

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



SAYI: 107

DEVLET SU İŞLERİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

DSİ TEKNİK BÜLTENİ

DSİ TEKNİK BÜLTENİ

Sahibi

DEVLET SU İŞLERİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Adına
Haydar KOÇAKER

Sorumlu Müdür

Dr. Vehbi ÖZAYDIN

Yayın ve Hakem Kurulu

İsmail GÜNEŞ
Zuhal VELİOĞLU
Tuncer DİNÇERKÖK
Nurettin KAYA
Servan YILDIRIM
Kemal ŞAHİN

Haberleşme adresi

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

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

Basıldığı yer

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

SAYI : 107

YIL : Ocak 2010

Yayın Türü

Yaygın süreli yayın
Üç ayda bir yayınlanır

ISSN

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

İÇİNDEKİLER

ÖLÇEKLENDİRİLMİŞ BİR KEMER BARAJIN LABORATUVAR MODELİNİN OLUŞTURULMASI Alemdar BAYRAKTAR, Barış SEVİM, Ahmet Can ALTUNIŞIK, Süleyman ADANUR, Mehmet AKKÖSE	1
KEMER BARAJI HAZNESİNİN PERFORMANSININ PERFORMANS İNDİSLERİ YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ H. Yıldırım DALKILIÇ, Umut OKKAN	14
ŞEBEKE SUYU KALİTESİ İLE KAYNAK SUYU KALİTESİNİN KARŞILAŞTIRILMASI Özlem TUNÇ DEDE, Muharrem POLAT	22
ÇAĞLAYAN BARAJI AKTİF HAZNE HACMİNİN OLASILIK MATRİS YÖNTEMLERİYLE İRDELENMESİ Sevinç ÖZKUL	27

DSİ TEKNİK BÜLTENİ'NİN AMACI

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

DSİ TEKNİK BÜLTENİ BİLDİRİ YAZIM KURALLARI

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

DSİ TEKNİK BÜLTENİ

DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol (TAKK) Dairesi Başkanlığı

06100 Yüce-tepe ANKARA

Tel (312) 399 2793

Faks (312) 399 2795

E-posta bulten@dsi.gov.tr

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

ÖLÇEKLENDİRİLMİŞ BİR KEMER BARAJIN LABORATUVAR MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Alemdar BAYRAKTAR

Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon, TÜRKİYE
alemdar@ktu.edu.tr

Barış SEVİM

Arş. Gör., Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon, TÜRKİYE
bsevim18@hotmail.com

Ahmet Can ALTUNIŞIK

Arş. Gör., Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon, TÜRKİYE
ahmetcan8284@hotmail.com

Süleyman ADANUR

Yrd. Doç. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon, TÜRKİYE
ozsadanur@hotmail.com

Mehmet AKKÖSE

Yrd. Doç. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon, TÜRKİYE
mehmet_akkose@hotmail.com

(Bildirinin geliş tarihi: 03.03.2009, Bildirinin kabul tarihi: 14.07.2009)

ÖZET

Yapıların çeşitli yükler altında statik, dinamik, lineer ve lineer olmayan davranışlarını belirlemek için birçok teorik çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmaları deneysel olarak da desteklemek gerekmektedir. Birçok araştırmacı deneysel çalışma yapmak için küçük ölçekli modeller oluşturmaktadır. Model gerçek yapıyı temsil edeceğinden oluşturulmasına çok özen göstermek gerekmektedir.

Bu çalışmada, kemer barajların dinamik karakteristiklerini deneysel olarak belirlemek için oluşturulan küçük bir kemer baraj-rezervuar-zemin modelinin laboratuvar ortamında yapımı anlatılmaktadır. Böyle bir modeli oluşturmak için yapım öncesinde ve sonrasında nelere dikkat edilmesi gerektiğinden bahsedilmektedir. Bu modelin proje tasarımından, inşasına kadar yapılan çalışmalar detaylı bir şekilde verilmektedir. Bu sayede, küçük bir baraj modeli veya farklı bir laboratuvar modeli yapmak isteyen araştırmacılara fikir vermek ve yol göstermek amaçlanmaktadır.

Deneysel model için, İngiltere'de 1968 yılında düzenlenen "Kemer Barajlar" sempozyumunda sunulan beş tip kemer barajdan Tip-1 kemer barajı seçilmiştir. Tip-1 kemer barajının tasarım projesi rezervuar ve zemin içerecek şekilde boyutlandırılmıştır. Boyutlandırma aşamasında çeşitli modeller dikkate alınmış ve kesin modele karar verilmiştir. Kesin model için kullanılması gereken malzemeler yeterli miktarda tedarik edilmiştir. Baraj modeli için beton, modelin iç kalıbı için çelik sac ve dış kalıbı için ahşap kereste kullanılmıştır. Kemer baraj-rezervuar-zemin sistemi üç işçiyle yaklaşık beş iş günü çalışılarak yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Baraj-Rezervuar-Zemin Sistemi, Kemer Baraj, Laboratuvar Modeli

CONSTRUCTION OF LABORATORY MODEL OF A SCALED ARCH DAM

ABSTRACT

There are many theoretical studies about static, dynamic, linear and nonlinear behavior of structures under various loads. These studies must be approved by experimentally. Many researchers made small scaled models to study experimentally. When making scaled models it is very important to take great care due to scaled models represent the real structures.

In this study, it is told that making an arch dam-reservoir-foundation system to determine dynamic characteristics of arch dams experimentally. To make such kind of model, necessities before, after and during the construction are told. Everything done from project design to construction is given detail. So, whoever wants to make such a model can benefit from this study.

Type-1 arch dam presented to "Arch Dams" symposium in England, in 1968, is selected to make scaled laboratory model. Type-1 arch dam was designed with reservoir and foundation. In design part, several models were developed and certain model was decided. Necessary materials were obtained for the certain model. For the dam model, concrete; for inside form, steel; and for outside form timber were used. Typ-1 arch dam-reservoir-foundation system was constructed by three workers by working five days.

Keywords: Dam-Reservoir-Foundation System, Arch dam, Laboratory Model

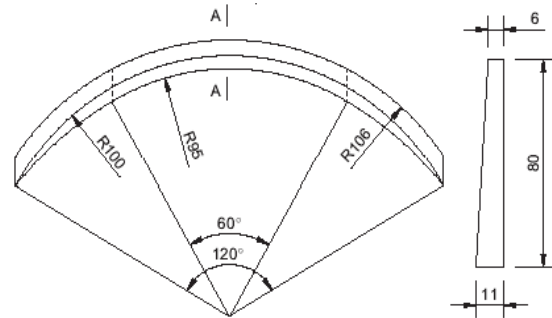
1 GENEL

Kemer barajlar elektrik üretmek amacıyla yapılan büyük mühendislik yapılarıdır. Bu barajlar yıkılmaları halinde büyük felakete ve maddi hasarlara sebep olmaktadır. Dolayısıyla kemer barajlar, yapısal güvenlikleri belirlenmesi gereken yapılardır. Bu yapıların davranışını anlamak için birçok teorik çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçların doğruluğunu anlamak için yapı davranışının deneysel olarak da belirlenmesine ihtiyaç vardır. Fakat barajlar üzerinde deneysel çalışma yapmak hem çok zor hem de çok pahalıdır. Ayrıca bu yapılar üzerinde istediğiniz her türlü çalışmayı yapmanız da mümkün değildir. Çünkü yapıya büyük zararlar verilebilir, hatta yapı kullanılamaz duruma gelebilir. Bu sebepten, deneysel çalışmaları bizzat yapı üzerinde değil de yapıyı temsil edecek küçültülmüş modeller üzerinde yapmak daha güvenilir ve ucuz olmaktadır.

Günümüzde barajların davranışını belirlemek için küçültülmüş laboratuvar modelleri üzerinden çeşitli deneyler gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmalarda gerçek barajı temsil edecek küçültülmüş model çalışmanın amacına uygun olarak oluşturulmaktadır. Aşağıda çeşitli amaçlar için oluşturulan küçük ölçekli kemer baraj modellerinden detaylı bir şekilde bahsedilmektedir.

[Wang ve He, 2007], kemer barajlarda oluşan çatlakların doğal frekanslar üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla, 80 m yüksekliğinde tek eğrilikli bir kemer baraj tasarlamışlardır.

Tasarlanan bu barajın 1:100 ölçeğindeki üç boyutlu küçültülmüş modeli laboratuvar ortamında imal edilmiştir. Modelde, baraj gövdesi çimento hamurundan, zemin ve rezervuar yüzeyleri ise betondan yapılmıştır. Bu çalışmada sadece geometri ölçeklendirilmiş olup, malzeme üzerinde değişim yapılmamıştır. Bu baraja ait geometrik özellikler ve deneysel model Şekil 1 ve 2'de verilmektedir.



Şekil 1 - Kemer barajın geometrik özellikleri



Şekil 2 - Kemer barajın laboratuvar modeli
[Wang ve He, 2007]

[Wang ve Li, 2007], 292 m yüksekliğinde yapılması planlanan çift eğrilikli bir kemer barajın sismik davranışını belirlemek için 1:300 ölçekli prototip modelini oluşturmuşlardır. Oluşturulan model üzerinde yapılacak deney sonuçlarının gerçek baraja uyarlanabilmesi için, baraj gövdesi tuğladan, baraj zemini özel bir kauçuktan yapılmıştır. Yapılan deneysel modele ait görünüş Şekil 3'te verilmektedir.



Şekil 3 - Kemer barajın laboratuvar modeli
[Wang ve Li, 2007]

[Wang ve Li, 2006], Çin'de yapılması planlanan çift eğrilikli bir kemer barajın deprem davranışını incelemek için, bu barajın 1:300 ölçekli deneysel modelini oluşturmuşlardır. Planlanan kemer barajın yüksekliği 278 m olup, kret uzunluğu 612,5 m'dir. Baraj kalınlığı krette 14 m, baraj tabanında 69 m'dir. Oluşturulan deneysel model, baraj-rezervuar-zemin etkileşimi içerecek şekilde yapılmıştır. Deneysel modelin yüksekliği 92,6 cm, kret uzunluğu 204cm, maksimum zemin yüksekliği 133,3 cm ve rezervuar uzunluğu ise yaklaşık 255 cm olarak dikkate alınmıştır. Çalışmanın amacına uygun olarak baraj gövdesi tuğladan, zemin ise özgül ağırlığı 2400 kg/m^3 , dinamik elastisite modülü 140 MPa olan özel bir kauçuktan yapılmıştır. Oluşturulan deneysel modelin görünüşü Şekil 4'te verilmektedir.



Şekil 4 - Kemer barajın deneysel modeli [Wang ve Li, 2006]

Kemer barajların yanı sıra ağırlık barajların da deprem davranışlarının incelenmesi için küçültülmüş laboratuvar modelleri çeşitli araştırmacılar tarafından oluşturulmuştur [Ghobarah ve Ghaemian, 1998], [Li ve diğerleri, 2005], [Morin, Le'ger ve Tinawi, 2002], [Pina ve diğerleri 1993]. Bu modeller yapılacak çalışmaların amacına uygun olarak, çeşitli ölçeklerde ve malzemeler kullanılarak oluşturulmuştur.

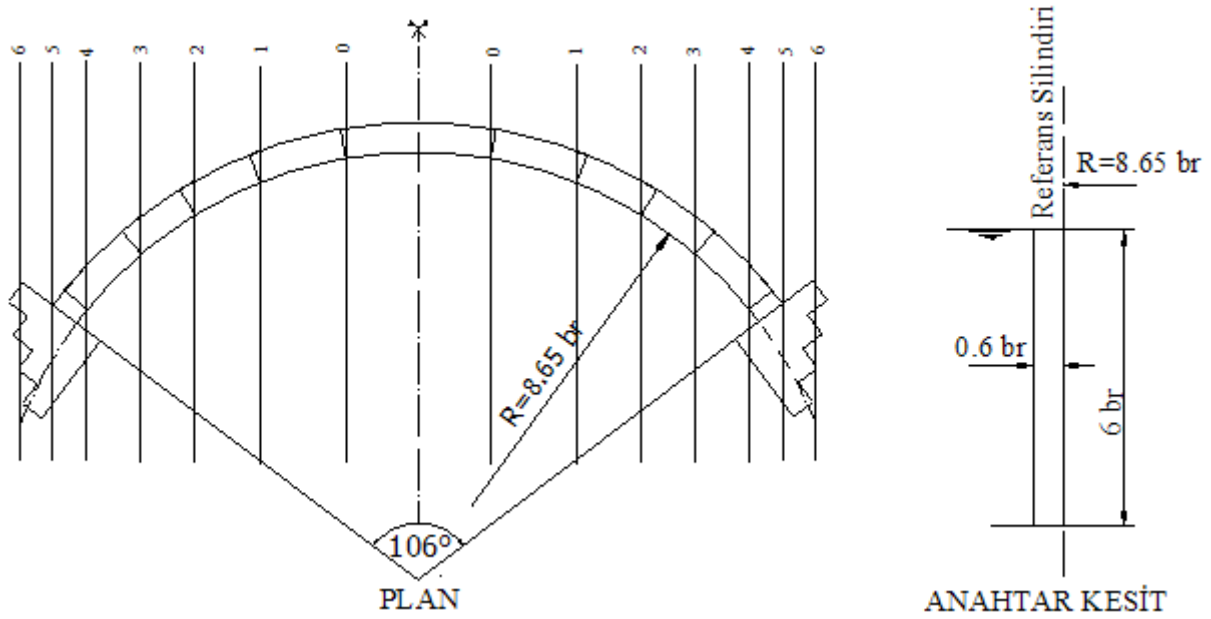
Bu çalışmada, kemer barajların dinamik karakteristiklerini deneysel olarak belirlemek için oluşturulan Tip-1 kemer baraj-rezervuar-zemin sisteminin yapım aşamaları anlatılmaktadır. Sistemin kesin projesinin oluşturulması, yapım için kullanılacak malzemelerin seçimi ve yapım sırasında dikkat edilmesi gereken unsurlar detaylı olarak verilmekte ve deneysel model oluşturmak isteyen araştırmacılar için önerilerde bulunmaktadır.

2 TİP-1 KEMER BARAJININ LABORATUVAR MODELİ

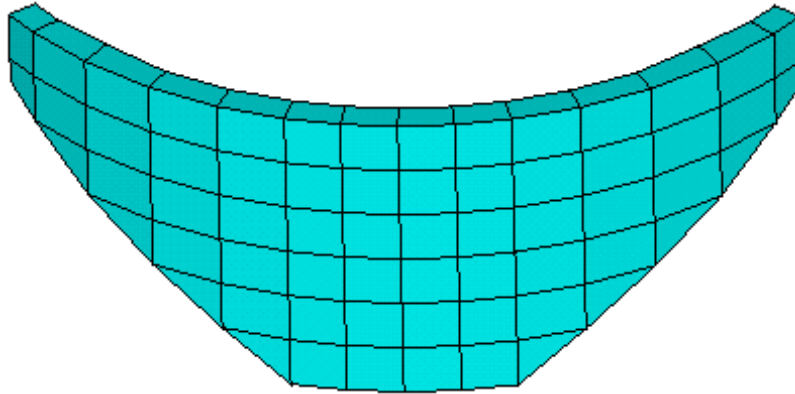
Tip-1 kemer barajı 1968'de İngiltere'de düzenlenen "Kemer Barajlar" [Arch Dams, 1968] sempozyumunda önerilen beş tip kemer barajın ilki olup, kemer baraj formunun en basit halidir. Bu baraj, sabit yarıçaplı, sabit merkez açılı, tek eğrilikli simetrik bir barajdır. Bu baraj tipi, yapımı diğer tiplere göre daha kolay olacağı düşünüldüğünden tercih edilmiştir. Tip-1 kemer barajının laboratuvar modelini oluşturabilmek için öncelikle küçük ölçekli modellerin yapıldığı çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalardan modellerin nasıl yapıldığı, yapım için ne tür malzemeler kullanıldığı ve model geometrileri konusunda fikir edinilmiştir.

2.1 Tasarım Projesi Detayları

Tip-1 kemer barajının geometrik özelliklerinin verildiği plan ve anahtar kesit görünüşü Şekil 5'te verilmektedir. Şekil 5'ten de görüldüğü gibi, Tip-1 kemer barajı 6 birim yüksekliğe, 0,6 birim kret ve taban genişliğine sahiptir. Deneysel model için 1 birimi 10 veya 15 cm seçmek literatüre göre uygundur. Fakat birim boyut büyüdükçe yapı maliyeti ve iş bitirme süresi artmaktadır. Bu yüzden çalışmada, 1 birim=10 cm olarak dikkate alınmıştır. Birim boyu 10 cm olarak kabul edilen Tip-1 kemer barajında, baraj yüksekliği 60 cm, kret uzunluğu 165,6 cm, kret ve taban genişliği 6 cm olarak hesap edilmiştir. Tip-1 kemer barajının hesaplanan boyutlara göre oluşturulan üç boyutlu sonlu eleman modeli Şekil 6'da verilmektedir.

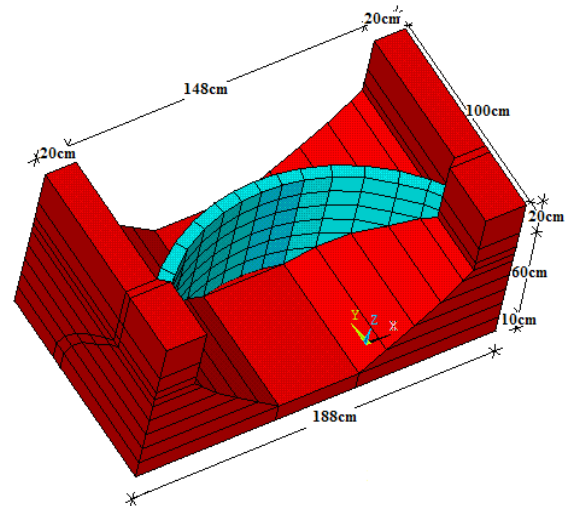


Şekil 5 - Tip-1 kemer barajının geometrik özellikleri



Şekil 6 - Tip-1 kemer barajının üç boyutlu sonlu eleman modeli

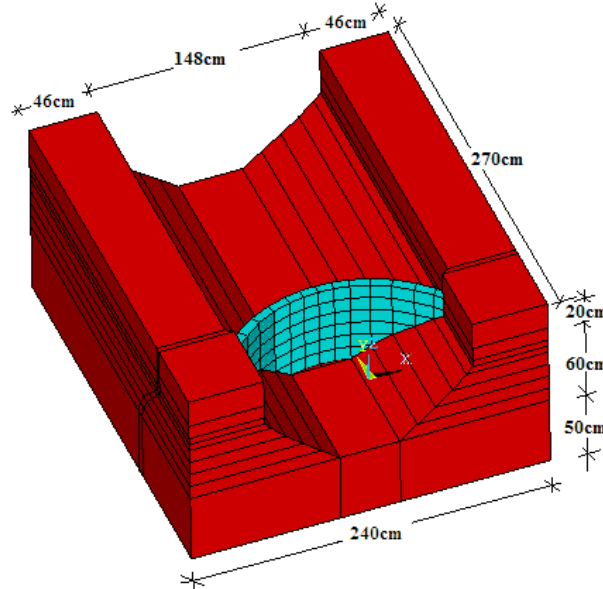
Tip-1 kemer barajının rezervuar ve zemin eklenmiş hali için birkaç model geliştirilmiştir. Bu modellerin ilkinde zemin; kret seviyesinde yamaçlara doğru baraj yüksekliğinin üçte biri kadar, mansap yönünde baraj yüksekliğinin yarısı kadar, memba yönünde baraj yüksekliği kadar ve baraj tabanından itibaren baraj yüksekliğinin altıda biri kadar uzatılmıştır. Bu şekilde oluşturulan ilk model Şekil 7'de verilmektedir. Bu modelin yapımı ekonomik olmakla birlikte gerçek bir kemer baraj-rezervuar-zemin sisteminin davranışını yansıtamayacağından bu modelden vazgeçilmiştir.



