



SAYI: 101

DEVLET SU İŞLERİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

DSİ TEKNİK BÜLTENİ

DSİ TEKNİK BÜLTENİ

Sahibi

DEVLET SU İŞLERİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

Sorumlu Müdür

Dr. Yusuf Z. GÜRESİNLİ

Yayın Kurulu

Dr. Yusuf Z. GÜRESİNLİ
Kadri YAŞAR
Bayram TIRYAKI
Taner ERCÖMERT
Kemal ŞAHİN
Nurettin KAYA
Servan YILDIRIM

BASILDIĞI YER

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

Etilik – Ankara

SAYI : 101

YIL : 2006

Üç ayda bir yayımlanır

İÇİNDEKİLER

1. Sarımsaklı Akarsuyuna Olan Beslenme Miktarının Akım Gözlemlerinden Faydalanarak Hesaplanması ... 1
(Yazan: Nurettin KAYA)
2. Kirleticiler ve Karstik Bölgelerde Kirleticilerin Taşınması 19
(Yazanlar: Uğur AKDENİZ, Sevtap AKMAN, Gülgün GÖKTEPE)
3. İçme Sularının Klorlanması Sonucu Oluşan Organik Kimyasal Maddelerin (Trihalometanların) Sağlık Üzerine Etkileri 27
(Yazan: Neslihan GÜRBÜZ)
4. Lavha Kapaklar33
(Yazan: Tamer BAĞATUR)
5. Sondaj Kuyularındaki Basıncsız Permeabilite Deneylerinin Değerlendirilmesi51
(Yazan: Nuri KORKMAZ)
6. Çimento Enjeksiyonlarının Basınç Mukavemeti ve Akma Süresine Uçucu Kül Bentonit Ve Silis Dumanının Etkileri61
(Yazanlar: A. Şahin ZAIMOĞLU, ÖZCAN TAN)

SARIMSAKLI AKARSUYUNA OLAN BESLENİM MİKTARININ AKIM GÖZLEMLERİNDEN FAYDALANARAK HESAPLANMASI

Yazan: Nurettin KAYA*

ÖZET:

Bir akiferin su bilançosunun hesaplanmasında; akiferi boşaltan sistemin değerleri ölçülebiliyorsa baz akımı analiz yöntemi, eğer ölçülemiyorsa kuyu rasatlarından faydalanma yöntemi, bunların hiç biri yoksa akiferin farklı lokasyonlarında açılacak kuyularda yapılacak pompa tecrübeleriyle iletimliliğinin hesaplanması, eş su seviye eğrilerinin çizilmesi ve hidrolik eğimin belirlenmesi yöntemleri kullanılır.

Bu yöntemlerin en somut ve güvenilir olanı baz akımı analizidir. Bu yöntemin kullanılması için akiferlerin boşalım katsayısı (α) çok önemlidir. Akiferler, boşalım katsayılarına göre kısa, orta ve uzun devreli yağışların etkisi altında çalışırlar. Kısa devreli yıllık yağışların etkisi altında kalan akiferlerde dinamik rezerv bir-iki yılda biter, yada dolar. Bu tip akiferlerde yıllık yağışlar ile baz akımları çok yüksek ilişkili olup, akiferin beslenme katsayısı sağlıklı bir şekilde hesaplanabilir. Uzun devreli yağışların etkisi altında kalan akiferlerde boşalım katsayısından hareket ederek en düşük ve en yüksek debilerle baz akım miktarları hesaplanır.

Buna en uygun olan ve bugüne kadar yeraltısuyu potansiyeli sıhhatli olarak belirlenemeyen Kayseri-Sarımsaklı ovasının bilançosunun akım gözlem istasyonundan (AGİ) alınan ölçüm değerlerinden faydalanarak belirlenmesi örnek olarak verilmiştir.

GİRİŞ

İnceleme alanı Orta Anadolu'nun Kızılırmak havzasında yer alır. $39^{\circ} 00'$ ve $39^{\circ} 30'$ enlem daireleri ile [Ayasofya başlangıcına göre] $35^{\circ} 00'$ ve $35^{\circ} 45'$ boylam daireleri arasında bulunmaktadır. Drenaj alanı 2325,2 km^2 , ova alanı 355 km^2 'dir.

Sarımsaklı ovası; Kayseri ili merkez olmak üzere kuzey -doğuda Sarımsaklı köyünden başlar, güney-batıda İncesu ilçe merkezinin 2 km. kuzeyine kadar ortalama 10 km. genişliğinde ve 35 km. uzunluğunda kuzeydoğu-güneybatı yönünde uzanır. Ovayı çevreleyen yükseltiler ; Gülle Tepe (1414 m.), Hıdırilyas Tepe (1482 m.), Hacımehmet Tepe (1217 m.), Karadağ, Sakız tepe (1470 m.) ve Seksenevren Dağı, Sivri Tepe (1420 m.),

*DSİ Genel Müdürlüğü, Jeotk.Hizm.ve YAS.Dai.Bşk.Yrd. - ANKARA

Karacuma Tepe (1275 m.) Bozdağ (1360 m.), Yılanlı Dağı, Eskişehirin Dağı, Ali Dağı (1870 m.) ;Tilki tepe, Saylar Tepe ve Çatal Tepelerdir.

İnceleme alanı doğusunda, Paleozoyik yaşlı ve muhtemelen Eosende havzaya gelmiş olan, kireçtaşı ve şistler görülür. Salkuma ve Pınarbaşı kaynakları bu birimin sularını kısmen boşaltır. Bünyan doğusunda dar bir alanda Eosen yaşlı filiş serileri görülür. Filiş üzerini diskordans ile konglomera, kumtaşı, kıltaşı, marn, kireçtaşı ardalanmasından oluşan yer yer jips içeren Oligo-Miyosen yaşlı birimler örter. Havza kuzey doğusunda bazalt, andezit, tüf ve aglomeralar bulunmaktadır. Bunların üzerine diskordan olarak, volkanik ara katkılı Neojen yaşlı çakıl, kum, kil ile kıltaşı, marn, kumtaşı, kireçtaşı gelir. Ova çevresinde bu birim geniş alanlar kaplar. Kuaterner yaşlı alüvyon, birikinti konileri, yamaç molozları (Şekil:1) düzlükleri oluşturur.

Sarımsaklı ovası muhtemelen Miyosen sonundaki genç tektonik hareketlere bağlı olarak faylarla çökmüş, çöken kısımlar Neojen ve Kuaterner yaşlı formasyonlarla dolmuştur.

İnceleme alanında başlıca akarsu Sarımsaklı Suyu (Ambar Suyu)'dur. Karasazlık Bataklığı tarafından da Vanvanlı Suyu bataklığa boşaldıktan sonra Sarımsaklı Suyu ile birleşmektedir.

Kaynaklar, genellikle formasyon kırıklarından ve yeraltısuyu tablasının topoğrafyayı kesmesiyle meydana gelmiştir.

Sarımsaklı ovasında Erkilet-Yılanlı Dağ hattına kadar serbest akifer mevcuttur. Karasazlık bataklık sahası ve Ambarköy çevresinde yüzeyden itibaren değişik kalınlıktaki killerin varlığı yeraltısuyunu birikmiş duruma sokmuştur. Bu sahalarda açılan sondaj kuyularının bir kısmı artezyen yapmıştır.

Ovada beslenme alanları; birikinti konileri Neojen yaşlı detritik birimler ve alüvyonların kum ve çakılları ile tuf, bazalt ve aglomeralardır. Yağışlar bunlardan süzülerek akifere intikal eder. Ovada beslenme, yağış, yüzeysel akış ve yeraltından içe akış ile olmaktadır. Boşalım; kaynaklar, buharlaşma ve terleme, kuyularla çekim ve Sarımsaklı Suyu ile olmaktadır.

Yeraltısuyu kalitesi genellikle iyi olup C_3S_1 ve C_2S_1 sulama suyu sınıfındadır. Sadece Karasazlık bataklığı çevresinde yeraltısuyu kalitesinin kötü oluşu: fayların ova çevresinde mostra vermeyen fakat ova alanında yer alan Oligo-Miyosen yaşlı formasyonların içerdiği kötü kaliteli suları kaynaklar halinde fay hattı boyunca yüzeye çıkarması ve bazan bu suların akiferler içerisine yayılmasından ve Neojen sonu oluşmuş olan göl serisi içinde mevcut turbaların yeraltısuyu kalitesini bozmasından kaynaklanmaktadır. Kötü kaliteli bu suların EC değerleri 3,750-20,000 mikrohomo/cm arasında değişmektedir (Şimşek ve diğ. - 1969)

2 - BAZ AKIMI ANALİZ YÖNTEMLERİ

Bilindiği gibi hidrojeolojik inceleme yapılacak bir sahada önemli olan; ne miktar ve kalitedeki suyun nerede ve hangi derinlikte olduğunun belirlenmesidir. Bunun için artık tahmini veya çok özel şartlarda gerçekleştirilmiş deneyler sonucu elde edilen formüller yerine, bizzat akifer üzerindeki gözlemlere dayanan verilerin analizi ile elde edilen formüller en tutarlı ve güvenilir yoldur.

Gözleme dayanan değerler; yeraltı ve yerüstü sularının tek kaynağı olan yağışlar ile yeraltısularının gözlem kuyuları seviye ve yüzey sularına ait akım değerleridir.

Bu veriler, günümüzde çok teknik ve güvenilir olarak ölçümleri yapılan somut değerlerdir. Bunların güvenilirliğinden en az kuşku duyulan değerler olarak söz edilebilir. Elde edilen bu değerlerin doğru ve sistemli bir şekilde değerlendirilmesi çok önemlidir. Çünkü bu gözlemler ve değerlendirme yöntemleri sonucu belirlenir. Eğer akiferi boşaltan bir kaynak ise sonuç kolay bir şekilde çözülebilir. Eğer akifer belirli bir noktadan (kaynaktan) boşalmıyor ise ve akiferin çeşitli noktalarında gözlem kuyuları yoksa akiferin boşalım katsayısını (α) belirlemek adeta doğruluğu imkansız olan bir sorundur. Boşalım katsayısı (α) baz akımı analizlerinde akiferin tipini belirleyen çok önemli bir parametredir.

Akiferler, boşalım katsayılarına (α) [Korkmaz, 1989' a]' göre 4 tiptir: **1)** Bunlardan boşalım katsayısı (α) çok düşük olan akiferler ; son derece dengeli ve boşalım kotuna göre yeraltısuyu seviye değişimi, ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafiğinin her periyodu ile uygun olarak (uzun devreli yağışların etkisiyle) çalışan akiferlerdir (**1.Tip akifer**). Bu tip akiferlerde yağış ile yeraltı seviyesi ve baz akımı arasında yıllık yağışların kesinlikle bir ilişkisi söz konusu değildir. Bu gibi akiferlerde emniyetli verim beslenimin % **80 ve daha fazlası** olarak alınabilir. **2)** Boşalım katsayısı (α) orta derecede yüksek olan akiferler ; boşalım kotuna göre yeraltısuyu seviye değişimi, ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafiğinin yağışlı ve kurak devrelere göre ayrı ayrı ilişkili akiferlerdir (**2.Tip akifer**). Bu akiferlerde emniyetli verim beslenimin % **60-80'i** arasında değişir. **3)** Boşalım katsayısı (α) yüksek olan akiferlerde ; ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafiğinin hiçbir devresi ile ilişki yoktur. Bunlarda boşalım kotuna göre yeraltısuyu seviye değişimi, yıllık yağışların tesiri altında çalışan akiferlerdir (**3.Tip akifer**). Bu tip akiferlerde ise yağışlar ile yeraltı seviye ve baz akımları arasında bire bir ilişki vardır. Emniyetli rezervleri daima % **60'ın** altındadır. **4)** Boşalım katsayısı (α) çok yüksek olan akiferlerde aylık yağışların tesiri söz konusudur (**4.Tip akifer**). Bunlar son derece istikrarsız akiferlerdir.

Türkiye'deki akarsuların baz akımları hesaplanırken akifer alanları ihmal edilebilecek kadar küçük (Doğu Karadeniz akarsuları gibi) olan akarsular ile boşalım katsayısı yüksek olan (Küçük Menderes Havzası gibi) akiferlerde yıllık yağışlar ile akımlar arasında kuvvetli ilişkiler hesaplanır. Bunun dışında İç ve Doğu Anadolu gibi havzalardaki akiferlerde uzun devreli yağışlar ile yeraltı su seviyesi ve baz akımları arasında ilişki söz konusudur.

Maillet (1905) yönteminde aylık ortalama debileri (m^3/sn) ölçülen bir kaynak veya akarsuyun zamana bağlı grafiği aritmetik veya logaritmik eksen sistemine göre çizilir. Bu grafikte en kurak ayın debisi ki, genellikle eylül ayı olarak alınır (m^3/sn), $hm^3/yıl$ olarak hesaplanırsa bir yıllık baz (yeraltısuyu) akımı olarak kabul edilebilir. Bu hesaplama tarzı son derece emniyetli bir yoldur. Halbuki yağışların fazlalığına göre akifere fazla süzülmeden dolayı baz akımının çoğalacağı bir gerçektir. Genellikle ekim-nisan ayları arasında bu baz akımı beslenime bağlı olarak sürekli artar. Çizilmiş olan bu grafikte en düşük ay belirlendikten sonra en yüksek ay noktası belirlenir. Uzun devreli yağışların etkisi altında kalan akiferlerde en güvenilir yöntem boşalım katsayısını kullanmaktır. Bu yöntemde akiferin boşalım katsayısını yüzeysel akımlardan hesaplamak imkansızdır. Çünkü taşkınların fazla olması bu işi güçleştirir. Bu gibi durumlarda akiferin çeşitli noktalarında açılan gözlem kuyularından, akiferin boşalım katsayısını hesaplamak, çözüme büyük katkılar sağlayacaktır.

Bilindiği gibi; basınçlı ve serbest akiferlerin laminer akım şartlarında yeraltısuyu boşalım eğrisi aşağıdaki üstel fonksiyonla (Maillet,1905) (1) ifade edilmektedir.

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t} \quad (1)$$

Burada;

Q_0 : Boşalım eğrisi başlangıcında (t_0) debisi (m^3/sn)

Q_t : t_0 anından (t) zaman sonraki debisi (m^3/sn)

α : Boşalım katsayısı ($gün^{-1}$)

t: Q_0 ile Q_t arasındaki geçen süre (gün)
eşitliğin her iki tarafının logaritması alınırsa aşağıdaki (2) ifadesi elde edilir.

$$\log Q_t = \log Q_0 - 0.4343 \alpha t \quad (2)$$

Bu (2) eşitliğinde aranılan değer "boşalım eğrisi başlangıcındaki" Q_0 olduğundan eşitlik;

$$\log Q_0 = \log Q_t + 0.4343 \alpha t \quad (3)$$

şeklini alır.

Log Q_t yerine "Eylül ayı" debileri, **t** yerine eylül ayından önceki en yüksek değer olan ay seçilir, Eylül ayı ile seçilen bu ay arasındaki zaman gün cinsinden hesaplanır ve (3) eşitliğinde yerine konursa, boşalım eğrisi başlangıcındaki (Q_0) değeri hesaplanır. Bulunan bu (Q_0) değeri ile ölçülmüş olan (Q_t) değerleri bir doğru ile birleştirilir, bu doğruların altında kalan alan baz akımı olarak hesaplanır.

3 - REZERV DEĞİŞİMİNİN HESAPLANMASI

Baz akımı debisi ile akiferin dinamik rezervi arasındaki ilişki aşağıdaki (4) eşitliği gibidir;

$$V = 86400 \times Q / \alpha \quad (4)$$

Burada;

V: Akiferin dinamik rezervi (boşalım seviyesi üstündeki su hacmi), hm^3

Q: Baz akım debisi, (m^3/sn)

α : Boşalım katsayısı ($gün^{-1}$)

Herhangi bir andaki baz akımı debisine (**Q**) karşılık gelen dinamik rezerv (4) eşitliğinden hesaplanır.

Verilen herhangi bir Δt periyodu için ($\Delta t = t_0 - t_m$), bu periyodun sonundaki (t_m), dinamik rezerv (**V_m**)

$$V_m = V_0 + R - Q \quad (5)$$

eşitliğinden hesaplanır.

Burada;

V_m: Δt periyodu sonundaki dinamik rezerv, hm^3

V₀: Δt periyodu başlangıcındaki dinamik rezerv, hm^3

R: Δt periyodu boyunca yeraltısuyu beslenme miktarı, hm^3

Q: Δt periyodu boyunca yeraltısuyu boşalım miktarı, hm^3

Herhangi bir akiferin bir yıl içindeki boşalım miktarı (**baz akımı**) yukarıda belirtilen yöntemle hesaplanır. Gözönüne alınan bir su yılının başındaki (t_0) ve sonundaki (t_m) dinamik rezervler (**V₀**, **V_m**) arasındaki fark, dinamik rezerv değişimidir (ΔV). Bir su yılındaki yeraltısuyu beslenimi aşağıdaki (6) formülünden faydalanılarak hesaplanır [Castany, 1969].

$$R = Q \pm \Delta V \quad (6)$$

Burada;

R: Yeraltısuyu beslenme miktarı, (hm³/yıl)

Q: Yeraltısuyu boşalım miktarı, (hm³/yıl)

ΔV: Yeraltısuyu dinamik rezerv değişimi, (hm³/yıl)dır.

4 – AKIŞ KATSAYISINDAN FAYDALANARAK ÖLÇÜLEMİYEN AKIMLARIN HESAPLANMASI

Bilindiği gibi yağışın bir kısmı akarsu yatağına düşer (**kanal yağışı**) ve bir kısmı da yeryüzü çukurluklarında toplanır. Bitkiler ve binalar tarafından tutulanlar ile çukurlarda toplanan suyun bir kısmı buharlaşarak atmosfere döner. Çukurlarda toplanan suyun bir kısmı ile yeryüzüne düşen yağışın bir kısmı süzülür. Geriye kalan ise akışa geçerek (**yüzeysel akım**) akarsuya boşalır. Bu akış; ya belirli bir yatağa bağlı olarak veya zemini adeta bir örtü gibi kaplamak suretiyle meydana gelir. Süzölmüş olan su önce üst zon tarafından tutulur. Bu zonun nem ihtiyacı karşılandıktan sonra yeraltısuyunun beslenme imkanı ortaya çıkar. Ancak süzölmüş olan suyun tamamı yeraltısuyuna ulaşmaz. Bir kısmı yeraltında su tablasının üstündeki geçirimsiz seviyeler nedeniyle yeraltısuyuna karışmadan akarsuya boşalır (**yeraltı akışı**), süzölmüş olan suyun arta kalanı ise su tablasına katılır.

Üst seviyelerden süzülerek akifere erişen sular baz akımı oluşturur. Bütün bu evrelerden sonra havzanın boşalım noktasındaki akımlar toplam akım olarak ölçülür. Akış katsayısı aşağıdaki (7) eşitliğine göre hesaplanır [Nazik,1980].

$$R_c = R / V \quad (7)$$

Burada;

R_c : Yüzeysel akış katsayısı , (%)

R : Ortalama akım, (hm³/yıl)

V : Drenaj alanına düşen ortalama yıllık yağış, (hm³/yıl)

Buradaki (**V**) aşağıdaki (8) eşitliğiyle hesaplanır.

$$V = P \times A \quad (8)$$

Burada;

V: Drenaj alanına düşen toplam yıllık yağış, (hm³/yıl)

P: Drenaj alanına düşen toplam yıllık yağış, (m/yıl)

A: Drenaj alanı, (km²)

ifade etmektedir.

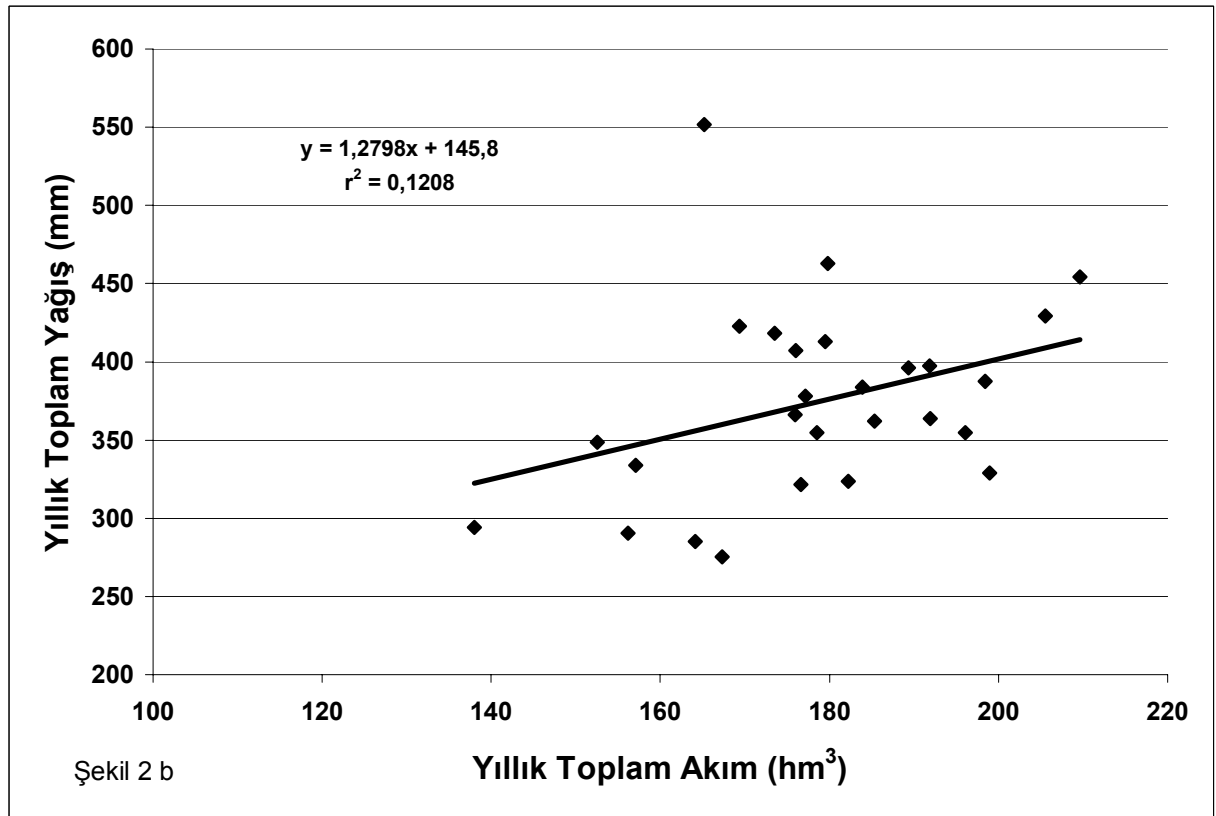
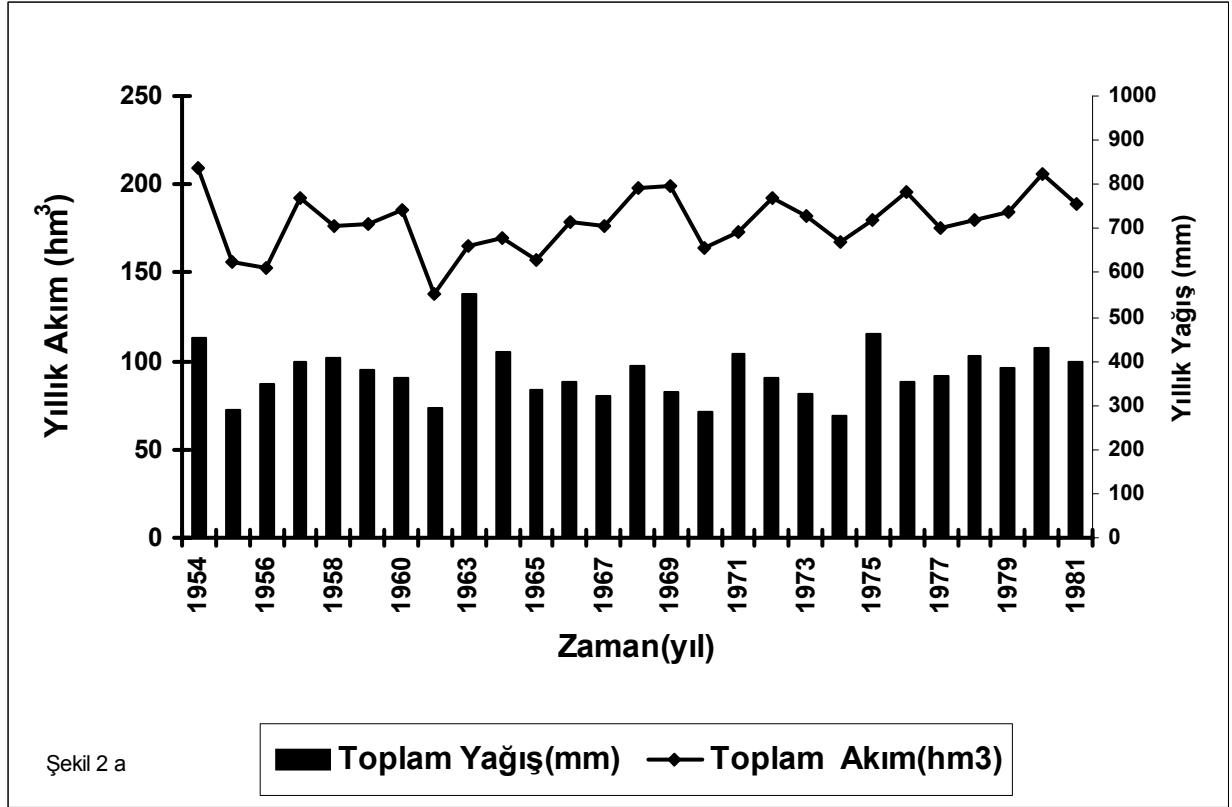
Hesaplanan bu akış katsayısı (**R_c**) ile yıllık havza yağışları çarpılırsa ölçülemeyen toplam boşalım da belirlenebilir. Ayrıca hesaplanan baz akımları ortalamasının ortalama toplam akıma bölünmesiyle elde edilen % miktarı ile de ölçülemeyen eksik baz akımları da hesaplanabilir.

5 – SARIMSAKLI SUYUNUN BESLENİM MİKTARININ BELİRLENMESİ

5 . 1 - Baz Akımının Hesaplanması

Havzanın tüm sularını bir dip savak gibi boşaltan Sarımsaklı Suyu'nun ovayı terkettiği Kayseri'ye 17 km mesafedeki Ankara-Kayseri-Niğde karayolları kavşağındaki Boğazköprü' de EİE-1523 numaralı akım gözlem istasyonu (AGİ) 1954-1981 yılları arasında çalışmıştır. Bu istasyonun 2325.2 km²'lik bir drenaj alanı mevcuttur. Sarımsaklı Suyu Bünyan ilçesi yakınlarındaki Paleozoyik kalkerlerden Pınarbaşı Kaynağı adı ile oluşur ve Sarımsaklı köyü yakınında ovaya dahil olur. Akarsu, Kayseri yakınlarına kadar kuzey-doğu , güney-batı yönünde akar ve buradan batıya yönelerek, Karasazlık bataklığını drene eden kanaldan gelen su ile birleşerek ovayı terkeder. Bütün bu suların ovayı terkettiği bu noktanın mansabında EİE-1523.Boğazköy AGİ kurulmuştur (Şekil:1). Bu istasyondan boşalan su hem yüzeysel, hem de yeraltısuyu (**baz akımını**) temsil etmektedir. Ova içinde kurulan AGİ' ler bir dip savak gibi çalışmadığından bunlara ait baz akım analizleri sağlıklı bir sonuç vermezler. Ancak yapılan bir hesaplama göre; EİE-1523.Boğazköy AGİ' den olan boşalımın % 55'i Sarımsaklı Ovası tarafından, % 45'i Karasazlık bataklığı tarafından olmaktadır.[Şimşek ve diğ., 1969]

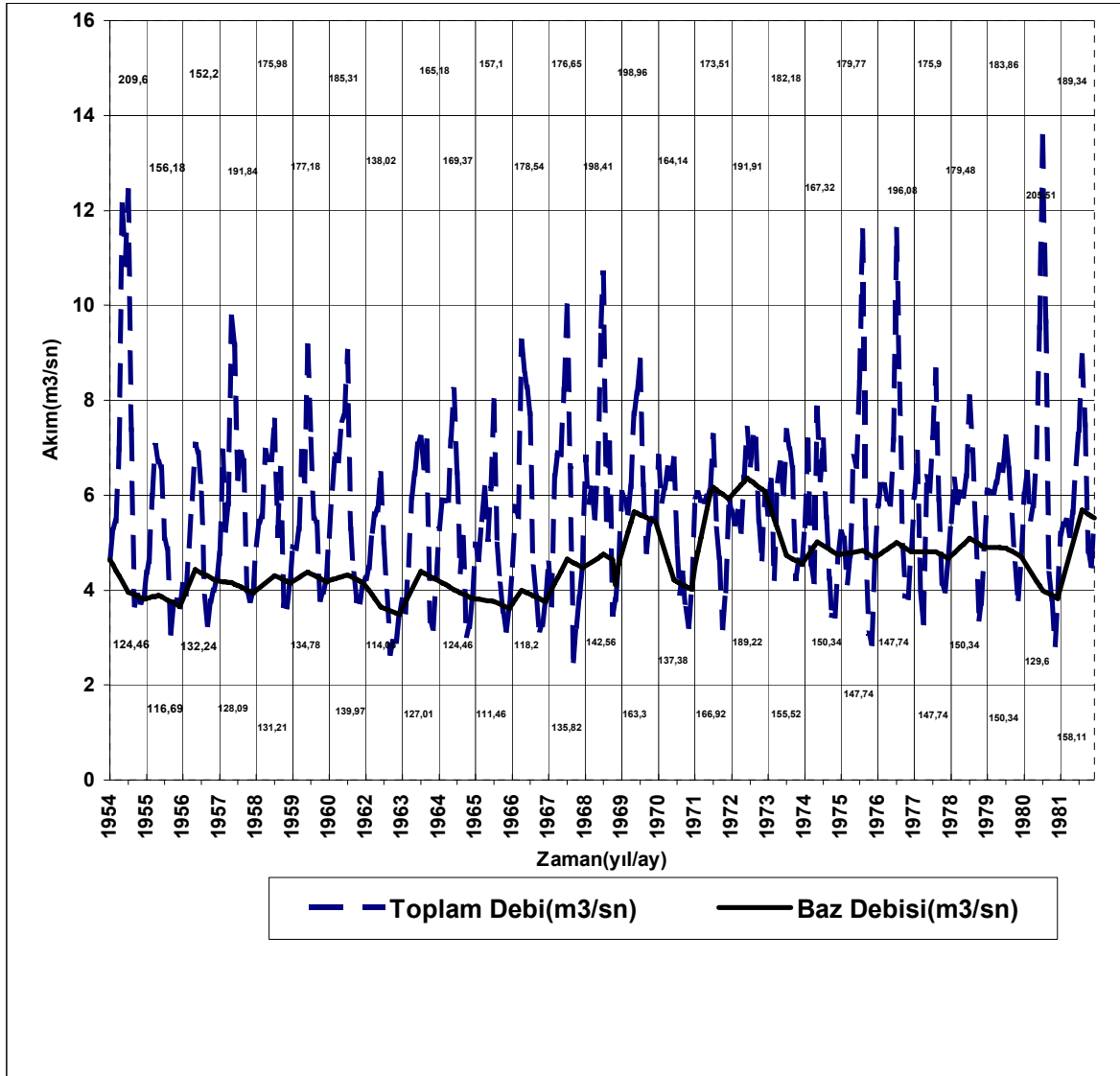
EİE-1523 Boğazköy istasyonundan alınan bu ölçümlerin, ortalama akım değerleri Tablo:1'de verilmiştir. 27 yıllık ortalamalara göre en yüksek akım 8,08 m³/sn ile nisan ayına, en düşük akım da 4,04 m³/sn ile ağustos ayına aittir. Havzayı temsil eden Kayseri meteoroloji istasyonuna ait aylık ve yıllık toplam yağışlar da Tablo 2'de verilmiştir.Bu tabloda görüldüğü gibi en yüksek yağış 58.09 mm ile nisan ayına, en düşük yağışın da 5,12 mm ile ağustos ayına aittir. Bu 27 yıllık sürede ortalama aylık akımlarla, ortalama aylık yağışlar arasında bir paralellik söz konusu olmasına rağmen, yıllık toplam akımlarla yıllık toplam yağışlar arasında bir paralellik görülmemektedir (Şekil:2).



