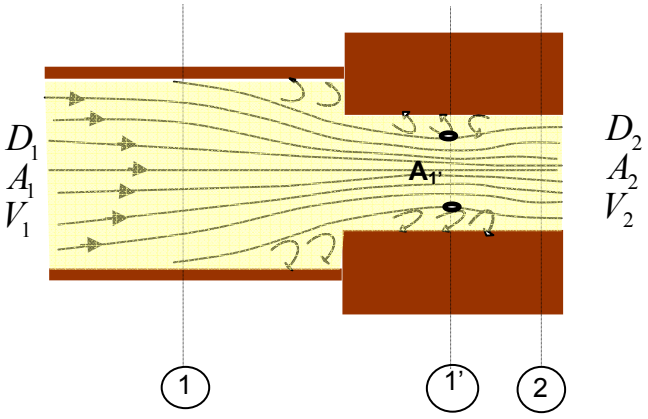
-(1') nolu kesit ile (2) nolu kesit arasında Momentum ifadesi;

$$m\Delta V = \sum F$$

$$\rho Q(V_{1'} - V_2) = -P_{1'}A_{1'} + P_2A_2 - P_{1'}(A_2 - A_{1'})$$
$$= \cancel{-P_{1'}A_{1'}} + P_2A_2 - P_{1'}A_2 + \cancel{P_{1'}A_{1'}}$$

$$\rho Q(V_{1'} - V_2) = (P_2 - P_{1'})A_2 \text{ .....(4)}$$

elde edilir.



Şekil 3. Geniş borudan dar boruya geçişte yersel yük kaybı

Burada;
m: suyun kütlesi, (kg/m^3)
ΔV: iki kesit arasındaki akışkanın hız değişimi, (m/s)
F; basınç kuvveti, (Nt)
ρ;suyun yoğunluğu, (kg/m^3)
Q; akışkanın debisi, (l/s)
$V_{1'}$; (1') nolu kesitte akışkanın ortalama hızı, (m/s)
V_2; (2) nolu kesitte akışkanın ortalama hızı, (m/s)
$P_{1'}$;(1') nolu kesite etkiyen akışkanın basıncı, (Nt/m^2),
P_2;(2) nolu kesite etkiyen akışkanın basıncı, (Nt/m^2),
$A_{1'}$; (1') nolu kesitin alanı, (m^2)
A_2; (2) nolu kesitin alanı, (m^2)

(4) nolu ifadede Q yerine V_2A_2 yazılırsa;

$$\rho V_2 \cancel{A_2}(V_{1'} - V_2) = (P_2 - P_{1'})\cancel{A_2}$$

$$\frac{\gamma}{g}(V_2V_{1'} - V_2^2) = P_2 - P_{1'} \qquad (5)$$

elde edilir.

(5) nolu ifadedeki P_2-$P_{1'}$ (3) nolu ifadede yerine konursa,

$$h_{1'-2} = \frac{1}{2g}V_{1'}^2 - \frac{1}{2g}V_2^2 - \frac{1}{g}(V_2V_{1'} - V_2^2)$$
$$= \frac{1}{2g}V_{1'}^2 - \frac{1}{2g}V_2^2 - \frac{1}{g}V_2V_{1'} + \frac{1}{g}V_2^2$$
$$= \frac{1}{2g}V_{1'}^2 - \frac{1}{g}V_2V_{1'} + \frac{1}{2g}V_2^2$$
$$= \frac{1}{2g}(V_{1'}^2 + V_2^2 - 2V_2V_{1'})$$

$$h_{1'-2} = \frac{1}{2g}(V_{1'} - V_2)^2$$

$V_{1'}$ yerine, $V_{1'} = \frac{A_2}{A_{1'}}V_2$ yazılarak

$\mu = \frac{A_{1'}}{A_2}$ alınırsa,

$$h_{1'-2} = (\frac{1}{\mu} - 1)^2 \frac{V_2^2}{2g} \quad \text{elde edilir.}$$

Genel ifade olarak $h_{1'-2}$ yerine h_{yd} yazılırsa,

$$h_{yd} = (\frac{1}{\mu} - 1)^2 \frac{V_2^2}{2g} \text{ .....(6)}$$

elde edilir.