Şekil 7 - Tip-1 kemer baraj-rezervuar-zemin sisteminin ilk sonlu eleman modeli

Kemer barajlar, kemerleri sayesinde üzerlerine gelen su basıncını yamaçlara iletirler. Dolayısıyla kemer barajların yapıldığı vadilerin yamaçları çok sağlam olmalıdır. Yani baraj vadiyle ankastre olarak mesnetleşmelidir. Bu durum kemer barajların tasarımı yapılırken, zeminin baraj gövdesine göre her doğrultuda baraj yüksekliği kadar uzatılmasıyla temsil

edilir. Kemer baraja gelen suyun etkisini dikkate alarak için rezervuar uzunluğu baraj yüksekliğinin üç katı kadar olmalıdır [USACE, 2003]. Bu bilgiler ışığında Tip-1 kemer barajının rezervuar ve zeminle birlikte oluşturulmuş kesin sonlu eleman modeli ve boyutları Şekil 8'de verilmektedir.



Şekil 8 - Tip-1 kemer baraj-rezervuar-zemin sisteminin kesin sonlu eleman modeli

2.2 Kalıbın Yapımına ve Beton Dökümüne ait Detaylar

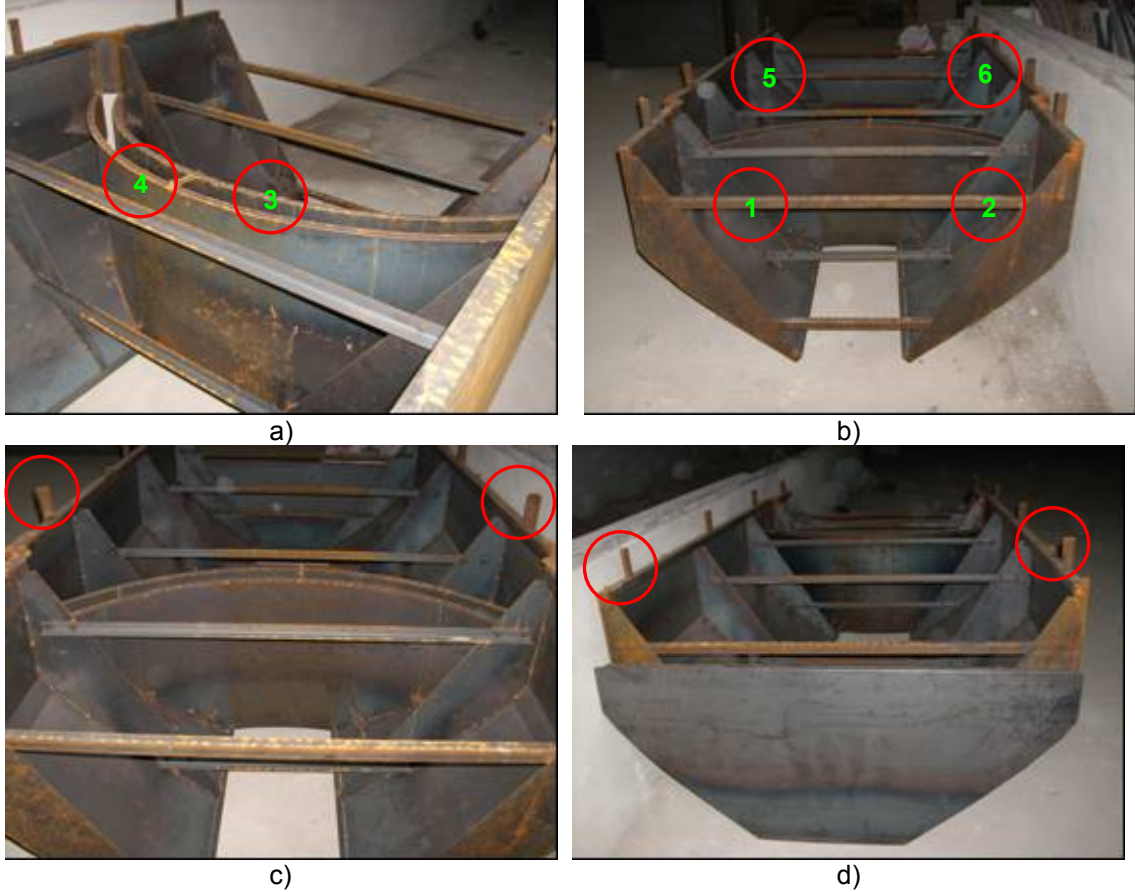
Tip-1 kemer barajının laboratuvar modelinin yapımı Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Kesin tasarımı Şekil 8'de verilen barajın oluşturulması için öncelikle kullanılacak malzemelerin cinsi belirlenmiştir. Modelin gerçek bir barajı yansıması için baraj gövdesinin betondan, baraj gövdesinin oturduğu zeminin sağlam olması gerektiğinden zeminin de betondan yapılmasına karar verilmiştir. Baraj gövdesinde oluşabilecek basınç ve çekme gerilmelerini karşılayabilmek için C30 sınıfı beton uygun görülmüştür. Zemin betonu için başka bir beton sınıfı kullanılabileceği gibi bu çalışmada, zemin için de C30 sınıfı beton kullanılmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Betonun kalıba almak için, barajın kemer ve iç kalıbının çelik sacdan, dış kalıbının ise ahşap keresteden yapılmasına karar verilmiştir. Kemer ve iç kalıbı ahşap keresteden yapmak zor olduğundan çelik sac tercih edilmiştir. Ayrıca çelik sac kalıptan çıkacak beton yüzeyinin ahşap kalıba göre daha pürüzsüz olduğu bilinmektedir. Barajın dış kalıbı dikdörtgen bir şekle sahip olduğu ve laboratuvar şartlarında yapımı gerçekleşeceği için ahşap kereste kullanılması uygun görülmüştür. Ayrıca ahşap kereste, iş bitince

tekrar kullanılabilir bir malzeme olması sebebiyle tercih edilmiştir.

2.2.1 Çelik sac kalıba ait detaylar

Şekil 8'de görülen Tip-1 kemer barajının, gövde kısmının eğriliğe sahip olması ve rezervuar kısmının değişken olması sebebiyle iç yüzeyde kolay şekil verilebilen sac malzeme kullanılmıştır.

Şekil 8 incelendiğinde iç kalıbın yerden 50 cm yukarıda askıda kalacağı anlaşılmaktadır. Fakat sac kalıba ait hiçbir elemanın beton içerisinde kalması istenmemektedir. Dolayısıyla sac kalıbın dış kalıpla bağlantısı beton dökülecek alana hiç temas etmeden yapılmalıdır. Ayrıca beton dökümü tamamlanıp kalıp alma zamanı geldiğinde, ince kemer olan baraj gövdesine hiçbir zarar gelmemelidir. Bu yüzden çelik kalıbı yaparken çok iyi bir işçilik gerekmektedir. Belirtilen kriterler dikkate alınarak çelik kalıp altı parçadan oluşturulmuştur (Şekil 9 a-b). İlk iki parça mansap yüzeyinin sağ ve sol yamaçlarına; son iki parça ise memba yüzeyinin sağ ve sol yamaçlarına ait olup birbirlerine göre simetrik yapılmıştır. 3 ve 4 numaralı iki parça barajın gövdesi için kemer formunda yapılmıştır. Çelik kalıp dış kalıba Şekil 9 c-d'de görülen kulaklar ile monte edilecektir. Kalıbın bitmiş haline ait görünüşler Şekil 9'da verilmektedir.



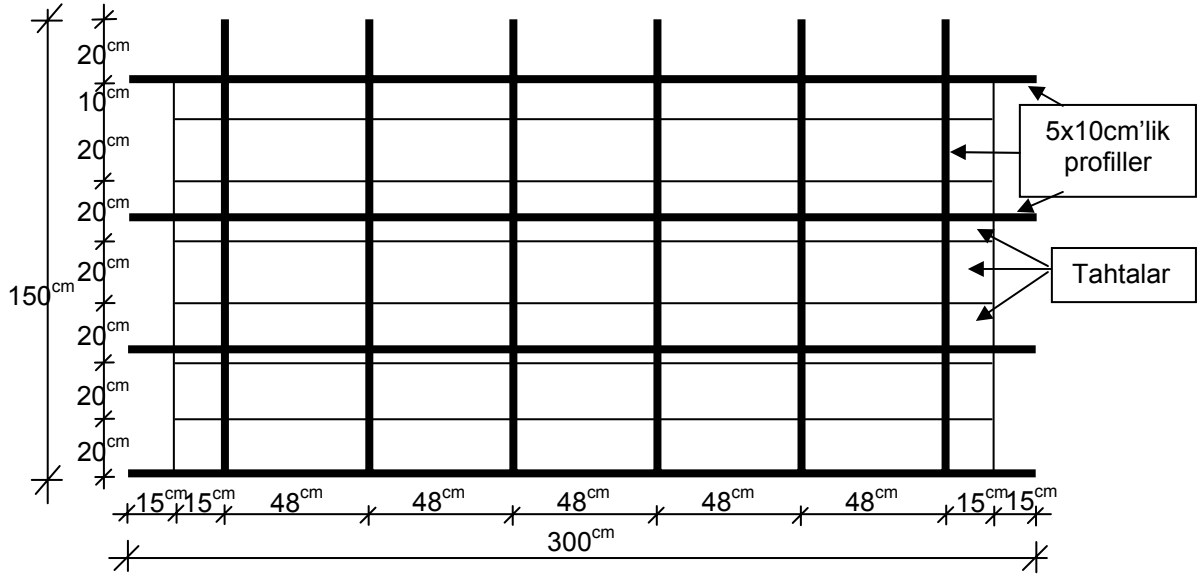
Şekil 9 - Çelik kalıba ait görünüşler

Şekil 9'da görüldüğü gibi parçalar birbirlerine levhalar ve L30.30.3 profillerle bağlanmıştır. Parçalar birbirine civatayla birleştirilerek bütün hale getirilmiştir. Çelik kalıbın oluşturulmasında et kalınlığı 2 mm olan toplam 150 kg sac ve profil kullanılmıştır.

2.2.2 Ahşap kalıba ait detaylar

Şekil 8'de görülen Tip-1 kemer barajının dış yüzeyi, iki tane (270 x 130) cm² ve iki tane (240 x 130) m² boyutlarındaki alanlardan oluşmaktadır. Her bir alan için panel kalıplar yapılmıştır. Panel kalıplar belirli aralıklarla yerleştirilmiş (5 x 10) cm'lik ahşap profillerin üzerine tahtalar çakmak suretiyle oluşturulmuştur. Şekil 10'da (270 x 130) cm² boyutlu yüzey için hazırlanan panel kalıp planı verilmektedir. Şekil 10'dan görüldüğü gibi panelde altı tane 20 cm ve bir tane de 10 cm eninde tahta kullanılmıştır. (5 x 10) cm'lik ahşap profillerin arasındaki mesafe ise yaklaşık 45-50 cm alınmıştır. Kalıp içerisine

dökülecek taze kütle betonun kalıplarda açılmaya sebep olmaması için bu profillerin arasındaki mesafe kısa tutulmuştur. Dış panelleri oluşturulan ahşap kalıbı sağlamlaştırmak için, panellerden yere çapraz (5 x 10) cm'lik ahşap profiller uzatılmıştır. Ayrıca panellerin içinden 8 mm çaplı demir geçirilerek kelepçelerle tutturulmuştur. Dış kalıbın içerisine yerleştirilen çelik kalıp kulaklarından paneller üzerinden uzatılan (5 x 10) cm'lik ahşap profillere monte edilmiştir. Böylelikle çelik kalıbın tüm yönlerde hareketi tutularak denge konumunda sabitlenmiştir. Kalıp içerisine yerleştirilecek beton genişleyen bir malzeme olduğu için, kalıbın taze betondan gelecek basıncı deformasyona ve yer değiştirmeye uğramadan taşıyacak şekilde sağlam ve sabit olması gereklidir. Ahşap kalıbın yapımında yaklaşık 1500 dm³ kereste kullanılmıştır. Ahşap kalıbın yapımına ait görünüşler Şekil 11'de verilmektedir.



Şekil 10 - (270 x 130) cm² boyutlu yüzey için hazırlanan panel kalıp planı





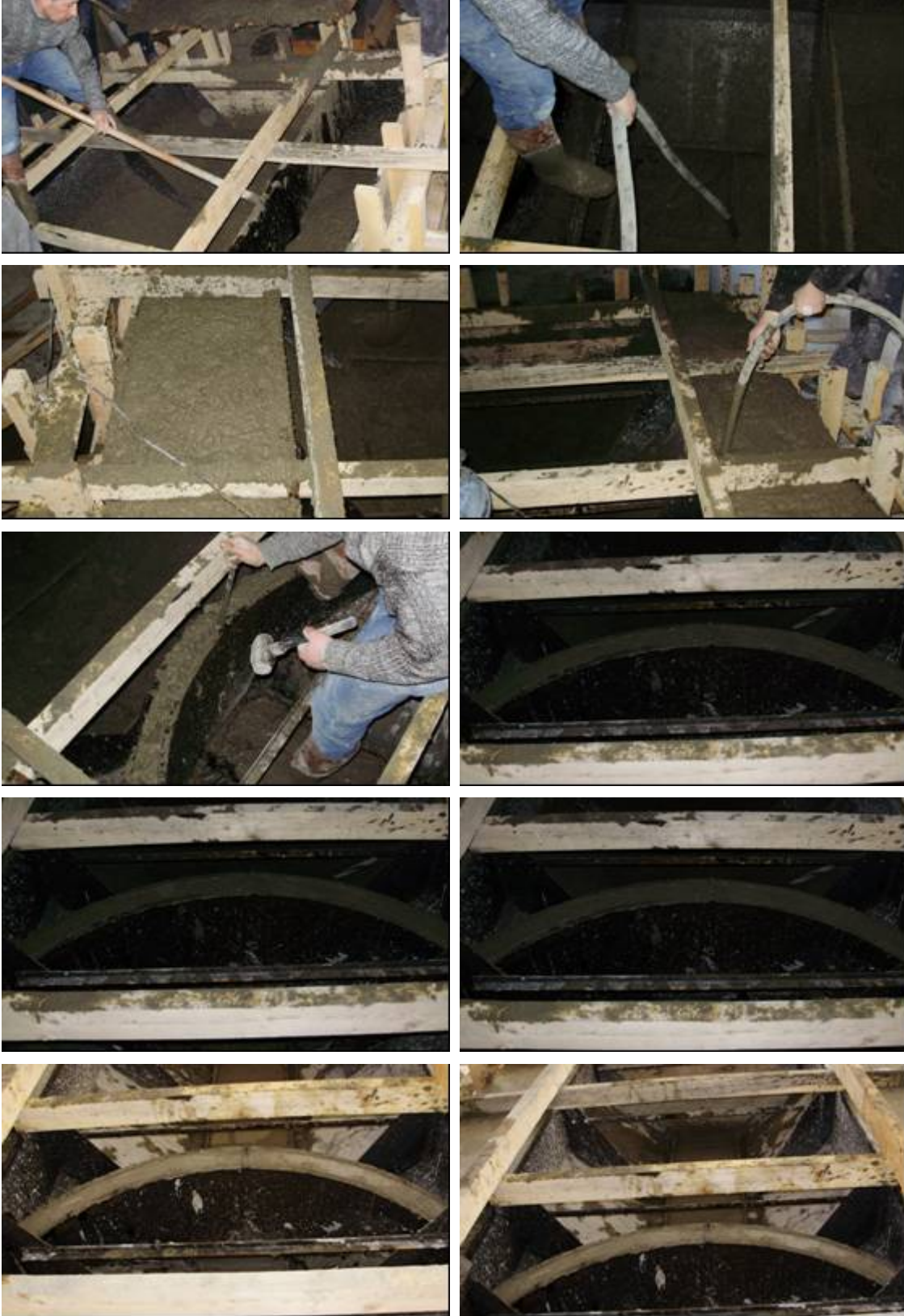
Şekil 11 - Ahşap kalıbın yapımına ait görünüşler

2.2.3 Beton dökümüne ait detaylar

Beton dökümünden önce ahşap ve çelik kalıp yağlanmıştır. Böylelikle kalıpların sertleşmiş betondan kolaylıkla çıkması sağlanmıştır. Döküm öncesi diğer kontrollerde yapılarak ortam beton dökümüne müsait hale getirilmiştir. Beton için C30 sınıfı uygun görülmüştür. İstenen özellikteki beton, hazır beton santralinden tedarik edilmiştir. Tip-1 kemer baraj-rezervuar-zemin sistemi için yaklaşık 6,5 m³ beton kullanılmıştır. Laboratuvara getirilen betonun kalıba kontrollü bir şekilde homojen olarak dağılması için elle dökülmüştür. Döküm sırasında betonun iyi

sıkışması ve kalıbın pürüzsüz bir yüzeye sahip olması için vibratör kullanılmıştır. Barajın kemer kısmı için daha fazla özen gösterilmiştir. Çünkü bu kısımda yapılacak küçük bir hata istenen yapının ortaya çıkmamasına sebep olacaktır. Kemer kısmı ince olduğu için buraya dökülen betonun maksimum agrega dane çapı 12 mm ile sınırlandırılmıştır. Kemer içine vibratör giremediğinden bu kısım şişlenerek sıkılaştırma yapılmıştır. Betonun mukavemetini ölçmek için, döküm sırasında betonun çeşitli yerlerinden numuneler alınarak küp şeklindeki kaplara konulmuştur. Beton dökümüne ait görünüşler Şekil 12'de verilmektedir.







Şekil 12 - Beton dökümüne ait görüşler

2.2.4 Beton dökümünden sonraki detaylar

Beton dökümü bittikten sonra yaklaşık iki hafta boyunca her gün sabah ve akşam olmak üzere beton sulanarak kür yapılmıştır. Ahşap kalıp beton dökümünden on gün sonra, çelik kalıp

ise üç hafta sonra sökülerek Tip-1 kemer barajının laboratuvar modeli ortaya çıkmıştır. Ahşap kalıp söküldükten sonra modele ait görüşler Şekil 13'te, modelin bitmiş haline ait görüşler Şekil 14'te verilmektedir.





Şekil 13 - Ahşap kalıp söküldükten sonraki görüşler





Şekil 14 - Modelin bitmiş haline ait görünüşler

3 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, tek eğriliğe sahip Tip-1 kemer baraj-rezervuar-zemin sisteminin laboratuvar ortamında yapılan modelinin yapım aşamaları detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Bu çalışmanın amacı, küçük bir baraj modeli veya farklı bir laboratuvar modeli yapmak isteyen araştırmacılara fikir vermek ve yol göstermektir. Tip-1 kemer baraj-rezervuar-zemin sisteminin belirlenen boyutlara göre yapımı için yaklaşık 150 kg çelik sac, 1500 dm³ ahşap ve 6,5 m³ beton kullanılmıştır. Baraj için üç işçi yaklaşık beş gün çalışmıştır. Baraj betonu iki hafta boyunca sulanarak kür yapılmıştır. Beton mukavemetini kazandığında, Tip-1 kemer barajına titreşim testleri uygulayarak dinamik karakteristikler belirlenecektir.