Şekil 2: Sarımsaklı Ovasına Ait Yıllık Akım ve Yıllık Yağış Arasındaki İlişki Grafikleri

Bunun sebebi de Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarındaki yağışların ne akışa, ne de süzölmeye etkisinin olmamasıdır. Bu aylarda bile ortalama boşalımın $4 \text{ m}^3/\text{s}$ 'nin altına düşmemesinin nedenleri akiferin 1.tip bir akifer olması ve Erciyes dağındaki karların yeraltısını uzun süre beslemesidir.

Ortalama akım değerlerine göre su çekimlerinin etkisi temmuz ve ağustos aylarıdır ki, etki eylül ayından kaybolmaya başlamış ve en az yeraltısını boşalımını gerçekleştirmiştir (Şekil:3).



Şekil 3: ElE.1523 nolu AGİ'na Ait Baz Akım Analiz Grafiği

Bu eylül ayı akım değerleri net yeraltısını boşalımını şeklinde alınarak, o yıl için en yüksek boşalım ayı da (3) eşitliğine göre hesaplanmıştır. Örnek; 1954 yılının eylül

ayında debi $3,81 \text{ m}^3/\text{sn}$,en yüksek ay olan nisan ayındaki debi ise $12,41 \text{ m}^3/\text{sn}$ olarak ölçülmüştür (Tablo: 1).

YılAy	A K I M (m ³ /sn)												Baz Akım (hm ³ /yıl)
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1954	4,64	5,31	5,45	6,96	12,1	10,85	12,41	7,38	3,68	3,89	3,75	3,81	124,46
1955	4,37	4,6	5,99	7,04	6,69	6,59	5,08	4,87	3,09	3,73	3,78	3,66	116,69
1956	4,11	3,92	4,92	5,92	7,07	6,9	6,04	3,87	3,27	3,76	3,99	4,2	132,24
1957	4,77	6,93	5,26	5,81	9,74	9,18	6,34	6,9	6,72	3,98	3,77	3,94	128,09
1958	4,95	5,44	5,55	6,94	6,74	6,75	7,57	5,16	6,55	3,68	3,64	4,15	131,21
1959	4,92	4,87	5,28	6,92	6,29	9,14	7,17	5,51	5,43	3,8	3,95	4,18	134,78
1960	5,13	6,14	6,85	6,72	7,59	7,67	9,02	5,28	4,34	3,79	3,75	4,16	139,97
1962	4,233	4,478	5,238	5,591	5,69	6,445	4,979	3,962	2,656	2,907	2,92	3,489	114,05
1963	3,786	3,545	4,526	5,947	6,46	7,075	7,21	6,56	7,135	3,349	3,196	4,225	127,01
1964	5,291	5,888	5,881	5,891	7,18	8,214	6,47	4,376	5,103	3,039	3,227	3,828	124,46
1965	4,967	4,636	5,483	6,153	5,06	6,122	7,983	4,959	4,121	3,543	3,156	3,617	111,46
1966	4,527	5,754	5,538	9,247	8,56	8,265	7,716	4,491	3,876	3,163	3,267	3,763	118,2
1967	4,56	3,684	6,392	6,894	6,85	8,222	9,978	6,622	2,506	3,237	3,865	4,476	135,82
1968	6,795	5,84	6,137	5,518	6,47	9,549	10,68	5,474	7,089	3,492	3,797	4,567	142,56
1969	6,054	5,921	5,621	6,179	7,72	8,15	8,843	6,219	4,802	5,406	5,491	5,435	163,3
1970	6,809	5,867	6,153	6,562	6,34	6,754	4,904	3,926	4,352	3,606	3,226	4,019	137,28
1971	5,972	6,042	5,892	5,865	5,96	6,084	7,254	5,287	4,67	3,209	3,975	5,924	166,92
1972	5,656	5,388	5,653	5,23	6,38	7,402	6,63	7,213	7,171	5,435	4,649	6,074	189,22
1973	5,597	6,313	4,243	6,298	6,67	6,024	7,351	6,979	6,58	4,246	4,612	4,551	155,52
1974	5,348	7,161	4,536	4,176	7,84	6,323	7,162	5,528	4,243	3,473	3,45	4,745	150,34
1975	5,225	5,096	4,146	4,727	6,81	6,603	8,409	11,57	5,301	3,092	2,873	4,68	147,74
1976	5,759	6,217	6,219	5,902	5,81	7,163	11,59	8,336	4,934	3,887	3,839	4,813	147,74
1977	5,988	6,904	3,912	3,303	6,39	6,086	7,218	8,633	5,892	4,124	3,978	4,666	147,74
1978	5,442	6,334	5,842	6,046	5,98	6,393	8,071	6,955	5,313	3,389	3,72	4,897	150,34
1979	6,104	6,072	6,031	6,272	6,61	6,533	7,23	6,553	5,575	4,551	3,813	4,702	150,34
1980	6,006	6,479	5,493	5,773	6,8	9,519	13,55	9,648	4,337	3,798	2,844	3,827	129,6
1981	5,179	5,388	5,457	5,139	5,63	6,658	7,373	8,935	7,489	4,803	4,505	5,513	158,11
Ortlm.	5,64	5,97	5,91	6,07	7,02	7,54	8,08	6,53	5,27	4,05	4,04	4,77	139,82

Tablo 1: Sarımsaklı Suyunun Aylık Ortalama Akım Değerleri

Nisan-Eylül arası (t) 5 ay yani 150 gündür. Ayrıca kuyu gözlemlerinden faydalanarak (Şekil :1'deki 819, 826, 7776 ve 8013 numaralı rasat kuyularından) akiferin boşalım katsayısı (α) da 0,000258 gün⁻¹ olarak hesaplanmıştır [Kaya,1997]

$Q_0 = 3,96 \text{ m}^3/\text{sn}$ (nisan ayı debisi) bulunur

Bu iki değer Q_0 Q_t bir doğru ile birleştirilir ve altındaki alandan baz akımı hesaplanır. Hesaplanmış bu değerler Şekil:3 üzerinde gösterilmiştir. 1954-1981 yılları arasındaki 27 yıllık değerlerin ortalaması alındığında

Buna göre;

$$\alpha = 0,000258 \text{ gün}^{-1}$$

$$Q_t = 3,81 \text{ m}^3/\text{sn} \text{ (eylül ayı debisi)}$$

$$t = 5 \text{ ay (150 gün)}$$

$$Q_0 = \text{(nisan ayı debisi)}$$

$\text{Log } Q_0 = \text{Log } 3,81 + 0,4343 \times 150 \times 0,000258$ yeraltısuyu (baz akımı) akımı **139.82 hm³/yıl** olarak bulunur.

5.2- Akış Katsayısının Hesaplanması

EİE-1523.Boğazköprü AGİ'en alınan aylık ve yıllık toplam akımlar (hm³) Tablo :3'de verilmiştir.

YılAy	Y A Ğ I Ş (mm)												Toplam Yağış (mm)
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1954	16,8	86,9	22,7	76,5	54,1	56,4	53,8	22,7	47,3	5,6	11,4	0,1	454,3
1955	1,2	6,1	87	9,7	27,5	32,9	51,6	38,4	0,2	14,6	1,7	19,7	290,6
1956	11,6	36,4	32,6	28,7	95,8	38	16,4	73,1	7,7	5,6	1	1,8	348,7
1957	9,1	22,7	54,5	20,6	45,8	24,9	41	55	107,4	3,8	4,9	7,6	397,3
1958	21,2	17,4	29,9	29,4	14,8	47,6	100,4	56,2	81,1	2,7	4	2,4	407,1
1959	4,4	16	42,6	61,5	34,8	24,2	62,5	44,2	35,5	27,7	12,9	12	378,3
1960	15,5	26,4	14,4	37,9	45,8	26,6	102,3	21	47,3	0,7	1,2	23	362,1
1962	6,3	31	67,1	16,5	74,8	16,6	48,6	27	1,4	0	1	3,8	294,1
1963	27,2	16,1	59,2	65	47,2	71	65,7	73,5	49,4	38,7	0,2	38,5	551,7
1964	37,4	21,9	27,2	12,7	44,6	66,2	19,3	65,6	97,3	0	4,5	26,2	422,9
1965	0,4	9,7	51,7	21,1	53,8	35,1	62,9	46	46,3	0,1	0,4	6,5	334
1966	37	65,9	37,7	52,2	6,6	25,6	34,3	37,7	25	5,2	0,8	26,8	354,8
1967	9,1	12,3	69	40,3	25,5	64,3	42,3	28,4	27,9	0	0	2,3	321,4
1968	23,7	45,7	38,3	46,8	18,7	47,6	8	48,1	42	1,2	19,2	48,1	387,4
1969	18,9	27,1	21,5	31,3	70,7	22,9	68,6	25,1	37,5	1,9	2,8	0,7	329
1970	10,2	28,8	51	31	28,1	48,7	8,4	19,5	24	8,8	7,5	19	285
1971	52,1	26,5	29,3	18,6	29,2	33	99,1	48,6	48,5	10,6	13,7	9,2	418,4
1972	5,1	28,4	66,7	12,7	20,4	9,4	59,5	48,4	83,4	4,7	0,8	24,3	363,8
1973	27,2	22,3	4	14,6	17,2	52,1	73,7	36,2	64,6	4,5	0	7,3	323,7
1974	11,3	25,7	40,5	28	19,2	43,4	49,3	12,9	34,6	0	3,1	7,2	275,2
1975	14,8	23,9	31,7	23	36,3	40,4	133,2	58,5	73	6	21,9	0	462,7
1976	2,6	28,8	57,7	47,1	30,3	15,3	57,2	48,9	10,7	9,5	22,6	23,9	354,6
1977	42	17,3	28,2	25,2	12,6	68,2	75	58	23,3	3	0	13,3	366,1
1978	35,9	11,7	45,4	73,8	29,8	73,7	67,3	19,7	8	0,8	0	46,7	412,8
1979	13,3	3,8	33,9	52,5	41,7	33,7	82,2	64,9	37,1	14,4	0	6,2	383,7
1980	22	78,6	21,8	71,3	23	64,2	43	71,5	21,2	0,9	2,7	9,1	429,3
1981	16,2	49,7	36,9	23,5	28,2	38,8	42,9	94,6	40,5	20,2	0	4,8	396,3
Ortlm.	18,24	29,15	40,83	35,98	36,17	41,51	58,09	46,06	41,56	7,08	5,12	14,46	374,3

Tablo 2: Kayseri Meteoroloji İstasyonuna Ait Aylık ve Yıllık Toplam Yağış Değerleri

$P = 374.27 \text{ mm/yıl}$ veya 0.37427 m/yıl
 $A = 2325,2 \text{ Km}^2 = 2323,2 \times 10^6 \text{ m}^2$ (Drenaj alanı)
 Buna göre ;
 $V = 2325,2 \times 0,37427 = 870,25 \text{ hm}^3/\text{yıl}$
 elde edilir.

Bulunan bu değerler (7) eşitliğinde yerine konursa;

$R_c = 178.51/870,25 = \% 20.5$ (Akış katsayısı) elde edilir.

Bulunan bu akış katsayısından (R_c) faydalanarak, havzanın boşalmasını temsil eden EİE-1523.Boğazköprü AGİ'na ait eksik olan 1982 ve sonrası akış değerleri tamamlanabilir. Çünkü havzadaki akiferlerin yağışlar karşısındaki davranışı 27 yıl gibi uzun bir süre

için net olarak ortaya konulmuştur. Bilinen yağış değerlerinden faydalanarak bilinmeyen akış değerleri çok yüksek orandaki bir doğrulukla hesaplanabilir. Eğer akifer uzun yıllar ortalama yağışlar yerine kısa süreli yağışların etkisi altında kalsaydı aralarındaki yüksek ilişkiden dolayı hesaplanacak regresyon eşitliği ile bu eksik akımlar da tamamlanabilecekti. Kayseri meteoroloji istasyonuna ait 1982-2001 yılları arasındaki aylık ve yıllık toplam yağışlar Tablo:4'de verilmiştir.

Bu havzaya düşen ortalama yıllık yağışın $\% 20.5$ 'inin akışa geçebildiğini, geriye kalan büyük bir bölümünün buharlaşma-terleme, süzülme vb ile kaybolduğunu göstermektedir. Bir başka ifade ile drenaj alanına düşen her 100 mm yağışın 20.5 mm'i akışa geçebilmekte

Yıl\Ay	A K I M (hm ³)												Toplam Akım (hm ³)
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1954	12,43	13,76	14,6	18,64	29,3	29,06	32,17	19,77	9,54	10,42	10,04	9,88	209,6
1955	11,7	11,92	16,04	18,86	16,18	17,65	13,17	13,04	8,01	9,99	10,12	9,49	156,18
1956	11,01	10,16	13,18	15,86	17,71	18,48	15,66	10,37	8,48	10,07	10,69	10,89	152,54
1957	12,78	17,96	14,09	15,56	23,56	24,59	16,43	18,48	17,42	10,66	10,1	10,21	191,84
1958	13,26	14,1	14,87	18,59	16,31	18,08	19,62	13,82	16,98	9,86	9,75	10,76	175,98
1959	13,18	12,62	14,14	18,53	15,22	24,48	18,58	14,76	14,07	10,18	10,58	10,83	177,18
1960	13,74	15,91	18,35	18	19,02	20,54	23,38	14,14	11,25	10,15	10,04	10,78	185,31
1962	11,34	11,61	14,03	14,97	13,76	17,26	12,91	10,61	6,88	7,79	7,82	9,04	138,02
1963	10,14	9,19	12,12	15,93	15,62	18,95	18,69	17,57	18,49	8,97	8,56	10,95	165,18
1964	14,17	15,26	15,75	15,78	17,98	22	16,77	11,72	13,23	8,14	8,64	9,92	169,37
1965	13,3	12,02	14,69	16,48	12,24	16,4	20,69	13,28	10,68	9,49	8,45	9,38	157,1
1966	12,13	14,91	14,83	24,77	20,71	22,14	20	12,03	10,05	8,47	8,75	9,75	178,54
1967	12,21	9,55	17,12	18,46	16,56	22,02	25,86	17,74	6,5	8,67	10,35	11,6	176,65
1968	18,2	15,14	16,44	14,78	16,2	25,58	27,68	14,66	18,37	9,35	10,17	11,84	198,41
1969	16,22	15,35	15,06	16,55	18,67	21,83	22,92	16,66	12,45	14,48	14,71	14,09	198,96
1970	18,24	15,21	16,48	17,58	15,33	18,09	12,71	10,52	11,28	9,66	8,64	10,42	164,14
1971	16	15,66	15,78	15,71	14,41	16,3	18,8	14,16	12,1	8,59	10,65	15,36	173,51
1972	15,15	13,97	15,14	14,01	15,98	19,83	17,18	19,32	18,59	14,56	12,45	15,74	191,91
1973	14,99	16,36	11,36	16,87	16,14	16,13	19,05	18,69	17,06	11,37	12,35	11,8	182,18
1974	14,32	18,56	12,15	11,18	18,96	16,94	18,56	14,81	11	9,3	9,24	12,3	167,32
1975	13,99	13,21	11,1	12,66	16,48	17,69	21,8	30,99	13,74	8,28	7,7	12,13	179,77
1976	15,42	16,11	16,66	15,81	14,56	19,19	30,04	22,33	12,79	10,41	10,28	12,48	196,08
1977	16,04	17,9	10,48	8,85	15,45	16,3	18,71	23,12	15,27	11,05	10,65	12,09	175,9
1978	14,58	16,42	15,65	16,19	14,47	17,12	20,92	18,63	13,77	9,08	9,96	12,69	179,48
1979	16,35	15,74	16,15	16,8	15,99	17,5	18,74	17,55	14,45	12,19	10,21	12,19	183,86
1980	16,09	16,79	14,71	15,46	17,04	25,5	35,12	25,84	11,24	10,17	7,62	9,92	205,51
1981	13,87	13,97	14,62	13,76	13,62	17,83	19,11	23,93	19,41	12,86	12,07	14,29	189,34
Ortlm.	14,11	14,42	14,65	16,17	16,94	19,91	20,57	16,98	13,08	10,16	10,02	11,51	178,51

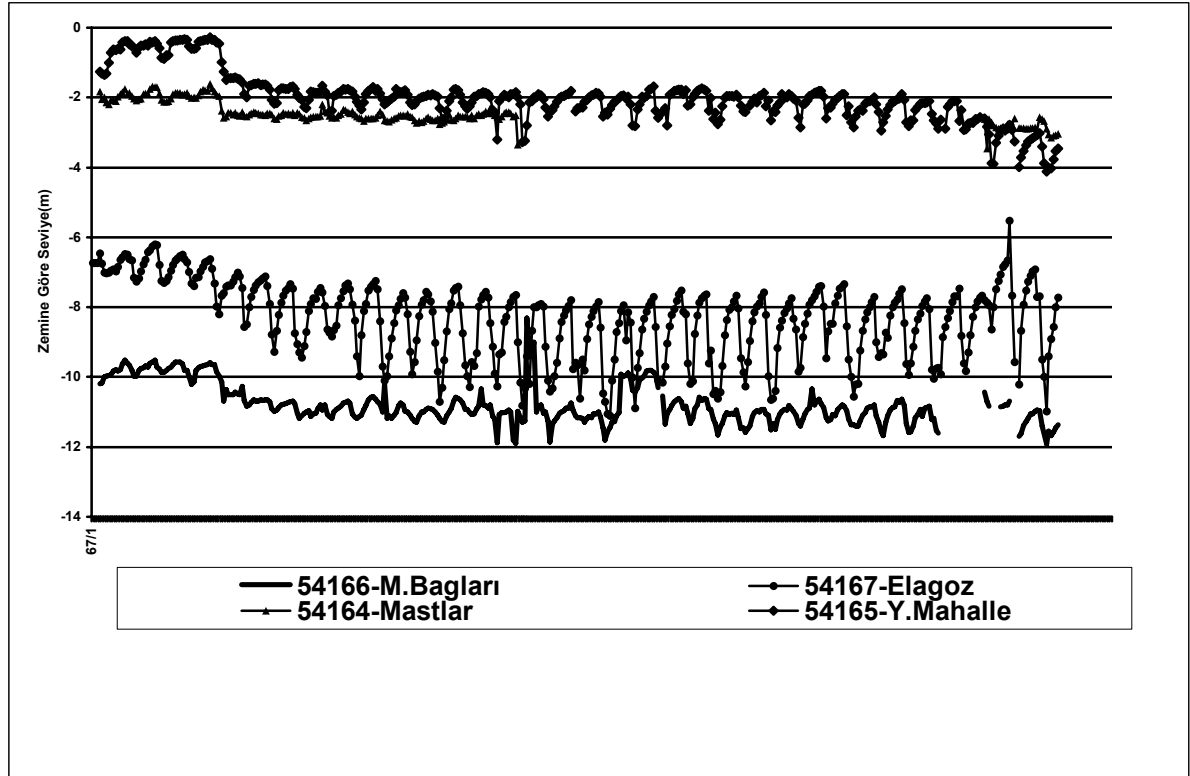
Tablo 3: Sarımsaklı Suyunun Aylık Akım ve Yıllık Toplam Akım Değerleri

ve havza çıkışında bu miktar akım ölçülebilmektedir. Buradan havzanın litolojik ve jeolojik yapısının, yağışları akifere süzdürdüğünü ve hiçbir zaman kurumayacak kadar kararlı bir şekilde suyu tuttuğu sonucu çıkartılabilir. Ayrıca 1954-1981 yılları arasında yıllık toplam akım ortalaması ve yıllık baz akımı ortalaması arasındaki oran (139,82/178,51) **%78.3** olarak hesaplanır. Bunun anlamı EİE-1523. Boğazköprü AGİ'den

olan toplam boşalmanın %78.3'ü yeraltısuyu boşalımıdır. 1982-2001 yılları arasındaki baz akımları da bu orana göre hesaplanarak sonuçlar Tablo :5'te verilmiştir

Yıl/Ay	Y A Ğ İ Ş (mm)												Toplam Yağış (mm)
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1982	22,9	38,1	41,9	23,3	15	39,1	57,4	27,3	17,5	20,7	19,5	7,7	330,4
1983	14,9	33,3	41,1	34,8	35,7	34,3	41,3	58,8	15,5	7,6	0,5	8,9	326,7
1984	91,6	60,3	14,9	24,3	25	16,7	85	25,3	12,3	18,1	5	0,6	379,1
1985	5,9	21	36,6	22,2	46	26,3	57	34,7	22,7	7,1	4,3	0	283,8
1986	72,2	24,7	38,8	36,5	54,8	8,8	42,1	93,8	54	0	0,3	10,1	436,1
1987	13,3	78,3	34,9	62,4	23,5	56,1	35,7	26,9	81,7	25,3	0,7	0	438,8
1988	84	76,8	58,9	21,5	36,2	57,9	30,9	76,5	164,7	50	0	0,9	658,3
1989	94,5	60,1	20,9	6,1	6,5	28,8	29,8	45,7	12,7	0,2	15,5	2,3	323,1
1990	27,7	75,3	30,8	23,3	23,1	26,1	79,7	115,2	32,1	46,3	0	17,2	496,8
1991	6,7	44,6	41	21	42,7	34,3	86,5	102,9	54,3	5	0	2,9	441,9
1992	46,1	41,3	88,8	29,7	41,5	20,1	28,8	60,2	40,6	22	6,2	11,5	436,8
1993	25,1	61,4	62,8	24,7	18,9	27,3	60,4	86,8	52,9	20,9	2,3	0,1	443,6
1994	1,7	37	31,1	32	27,3	16,5	19,8	29,6	2,3	0	6,9	4,8	209
1995	26,9	55,4	66,4	20,8	1,6	47,5	77,2	75,7	33,1	18,3	2,2	4,1	429,2
1996	39,6	59,8	14	11,4	38,2	88	34,4	49	10,8	0	20,2	42,6	408
1997	39,6	0	66,1	21,1	42	32,2	50,8	30	59,3	2,8	20,4	35,9	400,2
1998	46,5	6	71,5	42	48,3	34,5	52,8	100,2	69,4	7,5	4,3	0,7	483,7
1999	41,7	13,7	80,1	9,6	54,5	71,4	84,7	73,2	38,7	0,9	8,5	6	483
2000	20,6	15,7	19,5	55,3	33,3	54,6	49,3	87,7	25,5	3,7	3,7	4,7	373,6
2001	17,6	0,1	24,7	0,9	52,4	18,6	32,1	73,9	0,7	0,4	0,3	12,7	234,4
Ortlm.	37,0	40,2	44,2	26,2	33,3	37,0	51,8	63,7	40,0	12,8	6,0	8,7	400,8

Tablo 4: Kayseri Meteoroloji İstasyonuna Ait Aylık ve Yıllık Toplam Yağış değerler



Şekil 4: Sarımsaklı Ovası Yeraltı Su Seviye Grafikleri

5.3 - Rezerv Değişiminin Hesaplanması

Havzanın boşalmasını temsil eden EİE-1523.Boğazköprü AGİ'da ölçülen akım değerleri incelendiğinde, temmuz-ağustos aylarında az yağışa bağlı olarak artan su ihtiyacının karşılanması için yapılan müdahaleler sonucu azaldıkları gözlenmektedir. Aylık yağış eylül ayında da, süzülecek veya akışa geçecek kadar fazla olmadığına göre (Tablo:2 ve4) akım değerlerinde önemli ölçüde yükselmeler gözlenmektedir (Tablo

:3). Bu da havzadaki en az yeraltısuyunun eylül ayı debileri kadar olacağını göstergesidir. Eylül ayı debilerine göre (4) ve (5) eşitliğinden faydalanarak Tablo: 6'daki bilanço değerleri hesaplanmıştır

Buna göre EİE-1523.Boğazköprü AGİ'nin arkasındaki Sarımsaklı ve Karasazlık yönündeki akiferlerin bilanço hesaplamalarına göre

Beslenme 133,32 (hm³/yıl)	Boşalım 145,21 (hm³/yıl)
Dinamik rezerv değişimi - 11,89(hm³/yıl)dır.	

Buradan havza akiferlerinde yeraltısu miktarı yönünden bir problemin olmadığına karar verilebilir. Yeraltısu grafikleri incelendiğinde (Şekil: 4) seviyelerde mevsimlik oynamalardan

başka önemli bir sahasal düşümün olmadığı görülmektedir.Bunun böyle olmasındaki en büyük etkenin havzada 1985 yılından itibaren başlayan yağışlı devredir (Şekil:5).

5.4- Yeraltısu Potansiyelinin Hesaplanması

EİE-1523. Boğazköprü AGİ'nin arkasında kalan akiferlerdeki sular iki koldan akışa geçmektedir. Bir tanesi Sarımsaklı Suyu, diğeri de Karasazlık bataklığı tarafından gelen sulardır. Bunlardan Sarımsaklı Ovasına ait yeraltısu potansiyeli "kuyu rasatlarından faydalanarak" **79 hm³/yıl** olarak bulunmuştur [Kaya,1997]. Yapılan hesaplar sonucu ortalama yıllık boşalımın (yüzeysel+yeraltısu) 1954-2001 yılları arasında **183.85 hm³/yıl** olduğu belirlenmiştir. Aynı yıllar arasında ortalama baz (**yeraltısu**) akımının da **143.98 hm³/yıl** olduğu hesaplanmıştır. Bu baz akımının %0.54'ü Sarımsaklı tarafındaki akifere, geri kalan %45'i de Karasazlık bataklığı tarafındaki akifere karşılık geldiği hesaplanmıştır. Buradan kuyu rasatları ile yapılan beslenme hesabı ile baz akımı analizi

ile yapılan boşalım hesabının birbirini doğruladığı sonucu ortaya çıkmaktadır.

Bütün bunlardan sonra Sarımsaklı tarafındaki akiferle Karasazlık tarafındaki akiferlerin toplam yeraltısu potansiyelinin **144 hm³/yıl** olduğu sonucuna varılabileceği anlaşılmaktadır.

6 - EMNİYETLİ ÇEKİMİN BELİRLENMESİ

Bulunmuş olan yıllık baz akımları standart sapma analizine tabi tutulmuştur.(Tablo:7)

Burada yapılan işlem kısaca şu şekildedir . Hesaplanmış olan baz akım değerleri ilk sütüne yazılmış (ki n=47 yıllık) ve toplam 6.767,18 elde edilmiştir.Bunların ortalaması da 143,98 olarak hesaplanmıştır.Ayrıca her birinin kareleri alınarak ikinci sütüne yazılmış ve bunların toplamı da 1.010.756,10 elde edilmiştir. Buradan;

$$S = [(1.010.756,10 - (6.767,18)^2 / 47)] / (47-1) = 791,28$$

$$SS = \sqrt{s} = 28,13 \text{ (Standart Sapma)}$$

$$Cv = SS / 143,98 = 0,2 \text{ (Değişim yüzdesi)}$$

$$Uc = 143,98 + 28,13 = 172,11 \text{ (Üst Emniyet Sınırı)}$$

$$Lc = 143,98 - 28,13 = 115,85 \text{ (Alt Emniyet Sınırı)}$$

Bunları hesapladıktan sonra **Uc**(Üst Emniyet Sınırı)'dan büyük olan baz akım değerleri ile **Lc**(Alt Emniyet Sınırı)'dan küçük olan değerler yerine bu değerleri yazarak aynı işlemler bunlar için de tekrarlanır ve bulunan **Cv** (Değişim yüzdesi) 1'den çıkartıldığında bulunan değer ES (Emniyet sınırı) olarak

değerlendirilir.[Kutsal vd,1978'den ayrıntılı bilgi alınabilir.]

Buna göre Sarımsaklı ovasında emniyetli rezerv % **87** olarak alınabilir. Bu da **144 hm³/yıl**lık bir yeraltısuyunun **125.3 hm³/yıl**lık bir bölümünün emniyetli olarak çekilebileceği anlamına gelmektedir.

Su Yılı	Toplam Yağış (mm)	Yağış Alanı (km ²)	Yüz.Akş. KS(%)	Havza Yağışı (hm ³)	Olmaması Gereken Yıllık Toplam		Eylül Ayında Olması Gereken	
					Yüz. Akım (hm ³)	Baz Akım (hm ³)	Yüz. Akım (hm ³)	Baz Debisi (m ³ /sn)
1982	330,4	2325,2	0,205	768,25	157,49	123,32	7,95	3,07
1983	326,7	2325,2	0,205	759,64	155,73	121,93	7,86	3,03
1984	379,1	2325,2	0,205	881,48	180,7	141,49	9,13	3,52
1985	283,8	2325,2	0,205	659,89	135,28	105,92	6,83	2,64
1986	436,1	2325,2	0,205	1014,02	207,87	162,77	10,5	4,05
1987	438,8	2325,2	0,205	1020,3	209,16	163,77	10,56	4,08
1988	658,3	2325,2	0,205	1530,68	313,79	245,7	15,85	6,11
1989	323,1	2325,2	0,205	751,27	154,01	120,59	7,78	3
1990	496,8	2325,2	0,205	1155,16	236,81	185,42	11,96	4,61
1991	441,9	2325,2	0,205	1027,51	210,64	164,93	10,64	4,1
1992	436,8	2325,2	0,205	1015,65	208,21	163,03	10,52	4,06
1993	443,6	2325,2	0,205	1031,46	211,45	165,56	10,68	4,12
1994	209	2325,2	0,205	485,97	99,62	78	5,03	1,94
1995	429,2	2325,2	0,205	997,98	204,59	160,19	10,33	3,99
1996	408	2325,2	0,205	948,68	194,48	152,28	9,82	3,79
1997	400,2	2325,2	0,205	930,55	190,76	149,37	9,63	3,72
1998	483,7	2325,2	0,205	1124,7	230,56	180,53	11,64	4,49
1999	483	2325,2	0,205	1123,07	230,23	180,27	11,63	4,49
2000	373,6	2325,2	0,205	868,69	178,08	139,44	8,99	3,47
2001	234,4	2325,2	0,205	545,03	111,73	87,48	5,64	2,18
Ortim.	400,83			932	191,06	149,6	9,65	3,72

Tablo 5: Sarımsaklı Ovasında Ölçülemeyen Akım Değerlerinin Hesaplanmış Listesi

7 - SONUÇLAR

- Baz akım analiz yöntemlerinde de görüldüğü gibi yaklaşık sonuç bulmak için çok basit işlemlerin yanısıra bilimsel olarak yapılan hesaplamalar da söz konusudur. Her akifere aynı yöntemin uygulanamayacağı, akiferlerin tek düze olmadıklarından öncelikle akiferin davranışını belirlemek gerektiği önemle vurgulanmaya çalışılmıştır.