Burada;
h_{yd}; daralan kesitte yersel yük kaybı, (m)
$\mu = A_{1'}/A_2$ ifadesinde; Şekil 3' de görüleceği gibi geniş borudan dar boruya geçişte daralan akımın kesiti $A_{1'}$ bilinmeyen olduğundan, literatürde μ nün Şekil 3. de bilinen geniş kesit A_2 ile dar kesit A_1 e bağlı değerleri (Tablo 1.) de verilmektedir.

Tablo 1. μ - A_2/A_1 değişimi

A_2/A_1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
μ	0.624	0.632	0.643	0.659	0.681	0.712	0.755	0.813	0.892	1.0

2- Dudak Bölgesinde Sürekli Yük Kaybı Hesabı (2. bölge)

Manning ifadesinden,

$$J = (\frac{nV}{R^{2/3}})^2 \text{ .....(7)}$$

Burada;
PE boru cinsi için Manning pürüzlülük katsayısı, n=0.009 alınabilir (Manning's n Value History of Research, American Concrete Pipe Association, s.1).

λ, dudak boyu ($\lambda = 2t_d$) olmak üzere,

$h_{sd} = J\lambda$.....(8)

$$h_{sd} = (\frac{0.009V}{R^{2/3}})^2 2t_d \text{ .....(9)}$$

elde edilir.

Burada;
J; dudak boyunca oluşan piyezometre eğimi,
h_{sd}; dudak bölgesi sürekli yük kaybı, (m)

3- Dar Borudan Geniş Boruya Geçiş - 2. bölge ile 3. bölge arası (Ani genişleme)

Şekil 4. deki akım, (1) nolu kesitten (2) nolu kesite, yani daralan kesitten genişleyen kesite doğru gerçekleşirken su hızında düşme olacağından dolayı basınçta artış meydana gelecektir. Türbülanslı akımdan dolayı (1') kesitinde lokal kayıp meydana gelecektir. Bu kaybı veren ifade aşağıda çıkartılmıştır.

-(1) nolu kesit ile (2) nolu kesit arasında Süreklilik ifadesi;

$$Q = A_1V_1 = A_2V_2 \text{ .....(10)}$$

şeklinde yazılabilir.

-(1) nolu kesit ile (2) nolu kesit arasında Enerji ifadesi;

-(1) nolu kesit ile (2) nolu kesit arasında Momentum ifadesi;

$$m\Delta V = \sum F$$

$$(Hidrolik\ problemleri, SIĞINER, s.56)$$

$$\rho Q(V_1 - V_2) = -P_1A_1 + P_2A_2 - P_{1'}(A_2 - A_1)$$

deneyler $P_{1'} \cong P_1$ olduğunu göstermiştir.

Buna göre;

$$\rho Q(V_1 - V_2) = -\cancel{P_1A_1} + P_2A_2 - P_1A_2 + \cancel{P_1A_1}$$

$$\rho Q(V_1 - V_2) = (P_2 - P_1)A_2 \text{ .....(13)}$$

$Q = A_2V_2$ (13) nolu ifadede yerine yazılırsa,

$$\rho \cancel{A_2} V_2(V_1 - V_2) = (P_2 - P_1)\cancel{A_2} \text{ .....(14)}$$

ρ yerine γ / g yazılarak düzenlenirse;

$$\frac{P_2 - P_1}{\rho g} = \frac{V_2}{g}(V_1 - V_2) \text{ .....(15)}$$

elde edilir.

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{1-2} \text{ .....(11)}$$

$$h_{1-2} = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} - \frac{P_2 - P_1}{\rho g} \text{ .....(12)}$$

(15) nolu ifadedeki $\frac{P_2 - P_1}{\rho g}$ (12) nolu ifadede yerine yazılır ise;

$$h_{1-2} = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} - \frac{V_2}{g}(V_1 - V_2) \quad .....(16)$$

Buradan,

$$h_{1-2} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} \quad .....(17)$$

elde edilir.

$V_2 = V_1 \frac{A_1}{A_2}$ olduğundan

$$h_{1-2} = \frac{(V_1 - V_1 \frac{A_1}{A_2})^2}{2g}$$

$$h_{1-2} = \frac{V_1^2}{2g}(1 - \frac{A_1}{A_2})^2 \quad .....(18)$$

$\eta = (1 - \frac{A_1}{A_2})^2$ şeklinde ifade edilirse

$$h_{1-2} = \eta \frac{V_1^2}{2g} \quad .....(19)$$

elde edilir.