Çeşitli amaçlar için laboratuvar ortamında baraj modeli yapmak isteyen araştırmacılara bu çalışmaya dayanarak aşağıdaki öneriler yapılabilir:

- Modelin sağlıklı bir şekilde oluşturulabilmesi için önceden çalışma planı yapılmalıdır. Çalışma planında yapım öncesinde, sırasında ve sonunda yapılması gerekenler belirlenmelidir.
- Öncelikle oluşturulması düşünülen model hangi amaçla yapılıyorsa o amaç doğrultusunda literatür taranmalı ve benzer modeller incelenmelidir.
- Modelin kesin boyutlarına karar verilerek çizim detayları hazırlanmalıdır. Boyutları belirlenen modelin yapımı için uygun bir yer tahsis edilmelidir.

- Modelin yapımı için kullanılması gereken malzeme cinsi ve miktarı belirlenmelidir. İyi bir piyasa araştırması yapılarak malzemeler tedarik edilmelidir.
- Yapım sırasında kullanılacak diğer araç ve gereçler belirlenerek hazır hale getirilmelidir.
- Beton için yapılacak kalıplar kalifiye elemanlar tarafından hazırlanmalıdır. Kalıplar taze betonun basıncına dayanıklı olmalıdır. Kalıplarda en ufak bir açılma olmamalıdır. Kalıplar setleşmiş betondan kolay çıkabilecek şekilde hazırlanmalı ve iyice yağlanmalıdır.
- Kalıba dökülen beton, numuneler alınarak test edilmeli ve istenen özellikleri taşıyıp taşımadığı tespit edilmelidir. Dökülecek beton, ortamdaki hava koşulları göz önüne alınarak hazırlanmalıdır.
- Beton priz aldıktan sonra belirli bir süre sulanarak kür yapılmalıdır. Beton dayanımını kazanana kadar dış etkenlerden korunmalıdır. Kalıplar sökülürken dikkat edilmeli, betona herhangi bir zarar verilmemelidir.

4 TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 2006.112.001.1 numaralı Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında desteklenmiştir. Laboratuvar modelinin yapımı sırasında her türlü konuda yardımcı olan KTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı elemanlarına teşekkür ederiz.

5 KAYNAKLAR

- [1] Arch Dams, 1968. A Review of British Research and Development, Proceedings of the Symposium Held at the Institution of Civil Engineers, London, England.
- [2] Ghobarah, A. ve Ghaemian, M., 1998. “Experimental Study of Small Dam Models”, Journal of Engineering Mechanics, 124, 11, 1241-1248.
- [3] Li, Q.S., Li, Z.N., Li, G.Q., Meng, J.F. ve Tang, J., 2005. “Experimental and Numerical Seismic Investigations of the Three Gorges Dam”, Engineering Structures, 27, 501-513.
- [4] Morin, P.B., Le’ger, P. ve Tinawi, R., 2002. “Seismic Behavior of Post-Tensioned Gravity Dams: Shake Table Experiments and Numerical Simulations”, Journal of Structural Engineering, ASCE, 128, 140-252.
- [5] Pina, C.A.B., Costa, C.P., Lemos, J.V. ve Gomes, J.M.P., 1993. “An Experimental Study of Failure of A Gravity Dam on A Jointed Rock Foundation”, Transactions on Modelling and Simulation, 5, 293-301.
- [6] USACE, 2003. Time-History Dynamic Analysis of Concrete Hydraulic Structures, Engineering and Design, Washington, USA.
- [7] Wang, B.S. ve He, Z.C., 2007. “Crack Detection of Arch Dam using Statistical Neural Network Based on the Reductions of Natural Frequencies”, Journal of Sound and Vibration, 302, 1037-1047.
- [8] Wang, H. ve Li, D., 2007. “Experimental Study of Dynamic Damage of An Arch Dam”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 36, 347-366.
- [9] Wang, H. ve Li, D., 2006. “Experimental Study of Seismic Overloading of Large Arch Dam”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 35, 199-216.

KEMER BARAJI HAZNESİNİN PERFORMANSININ PERFORMANS İNDİSLERİ YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

H. Yıldırım DALKILIÇ
Arş. Gör., İnş. Yük. Müh., Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tınaztepe Kampüsü, 35160, Buca-İZMİR
yildirim.dalkilic@deu.edu.tr

Umut OKKAN
İnş. Yük. Müh., Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Tınaztepe Kampüsü, 35160, Buca-İZMİR
umutokkan1983@hotmail.com

(Bildirinin geliş tarihi: 15.07.2009, Bildirinin kabul tarihi: 17.08.2009)

ÖZET

Su kaynakları sistemlerinin birincil amacı, yeterli miktarda suyu, belli ekonomik ve diğer kısıtlar altında, tüm kullanıcılara, talep edilen zamanda, güvenilir ve minimum maliyetle iletebilmektir. Su kaynakları sistemleri planları, büyük su kaynakları sistemlerini ve çok amaçlı hazne sistemlerini planlarken, önerilen amaçların uygunluğuna ve çeşitli planlama seçeneklerine bağlı olarak kontrol kavramını formüle etmek gibi ve işletme politikalarıyla ilgili bir sorunla karşı karşıyadırlar.

Su kaynakları sistemleri planlamasındaki bir diğer sorun ise kesin bir performans kriteri koymak ve sistemin tepkisini değerlendirmektir. Bu konudaki birçok çalışma bazı performans kriterleri tanımlanabileceğini ve performans değerlendirmesinde bu kriterlerden bazılarının daha önemli olabileceğini vurgulamaktadır

Sunulan çalışmada performans indislerinin tanımları verilmiş ve daha sonra bu indislerden hesaplanabilenler ele alınarak, Kemer Barajının taşkın kontrolü, enerji üretimi ve sulamadan oluşan farklı amaçlarına göre bu indisler hesaplanarak sonuçlar yorumlanmıştır.

Anahtar sözcükler: Hazne performansı, performans indisleri.

DETERMINATION OF PERFORMANCE OF KEMER DAM WITH PERFORMANCE INDICES METHOD

ABSTRACT

The primary purpose of water resources systems is to provide safe water, in adequate amounts, to all users, at all times and at the lowest costs under economic and other constraints which exist at any time. Water resources system planners face with an issue of formulating control concept and related operating policies in order to evaluate consistency of proposed goals and various planning alternatives while planning of large water resources systems and multi purpose reservoir systems.

Another important issue in planning of water resources system is adopting certain performance criteria and evaluating how system acts. Many works in this field indicated that some performance criteria can be defined and some of these criteria may become more important than others in performance evaluation.

In the presented study, the definitions of performance indices are presented and then calculable indices are calculated by considering different objectives of Kemer Dam, which include flood control, energy production and irrigation and the results are interpreted.

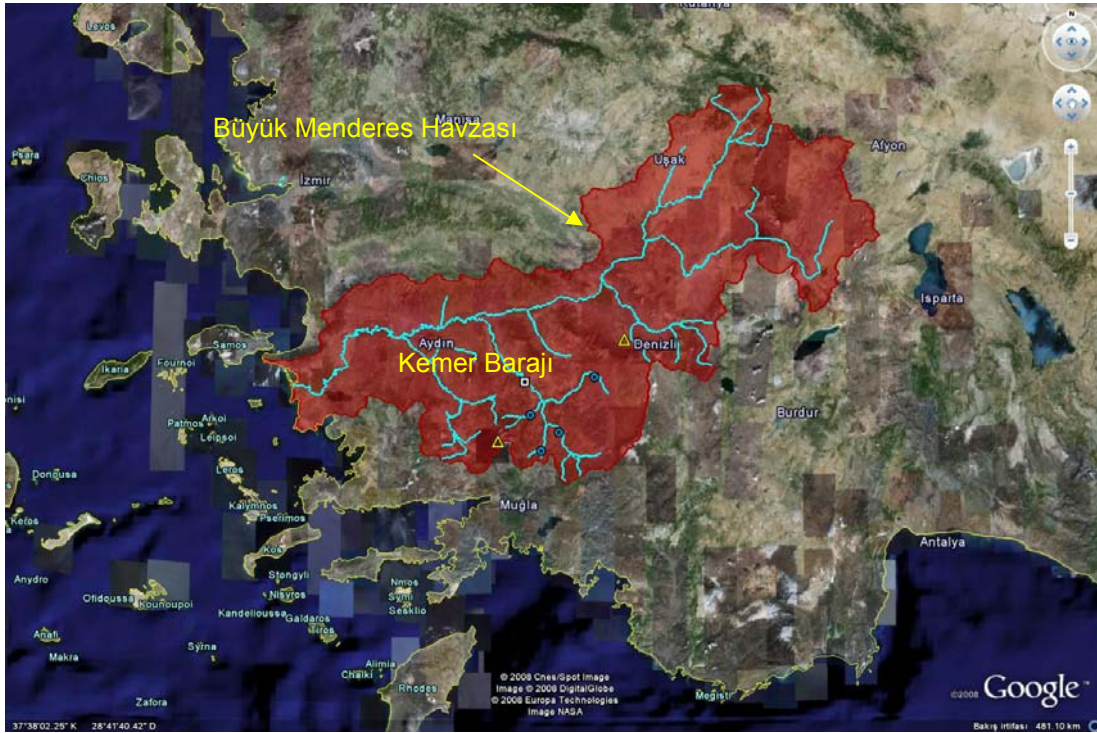
Keywords: Reservoir performance, performance indicators.

1 GENEL

Kemer barajı, Ege Bölgesinin en uzun nehri olan Büyük Menderes'in Akçay kolu üzerinde, Aydın ilinin Bozdoğan ilçesinde yer almaktadır. Batıya doğru 584 km'lik bir uzunluğa sahip olan Büyük Menderes nehri, büyük bir delta yaparak Ege Denizi'ne ulaşmaktadır. Büyük Menderes Deltası 9800 ha'lık sulak alanıyla bölge ve Türkiye için büyük önem taşımaktadır ve bu anlamda RAMSAR alanı olarak belirlenmiştir.

Büyük Menderes yaklaşık 25000 ha'lık drenaj alanına sahiptir ve 3 km³'lük yüzeysel akışıyla

Türkiye su potansiyelinin % 1,6 sına sahiptir. Havza 13 baraj ve birçok sayıda sulama sistemi içeren geniş su kaynakları sistemlerine sahiptir. Bölge sadece tarım açısından değil, aynı zamanda endüstriyel anlamda da oldukça gelişmiş bir bölgedir, bu endüstriyel faaliyetlerin başında tekstil ve turizm gelmektedir. Bu faaliyetler bölgedeki su kaynaklarının paylaşımı açısından önemli bir yarışı da beraberinde getirmektedir [13]. Bölgenin ve haznenin yerleşimi Şekil 1'de sunulmaktadır.



Şekil 1 - Büyük Menderes havzasının ve Kemer Barajının yerleşimi.

2 VERİLER

Çalışmada kullanılan veriler DSİ XXI. Bölge Müdürlüğü ve Kemer Barajı HES İşletme Müdürlüğünden temin edilmiştir. Alınan veriler derlenerek değerlendirilmiş ve 1981-2000 yılları arasındaki 240 aylık dönemdeki veriler kullanılmıştır. Bu veriler dolu savağın kapaklı hale getirilmesinden önceki bir dönemi kapsamaktadır [2, 5].

Sulama alanının gelişimini temsilen, veri dönemi ilk yılı olan 1981 yılı için 40.000 ha 2000 yılı içinse yaklaşık 58.000 ha değerleri kullanılmıştır. Sulama alanının her dört yılda bir yaklaşık % 7,5 geliştiği varsayılmıştır. Enerji talebi için 62 Gwh/yıl güvenilir enerji değeri, sulama talebinin aylık dağılımı içinse DSİ'den temin edilen sulama programlarındaki aylık taleplerin ortalaması alınmıştır.

Yıllık enerji talebinin aylara dağılımı ise, enerji talebinin yaklaşık % 80'lik bir kısmının sulamaya bırakılan suyun enerjisi alınarak karşılanacaktır mantığıyla sulama taleplerinin ortalamalarına göre oluşturulmuştur. Bu taleplerin değişimi Çizelge 1'de sunulmaktadır. Sulama suyu talebi için ha başına sulama suyu değeri olarak 10.000 m³/ha alınmıştır. Bu değer alanlarla çarpılarak sulama suyu talebinin 400.10⁶ m³ ile 580.10⁶ m³ arasında değiştiği kabul edilmiştir [1]. Enerji suyu talebi içinse kWh başına su ihtiyacı değeri olarak verilerdeki ortalama değer olan 4,9 kWh/m³ değeri kullanılmıştır.

Çizelge 1 - Aylık taleplerin değişimi

Aylar	Enerji talebi	Sulama talebi
Ekim	0,000	0
Kasım	0,000	0
Aralık	0,000	0
Ocak	0,100	0
Şubat	0,100	0
Mart	0,005	0
Nisan	0,000	0
Mayıs	0,095	0,095
Haziran	0,120	0,120
Temmuz	0,240	0,372
Ağustos	0,240	0,312
Eylül	0,100	0,101

3 TANIMLAR VE YÖNTEM

3.1 Servis Düzeyi

Bu indis, sistemin hizmet verme veya görevini yerine getirme (istenen suyu temin etme veya taşkın önleme gibi) sıklığıdır ve nisbi olarak ifade edilir. Başka bir deyişle, bu indis belli bir zaman dilimindeki (gün, ay, yıl) arz/talep oranını temsil eder. Bu indis taşkın kontrolü için taşkın kontrolünün sağlanabildiği ay sayısının toplam gözlem süresine oranı, enerji üretimi için enerji üretim talebinin karşılandığı ay sayısının toplam gözlem süresine oranı ve sulama için ise sulama talebinin karşılandığı ay sayısının toplam gözlem süresine oranı olarak dikkate alınmıştır.

3.2 Servis Kalitesi

Bu indis karşılanan ihtiyaç yüzdesini ifade eder. Bazı araştırmacılar, bu indisi ihtiyacın karşılandığı zaman yüzdesi olarak tanımlamaktadırlar. Bu tanımda, ihtiyacın tam olarak karşılanamaması da söz konusu olabilir;

su kullanıcıları ihtiyaçlarının tümünü karşılayamayabilirler ancak hazneden belli bir miktar su çekebilirler. Bu indis hesaplanmayan indisler arasındadır.

3.3 Tepki Hızı

Sistemin tepki hızı, ihtiyacın olduğu an ile, haznenin görevini yerine getirdiği an arasındaki zaman farkıdır. Diğer performans indisleri ancak, sistemin görevini yapamama olayı (μ modu veya "failure") meydana geldiğinde hesaplanabilir. Burada μ modunun derecesi ve önemli olup olmadığı konusundaki karar, hazne işletmecilerinin veya karar vericilerin görüşlerine bağlıdır. Bu indis hesaplanmayan indisler arasındadır.

Sistemin görevini yapamama olayının nispeten önemsiz olduğu durumlara örnek olarak aşağıdaki olaylar gösterilebilir:

- Verimi düşük bir tarımsal alanın, barajdan aşırı su bırakılması halinde su altında kalması,
- Bitki büyüme sürecinin kritik olmadığı bir dönemde, % 10 eksik sulama yapılması.

Sistemin görevini yapamama olayının (failure) önemli olduğu durumlara örnek olarak da aşağıdakiler gösterilebilir:

- Barajın göçmesi ve mansap kesimleri tamamen su altında bırakılması;
- % 80 ürün kaybına neden olan bir kuraklık olayı.

3.4 Güvenilirlik

Bu indis, μ olayının tanımlanmış olması halinde, güvenilirliği (reliability) ifade eder. Güvenilirlik, deney sırasında, sistemin μ modunda (failure-yetersiz) olmama nisbi frekansıdır. Güvenilirlik iki açıdan ele alınmalıdır:

Zamansal (periyodik) güvenilirlik: Bu indis talebin tamamının karşılandığı zamansal yüzdeyi gösterir. Taşkın kontrolü, enerji üretimi talebi, sulama talebi için ayrı ayrı hesaplanmıştır [14, 11].

$$R_p = n / N (\% 100) \quad (3.1)$$

Burada n, talebin tamamen karşılandığı zaman dilimi(gün, ay, yıl); N ise, toplam gözlem süresini göstermektedir.

Hacimsel güvenilirlik: Bu indis herhangi bir amaç için karşılanan talep yüzdesini göstermektedir. Bu indiste taşkın kontrolü, enerji üretimi ve sulama için ayrı ayrı hesaplanmıştır [14, 11].

$$R_v = v / V (\% 100) \quad (3.2)$$

Burada v , karşılanan talebin hacimsel değerini; V ise karşılanması gereken toplam talebin hacimsel değerini göstermektedir.

3.5 Güvenilirlik Eğrisi

Bu indis herhangi bir amaç için çevrilen su ile, üretim miktarı (gelen su, havzanın ürettiği haznede var olan su) arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu indis rastgele bir değişkenin kümülatif olasılık fonksiyonu ile aynı anlamı taşımaktadır. Olasılık teorisi kümülatif olasılık fonksiyonunun altında kalan alanın o değişkenin beklenen değerini verdiğini söylemektedir. Bu durumda güvenilirlik eğrisi altında kalan alan da talebin karşılanma yüzdesinin beklenen değerini vermektedir. Bu indis hesaplanmayan indisler arasındadır.

3.6 Güvenli Çekim

Bu indis sistemin ömrü boyunca kısıntı olmaksızın, çevrilen su ile üretilen suyun oranı olarak tanımlanabilir. Hazne için bu indis haznenin boş duruma gelmeden güvenle karşılayabileceği su miktarı olarak ta tanımlanabilir [8]. Örneğin hacimsel güvenilirlik indisi % 100 ise bu durum talebin güvenle çekilebilecek suya eşit veya daha küçük olduğu anlamına gelmektedir.

3.7 Olay Periyodu

Olay periyodu, sistemin μ moduna girişleri arasındaki ortalama süredir. Bir başka deyişle, olayın tekerrür aralığıdır [4].

$$\text{Olay periyodu} = \frac{\sum_{i=1}^k t_{m,i}}{k-1} \quad (3.3)$$

Burada $t_{m,i}$ sistemin herhangi bir amaç için yetersiz olması (failure) olayları arasında geçen süreyi, k ise toplam olay sayısını göstermektedir. Bu indis taşkın kontrolü, enerji üretimi ve sulama için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

3.8 Görevsel Güvenilirlik

Sistemin görevini yerine getirme açısından güvenilirliği, su talebinin olduğu zaman ile, sistemin bu talebe cevap verdiği zaman arasında μ olayının oluşmama olasılığıdır. Örneğin bir taşkın kontrolü probleminde bu indis, kontrol edilebilen taşkın hacminin hazneye gelen toplam taşkın hacmine oranı olarak tanımlanabilir. Bu indis hesaplanmayan indisler arasındadır.

3.9 Sağlanabilirlik

Bu indis, ihtiyaç veya talep oluştuğunda sistemin servise hazır olup olmadığını tanımlar. Başka bir deyişle, talep oluştuğunda, sistemin μ modunda olmama olasılığıdır (taşkın geldiğinde haznenin taşkın kontrol hacminin dolu olmaması gibi). Bu indis hesaplanmayan indisler arasındadır.