- Baz akımı analizlerinde en güvenilir yolun; boşalım katsayısından faydalanarak yapılan hesaplamalar olduğu, kuyu gözlemlerinden faydalanarak hesaplanan yeraltısuyu miktarı ile aynı olması ile kanıtlanmıştır.

- Boşalım katsayısı yüksek olan akiferler ile boşalım katsayısı belirlenemeyen büyük akarsu havzalarında baz akımı analizlerinin havzaya düşen yağışlarla karşılaştırılarak hesaplanmasının gerekliliği de ortaya çıkartılmıştır.

- Memleketimizde İç, Doğu ve Güneydoğu Bölgelerindeki akiferlerin büyük bir bölümünün boşalım katsayısı çok düşüktür. Bunun anlamı dinamik rezervlerinin büyük olması ve çok istikrarlı bir şekilde sularını vermeleridir. Örneğin Sarımsaklı akiferinde dinamik rezerv 10 yıl hiç yağmur yağmasa bile tükenmez. Kıyı ve dağlık alanlardaki akiferlerde ise yıllık yağışlardan etklenme söz konusudur. Bunun anlamı buralardaki akiferlerde ya dinamik rezerv yoktur, yada boşalım katsayıları çok yüksek olduğundan suyu tutma özellikleri düşüktür. Her yerde önemli olan ortalamalardan yüksek yağış miktarı bu itip akiferlerde çok daha önemlidir.

- Yıllık yağışlarla ilişki kurulamayan akımların yüzeysel akış katsayısından faydalanarak, havzanın ölçülemeyen akım değerleri yağışlara bağlı olarak çok güvenilir bir şekilde hesaplanmıştır.

- Kayseri-Sarımsaklı ovası için yapılan bilanço hesaplarında 1954-2000 yılları arasında beslenme 6132.83 hm^3 , boşalım 6679.70 hm^3 ve -546.87 hm^3 rezerv değişimi saptanmıştır. Ayrıca bu devre için ortalama olarak $133.32 \text{ hm}^3/\text{yıl}$ beslenme, 145.21

$\text{hm}^3/\text{yıl}$ lık boşalım, $-11.89 \text{ hm}^3/\text{yıl}$ lık bir rezerv değişimi belirlenmiştir. Bu değerlerden ortalama boşalım miktarı 1 yıl ilave ile (1954-2001 arasında) $143,98 \text{ hm}^3/\text{yıl}$ olarak hesaplanmıştır. Bunun $79 \text{ hm}^3/\text{yıl}$ lık bölümünün Sarımsaklıya, $65 \text{ hm}^3/\text{yıl}$ lık bölümünde Karasazlığa ait olduğu hesaplanmıştır.

- Yapılan hesap sonucu ovada, yeraltı suyu boşalımının % 87'i kadar emniyetli bir çekimin yapılabileceği belirlenmiştir. Havzada sürmekte olan yağışlı devreden dolayı bu çekim oranı daha da yükseltilebilir.

8- KAYNAKLAR

Korkmaz, N., "Akiferlerin Boşalım Katsayılarına Göre Gruplandırılması Üzerine Bir Araştırma "DSİ Teknik Bülteni ,Sayı:69, 1989, Ankara

Castany, G., "Çeviren: Karacadağ. K., Şeber, T.A., "Yeraltı suları Hakkında Pratik Uygulamalar". DSİ Gn. Yayın No: 638 , 1969, Ankara

Nazik, M., "Hidrojeolojik Etütlerde Hidrolojik Verileri Belirleme ve Değerlendirme Yöntemleri". DSİ.JTK.Hiz.ve YAS. Dai.Bşk.İğİ , 1980 , Ankara

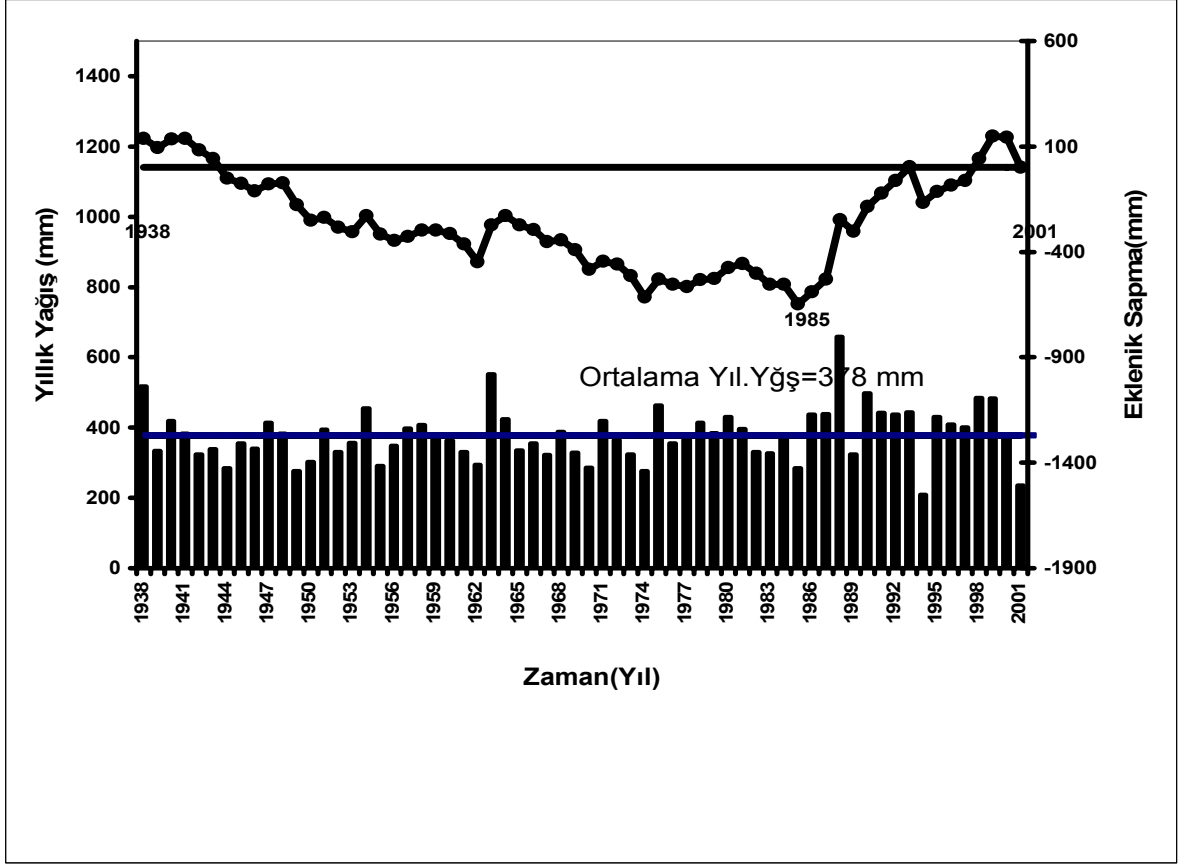
Şimşek,R., Bozkaya, Y., Türkman, M., Ergun, Y., "Kayseri Sarımsaklı Ovası Planlama Kademesindeki Hidrojeolojik Etüt Raporu".DSİ.JTK.Hiz.veYAS.Dai.Bşk.İğİ,1969, Ankara

Kaya, N., "Hidrojeolojik Etütlerde Kuyu Rasatlarından Faydalanarak Çekim Miktarının Belirlenmesi". DSİ Teknik Bülteni ,Sayı:89, 1997,Ankara

Kutsal , A., Muluk, Z., "Uygulamalı Temel İstatistik" H.Ü. Fen Fakültesi Yayınları Ders Kitaplar Dizisi : 8 , 1978, Ankara

Ortalama Boşalım Katsayısı=0,000258 gün ⁻¹							
Su Yılı	Eylül Ayı Debileri		Dinamik Rezerv		Din.Rez.	Boşalım Q (hm ³)	Beslenim R (hm ³)
	Qo (m ³ /sn)	Qm (m ³ /sn)	Vo (hm ³)	Vm (hm ³)	Değişmi V (hm ³)		
1954	3,81	3,66	1275,91	1225,67	-50,23	124,46	74,23
1955	3,66	4,2	1225,67	1406,51	180,84	116,69	297,53
1956	4,2	3,94	1406,51	1319,44	-87,07	132,24	45,17
1957	3,94	4,15	1319,44	1389,77	70,33	128,09	198,42
1958	4,15	4,18	1389,77	1399,81	10,05	131,21	141,26
1959	4,18	4,16	1399,81	1393,12	-6,7	134,78	128,08
1960	4,16	3,489	1393,12	1168,41	-224,71	139,97	-84,74
1962	3,489	4,225	1168,41	1414,88	246,47	114,05	360,52
1963	4,225	3,828	1414,88	1281,93	-132,95	127,01	-5,94
1964	3,828	3,617	1281,93	1211,27	-70,66	124,46	53,8
1965	3,617	3,763	1211,27	1260,17	48,89	111,46	160,35
1966	3,763	4,476	1260,17	1498,94	238,77	118,2	356,97
1967	4,476	4,567	1498,94	1529,41	30,47	135,82	166,29
1968	4,567	5,435	1529,41	1820,09	290,68	142,56	433,24
1969	5,435	4,019	1820,09	1345,9	-474,2	163,3	-310,9
1970	4,019	5,924	1345,9	1983,85	637,95	137,28	775,23
1971	5,924	6,074	1983,85	2034,08	50,23	166,92	217,15
1972	6,074	4,551	2034,08	1524,06	-510,03	189,22	-320,81
1973	4,551	4,745	1524,06	1589,02	64,97	155,52	220,49
1974	4,745	4,68	1589,02	1567,26	-21,77	150,34	128,57
1975	4,68	4,813	1567,26	1611,8	44,54	147,74	192,28
1976	4,813	4,666	1611,8	1562,57	-49,23	147,74	98,51
1977	4,666	4,897	1562,57	1639,93	77,36	147,74	225,1
1978	4,897	4,702	1639,93	1574,62	-65,3	150,34	85,04
1979	4,702	3,827	1574,62	1281,6	-293,02	150,34	-142,68
1980	3,827	5,513	1281,6	1846,21	564,61	129,6	694,21
1981	5,513	3,07	1846,21	1027,63	-818,59	158,11	-660,48
1982	3,07	3,03	1027,63	1016,12	-11,51	123,32	111,81
1983	3,03	3,52	1016,12	1179,09	162,98	121,93	284,91
1984	3,52	2,64	1179,09	882,69	-296,41	141,49	-154,92
1985	2,64	4,05	882,69	1356,38	473,69	105,92	579,61
1986	4,05	4,08	1356,38	1364,78	8,4	162,77	171,16
1987	4,08	6,11	1364,78	2047,47	682,7	163,77	846,47
1988	6,11	3	2047,47	1004,92	-1042,55	245,7	-796,86
1989	3	4,61	1004,92	1545,17	540,25	120,59	660,84
1990	4,61	4,1	1545,17	1374,42	-170,75	185,42	14,67
1991	4,1	4,06	1374,42	1358,56	-15,86	164,93	149,07
1992	4,06	4,12	1358,56	1379,7	21,15	163,03	184,18
1993	4,12	1,94	1379,7	650,04	-729,66	165,56	-564,1
1994	1,94	3,99	650,04	1334,92	684,88	78	762,88
1995	3,99	3,79	1334,92	1268,98	-65,94	160,19	94,25
1996	3,79	3,72	1268,98	1244,72	-24,26	152,28	128,02
1997	3,72	4,49	1244,72	1504,43	259,71	149,37	409,07
1998	4,49	4,49	1504,43	1502,25	-2,18	180,53	178,35
1999	4,49	3,47	1502,25	1161,99	-340,26	180,27	-159,99
2000	3,47	2,18	1161,99	729,04	-432,95	139,44	-293,51
				Toplam	-546,87	6679,7	6132,83
				Ortalm.	-11,89	145,21	133,32

Tablo 6: EİE-1523 Boğazköprü AGİ'na Ait Hidrograf Analizi



Şekil 5: Kayseri Meteoroloji İstasyonuna Ait Eklenik Sapma ve Yağışın Dağılımı Grafiği

Yıllar	Baz Akımı		Baz Akımı			
	(hm ³ /yıl)(Xi)	(Xi) ²	(hm ³ /yıl) (Xi)	(Xi) ²		
1954	124,46	15.490,29	124,46	15.490,29		
1955	116,69	13.616,56	116,69	13.616,56		
1956	132,24	17.487,42	132,24	17.487,42		
1957	128,09	16.407,05	128,09	16.407,05		
1958	131,21	17.216,06	131,21	17.216,06		
1959	134,78	18.165,65	134,78	18.165,65		
1960	139,97	19.591,60	139,97	19.591,60		
1962	114,05	13.007,40	115,85	13.421,22		
1963	127,01	16.131,54	127,01	16.131,54		
1964	124,46	15.490,29	124,46	15.490,29		
1965	111,46	12.423,33	115,85	13.421,22		
1966	118,2	13.971,24	118,2	13.971,24		
1967	135,82	18.447,07	135,82	18.447,07		
1968	142,56	20.323,35	142,56	20.323,35		
1969	163,3	26.666,89	163,3	26.666,89		
1970	137,28	18.845,80	137,28	18.845,80		
1971	166,92	27.862,29	166,92	27.862,29		
1972	189,22	35.804,21	172,11	29.621,85		
1973	155,52	24.186,47	155,52	24.186,47		
1974	150,34	22.602,12	150,34	22.602,12		
1975	147,74	21.827,11	147,74	21.827,11		
1976	147,74	21.827,11	147,74	21.827,11		
1977	147,74	21.827,11	147,74	21.827,11		
1978	150,34	22.602,12	150,34	22.602,12		
1979	150,34	22.602,12	150,34	22.602,12		
1980	129,6	16.796,16	129,6	16.796,16		
1981	158,11	24.998,77	158,11	24.998,77		
1982	123,32	15.206,59	123,32	15.206,59		
1983	121,93	14.867,92	121,93	14.867,92		
1984	141,49	20.019,79	141,49	20.019,79		
1985	105,92	11.219,58	115,85	13.421,22		
1986	162,77	26.492,57	162,77	26.492,57		
1987	163,77	26.821,63	163,77	26.821,63		
1988	245,7	60.367,00	172,11	29.621,85		
1989	120,59	14.542,06	120,59	14.542,06		
1990	185,42	34.380,73	172,11	29.621,85		
1991	164,93	27.201,94	164,93	27.201,94	S =	360,3
1992	163,03	26.577,68	163,03	26.577,68		
1993	165,56	27.411,64	165,56	27.411,64	S.S =	18,98
1994	78	6.084,77	115,85	13.421,22		
1995	160,19	25.660,87	160,19	25.660,87	C v =	0,13 Değışm %'si
1996	152,28	23.188,48	152,28	23.188,48		
1997	149,37	22.310,33	149,37	22.310,33	UC =	162,2 ÜstEmn.Sn.
1998	180,53	32.591,48	172,11	29.621,85	LC =	124,2 Alt Emn.Sn.
1999	180,27	32.497,21	172,11	29.621,85		
2000	139,44	19.443,10	139,44	19.443,10	ES	0,87 Emni.Sn.
2001	87,48	7.653,62	115,85	13.421,22		
Toplm	6.767,18	1.010.756,10	6.728,92	979.942,13		
Ortim	143,98		143,17			

Tablo 7: Standart Sapma İle Emniyetli Çekim Sınırının Belirlenmesi

KİRLETİCİLER VE KARSTİK BÖLGELERDE KİRLETİCİLERİN TAŞINMASI

Uğur AKDENİZ
DSİ Jeoteknik Hizmetler ve YAS Dairesi Başkanlığı
Sevtap AKMAN
DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı
Gülgün GÖKTEPE
DSİ Jeoteknik Hizmetler ve YAS Dairesi Başkanlığı

ÖZET

Kirleticiler ve karstik bölgelerdeki kirleticilerin taşınması konusunda, önemli olan birçok etmen bulunmaktadır. Karst akiferlerindeki kirliliğin araştırılması için kirlenme kaynaklarının teşhis edilmesi, kirletici çeşitlerinin belirlenmesi, kirletici davranışlarının karstik akifer içindeki davranış farklılıklarının araştırılması önemlidir.

Bu amaç doğrultusunda, karst sularının temel özelliklerinin bilinmesi gereklidir. Bu bileşime etki eden parametreler, meydana gelen tepkimeler incelenmelidir. Çözünme, açık sistemde ve kapalı sistemde olmak üzere iki farklı sistemle açıklanmıştır. Kalsitin dolomitli ilişkisi ve çözünme çökme ilişkileri anlatılmıştır.

Kirletici kaynaklar olarak, başlıca, şehir atıksuları, sanayi atıksuları, diğer özel atıklar, arazide atıkların gömülme suretiyle düzenlenmesi, otoyollar, tarımsal işlevler olarak belirlenmiştir.

Kirleticilerin çeşitlerini ve kirleticilerin davranışlarını kontrol eden etmenler arasında, mikroorganizmalar, hidrokarbonlar, tarım ilaçları ağır metaller, nitrojenli bileşenler, organik olmayan bileşenler, radyoaktif izotoplar sayılmaktadır.

Yine kirlilik kaynaklarından biri olarak kabul edilen tuzlanma işlevleri, karstik akiferler için önemli kirlilik kaynağıdır. Deniz suyu girişi sonucunda akifer içinde tuzlanma meydana gelmektedir. Bu da özellikle beslenmeye göre çekimin çok daha fazla olduğu ve boşaltımın bu nedenle çok hızlı olduğu karstik akiferler için önem taşımaktadırlar.

Fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişimler de kirleticilerin taşınmasına, kirleticilerin miktarında değişen parametrelere göre artış ve azalma şeklinde yansımaya neden olmaktadır.

Kirleticilerin girişimi ve taşınmasını etkileyen koşullar ise, hazne yapısı, örtü formasyonları, doymamış zondaki karstlaşma kalınlığı ve derecesi, kirleticilerin ulaşım yolları, akış koşullarındaki değişimler ve yüzeysuyu girişi şeklinde olmaktadır.

1. GİRİŞ

Karst akiferleri birçok bölgede önemli su temin kaynaklarından olup, buldukları bölgeler için gerçek su kaynağını oluşturmaktadır. Mevcut bilgiler genelde karst suyu kalitesinin oldukça iyi olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle doğal mevcut kalitenin korunması önemli bir hedef teşkil etmektedir. Karst suyunu kirlilikten korumak için,

kirletici davranışlarının araştırılması ve bu davranışları kontrol eden doğal faktörlerin anlaşılması gereklidir.

Karst suyu kirliliği ile ilgili ana sorunlar genel hatları ile şunları içermektedir;

- En yaygın kirlenme kaynaklarının teşhis edilmesi ve tanımlanması,
- Karst sularında meydana gelen ana kirletici çeşitlerinin belirlenmesi,

- Karst ve gözenekli akiferlerdeki kirletici davranışlarının farklılıklarının ortaya konulması.

Ayrıca kirlilik, kirletici gibi bazı kavramların kullanılmasında büyük çelişkiler vardır. Örneğin, “contaminant”, “contaminated”, “pollutant”, “pollution” v.b. Bu konuda, 1979 yılında, Freeze&Cherry (1979) tarafından verilen ve Prohic (1989) tarafından desteklenen kavramlar benimsenmiştir.

Burada; İnsan aktivitelerinin bir sonucu olarak hidrolojik çevreye verilen tüm eriyikler “kirleticiler” “contaminants” olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlamada, kirlenmenin, su kalitesinin önemli oranda bozulmasına sebep olan kirletici konsantrasyon seviyelerine ulaşıp ulaşılmadığına bakılmaksızın oluşan kirlenmedeki yoğunlaşma esas alınmıştır.

“Pollution” terimi ise, kirletici yoğunluğunun kabul edilemez seviyelere ulaşıldığı durumlarda kullanılmaktadır.

Karstik ve gözenekli akiferlerdeki kirleticilerin davranışlarına göre aşağıda belirtilen temel farklılıklar belirlenmiştir:

- Karst akiferler çok sınırlı su tutma ve yüksek süzülme kapasitesine sahiptirler, bu da kirleticilerin hızlı bir şekilde akifere ulaşmasına neden olur.
- Yüksek akış hızı ve sonrasındaki suyun kısa bekleme süresinden dolayı, bozulma süreci daha etkili olur ve kirleticiler kuyulara ve kaynaklara daha çabuk ulaşabilir.
- Karst yeraltısularındaki Oksitlenme koşulları yaygındır ve amonyak, demir, mangan ve bazı diğer ağır metaller gibi bazı kirleticilerin konsantrasyonunu azaltabilir.
- Karstik bölgeler, asit yağmurlarına karşı daha az hassastır.
- Karstik bölgelerde, suyun daha kısa bekleme süresinden dolayı, bazı kirlenme çeşitleri (Örn: trafik kazalarından meydana gelen) zararlarının daha kolay elimine edilmesi sağlanabilir.

2. KARST SULARININ TEMEL ÖZELLİKLERİ

Burada karst suların özellikleri hakkında geniş bir tartışma yapılmayacaktır. Ağır metal gibi bazı kirleticilerin davranışları karst sularının bileşenlerinden oldukça etkilenebileceğinden yalnızca karbon akiferleri hakkında temel görüşler verilecektir.

Karst sularını etkileyen faktörler hakkında daha geniş bilgi, Freeze ve Cherry (1979), Bögli (1980), Alpelo ve Postma (1993), Drybrodt (1988) ve diğer birçok yazarların eserlerinden bulunabilir.

Genelde, karst suları bileşimi oldukça basittir. Kayaların çözülmesini etkileyen en önemli proses, doymun olmayan zondaki CO₂ çözünmesi ve hem doymun hemde doymun olmayan zonlardaki karbonat minerallerinin (kalsit ve/veya dolomit) çözünmeleridir. Bunun sonucu olarak karst sularının büyük çoğunluğunda bikarbonat, kalsiyum ve bazen magnezyum önemli miktarda bulunur.

Karst sularının bileşimini kontrol eden temel faktör, topraktaki CO₂ basıncıdır. Harmon ve diğer. (1975) bu parametre ve sıcaklık arasındaki ilişkiyi şu şekilde belirlemiştir:

$$\text{Log PCO}_2 = -3.3 + 0.08 \cdot T(^{\circ}\text{C})$$

Topraktaki benzer sıcaklık ve CO₂ basıncı koşulları altında bile, karst suları bileşimi çözünme proseslerinin meydana geldiği şartlardan dolayı değişim gösterebilir.

Geleneksel olarak 2 sistem göz önünde bulundurulmaktadır; açık sistem ve kapalı sistem.

Çözünme, açık sistemde CO₂ ‘in boşluklarda mevcut olduğu durumlarda, su tarafından tam olarak boşlukların doldurulmadığı ve çözünme sürecinde bu gazın tüketimi CO₂ basıncını önemli derecede etkilemediğinde meydana gelir ve bu şekilde bu işlem sabit olarak dikkate alınabilir.

Kapalı sistem çözünmesi topraktaki CO₂ ile dengede olan suyun içeri süzülmesi durumlarda meydana gelir. Bu da gaz faz ile temasta olmaksızın doymuş zonda karbonat çözülmesini sağlar.

Karst sularının bileşimi çoğunlukla iki sistemin bir araya gelmesi sonucu meydana gelir. Karbonatlar, doymun olmayan zonda beslenme süresince açık sistem koşullarında çözünürler. Fakat su, kapalı sistem şartları altında doymun zondaki karbonat mineralleri ile dengeye ulaşmaya dek agresiflik mevcuttur.

Tablo 1 yeraltısuyu bileşimi üzerinde çözünme çeşidinin etkilerini gösterir. İlk sıra tamamıyla kapalı sistemi simgelemektedir. Sonraki sıralar, artan miktarda çözünme ve dengeye ulaşana dek kapalı sistemde çözünme ile izlenen kalsiti simgelemektedir. En son sıra tamamen bir açık sistem örneğidir. Tüm konsantrasyonlar mmol/kg birimindedir. Hesaplamalar, PHREEQE (Parkhurst et.al, 1980) tarafından kullanılan jeokimyasal modele göre içsel koşullarda sıcaklık 15 °C ve basınç PCO₂= 10^{-2.1} bar olarak alınarak yapılmıştır. Karst rezervlerinde diğer önemli faktör mineorolojik bileşimdir. En önemli karbonat minerallerinin kalsit

ve dolomit olduğu düşünülürse, birbirini izleyen bazı durumlar meydana gelebilir. Bunlar; kalsit veya dolomit ile karst sularının dengesinin sağlanması, her iki mineral ile eş zamanlı dengesinin sağlanması ve kalsit-dolomit veya dolomit-kalsit'in ard arda çözünmesidir.

Su, dolomit ile dengeye ulaştığı zaman, kalsit ile dengeye de oldukça yakın olur. Bu nedenle dolomitler yeraltısuyu ile karşılaştığı zaman su bununla dengede olur ve su daha sonra kalsit ile karşılaşırsa, bileşiminde çok büyük değişiklikler beklenmez. Bu durumda, eş zamanlı dengeye kadar, kalsit ve dolomitin her ikisinin , çözünme işlemleri ikinci bir mineralin dengesiyle kontrol edilir.

Tablo 1

Açık Sistem					
Çözünmüş Kalsit	Doyma İndeksi	Toplam Karbon	Ca	HCO ₃	pH
0,000	-	0,374	0,000	0,113	4,91
0,852	-0,9	2,063	0,852	1,699	7,06
0,924	-0,8	2,208	0,924	1,844	7,10
1,089	-0,6	2,526	1,089	2,171	7,17
1,284	-0,4	2,925	1,284	2,559	7,24
1,516	-0,2	3,387	1,516	3,019	7,30
1,648	-0,1	3,650	1,648	3,281	7,34
1,792	-0,0	3,937	1,792	3,566	7,37
Kapalı Sistem					
Çözünmüş Kalsit	Doyma İndeksi	Toplam Karbon	Ca	HCO ₃	pH
0,390	0	0,764	0,390	0,738	8,63
0,274	0	2,337	1,125	2,228	7,74
0,258	0	2,466	1,182	2,342	7,70
0,220	0	2,756	1,308	2,596	7,62
0,167	0	3,092	1,451	2,881	7,54
0,096	0	3,483	1,612	3,204	7,46
0,052	0	3,702	1,700	3,368	7,42
0,000	0	3,927	1,792	3,566	7,37

Bununla birlikte, her iki durumda alışılagelmiş olmayan bir durumdur. Gerçekte kinetik reaksiyonlardan dolayı, yeraltısuyu kalsit ve doymamış zonda bulunan dolomit ile daha sık dengede bulunur. Bu nedenle kalsit/dolomit'in ard arda çözünürlüğü oldukça yaygındır. Bu durumda dolomit'in çözünmesine neden olan kalsiyum ve karbonat iyonlarındaki artış, kalsite göre (ortak iyon etkisi) aşırı doygunluğa neden olur. Buda dolomit çözünmesine nazaran daha fazla oluşan kalsit çökelimine neden olur.

Bu işlem,suyun her iki mineralle eş zamanlı bir dengeye ulaşmasına kadar devam eder. Bu gibi reaksiyonların bir sonucu olarak şu değişiklikler beklenir: bikarbonat ve pH da az bir artış, magnezyumda artış ve kalsiyumda azalıştır. Tablo II de bu duruma bir örnek verilmektedir. Birinci satır yeraltısuyunun dolomit ve CO₂=10^{-2.1} bar kısmi basıncı ile dengede olduğu durumu gösterir. İkinci satır ilk olarak kalsit ve CO₂ basıncıyla dengede olan

ve daha sonra kapalı sistemde dolomit ile dengeye getirilen yeraltısuyu bileşimini gösterir. Her iki durumda 15 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. (Konsantrasyonlar mmol/kg)

Tablo 2

	Ca	Mg	HCO ₃	PH
Dolomit Çözünmesi	1,160	1,160	4,610	7,48
Kalsit (açık sistem)/dolomit (kapalı sistem) sıralı çözünürlüğü	0,961	0,980	3,848	7,62

Karst suları bileşimini değiştirebilecek birçok başka işlemler vardır. Bunlardan en önemlileri: sedimanlardan gelen CO₂ zenginleşmesi veya karbonat minerallerine yeniden hucuma yol açan organik madde oksitlenmesi, kalsit/jips veya kalsit/jips+dolomit (dedolomitizatio)'in ardışık çözünürlüğü ve kıyı akiferlerinde deniz suyu girişimidir.

3. KİRLİTİCİ KAYNAKLARI

Karst akiferlerinde kirlenme mevsimsel olabilir, buzlanmayı önlemek için tuz uygulanmasında olduğu gibi veya kaza sonucu otoyollarına dökülmesi vb. veya atıkların yeraltındaki çukurlara gömülmesinde olduğu gibi oluşabilir.

3.1 Şehir Atıksuları : Pratik şekilde ifade edilirse, değişen yoğunluktaki yerleşim alanları genellikle kirlenme kaynağı olabilir. Bu gibi yerleşim yerlerindeki en önemli sorunlar arıtma tesisleri ve kanalizasyon sistemlerinin olmayışından ve atıkların yüzeyde bulunan su ortamında , karstik çukurlarda ve sığ kuyularda toplanmasından kaynaklanır.

Bu çeşit kaynaklarda ortaya çıkan kirlenme başlıca; organik bileşiklerin metabolizmalarından, fosfat, bor, amonyak, nitrit, nitrat, bakteri ve virüsler ile deterjanlardan oluşur. Şehir kanalizasyonlarına endüstriyel atıkların karıştığı durumlarda ağır metallerde bulunabilir.

Önemli bir kirlilik kaynağı da şehir bölgelerinde evsel atık içermeyen yüzey akışının gerçekleşmesidir. Bu yüzey akışı, araçların çıkardığı gazlardan ve sızıntılardan kaynaklanan yağlar, hidrokarbonlar ile tarım ilaçları, hayvan pislikleri vb. bazı kirlleticileri taşımaktadırlar. Çatılardan gelen yağmursuyu da yağmurun asidik karakterinden dolayı önemli miktarda bakır ve çinko içerebilir.

3.2 Sanayi Atıksuları : Bazı ülkelerde sanayi kirliliği atıksuların arıtılması sebebiyle büyük bir kaygı yaratmamaktadırlar

Sanayideki atıksular bir sanayi dalından bir diğerine farklılık gösterebileceği için tanımlanması oldukça güçtür. Yiyecek üretim tesisleri ve mezbaha tesisleri gibi çok sayıda sanayi dalları organik kirleticiler

üretir. Bazı bölgelerde zeytinyağı üretim tesislerinden gelen önemli mevsimsel kirlenme mevcuttur. Birçok karstik bölgede yaygın olan deri işleme tesisleri katı atıklar yanında yüksek miktarlarda COD, Cr içeren pis su üretir.