Genel ifade olarak h_{1-2} yerine h_{yg} yazılırsa

$$h_{yg} = \eta \frac{V_1^2}{2g} \quad .....(20)$$

elde edilir.

Burada;
h_{yg}; genişleyen kesitte yersel yük kaybı, (m)

Sonuç olarak;

1 – Daralan kesitte toplam yersel yük kaybı,

$$\sum h_{yd} = \sum_{i=1}^{n} (\frac{1}{\mu_i} - 1)^2 \frac{(V_2^2)_i}{2g} \quad .....(21)$$

2 - dar kesitte sürekli toplam yük kaybı,

$$\sum h_{sd} = \sum_{i=1}^{n} J_i \lambda_i \quad .....(22)$$

3 - Genişleyen kesitte toplam yersel yük kaybı,

$$\sum h_{yg} = \sum_{i=1}^{n} (\eta_i \frac{(V_1^2)_i}{2g}) \quad .....(23)$$

Toplam yük kaybı

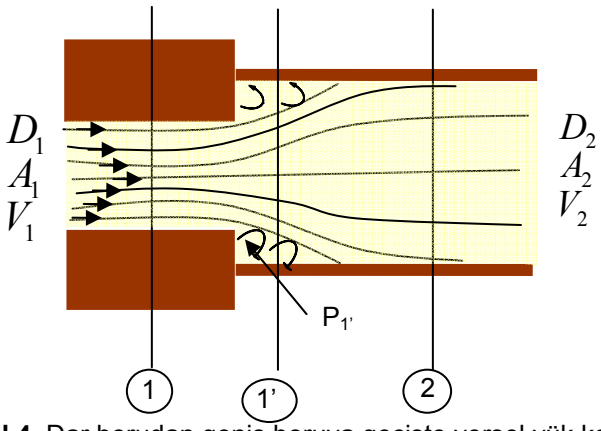
$$\sum h_y' = \sum hyd + \sum h_{sd} + \sum h_{yg}$$

$$\sum h_y' = \sum_{i=1}^{n} \left[(\frac{1}{\mu_i} - 1)^2 \frac{(V_2^2)_i}{2g} + J_i \lambda_i + \eta_i \frac{(V_1^2)_i}{2g} \right] \quad .....(24)$$

yazılabilir.

Burada;
h_y'; boru hattı boyunca oluşan toplam yersel yük kaybı, (m)

Sonuçta;
Tüm boru hattı boyunca dudaktan dolayı oluşacak toplam yersel yük kaybı; (21), (22) ve (23) nolu ifadelerde belirtilen toplam yük kayıplarının toplamına eşit olacaktır(24 nolu ifade).



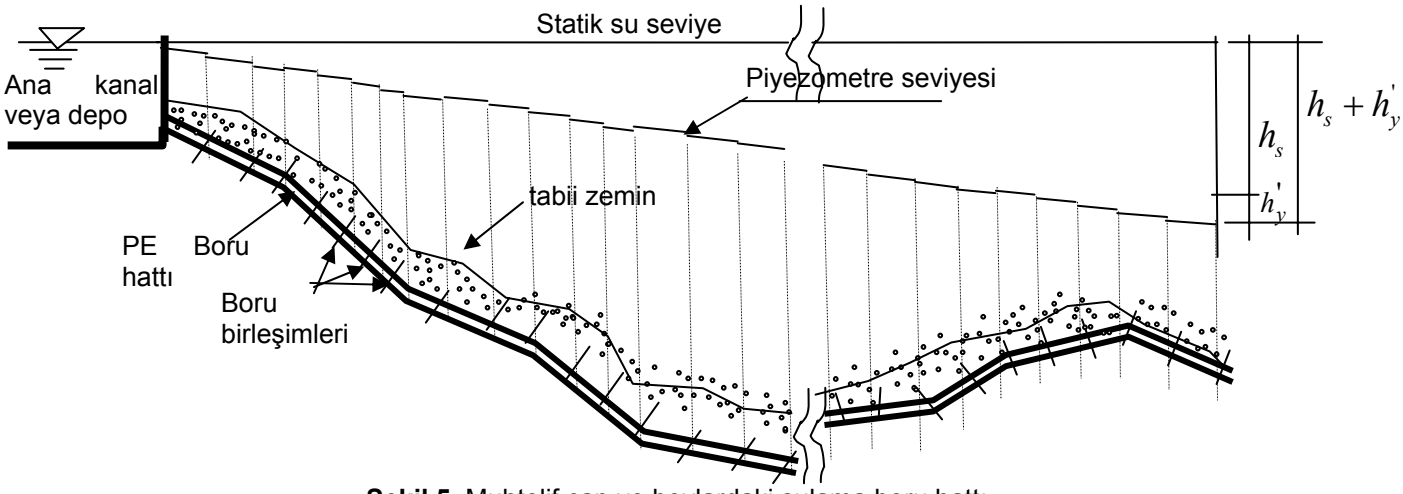
Şekil 4. Dar borudan geniş boruya geçişte yersel yük kaybı