3.10 Esneklik

Bu indis deney sırasında sistemin μ modunda kalma ortalama süresidir. Yüksek esneklik değeri sistemin kısa sürede kendini toparladığını, yani normal moda döndüğünü olayın (yetersizlik) kısa sürdüğünü ifade eder [7].

$$\Phi = f_s / f_d, \quad f_d \neq 0 \quad (3.4)$$

Burada Φ esnekliği, f_s olay sayısını, f_d ise toplam olay süresini göstermektedir. Bu indis taşkın kontrolü, enerji üretimi ve sulama için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

3.11 Narinlik

Bu indis yetersizliğin (failure) şiddetini temsil etmektedir [7]. Sistem yüksek güvenilirliğe sahipken aynı zamanda yüksek narinliğe sahip olabilir. Bu sistemin yetersiz moda çok düşmediğini fakat bir kere yetersizlik olduğunda bunun yıkıcı boyutlarda olabileceği anlamına gelmektedir.

$$\hat{\eta} = \frac{\sum_{j=1}^{f_s} \max(v_j)}{f_s} \quad (3.5)$$

Burada, $\hat{\eta}$ narinliği, v_j eksikliğin maksimum değerleri toplamını, f_s olay (eksiklik, yetersizlik) sayısını göstermektedir. Daha çok kullanılan bir narinlik tanımı ise bu indisin boyutsuz halidir [11].

$$\eta = \hat{\eta} / V_f \quad (3.6)$$

Burada, η boyutsuz narinliği, $\hat{\eta}$ narinliği, V_f ise eksikliğin olduğu zamandaki (gün, ay, yıl) hedef değeri yani talebi göstermektedir. Bu indis taşkın kontrolü, enerji üretimi ve sulama için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

3.12 Sürdürülebilirlik İndisi

Haznenin sürdürülebilirliği ve bunu gösteren indis ile ilgili birçok tanım verilmektedir. Örneğin [9] bu indisi uygunluk (fairness) olarak, [6] bu indisi eski haline dönebilme yeteneği anlamına gelen reversibility olarak, [12] uyumlu çalışma olarak adlandırılacak olan consensus indisi olarak ve [10] sustainability yani sürdürülebilirlik

olarak tanımlanmışlardır. [10] tarafından getirilen bu ad ve tanım büyük kabul görmüştür ve [10] çalışmasında bu indisin formülasyonunu üç indisin çarpımı olarak vermiştir:

$$K = R_p \cdot \Phi \cdot (1 - \eta) \quad (3.7)$$

Burada K sürdürülebilirlik indisini, R_p zamansal yani periyodik güvenilirliği, Φ esnekliği, η boyutsuz narinliği göstermektedir. Bu indis hesaplanmayan indisler arasındadır.

3.13 Ekonomik İndis

Bu indis beklenen maliyetler, kayıplar, faydalar, geri dönüşüm oranı ve nakit akışı gibi birçok bileşenden oluşan bir vektör olarak tanımlanmaktadır [3, 15]. Bu indis hesaplanmayan indisler arasındadır.

3.14 Bileşik İndis

Performans indisleri genellikle deney sonunda yani farklı bir işletme politikası (kuralı) sonrasında hesaplanırlar. İstenirse belli zaman periyotlarında da hesaplanmaları mümkündür. Bileşik indis (Figures of Merit) hesaplanan bu performans indislerinin bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Bu fonksiyon ile ilgili genel anlamda iki tip yaklaşım vardır; birincisinde sistem deneyi bilinen bir olasılık dağılıma sahipse, diğer bir deyişle deneyin yapıldığı veri setinin olasılık dağılımı biliniyorsa, bileşik indis;

$$FM^k(\mu) = \int PI^k(c, \mu) dF_c(c) \quad (3.8)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada FM bileşik indis, μ olay modunu (failure), PI performans indisini, C sistem deneyini (işletme kuralını), $F_c(c)$ ise veri setinin olasılık dağılımını göstermektedir.

İkinci tanım olarak ise performans indislerinin belli bir yüzdesi tanımı verilmektedir. Burada indislerin ağırlıkları önemlerine göre değişebilir. Çok amaçlı karar verme yöntemlerindeki en objektif yaklaşımla tüm indislerin ağırlığı eşit kabul edilebilir. Yani indis sayısı n ise indisin bileşik indis hesabındaki ağırlığı $1/n$ olarak tanımlanabilir. Dolayısıyla ikinci bileşik indis tanımı;

$$FM = FM (PI^1, PI^2, \dots, PI^k) \quad (3.9)$$

olarak verilmektedir. Burada FM bileşik indis, PI performans indisini, k ise indis sayısını göstermektedir.

Bu çalışmada zamansal ve hacimsel güvenilirlik, olay periyodu, esneklik ve narinlik olmak üzere 5 adet indis taşkın kontrolü, enerji

üretimi ve sulama amaçlarına göre hesaplanmış ve bileşik indis kombinasyonu için aşağıda verilen tanım kullanılmıştır.

$$FM = (1/5) R_t + (1/5) R_v + (1/5) (IP/N_{obs}) + (1/5) \phi + (1/5) (1 - \eta) \quad (3.10)$$

Burada FM bileşik indis, R_t zamansal (periyodik) güvenilirliği, R_v hacimsel güvenilirliği, IP olay periyodunu, ϕ esnekliği, η narinliği, N_{obs} ise gözlem süresini göstermektedir. Tüm indisler 0 ile 1 aralığında değişecek şekilde eğer gerekli ise revize edilmiştir. IP için hesaplanan değer gözlem süresine bölünerek 0 ile 1 arasında değişen bir yüzde değeri olarak kullanılmış, narinlik ise 1'den çıkarılarak kullanılmıştır. Bunun sebebi tüm indislerin 1'e yakın iken olumlu bir durumu, 0'a yakın iken olumsuz bir durumu temsil etmelerini sağlamaktır. Örneğin narinlik değerinin 1'e yakın olması olay şiddetinin büyük olduğunu yani olumsuz bir durumu temsil etmektedir dolayısıyla bu değer 1'den çıkarılarak kullanılmıştır.

4 UYGULAMA

Çizelge 1'de verilen talep yüzdelerinin dağılımı kullanılarak, enerji üretimi için yıllık su ihtiyacı $62 \text{ GWh} \cdot 4,9 \text{ kWh/m}^3$ çarpımı ile $303.800.000 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olarak belirlenmiş ve yukarıda açıklandığı gibi sulama suyu ihtiyacı 400×10^6 ile 580×10^6 arasında değişecek şekilde ve sulama alanının gelişimi dört yılda bir yaklaşık % 7,5 olacak şekilde aylara, taleplere göre dağıtılmıştır. Taşkın kontrolü için ise hedef değer olarak, taşkın kontrol hacmi olan $120 \times 10^6 \text{ m}^3$ değeri kullanılmıştır. Taşkın kontrolü için olay modu (failure) ayrılması gereken taşkın kontrol hacminin ayrılamadığı ve var ise savaklanma olan durumlardır. Diğer bir deyişle, hazne işletme seviyesinin taşkın kontrol eğrisinin üstünde olduğu durumlardır. Enerji üretimi için olay modu (failure) ise, talebin tamamı ile karşılanamadığı durumlardır. Sulama amacı için de aynı şekilde sulama talebinin karşılanamadığı her durum olay modu (failure) olarak alınmıştır. Hazne işletmesi Şekil 2'de, hesaplarda kullanılmak üzere belirlenen değerler Çizelge 2, Çizelge 3, Çizelge 4 ve Çizelge 5'te toplu halde sunulmaktadır. Şekil 2'de mavi çizgi hazne kapasitesinin değişimini, kırmızı çizgi taşkın kontrol eğrisine karşı gelen hacimsel değerleri, yeşil çizgi ise minimum işletme seviyesinin hacimsel değerini göstermektedir. Şekil 2'de minimum işletme hacimindeki (seviyelerindeki) ve taşkın kontrol eğrisi seviyelerine karşı gelen hacim değerlerindeki farklılık 1979 ve 1989 yılına ait iki farklı batimetrik ölçüme göre hazırlanmış

olan iki farklı hacim-alan-seviye ilişkisinin kullanılmış olmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 2 - Taşkın kontrolü için indis hesabında kullanılan parametreler

Olay toplam süresi (failures) (ay)	41
Toplam olay sayısı (failures)	14
Olaylar arasında geçen toplam süre (ay)	206
Taşkın kontrolü amacı için toplam kontrol hacmi (hm ³)	28800
Olayların toplam hacmi (failures) (hm ³)	1956
Her olayın maksimum eksikliğinin toplamı (hm ³)	848
Olayların olduğu yerdeki ortalama hedef talep değeri (hm ³)	120

Servis düzeyi: 240 - 41 = 199 ay

Güvenilirlik:

Zamansal (periyodik) Güvenilirlik:

$$R_t = 1 - 41/240 = 0,829$$

Hacimsel Güvenilirlik:

$$R_v = 1 - 1,956 / 28,8 = 0,932$$

Olay periyodu: IP = 206/13 = 15,85 ay

Esneklik: $\phi = 14/41 = 0,342$ ay

Narinlik: $\hat{\eta} = 848 / 14 = 60,57 \text{ hm}^3$
 $\eta = \hat{\eta} / 120 \text{ hm}^3 = 0,505$

$$FM_{\text{taşkın}} = (1/5) R_t + (1/5) R_v + (1/5) (IP/N_{\text{obs}}) + (1/5)\phi + (1/5) (1 - \eta) = 0,5328$$

Çizelge 3 - Enerji üretimi için indis hesabında kullanılan parametreler

Olay toplam süresi (failures) (ay)	72
Toplam olay sayısı (failures)	40
Olaylar arasında geçen toplam süre (ay)	223
Enerji üretimi amacı için toplam kontrol hacmi (hm ³)	6076
Olayların toplam hacmi (failures) (hm ³)	2216
Her olayın maksimum eksikliğinin toplamı (hm ³)	839
Olayların olduğu yerdeki ortalama hedef talep değeri (hm ³)	33

Servis düzeyi: 240 - 72 = 168 ay

Güvenilirlik:

Zamansal (periyodik) Güvenilirlik:

$$R_t = 1 - 72/240 = 0,7$$

Hacimsel Güvenilirlik:

$$R_v = 1 - 2,216 / 6,076 = 0,635$$

Olay periyodu: IP = 223/39 = 5,72 month

Esneklik: $\phi = 40/72 = 0,555$ ay

Narinlik: $\hat{\eta} = 839 / 40 = 20,98 \text{ hm}^3$
 $\eta = \hat{\eta} / 33 \text{ hm}^3 = 0,636$

$$FM_{\text{enerji}} = (1/5) R_t + (1/5) R_v + (1/5) (IP/N_{\text{obs}}) + (1/5)\phi + (1/5) (1 - \eta) = 0,4556$$

Çizelge 3 - Sulama için indis hesabında kullanılan parametreler

Olay toplam süresi (failures) (ay)	83
Toplam olay sayısı (failures)	21
Olaylar arasında geçen toplam süre (ay)	226
Sulama amacı için toplam kontrol hacmi (hm ³)	9800
Olayların toplam hacmi (failures) (hm ³)	3026
Her olayın maksimum eksikliğinin toplamı (hm ³)	1240
Olayların olduğu yerdeki ortalama hedef talep değeri (hm ³)	168

Servis Düzeyi: 240 - 83 = 157 ay

Güvenilirlik:

Zamansal (periyodik)Güvenilirlik:

$$R_t = 1 - 83/240 = 0,654$$

Hacimsel Güvenilirlik:

$$R_v = 1 - 3,026 / 9,8 = 0,691$$

Olay periyodu: IP = 226/20 = 11,3 ay

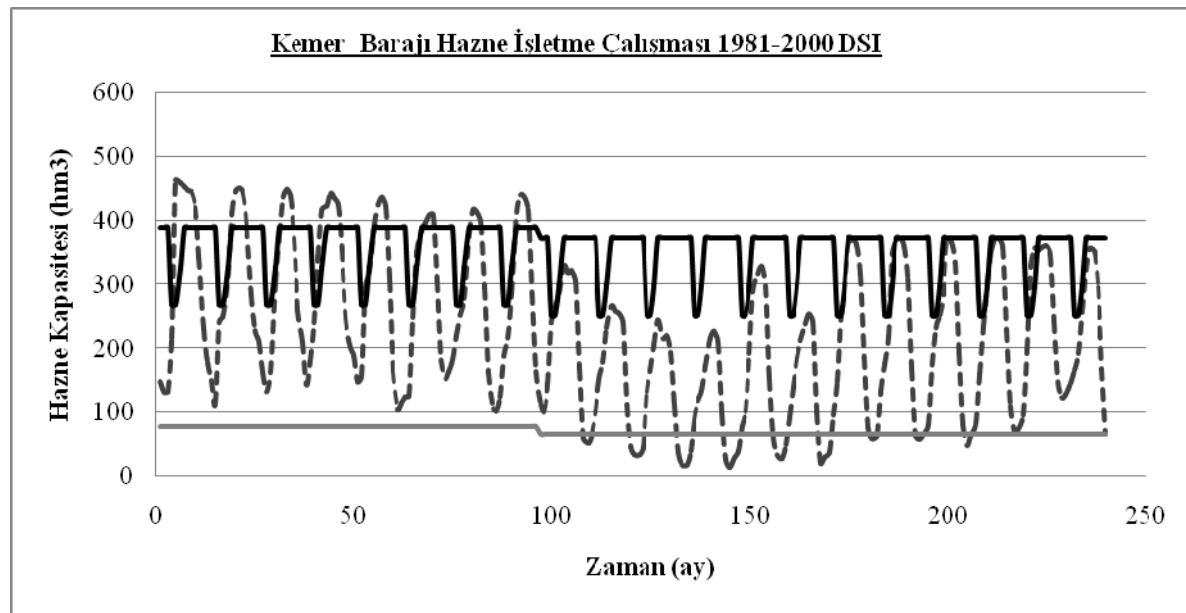
Esneklik: $\phi = 21/83 = 0,253$ ay

Narinlik: $\hat{\eta} = 1240 / 21 = 59,05 \text{ hm}^3$
 $\eta = \hat{\eta} / 168 \text{ hm}^3 = 0,352$

$$FM_{\text{irrigation}} = (1/5) R_t + (1/5) R_v + (1/5) (IP/N_{\text{obs}}) + (1/5)\phi + (1/5) (1 - \eta) = 0,4586$$

Çizelge 5 - Performans indisleri

	DSİ Mevcut İşletme Değerleri			
	Amaç	Taşkın Kontrolü	Enerji Üretimi	Sulama
Performans indisleri	Zamansal (periyodik) güvenilirlik	0,829	0,7	0,654
	Hacimsel güvenilirlik	0,932	0,635	0,691
	Olay periyodu (ay)	15,85	5,72	11,3
	Esneklik	0,342	0,555	0,253
	Narinlik	0,505	0,636	0,352
	Bileşik İndis	0,5328	0,4556	0,4586

**Şekil 2 - DSI kayıtları ile 1981-2000 yılları arasında hazne işletme durumu****5 SONUÇ VE ÖNERİLER**

Sonuçlar irdelendiğinde Kemer Barajı hazne performansının taşkın kontrolü açısından yüksek bir zamansal ve hacimsel güvenilirliğe sahip olduğu görülmektedir. Taşkın açısından (failure) yetersizlik durumunun ise yaklaşık 16 ayda bir gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Sistemin taşkın kontrolü açısından çok esnek olmadığı, ve ortalamasının üzerinde bir narinliğe sahip olduğu söylenebilir. Güvenilirlik açısından bakıldığında sistemin taşkın kontrolü amacını başarıyla yerine getirmesini sağlayacak şekilde işletildiğini rahatlıkla söyleyebiliriz.

Enerji üretimi açısından ise sistemin güvenilirliğinin azaldığı görülmektedir. Ancak burada çalışmanın aylık bazda yapıldığı ve taşkın kontrolünü sağlamak amacıyla salınan suyun enerjisinin alınarak salındığı yani ikincil enerji üretildiği de unutulmamalıdır. Enerji üretimi açısından değerlendirme ayrıca yıllık bazda da yapılabilir, bu enerji üretimi

performansını değerlendirmek açısından daha sağlıklı sonuçlar verecektir. Enerji üretimi açısından sistemin talebi karşılama konusunda taşkın kontrolü ve sulamaya göre daha sık yetersiz (failure) durumda kaldığı görülmektedir. Buna rağmen sistemin enerji üretimi açısından sulama ve taşkın kontrolü amaçlarına göre çok daha esnek olduğu, fakat aynı zamanda daha da narinleştiği görülmektedir.

Sulama açısından bakıldığında ise sistemin güvenilirliğinin taşkın kontrolüne göre çok daha az olduğu enerji üretimi amacıyla ise hemen hemen aynı mertebelerde olduğu görülmektedir. Sulama açısından sistemin yetersiz (failure) durumda kalmasının periyodu ise yaklaşık 11 aydır, yani kabaca her sene sulama mevsiminde talebi karşılama konusunda sıkıntı yaşandığı görülmektedir. Sistemin en az esnek olduğu amaç ise sulama amacıdır. Ancak sistem diğer amaçlara göre sulama konusunda daha az narindir. Bunun

temel nedenlerinin başında, sistemin kapasitesinin kabaca 372×10^6 m³ sulama talebinin ise artan sulama alanına ve zaman zaman değişen ürün desenine bağlı olarak 580.10^6 m³ mertebelerine çıkmış olmasıdır. Bu açıdan bakıldığında her ne kadar sistem özellikle sulama mevsiminde minimum işletme hacminin altında işletilse de sistemin hacminin sulama talebinin yaklaşık % 64'ünü, hatta minimum işletme hacminin altına düşülmediği takdirde ancak % 50 ila % 55'ini karşılayabileceği göz önüne alındığında, sistemin bu anlamda başarılı işletildiği rahatlıkla söylenebilir.

Ayrıca sistem zaman zaman sırf sulama ihtiyacını daha yüksek düzeyde karşılayabilmek için minimum işletme seviyesinin altına düşürülmekte, enerji üretimi amacından vazgeçilerek gerekli görüldüğü takdirde sadece sulama talebini daha çok karşılamak amacıyla dipsavaktan sulamaya su bırakmaktadır ve bu da gerek enerji üretimi amacına ait güvenilirlikteki düşüşü, gerekse sistemin sulama açısından az esnek oluşunun nedenini açıklamaktadır.

Türkiye'de hazne performansının değerlendirilmesi konusunda çok fazla çalışma bulunmaması, bu çalışmanın temel nedenini oluşturmaktadır. Ayrıca gerek mevcut hazne sistemlerinin, gerekse planlama aşamasındaki hazne sistemlerinin performanslarının değerlendirilme gerekliliği, karar verme açısından da büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma bu anlamda, bundan sonra yapılması muhtemel çalışmalara da ışık tutma amacını gütmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışmanın gerçekleştirilmesi sırasında, gerek veri temini, gerekse fikir alışverişi anlamında büyük katkı sunan DSİ, XXI. Bölge Müdürlüğü İşletme Müdürü Dr. Cengiz KOÇ'a ve çalışma arkadaşlarına; ayrıca yine barajı yerinde incelememize izin veren ve bilgi paylaşımı ile bize katkı sağlayan Kemer Barajı HES İşletme Müdürlüğü, çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirler.