3.3 Diğer Özel Atıklar: Karstik sahalarda yer alan dolmuş istasyonlarından, benzin tanklarından hidrokarbon ve mineral yağları ile kanalizasyondan sızan sular gelebilir. Bazı dolmuş istasyonları bölgelerinde yeraltısuyu kirliliğini önlemek için özel önlemler alınmalıdır.

İrlanda da olduğu gibi, izole edilmiş septik tanklarda kirlenme kaynağı olabilir. Av kulübelerinden ve kayak merkezlerinden kaynaklanan atıksular, Avusturalya ve İsviçre gibi ülkelerde olduğu gibi problemlere neden olabilir.

3.4 Araziyede Atık Depolanması: Bu kirlilik kaynağı terkedilmiş taş ocakları veya kapatılmış çukurların atık depolama sahası olarak kullanıldığı ülkelerde tehlikeli olabilir. Diğer alanların aksine karbonatlı kayaçlar genellikle yüksek düşey geçirgenliğe (permeabiliteye) sahiptirler. Bu nedenle atık depolama sahalardan kaynaklanan sızıntısu, doymuş zona oldukça çabuk ulaşabilir. Birçok karstik bölge az nüfusa sahip olduğu için, bu tip alanlar depolama bölgeleri olarak oldukça sık seçilmektedir. Bu nedenle karstik bölgelerin kolaylıkla deforme olabilirliliğinin tam olarak anlaşılabilmesi bu kaynaklardan gelen kirlenme riskini arttırmaktadır.

Bu karstik atık depolama sahalardan gelen sızıntı suları, oldukça yüksek alkaniteye (20 °C sıcaklıktaki 1 litre deniz suyunda nötrale olmuş hidrojen iyonlarının meq cinsinden miktarı), COD'ye, organik nitrojene ve amonyağa sahiptir. Ca, Na gibi inorganik bileşenler, litre başına bir gramı aşabilir. Mevcut atık depolanan sahanın altında zeminin zayıflaması Demir, Mangan gibi bazı metallerin taşınması için oldukça uygun olabilir. Bu durumlar nitrojen, metan ve hidrojen sülfür gibi gazların varlığına da neden olabilirler. Bazı sülfür ürünlerinin düşük çözünürlüğünden dolayı ortamda sülfür bulunması yüksek ağır metal konsantrasyonlarının varlığını engelleyebilir.

3.5 Otoyollar : Bu kaynaklardan gelen kirlenme; otoyollarda buzlanmanın önlenmesi için tuz uygulanmasından, otoyolların yıkanmasından gelen hidrokarbonlardan, yağlardan ve ağır metaller ile kaza sonucu olan sızıntılardan vb. kaynaklanabilir. Örneğin Postojna (SLO) yakınlarındaki otoyolda ki bir kesitten alınan suyun analizleri, ortamda tuz uygulanmasından dolayı oldukça yüksek klor içerdiğini göstermiştir (19.3 g/l Cl'a kadar). Aynı bölgede 1.1 mg/l Pb ve 0.034 mg/l Cd'a kadar değerler tespit edilmiştir.

3.6 Tarımsal Aktiviteler : Tarımsal aktivitelerin yeraltısuyuna etkisi, gübre ve pestisitlerin kullanılmasından ve çiftlik veya kümes hayvanlarının atıklarının arazide depolanması veya atılmasından kaynaklanmaktadır.

Hayvan ve insan atıkları da organik gübre olarak kullanılsa da gübrelerin çoğunluğu kimyasal yapıdadır. Tarımsal aktivitelerin en yaygın sonucu, yeraltısuyunda nitrat konsantrasyonunun artması şeklinde görülür. Fosfat ve potasyum gibi gübrelerin diğer bileşenleri daha az taşınır.

Çiftlik ve kümes hayvanları atıklarından kaynaklanan kirlenme nitrojenli bileşikler, organik maddeler ve mikroorganizmalardan oluşur. Tarımsal aktivitelerin bir diğer sonucu, sulamadan dönen sular nedeniyle çözünmüş tuzların artışı olabilir.

4. KIRLETİCİLERİN ÇEŞİTLERİ, DAVRANIŞLARINI KONTROL EDEN FAKTÖRLER

Kirleticilerin sınıflandırılması bileşenlerine ve tipik davranışlarına göre yapılmıştır.

4.1 Mikroorganizmalar : Karstik akiferler, çürüme ve filtrasyon gibi mikrop ve popülasyonunu kontrol eden önemli parametrelerin çoğunlukla olmamasından dolayı mikroorganizma kirliliğine karşı çok hassastırlar. Karst kanallarında ve diğer geniş boşluklardaki hızlı sirkülasyondan dolayı, gelen su çıkışa oldukça çabuk ulaşabilir ve bu nedenle bekleme zamanı kısa olabilir. Bu durum mikropların çürümesini önler. Kuvvetli yağıştan sonra üst doymamış zonda mikropların hareketliliğinden dolayı mikrobiyal muhtevada artış gözlenir.

4.2 Hidrokarbonlar : Karst akiferlerinde hidrokarbonların davranışları hakkında çok az şey bilinmektedir. Hidrokarbonların karst suyundaki mevcudiyetleri hakkında bazı ülkelerde (HR,G) raporlar mevcuttur. Hidrokarbonlar yollardan gelen suların drenajı, şehirlerdeki yüzeysel akış suları ile bu maddelerin taşınması, depolanması, işlenmesi ve kullanımı sırasında oluşabilir.

Birçok karst akiferi kalın doymamış zona sahip olduğu için buralarda buharlaşmanın önemli bir işlem olması mümkündür. Hidrokarbonların tutulması ve çatlakların dolmasının kirliliği geciktirebilmesi mümkündür.

4.3 Tarım İlaçları (Pestisitler) : Topraktaki tarım ilaçları birçok diğer organik bileşikler gibi, bozulma, buharlaşma ve tutulma ile kontrol edilebilirler. Bozulma kimyasal bir süreçtir ve sonuçta ortaya çıkan ürünün CO₂ ile

oksidlenebileceği şekilde kompleks moleküllerin daha basit formlara bozunmasına yol açar. Bu prosesin hızı çoğunlukla tarım ilacının çeşidine, topraktaki mikroorganizma popülasyonuna ve çevresel faktörlere (topraktaki nem, kil oranı, sıcaklık vb.) bağlıdır. Topraktaki tarım ilaçlarının ve diğer organik bileşiklerin adsorpsiyon ve absorpsiyonu organik maddelerin varlığı ile kontrol edilir. Bu olaylardaki geciktirme faktörü şu denklem ile tahmin edilebilir.

$$R = 1 + \rho_b / \epsilon \cdot K_{oc} \cdot F_{oc}$$

Burada :

R : geciktirme faktörü

ρ_b : birim hacimdeki bir toprak kütesinin, sabit ağırlığa gelinceye dek, 105 C deki bir fırında kurutularak elde edilen toprak kütesinin ağırlığıdır.

ϵ : gözeneklilik (porozite)

K_{oc} : organik karbon-su bölünme katsayısı

F_{oc} : topraktaki organik maddenin su kütesinin ayrılması veya bir veya birden fazla mineralin, elementin, izotopların karışımının ayrılması sebebiyle özelliklerindeki farklılaşmadır. (topraktaki organik maddelerin ayrılması)

Diğer yandan K_{oc} oktan bileşimli hidrokarbonlar (petrolde bulunan birkaç izomer sıvı parafin hidrokarbonların $C_{18}H_{38}$ n-oktan $(CH_3)(CH_2)_6-CH_3$ formülüne sahip olanları) suyun ayrılma katsayısından, hesaplanabileceği gibi çözünürlükten de hesaplanabilir. Bu ilişkiler, çizgisel gerilemeden alınmış bulunmaktadır. Örneğin Hassett (1983) şu ifadeyi önermiştir:

$$\log K_{oc} = 0.088 + 0.909 \cdot \log K_{ow}$$

$$\log K_{oc} = 3.95 - 0.62 \cdot \log S$$

Burada

S : mg/l cinsinden çözünebilirliktir.

Benzer ifadeler, Karichhoff ve diğ. (1979) ve Schwarzenbach ve Westall (1981) tarafından bulunmuştur. Örneğin topraktaki "parathion" için gecikme faktörü; %0,1 organik madde ve %0,3 gözeneklilik için 30 civarında bulunabilir.

Diğer bileşenler güçlü bir şekilde tutulmaya sahip bile olabilirler. Bu düşük hareketlilik, topraktaki büyük bekleme zamanını ifade eder. Bu yüzden daha önceden anlatılan proses vasıtasıyla bozulma sağlanır. Şimdiye kadar karstik sularda pestisitler çok zor tespit edilebilmiştir. Bu da şunu gösteriyor ki, bu işlemler normal şartlarda yeterli derecede etkilidir.

Bununla birlikte; açık karstik bölgelere kaza sonucu dökülmeler, pestisit paketlerinin kontrolsüz atılması ve yüzey sularının filtrasyonu zarar verici olabilir.

4.4 Ağır Metaller : Yeraltısularında metal iyonları çeşitli işlemlerden etkilenir. Örneğin, karmaşık tepkimeler, indirgeme işlemleri (Dapples (1962) tarafından; diyajenezin en evvel jeokimyasal safhasında, oksitlenme ve indirgenme tepkimeleri, tersine dönüşebilen iki yönlü tepkimeler, sebebiyle ilksel olarak gerçekleşen mineral değişiklikleri olarak tanımlanır), tutma (bünnyeye çekme), çözünürlük/çökme ve birlikte çökme gibi.

Oksitlenme ve indirgenme tepkimeleri nedeniyle mineral değişim işlemleri, bazı minerallerin (örneğin Cr, As) toksikliğinde kontrol edebilir. Kuvvetli bağ elemanlarının varlığı içinde (Örneğin, Cr ve metalleri, As.,), metal iyonlarının taşınımı, normal bağların bulunduğu beklenen hızdan daha hızlı olur, (Davis ve diğ., 1993). Bu elemanlardan bir tanesi, karbonat iyonu, karstik sularda bulunur. Örneğin İspanyol araştırmacılar (Spring P2) tarafından alınan analitik veriler kullanılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Metal	Serbest İyon	Karbonat ve Bikarbonat kompleksleri	HCO ₃
Cu	0,7%	27,0%	70,3%
Pb	0,7%	98,3%	0,0%
Zn	28,7%	67,9%	3,4%

Bu durum ağır metallerin serbest iyonlardan daha karmaşık olarak taşındığını gösterir.

Metal anyonları ve katyonları kalsitte tutulur. Bunların tutulması pH ve CO₂ basıncına bağlıdır (Zachara ve diğ., 1993). Bu yazarlara göre, katyonlar yüzeydeki kalsiyum ve anyonlar ise yüzeydeki karbonatlar ile değişir.

CEC (katyon değişim kapasitesi) yüzey alanına oldukça bağlıdır (örneğin granül yapısına). Fransız araştırmacılar (Gheysan ve diğ. 1986; Fallot ve diğ. 1983) granül kireçtaşı için maksimum 0.1 meq /100 g bulmuştur.

Zachara ve diğ. (1993) deneysel sonuçları ile bilgisayar modelinin karşılaştırılması sonucu Zn'nin düşük konsantrasyonları için iyon değişim sabiti $\log K_{Zn/Ca} = 2.45$ ve daha yüksek konsantrasyonları (1ppb) için ise 2.2 olarak bulmuştur. Bu değerler Zn için kuvvetli tercih nedeni olmaktadır.

Bazı anyonlar ve katyonlar, yüksek tersinir değişim reaksiyonları gösterirler (Örn. NO₃). Fosfat, Li, K ve diğerleri gibi adsorplanır veya yüzey üzerinde geri dönüşmeksizin çökler. (Gheysans ve diğ. 1986)

Bu sonuçlara göre şu çıkarılabilir; toprağın varlığında bile, belirli bileşikler için azalma mümkündür. Kireçtaşının değişim kapasitesi; granüllüğe, kil minerallerinin yüzdesine, demir hidroksitlere ve organik maddelere bağlıdır.

4.5 Nitrojen Bileşikleri : Topraktaki nitrojen bileşiklerinin davranışları iyi bilinir. Bu bileşikler organik maddelerin bozunmasından ve gübre kullanımından gelir. Kısacası bu gurubun en indirgenmiş üyesi amonyak ve en oksitlenmiş üyesi nitrattır. Oksitlenme durumunda nitrat daima baskın durumdadır. Bu gibi durumlarda meydana gelen karst sularının çoğunluğunda nitrat genellikle baskın tür olarak oluşur. Genellikle nitrat basınçlı şartlar altında derin akım durumlarında örneğin kireçli akiferlerde (UK) ve organik madde veya diğer indirgeyicilerin varlığında bulunmaz. Gözlemler bu varsayımları doğrulamış ve derin karstik sularda amonyağın çok ender durumlarda bulunduğu belirlenmiştir.

4.6 İnorganik Bileşikler : Ca, Mg, Sülfat ve Klor gibi bazı iyonların konsantrasyonlarındaki artış bazen karstik suların normal kullanımını engelleyebilir. Bu artışlar doğal sebepler veya kirlenme nedeni ile oluşabilir. Jipsin ve diğer evaporitlerin çözünmesi ile deniz suyu girişimi doğal sebeplere örnek verilebilir.

İnorganik iyonların artmasından sorumlu ana kirlilik kaynağı; yollara tuz uygulanması, atık dökme alanlarından gelen sızıntı suları, şehir atık sularının ve tarımsal kaynaklı suların enjeksiyonudur. Bazı bölgelerde yağmurun bünyesindeki bazı bileşiklerin nispeten yüksek konsantrasyonu ve katı maddelerin çökmesi kirlenme olayını artırır. Örneğin, yağmur suyunda 5 ppm'e kadar Boron konsantrasyonları Castellon (İspanya) da tespit edilmiştir.

Gübre uygulamasının bir sonucu olarak bazı inorganik bileşikler doğrudan veya doğrudan olmayan sebeplerle artabilir. Sülfat veya klor gibi gübrelerin hareketli bileşikleri yüzeyde önemli absorpsiyon olmaksızın yeraltı suyuna direk olarak geçebilirler. Diğer bileşenler (fosfat ve potasyum) kısmen absorblanabilirler veya yeraltı suyuna geçişlerini engelleyen jeokimyasal değişikliğe uğrarlar. Sonuç olarak kalsiyum, sodyum ve magnezyum yoğunlaşmasını değiştiren amonyak ve potasyumun yeraltı suyunda artış gösterebilir.

4.7 Radyoaktif İzotoplar : Çernobil nükleer kazası karstik akiferlerdeki yeraltı suyunun da felaketten bir ölçüde etkilendiğini göstermiştir. Bu tür kazalar karstik akiferlerden çok uzaklarda dahi olsa başlıca ¹³¹I, ¹³⁷Cs ve ¹³⁴Cs olduğu gözlenmiştir. Açık karst sistemleri, radyoizotoplara karşı bitkisel topraklı karst sistemlerden daha hassastır. Karst sistemlerdeki bitkisel toprak ve organik materyaller radyoizotopları tutabilir. Karstik kaynaklar nükleer kazadan sonra su temini için

kullanılmamalıdır. Bu nedenle nükleer tesislerin, tekrar işleme tesislerinin ve radyoaktif atık depolama tesislerinin buldukları yöreler karstik akiferler için tehditlerdir. Nükleer kirlenmenin sonucunda, tritium kaynaklarda görülen ilk radyoizotoptur. Yüksek hıza sahip karstik sistemlerin, hemen hemen tüm radyoizotoplar için kendi kendini temizleme özelliği düşüktür. Düşük bekleme zamanı, beslenme alanı daha fazla kirlenmeye maruz kalmadığında, radyoaktif atomların ortamdaki kısa sürede ayrılacağını ve kaynak sularındaki radyoaktif atom miktarında azalma olacağını belirtir.

5. TUZLANMA İŞLEMLERİ

Bazı ülkelerde tuzlanma olayı karstik akiferlerin en önemli kirlenme kaynağı olabilir. Deniz suyu girişimi, akiferlerin tuzlanmasına neden olan ana olaydır. Hidrodinamik bakış açısıyla, karst akiferleri yüksek oranda iletkenlik değerine ve hızlı deniz suyu girişimine yüksek duyarlılığa sahiptir. Hidrodinamik durumlara bağlı olarak (karstlaşma derecesi ve su tüketimi) geçiş zonu farklı kalınlıkta olabilir. Akiferin büyük bir bölümünü etkileyen durum değişiklikleri oldukça hızlı bir şekilde oluşur. Akdeniz kıyılarındaki karst akiferlerin çoğunluğu ciddi bir şekilde etkilenmiş (Örn. Puglia, İtalya) veya daha sonra etkileneceklerdir. (Örn. Campo de Dalias, İspanya)

Hidrokimyasal bakış açısıyla, deniz suyu girişimi bazı türlerin (klor, sülfat, sodyum vb.) muhtevasının artmasına ve denge durumunun değişmesine neden olur. Bu değişim, karışım suyu ile katı madde arasında reaksiyona neden olabilir (karbonatların çökmesi/çözünme, iyonik değişiklikler vb.). Deniz suyu girişiminin en önemli sonucu su kalitesinin bozulmasıdır, buda suyun normal kullanımını önler. Bazı durumlarda (Örn. Crevillente akiferi, İspanya) aşırı su çekimi ve aşırı su seviyesi düşümü doğal su rejimini değiştirebilir, evaporitlerden derine edilen suyun yukarıya doğru hareketine imkan tanır. Bu tabiat olayı karstik akiferlerde çekimin beslenimden fazla olduğu ve dolayısıyla tüketimin hızlı olduğu durumlarda özellikle önemlidir. Crevillente akiferinde su tablası yılda 14 m düşmüştür. Karstik formasyon üzerinde ince bir toprak tabakası örtülü tarım arazilerinde, taşırma sistemi kullanılan tuzlu su ile sulamada (İtalyanın güneyinde, Portekizde ve İspanyada kullanıldığı gibi) yüksek buharlaşmaya maruz kalınır ve sulama suyunun filtrasyonu sonucu yeraltı suyunun tuz konsantrasyonu artar.

6. FİZİKSEL, KİMYASAL VE BİYOLOJİK DEĞİŞİMLER

Kısa dönemli (mevsimsel) ve uzun dönemli olmak üzere iki çeşit değişiklik vardır. Uzun dönemli değişimler için birkaç veri mevcuttur. Bunun nedeni

uzun dönemli kayıtların olmayışı veya analitik metotların güncel olmalarıdır (Örn. tarım ilaçları). Yeterli kayıtların bulunduğu durumda kimyasal parametrelerin büyük bir çoğunluğu, nitrat hariç, farkedilebilir bir durum göstermezler. Diğer yandan bazı inorganik ve mikro-biyolojik parametrelerin kısa dönem değişimleri karstlaşmamış kayaların en üst tabakalarından ve yüzeyden kuvvetli yağmur sonucu akıp gelen kirleticilerden dolayı artış gösterirler. Bununla birlikte bazı bileşikler, sulanma yüzünden azalış gösterirler.

7. KİRLETİCİLERİN GİRİŞİMİNİ VE TAŞINMASINI ETKİLEYEBİLEN HİDROJEOLJİK FAKTÖRLER

Her kirleticinin davranışı karst sisteminin kolayca etkilenebilir olduğunu ve kirliliğin şiddetinin çeşitli faktörlere bağlı olduğunu gösterir.

7.1 Rezervuar Yapısı : Birkaç karst kanalının büyük alanlara boşalması ile karst drenajının çok iyi geliştiği anda hareketlilik hızlı olur ve kirleticiler çıkışa hızlı bir şekilde ulaşabilir. Diğer yandan yeraltısuyu akımı daha fazla yayıldığında, dağılım ve diğer işlemler daha uzun bekleme süresi sebebiyle daha önemli olabilir. Kayaçla teması çok daha yakın olabileceğinden su-kayaç etkileşim işlemlerine müsaade eder.

7.2 Örtü Formasyonları : Detritik Örtü formasyonları veya üzeri sıkışma ve pekişme suretiyle gömülü halde bulunan sedimanter tabakalardan oluşan formasyonun en üst kısımları karst akiferlerin en önemli doğal koruyucularıdır. Daha önce de belirtildiği üzere , birçok kirleticici, indirgeme reaksiyonları, tutulma içeren biyokimyasal reaksiyonlar ve filtrasyon gibi fiziksel prosesler ile kontrol edilebilirler. Bu pekişmiş ve sıkışmış olan tabakaların altında yer alan gömülü durumdaki sedimanter tabakaların üst bölümleri bazı kirleticici gruplarına karşı etkili koruma sağlayabilirler (pestisitler ve diğer organik kirleticiler, mikro-organizmalar, ağır metaller, amonyum vb.).

7.3 Doymamış Zondaki Karstlaşma Kalınlığı ve Derecesi : Doymamış karst zonlarının kendini temizleme kapasitesi toprağın ve gözenekli formasyonların kapasitelerine göre daha az olmasına rağmen, doymamış zonun kalınlığına ve karstlaşma derecesine bağlı olarak bu kapasitede bazı azalmalar olabilir. Elverişli koşullar, doymamış zon, kalın ve zayıf karstlaşma gösterdiği zaman oluşur. Bu daha yavaş dikey hareketliliğe ve bozunma ve tutulma gibi kendi kendini temizleme işlemine yardımcı olan kayaçlar ile daha çok temasa imkan tanır.

7.4 Kirleticilerin Ulaşım Yolları : Karst akiferlerin heterojenliğinin bir sonucu olarak kirlenmenin yayılması sisteme ulaşabilme şekline oldukça bağlıdır. Eğer kirleticiler, yeraltısuyu nehirlerine direk giriş yaparlarsa, Örn: kaynağın bütünü yada bir kısmının yerin altında kaybolduğu kapalı bir çöküntü veya dolin (swallow-hole) karst yüzey boyunca yeraltısuyu ile kolay bir ilişkiye izin verir. Kirlilik hızlı bir şekilde ilerler ve kirlilikte azalma ve yayılım minimum olur. Bu nedenle, bazı bölgelerde pratikte yaygın olarak kullanılan atıkların dolinlere veya diğer karstik yapılara atılması çok tehlikeli olabilir ve bu durumdan mutlaka kaçınılmalıdır.

7.5 Akış Koşullarındaki Değişimler : Akım koşullarındaki değişime mutlaka dikkat edilmelidir. Örn: Aşırı düşümler kirlenmiş suya neden olabilir. Şüphesiz bunun terside mümkündür. Ormanlık bölgelerin azalması ve geçirimsizliğin azalması gibi doğal beslenme şartlarındaki değişimler ve sunni beslenme su kalitesi değişimine yol açabilir.

7.6 Yüzey Suyu Girişimi : Karstik bölgelerin en yaygın özelliğinden biri, karstlaşmamış bölgeden gelen tamamıyla veya kısmen batan yüzey akımlarıdır. Bu yüzey akımlarının su kalitesi düşük olduğunda önemli kirliliğe sebep olabilirler. Bu yolla, normal şartlar altında kirliliği azaltılabilen bazı bileşikler doymuş zona giriş yapılabilir.

İÇME SULARININ KLORLANMASI SONUCU OLUŞAN ORGANİK KİMYASAL MADDELERİN (TRİHALOMETANLARIN) SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ

Dr.Kimyager Neslihan GÜRBÜZ
Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Hayvan
Yetiştirme ve Deneysel Araştırmalar
Merkezi
06510 Beşevler/Ankara

ÖZET

Yüzyılımızda, salgın hastalıkların önleme yollarından birisi de suların klorlanmasıdır.

Epidemiyolojik çalışmalar, insan kanserleri ve suların klorlanması sonucunda oluşan klorinasyon ürünleri arasında ilişki olduğunu göstermektedir. Bu çalışmalar ürünlerin karsinogenik potansiyeli hakkında, her birisi için sonuçların netleşmediği şeklindedir.

Bu çalışmada, klorlanan içme sularında oluşan organik ürünlerin insan sağlığı üzerine toksik etkilerini inceleyen çalışmalar gözden geçirildi, ve klorlama sonucunda oluşan klorinasyon ürünleri ve bunların sağlık üzerine olumsuz etkileri konusunda, özellikle trihalometanlar (THM)'in sağlık üzerine etkileri konusunda Risk belirlemesi yapılmalı, daha sonra da Risk kontrolü yapılmalıdır.

Giriş

Kanserlerin % 60-%80' inin çevresel orijinli olduğu tahmin edilmektedir(1). Bu çalışmalarda içme sularının klorlanması sonucunda kimyasal karsinogenlerin olduğu tahmin edilmektedir. Trihalometanlar (THM), içme sularının klorlanması sonucunda oluşurlar. 1974 yılında Birleşik Devletlerde İçme sularında 2100 organik ve inorganik kirletici tesbit edilmiştir. Bunların dışında 190 kirleticinin olumsuz sağlık etkileri karinogenik, mutajenik, teratojenik ya da toksik olduğu tesbit edilmiştir(2).

İçme suyunu dezenfekte etmek için kullanılan klor sularındaki doğal organik maddelerle(DOM) reaksiyona girerek dezenfeksiyon yan ürünleri (DYÜ) olarak tanımlanan ve, karsinogen ve toksik oldukları bilinen bir dizi yan klorlu organik bileşiklerin oluşumuna neden olmaktadır(3).

ABD Çevre Koruma Örgütü (USEPA) 1998 yılında İçme sularında yıllık ortalama izin verilen

toplam Trihalometan (THM) miktarı 80 µg/ L (EPA 1. kademe Limit Değeri olarak belirtilmiştir(4). Bu sınır değer, 2000'li yılların başlarında40 µg/L 'ye indireleceği öngörülmüştür

(EPA 2. kademe Limit Değeri olarak belirtilmiştir). Avrupa Birliği 1995 yılındaki önerisi ile, kloroform ve bromodiklorometan için sınır değerleri 40 ve 15 µg / L olarak belirlenmiştir(5).

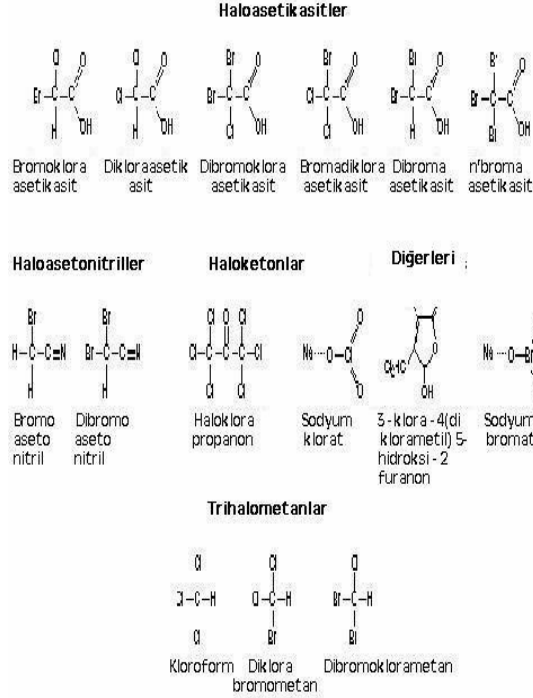
Türkiye' de ise içme suyu standartlarında bu yönde bir düzenleme bulunmamaktadır(6).

İçme Sularının Dezenfeksiyonu

İçme sularının dezenfeksiyonu, patojenik mikroorganizmaların yok edilmesi işlemidir. Dezenfeksiyon işlemi; klorlama, dioksit ile klorlama, aminlerle klorlama ve ozonlama'dır.

İçme Sularının Klorlanması Sonucunda Oluşan Ürün Grupları

İçme Sularının Klorlanması Sonucunda Oluşan Ürün Grupları; Haloasetik asitler, Trihalometanlar (THM), Haloasetonitriller ve diğerleridir (Şekil. 1)(7).



Şekil 1. İçme Sularının Klorlanması Sonucunda Oluşan Ürün Grupları

Halojenleme Düzeyi ve Çeşitleri

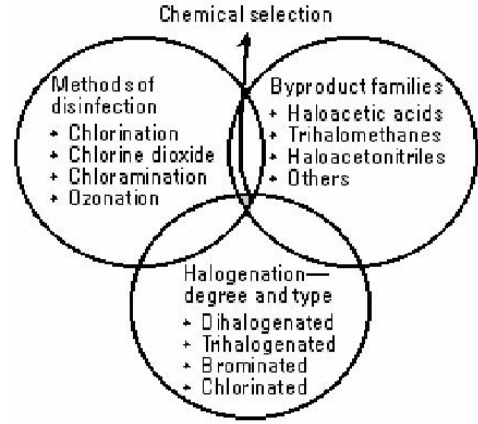
Dihalojenlenen, Trihalojonlenen, Bromlanan, ve Klorlananlardır (7).

Dezenfeksiyon Şeklinin Kimyasal Seçimi

Dezenfeksiyon şekli seçiminin temelini, oluşan dezenfeksiyon ürünlerinin oluşum oranı ve düzeyi oluşturur. İçme Sularında farklı gruplarından, dezenfeksiyon için kimyasal seçim, dezenfeksiyon sonucunda oluşan ürünler bakımından bir denge oluşturmalıdır(Şekil 2.)(7).

Dezenfeksiyon Şeklinin Kimyasal Seçiminde; Klorlama Metodları, halojenleme düzeyi ve çeşidi ayrıca oluşan ürün grupları önemlidir.

Klorlama Metodları; Klorlama, klorindioksit, kloraminasyon ve Ozonlama'dır.



Şekil 2. Dezenfeksiyon Şeklinin Kimyasal Seçimi

Halojenleme düzeyi ve çeşidi; Dihalojenlenen, trihalojenlenen, bromlanan ve klorlananlardır.

Ürün Grupları; Haloasetik asitler, trihalometanlar, haloasetonitriller ve diğerleridir(7).

Klorlama Sonucunda Oluşan Trihalometan Bileşikleri

Klorlama sonucunda oluşan organik bileşikler içinde en fazla bulunan grup trihalometanlardır. İçme sularında en sık karşılaşılan Trihalometan bileşikleri; kloroform, bromodiklorometan, dibromoklorometan ve bromoform'dur(3).

Trihalometanların sağlık üzerine etkileri

ABD çevre Koruma Örgütü (USEPA) Ulusal Birincil İçme Suyu Kirletici Standartları'nda Trihalometan (THM)'ların kanserojen oldukları ve karaciğer, böbrek ve sinir sistemi üzerinde olumsuz etkilere sahip oldukları belirtilmektedir(8).

İçme sularının klorlanması sonucu oluşan, uçucu organik bileşiklerden trihalometanlar (THM) üzerine yapılan araştırmalar bu bileşiklerin kanserojenik ve mutajenik etkileri olduğunu göstermiştir(9).

Yapılan bir çalışmada klorlama sonucunda oluşan organik klorinasyon ürünlerinden trihalometanların kemiricilerde karaciğer, böbrek ya da boşaltım organlarında belirlenen kanserojenik potansiyellerinin büyük oranda kimyasallarla ilişkili olduğunu göstermektedir(9). Bu çalışmalar klorlama sonucunda oluşan klorin, kloramin,

trihalometan gibi ürünlerin karsinojenik potansiyelini belirlemek için uygun değildir(9).

Yapılan bir araştırmada ise klorlanmış su içenlerin mesane kanserine yakalanma riski diğer gruba göre % 9, bağırsak kanserine yakalanma riski ise % 15 daha fazla olduğu görülmüştür(10).