SAYISAL ÖRNEK

Bir sulama şebekesinde; 4 600 m uzunluğunda, 0.36 m^3/s başlangıç kapasitesinde ve 110-710 mm arası çaplardan oluşan HDPE 100 tipindeki boru hattında, boruların alın kaynağı yöntemi ile birleştirilmesi sonucu oluşan kesit daralmasının neden olduğu yersel yük kaybının toplam sürekli yük kaybına oranının belirlenmesi.

Süreklilik arz eden belirli çap ve uzunluktaki PE boruların 12 şer metre halinde alın kaynağı ile birleşimlerinde oluşan dudaktan dolayı meydana gelen toplam yersel yük kayıpları aşağıdaki şekilde belirlenebilir.

HDPE basınçlı boru cinslerinin sulama şebekelerinde teknik ve ekonomik mukayeseye bağlı 110 ile 710 mm çap aralığında projelendirilmektedir. 75-140 mm çap aralığında borular kangal olabildiğinden bu çaplar alın kaynağı ile birleştirilmeyeceğinden dikkate alınmamıştır. 140 mm çapın üzeri baz alınarak, 5,6, 8 ve 10 Bar dayanıma sahip ve 160 ile 710 mm boru çapı aralığında başlangıç debisinin 0.36 m^3/s olduğu bir sulama boru hattının (Şekil 5.) hidrolik çözümünün ele alınmasıdır.



Şekil 5. Muhtelif çap ve boylardaki sulama boru hattı

Şekil 5'te; h_s;isale hattı boyunca oluşan sürekli yük kaybı, h'_y;isale hattı boyunca alın kaynağından kaynaklanan toplam yük kaybıdır.

Oluşturulan sistemin hidrolik çözümü belirli hızlar için debiye bağlı boru çapları hesaplandıktan sonra sürekli yük kayıpları Manning ifadesi kullanılarak Tablo 2. de verilmiştir.

Sulama şebekesinde belirtilen çaplardan daha büyük çaplarda, CTP ve diğer boru cinsleri kullanılmaktadır.

Kayıp hesaplarında; çap büyüdükçe HDPE boruların alın kaynağı birleşiminde meydana gelen dudak yüksekliğinden dolayı daralan kesitin dudak bölgesi dışındaki kesite oranı azalmaktadır. Buna bağlı olarak yersel yük kaybı da azalacağından, ağırlıklı olarak küçük çaplar dikkate alınarak emniyetli tarafta kalınmıştır.

Hidrolik çözümden sonra, boru birleşim noktalarında sırasıyla, daralan kesitte yersel yük kaybı, dar kesitte sürekli yük kaybı ve genişleyen kesitte yersel yük kaybı hesapları; (21), (22) ve (23) nolu ifadeler yardımıyla Tablo 3, Tablo 4, ve Tablo 5 de hesaplanmıştır.

Boru birleşimlerine esas olacak boru boylarının Karayolları Taşımacılığı mevzuatı gereği boy sınırlamasından dolayı 12 m esas alınarak Tablo 3, 4 ve 5. de belirlenen yersel yük kaybı, genel toplam olarak Tablo 6. da verilmiştir

Görüleceği gibi, 4 600 m boyunda ve 160-710 mm arasındaki çaplardan oluşan basınçlı şebekelerde, alın kaynağı birleşimi sonucu oluşan dudaktan dolayı toplam yersel yük kaybının boru hattında oluşan toplam sürekli yük kaybına oranı yaklaşık %2 olmaktadır. Üstelik A_2/A_1 değerine karşı gelen μ daralma katsayısı daha büyük alınması durumunda bu değer daha da düşük çıkacaktır.