6 KAYNAKLAR

- [1] Acatay, T. 1996. *Sulama Mühendisliği*, İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Vakfı Basın ve Yayın Merkezi, 598 p.
- [2] DSİ (2007). *Kemer Dam Operation Records*. XXI. Regional Directorate of State Hydraulic Works, Aydın.
- [3] Duckstein, L. et.al. 1985. Reliability based design concept in hydraulic engineering.

Journal of American Water Resources Association.

- [4] Duckstein, L. et.al. 1986. Multicriteiron risk and reliability analysis in hydrologic system design. *Water Resources Engineering Risk Assessment*, NATO ASI Series, pp.363-392.
- [5] EUAS (2007). *Kemer Dam Hydropower Plant Operation Records*, Operational Directorate of Kemer Dam Hydropower Plant, Aydın.
- [6] Fanai vd., 1997 Fanai, N., Burn, D.H., 1997. Reversibility as a sustainability criterion for project selection. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology* 4 (4), 259-273.
- [7] Hashimoto, T., Stedinger, J.R., Loucks, D.P., 1982. Reliability, resiliency and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. *Water Resources Research* 18 (1), 14-20.
- [8] Klemes vd., 1981. Long-memory flow models in reservoir analysis: what is their practical value? *Water Resources Research* 17 (3), 737-751.
- [9] Lence vd., 1997. Distributive fairness as a criterion for sustainability evaluative measures and application to project selection. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology* 4 (4), 245-258.
- [10] Loucks, (1997). Quantifying trends in system sustainability. *Hydrological Sciences Journal* 42 (4), 513-530.
- [11] McMahon, T.A. et al., 2006. Understanding Performance Measures of Reservoirs, *Journal of Hydrology*, (354), pp.359-382.
- [12] Simonovic, S. P. 1997. Risk in sustainable water resources management, *Sustainability of Water Resources Under Increasing Uncertainty*, Fifth Scientific Assembly of IAHS, Proceedings of the Rabat Symposium S1, IAHS Publication, No. 240, pp.3-17.
- [13] SUMER (2006). *Project report of Modeling of climate change effects in the Gediz and Büyük Menderes basin*. Preliminary studies under the UNDP-GEF Project for preparation of FNC of Turkey, İzmir.
- [14] Wurbs, 2001b, Modeling the Impacts of Climate Change on Water Supply Reliabilities. *International Water Resources Association*, V.27, pp.407-419.
- [15] Vogel 1985. *The variability of reservoir storage estimates*. Ph.D. Dissertaion, Cornell University. NY.

ŞEBEKE SUYU KALİTESİ İLE KAYNAK SUYU KALİTESİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Özlem TUNÇ DEDE

Dr., DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı
Kimya Laboratuvarı Şube Müdürlüğü, 06100 Yücetepe ANKARA
otunc@dsi.gov.tr

Muharrem POLAT

Kimya Mühendisi, DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı
Kimya Laboratuvarı Şube Müdürlüğü, 06100 Yücetepe ANKARA
muharrem@dsi.gov.tr

(Bildirinin geliş tarihi: 02.07.2009, Bildirinin kabul tarihi: 06.08.2009)

ÖZET

Türkiye’de son yıllarda yağışların azalmasıyla büyük şehirlerde oluşan su ihtiyacı, belediyeler tarafından farklı kaynaklardan sağlanmaya çalışılmıştır. Suyun kimyasal parametrelerinde oluşan farklılıklar sebebiyle, tüketiciler içme suyu ihtiyacını ambalajlı şekilde ticari olarak satılan kaynak suyundan karşılamaya başlamıştır. Bu ise kaynak suyu satışının büyük ölçüde artmasına sebep olmuştur. Bu bildiride, insani tüketim amaçlı sular standardında verilen suyun kimyasal parametre değerleri, hem şebeke suyu kimyasal parametre değerleriyle hem de kaynak suyu kimyasal parametre değerleriyle karşılaştırılmıştır.

Anahtar sözcükler: Şebeke suyu, kaynak suyu, işlem görmüş su, su kalitesi.

COMPARISON THE QUALITY OF NETWORK WATER AND SPRING WATER

ABSTRACT

There were low rainfall in the recent last years in Türkiye. Therefore, the water demand was increased and the municipalities supplied the required water from different sources. Because of the difference in the chemical parameters of water, consumers used the commercially available spring water from the market. This increased the sales of the spring water. In this paper, chemical parameter of water intended for human consumption standard is compared with the chemical parameters of tap water and with the chemical parameters of spring water.

Keywords: Network water, spring water, treated water, water quality.

1 GENEL

Su canlıların en önemli yapıtaşıdır ve canlı hücrelerinin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. İnsan metabolizmasındaki her türlü biyokimyasal ve fiziksel olayın oluşabilmesi için suya gereksinim vardır. İnsan vücudunda gerçekleşen her türlü madde alınımı ve taşınımı su aracılığı ile gerçekleşir ve bu taşınimler sırasında vücut belirli oranlarda ve sürekli olarak su kaybeder. Vücuttaki su dengesinin kurulabilmesi için su içilmesi ve bu su kaybının

giderilmesi gerekmektedir [3]. Su içilmesi sadece su dengesini kurmakla kalmaz, yanı sıra mineral dengesini de kurar, çünkü su bir mineraller taşıyıcısıdır. Bu sebeple mineral yapısı dengeli suları tüketmekte fayda vardır.

1997 yılında çıkarılan TS 266 İçme ve Kullanma Suları Standardı [4], 2005 yılında revize edilmiştir. Pek çok değişiklikte birlikte standardın adı da TS 266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular olarak değiştirilmiştir.

Revize Standard'da sular iki sınıfa ayrılmıştır:

Sınıf 1 - kaynak (memba) suları, Sınıf 2 - kaynak suları dışındaki insani tüketim amaçlı sulardır. Şebeke suları, kaynak suları dışındaki insani tüketim amaçlı sular sınıfına bir başka deyişle sınıf 2 sular kapsamına girmektedir [5].

Ayrıca suların sınıflandırılmasında, ilk kez Tip kavramı revize standard da yer almaktadır. Buna göre;

- a) Sınıf 1 sular (kaynak) tek tiptir.
- b) Sınıf 2 sular;
 - i) Tip 1 - işlem görmüş kaynak suları,
 - ii) Tip 2 - içme ve kullanma suları (şebeke) olmak üzere iki tiptir.

1.1 İnsani Tüketim Amaçlı Su

Orijinal haliyle veya arıtıldıktan sonra TS 266 standardında belirtilen özellikleri sağlayan, genel olarak içme, yemek yapma, gıda maddelerinin hazırlanması amaçlar ile temizlik için kullanılan dere, nehir vb. akarsular, göl, baraj vb. durgun sular ile kaynak (memba) sularıdır [5]. Standardda kaynak suyu, işlem görmüş kaynak suyu ile içme ve kullanma suları insani tüketim amaçlı sular olarak tanımlanmıştır. Kaynak suyu Sınıf 1, işlem görmüş kaynak suyu Sınıf 2 Tip 1, içme ve kullanma suları ise Sınıf 2 Tip 2 kapsamına girmektedir.

1.1.1 Kaynak (memba) suyu

Jeolojik koşulları uygun jeolojik birimlerin içinde doğal olarak oluşan, bir çıkış noktasından kendiliğinden yeryüzüne çıkan veya teknik yöntemlerle yapay olarak yeryüzüne çıkarılan, TS 266 standardda belirtilen özellikleri orijinal hali ile sağlayan, sıcaklı, debi ve özellikleri mevsimlere göre çok az değişiklik gösteren, yağışlar, yüzey suları ve taban suyundan büyük ölçüde etkilenmeyen, göze, pınar, kuyu, galeri vb. yer altı kaynaklı sulardır [5].

1.1.2 İşlem Görmüş Kaynak (Memba) Suyu

Jeolojik koşulları uygun jeolojik birimlerin içinde doğal olarak oluşan, bir çıkış noktasından kendiliğinden yer yüzüne çıkan veya teknik yöntemlerle yapay olarak yer yüzüne çıkarılan, TS 266 standardında belirtilen özellikleri ancak dezenfeksiyon, filtrasyon, çöktürme, saflaştırma ve benzeri işlemler uygulandıktan sonra yada özellik değerlerinin azaltılması veya artırılmasıyla sağlayabilen yer altı kaynaklı sulardır [5].

1.1.3 İçme ve Kullanma Suları

Kaynağına bakılmaksızın orijinal haliyle veya arıtıldıktan sonra TS 266 standardında belirtilen

özellikleri sağlayan, genel olarak içme, yemek yapma, gıda maddelerinin hazırlanması (gıda maddelerinin hazırlanmasında gıda maddesi ile doğrudan temas eden sular) vb. amaçlar ile temizlik amacıyla kullanılan sulardır [5].

2 BULGULAR

2.1 Genel

TS 266 İçme ve Kullanma Suları Standardında, Sınıf 1 (kaynak suyu) ve Sınıf 2 Tip 2 (şebeke suyu) için sınır değerler Çizelge 1'de verilmiştir. Sınıf 1 (kaynak) suyu için verilen sınır değerler, sınıf 2 Tip 2 (şebeke) suyu için verilen sınır değerlerin çok altındadır. Ancak bu, Sınıf 1 (kaynak) suyunun, Sınıf 2 Tip 2 (şebeke) suyundan daha kaliteli bir su olduğu anlamına gelmemektedir. Önemli olan suyun özelliklerinin Sınıf 2 Tip 2 için verilen sınır değerlerin altında kalmış olmasıdır. Gerek Sınıf 1 gerekse Sınıf 2 suları insani tüketim amacıyla kullanılan sulardır.

Bir suyun içilebilmesi için Sınıf 1 (kaynak) suyunun özelliklerini taşıması gerekmez. Bir suyun içilebilmesi için Sınıf 2 Tip 2 (şebeke suyu) suyunun özelliklerini taşıması yeterlidir. Ölçülen parametrelerin değeri Sınıf 2 Tip 2 (şebeke suyu) sular için verilen en çok değeri aşmamalıdır.

En kritik parametrelerin (insan sağlığını en çok etkileyen) sınır değerleri, TS 266'da hem Sınıf 1 hem de Sınıf 2 Tip 2 için aynı derişim değerleri Çizelge 1'de kalın yazılı olarak verilmiştir. Söz konusu parametreler Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı tarafından *1. grup kanser yapıcı bileşikler* arasında gösterilmiştir [2].

2.2 Şebeke Suyu Kalitesi (İvedik Arıtma Tesisi Çıkışı)

Kızılırmak suyunun kesilmesinden sonra 2009 Şubat ve Nisan aylarında şebeke suyunun analizi yapılarak kalitesi belirlenmiştir. Çizelge 2'de verilerin ortalaması kaynak suyu sınır değerleri ile birlikte sunulmuştur.

Elde edilen sonuçlara göre, sülfat hariç diğer parametrelerin ortalama değerleri, kaynak suları için verilen sınır değerlerin altındadır. Bir suyun kaynak suyu niteliğini taşıması için sülfatın, en çok 25 mg/L olması gerekir. Şebeke suyunda bu değer, her iki ay için yapılan ölçümlerde Sınıf 1 ve Sınıf 2 Tip 1 sınır değerinin üzerinde çıkmıştır.

Çizelge 1 - Sınıf 1 (kaynak suyu), Sınıf 2 Tip 1 (işlem görmüş kaynak suyu) ve Sınıf 2 Tip 2 (şebeke suyu) için verilen sınır değerleri

Parametre	Sınıf 1 ve sınıf 2 Tip 1 sınır değerleri, en çok	Sınıf 2 Tip 2 (şebeke suyu) sınır değerleri, en çok
EC, µS/cm	650	2500
Na, mg/L	100	200
Cl, mg/L	30	250
SO ₄ , mg/L	25	250
NH ₄ , mg/L	0,050	0,50
NO ₂ , mg/L	0,10	0,50
NO ₃ , mg/L	25	50
Kurşun, µg/L	10	10
Krom, µg/L	50	50
Mangan, µg/L	20	50
Demir, µg/L	50	200
Kadmiyum, µg/L	5,0	5,0
Alüminyum, µg/L	200	200
Bor, µg/L	1000	1000
Civa, µg/L	1,0	1,0
Nikel, µg/L	20	20
Bakır, µg/L	100	2000
Antimon, µg/L	5,0	5,0
Arsenik, µg/L	10	10

Çizelge 2 - Şebeke suyu kalitesi (İvedik Arıtma Tesisleri Çıkışı)

Parametre	Şubat 2009 Ortalama Değer	Nisan 2009 Ortalama Değer	Sınıf 1 ve Sınıf 2 Tip 1 Sınır değerleri, en çok
EC, µS/m	288	220	650
Na, mg/L	16,5	8,4	100
Cl, mg/L	16,3	5,3	30
SO ₄ , mg/L	41,9	30,8	25
NH ₄ , mg/L	0,06	n.d.	0.05
NO ₂ , mg/L	n.d.	n.d.	0.10
NO ₃ , mg/L	1,69	1,365	25
Kurşun, µg/L	n.d.	n.d.	10
Krom, µg/L	5,87	0,95	50
Mangan, µg/L	2,93	2,67	50
Demir, µg/L	88,11	n.d.	200
Kadmiyum, µg/L	n.d.	0,02	5,0
Alüminyum, µg/L	100,3	37,2	200
Bor, µg/L	50,5	19,2	1000
Civa, µg/L	n.d.	n.d.	1.0
Nikel, µg/L	2,6	1,6	20
Bakır, µg/L	0,90	n.d.	100
Antimon, µg/L	0,75	0,61	5,0
Arsenik, µg/L	1,76	0,53	10

nd: Algılama sınırının altında.

Şebeke suyunda sülfatın kaynak suları için verilen sınır değerinin üzerinde çıkmasının nedeni arıtma tesislerinde yumaklaştırma (koagülasyon) ünitesinde, yumaklaştırıcı olarak alüminyum sülfatın (Al₂SO₄) kullanılmasıdır [6]. Al₂SO₄ kullanılması bir diğer parametre olan alüminyum parametresinin de yüksek çıkmasına neden olmuştur. Ancak buna rağmen alüminyum derişimi sınır değerlerinin altındadır.

Sülfat bakımından şebeke suyunun içilip içilmeyeceğine karar vermek için TS 266'ya bakmak gerekir. Bir suyun insani tüketim amacıyla kullanılabilmesi için sülfat derişiminin 250 mg/L'yi aşmaması gerekir. Şebeke suyu sülfat parametresi hariç, arıtma tesislerinde dezenfeksiyon, çöktürme, süzme vb. işlem görmesi nedeniyle işlem görmüş kaynak suyu niteliğindedir.

2.3 Şebeke Suyu Kalitesi (Pursaklar Arıtma Tesisi Çıkışı)

Kaynaklardan gelen sular Çubuk II barajında depolanmaktadır. Çubuk II baraj suyu Pursaklar Arıtma Tesislerinde arıtılmaktadır. Pursaklar ve civarındaki yerleşim yerlerine içmesuyu ve kullanma suyu olarak verilmektedir.

Şebeke suyunun yapılan iki analiz sonucu Çizelge 3'te verilmiştir. Bütün parametrelerin derişim değerleri kaynak suyu için verilen sınır değerlerin altında kalmaktadır. Pursaklar Arıtma Tesisi Çıkış suyu, kaynak suyu niteliği taşımaktadır. Ancak bu su, arıtma tesislerinde arıtılması nedeniyle İşlem görmüş kaynak suyudur.

2.4 Ticari Olarak Piyasada Satılan Kaynak Sularının Kalitesi

Piyasada satılan damacana sularının etiketlerinde farklı parametreler yer almaktadır. Ticari olarak satılan iki farklı su şirketinin damacana üzerinde bulunan etiket bilgileri aşağıda verilmiştir.

A damacana sularının etiketinde bikarbonat, potasyum, florür, kalsiyum, magnezyum, sülfat, fosfat, karbonat, silisyum dioksit, klorür, nitrit, nitrat, sodyum, sülfür, alüminyum, demir (Fe⁺²) ve toplam mineralizasyon parametreleri bulunmaktadır.

B kaynak suyunda ise bikarbonat, potasyum, kalsiyum, magnezyum, sülfat, klorür, nitrit, nitrat, sodyum, toplam mineralizasyon parametreleri bulunmaktadır.

Çizelge 3 - Şebeke suyu (Pursaklar Arıtma Tesisleri Çıkışı)

Parametre	Şubat 2009 Ortalama Değer	Haziran 2009 Ortalama Değer	Sınıf 1 ve Sınıf 2 Tip 1 Sınır değerleri, en çok
EC, µS/m	296,5	270,0	650
Na, mg/L	8,15	7,67	100
Cl, mg/L	10,40	6,53	30
SO ₄ , mg/L	17,60	18,95	25
NH ₄ , mg/L	0,01	0,027	0,050
NO ₂ , mg/L	0,0	0,0	0,10
NO ₃ , mg/L	1,90	2,73	25
Kurşun, µg/L	0,00	0,91	10
Krom, µg/L	4,15	3,74	50
Mangan, µg/L	15,96	24,38	50
Demir, µg/L	8,11	125,80	200
Kadmiyum, µg/L	0,04	0,15	5,0
Alüminyum, µg/L	21,29	26,75	200
Bor, µg/L	32,46	27,79	1000
Civa, µg/L	n.d.	n.d.	1,0
Nikel, µg/L	1,03	1,61	20
Bakır, µg/L	0,00	0,27	100
Antimon, µg/L	0,43	1,52	5,0
Arsenik, µg/L	0,52	0,62	10

nd: Algılama sınırının altında

Bu iki kaynağın parametreleri karşılaştırıldığında, A sularının damacana etiketinde 17 parametrenin, B suyunda ise 10 parametrenin analiz sonuçları verilmiştir. Ancak, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmeliğin "Etiket Bilgileri" nin yer aldığı 34. maddesine uyulmadığı görülmektedir. Yönetmeliğe göre, yönetmeliğin ekinde yer alan Gösterge Parametreleri (alüminyum, amonyum, klorür, C. perfringens (sporlular dahil), renk, iletkenlik, PH, demir, mangan, koku, oksitlenebilirlik, sülfat, sodyum, tat, 22 °C'de koloni sayımı, koliform bakteri, Toplam Organik Karbon (TOC) ve bulanıklık) etikette yer almalıdır [1].

A damacana suyunun etiketinde yer alan bikarbonat, potasyum, kalsiyum, magnezyum, fosfat, karbonat, silisyum dioksit, sülfür, ve toplam mineralizasyon parametreleri kalite parametreleri değildir. Buna karşın amonyum, renk, iletkenlik, pH, oksitlenebilirlik ve bulanıklık gibi olması gereken parametrelerin analizi etiketin üzerinde bulunmamaktadır.

B suyunda ise bikarbonat, potasyum, kalsiyum, magnezyum, toplam mineralizasyon parametreleri kaliteyi ifade eden gösterge

parametreleri değildir. Amonyum, renk, iletkenlik, pH, oksitlenebilirlik, alüminyum, demir, florür ve bulanıklık parametrelerin analizi etiket bilgilerinde bulunmamaktadır.

Yönetmelikte [6] damacana sularında analizi istenmemesine rağmen olması gereken çok önemli bir parametre de arseniktir. Arsenik insan sağlığını uzun dönemde etkileyecek önemli bir parametredir ve Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı tarafından *1. grup kanser yapıcı bileşikler* arasında gösterilmiştir [2]. Bazı kaynak suları insani tüketime sunulamayacak kadar yüksek miktarda arsenik içermektedir.