Epidemiyolojik çalışmalar kanser ölüm oranları ve içme suyu kaynaklarının çeşidi arasında ilişki olduğunu göstermiştir. Farklı çalışmaların yüzey sularındaki insan kanserlerinin yer altı sularından çok yüksek düzeyde olduğu hipotezini desteklediği görülmüştür. Dezenfeksiyon için kullanılan klor ve sudaki organik materyaller arasındaki kimyasal reaksiyonlar tarafından oluşan halojenlenen organik bileşikler, muhtemel kirliliklerde önemli rol oynar(11).

Mide ve mesane kanserleri ölüm oranları ile su kaynakları arasındaki ilişkiyi belirlemek için, 261 belediye ile çalışılmış ve 1985 -1989 ölüm oranları istatistikleri, cinsiyet ve standart bilgiler hesaplanarak ve yer altı ve perifer suları ile ölüm oranları arasında ilişkili olan risk belirlenmiştir(11).

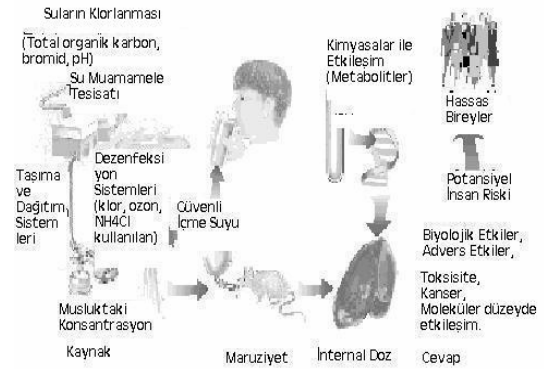
Klorlanan içme sularının tüketimi ve mesane kanseri üzerine yapılan çalışmaların meta analizinde. Klorlanan içme sularının tüketimi ve mesane kanseri üzerine yapılmış olan çalışmalar incelenmiştir. klorlanan içme suyunun uzun süre tüketimi üzerine olan çalışmalardan risk tahmini yapılmıştır. Her iki Cinsiyet grubunda 20 yıl ve 40 yıl gibi uzun süreli maruziyet'te, Klorlanan içme suyunun tüketimi, insanda mesane kanserinin artan riski ile ilişkili bulunmuştur. Epidemiyolojik değerlendirmede en iyi mümkün olabilen meta analiz, Klorlanan içme suyunun uzun süre tüketiminin özellikle insan kanserleri ile ilişkili olmasıydı. Gözlemlenen ilişkili risk, sadece ılımlı yüksektir fakat endüstri bölgelerinde popülasyona atfedilen risk, uzun süreli klorinasyon ürünlerine maruziyette önemli olabilirdi(12).

Ülkemizde yapılan 1994 yılı bir araştırmada, Trihalometan (THM) miktarlarının; TOC, serbest klor miktarı, sıcaklık ve UV absorbans değerlerine bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Analizin yapıldığı kış aylarında THM miktarı 13,20 mikrogram Litre, yaz aylarında ise THM miktarı 0.30 mikrogram Litre olarak belirlenmiştir(13). 1994 yılı için Ülkemiz bulguları US EPA'nın 1994 yılında THM'ler için belirttiği maksimum kirlilik açısından bir tehlike göstermemekle beraber, bir çok ülkede bulunmuş değerden yüksek olması konunun önemini arttırmaktadır

Dünya Sağlık Örgütü (WHO)' nün İçme sularının kalitesi için 2003 yılında hazırladığı rapora göre,

birinci sırada halk sağlığının korunması bulunmaktadır. Güvenli içme suları sağlandığı takdirde sağlık riskleri ortadan kalkacaktır(14).

İçme suyunun güvenliği üzerine çalışmalar kompleksdir. Bunlar, su mühendisliği, dağılım, oluşum çalışmaları, ve hayvan moleküler yapı çalışmalarını içeren, çocuklardan immün yetersizliği olanlara kadar etkili olabilir. Kimyasalları ya da İçme sularında oluşan yakın düzeyleri değerlendirmek kritiktir. Daha yüksek konsantrasyonlarda etkiler bulunduğu zaman, moleküler düzeyde oluşan değişiklerin ne olduğuna karar vermek, ya da yakın içme suyu konsantrasyonlarında bu etkilerin de bulunup bulunmadığı önemli olacaktır (Şekil. 3).



Şekil 3. İçme suyunun güvenliği üzerine çalışmalar

Risk assesment (Risk Belirleme), Risk management (Riskin kontrolü)

Risk assessment (Risk Belirleme), Risk management (Riskin kontrolü) çevre ve bununla ilişkili olarak halk sağlığını korumaya yönelik yeri tanımlar. Gerek bilerek gerek kaza ile zararlı bileşiklerin çevreye girişi nedeniyle ortaya çıkan riskin değerlendirilmesi, çevre kirliliğinin kontrolü ve halk sağlığının korunmasıyla ilgili sistemlerin geliştirilmesinde anahtar bir faktördür. Risk assesment, Risk management terimleri sadece içinde bulunduğumuz problemler için değil, gelecekteki durumları belirlemek için de kullanılır.

Risk Belirlemesi

Risk kontrolü, ABD' de çevre ve halk sağlığını koruma programları içinde sıkça kullanılmaktadır.

EPA (Çevre Koruma Teşkilatı)

FDA (Gıda - ilaç Teşkilatı)

OSHA (Mesleki Güvenlik ve Sağlık Teşkilatı)

CSPA(Amerikan Tüketim Maddeleri Güvenliği Kontrolü)

Riskin Belirleminde 4 Basamak vardır

1. Basamak

Zararın teşhisi

Kimyasal bileşimin sağlık üzerinde herhangi bir etkiye sahip olup- olmamasının tayin edilmesidir. Zararın teşhisinde 4 tip bilgi gereklidir.

- Epidemiyolojik veriler
- Hayvanlar ile ilgili elde edilen bioassay (biyolojik deneme sonuçları)
- İn vitro etkiler ile ilgili veriler
- Moleküler yapı ile biyokimyasal aktivite arasındaki karşılaştırmalı çalışma sonucu (yapı-etki aktivitesinin irdelenmesi)

2. Basamak

Doz – Cevap İlişkisinin Belirlenmesi

Maruziyetin boyutu ile olumsuz sağlık etkilerinin meydana gelme olasılığı arasındaki ilişkinin tayin edilmesidir. Doz – Cevap ilişkisinin belirlenmesinde dikkate alınması gereken parametreler:

- Maruziyetin şiddeti
- Maruziyet şekli (İnhalasyon, oral, deri, vb.)
- Deneğin yaşı,
- Ağırlık
- Beslenme alışkanlıkları
- Metabolizma

Eğer hayvan çalışması yapılıyorsa doz-cevap ilişkisinin saptanmasında yüksek dozdan düşük doza extrpolasyon gerekir (insan maruziyetlerine çevirebilmek için).

3. Basamak

Maruziyetin Belirlenmesi

İnsan ile temasta olan bileşimin miktarının, maruziyet süresinin ve maruz kalan popülasyonun özelliği ve büyüklüğünün tayininin ölçülmesi ya da tahmin edilmesidir.

4. Basamak

Riskin Özelliğinin Belirlenmesi

Şüpheli sonuçlarda dahil olmak üzere insandaki muhtemel riskin boyutunun ve özelliğinin kapsamlı bir biçimde algılanmasıdır.

SONUÇ

Suların klorlanması sonucunda oluşan klorinasyon ürünleri için; önce risk belirlenmesi yapılmalı yani hangi problemlerin olduğu belirlenmeli daha sonra da risk'in kontrolünde ise, suların klorlanması sonucunda oluşan klorinasyon ürünlerinin özellikle Trihalometan (THMs)'lar, hakkında neler yapılacağına karar verilmesi gerekir.

KAYNAKLAR

1. Epstein SS, Zvon M. Is There a Threshold for Cancer? In Manners DX ed. Int'l Water Quality Symposium: Water Its Effects on Life Quality. Wash, D.C. Water Quality Research Council, 1974; 54-62
2. Conacher D. Troubled Waters on Tap Organic Chemicals in Public Drinking Water Systems and the Failure of Regulations. Wash D. C: Center for study of Responsive Law, 1988:114.
3. Rook, J.J., “ Formation of haloforms during chlorination of natural waters”, J. Wtr. Trtmt. Exam., 23, 234, 1974.
4. Pontius, F.W., “ Complying with future water regulations”, J. AWWA., 91, 46-58, 1999.
5. Kuivinen, J. and Johnsson, H., “ Determination of trihalomethanes and some chlorinated solvents in drinking water by headspace technique with capillary column gas-chromatography”, Wat. Res., 33, 1201-1208, 1999.
6. TSE 266, 1984. İçme Suyu Standartları, Türk Standartları Enstitüsü.
7. Gary A. Boarman, Vicki Dellaarco, June k. Dunnick, Robert E, Chapin, Sid Hunter, Fred Hauchman, Hank Gardner, Mike Cox, and Robert C, Sills. Drinking Water Disinfection By Products: Review and Approach to Toxicity Evaluation. Environmental Health Perspectives Suppl. 107, 1999.
8. Pontius, F.W., “New horizons in federal regulations” , J.AWW, 90, 38-50,1998
9. Dunnick JK, Melnick RL (1993) Assessment of the carcinogenic potential of chlorinated **water**:

experimental studies of chlorine, chloramine, and trihalomethanes. **J Natl Cancer Inst**, 85: 817-822

10. Hileman, B., “ Cancer Risk Found From Water Chlorination”, Chemical and Engineering News, July 13, 1992.

11. Morales Suarez-Varela MM, Llopis Gonzalez A, Tejerizo Perez ML, Ferrer Caraco E. Chlorination of drinking water and cancer incidence.

12. Villanueva CM, Fernandez F, Malats N, Grimalt JO, Kogevinas M . Meta-analysis of studies on individual consumption of chlorinated drinking water and bladder cancer. *J Epidemiol Community Health*. 2003 Mar;57(3):166-73.

13. Türkiye İçme Sularında Yan Ürünlerin Tesbiti, Biyokimya Kongresi,1994

14. WHO(2003) Guidelines for Drinking Water Quality, 3rd ed. Geneva. World Health Organization

LEVHA KAPAKLAR

Yazan: Dr. Tamer BAĞATUR (*)

ÖZET

Sulama endüstrisinde tarımsal verimi arttırmak sulama kanallarının en verimli işletilmesini ve kontrolünü gerektirir. Genel olarak, sulama kanallarındaki su seviyelerinin kontrolü ve akım ölçümü iki ayrı aygıt veya yapı ile yapılmaktadır. Levha kapaklar bu iki işlemi tek yapı altında ve pratik bir biçimde yapmaktadır. Levha kapaklar çok basit yapılı olmalarına rağmen oldukça etkili işlevler görmektedir.

Bu makale de levha kapaklar hakkında genel bilgiler verilerek, bu kapaklarla akım ölçümünü sağlayan serbest ve batmış akım şartları altındaki temel akım denklemleri sunulmaktadır.

1.GİRİŞ

Suyu üstten alan levha kapaklar açık kanallarda su seviyelerinin kontrolünde kullanılır. Sulama endüstrisinde su temininin düzenli bir biçimde sağlanması için geliştirilmiştir. Levha kapaklar; tasarımı, basitliği ve üstün kullanımından dolayı kısa bir zaman periyodu içinde geniş bir kabul görmüştür. Bu kapaklar, sınırlı su derinlik değişimleri ile kabaran akımı kontrol altına alma kabiliyeti ve operatörlerin kapakların hidrolik davranışını anlayabilmelerindeki kolaylıklardan dolayı tercih edilmektedir.

Çoğu temel kanal kontrol kapaklarının ana gayesi membaya yerleştirilen su çevirme yapıları (priz) için sabit bir su derinliği temin etmektir. Böylece, su çevirme yapıları ana kanaldaki akım hızına bakmaksızın sabit akım hızlarında su bırakacaktır. Eğer, ana kanaldaki su seviyesi sabit ise su çevirme yapılarının kontrolleri sonradan ya savaklar ya da orifis esaslı çalışan sürgülü veya radyal kapaklar ile yapılmaktadır.

Genel olarak, savaklar; orifis kapaklardan daha iyi ana kanal su yüzeyi kontrolü yapabilmektedir. Çünkü, memba su seviyesi orifislerin $\frac{1}{2}$ gücü ile karşılaştırıldığında savaklarda üst yükün $\frac{3}{2}$ gücü olarak değişmektedir.

- a) Memba su seviyesini korumak
 - b) Bir akım kontrol aygıtı gibi davranmak
 - c) Mansap kontrol aygıtı olarak davranmak
- olmak üzere bu üç kullanım için idealdir.

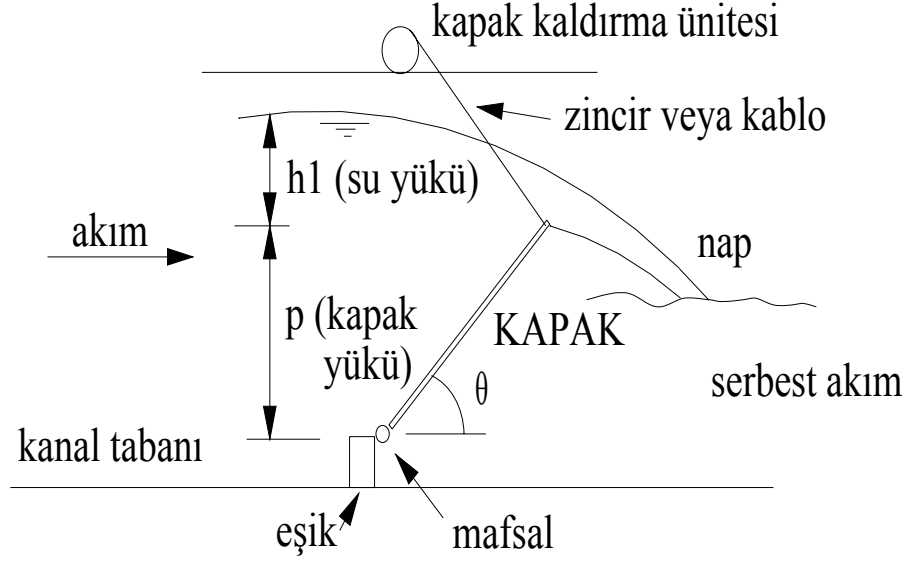
Pratik uygulamaları; sulama kontrol yapıları, dolusavaklar ve rezervuar kontrol yapıları olarak tanımlanabilir. Ayrıca, su ve atıksu arıtma tesislerinde ayarlanabilir bir savak olarak da kullanılabilir.

Bir levha kapak; dikdörtgen kapak levhası, kapağı kanal tabanına sabitleyen mafsal ünitesi ve kapağın aşağı – yukarı doğru hareketini sağlayan bir kapak kaldırma sistemini ihtiva eder.

Bir levha kapağın genel bir kesiti Şekil 1’de gösterilmiştir. İşletme durumundaki bir levha kapağın genel bir görünüşü Şekil 2’de verilmiştir.

(*) DSİ IX. Bölge Müd. Barajlar ve HES Şube
Müdürlüğü, 23069, ELAZIĞ
e-mail: tbagatur@yahoo.com

Levha kapaklar;



Şekil 1. Bir levha kapağın genel boykesiti



Şekil 2. İşletme durumundaki bir levha kapağın mansaptan görünüşü

2. LEVHA KAPAKLARLA AKIM ÖLÇÜMÜ

Su seviye kontrolü yanında en iyi işletme sistemleri için her bir kapaktan geçen akımın bilinmesi gerekir. Levha kapaklarla akım ölçümünde Wahlin ve Replogle (1994), Kindsvater ve Carter'in (1959) dikey dikdörtgen ince kenarlı bir savak için geliştirdikleri akım deşarj denklemini bir kapak açısı korelasyon katsayısı (C_a) ile düzenlediler.

Kindsvater – Carter metodu için temel denklem (1) nolu bağıntıda verilmiştir.

$$Q = C_e \cdot \frac{2}{3} \cdot [2g \cdot b_e \cdot h_e^{1.5}]^{0.5} \quad (1)$$

Wahlin ve Replogle (1994, 1996) levha kapak için su akımının debi hesabını (2) nolu denklem ile tanımladılar.

a) Serbest Akım Hali:

$$Q = C_a \cdot C_e \cdot \frac{2}{3} \cdot [2g \cdot b_e \cdot h_e^{1.5}]^{0.5} \quad (2)$$

Burada,

Q = kapak üzerindeki deşarj (debi), m^3 / s

C_a = levha kapak için kapak açısı korelasyon faktörü
 C_e = dikey keskin kenarlı savak için en etkili deşarj katsayısı

b_e = en etkili kapak genişliği, m

h_e = en etkili su yükü, m

$$b_e = b_c + k_b \quad (3)$$

Levha kapak için kapak açısı korelasyon faktörü (C_a) (5) nolu denklem yardımıyla hesaplanabilir .

(h_e / p) < 1.0 ve kapak açısı (θ) 16.2° ve 63.4° arasında olmak üzere ;

$$C_a = 1.0333 + 0.003848 \cdot \theta - 0.000045 \cdot \theta^2 \quad (5)$$

Keskin kenarlı savak için deşarj katsayısı (C_e) , yaklaşım kanalının genişliği (B) ve derinliğine göre değişim gösterir. Böylece, (C_e); (h_1/p) ve (b_c/B) oranlarının bir fonksiyonudur ve (6) nolu denklem yardımıyla hesaplanabilir.

$$C_e = C_1 \cdot (h_1/p) + C_2 \quad (6)$$

Burada,

p = levha kapak yüksekliği, m

C_1 = denklem katsayısı

C_2 = denklem sabiti

Tablo 2'de C_1 ve C_2 değerleri verilmiştir.

b) Batmış Akım Hali: Batmış akım durumunda akım denklemi, (7) nolu denklemde tanımlandığı üzere bir batmış akım azaltma faktörü (C_{df}) ile düzenlenmektedir.

$$Q = C_{df} \cdot C_a \cdot C_e \cdot \frac{2}{3} \cdot [2g \cdot b_e \cdot h_e^{1.5}]^{0.5} \quad (7)$$

Batmış akımın azaltma faktörü (C_{df}) Villemonte (1947) tarafından (8) nolu denklem ile tanımlanmaktadır.

$$C_{df} = A [1 - \{h_2/h_1\}^{1.5}]^n \quad (8)$$

Burada, h_1 = ölçülen memba su yüksekliği, m

h_2 = ölçülen mansap su yüksekliği, m

A ve n amprik sabitlerdir.

Wahlin ve Replogle (1994, 1996) A ve n amprik sabitlerinin (9) ve (10) nolu bağıntılar ile hesaplanabileceğini belirtmektedirler.

$$n = 0.1525 + 0.006077 \cdot \theta - 0.000045 \cdot \theta^2 \quad (9)$$

$\theta < 60^\circ$ için

$$A = -0.0013 \cdot \theta - 1.0663 \quad (10)$$

$\theta > 60^\circ$ için $A = 1.0$

3. KAPAK KALDIRMA SİSTEMİNİN TASARIMI

Levha kapakların kaldırma sistemlerinin tasarımı için aşağıdaki hesap sıraları takip edilmektedir.

Kapak levhası üzerindeki su kolonunun hesabı: Kapağın en uygunsuz yüklenme kapağın tamamen açık olduğu durumdur (Şekil 3).

a) Bu nedenle, kapak üzerindeki su kolonunun hesabı bu duruma göre yapılmalıdır. Su kolonunun ağırlığı, F_s (11) nolu denklem ile hesaplanmaktadır.

$$F_s = (D / \sin 60^\circ) \cdot W \cdot \frac{2}{3} \cdot D \quad (11)$$

Kapak ağırlığı için % 10 düzeyinde bir ilave yapılmaktadır. Bu durumda,

Su ve kapağın toplam ağırlığı (F_{top}) (12) nolu denklem ile tanımlanabilir.

$$F_{top} = 1.1 \cdot F_s \quad (12)$$

b) Kablo yükünün hesabı: Levha kapaklar, kapak üst köşelerinden desteklenen kablolar yardımıyla aşağı ve yukarı doğru hareket ettirilmiştir. Her bir kablo (iki adet) toplam ağırlığın (su ve kapak) ¼'nü taşımaktadır. Kablo yatayla 60 derecelik bir açı ile hareket ettiğinden;
Kablo yükü (F_c) (13) nolu bağıntı ile hesaplanabilir.

$$F_c = F_{top} / (4 \cdot \sin 60^\circ) \quad (13)$$

c) Gerekli kaldırma kuvvetinin hesabı: Levha kapağın yukarı ve aşağı hareket ettirilmesi için kaldırma sisteminin gerek duyacağı kaldırma kuvveti (F_k) (14) nolu bağıntı ile bulunabilir.

$$F_k = 2 \cdot F_c \quad (14)$$

(b _c /B)	C ₁	C ₂
0.0	-0.0023	0.587
0.1	-0.0021	0.588
0.2	-0.0018	0.589
0.3	0.0020	0.590
0.4	0.0058	0.591
0.5	0.0110	0.592
0.6	0.0180	0.593
0.7	0.0300	0.595
0.8	0.0450	0.597
0.9	0.0640	0.599
1.0	0.0750	0.602

Tablo 2. C₁ ve C₂ değerleri (Bos, 1989)

KAYNAKLAR

Bos, M.G. (1989). *Discharge Measurement Structures*. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Publication 20, third revised edition, Wageningen, The Netherlands, 401 pp.

Kindsvater, C.E., and Carter, R.W. (1959). *Discharge Characteristics of Rectangular Thin-Plate Weirs*. Paper No. 3001, *Transactions*, American Society of Civil Engineers, vol. 124, 772-822.

Villemonte, J.R. (1947). *Submerged weir discharge studies*. Engineering News Record. 866-869.

Wahlin, B.T., and J.A. Replogle (1994). *Flow Measurement Using an Overshot Gate*, J. Irrig. & Drain. Eng. 119(4), 637-655.

Wahlin, B.T., and J.A. Replogle (1996). *Discharge characteristics of overshot gates*. Proc. Int. Conf. on Water Resources Engineering. Anaheim, CA, 24-28 June.

DOLUSAVAK YAPILARININ TASARIMINDA BAZI PRATİK YAKLAŞIMLAR

Yazan: Dr. Tamer BAĞATUR (*)

ÖZET

Barajlarda dolusavak yapılarının baraj emniyeti açısından önemi büyüktür. Geçmişte yaşanan birçok baraj yıkılmasına dair olayların, dolusavak yapılarının hidrolik açıdan yanlış projelendirilmesi ve teknik hatalardan kaynaklandığı bir gerçektir. Bu nedenle, dolusavak yapılarının iyi projelendirilmesi tasarım mühendisinin teknik yaklaşımlarıyla yakından ilgilidir.

Bu çalışmada, dolusavak yapılarının projelendirilmesi esnasında karşılaşılan hidrolik ve teknik zorluklara pratik çözümler sunmak açısından bazı yaklaşımlar verilmektedir. Bu yaklaşımlar, dolusavak yapılarının projelendirilmesinde kullanılan grafiklerin fonksiyonel olarak ifade edilmesi, kübik denklemlerin sayısal (nümerik) yöntemler ile çözüm önerilerini ve Excel Makro gibi bilgisayar destekli ortamlara aktarılmasını içermektedir.

1. GİRİŞ

Baraj gölünde (rezervuar) depolanması istenmeyen fazla suların veya feyezana (taşkın) debisinin baraj yapısına zarar vermeden membada mansaba iletilmesi gerekir. Bu gaye için yapıyı öngörülen yapılar, “dolusavak

(*) DSİ IX. BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ, Barajlar ve HES Şube Müdürlüğü, 23069, ELAZIĞ
e-mail: tbagatur@yahoo.com

yapıları” olarak tanımlanır. Dolusavak yapıları genel olarak dört üniteden oluşur. Bu üniteler; yaklaşım kanalı, eşik yapısı, deşarj kanalı ve enerji kırıcı yapılarıdır. Dolusavak tasarımı, kendisini oluşturan bu ünitelerin “hidrolik” olarak adım adım hesaplanmasını ile tamamlanır. Yapılan hidrolik hesaplar, bazı

durumlarda “deneme-yanılma” gibi yorucu ve zaman alıcı noktalara kadar ulaşabilmektedir. Günümüzde baraj, kanal, köprü ve diğer hidrolik yapıların tasarımında bilgisayar uygulamalarının pratikteki önemi artmaktadır. Mühendislik problemlerinin çözümü için bilgisayar kullanımındaki artışlar proje mühendisine büyük kolaylıklar vermektedir. Hidrolik yapıların mevcut tasarım teknikleri, sayısal (nümerik) analiz yöntemlerinin kullanılmasıyla bilgisayar ortamlarına aktarılabilir.

Barajlarda dolusavak yapısının tasarımı, adım adım ele alınması gereken birimlerin (ünite) projelendirme kriterleri ve hesap işlemleri dizisi çerçevesinde yapılmaktadır. Bu çalışmada, dolusavak tasarımı ve hesap işlemleri sırasıyla izah edilecek ve bunlara ait pratik yaklaşımlar sunulacaktır.

2. DOLUSAVAKLARDA DEŞARJ KATSAYI -SİNİN TAYİNİ

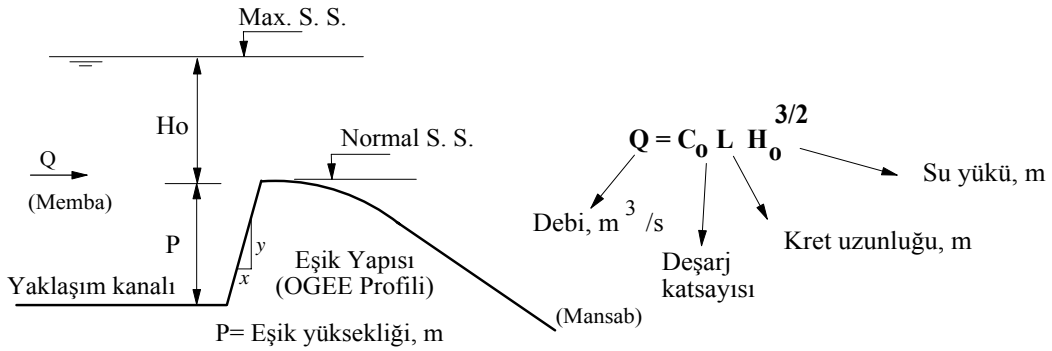
2.1 KONTROLSÜZ DOLUSAVAKLARDA DEŞARJ KATSAYISININ (C₀) TAYİNİ

Şekil 1’de bir dolusavağın eşik boy kesiti ve dolusavak hesaplarında yaygın olarak kullanılan debi bağıntısı verilmektedir. Bir dolusavak yapısı tasarımı yapılırken öncelikle dolusavağa ait debi deşarj eğrisinin hesaplanması ve çizilmesi gerekir. Bu hesap için dolusavak eşik yüzünün memba yüzü eğiminin (düşey/yatay veya y/x) seçimi gerekir. Bu seçime bağlı olarak literatürde verilen deşarj katsayısı eğrilerinden yararlanarak dolusavak deşarj

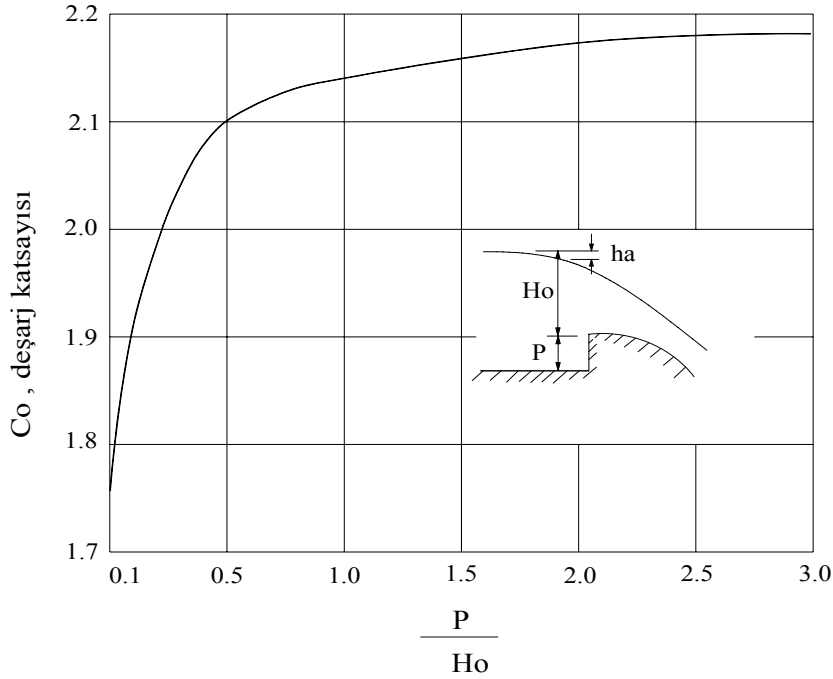
katsayıları hazırlanan grafiklerden okunur (Şekil 2 ve Şekil 3).

Deşarj katsayısının tayini için bu grafiklerin okunmasında zorluklar olacağından deşarj katsayılarını veren eğri denklemlerini kullanmak daha pratik olacaktır.

Dolusavak eşik memba yüzü dik olması halinde Şekil 2’de verilen eğrinin denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Bak. Tablo 1).



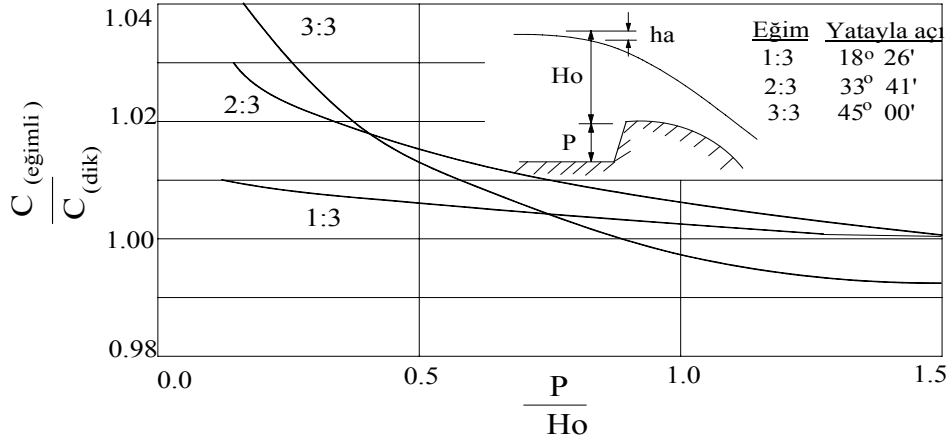
Şekil 1. Dolusavak eşik boy kesiti ve debi bağıntısı



Şekil 2. Memba yüzü dik olan dolusavak eşiği için deşarj katsayısının tasarımı (USBR, 1987)

Tablo 1. Mamba yüzü dik olan dolusavak eşiği için deşarj katsayısını veren denklemler

Durum	Denklem (Şekil 2 için)
$\frac{P}{H_o} < 1.2$ için	$C_o = 1.74 + 1.84 \left(\frac{P}{H_o}\right) - 4.03 \left(\frac{P}{H_o}\right)^2 + 4.91 \left(\frac{P}{H_o}\right)^3 - 3.12 \left(\frac{P}{H_o}\right)^4 + 0.8 \left(\frac{P}{H_o}\right)^5$
$1.2 \leq \frac{P}{H_o} < 2.8$ için	$C_o = 2.34 - 0.49 \left(\frac{P}{H_o}\right) + 0.44 \left(\frac{P}{H_o}\right)^2 - 1.62 \left(\frac{P}{H_o}\right)^3 + 0.02 \left(\frac{P}{H_o}\right)^4$
$\frac{P}{H_o} \geq 2.8$ için	$C_o = 2.18$



Şekil 3. Mamba yüzü eğimli olan dolusavak eşiği için deşarj katsayısının değişimi (USBR, 1987)

Dolusavak eşik mamba yüzünün eğimli olması halinde (1:3, 2:3 ve 3:3 gibi) Şekil 3'de verilen eğrinin denklemi Tablo 2'deki gibi ifade edilebilir.