Boru hattı boyunca oluşan sürekli yük kaybı 38.68 m olurken alın kaynağından dolayı oluşan yük kaybı ise Tablo 4. de görüleceği gibi 0.88 m (1 m nin altında) olmaktadır. Bu değer sulama sistemlerinde veya içme suyu boru hatlarında ihmal edilebilir değerdedir.

Tablo 2. Boru hattı hidrolik çözüm tablosu-sürekli yük kaybı, h_s

Debi Q	Dış Çap D	İçÇap D_1	Dayanma Basıncı P	Hız V_1	Et kalınlığı t	Manning pürz. n	Islak kesit Alanı A_1	Hid. Yarıçap R_1	Hidrolik eğim J	Boru boyu L	Sürekli Yük kaybı h_s=JxL
l/s	mm	mm	Bar	m/s	mm		m^2	m		m	mSS
360	710	666.1	5	1.03	22.0	0.009	0.35	0.17	0.0009	400	0.38
340	630	591.4	5	1.24	19.3	0.009	0.27	0.15	0.0016	300	0.48
300	560	525.6	5	1.38	17.2	0.009	0.22	0.13	0.0023	400	0.93
270	500	469.4	5	1.56	15.3	0.009	0.17	0.12	0.0034	250	0.86
215	450	417.4	6	1.57	16.3	0.009	0.14	0.10	0.0041	300	1.22
190	400	371	6	1.76	14.5	0.009	0.11	0.09	0.0060	400	2.39
160	355	329.2	6	1.88	12.9	0.009	0.09	0.08	0.0080	350	2.80
120	315	285	8	1.88	15.0	0.009	0.06	0.07	0.0097	250	2.43
100	280	253.2	8	1.99	13.4	0.009	0.05	0.06	0.0127	300	3.80
80	250	226.2	8	1.99	11.9	0.009	0.04	0.06	0.0148	450	6.66
60	225	198.2	10	1.95	13.4	0.009	0.03	0.05	0.0168	300	5.05
40	200	176.2	10	1.64	11.9	0.009	0.02	0.04	0.0140	250	3.51
30	180	158.6	10	1.52	10.7	0.009	0.02	0.04	0.0138	300	4.15
20	160	141	10	1.28	9.5	0.009	0.02	0.04	0.0115	350	4.03
Toplam										4 600	38.68

Q; boru hattından geçen debi, (l/s)
D; boru dış çapı, (mm)
D_1; boru iç çapı, (mm)
P; boru dayanma basıncı, (Bar=100N/m^2)
V_1; Boru ortalama akım hızı, (m/s)
t; Boru et kalınlığı, (mm)
n; Manning pürüzlülük katsayısı
A_1; Boru ıslak kesit alanı, (m^2)
R_1; Boru kesiti hidrolik yarıçap, (m)
J; Boru hidrolik eğimi
L; boru boyu, (m)
h_s;boru hattı boyunca oluşan sürekli yük kaybı, (m)

Tablo 3. 1- Ani daralmada toplam yersel yük kaybı, h_{yd}

Q	D_1	V_1	A_1	t	t_d	D_2	V_2	A_2	A_2/A_1	Ani daralmada yük kaybı	
										μ	h_{yd}
l/s	mm	m/s	m^2	mm	mm	mm	m/s	m^2	-	Tablo 1. den	mSS
360	666.1	1.03	0.35	22.0	2.75	660.6	1.05	0.34	0.98	0.892	0.00083
340	591.4	1.24	0.27	19.3	2.48	586.4	1.26	0.27	0.98	0.892	0.00119
300	525.6	1.38	0.22	17.2	2.27	521.1	1.41	0.21	0.98	0.892	0.00148
270	469.4	1.56	0.17	15.3	2.08	465.2	1.59	0.17	0.98	0.892	0.00189
215	417.4	1.57	0.14	16.3	2.18	413.0	1.61	0.13	0.98	0.892	0.00193
190	371	1.76	0.11	14.5	2.00	367.0	1.80	0.11	0.98	0.892	0.00241
160	329.2	1.88	0.09	12.9	1.84	325.5	1.92	0.08	0.98	0.892	0.00276
120	285	1.88	0.06	15.0	2.05	280.9	1.94	0.06	0.97	0.892	0.00280
100	253.2	1.99	0.05	13.4	1.89	249.4	2.05	0.05	0.97	0.892	0.00313
80	226.2	1.99	0.04	11.9	1.74	222.7	2.05	0.04	0.97	0.892	0.00315
60	198.2	1.95	0.03	13.4	1.89	194.4	2.02	0.03	0.96	0.892	0.00306
40	176.2	1.64	0.02	11.9	1.74	172.7	1.71	0.02	0.96	0.892	0.00218
30	158.6	1.52	0.02	10.7	1.62	155.4	1.58	0.02	0.96	0.892	0.00187
20	141	1.28	0.02	9.5	1.50	138.0	1.34	0.01	0.96	0.892	0.00134