Burada vurgulanmak istenen şudur; ambalajlı su sektöründe piyasaya sürülen suların etiketine bakarak, bu su ne kadar kaliteliymiş demek mümkün değildir. Yönetmelikte istenen ama etiketlerinde yer verilmeyen diğer parametrelerin analiz sonuçlarının da bilinmesi gereklidir.

2.5 Su Arıtma Cihazlarının Kullanımı

Kaynak suyu veya işlem görmüş kaynak suyu özelliğindeki bir suyun arıtılması gereksizdir. Arıtma cihazı sudaki anyon-kasyon dengesini bozmaktadır. Çünkü her parametreyi aynı oranda arıtamamaktadır. Kaynak sularında, yer altı sularında, nehir, göl vs. bütün sularda doğal bir denge vardır. Yani sularda toplam anyon, toplam kasyona eşittir. Ayrıca vücudumuzun ihtiyacı olan minerallerin bir kısmını tükettiğimiz içme suyundan sağlamaktayız.

3 SONUÇ

Bu çalışmada örnek olarak verilen Ankaralı tüketiciler, içme suyu kaynakları bakımından çok şanslılar. Çünkü bu kaynakların havzasında kirletici kaynaklar bulunmamaktadır. Bu sular bir kaynaktan çıkıp akışa geçerek dere ve çayları beslerler. Daha sonra barajlarda depolanırlar. İvedik Arıtma Tesislerinde arıtıldıktan sonra şebekeye verilir. Şebekeye verilen su, sülfat parametresi hariç işlem görmüş kaynak suyu yani Sınıf 2 Tip 1 özelliğindedir.

Kaynak suyu niteliğindeki bir suyu, arıtma cihazı ile arıtmak, suyun kalitesinin iyileştirildiği anlamına gelmez, aksine suyun doğal yapısını bozabilir. Aynı zamanda arıtma cihazı, suyun içindeki minerallerin miktarını gereğinden fazla düşürebilir. . Bu da sudan doğal olarak almamız gereken minerallerin azalması demektir

Standartta kurşun, krom, arsenik, bor, kadmiyum, alüminyum, antimon gibi en kritik parametreler için verilen sınır değerleri hem kaynak hem de şebeke suyu için aynıdır. Şebeke suyunda diğer parametrelerin sınır

değerlerinin kaynak sularından daha yüksek olmasının bir önemi yoktur.

Bazı tüketiciler su tercihlerinde **suyun sertliğine** bakmaktadırlar. Oysa sertlik içme suyu parametresi değildir. Şimdiye kadar yapılan araştırmalarda, sertliğin insan sağlığı üzerinde olumsuz herhangi bir etkisi saptanamamıştır. 1997 yılında çıkarılan TS 266 İçme ve Kullanma Suları Standard'ına göre sertlik için en az 15 ° FS olması gerekiyordu. Standardda suda olması gereken en az değer verilmiştir. Bu değer 15 ° FS olup orta sertliği ifade etmektedir (eski standardda orta sertlikte sular tavsiye edilirdi).

2005 yılında revize edilen TS 266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standard'ından **sertlik** parametresi çıkarılmıştır. Dolayısıyla gerek kaynak, gerekse içme sularında sertliğin düşük olması, suyun kalitesinin iyi olduğu anlamına gelmemektedir.

İnsani tüketim amaçlı sularda en kritik parametre arseniktir. Gerek paketlenmiş (ambalajlı) gerekse çeşitli kaynaklardan getirilen bazı kaynak sularında arsenik parametresinin derişiminin, sınır değer üzerinde olduğunu biliyoruz. Bu nedenle Sağlık Bakanlığının paketlenmiş suların etiket bilgilerinde arsenik parametresinin derişim değerinin yer almasını zorunlu hale getirmesi gerekmektedir.

4 KAYNAKLAR

- [1] İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, Sağlık Bakanlığı, Ankara, 2005.
- [2] Kimya Mühendisliği Dergisi, Kimya Mühendisleri Odası, sayı 170, Ankara, 2008.
- [3] Su Dünyası, Sayı 57, Nisan 2008.
- [4] TS 266 İçme ve Kullanma Suları, Türk Standartları Enstitüsü Başkanlığı, Ankara, 1997.
- [5] TS 266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular, Türk Standartları Enstitüsü Başkanlığı, Ankara, 2005.
- [6] Web sitesi: [www. aski.gov.tr](http://www.aski.gov.tr).

ÇAĞLAYAN BARAJI AKTİF HAZNE HACMİNİN OLASILIK MATRİS YÖNTEMLERİYLE İRDELENMESİ

Sevinç ÖZKUL

Doç. Dr. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Tınaztepe Kampüsü, Buca 35160 İZMİR
sevinc.ozkul@deu.edu.tr

(Bildirinin geliş tarihi: 14.09.2009, Bildirinin kabul tarihi: 02.11.2009)

ÖZET

Bir akarsudan çevrilmesi gereken su, doğal akış miktarını aştığında, artan talep ancak başka bir su kaynağından (yani yeraltı suyu) ya da yüzeysel bir biriktirme haznesinden sağlanabilir. Çoğu durumda da uygun çözüm, tek bir haznenin oluşturulması ve artan ihtiyaca bağlı olarak yeni haznelerin ilave edilmesidir. Bir akarsudan belirli bir ihtiyacı karşılamak üzere gerekli depolama hacmi, akımların büyüklüğüne ve değişkenliğine, ihtiyaca ve bu ihtiyacın karşılanmasındaki güvenilirlik derecesine bağlıdır. Biriktirme hazneleri tasarımında çok sayıda yöntem kullanılmaktadır. Sunulan çalışmada, İzmir İçmesuyu II. Merhale Projesi kapsamında, DSİ tarafından Gördes Barajı'ndan sonraki kademede Manisa ili'nde yapılması planlanan 45 hm³/ yıl hacimli Çağlayan Barajı örneğinde, biriktirme haznesi için hazne kapasitesi - düzenleme oranı-risk ilişkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, Kayacık Çayı üzerinde bulunan Çağlayan (5-49) akım gözlem istasyonunda gözlenmiş 31 yıllık (1962-1992) aylık ve yıllık ortalama akım verileri kullanılarak, Moran ve Gould olasılık matrisi yöntemleri ile Çağlayan Barajının planlanan hazne kapasitesinin kuruma olasılığı hesaplanmış ve irdelenmiştir.

Anahtar sözcükler: aktif hazne hacmi, olasılık matris yöntemleri, hazne kapasitesi-verim-risk ilişkisi, Çağlayan Barajı

ASSESSMENT OF ACTIVE RESERVOIR CAPACITY OF ÇAĞLAYAN DAM BY USING PROBABILITY MATRIX METHODS

ABSTRACT

When the required diversion rate from a river exceeds the natural flow rate, the excess demand can only be met from an alternative supply (e.g. groundwater) or from surface storage. In most instances, the appropriate response is the construction of a single reservoir, followed later by additional reservoirs as the demand continues to grow. The storage required on a river to meet a specific demand depends primarily on three factors: the magnitude and the variability of the river flows, the size of the demand, and the degree of reliability of this demand being met. A large number of procedures have been proposed to estimate storage requirements. In the presented study, reservoir capacity-yield-reliability relationships are investigated for a single reservoir by using monthly and annual mean flow data of Çağlayan (5-49) streamgauging station on Kayacık Creek. These data are observed in a period of 31 years between 1962 and 1992. The reason why the Lower Gediz Basin selected is that there is Çağlayan Dam project with a capacity of 45 hm³/year planned by DSİ within the scope of II. Stage of İzmir Drinking Water Supply Project. The probability of failure of planned reservoir capacity of Çağlayan Dam is estimated by using Moran's and Gould's probability matrix methods.

Keywords: Active reservoir capacity, probability matrix methods, reservoir capacity-yield-reliability relationships, Çağlayan Dam

1 GİRİŞ

Biriktirme haznelerinde gerekli kapasitelerin belirlenmesi su kaynaklarını geliştirme projelerinde önemli bir yer tutmaktadır. Hazne kapasitesi hazneye giren akımlara, hazneden buharlaşma ve diğer kayıplara, hazneden çekilmesi istenen su miktarına ve haznenin işletme şekline bağlıdır [Rao vd., 2001]. Akarsudaki doğal akımın zaman içinde rastgele değişen bir karaktere sahip olması, hazne kapasitesi hesabında istatistiksel yöntemlerin de kullanılmasını gerektirebilmektedir. Akımlardaki zamana bağlı değişkenlik nedeniyle, bir hazne seçilen bir çekim miktarını ancak belirli bir olasılıkla sağlayabilecektir. Dolayısıyla, belirlenecek aktif hazne hacmi, elde edilmek istenen su miktarının sağlanmasındaki güvenilirlik derecesine (ya da sağlanamaması olasılığı için kabul edilecek riske) de bağlıdır [Bayazıt, 1997].

Su kaynakları planlamasında, çok sayıda baraj yeri seçeneğinin, gerek topografya, jeolojik yapı ve inşaa gereksinimleri, gerekse hidrolojik açıdan araştırılması gerekir. Bu tür çalışmalarda, hidrolojik açıdan bir ön değerlendirme yapabilmek ve hazne hacmi ile verim arasındaki ilişkiyi tahmin edebilmek için çabuk sonuç elde edilebilen ve oldukça basit yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla kullanılabilir yöntemler "ön tasarım" yöntemleri olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemlerde genellikle ihtiyaçların zamanla değişiminin sabit kabul

edilmesi, buharlaşma kayıplarının ihmal edilmesi, ihtiyacın karşılanamaması riskinin ve akımlardaki mevsimselliğin göz önüne alınmaması gibi basitleştirici kabuller yapılmaktadır. Ön tasarım yöntemlerinde, uygulamayı kolaylaştırmak amacıyla yapılan söz konusu kabuller, sonuçların hassasiyetini azaltmaktadır.

Ön tasarım yöntemleri kullanılarak uygun olmayan baraj yeri seçenekleri elendikten sonra, geriye kalan az sayıdaki seçeneğin bir "kesin tasarım" yöntemi kullanılarak değerlendirilmesi gerekir. Bu yöntemler, genellikle hazne hacmini etkileyebilecek faktörlerin tümünü ya da çoğunu dikkate almaları nedeniyle daha karmaşıktır. Bu yöntemlerde, akım özellikleri, talepteki mevsimsel değişimler, suyun kısıtlı verilmesi olasılığı, buharlaşmanın etkileri ve ihtiyacın karşılanamama olasılığı gerçekçi olarak ele alınmaktadır [Halden, 2004].

Aktif hazne hacminin belirlenmesinde kullanılan yöntemler üç gruba ayrılmaktadır (Çizelge 1). Birinci grupta yer alan ampirik yöntemler, kritik dönem yöntemleri olarak da adlandırılmakta olup, istenen su miktarının güvenilir şekilde karşılanması için gerekli depolama hacminin belirlenmesi amacıyla gözlenmiş ardışık akımların kullanıldığı yöntemlerdir ve hazne başlangıçta dolu kabul edilir.

Çizelge 1 - Aktif hazne hacminin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerin sınıflandırılması

	Ampirik Yöntemler	Analitik Yöntemler	Simülasyon Yöntemleri
Ön Tasarım	<ul style="list-style-type: none"> •Eklenik akımlar (Rippl) grafiği •Eklenik farklar •Minimum akımlar •Ardışık tepeler 	<ul style="list-style-type: none"> •McMahon yaklaşımı •Hardison yaklaşımı 	<ul style="list-style-type: none"> •Gould yaklaşımı
Kesin Tasarım	<ul style="list-style-type: none"> •Aylık su bütçesi (süreklilik denklemi) 	<ul style="list-style-type: none"> •Range analizi •Deficit analizi •Moran olasılık matrisi •Gould olasılık matrisi 	<ul style="list-style-type: none"> •Sentetik veriler kullanılarak diğer kesin tasarım yöntemlerinin uygulanması

Yeterli kapasitesi olan bir hazne kritik dönemin başlangıcında tamamen dolu iken sonunda boşalacak, yani göl seviyesi minimuma inecektir. Hazne hacminin belirlenmesinde, tüm gözlem sürecindeki en büyük kritik dönem dikkate alındığından, hazne gözlem süresi boyunca yalnızca bir kez minimum seviyeye düşecektir [Oğuz ve Bayazıt, 1991].

Ön tasarım aşamasında kullanılan ve klasik bir yöntem olan eklenik akımların (Rippl diyagramı) yanı sıra, eklenik farklar, minimum akımlar ve ardışık tepeler yöntemleri ile kesin tasarım

aşamasında yine yaygın olarak kullanılan aylık su bütçesi yöntemi bu gruba örnek olarak verilebilir [Aksoy, 2001]. Bu yöntemlerde öngörülen hazne hacminin ihtiyacı karşılamada taşıdığı riski tanımlamak mümkün değildir. Ancak yıllar arası düzenleme için belirlenen kapasite N yıllık akım gözlemlerine dayanıyorsa kaba bir yaklaşımla riskin $1/(N+1)$ 'e eşit olduğu kabul edilebilir. Belirli bir dağılımın uygunluğunun öngörüldüğü Alexander, Dinçer, Gould Gamma gibi yöntemler özellikle farklı riskler tanımlanmak istendiğinde yaygın uygulama alanı bulmaktadır [McMahon ve Mein, 1986; Halden, 2004].

Kritik dönem yaklaşımlarından Aylık Su Bütçesi (süreklilik denklemi) yönteminde, buharlaşma ve tüm diğer kayıplar ile ihtiyaçların aylık veya mevsimsel değişimi dikkate alınabildiği gibi, kısıtlı su verme gibi çeşitli işletme koşulları da rahatlıkla uygulanabilmektedir. Dolayısıyla, yöntem kesin tasarım aşamasında güvenle kullanılabilir bir yaklaşım olarak görülmektedir. Ancak, özellikle veri dizisinin ilk dönemlerinde düşük akımların oluşması durumunda, haznenin başlangıçta dolu olduğu kabulü, hesaplanan riski (veya haznenin verimini) önemli ölçüde etkilemekte; ayrıca, kesikli veri dizileriyle çalışmada sorunlarla karşılaşmaktadır.

İkinci grupta analitik yöntemler yer almakta olup, bu grupta range ve deficit analizinin yanısıra riskin olasılık teorisine dayanan bir yaklaşımla belirlenmesine olanak veren *olasılık matrisi yöntemleri* yer almaktadır [Bayazıt, 1997]. Ön tasarım aşamasında Mc Mahon tarafından geliştirilen ampirik denklem ve çeşitli dağılımlar için Hardison tarafından geliştirilen abaklar yardımıyla hazne hacminin tayini bu grubun örnekleri arasında sayılabilir. Kesin tasarım aşamasında ise Moran ve Gould tarafından geliştirilen olasılık matris yöntemleri kullanılmaktadır [McMahon ve Mein, 1986; Bacanlı vd., 2003].

Olasılık Matrisi Yönteminin diğer bazı yöntemlere göre en önemli avantajı kapasite-düzenleme oranı-risk ilişkisi kurulabilmesidir. Böylece farklı hacimlerin kuruma olasılıkları belirlenebilmektedir. Diğer önemli avantajı ise kesikli veriyle de çalışılabilmesidir. Ayrıca, dönüşüm matrisi kararlı hale geldiğinde elde edilen olasılıklar, haznenin başlangıç doluluk oranından bağımsız durumu yansıtmaktadır. Bu yöntemle, işletme aşamasında, belirli bir doluluk oranıyla döneme başlayan haznenin, dönemi (veya ardışık olarak sonraki her bir dönemi) çeşitli doluluk oranlarıyla tamamlama olasılıklarını söyleyebilmek de mümkün olmaktadır.

Üçüncü grup ise sentetik veri kullanımını temel alan simülasyon yöntemlerinden oluşmaktadır. Gould'un geliştirdiği abaklar, bu grubun ön tasarım aşamasında kullanılabilir en kayda değer örneğidir. Monte Carlo yöntemleri olarak tanımlanan sentetik seri üretimi, hazne hacminin belirlenmesinde tek başına kullanılan bir araç olmayıp, daha çok haznenin çeşitli durumlar için sınanmasına olanak tanıyan benzetim çalışmalarında, diğer yöntemler ile birlikte kullanım alanı bulmaktadır. Hazne kapasite tasarımında biriktirme haznesinin karakteristikleri arasındaki istatistiksel ilişkiler

de doğrudan doğruya kullanılabilir [Halden, 2004; Bayazıt, 1982; Bayazıt ve Bulu, 1991; Oğuz ve Bayazıt, 1991].

Sunulan çalışmada, kesin tasarım aşamasında kullanılan aylık su bütçesi yöntemine alternatif olarak, Moran ve Gould olasılık matris yöntemleri önerilmekte ve bu yöntemlerle aktif hazne kapasitesinin kuruma riski ile hazne kapasitesi-düzenleme oranı-risk ilişkisi araştırılmaktadır. Bu amaçla, İzmir İçmesuyu II. Merhale Projesi kapsamında, DSİ tarafından Gördes Barajı'ndan sonraki kademe Manisa ili'nde yapılması planlanan 45 hm³/yıl hacimli Çağlayan Barajı ele alınmıştır. Uygulamada, Kayacık Çayı üzerinde bulunan Çağlayan (5-49) akım gözlem istasyonunda gözlenmiş 31 yıllık (1962-1992) aylık ve yıllık ortalama akım verileri ile planlama raporunda sunulan diğer bilgilerden yararlanılmıştır [DOLSAR ve SUIŞ, 2007].

2 OLASILIK MATRİS YÖNTEMLERİ

Stokastik hazne teorisinde hazne kapasitesi, hazneye giren akımların istatistiksel özellikleri ve çekilen su miktarı bilindiğine göre, haznede depolanan su hacminin uzun süreli işletme sonunda yaklaşacağı limit (kararlı durum) olasılık dağılımının belirlenmesini amaçlar [Bayazıt, 1997].

2.1 Moran Olasılık Matrisi

Moran [1959] tarafından geliştirilen stokastik hazne teorisinde haznede ardışık anlardaki su hacimlerinin Markov zinciri oluşturduğu kabul edilmektedir. Buna göre herhangi bir anda haznedeki su hacminin belli bir durumda olması (yani haznede belli bir miktarda su bulunması) olasılığı, sadece bir önceki anda haznedeki su hacminin hangi durumda bulunduğuyla bağlıdır. Ardışık anlardaki durumlar arasındaki P geçiş olasılık matrisi verilen bir durumdan herhangi bir duruma geçiş olasılıklarını verir:

$$P = [p_{ij}] \quad (1)$$

Burada, p_{ij} , t anında i durumundan bir sonraki $t+1$ anında j durumuna geçiş olasılığı, yani $P[S_{t+1} = j | S_t = i]$ koşullu olasılığıdır. Haznede $m+1$ adet durum göz önüne alınırsa $i, j = 0, 1, \dots, m$ değerlerini alabilecektir. Verilen bir i durumundan çeşitli j durumlarına geçiş olasılıklarının toplamı 1'e eşittir:

$$\sum_{j=0}^m p_{ij} = 1 \quad i = 0, 1, \dots, m \quad (2)$$

Haznedeki su hacmi için $m+1$ adet durum gözönüne alınırsa hazne kapasitesi m eşit parçaya bölünmüş olur. $i=0$ durumu boş hazneye (minimum hacime), $i=m$ durumu ise dolu hazneye (maksimum hacime) karşılık gelir (Çizelge 2).