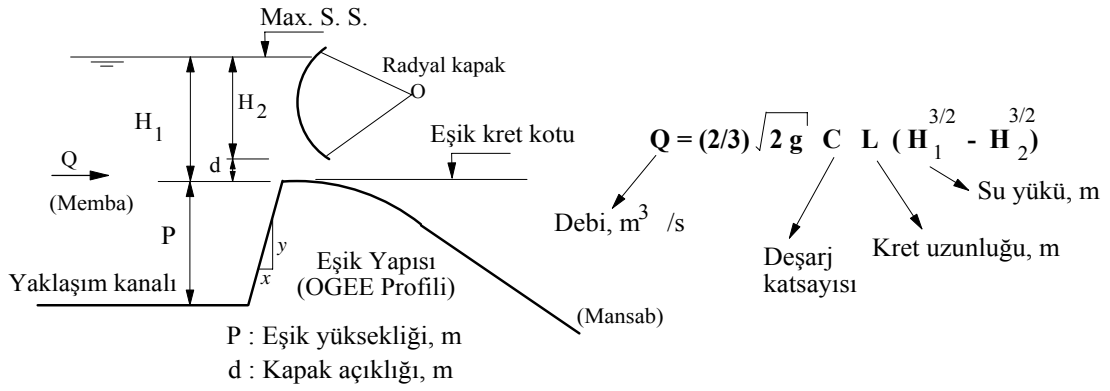
2.2 KAPAKLI DOLUSAVAKLARDA (KONT - ROLLÜ) DEŞARJ KATSAYISININ TAYİNİ

Kapak açıklığına bağlı olarak debi deşarj katsayısı değişmektedir. Şekil 5'de kapaklı dolusavaklarda kapak altındaki akım için deşarj katsayısının değişimi tanımlanmaktadır.

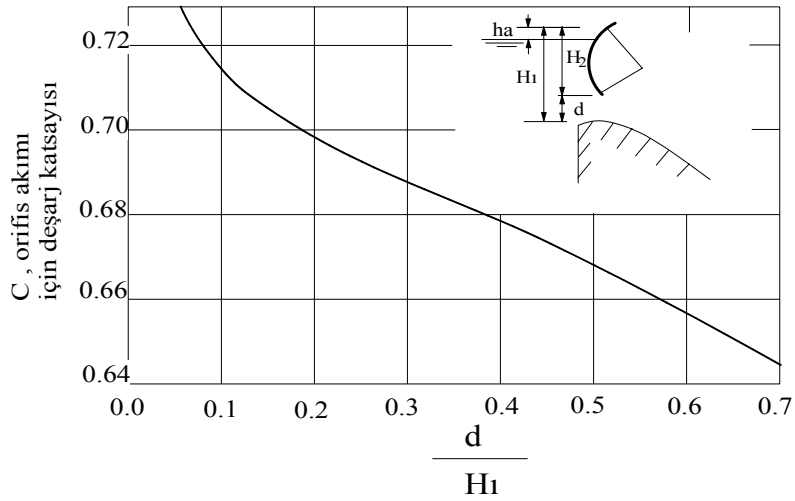
Şekil 4'de kapaklı bir dolusavağın eşik boy kesiti ve dolusavak hesaplarında yaygın olarak kullanılan debi bağıntısı verilmektedir.

Tablo 2. Mamba yüzü eğimli olan dolusavak eşiği için deşarj katsayısını veren denklemler

Eşik Mamba Yüzü Eğimi	Deşarj Katsayısı Oranı	Denklem (Şekil 3 için)
1:3	$\frac{C_{egimli}}{C_{dik}} = \frac{C_e}{C_o}$	$\frac{C_e}{C_o} = 1.013 - 0.022 \left(\frac{P}{H_o}\right) + 0.017 \left(\frac{P}{H_o}\right)^2 - 0.005 \left(\frac{P}{H_o}\right)^3$
2:3		$\frac{C_e}{C_o} = 1.034 - 0.052 \left(\frac{P}{H_o}\right) + 0.032 \left(\frac{P}{H_o}\right)^2 - 0.008 \left(\frac{P}{H_o}\right)^3$
3:3		$\frac{C_e}{C_o} = 1.058 - 0.137 \left(\frac{P}{H_o}\right) + 0.108 \left(\frac{P}{H_o}\right)^2 - 0.030 \left(\frac{P}{H_o}\right)^3$



Şekil 4. Kapaklı dolusavak boykesiti ve debi bağıntısı

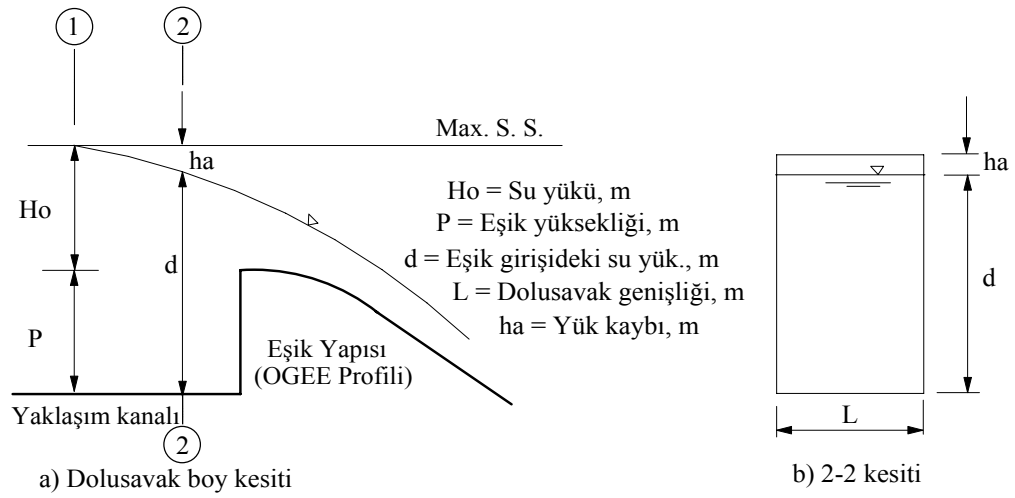


Şekil 5. Kapaklı dolusavaklarda kapak altındaki akımın deşarj katsayısı değişimi (USBR, 1987)

Tablo 3 kapaklı dolusavaklarda kapak altındaki akım için deşarj katsayısının değişim eğrisi veren denklemi ifade etmektedir.

Tablo 3. Kapaklı dolusavaklarda deşarj katsayısını veren denklemler

Durum	Denklem (Şekil 5 için)
$\frac{d}{H_1} < 0.2$ için	$C = 0.734 - 0.136 \left(\frac{d}{H_1}\right) - 0.340 \left(\frac{d}{H_1}\right)^2$
$\frac{d}{H_1} \geq 0.2$ için	$C = 0.720 - 0.104 \left(\frac{d}{H_1}\right)$



Şekil 6. Dolusavak eşik yapısı girişinde su derinliği

3. DOLUSAVAK EŞİK YAPISI GİRİŞİNDE SU DERİNLİĞİNİN (D)

HESAPLANMASI

Dolusavak deşarj katsayısının tayininden sonra hesaplanacak ilk durum dolusavak eşik yapısı girişindeki su derinliğidir. Şekil 6'da bir dolusavak yapısının yaklaşım kanalı ve eşik yapısı giriş ünitesinin genel bir en kesiti verilmektedir.

Dolusavak eşik yapısı girişinde su derinliğinin (d) hesaplanması için bazı hidrolik kabuller yapılmaktadır.

Bu kabuller; i) Sürtünme kaybı, $h_f = 0$ ii) Hız

yükü, $h_a = \frac{(V_2)^2}{2g}$ olmak üzere:

Süreklilik denklemi kullanılırsa;

Debi, $Q = V_2 \cdot A$; Hız, $V_2 = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{(d.L)}$;

$(V_2)^2 = \frac{Q^2}{d^2.L^2}$ şeklinde olur.

Şekil 6'da belirtilen 1 ve 2 no'lu kesitler arasında enerji denklemi yazılırsa;

$$(H_o+P) = (d+h_a) = \left(d + \frac{Q^2}{d^2.L^2.2g}\right)$$

elde edilir. Bu denklem düzenlenirse;

$$\left(d + \frac{Q^2}{d^2.L^2.2g}\right) - (H_o+P) = 0$$

$$f(d) = \left(d + \frac{Q^2}{d^2.L^2.2g}\right) - (H_o+P) \text{ olur.}$$

Çoğu uygulamalarda elde edilen bu denklemin "deneme-yanılma" yoluyla çözümü bulunabilmesine rağmen Newton-Rapson iterasyon tekniği gibi bir sayısal analiz metodunu

kullanabiliriz. Bu metoda göre; $x_1 = x_0 - \frac{f(x_0)}{f'(x_0)}$,

$$x_2 = x_1 - \frac{f(x_1)}{f'(x_1)},$$

$$x_3 = x_2 - \frac{f(x_2)}{f'(x_2)}, \dots, x_{(n+1)} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}$$

şeklindeki tanımlamalar adım adım iterasyon yaklaşımını ifade etmektedir. Burada, $f(x)$ fonksiyonu verilen denklemi, $f'(x)$ ise fonksiyonun 1. türevini ve n değeri de iterasyon sayısını göstermektedir. İterasyonlar arasındaki hata miktarı ise;

Hata = $|x_{(n+1)} - x_n|$ şeklinde tanımlanmaktadır.

İstenilen hata miktarına göre (tolerans) iterasyon işlemi yürütülür. Bu iterasyon işlemlerinin elle yapılması uzun ve yorucu bir çalışmadır.

Bu nedenle, artık yaygınlaşan bilgisayar kullanımı bu işlemleri bilgisayar yardımı ile yapmak için büyük ve önemli bir kolaylık sağlamaktadır.

Bilgisayar programlama dili yardımıyla hızlı bir çözüme ulaşmak için Excel makro veya Visual Basic programlama dili kullanılabilir. Aşağıda Excel Makro yardımıyla böyle bir çözüme ait program dizisi verilmektedir.

1. Bilgisayar programı

Q= Proje debisi, m³/s
P= Eşik yüksekliği, m
H= Proje yükü, m
L= Dolusavak uzunluğu, m

Q= Range ("sayfa1!B3")
P= Range ("sayfa1!B4")
H= Range ("sayfa1!B5")
L= Range ("sayfa1!B6")

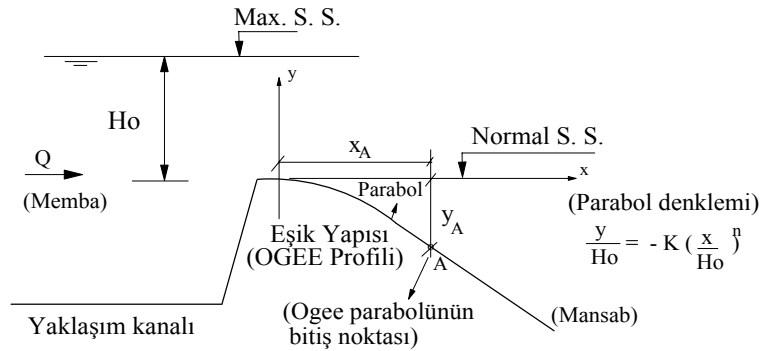
D1= 1000
For D= 0.0001 To 25 Step 0.0001
F1= D + (Q ^ 2 / (D ^ 2 * L ^ 2 * 19.62))
F2= (H + P)
P1= F1 + 0.0009
P2= F1 - 0.0009

```
If P1 > F2 then
If P2 < F2 then
D2 = D
If D1 > D2 then
D1 = D
Range ("E8").select
ActiveCell.FormulaR1C1 = D1
End if
Range ("F8").select
ActiveCell.FormulaR1C1 = D2
End if
End if
Next D
MsgBox ("İki kök bulunur. Akım nehir rejiminde olduğundan büyük olan değer kullanılır.")
End sub
```

4. DOLUSAVAK EŞİK PROFİLİ DENKLEMİNİN BELİRLENMESİ

Dolusavak eşik profili, mambadan mansaba doğru olan akımın düzgün bir şekilde

geçişini sağlamak gayesi için tasarımları. Dolusavaklarda bu geçişler OGEE olarak adlandırılan parabolik profilli geçişler ile sağlanmaktadır. Şekil 7'de böyle bir profil ve tasarım elemanları gösterilmektedir.



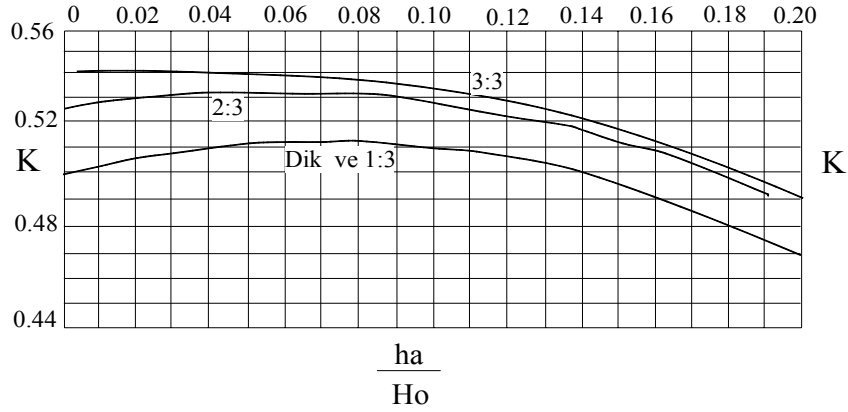
Şekil 7. OGEE Profili

En çok kullanılan profillerden biri olan OGEE parabolik geçişli profil $\frac{y}{H_o} = -K \left(\frac{x}{H_o}\right)^n$ şeklindeki bir denklem ile tanımlanmaktadır. Bu

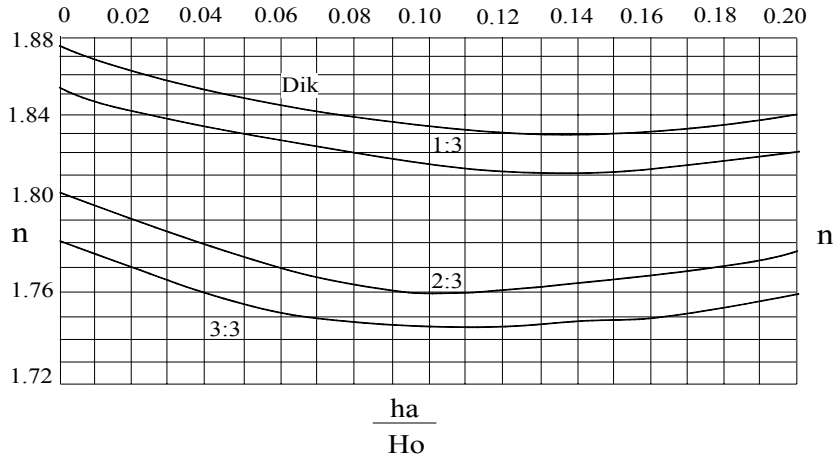
profil, dolusavak eşik yapısı memba yüzü eğimine bağlı olarak tasarımları.

OGEE profilli dolusavaklar, eşik yapısı memba yüzü eğimine bağlı olarak yapılan çalışmalar sonucu elde edilen grafiklerden

yararlanarak projelen- dirilmektedir (Şekil 8a ve 8b).



a) OGEE profilinin K katsayısı değerleri



b) OGEE profilinin n katsayısı değerleri

Şekil 8. OGEE Profilinde kullanılan K ve n denklem katsayılarının değişimi (USBR, 1987)

OGEE profilinin tayini için bu grafiklerin okunmasının haricinde, eşik yapısı memba yüzü eğimine bağlı olarak profil eğrilerinin fonksiyonlarını veren eğri denklemlerini kullanmak daha pratik olacaktır (Tablo 4).

5. DOLUSAVAK DEŞARJ KATSAYISINDA AZALMA OLUP OLMADIĞININ KONTROLÜ (APRON TESİRİ)

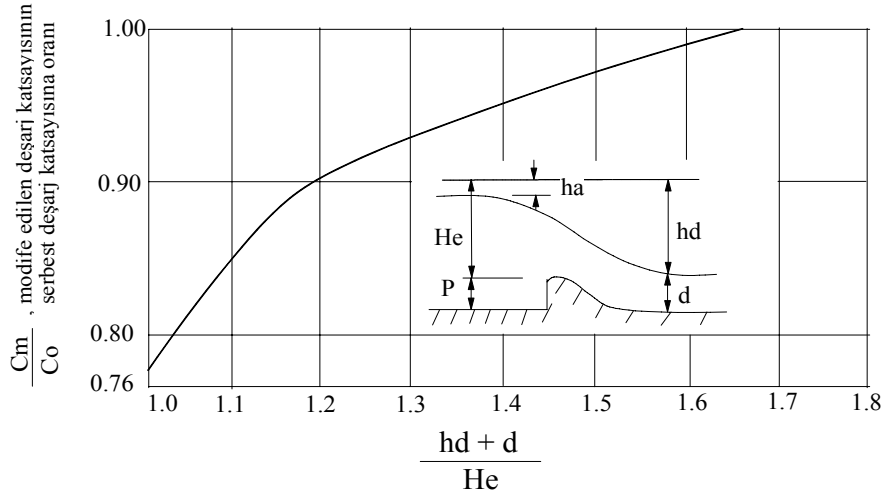
Dolusavak deşarj katsayısında azalma olup-olmadığının kontrolü (Apron tesiri) için Şekil 9'da verilen grafikten yararlanılır. Pratikte apron tesirini azaltmak için deşarj katsayıları oranının yani modife edilmiş deşarj katsayısının serbest

deşarj katsayısına oranının $(\frac{C_m}{C_o})$ 1.00 değerine çok yakın alınması uygun olacaktır. Bu doğrultuda $(\frac{h_d + d}{H_e})$ oranının Şekil 9'da verilen grafik üzerinde görülebileceği gibi 1.50 ~ 1.65 değerleri arasında seçilmesi yeterlidir. Böylece, deşarj katsayıları oranı 0.98 ~ 1.00 arasında değişim gösterir.

Dolusavak deşarj katsayısında azalma olup-olmadığının kontrolü (apron tesiri) için Şekil 9'da verilen eğrinin denklemleri Tablo 5'deki gibi ifade edilebilir.

Tablo 4. Eşik eğimine göre OGEE profilinin tasarımı için K ve n katsayılarını veren denklemler

Eşik Memba Yüzü Eğimi	Denklemler Katsayısı	Denklemler (Şekil 8a için)
Dik ve 1:3	K	$K = 0.499 + 0.305 \left(\frac{h_a}{H_o}\right) - 1.567 \left(\frac{h_a}{H_o}\right)^2 - 3.977 \left(\frac{h_a}{H_o}\right)^3$
2:3		$K = 0.526 + 0.159 \left(\frac{h_a}{H_o}\right) - 1.299 \left(\frac{h_a}{H_o}\right)^2 - 2.636 \left(\frac{h_a}{H_o}\right)^3$
3:3		$K = 0.539 + 0.0108 \left(\frac{h_a}{H_o}\right) - 0.214 \left(\frac{h_a}{H_o}\right)^2 - 5.498 \left(\frac{h_a}{H_o}\right)^3$
Eşik Memba Yüzü Eğimi	Denklemler Katsayısı	Denklemler (Şekil 8b için)
Dik	n	$n = 1.871 - 0.560 \left(\frac{h_a}{H_o}\right) + 1.789 \left(\frac{h_a}{H_o}\right)^2 + 0.756 \left(\frac{h_a}{H_o}\right)^3$
1:3		$n = 1.851 - 0.589 \left(\frac{h_a}{H_o}\right) + 2.317 \left(\frac{h_a}{H_o}\right)^2 - 1.083 \left(\frac{h_a}{H_o}\right)^3$
2:3		$n = 1.800 - 0.723 \left(\frac{h_a}{H_o}\right) + 3.976 \left(\frac{h_a}{H_o}\right)^2 - 5.195 \left(\frac{h_a}{H_o}\right)^3$
3:3		$n = 1.781 - 0.639 \left(\frac{h_a}{H_o}\right) + 3.377 \left(\frac{h_a}{H_o}\right)^2 - 3.300 \left(\frac{h_a}{H_o}\right)^3$



Şekil 9. Apron tesirinden dolayı deşarj katsayısının değişimi (USBR, 1987)

Tablo 5. Apron tesiri için deşarj katsayısını veren denklemler

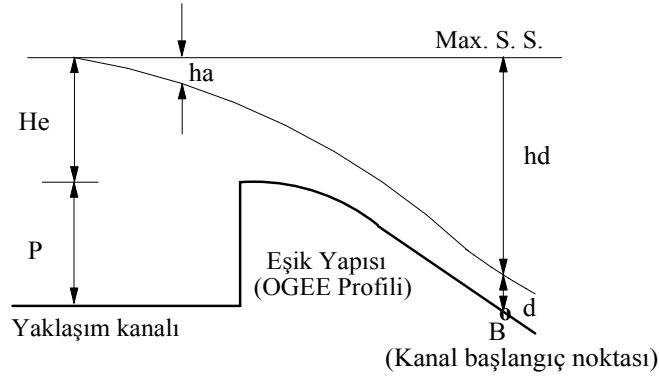
Durum	Denklemler
Dolusavakta Apron tesiri (Şekil 9)	$\frac{C_m}{C_o} = -2.03 + 5.46 \left[\frac{h_d + d}{H_e}\right] - 3.36 \left[\frac{h_d + d}{H_e}\right]^2 + 0.71 \left[\frac{h_d + d}{H_e}\right]^3$

6. DOLUSAVAK DEŞARJ KANALI BAŞLANGIÇ KOTUNUN HESAPLANMASI

Dolusavak eşik profilinin tasarımından sonra deşarj kanalı başlangıç kotunun hesabına geçilir (Şekil 10). Apron tesirinin olmaması

yönünde yapılan analiz sonucu $(\frac{h_d + d}{H_e}) =$

1.50 ~ 1.65



Şekil 10. Dolusavak kanalının başlangıç noktası

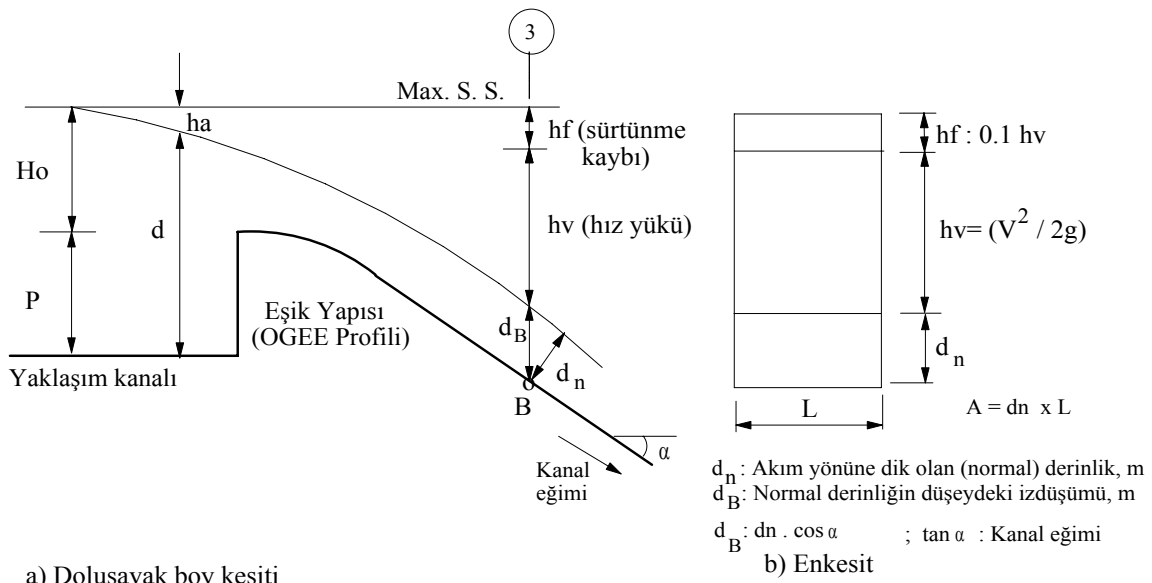
yaklaşımı gereği ortalama bir değer olarak;

$$(h_d + d) = (1.6) H_e \quad \text{alınabilir.}$$

Burada, H_e taşkın öteleme hesabı sonucu bulunan Max. S. S.'ne göre seçilen H_0 değeridir.

7. DOLUSAVAK DEŞARJ KANALI BAŞLANGIÇ SU DERİNLİĞİNİN (d_n) HESAPLANMASI

Dolusavak deşarj kanalı başlangıcında su derinliğinin şematik bir görünümü Şekil 11' de gösterilmiştir.



a) Dolusavak boy kesiti

Şekil 11. Dolusavak deşarj kanalı başlangıcında su derinliği

Şekilde gösterilen 3 no'lu kesite göre hidrolik olarak bir analiz yapılırsa;

(Max. S.S – Kot B) = (d_B + h_v + h_f) olur. Bu bağıntı süreklilik denkleminde göre yeniden düzenlenirse;

$$\text{Debi, } Q = V_3 \cdot A ; \text{ Hız, } V_3 = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{(d_n \cdot L)} ;$$

$$(V_3)^2 = \frac{Q^2}{d_n^2 \cdot L^2} \text{ olur.}$$

$$\begin{aligned} (\text{Max. S.S – Kot B}) &= (d_B + h_v + h_f) \\ &= (d_n \cdot \cos \alpha) + (0.1 h_v) + \left(\frac{Q^2}{d_n^2 \cdot L^2 \cdot 2g} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (\text{Max. S.S – Kot B}) &= (d_n \cdot \cos \alpha) + 1.1 * \\ &\left(\frac{Q^2}{d_n^2 \cdot L^2 \cdot 2g} \right) \end{aligned}$$

2. Bilgisayar programı

Q= Proje debisi, m³/s
L= Dolusavak uzunluğu, m
E= Kanal eğimi
M= Max. su seviyesi kotu
KB= Kanal başlangıç noktası kotu

Q= Range ("sayfa3!B3")
L= Range ("sayfa3!B4")
E= Range ("sayfa3!B5")
M= Range ("sayfa3!B6")
KB = Range ("sayfa3!B7")

D1= 1000
For D= 0.0001 To 10 Step 0.0001
F1= D * (Cos (Atn (E))) + 1.1 * (Q ^ 2 / (D ^ 2 * L ^ 2 * 19.62))
F2= (M - KB)

8. DOLUSAVAK EŞİK YAPISI DAİRESEL KURP HESABI

Dolusavaklarda Ogee yapısından sonra alınan akımın deşarj edileceği dolusavak deşarj kanalının tasarımı ön plana çıkar. Dolusavağın yapılacağı yerin jeolojik ve arazi yapısına bağlı olarak seçilen kanal eğimi

$$\begin{aligned} f(d) &= (\text{Max. S.S – Kot B}) - (d_n \cdot \cos \alpha) - 1.1 * \\ &\left(\frac{Q^2}{d_n^2 \cdot L^2 \cdot 2g} \right) \text{ şeklinde bir ifade elde edilir.} \end{aligned}$$

Çoğu uygulamalarda elde edilen bu denklemin "deneme-yanılma" yoluyla çözümü bulunabilmesine rağmen Newton-Rapson iterasyon tekniği gibi bir sayısal analiz metodu kullanabiliriz.

Bu metotlarda, iterasyon işlemlerinin elle yapılması uzun ve yorucu olmaktadır. Bilgisayar ve bilgisayar programlama dilleri yardımıyla hızlı bir çözüme ulaşmak için Excel makro veya Visual Basic programlama dili kullanılabilir. Aşağıda Excel Makro yardımıyla yapılan böyle bir çözüme ait program dizisi verilmektedir.

```
P1= F1 + 0.002
P2= F1 – 0.002
If P1 > F2 then
If P2 < F2 then
D2 = D
If D1 > D2 then
D1 = D
Range ( "E8").select
ActiveCell.FormulaR1C1 = D1
End if
Range ( "F8").select
ActiveCell.FormulaR1C1 = D2
End if
End if
Next D
MsgBox ( "İki kök bulunur. Akım sel rejiminde olduğundan küçük olan değer kullanılır." )
End sub
```

doğrultusunda Ogee ile kanalın uygun bir biçimde bağlanması gerekir. Bu amaç için Ogee ile kanal başlangıcı arasında bir dairesel düşey kurp projelendirilir. Şekil 12'de dolusavak Ogee yapısı ve deşarj kanalı başlangıcı arasında bir dairesel kurbun yerleşimi ve proje elemanları gösterilmiştir.


```

BE= A * n * (X ^ (n-1))
F2= ABS ((KB + R * (Cos (Atn (E)))) - R * (Cos
(Atn (BE)))
P1= F1 + 0.001
P2= F1 - 0.001
If P1 > F2 then
If P2 < F2 then
X2 = X
If X1 > X2 then
X1 = X
End if

```

```

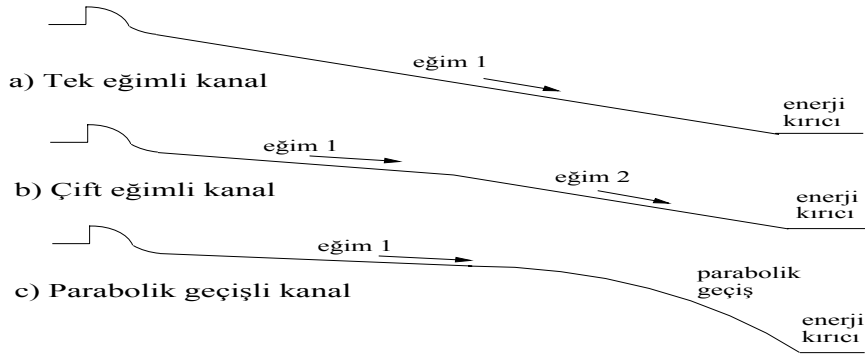
End if
End if
Next X
Range ("E10").select
ActiveCell.FormulaR1C1 = X1
Y=-A* (X1) ^ n
KOT= NS-Y
Range ("G10").select
ActiveCell.FormulaR1C1 = KOT
End sub

```

9. DOLUSAVAK DEŞARJ KANALI

Dolusavaklarda eşik yapısı sonrasında yapılan deşarj kanal tipleri Şekil 13'de gösterilmiştir. Bu kanal tipleri, arazi ve zemin

durumuna göre tek eğimli, çift eğimli ve parabolik geçişli olarak sınıflandırılabilir. Çift eğimli kanal durumunda eğimler arası geçişte düşey kurp tasarımına gerek duyulur.