Ani daralmada toplam yersel yük kaybı hesabı için Tablo 3. deki parametreler;
Şekil 3. göz önüne alınarak;

Q; boru hattından geçen debi, (l/s),
D_1; (1) nolu kesitte boru iç çapı, (mm)
V_1; (1) nolu kesitte borunun ortalama akım hızı, (m/s)

A_1; (1) nolu kesitte boru ıslak kesit alanı, (m^2)
t; Boru et kalınlığı, (mm)
t_d; Dudak yüksekliği, (mm)
D_2; (2) nolu kesitte boru iç çapı, (mm)
V_2; (2) nolu kesitte borunun ortalama akım hızı, (m/s)
A_2; (2) nolu kesitte boru ıslak kesit alanı, (m^2)
$\mu = A_1/A_2$ olmak üzere A_2/A_1 e bağlı daralma katsayısı,
h_{yd};Ani daralmada meydana gelen yersel yük kaybı, (mSS)

Tablo 4. 2- Dudak bölgesinde sürekli yük kaybı, h_{sd}

Q	D_1	t_d	D_2	A_2	V_2	Dudak bölgesinde sürekli yük kaybı				
						R_2	n	J	λ	$h_s=J*\lambda$
l/s	mm	mm	mm	m^2	m/s	m		-	m	mSS
360	666.1	2.75	660.6	0.34	1.05	0.17	0.009	0.00099	0.0055	0.00001
340	591.4	2.48	586.4	0.27	1.26	0.15	0.009	0.00166	0.0050	0.00001
300	525.6	2.27	521.1	0.21	1.41	0.13	0.009	0.00243	0.0045	0.00001
270	469.4	2.08	465.2	0.17	1.59	0.12	0.009	0.00360	0.0042	0.00001
215	417.4	2.18	413.0	0.13	1.61	0.10	0.009	0.00431	0.0044	0.00002
190	371	2.00	367.0	0.11	1.80	0.09	0.009	0.00632	0.0040	0.00003
160	329.2	1.84	325.5	0.08	1.92	0.08	0.009	0.00850	0.0037	0.00003
120	285	2.05	280.9	0.06	1.94	0.07	0.009	0.01049	0.0041	0.00004
100	253.2	1.89	249.4	0.05	2.05	0.06	0.009	0.01374	0.0038	0.00005
80	226.2	1.74	222.7	0.04	2.05	0.06	0.009	0.01608	0.0035	0.00006
60	198.2	1.89	194.4	0.03	2.02	0.05	0.009	0.01867	0.0038	0.00007
40	176.2	1.74	172.7	0.02	1.71	0.04	0.009	0.01560	0.0035	0.00005
30	158.6	1.62	155.4	0.02	1.58	0.04	0.009	0.01544	0.0032	0.00005
20	141	1.50	138.0	0.01	1.34	0.03	0.009	0.01291	0.0030	0.00004

Dudak bölgesinde sürekli yük kaybı hesabı için Tablo 4. deki parametreler; Şekil 3. göz önüne alınarak;

Q; boru hattından geçen debi, (l/s),
D_1; (1) nolu kesitte boru dış çapı, (mm)
t_d; Dudak yüksekliği, (mm)
D_2; (2) nolu kesitte boru iç çapı, (mm)
A_2; (2) nolu kesitte boru ıslak kesit alanı, (m^2)
V_2; (2) nolu kesitte borunun ortalama akım hızı, (m/s)
R_2; (2) nolu kesitte borunun hidrolik yarı çapı, (m)
n; PE boru cinsi için Manning pürüzlülük katsayısı,
J; dudak uzunluğu boyunca boru hidrolik eğimi,
λ; dudak boyu, (m)
h_s; dudak bölgesinde yersel yük kaybı, (mSS)