Çizelge 2 - Geçiş olasılık matrisi

		t anındaki durum (i = 0, 1, ..., m)			
		Boş	.	.	Dolu
t+1 anındaki durum (j=0, 1, ..., m)	Boş	$p_{0,0}$		$p_{i,0}$	$p_{m,0}$
	.			$p_{i,i}$	
	.				
	Dolu	$p_{0,m}$		$p_{i,m}$	$p_{m,m}$
	Σ	1	1	1	1

m sayısı ne kadar büyük seçilirse sonuçların hassasiyeti o kadar artar, buna karşılık işlemlerin sayısı çoğalır ve hesap süresi uzar. Akımların değişkenlik katsayısı (c_v) büyüdükçe m de büyük seçilmelidir. $c_v \leq 0,5$ için $m=10$, $0,5 \leq c_v \leq 1,0$ için $m=20$, $1,0 \leq c_v \leq 1,5$ için $m=30$, $c_v \geq 1,5$ için $m=40$ alınabilir [Bayazıt, 1997].

Haznedeki su hacminin P geçiş olasılık matrisinin belirlenmesi için, hazneye ardışık zaman aralıklarında giren akımların birbirinden bağımsız olduklarının kabul edilmesi halinde, su dengesi (süreklilik) denklemi şu şekilde yazılabilir:

$$Z_{t+1} = \begin{cases} 0 & Z_t + Q_t - D_t - E_t < 0 \\ Z_t + Q_t - D_t - E_t & 0 \leq Z_t + Q_t - D_t - E_t < C \\ C & C \leq Z_t + Q_t - D_t - E_t \end{cases} \quad (3)$$

Burada, Z_{t+1} , t zaman periyodunun sonundaki depolama hacmini; Z_t , t zaman periyodunun başındaki depolama hacmini; Q_t , t zaman periyodu süresince giren akımları; D_t , t zaman periyodu süresindeki kullanımları, E_t t zaman periyodu süresindeki net buharlaşmaları ve C , aktif depolama hacmini temsil etmektedir.

Haznedeki Z_t su hacmi için geçiş olasılık matrisinin elemanları (3) denklemleri kullanılarak hesaplanabilir. Bunun için Q_t akımları bir kesikli rastgele değişken olarak düşünülür [Bayazıt, 1997]. Stokastik hazne teorisinde P geçiş olasılık matrisi $((m+1) \times (m+1))$ kare matris belirlendikten sonra, t anında haznedeki su hacminin P_t olasılık dağılımı ile $t+1$ anındaki P_{t+1} olasılık dağılımı arasındaki ilişki:

$$P_{t+1} = P_t P \quad (4)$$

matris denklemini uygulayarak bulunabilir. P_t ve P_{t+1} , $m+1$ elemanı bulunan satır vektörleridir. Bu vektörlerin $i=0$ 'a karşı gelen elemanları t ve $t+1$ anlarında haznenin kuruma olasılıklarını gösterir.

Haznedeki su hacminin kararlı durumdaki limit olasılık dağılımını belirlemek için herhangi bir $t=t_0$ anında bilindiği kabul edilen P_{t_0} başlangıç durum vektörüyle başlayarak (4) denklemi ardışık olarak uygulanır [Bayazıt, 1997].

Haznedeki su hacminin, geçiş olasılık matrisinin belirlenmesi hazneye ardışık zaman aralıklarında giren akımların birbirinden bağımsız olduklarının kabul edilmesi halinde kolaydır. Bu kabul zaman aralığının yıl olarak seçilmesi halinde çoğu zaman geçerlidir. Ancak zaman aralığı mevsim, ya da ay olursa hazneye ardışık anlarda giren akımlar arasında kuvvetli bir iç bağımlılık bulunacaktır. İç bağımlılığın göz önüne alınması oldukça zordur. Bu durumda her bir ay (mevsim,...) için ayrı bir geçiş olasılık matrisi ortaya çıkar [Bayazıt, 1997].

2.2 Gould Olasılık Matrisi

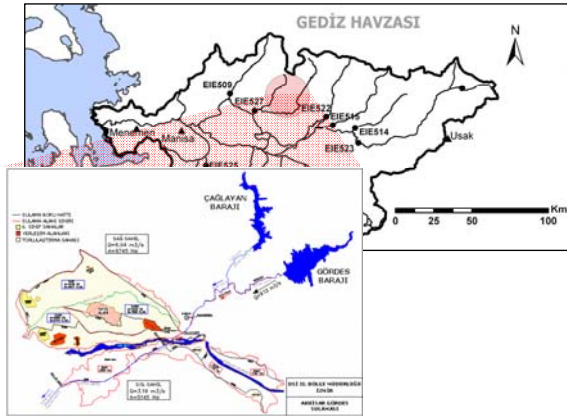
Gould (1961), hem mevsimselliği, hem de aylık akımların içsel bağımlılığını dikkate alacak şekilde Moran yöntemini geliştirmiştir. Gould, bir yıllık zaman dilimlerine ait geçiş olasılıkları matrisini kullanmakta, fakat aylık su bütçesi uygulayarak akımlardaki yıl içi değişimleri de göz önünde bulundurmaktadır. Gould tarafından önerilen yöntemde yıl başında haznedeki su hacmi için belli bir değer ($i=0,1,\dots,m$ durumlarından biri) seçilerek, n yıl uzunluktaki gözlenmiş akım serisinin her bir yılının aylık akımlarını (3) denklemindeki Q_t değerleri olarak alıp ($t=1,2,\dots,12$) yıl sonunda haznedeki su hacmi belirlenir. Bu şekilde hesaplanan n adet değer kullanılarak başlangıçta seçilen i durumu için geçiş olasılık matrisinin elemanları bulunur. Bu işlemler başlangıç su hacmi için m durumun her birinde tekrarlanarak geçiş olasılık matrisi tamamlanır. Bu yöntemle, gözlenmiş aylık akım serisi ile çalışıldığından, akımların içsel bağımlılığı göz önüne alınmış olmaktadır. Kullanımlar her ay için farklı alınabileceği gibi, buharlaşma kayıpları da hesaba katılabilir.

Yukarıdaki hesaplamalar sırasında, her bir başlangıç durumu için yıl boyunca haznenin kurduğu ayların sayısı da belirlenerek her bir i durumu için yıl boyunca kuruma olasılığı bulunur (F satır vektörü). Geçiş olasılık matrisi kullanılarak (4) denklemi ile P kararlı durum olasılık vektörü belirlendikten sonra, bu vektörü F vektörü ile çarpılarak haznenin kuruma olasılığı hesaplanır [Bayazıt, 1997].

3 UYGULAMA

3.1. Çalışma Alanı ve Kullanılan Veriler

Uygulama alanı Manisa'nın Akhisar ilçesi civarında yer almaktadır. Bölgede yer alan Kayacık Çayı üzerinde, İzmir İçmesuyu II. Merhale Projesi kapsamında İzmir kentinin artan içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılamak üzere, Çağlayan Barajı yapımı planlanmaktadır (Şekil 1). Barajın teknik özellikleri Çizelge 3'te sunulmaktadır [DOLSAR ve SUIŞ, 2007].



Şekil 1 - Çağlayan Barajının bölgedeki konumu

Çizelge 4 - Çağlayan akım gözlem istasyonu 1962-1992 dönemi akım verilerinin temel istatistikleri

İstatistiksel Özellikler	Aylık		Yıllık	
	Akım (m ³ /sn)	Akış Hacmi (10 ⁶ m ³)	Akım (m ³ /sn)	Akış Hacmi (10 ⁶ m ³)
Ortalama (μ)	0,14	4,63	1,76	55,62
Standart Sapma (σ)	0,25	7,94	1,19	37,53
Değişkenlik Katsayısı (C _v)	1,71		0,68	
Çarpıklık Katsayısı (C _s)	3,11		0,99	
Sivrilik Katsayısı (C _k)	12,58		0,41	
Otokorelasyon Katsayısı (r ₁)	0,55		0,08	

3.2 Aktif Hazne Hacminin Belirlenmesi

3.2.1 Aylık su bütçesi

Yöntemlerin uygulanması aşamasında, öncelikle, Excel'de hazırlanan program yardımıyla, Çağlayan Barajının planlama kriterlerine uygun olarak aylık su bütçesi çalışması yapılmış ve öngörülen hazne hacminin toplam sürede boş kalma olasılığı hesaplanmıştır.

Bu çalışmalar sırasında, Çizelge 5'te sunulan baraj yeri aylık net buharlaşma ve aylık çekilen su miktarları dikkate alınmıştır. Çağlayan Barajı'nın kot-hacim-alan ilişkisi ise Şekil 2'de verilmektedir. Aylık ortalama net buharlaşma hacimleri, bu ilişki kullanılarak, aylık ortalama göl yüzey alanı dikkate alınacak şekilde iterasyonla belirlenmiştir.

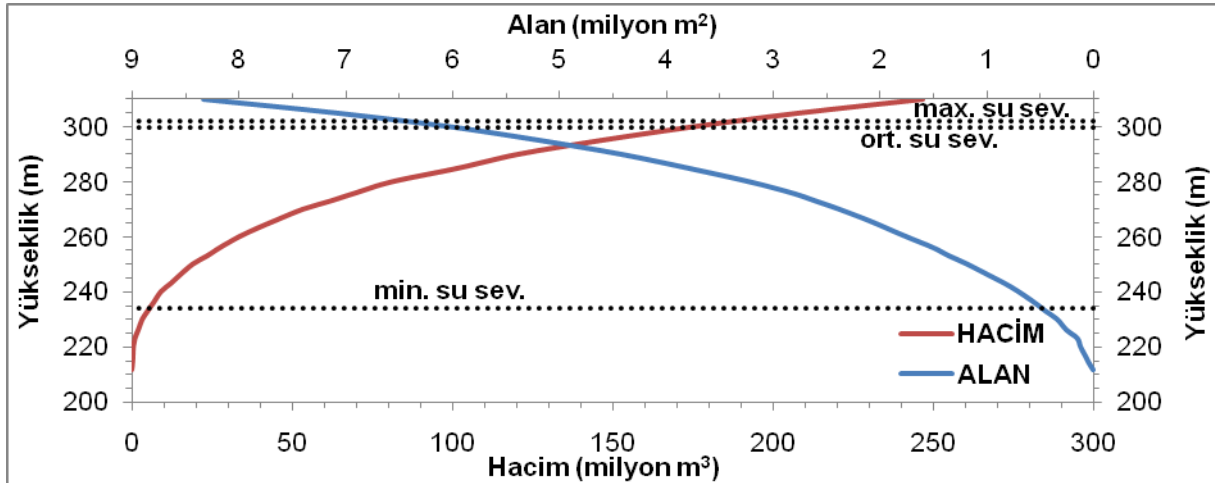
Çizelge 3 - Çağlayan Barajı'nın teknik özellikleri

Tipi	Toprak dolgu
Yağış alanı	321 km ²
Yıllık ortalama su	55,62 hm ³ /yıl
Çekilen su	45 hm ³ /yıl
Düzenleme oranı	% 81
Yükseklği (Talvegden)	92,5 m
Minimum su seviyesi	234 m
Normal su seviyesi	299,6 m
Maksimum su seviyesi	302,15 m
Aktif hacim	167,1 hm ³
Toplam göl hacmi	172,7 hm ³

Baraj yerindeki yıllık net buharlaşma miktarı 660,4 mm olup, yıllık toplam yağış ise 702,7 mm mertebesindedir. Kayacık Çayı üzerinde yer alan 5-49 no.lu Çağlayan akım gözlem istasyonuna ait 1962-1992 yılları arasında gözlenmiş akım verilerinin temel istatistiksel özellikleri Çizelge 4'te verilmektedir.

Çizelge 5 - Çağlayan Baraj yeri net buharlaşma ve çekilen aylık su miktarları

Aylar	Aylık net buharlaşma (mm)	Aylık çekilen su (10 ⁶ m ³)
Ekim	37,80	4,12
Kasım	0,00	3,38
Aralık	0,00	2,63
Ocak	0,00	2,63
Şubat	0,00	2,63
Mart	0,00	3,00
Nisan	13,50	3,75
Mayıs	67,60	4,12
Haziran	129,60	4,50
Temmuz	164,80	4,50
Ağustos	150,00	4,87
Eylül	97,10	4,87
TOPLAM	660,40	45



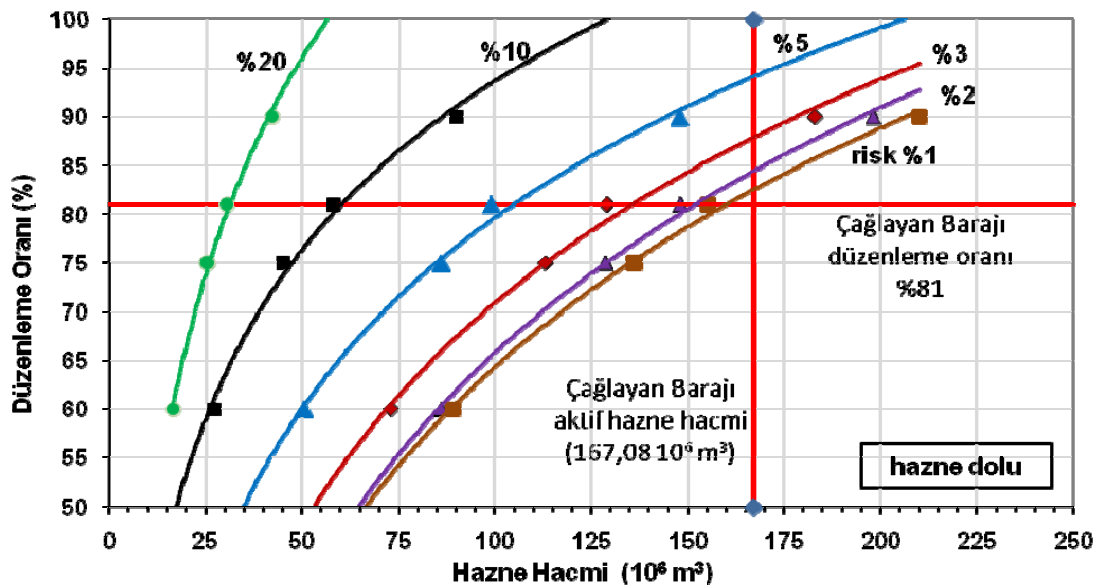
Şekil 2 - Çağlayan Barajı kot-hacim-alan ilişkisi

Çağlayan Barajı proje verileri ile yapılan aylık su bütçesi çalışması sonucunda, başlangıçta dolu olmak koşuluyla, hazne toplam süre (372 ay) boyunca yalnızca 2 ay boş kalmış olup, kuruma olasılığı % 0,5 düzeyindedir. Haznenin başlangıçta boş olması halinde haznenin kuruduğu ay sayısı 6'ya, kuruma olasılığı ise % 1,6'ya çıkmaktadır.

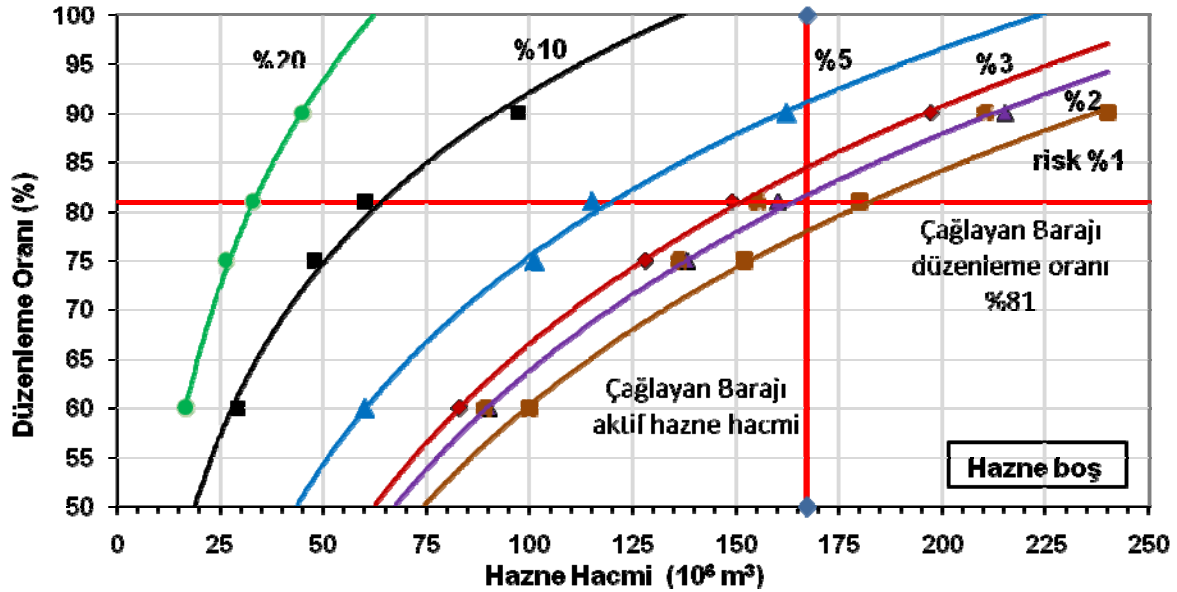
Haznenin başlangıç koşulları, belirli bir kuruma riski taşıyacak şekilde belirlenecek aktif hazne hacmini, ya da başka bir deyişle, belirlenmiş olan hazne hacminin kuruma riskini etkilemektedir. Aylık su bütçesi yönteminde hazne başlangıçta dolu kabul edilerek, toplam süre içinde bir kez kuruma olasılığına sahip hazne hacmi belirlenmektedir. Çağlayan barajı planlama hacmi için bu olasılığın $(1/372+1)$

yaklaşık % 0,2 civarında olması beklenmektedir ve bulunan sonuçla uyumludur.

Aylık su bütçesi yöntemi sonuçlarını, daha sonra uygulanacak Moran ve Gould olasılık Matris yöntemlerinin sonuçları ile karşılaştırabilmek üzere, farklı düzenleme oranı ve hazne kuruma olasılıkları kombinasyonlarının her biri için aylık su bütçesi çalışması yapılarak hazne hacimleri hesaplanmıştır. Ayrıca, haznenin başlangıç hacmi kabulünün etkisini incelemek için, tüm bu işlemler haznenin boş ve dolu hali için tekrarlanmıştır. Başlangıçta haznenin dolu ve boş olması hali için elde edilen hazne hacmi-düzenleme oranı-risk grafikleri, sırasıyla, Şekil 3 ve Şekil 4'te sunulmaktadır.



Şekil 3 - Aylık Su Bütçesi yöntemiyle belirlenen hazne kapasitesi-düzenleme oranı-risk ilişkisi



Şekil 4 - Aylık Su Bütçesi yöntemiyle belirlenen hazne kapasitesi-düzenleme oranı-risk ilişkisi

Şekil 3 ve Şekil 4'ten de görülebileceği gibi, belirli bir düzenleme oranı ve kuruma için, hazne başlangıçta dolu kabul edilerek aylık su bütçe çalışması yapılması halinde, haznenin boş başladığı duruma kıyasla daha küçük hacimler yeterli olmaktadır. Haznenin dolu kabul edilmesinden kaynaklanan hacim eksiklikleri Çizelge 6'da verilmektedir.