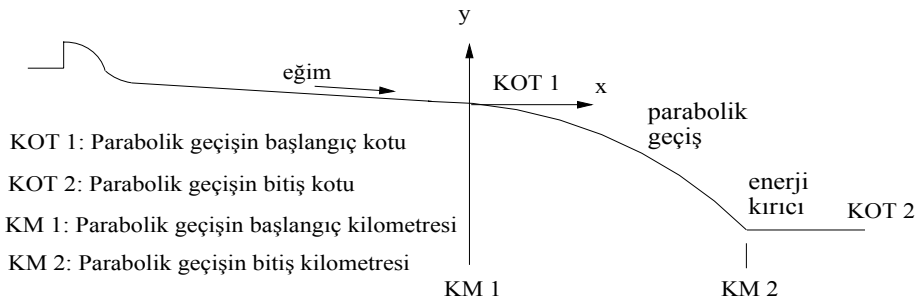


Şekil 13. Dolusavak deşarj kanalının projelendirilme tipleri

9.1 DOLUSAVAK DEŞARJ KANALLARINDA PARABOLİK GEÇİŞLER

Bazı dolusavak yapılarında, deşarj kanalı sonunda inşa edilecek olan enerji kırıcı yapıya ki bu yapı enerji kırıcı havuz olarak tasarlanması

halinde mevcut kanal eğimi bu yapıya ulaşmakta uyum sağlamayabilir. Bu durumda, mevcut deşarj kanalı enerji kırıcı havuz yapısına yakın bir mesafede (örneğin: 50 m) parabolik bir geçiş ile bağlanır (Şekil 14).



Şekil 14. Dolusavak deşarj kanalında parabolik geçiş

Sayısal bir örnek :

Parabolik geçişte parabol denkleminin bulunması gereklidir. Bir parabolün, parabol denklemi ve sınır şartları aşağıdaki gibi verilebilir.

Parabol denklemi, $y = A x^2 + B x + C$ şeklinde ifade edilmektedir.

Parabolün sınır şartları:

$$1) \left. \begin{array}{l} x = 0 \\ y = 0 \end{array} \right\} c = 0$$

2) Taban eğimi hesabı için denklemin türevi alınır, $y' = 2A x + B$

$$\left. \begin{array}{l} x = 0 \\ y' = B \end{array} \right\} B = - (\text{eğim})$$

3) Parabolik geçişte kotların hesaplanması için,

$$\begin{aligned} x &= \text{KM 2} - \text{KM 1} \\ y &= \text{KOT 2} - \text{KOT 1} \end{aligned}$$

Bu sınır değerler, parabol denkleminde yerine yazılırsa, A katsayısı bulunur.

Parabolün sınır şartları:

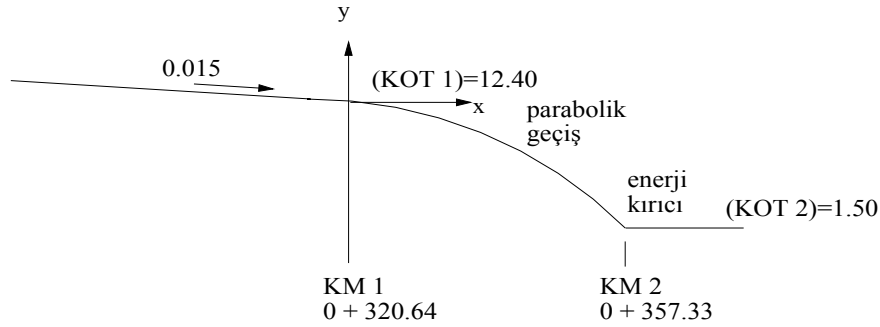
$$1) \left. \begin{array}{l} x = 0 \\ y = 0 \end{array} \right\} c = 0$$

2) Taban eğimi hesabı için denklemin türevi alınır, $y' = 2A x + B = \tan \alpha$

$$\left. \begin{array}{l} x = 0 \\ y' = B \end{array} \right\} B = - (0.015)$$

3) Parabolik geçişte kotların hesaplanması için,

$$x = \text{KM 2} - \text{KM 1} = 357.33 - 320.64 = 36.69 \text{ m}$$



Şekil 15. Dolusavak deşarj kanalında parabolik geçiş

$y = \text{KOT 2} - \text{KOT 1} = 1.50 - 12.40 = - 10.90 \text{ m}$
(buradaki işaret parabolün yönünü tanımlamaktadır)

Bu değerleri, $y = A x^2 + B x + C$ parabol denkleminde yerine yazalım.

$-10.90 = A (36.69)^2 + (-0.015) \cdot (36.69)$ bu denklemden A değeri çözümlenirse,

$A = - 0.0076886$ bulunur.

Bu durumda parabol denklemini,

$y = - 0.0076886 x^2 - 0.015 x$ veya $-y = 0.0076886 x^2 + 0.015 x$ şeklinde elde edilir.

Parabol üzerindeki değerleri hesaplamak istersek,

a) Kot hesabı için, $-y = 0.0076886 x^2 + 0.015 x$

b) Taban eğimi için, $y' = 2A x + B = \tan \alpha$

$-y' = 2 * 0.0076886 x + 0.015$; $-y' = 0.0153772 x + 0.015$ elde edilir.

Tablo 6. Parabolün tasarımına ait hesap özeti

Mesafe (x), m	KM (kilometre)	KOT KOT=(KOT 1 - y)	Taban eğimi ($y' = \tan \alpha$)	Açı (α), derece	Cos α
0.00	0+320.64	12.40	0.015000	0.859	0.999887
10.00	0+330.64	11.48	0.168772	9.570	0.986083
20.00	0+340.64	9.02	0.322544	17.87	0.951755
30.00	0+350.64	5.03	0.476315	25.46	0.902885
36.69	0+357.33	1.50	0.579189	30.07	0.865413

Kaynaklar

1. Şentürk, Fuat, 1988. Barajların Projelendirilmesinde Hidrolik Esaslar, DSİ yayınları
2. USBR, 1987. Design of Small Dams, third edition, Washington: Water Resources Technical Publication.
3. Yanmaz, A.Melih, 1997. Applied Water Resources Engineering, METU press.
4. Griffiths, D.V., Smith, I.M., 1991. Numerical Methods for Engineers. CRC Pres, Boston.
5. French, R. H., 1985. Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill
6. D.L. Fread and T. E. Harbaugh, 1971. Open-Channel Profiles by Newton's Iteration Technique, Journal of Hydrology, 13, 78-80.
7. www.excel.gen.tr

SONDAJ KUYULARINDAKİ BASINÇSIZ PERMEABİLİTE DENEYLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. Nuri KORKMAZ*
Jeoloji Yük. Müh.

ÖZET

Mühendislik çalışmalarında yeraltısuyunun önemi, su temini yönünden yeraltısularından faydalanma ve yeraltısularından korunma olmak üzere iki temel konuda toplanmaktadır. Yapıların inşa edileceği alanlardaki jeolojik teşekküllerin hidrolik karakteristikleri ve ayrıca yeraltısuyu bulunan alanlarda yeraltısuyunun miktar ve kalitesinin, aylık, mevsimlik, yıllık ve uzun devreli yeraltısuyu seviye değişimlerinin, su ve zeminin korozif özelliği olup olmadığının belirlenmemesi ve gerekli önlemlerin alınmaması halinde projelendirme ve inşaatın gerçekleştirilmesi durumunda sızma, drenaj, çevre kirliliği, sıvılaşma, korozyon, zemin çökmesi veya kabarması, zemin emniyet gerilmesi azalması gibi çok önemli problemlerle karşılaşmaktadır.

Bu yazıda jeolojik teşekküllerin hidrolik karakteristiklerini belirleyen en önemli katsayılardan biri olan permeabilite (hidrolik kondüktivite) katsayısının (K), özellikle alüvyon, birikinti konisi ve yamaç molozu gibi formasyonlarda açılan sondaj kuyularında uygulanan basınçsız (gravite) permeabilite deneylerinden hesaplanması, yeni gelişmeler de dikkate alınarak, teori ve uygulamalar halinde verilmiştir.

1. JEOLJİK TEŞEKKÜLLERİN DOYGUNLUK DURUMUNA GÖRE BÖLGELERİ

Jeolojik teşekküller, derinliğe ve su taşıma durumuna göre yüzeyden derinlere doğru 3 bölgeye ayrılmaktadır.

1. Bölge (Zon 1), jeolojik teşekkülün su taşımadığı kuru bölgesidir (Şekil.1). Bu bölge tabanı; yeraltısuyu seviyesi, kuyudaki sabit su seviyesi ve sondaj kuyusu karakteristiklerinden ($T_{u,A}$) faydalanılarak Şekil.2'deki grafikten tayin edilir.

2. Bölge (Zon 2), 1. bölge tabanı ile su tablası arasında kalan kapiler saçak bölgesidir (Şekil.1). Bu bölge kalınlığı kumlarda 12.5 cm – 40.0 cm arasında değişmekte, siltlerde 100 cm civarındadır. Bu bölge tavanı yeraltısuyu seviyesi (su tablası), kuyudaki sabit su seviyesi ve sondaj kuyusu karakteristiklerinden ($T_{u,A}$) faydalanılarak Şekil.2'deki grafikten tayin edilir.

3. Bölge (Zon 3), 2. bölge ile geçirimsiz temel kayalık arasında kalan suya doymuş ve bir kaynak olarak su verme özelliğine sahip olan serbest akifer bölgesidir (Şekil.1).

* TEMSON Sondajcılık İnş. Taah. Tic. ve San. Ltd.
Şti. Büklüm Sok. No:47/5 K.dere – ANKARA

2. PERMEABİLİTE KATSAYISININ HESAPLANMASI

Özellikle alüvyon, birikinti konisi, yamaç molozu gibi formasyonlarda açılan sondaj kuyularında uygulanan basınçsız (gravite) permeabilite deneylerinden elde edilen bilgilerden faydalanılarak deney kısmını temsil eden permeabilite (hidrolik kondüktivite) katsayısı, K, sıhhatli bir şekilde hesaplanabilir.

Basınçsız permeabilite deneyinin prensibi, açılan sondaj kuyusunun deney kısmındaki sondaj işlemi basıncından dolayı formasyona nüfuz etmiş olan çamur, kırıntı gibi artıkların, kuyudan berrak su gelinceye kadar, temiz su ile kuyu çalkalanarak yıkandıktan sonra, kuyu içindeki su seviyesini sabit tutarak perfore edilmiş borudan formasyona sızmayı deney süresince devamlı ve serbestçe temiz su ilavesi ile sağlamaktadır.

Bu deneyde, kuyudaki su seviyesi ve sızan su miktarı beşer dakika aralıklarla, en az 3 defa ölçülmelidir. Kuyuda sabit tutulan su seviyesi rasat borusu içinden ölçülmeli ve ölçümlerdeki hata en çok 5 mm olmalıdır.

Deney tamamlandıktan sonra kuyu 2 m daha derinleştirilerek içerisi yukarıda belirtildiği gibi temiz su ile yıkanarak temizlenir ve basınçsız permeabilite deneyi tekrarlanır. Kuyunun son derinliğine kadar yukarıda belirtilen basınçsız permeabilite deneyine, ikişer metrelik kademeler halinde, devam edilir. Bu deneylerden elde edilen bilgilerden her kademeyi temsil eden permeabilite (hidrolik kondüktivite) katsayısı K, değeri jeolojik teşekkülün doygunluk durumuna göre 1,2,3. Bölgeleri temsil eden aşağıda belirtilen bağıntılardan hesaplanır (Şekil.1).

1. Bölge (Zon 1) için (Şekil.1) permeabilite katsayısı (K) hesabı:

$$K = \frac{1.67 \times 10^{-3} Q}{C_u r_e H} \quad (1)$$

2. Bölge (Zon 2) için (Şekil.1) permeabilite katsayısı (K) hesabı:

$$K = \frac{3.34 \times 10^{-3} Q}{[(C_s + 4 r_1 / r_e) r_e] [T_u + H - A]} \quad (2)$$

3. Bölge (Zon 3) için (Şekil.1) permeabilite katsayısı (K) hesabı:

$$K = \frac{1.67 \times 10^{-3} Q}{(C_s + 4 r_1 / r_e) r_e H} \quad (3)$$

Permeabilite deneyinin, kuyu teçhizini gerektirmeyen sağlam kayaç ortamlarında açılan teçhizsiz kuyularda gerçekleştirilmesi halinde (2) ve (3) bağıntılarında $r_1 / r_e = 1$ ve $(C_s + 4 r_1 / r_e) = C_s + 4$ alınmalıdır. 2. ve 3. bölgelerde açılan kuyularda, kuyu tabanı sondaj şartlarına bağlı olarak bir kil birikintisi ile kapatılmış ise (2) ve (3) bağıntılarındaki $4 r_1 / r_e$ faktörü dikkate alınmamalıdır.

Burada,

K= Permeabilite (hidrolik kondüktivite) katsayısı, cm/s

Q= Sızma debisi, l/dak

H= 1. ve 2. Bölgelerde kuyu tabanına göre kuyudaki sabit su seviyesi yüksekliği (Şekil.1), 3. Bölgede ise su tablasına göre kuyudaki sabit su seviyesi yüksekliği*, m

A= Delikli teçhiz borusu uzunluğu, m. (S ≥ 5A, A ≥ 10 r₁)

r₁= Teçhiz borusu dış yarıçapı (Teçhizsiz kuyularda kuyu yarıçapı), m

r_e= Kuyu efektif yarıçapı = r₁(Toplam delik alanı)/(Delikli boru alanı), m

(Kuyu teçhizini gerektirmeyen sağlam kayaç ortamlarında açılan teçhizsiz kuyularda, kuyu yarıçapı, r₁= r_e)

C_u ve C_s = Kondüktivite katsayıları (Şekil.3, Şekil.4).

T_u= Su tablasına göre kuyudaki sabit su seviyesi yüksekliği, m

a= Toplam delik alanı (a=π r_n² N),m²

N= Delikli teçhiz borusundaki delik sayısı

r_n= Delik yarıçapı, m

S= Serbest akifer kalınlığı, m

* Bazı yayınlarda H değeri 3. Bölgede de 1. ve 2. Bölgede olduğu gibi kuyu tabanına göre sabit su seviyesi yüksekliği olarak alınmakta ve permeabilite katsayısı (K) yanlış hesaplanmaktadır. 3. Bölgedeki bütün deneylerde H değeri, su tablasına göre kuyudaki sabit su seviyesi yüksekliğidir.

$$X = \frac{100 H}{T_u} = \text{Doymamış tabaka yüzdesi}$$

U= Su tablası derinliği, m
D= Kuyu tabanı derinliği, m'dir.

3. UYGULAMALAR

1. Bölgede Permeabilite Katsayısı Hesabı

Aşağıda Havran Barajı SK-101 sondaj kuyusunda basınçsız permeabilite deneyinden elde edilen değerler belirtilmiş ve deney kısmının permeabilite katsayısı hesaplanmıştır.

Kuyu derinliği, D=3.0 m

Teçhiz borusu dış yarıçapı, $r_1=5.08\text{cm}=0.0508\text{ m}$

Deney kısmının üst ve alt seviyesi derinlikleri= 1.5 m-3.0 m

Delikli boru boyu, A=1.5 m

Delikli borudaki delik sayısı, N=270 adet

Delik yarıçapı, $r_n= 3\text{ mm}=0.003\text{ m}$

Yeraltısuyu seviyesi, U=8.0 m

Kuyudaki sabit su seviyesi=0.1 m

Kuyu tabanına göre kuyudaki sabit su seviyesi yüksekliği, H=2.9 m

Kuyuda 20 dakikada sızan su hacmi=22 l

Sızma debisi, Q=1.1 l/dak.

Toplam delik alanı = $\pi (0.003)^2 (270)=0.00763\text{ m}^2$

Delikli boru alanı = $2 \pi r_1 A = 2 \pi (0.0508) (1.5) = 0.4785\text{ m}^2$

$$r_e = \frac{0.00763}{0.4785} (0.0508) = 0.00081\text{ m}$$

$$T_u = U - D + H = 8.0 - 3.0 + 2.9 = 7.9\text{ m}$$

$$\frac{T_u}{A} = \frac{7.9}{1.5} = 5.3$$

$$\frac{100 X H}{100 \times 2.9} = 5.3$$

$$X = \frac{5.3 \times 7.9}{100} = 0.37 = \%37$$

$$\text{Şekil. 2'den } \frac{T_u}{A} = 5.3$$

ve X=%37 için deney kısmının 1. Bölgede (Zon 1) olduğu belirlenir.

$$\frac{H}{r_e} = \frac{2.9}{0.00081} = 3580$$

$$\frac{A}{H} = \frac{1.5}{2.9} = 0.517$$

$$\text{Şekil.3'den } \frac{H}{r_e} = 3580$$

$$\text{ve } \frac{A}{H} = 0.517 \text{ için } C_u = 2100 \text{ bulunur.}$$

Belirlenen değerlere göre sondaj kuyusundaki deney kısmının permeabilite katsayısı (K), (1) bağıntısından hesaplanır.

$$K = \frac{1.67 \times 10^{-3} \times 1.1}{2100 \times 0.00081 \times 2.9} = 3.72 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$$

2. Bölgede Permeabilite Katsayısı Hesabı

Aşağıda bir basınçsız permeabilite deneyinden elde edilen değerler belirtilmiştir.

Q= 169.8 l/dak.

H= 3.05 m

A= 1.52 m

$r_1=0.0762\text{ m}$

D= 12.19 m

U= 15.24 m

N= 128 adet

$r_n= 6.35\text{ mm} = 0.00635\text{ m}$

Toplam delik alanı, $a = \pi (0.00635)^2 (128) = 0.0162\text{ m}^2$

Delikli boru alanı = $2 \pi r_1 A = 2 \pi (0.0762) (1.52) = 0.7274\text{ m}^2$

$\frac{0.0162}{0.7274}$

$r_e = \frac{0.0162}{0.7274} (0.0762) = 0.001697\text{ m}$

$\frac{0.0162}{0.7274}$

$T_u = U - D + H = 15.24 - 12.19 + 3.05 = 6.10\text{ m}$

$$\frac{T_u}{A} = \frac{6.10}{1.52}$$

$$\frac{A}{1.52} = 4.01$$

$$X = \frac{100 H}{T_u} = \frac{100 \times 3.05}{6.10} = \%50$$

$$\text{Şekil.2'den } \frac{T_u}{A} = 4.01$$

ve X=% 50 için deney kısmının 2. Bölgede (Zon 2) olduğu belirlenir.

$$\frac{A}{r_e} = 896$$

$$r_e = 0.001697 \text{ m}$$

$$\text{Şekil.4'den } \frac{A}{r_e} = 896 \text{ için } C_s=800 \text{ bulunur.}$$

Belirlenen değerlere göre sondaj kuyusundaki deney kısmının permeabilite katsayısı (K) ,(2) bağıntısından hesaplanır.

$$K = \frac{3.34 \times 10^{-3} \times 169.8}{4 \times 0.0762 \left[\left(800 + \frac{A}{r_e} \right) 0.001697 \right] \left[6.10 + 3.05 - 1.52 \right]}$$

$$K = \frac{567.132 \times 10^{-3}}{1.6624 \times 7.63} = 4.47 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$$

3. Bölgede Permeabilite Katsayısı Hesabı

Aşağıda Medar Barajı SK-101 sondaj kuyusunda basınçsız permeabilite deneyinden elde edilen değerler belirtilmiş ve deney kısmının permeabilite katsayısı hesaplanmıştır.

Kuyu Derinliği, D=7.5 m

Teçhiz borusu dış yarıçapı, r₁= 5.08 cm=0.0508 m

Deney kısmının üst ve alt seviyesi derinlikleri= 6.0-7.5 m

Delikli boru boyu, A= 1.50 m

Delikli borudaki delik adedi, N=420 adet

Delik yarıçapı, r_n =3 mm=0.003 m

Yeraltısuyu seviyesi, U=5.50 m

Kuyudaki sabit su seviyesi= 0.20 m

Yeraltısuyu seviyesine göre kuyudaki sabit su seviyesi yüksekliği, H=5.30 m

Kuyuda 15 dakikada sızan su hacmi = 97 l

Sızma debisi, Q=6.46 l/dak.

Toplam delik alanı=π (0.003)² (420)=0.01187 m²

Delikli boru alanı = 2 π r₁A =2 π (0.0508) (1.5) = 0.4785 m²

$$r_e = \frac{0.01187}{0.4785} (0.0508) = 0.00126 \text{ m}$$

$$\frac{A}{r_e} = 1190$$

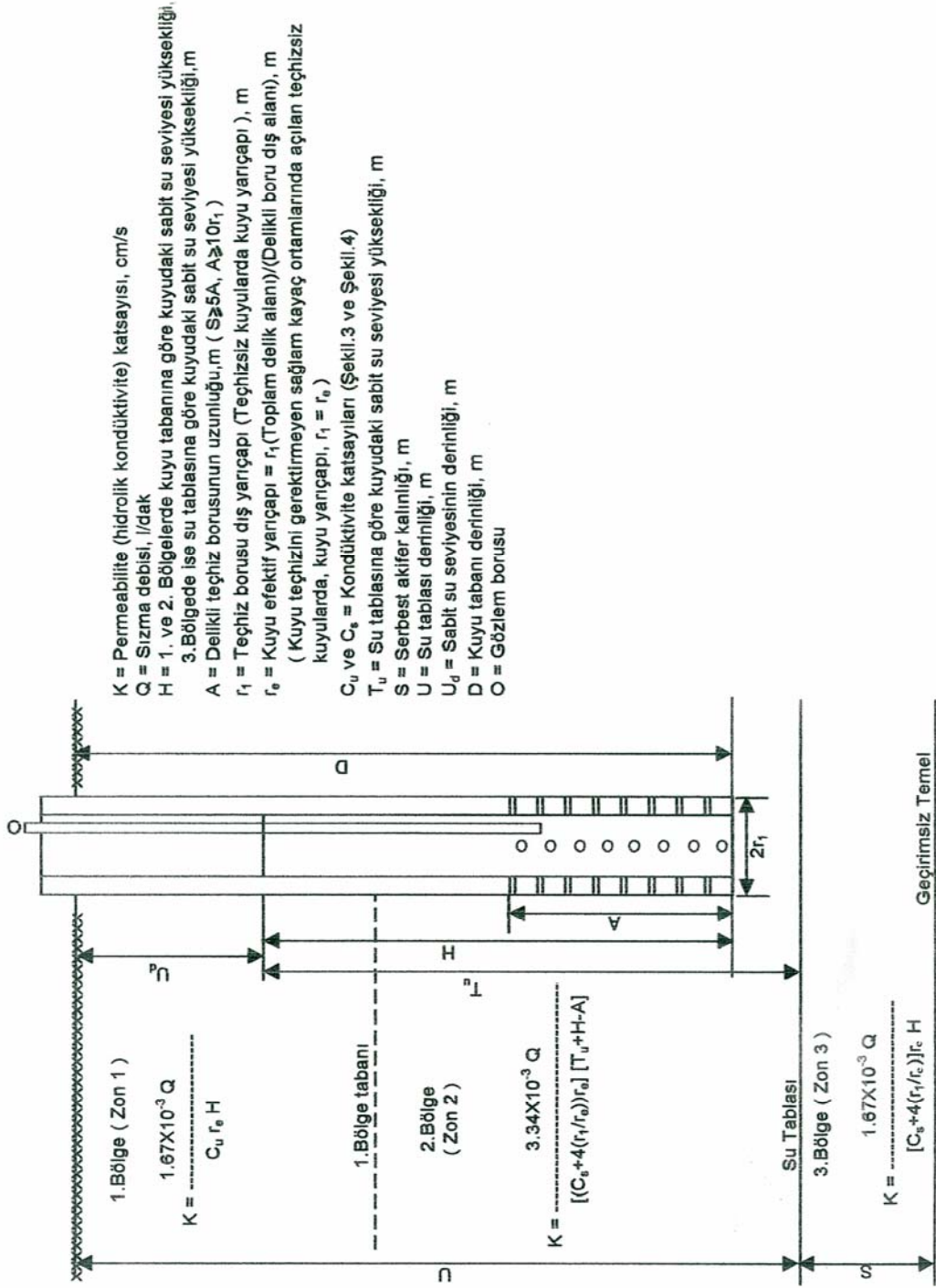
$$\text{Şekil.4'den } \frac{A}{r_e} = 1190 \text{ için } C_s=1000 \text{ bulunur.}$$

Belirlenen değerlere gre sondaj kuyusundaki deney kısmının permeabilite katsayısı (K),(3) bağıntısından hesaplanır.

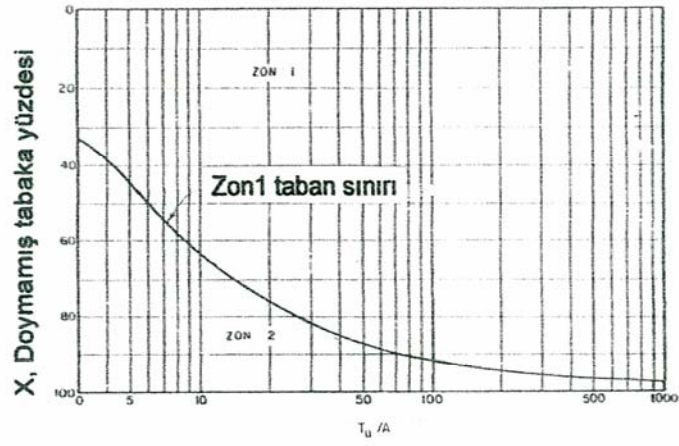
$$K = \frac{1.67 \times 10^{-3} \times 6.46}{4 \times 0.0508} \left(1000 + \frac{0.00126}{10.788 \times 10^{-3}} \right) (0.00126) (5.30)$$
$$K = \frac{1.67 \times 10^{-3} \times 6.46}{1161.27 \times 0.006678} = 1.39 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$$

4. FAYDALANILAN YAYINLAR

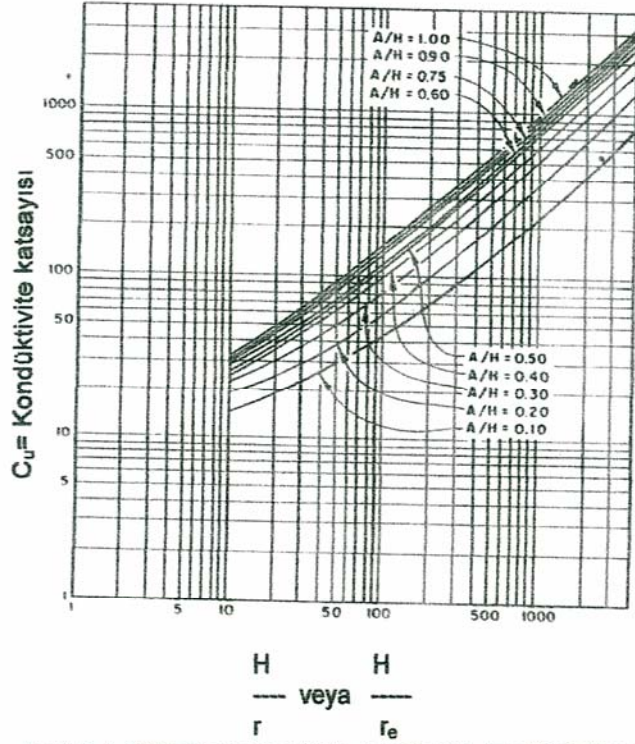
- [1] ASTM Standard, D5912-96. Standard Test Method for (Analytical Procedure) Determining Hydraulic Conductivity of an Unconfined Aquifer by Overdamped Well Response to Instantaneous Change in Head (Slug), 1996.
- [2] BALCI, F., Slfathı Su ve Zeminlerin Beton zerindeki Etkileri ve nleyici Tedbirler. DSİ Teknik Blteni, Sayı:72,1990.
- [3] BUREAU OF RECLAMATION, Ground Water Manual,1977.
- [4] HEATH, R.C., Basic Ground Water Hydrology, U.S. Geological Survey, Water-Supply Paper 2220,1983.
- [5] KORKMAZ,N., Yağış -Yeraltısuyu Seviyesi İlişkisi ve Su Kaynaklarının Projelendirilmesine Etkisi (Teknik Rehber), DSİ, G.Yayın No:983,1988.



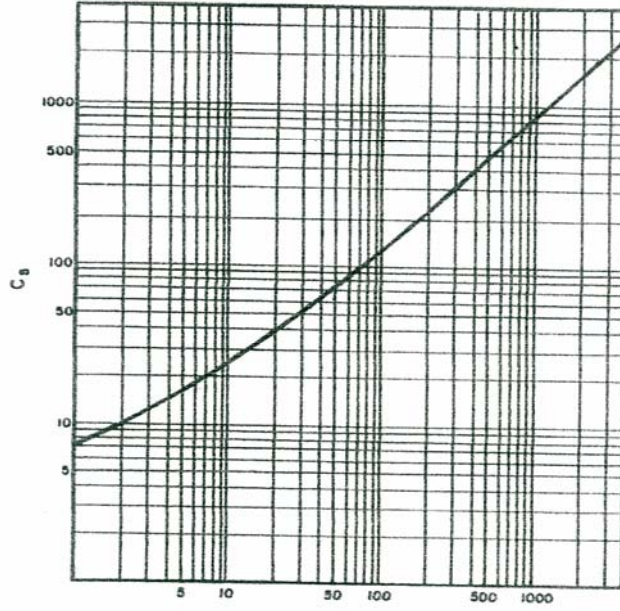
Şekil.1 - Basıncısız permeabilite deneyinden permeabilite (hidrolik konduktivite) katsayısının (K) hesaplanması



Şekil.2-1.Bölge (Zon1) ve 2. Bölge (Zon2) Sınırı Grafiği

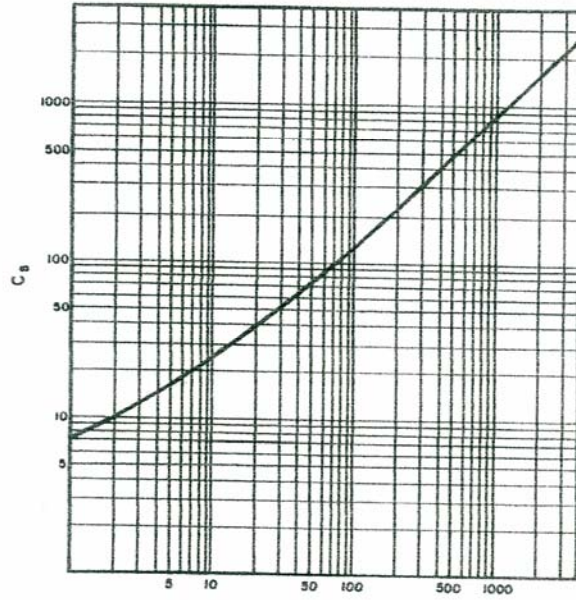


Şekil.3-1.Bölgede permeabilite hesabı için kondüktivite katsayısı grafikleri



$\frac{A}{r}$ $\frac{A}{r_e}$
 ----- veya -----
 r r_e

Şekil.4-2.ve 3. Bölgede permeabilite hesabı için kondüktivite katsayısı grafiği



A A
 ----- veya -----
 r r_e

Şekil.4-2.ve 3. Bölgede permeabilite hesabı için kondüktivite katsayısı grafiği

ÇİMENTO ENJEKSİYONLARININ BASINÇ MUKAVEMETİ VE AKMA SÜRESİNE UÇUCU KÜL BENTONİT VE SİLİS DUMANININ ETKİLERİ

Yazarlar: A. Şahin ZAIMOĞLU*
Özcan TAN**

ÖZET

Çimento esaslı enjeksiyonlar zemin veya kaya ortamının çeşitli özelliklerini iyileştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada; bentonit, uçucu kül ve silis dumanının çimento karışımlarının 28 günlük serbest basınç mukavemeti ve akma süresine etkileri üzerindeki araştırma sonuçları sunulmuştur. Deneysel çalışmalar için Taguchi Yöntemi uygulanmış ve 3 parametrelili 4 seviyeli standart L16 deney tasarımı seçilmiştir. Enjeksiyon karışımlarının hazırlanmasında, katı ağırlığın % 0-0.5-1-3 ü oranlarında bentonit, %10-20-30-40 oranlarında uçucu kül ve % 0-5-10-20 oranlarında silis dumanı kullanılmıştır. Çalışma sonuçları basınç mukavemeti ve akma süresi üzerinde en etkili parametrelerin sırası ile uçucu kül ve silis dumanı olduğunu göstermiştir. Uçucu kül oranı arttıkça basınç mukavemeti ve akma süresi azalmıştır. Bentonit oranındaki artış ile basınç mukavemeti bir miktar azalırken, akma süresi artmıştır. Silis dumanı oranı arttıkça, basınç mukavemeti ve akma süresi artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akma süresi, Basınç dayanımı, Enjeksiyon karışımı, Taguchi yöntemi

ABSTRACT

Cement-based grouts have been widely used for improving the various physical and mechanical properties of soil or rock. Investigations on the effects of the bentonite, fly ash and silica fume on the compressive strength and the flowing time (viscosity) of cement-based grouts are reported here. Taguchi method was applied and standard L16 orthogonal array with three parameters and 4 levels was chosen. In the preparation of the grouts the used percentages of bentonite, fly ash and silica fume (by weight of solid) are 0%, 0.5%, 1%, 3%, 10%, 20%, 30%, 40%, and 0%, 5%, 10%, 20%, respectively. Experimental results showed that the most effective materials for the compressive strength and flowing time were fly ash and silica fume, respectively. The compressive strength and flowing time decreased with the increase of fly ash ratio. The compressive strength decreased a little with the increase of bentonite ratio, while the flowing time increased. The compressive strength and the flowing time increased with the increased silica fume ratio.