Tablo 5. 3- Ani genişlemede toplam yersel yük kaybı, h_{yg}

Q	D_2	A_2	t_d	D_1	A_1	V_1	A_1/A_2	Ani genl yük kaybı	
								η	h_{yg}
l/s	mm	m^2	mm	mm	m^2	m/s			mSS
360	666.1	0.35	2.75	660.6	0.34	1.05	0.98	0.00027	0.00002
340	591.4	0.27	2.48	586.4	0.27	1.26	0.98	0.00028	0.00002
300	525.6	0.22	2.27	521.1	0.21	1.41	0.98	0.00030	0.00003
270	469.4	0.17	2.08	465.2	0.17	1.59	0.98	0.00031	0.00004
215	417.4	0.14	2.18	413.0	0.13	1.61	0.98	0.00043	0.00006
190	371	0.11	2.00	367.0	0.11	1.80	0.98	0.00046	0.00008
160	329.2	0.09	1.84	325.5	0.08	1.92	0.98	0.00049	0.00009
120	285	0.06	2.05	280.9	0.06	1.94	0.97	0.00082	0.00016
100	253.2	0.05	1.89	249.4	0.05	2.05	0.97	0.00088	0.00019
80	226.2	0.04	1.74	222.7	0.04	2.05	0.97	0.00093	0.00020
60	198.2	0.03	1.89	194.4	0.03	2.02	0.96	0.00143	0.00030
40	176.2	0.02	1.74	172.7	0.02	1.71	0.96	0.00153	0.00023
30	158.6	0.02	1.62	155.4	0.02	1.58	0.96	0.00164	0.00021
20	141	0.02	1.50	138.0	0.01	1.34	0.96	0.00177	0.00016

Ani genişlemede toplam yersel yük kaybı hesabı için Tablo 5. deki parametreler; Şekil 4. göz önüne alınarak;

Q; boru hattından geçen debi, (l/s),
D_2; (2) nolu kesitte boru dış çapı, (mm)
A_2; (2) nolu kesitte boru ıslak kesit alanı, (m^2)
t_d; Dudak yüksekliği, (mm)

D_1; (1) nolu kesitte boru iç çapı, (mm)
A_1; (1) nolu kesitte boru ıslak kesit alanı, (m^2)
V_1; (1) nolu kesitte borunun ortalama akım hızı, (m/s)
$\eta = (1 - A_1/A_2)^2$ boyutsuz değer,
h_{yg};Ani genişlemede meydana gelen yersel yük kaybı, (mSS)

Tablo 6. Muhtelif çap aralığında ve uzunluğunda oluşan toplam yük kaybı, h'_y

Dış Çap D	Boru boyu L	Dudak adedi m	Daralmada yük kaybı		Sürekli yük kaybı		Genişlemede yük kaybı		Genel toplam kayıp $\Sigma h'_y$
			Kayıp/Adet h_{yd}	Toplam kayıp Σh_{yd}	Kayıp/Adet h_{sd}	Toplam kayıp Σh_{sd}	Kayıp/Adet h_{yg}	Toplam kayıp Σh_{yg}	
mm	m	L/12	m/1adet	mSS	m/1 adet	mSS	m/1 adet	mSS	mSS
710	400	33	0,00083	0,02750	0,00001	0,00018	0,00002	0,00051	0,02819
630	300	25	0,00119	0,02963	0,00001	0,00021	0,00002	0,00056	0,03040
560	400	33	0,00148	0,04935	0,00001	0,00037	0,00003	0,00100	0,05071
500	250	21	0,00189	0,03931	0,00001	0,00031	0,00004	0,00083	0,04045
450	300	25	0,00193	0,04814	0,00002	0,00047	0,00006	0,00142	0,05003
400	400	33	0,00241	0,08043	0,00003	0,00084	0,00008	0,00252	0,08379
355	350	29	0,00276	0,08063	0,00003	0,00091	0,00009	0,00272	0,08426
315	250	21	0,00280	0,05842	0,00004	0,00090	0,00016	0,00325	0,06257
280	300	25	0,00313	0,07832	0,00005	0,00130	0,00019	0,00469	0,08431
250	450	38	0,00315	0,11826	0,00006	0,00210	0,00020	0,00752	0,12788
225	300	25	0,00306	0,07638	0,00007	0,00176	0,00030	0,00744	0,08558
200	250	21	0,00218	0,04541	0,00005	0,00113	0,00023	0,00474	0,05128
180	300	25	0,00187	0,04683	0,00005	0,00125	0,00021	0,00522	0,05330
160	350	29	0,00134	0,03900	0,00004	0,00113	0,00016	0,00472	0,04485
Toplam	**4600**	**383**		**0,818**		**0,013**		**0,047**	**0,878**