Key Words: Flowing time, Compressive strength, Cement-based grout, Taguchi method

- * Konya Üniversitesi Müh. Fak. İnşaat Müh. Bölümü e-posta: Zaimoglu@atauni.edu.tr
- ** Atatürk Üniversitesi Erzurum Meslek Yük. Okulu Atatürk Üniversitesi Müh. Fak. İnşaat Müh. Bölümü, ERZURUM

1. GİRİŞ

Genel olarak enjeksiyon; zemin veya kaya içerisindeki boşlukların, çatlakların ya da gözeneklerin içerisine basınç altında enjeksiyon sıvısının gönderilmesi işlemidir. Enjeksiyon sonucunda ortam daha kararlı bir yapı kazanmakta, taşıma gücü artmakta, geçirimsizlik ve deformasyonlar azalmaktadır. Başarılı bir enjeksiyon uygulaması için enjeksiyon karışımının sertleşmeden (taze) önceki ve sertleşmeden sonraki çeşitli fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi gerekir. Sertleşmeden önce akma süresi, su kuma, priz süreleri gibi özellikler, sertleşikten sonra ise basınç mukavemeti, hidrasyon ısı, büzülme ve geçirimsizlik gibi özellikler belirlenmektedir. Karışımların enjeksiyondan önceki basınç mukavemetleri, karışımda kullanılan malzeme oranları için hazırlanan silindirik örnekler (mortar) için serbest basınç deneyleri ile belirlenebilir. Arazide yapılan enjeksiyonun kalite kontrolü; ortamdan alınan karot örnekler üzerinde yapılan serbest basınç deneyleri ile, sondaj deliği radarı yöntemi ile veya ses dağılımı yöntemi ile belirlenebilir. Marsh hunisi deneyleri enjeksiyon karışımlarının akıcılığını veya viskozitesini belirlemek için yapılan önemli bir deneydir. Viskozite sıvının kayma etkisine karşı gösterdiği dirençtir. Deneyde 1000 ml' lik karışımın huniden boşalma süresi ölçülmektedir. Boşalma (akma) süresi arttıkça, karışımın viskozitesi de artar. Dengeli bir enjeksiyon karışımında akma süresi 40 sn. civarındadır. Çimento esaslı enjeksiyonlarda; karışımın özelliklerini iyileştirmek, maliyeti düşürmek ve atık malzemeleri değerlendirmek amacı ile uçucu kül (UK), silis dumanı (SD) ve bentonit (B) gibi malzemeler kullanılmaktadır.

Çalışmanın amacı; B, UK ve SD'nin enjeksiyon karışımının serbest basınç mukavemeti ve akma süresi üzerindeki etkilerini Taguchi Yöntemi ile araştırmaktır. Çalışmada su/katı (S/K) oranı 1.25 seçilmiştir. Çalışma hakkında ayrıntılı bilgi Zaimoğlu¹ de bulunmaktadır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Enjeksiyonda kullanılan katkı malzemeleri değişik yönleri ile günümüze kadar çok sayıda araştırmacı tarafından incelenmiştir. Aşağıda literatürde bulunan bazı çalışma sonuçları kısaca verilmiştir.

Allan² tarafından yapılan çalışmada, çimento karışımlarında belirli oranlarda kauçuk hammaddesinin kullanılmasının karışımın reolojik özelliklerini etkilediği ve viskoziteyi artırdığı gösterilmiştir. Değişik katkı malzemeleri içeren enjeksiyon sıvıları, düşük seviyeli radyoaktif atıklar

ve zararlı maddelerin izolasyonu için bariyer olarak ta kullanılmaktadır³. Bu amaçla yapılan çalışma sonucunda; uçucu külün maliyeti ve geçirimsizliği düşürmek, karışımın yoğunluğu arttırmak ve hizmet ömrünü uzatmak için kullanılabileceği belirlenmiştir. Aynı çalışmada bentonitin geçirimsizliği ve su kumayı azalttığı, silis dumanının geçirimsizliği azaltarak basınç mukavemetini arttırdığı, Polipropilen liflerin ise karışımın kırılma dayanımını minimuma indirdiği belirlenmiştir. Tan vd.⁴ tarafından granüler zeminler için yapılan silis dumanı ve bentonit katkılı enjeksiyon deneylerinde, bentonitin karışımın viskozitesini etkilediği, uçucu kül katkılı enjeksiyonlarda mukavemetin zamanla arttığı ve Su/Katı oranı arttıkça mukavemetin önemli ölçüde düştüğü belirlenmiştir. Tan ve Zaimoğlu⁵, B, SD ve UK'ün, priz süresi üzerindeki etkilerini Taguchi Yöntemi ile araştırmıştır. Çalışma sonucunda Silis dumanı ve bentonitin priz başlama ve priz bitiş sürelerini azalttığı, uçucu külün ise arttırdığı belirlenmiştir. Mirza vd.⁶ yüksek oranda UK katkılı çimento enjeksiyonlarının reolojik ve mekanik özelliklerini araştırmıştır. Çalışmada; UK ilavesinin akış süresini azalttığı, yüksek S/K oranlarında stabiliteyi iyileştirdiği ve 7 günlük basınç mukavemetini azalttığı görülmüştür. Rosquoet vd.⁷ Çimento groutlarının reolojik ve çökmesini deneysel olarak araştırmıştır.

3. TAGUCHİ YÖNTEMİ

Bir deney tasarımında değişik sayı ve oranlardaki parametrelerin sonuç üzerindeki etkilerini belirlemek için değişik yöntem ve yaklaşımlar kullanılmaktadır. Tam kesirli deney tasarımında sonuca etki eden bütün parametreler ve seviyeleri için deneyler yapılmalıdır. Bu durum zaman ve maliyet açısından önemli kayıplara neden olmaktadır. Sonucu etkileyen parametre ve parametre seviye sayılarının fazla olması durumunda ise deneylerin yapılması zorlaşmaktadır. Örneğin her biri 3 seviyeli olan 8 parametrelilik bir araştırma için, 6561 adet farklı deney yapılması gerekmektedir. Taguchi Yöntemi daha az sayıda deney yapılarak, parametrelerin sonuç üzerindeki etkilerini belirlemek için geliştirilmiş bir yöntemdir. Deney sayısı çok fazla olan araştırmalarda büyük kolaylıklar sağlamakta ve tam kesirli deney tasarımına alternatif olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde göre deney tasarımında özel olarak hazırlanmış standart ortogonal dizinler (deney tasarım tabloları) kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan 5 parametrelilik ve 4 seviyeli ortogonal dizin (L16) Tablo 1'de verilmiştir. Tabloda P1, P2, P3, P4 ve P5 çalışma için seçilen parametreleri, her deney numarası satırındaki rakamlar ise parametrelerin seviyelerini göstermektedir. Parametrelerin etkileri L16 ortogonal dizini kullanılarak, 1024 deney yerine 16 deney yapılarak çeşitli analizlerle belirlenmektedir.

Tablo 1. Ortogonal dizin $L_{16}(4^5)$

Deney No.	Parametreler ve Deneylerin Yapılacağı Parametre Seviyeleri				
	P1	P2	P3	P4	P5
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3
4	1	4	4	4	4
5	2	1	2	3	4
6	2	2	1	4	3
7	2	3	4	1	2
8	2	4	3	2	1
9	3	1	3	4	2
10	3	2	4	3	1
11	3	3	1	2	4
12	3	4	2	1	3
13	4	1	4	2	3
14	4	2	3	1	4
15	4	3	2	4	1
16	4	4	1	3	2

Tauchi Yöntemine göre analizlerde değişim indeksi olarak bilinen S/N (signal to noise) oranları kullanılmaktadır. S/N değişim indeksinin kullanılmasının nedeni, deneylerin tekrarlanması ile dış koşulların veya kontrol edilemeyen parametrelerin sonuç üzerindeki etkisini görebilmektir. Bu oran aşağıdaki bağıntı ile belirlenmektedir.

$$S/N = -10 \log_{10}(MSD) \quad (1)$$

Burada MSD hedef değer etrafındaki sapma karelerinin ortalaması olarak tanımlanmaktadır. Taguchi yönteminde MSD değeri hedef değer için büyük ve en küçük olması durumları için aşağıdaki bağıntılarla belirlenmektedir. Hedef değer için maksimum olması için:

$$MSD = \left(\frac{1}{Y_1^2} + \frac{1}{Y_2^2} + \dots + \frac{1}{Y_n^2} \right) / n \quad (2)$$

Hedef değer için minimum olması için:

$$MSD = \frac{Y_1^2 + Y_2^2 + \dots + Y_n^2}{n} \quad (3)$$

Burada; Y_1, Y_2, \dots, Y_n : deney sonuçları, n : bir deneydeki tekrar sayısı göstermektedir. S/N analizleri parametrelerin sonuç üzerindeki etki grafikleri çizilerek, optimum deney koşulları belirlenebilmektedir. Ayrıca, faktörlerin etki dereceleri ve deney sonuçlarının güvenilirliği varyans analizleri (ANOVA) ile belirlenmektedir. Bu çalışmada Taguchi yöntemi özet olarak açıklanmıştır. Yöntem hakkında detaylı bilgi Taguchi⁸ ve Phadke⁹ de bulunmaktadır.

4. DENEYSEL TASARIM VE ANALİZ

4.1. Deney Parametreleri ve Oranları

Çalışmada bentonit, uçucu kül ve silis dumanı parametre (katkı malzemesi) olarak seçilmiş ve her parametrenin de 4 seviyeli olmasına karar verilmiştir. Seçilen parametreler ve bu parametrelerin deneylerdeki kullanım oranları (katı ağırlığın yüzdesi) Tablo 2’de gösterilmiştir. Taguchi yöntemine göre 3 parametrelilik 4 seviyeli bir deneysel çalışma için L_{16} ortogonal dizin (Tablo 1) seçilmiştir. Bu deney tasarımına göre 81 deney yerine, 16 farklı karışım için deneyler yapılarak sonuçlar değerlendirilmektedir. Deneylerde kullanılan portland çimentosu (PC 42.5) Ankara Set Çimento Fabrikasından, silis dumanı Antalya Etibank Elektrometalurji Endüstri Fabrikasından, uçucu kül (F sınıfı) Ankara Çayırhan Termik santrali’nden, bentonit ise Çankırı Karakayalar ocağından alınmıştır. Bu malzemelere ait özel-likler Tablo 3’de toplu halde verilmiştir.

Tablo 2. Çalışmada seçilen parametreler ve seviyeleri

Seviye	Parametreler ve seviyeleri		
	Bentonit (%)	Uçucu kül (%)	Silis dumanı (%)
1	0	10	0
2	0.5	20	5
3	1	30	10
4	3	40	20

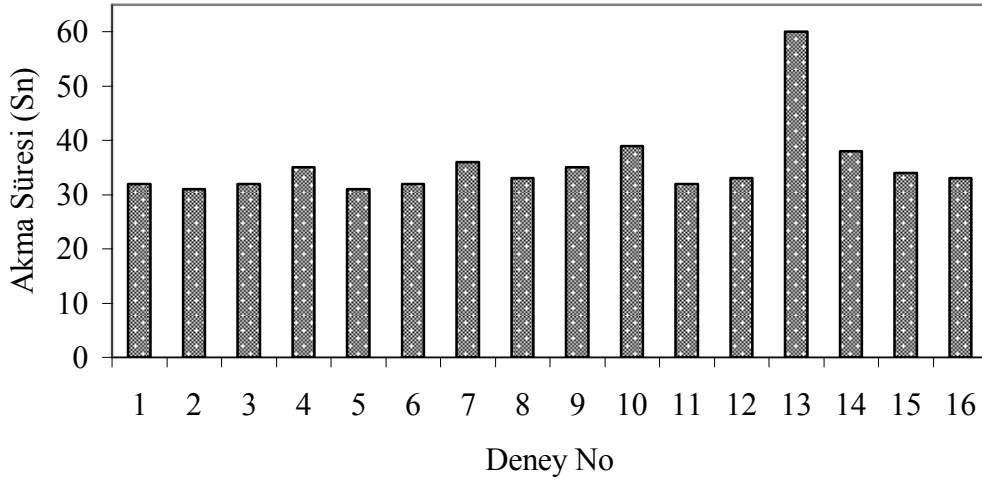
Tablo 3. Deneylerde kullanılan malzemelerin özellikleri

İçerik	Çimento (%)	Bentonit (%)	Uçucu Kül (%)	Silis Dumanı (%)
SiO ₂	19.80	60.75	47.5	85-95
Al ₂ O ₃	5.61	18.9	15.95	1-3
Fe ₂ O ₃	3.42	3.05	16.3	0.5-1.0
CaO	62.97	2.75	6.6	0.8-1.2
MgO	1.76	2.1	4.65	1.0-2.0
SO ₃	2.95	-	-	-
Na ₂ O	0.47	2.7	15.95	0.7
K ₂ O	0.87	0.95	-	0.8
Kız.	2.17	-	0.86	0.5-1.0
Kayıp				
Özgül Ağ.	3.08	1.04	2.36	2.25

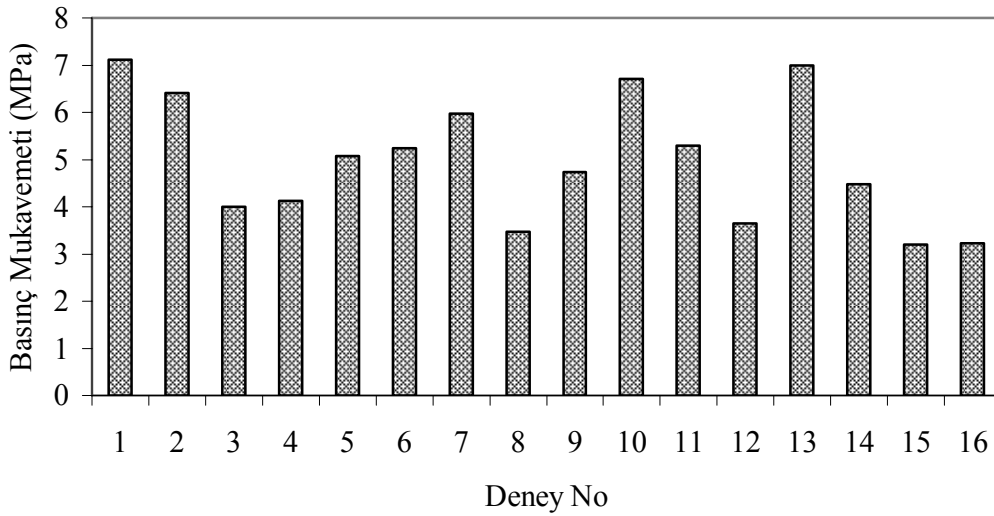
4.2. Enjeksiyon Karışımlarının Hazırlan-ması ve Deneysel Prosedürü

Tablo 2 deki oranlar kullanılarak 16 farklı deney için enjeksiyon karışımları hazırlanmıştır. Karışımların hazırlanmasında S/K oranı 1.25 olarak seçilmiştir. Karıştırma işleminde 1000 rpm hızında mikser kullanılmıştır. Mikser çalıştırdıktan sonra, temiz karışım suyu içerisine kuru iken birbirleri ile karıştırılmış çimento, uçucu kül ve silis dumanı ilave edilmiştir. Son olarak karışıma 24 saat önce hazırlanmış bentonit bulamacı (%10 bentonit + %90 su) ilave edilmiştir. Karıştırma işlemi 5 dk süre ile

devam etmiştir. Hazırlanan enjeksiyon karışımları ile Marsh hunisi deneyleri yapılarak akma süreleri belirlenmiştir. Enjeksiyon karışımları 3.8cm çapında ve 7.6cm yüksekliğindeki silindir kalıpların içerisine yerleştirilmiş, 24 saat sonra kalıplardan çıkarılarak 23 ± 2 °C sabit sıcaklıklı kirece doygun kür havuzuna beklemeye bırakılmıştır. Daha sonra bu örneklerin 28 günlük basınç mukavemetleri ölçülmüştür. 16 farklı karışım için yapılan Marsh hunisi ve serbest basınç deneyleri üçer kez tekrar edilerek ortalamaları alınmıştır. Karışımların akma süreleri Şekil 1 de, 28 günlük basınç mukavemetleri ise Şekil 2 de verilmiştir.



Şekil 1. Marsh Hunisi ile Ölçülen Akma Süreleri



Şekil 2. 28 günlük basınç mukavemetleri

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

B, UK ve SD nin akma süresi ve 28 günlük basınç mukavemeti üzerindeki etkilerini ve optimum karışım oranlarını belirlemek için ayrı ayrı S/N analizleri yapılmıştır. Deney sonuçları kullanılarak her deney için (1) ve (2) nolu bağıntılardan S/N değişim indeksleri hesaplanarak Tablo 4 de verilmiştir. Basınç mukavemeti ve akma süresi için parametre seviyelerinin ortalama S/N değerleri hesaplanarak Tablo 5 de verilmiştir. Bu değerlerin nasıl hesaplandığı UK ün 1. seviyesi için örnek olarak aşağıda açıklanmıştır. UK nın 1. seviyesinin bulunduğu deneyler 1., 5., 9. ve 13. deneylerdir. Bu deneylere ait S/N değerleri kullanılarak, basınç mukavemeti için bu seviyenin ortalama S/N değeri:

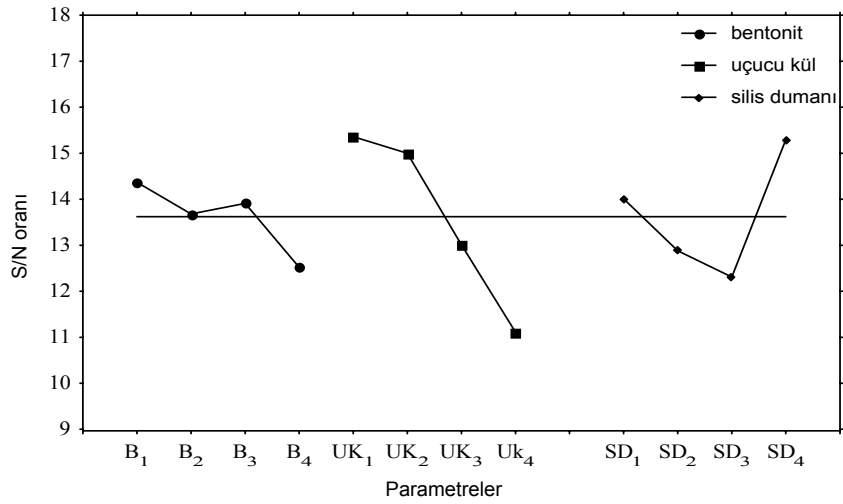
$S/N_{ort}=(17.04+14.09+13.46+16.86)/4 = 15.36$ olarak bulunur. Benzer şekilde B, UK ve SD nin bütün seviyeleri için ortalama S/N değerleri belirlenmiştir. B, UK ve SD nin basınç mukavemeti ve akma süresi üzerindeki etkilerini görmek amacı ile, Tablo 5 de verilen ortalama S/N değerleri kullanılarak çizilen grafikler Şekil 3 ve Şekil 4 de verilmiştir.

Tablo 4 Akma süresi ve basınç mukavemeti için S/N oranları

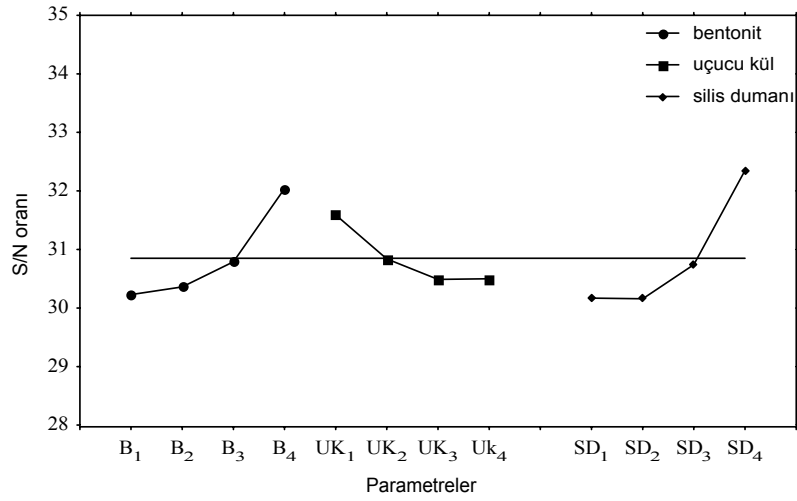
Den. No.	Parametreler ve Seviyeleri			S/N Oranı	
	B	UK	SD	Basınç	Akma
1	1	1	1	17.04	30.10
2	1	2	2	16.14	29.83
3	1	3	3	12.01	30.10
4	1	4	4	12.28	30.88
5	2	1	2	14.09	29.83
6	2	2	1	14.37	30.10
7	2	3	4	15.50	31.13
8	2	4	3	10.77	30.37
9	3	1	3	13.46	30.88
10	3	2	4	16.51	31.82
11	3	3	1	14.47	30.10
12	3	4	2	11.22	30.37
13	4	1	4	16.86	35.56
14	4	2	3	13.00	31.60
15	4	3	2	10.07	30.63
16	4	4	1	10.15	30.37
Ortalama S/N Oranı				13.62	30.85

	Parametre	S/N Oranı			
		1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye	4. Seviye
Basınç mukavemeti	Bentonit	14.37	13.68	13.91	12.52
	Uçucu Kül	15.36	15.00	13.01	11.11
	Silis Dumanı	14.01	12.88	12.31	15.29
Akma süresi	Bentonit	30.23	30.36	30.79	32.04
	Uçucu Kül	31.59	30.84	30.49	30.50
	Silis Dumanı	30.17	30.16	30.74	32.35

Tablo 5. Parametre seviyelerinin ortalama S/N değerleri (28 günlük)



Şekil 3. Parametrelerin 28 günlük serbest basınç mukavemetine etkileri



Şekil 4. Parametrelerin marsh hunisi akma süresine etkileri Tablo 6 Varyans analizi sonuçları

Tablo 6: Varyans Analizi Sonuçları

	Parametre	Serbestlik derecesi (DOF)	Kareler toplamı (S)	Varyans (V)	Varyans oranı (F)	Net toplam (S')	Etki oranı P (%)
Basınç mukavemeti	Bentonit	3	7.43	2.48	1.42	2.21	2.6
	Uçucu kül	3	46.60	15.53	8.92	41.38	48.5
	Silis dumanı	3	20.78	6.93	3.98	15.56	18.3
	Diğer	6	10.44	1.74			30.6
	Toplam	15	82.26				100
Akma süresi	Bentonit	3	8.19	2.73	3.50	5.85	20.3
	Uçucu kül	3	3.22	1.07	1.38	0.89	3.1
	Silis dumanı	3	12.76	4.25	5.46	10.42	36.1
	Diğer	6	4.68	0.78			40.5
	Toplam	15	28.85				100

Şekil 3 incelendiğinde, uçucu kül ve bentonit oranı arttıkça basınç mukavemetinin azaldığı, Silis dumanının ise %10 oranından sonra basınç mukavemetini arttırdığı görülmektedir. Akma (boşalma) süresi etki grafiği (Şekil 4) incelendiğinde, karışımdaki bentonit ve silis dumanı oranı arttığında akma süresinin de hızla arttığı, uçucu kül oranı arttığında ise akma süresinin bir miktar azaldığı görülmektedir.

Deneilerde kontrol edilen faktörlerin (B, UK ve SD) ve kontrol edilemeyen diğer faktörlerin etki derecelerini belirlemek amacı ile, basınç mukavemeti ve akma süresi için ayrı ayrı varyans analizleri yapılarak sonuçları Tablo 6 da verilmiştir. Varyans analizi sonuçları incelendiğinde basınç mukavemeti değişimi üzerinde en etkili parametrenin UK olduğu görülmektedir. Basınç mukavemetini, UK % 48.5 oranında, SD % 18.3 oranında, B ise % 2.6 oranında etkilemektedir. Akma süresi değişimi için en etkili parametrenin ise silis dumanı olduğu görülmektedir. Akma süresini, SD % 36.1, B % 20.3 ve UK % 3.1 oranlarında etkilemektedir.

Taguchi yöntemi ile tam kesitli tasarıma göre yapılmayan deney sonuçları ile optimum deney koşulları da belirlenebilmektedir. Bu amaçla 28 günlük basınç mukavemetinin maksimum olacağı karışım oranlarını (optimum koşullar) belirlemek için analizler yapılmış ve sonuçlar Tablo 7 de verilmiştir. Beklenen maksimum basınç mukavemetinin doğruluğunu test etmek amacı ile optimum karışım oranları için hazırlanan karışım için doğrulama deneyleri yapılmış ve deney sonuçları da Tablo 7 de verilmiştir. Tablo 7 de görüldüğü gibi 1.25 S/K oranı için % 10 UK ve % 20 SD kullanılması durumunda deney tasarımındaki en yüksek basınç mukavemeti elde edilmiştir. Beklenen değer ile doğrulama deney sonuçlarının birbirine oldukça yakın çıkması, parametreler arasında iç etkileşimin olmadığını ve Taguchi yöntemi ile tahminin oldukça başarılı olduğunu göstermektedir.

Tablo 7. Optimum deney koşulları ve beklenen değerler

Optimum koşullar			Beklenen basınç muk. (MPa)	Doğrulama Deneyi (MPa)
B (%)	UK (%)	SD (%)		
0	10	20	7.74	7.25

Farklı S/K oranları için yapılmış olan basınç mukavemeti, akma süresi, priz süreleri, rotasyonel viskozite, enjeksiyon uygulanmış zemin örneklerinin basınç mukavemeti gibi benzer çalışmaların sonuçları Zaimoğlu¹ nda bulunmaktadır.

6.SONUÇLAR

Bu çalışmada 1.25 S/K oranı için enjeksiyon karışımı serbest basınç deneyleri (28 günlük), Marsh hunisi deneyleri yapılmıştır. Katı ağırlığın % 0-0.5-1-3 ü oranlarında bentonit, %10-20-30-40 oranlarında uçucu kül ve % 0-5-10-20 oranlarında silis dumanı kullanılmıştır. Seçilen parametre seviyeleri ve 1.25 S/K oranı için geçerli olan sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Basınç mukavemeti üzerinde en etkili parametre (% 48.5) uçucu küldür. Uçucu kül oranı arttıkça 28 günlük serbest basınç mukavemeti azalmaktadır.
- Bentonitin basınç mukavemeti üzerinde önemli bir etkisi (% 2.6) yoktur. Bentonit oranı arttıkça 28 günlük serbest basınç mukavemetinde çok az azalma görülmektedir.
- Serbest basınç mukavemetinde %10 silis dumanı oranından sonra artma görülmektedir. Silis dumanının basınç mukavemeti üzerindeki etkisi % 18.3 tür.
- Serbest basınç mukavemetinin maksimum olacağı karışım oranları (optimum koşullar) %10 uçucu kül ve % 20 silis dumanı olarak belirlenmiştir. Bu karışım oranlarında 28 günlük basınç mukavemeti 7.25 MPa olarak bulunmuştur.
- Akma süresi üzerinde en etkili parametre silis dumanı (% 36.1), ikinci etkili parametre ise bentonittir (% 20.3) Bentonit ve Silis dumanı oranı arttıkça akma süresi artmakta, uçucu kül oranı arttıkça akma süresi azalmaktadır.

7.YARARLANILAN KAYNAKLAR

1. A.Ş. Zaimođlu, Bentonit, Uçucu Kül Ve Silis Dumanı Katkılı Çimento Enjeksiyonu Karışımlarında Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerin Taguchi Yöntemi İle İncelenmesi, Doktora Tezi, Atatürk üniv. Fen Bil. Enst., 2003
2. M.L. Allan, Rheology of Latex-Modified Grouts. Cement and Concrete Research, 27, 12, 1875-1884, , 1997
3. W.H. Huang, Properties of Cement-Fly Ash Grouth Admixed With Bentonite, Silica Fume, or Organic Fiber. Cement and Concrete Research, 27, 3, 395-406, 1997
4. Ö. Tan, H.İ .Karahanođlu ve A.Ş. Zaimođlu, Çimento Enjeksiyonlarının Basınç Dayanımlarına Uçucu Kül ve Bentonit Katkısının Etkileri, DSİ Teknik Bülteni, Sayı 99, 19-30, 2002
5. Ö. Tan and A.Ş. Zaimođlu, Taguchi Approach for Invesitigation of the Setting Times on Cement-Based Grouts, Indian Journal of Engineering and Material Sciences 11, 63-67, 2004
6. J. Mirza, M.S. Mirza, V. Roy and K. Saleh, Basic Rheological and Mechanical Properties of High-Volume Fly Ash Grouts. Construction and Building Materials, 16, 353-363, 2002.
7. F. Rosquoet, A. Alexis, A. Khelidj and A. Phelipot, Experimental Study of Cement Grout: Rheological Behaviour and Sedimentation. Cement and Concrete Research, Vol. 33 (5), 713-722, 2003
8. G. Taguchi, System of Experimental Design, Vol. 1-2. New York: Quality Resources, 1987
9. M.S. Phadke, Quality Engineering Using Robust Design, NJ: Prentice Hall, 1989.