Tablo 6.da yer alan muhtelif çap aralığında ve uzunluğunda oluşan toplam yük kaybı parametreleri;

D; Boru dış çapı, (mm)
L; Boru boyu, (m)
m; dudak adedi,
h_{yd};Daralmada oluşan yük kaybı, (mSS)
h_{sd};Dudak boyunca oluşan sürekli yük kaybı, (mSS)
h_{yg};Genişlemede oluşan yük kaybı, (mSS)
h'_y; Toplam kayıp, (mSS)

SONUÇLAR

1- Ani daralan ve genişleyen borularda oluşan ölü bölgelerdeki türbülans, lokal yük kaybına neden olur. Türbülansın miktarı ve büyüklüğü çap değişiminin miktarı ile orantılıdır. PE borularda dudaktan dolayı oluşan çap değişimi çok küçük olduğundan türbülansın miktarı da küçük olacağından lokal yük kaybı da düşük olacaktır.

2- 110 – 710 mm arası boru çapı ve hız değişimleri ile yük kayıpları değişse de, daha yüksek hızlarda daha fazla yersel yük kayıpları oluşacağı açıktır. Ancak aynı şekilde sürekli yük kayıpları da artacağından, oran sabite yakın kalacaktır. Dolayısıyla çeşitli çaplarda ve değişik hızlarda kayıp hesapları yapılsa da sonuçlar birbirine yakın çıkacaktır.

3- Boru birleşim sonucu dudak bölgesinde oluşan kesit ile boru kesiti arasında yeterli miktarda kesit farkı oluşmamasından dolayı dudak bölgesinde yersel yük kaybı çok küçük mertebede oluşmaktadır. Teorik olarak yersel yük kaybından söz edilse de Şekil 3. ve 4. de görülen akıma iştirak etmeyen ölü bölgelerin oluşması için yeterli dudak yüksekliği ve uzunluğu olmadığından yersel yük kaybı, Tablo 6. da hesap edilen yersel yük kaybından da daha az olacaktır.

4- Yüksek basınçlı sulama şebekelerinde, hidrantlar üzerinde basınç regülatörleri yerleştirilerek ihtiyaç fazlası basınçlar regüle edilmektedir. Dolayısıyla bu tip şebekelerde boru hattında oluşacak yersel yük kaybının sistem üzerinde bu anlamda kayda değer bir etkisi olmayacaktır.

5- Orta ve kritik basınçların olduğu sistemlerde ise gerekli analiz ve irdeleme yapılmalıdır. Çalışmada yer alan hesaplarda, yersel kayıpların düşük seviyede olduğu görüldüğünden, işletme basınçlarında önemli düşüş olmayacağından hidrant debilerinde de azalmaya sebebiyet vermeyecektir.

KAYNAKLAR

[1] "Hidrolik Problemleri", Prof. Dr. A. Sığıner, Kansas-ABD, Prof. Dr. B.M. Sumer, Lyngby-DANİMARKA, Birsen Yayınevi, 1974.

[2] "Heated Tool Butt Welding Pipes", Prof. Dr. RUNCEV, Faculty of Mechanical Engineering, Cyril and Methodius Unv.

[3] "Handbook of Thermoplastic Piping System Design", July 15, 1997.

[4] "Butt Welding of Polyethylene Pipes", Waters&Farr, 20 Nov 09, New Zealand.

[5] "PakPlast Polietilen Borular" Pakpen Şirketler Grubu, Web sitesi, 2007.

[6] "Design Data Manning's n Value History of Research", American Concrete Pipe Association,2007