Çizelge 6 - Haznenin dolu kabul edilmesinden kaynaklanan hacim eksiklikleri

Hacim Eksikliği (%)		Düzenleme Oranı (%)			
		60	75	81	90
Kuruma Olasılığı (%)	1	11	11	14	12,5
	2	5	7	7	7
	3	12	12	14	7
	5	14	15	14	8
	10	8	4	4	7
	20	1	5	8	6

Çizelge 6'dan da görülebileceği gibi, haznenin başlangıçta dolu kabul edilmesi halinde, yaklaşık % 5-10 civarında daha küçük aktif hazne hacimleri belirlenmektedir. İçme suyu temini projelerinde kabul edilebilir kuruma olasılığı % 1-2 civarında olup, sulama projelerinde % 10-20'ye kadar çıkabilmektedir [Bayazit, 1997]. Buna göre, sulama suyu temini projelerinde, başlangıç kabulünden kaynaklanan fark büyük bir risk yaratmayabilir. Ancak, Çizelge 6'daki % 1-5 civarındaki kuruma olasılıkları için hacim eksikliklerinin % 12-14 mertebesine ulaştığı dikkate alınacak olursa, haznenin başlangıçta dolu kabul edilmesi içmesuyu projelerinde oldukça ciddi sonuçlara yol açabilecektir. Hazne dolu kabulü ile boyutlandırılan bir baraj, işletme sırasında

herhangi bir dönemde minimum hacimlere düştüğü takdirde, uzun bir süre ihtiyaca tam olarak cevap veremeyebilir.

3.2.2 Moran olasılık matrisi

Geçiş olasılıkları matrisini oluşturabilmek için % 5 anlamlılık seviyesinde gerçekleştirilen dağılım uygunluk testleri sonucunda, Çağlayan istasyonunun yıllık verilerine, iki parametrelili Lognormal) [$\bar{y} = 3,78; S_y = 0,72$] ve iki parametrelili Gama [$\alpha = 24,18; \beta = 2,3$] dağılımlarının uyduğu; en uygun dağılımın ise iki parametrelili Lognormal dağılım olduğu saptanmıştır. Yıllık ortalama akım dizisinin değişkenlik katsayısı $c_v=0,68$ olup, değişkenlik katsayısının $0,5 \leq c_v \leq 1,0$ aralığı için hazne hacminin 20 dilime ayrılması önerilmektedir [Bayazit, 1997]. Seçilecek durum sayısının sonuçlara etkisini irdeleyebilmek amacıyla, üç farklı geçiş olasılıkları matrisi hazırlanmıştır. Bu matrislerde aktif hazne hacmi, 5, 10 ve 20 farklı hacim aralığına bölünmüştür. Örneğin, 5 durumlu matriste hacim aralıkları boş - % 25 - % 50 - % 75 - % 100 dolu olarak alınmıştır.

Bir sonraki adımda, matrislerdeki her bir başlangıç (Z_t) ve bitiş (Z_{t+1}) durumu için (3) no.lu su bütçesi (süreklilik) denklemi uygulanarak, o koşulun sağlanabilmesi için gerekli akım miktarları belirlenmiştir. Örnek olarak, 5 durumlu matris için belirlenen akım miktarları Çizelge 7'de verilmektedir. Süreklilik denkleminde, E_t net buharlaşma hacmi için, aylık su bütçesi çalışmasında ortalama göl yüzey alanlarından hesaplanan buharlaşma hacimlerinin yıllık ortalaması olan $3,02 \text{ hm}^3$ değeri kullanılmıştır.

Çizelge 7 - 5 durumlu halde farklı hazne koşullarının sağlanabilmesi için gerekli akım miktarları (10^6 m^3)

		Z_t				
		Boş	1/4	1/2	3/4	Dolu
Z_{t+1}	Boş	68,93	27,16	0,00	0,00	0,00
	1/4	110,70	68,93	27,16	0,00	0,00
	1/2	152,47	110,70	68,93	27,16	0,00
	3/4	194,24	152,47	110,70	68,93	27,16
	Dolu	236,01	194,24	152,47	110,70	68,93

Çizelge 7'den görülebileceği gibi, su bütçesi çalışmasına göre, sene başında boş olan bir haznenin sene sonunda da boş kalabilmesi için gelen akım miktarının $68,93 \text{ hm}^3$ 'ten az, dönemi dolu tamamlayabilmesi için ise $236,01 \text{ hm}^3$ 'e eşit veya fazla olması gerekmektedir.

Çizelge 8, 9 ve 10'da sunulan matrislerdeki geçiş olasılıkları, 5, 10 ve 20 durumlu halde farklı hazne koşullarının sağlanabilmesi için gerekli akım miktarlarının Lognormal dağılıma uygun olarak hesaplanan eklenik olasılıklarından yararlanılarak saptanmıştır.

Çizelge 8 - 5 durumlu hal için geçiş olasılıkları

		Z_t				
		Boş	1/4	1/2	3/4	Dolu
Z_{t+1}	Boş	0,73	0,25	0,00	0,00	0,00
	1/4	0,17	0,48	0,25	0,00	0,00
	1/2	0,06	0,17	0,48	0,25	0,00
	3/4	0,02	0,06	0,17	0,48	0,25
	Dolu	0,02	0,04	0,10	0,27	0,75

Çizelge 9 - 10 durumlu hal için geçiş olasılıkları

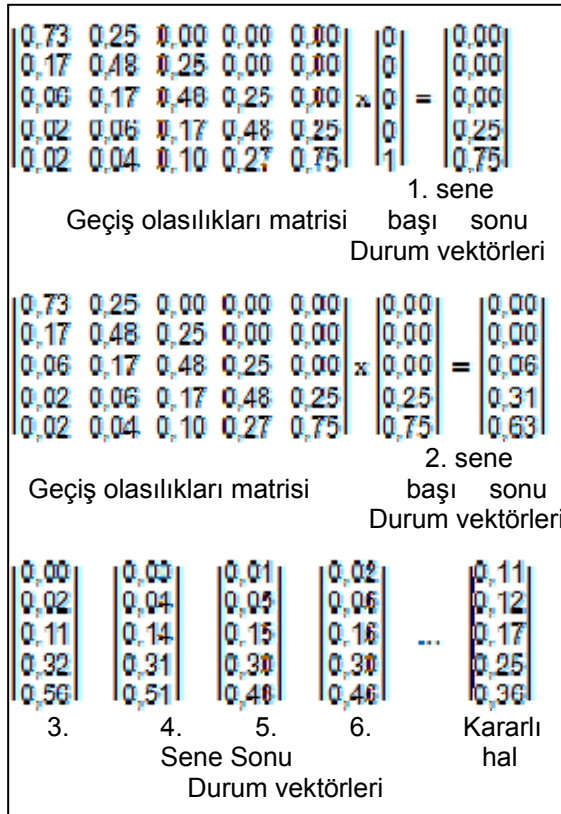
		t anındaki hazne hacmi (Z_t) (hm^3)									
		0,00	18,56	37,13	55,69	74,26	92,82	111,39	129,95	148,52	167,08
t+1 anındaki hazne hacmi (Z_{t+1}) (hm^3)	0,00	0,64	0,43	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	18,56	0,13	0,21	0,29	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	37,13	0,08	0,13	0,21	0,29	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	55,69	0,05	0,08	0,13	0,21	0,29	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00
	74,26	0,03	0,05	0,08	0,13	0,21	0,29	0,14	0,00	0,00	0,00
	92,82	0,02	0,03	0,05	0,08	0,13	0,21	0,29	0,14	0,00	0,00
	111,39	0,01	0,02	0,03	0,05	0,08	0,13	0,21	0,29	0,14	0,00
	129,95	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,08	0,13	0,21	0,29	0,14
	148,52	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,08	0,13	0,21	0,29
	167,08	0,01	0,02	0,03	0,04	0,07	0,10	0,15	0,23	0,36	0,57

Çizelge 10 - 20 durumlu hal için geçiş olasılıkları (Olasılıklar % olarak verilmektedir)

		t anındaki hazne hacmi (Z_t) (hm^3)																				
		0	9	18	26	35	44	53	62	70	79	88	97	106	114	123	132	141	149	158	167	
t+1 anındaki hazne hacmi (Z_{t+1}) (hm^3)	0	59	49	37	23	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	9	8	10	12	14	14	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	18	6	8	10	12	14	14	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	5	6	8	10	12	14	14	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	35	4	5	6	8	10	12	14	14	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	44	3	4	5	6	8	10	12	14	14	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	53	3	3	4	5	6	8	10	12	14	14	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	62	2	3	3	4	5	6	8	10	12	14	14	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	70	2	2	3	3	4	5	6	8	10	12	14	14	9	1	0	0	0	0	0	0	0
	79	1	2	2	3	3	4	5	6	8	10	12	14	14	9	1	0	0	0	0	0	0
	88	1	1	2	2	3	3	4	5	6	8	10	12	14	14	9	1	0	0	0	0	0
	97	1	1	1	2	2	3	3	4	5	6	8	10	12	14	14	9	1	0	0	0	0
	106	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	6	8	10	12	14	14	9	1	0	0	0
	114	1	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	6	8	10	12	14	14	9	1	0	0
	123	0	1	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	6	8	10	12	14	14	9	1	0
	132	0	0	1	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	6	8	10	12	14	14	9	1
	141	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	6	8	10	12	14	14	9
	149	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	6	8	10	12	14	14
	158	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	6	8	10	12	14
	167	0	2	2	2	3	3	4	5	1	7	8	9	11	14	17	21	26	32	41	51	51

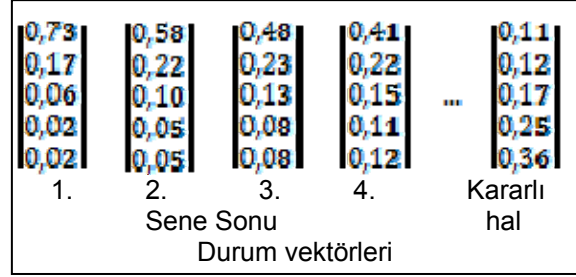
Elde edilen geçiş olasılıkları matrisleri, haznenin ilk sene başı için kabul edilen durum vektörü ile çarpılarak birinci sene sonundaki durum vektörüne, her seneye ait durum vektörü geçiş olasılıkları matrisi ile ardışık çarpılarak (yani bir önceki sene sonu bir sonraki senenin başlangıcı kabul edilerek) kararlı durum vektörüne ulaşılmıştır. 5 durumlu halde kararlı hal çözümüne ulaşmak için uygulanan işlem adımları ve sonuçlar Şekil 5'te sunulmaktadır. Burada, hazne ilk senenin başında dolu kabul edilmiştir. Bu durumda, 1. sene başı durum vektöründe haznenin dolma olasılığı 1, diğer durumlarda bulunma olasılığı ise 0'dır. Mevcut hazne işletme koşullarında, ilk seneye dolu başlayan haznenin dönemi dolu tamamlama olasılığı 1. sene % 75, 2. sene % 63, üçüncü sene ise % 56'dır.

Ardışık çözümlerle ulaşılan kararlı hal vektörüne göre, haznenin 31 yıllık işletme dönemi içinde boş kalma olasılığı % 11, dolu kalma olasılığı ise % 36'dır.



Şekil 5 - 5 durumlu hal için kararlı hal çözümü (hazne başlangıçta dolu)

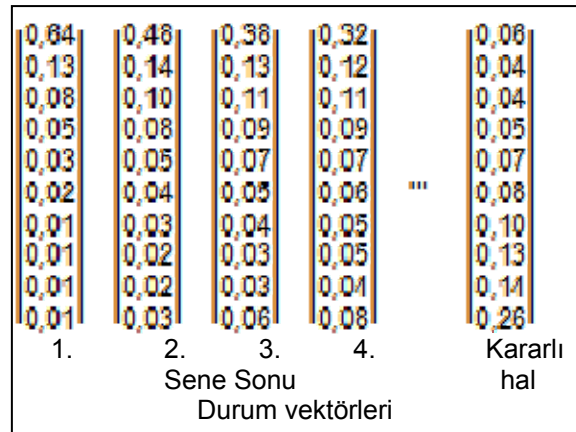
Aynı işlemler haznenin 1. sene başında boş olması hali için tekrarlanmış olup, bu çözüme ait sonuçlar ise Şekil 6'da görülmektedir. İşletme dönemine boş hazneyle başlanması durumunda, ilk sene % 73 olan haznenin dönemi boş tamamlama olasılığı, 4. sene sonunda % 41'e düşmektedir.



Şekil 6 - 5 durumlu hal için kararlı hal çözümü (hazne başlangıçta boş)

Şekil 5 ve Şekil 6'dan görüldüğü gibi, başlangıç şartından tamamen bağımsız durumu yansıtmaları nedeniyle, kararlı hal çözüm vektörü her iki uygulamada da aynıdır. Yani, haznenin başlangıçtaki doluluk oranı ne olursa olsun, hazne hacminin 5 dilime ayrıldığı çözümde, 31 yıllık işletme dönemi boyunca boş kalma olasılığı % 11'dir.

Haznenin 10 ve 20 durumlu haline ait kararlı hal çözümleri Şekil 7 ve Şekil 8'de sunulmaktadır.



Şekil 7 - 10 durumlu hal için kararlı hal çözümü (hazne başlangıçta dolu)

Hazne hacminin 5, 10 ve 20 durumlu hali için elde edilen sonuçlar incelendiğinde, haznenin 31 yıllık dönem boyunca boş kalma olasılıklarının, sırasıyla, % 11, % 6 ve % 5 olarak belirlendiği; dikkate alınan durum sayısı yeterince artırıldığında olasılıkların fazla değişmediği görülmektedir.

Yıllık akım dizisinin değişkenlik katsayısı (cv) dikkate alındığında, hazne hacminin 20 dilime bölüldüğü çözümün daha güvenilir olduğunu söylemek mümkündür.

Şekil 8'de sunulan 20 durumlu kararlı hal vektöründe de görüldüğü gibi, öngörülen hacimdeki haznenin 31 yıllık dönemde boş kalma olasılığı, Moran yöntemine göre % 5'tir.

Hazne dilimlerden birindeki bir hacimle döneme başladığında, dönemi mutlaka dilimlerden herhangi birinde kalan bir hacimle tamamlayacaktır. Yani, matrislerin her bir sütunundaki olasılıkların toplamı 1 (% 100) olmalıdır.

Diğer yandan, aylık su bütçesi çalışmaları sırasında, her başlangıç koşulu için haznenin boş kaldığı ayların sayıları da kaydedilmiştir. Haznenin döneme boş başladığı 0. dilimde iki diğer dilimlerde ise üç farklı başlangıç hacmi denenmiş olup, işletme çalışmaları sırasıyla, toplam 744 ve 1116 ayı kapsamaktadır. İşletme dönemi içerisinde, 0. dilimde 251, 1. dilimde 171, 2. dilimde 61, 3. dilimde 16 ve 4. dilimde 3 ay hazne kurmuştur. Daha sonra bu değerler o dilimdeki toplam ay sayısına oranlanarak (251/744, 171/1116, 61/1116, 16/1116 ve 3/1116) haznenin koşullu başarısızlık olasılığı vektörü (F) hesaplanmıştır. 39 hm³'den daha büyük bir hacimle döneme başlanması halinde, hazne hiç kurumamaktadır.

Çizelge 12'de Gould yöntemine göre hazne boş kalma olasılığı hesabı görülmektedir.

Çizelge 12 - Gould yöntemine göre hazne boş kalma olasılığı

Dilim No	Geçiş olasılıkları kararlı hal vektörü	Koşullu başarısızlık olasılığı vektörü (F)	Toplam boş kalma olasılığında ki paylar
	(a)	(b)	(c)
0	0,03	0,337	0,0115
1	0,01	0,153	0,002
2	0,02	0,054	0,00085
3	0,02	0,014	0,0002
4	0,02	0,002	6,52 10 ⁻⁵
5	0,03	0	0
6	0,03	0	0
7	0,04	0	0
8	0,04	0	0
9	0,04	0	0
10	0,05	0	0
11	0,06	0	0
12	0,06	0	0
13	0,08	0	0
14	0,08	0	0
15	0,07	0	0
16	0,10	0	0
17	0,22	0	0
18	0,00	0	0
19	0,00	0	0
Toplam Kuruma Olasılığı			% 1,46

Geçiş olasılıkları matrisi (Çizelge 11), başlangıç durum vektörü ile ardışık çarpılarak kararlı hal çözümüne (Çizelge 12'de a sütunu) ulaşılmıştır. Çizelge 12'deki b sütunu ise haznenin koşullu başarısızlık olasılığı vektörü (F)'dür. Bu iki vektörün (a ve b sütunlarının) çarpımı ile toplam boş kalma olasılığındaki paylar (Çizelge 12'de c sütunu) hesaplanmıştır. Çağlayan Barajı için öngörülen 167,08 hm³'lük aktif hazne hacminin bu yöntemle belirlenen kuruma olasılığı ise % 1,46'dır.

4 SONUÇLAR

Yöntem uygulamalarından elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, Gould Olasılık Matrisi Yöntemi ile Aylık Su Bütçesi sonuçlarının daha uyumlu olduğu, Moran Olasılık Matrisi yönteminde kuruma olasılıklarının biraz fazla tahmin edildiği görülmektedir.

Yöntemlerin uygulamalarından elde edilen bulgular özetlenirse;

Aylık Su Bütçesi:

- Özellikle gözlem döneminin başlangıcında düşük akımların olması durumunda, başlangıçta haznenin dolu kabul edilmesi, gerekli hazne hacminin % 5-10 daha küçük belirlenmesine yol açmaktadır. Diğer bir deyişle, bu kabul altında seçilen hazne hacmi öngörülenden daha büyük kuruma riski taşımaktadır.
- Yönteminin uygulanabilmesi için kullanılacak veri dizilerinin eksiksiz olması gerekmektedir.

Moran Olasılık Matrisi Yöntemi:

- Yıllık verilerin bağımsız kabul edilmesi (akımların çoğu için bu kabul geçerlidir) nedeniyle kesikli veri ile çalışılabilmektedir.
- Kararlı hal çözümünde, bu yöntemle belirlenen hazne hacmi, başlangıçtaki doluluk oranı için yapılan kabulden bağımsızdır.
- Kararlı hal çözümü ile haznenin başlangıç şartından bağımsız olarak, farklı doluluk oranlarına ait olasılıklar söylenebilmektedir.
- Haznenin sene başında belirli bir doluluk oranıyla işletmeye başlaması halinde, o yıl ve ondan sonraki her yılı hangi doluluk oranıyla tamamlayabileceğine ait olasılıklar da tanımlanabilmektedir.
- Seçilen hazne dilim sayısı, olasılık matrisi çözümünden bulunan sonuçları etkilemektedir. Değişkenlik katsayısı (c_v) arttıkça, hazne dilim sayısı da artırılmalıdır.

f) Ancak, yıllık veri kullanılması nedeniyle, mevsimsellik ve aylık akımların yapısındaki içsel bağımlılık göz ardı edilmektedir. Bu kabul, belirli bir kuruma riskine sahip hazne hacminin biraz daha büyük çıkmasına, ya da seçilen bir hazne hacminin kuruma olasılığının biraz daha fazla hesaplanmasına yol açmaktadır.

Gould Olasılık Matrisi Yöntemi:

- a) Yöntemin, Moran Olasılık Matrisi Yöntemi'ne göre en büyük üstünlüğü, akımlardaki mevsimsellik ve içsel bağımlılığı dikkate almasıdır. Bu, geçiş olasılıkları matrisi yıllık dilimler için kurulmasına karşın, her bir yılın aylık su bütçesi çalışması yapılarak sağlanmaktadır.
- b) Moran Olasılık Matrisi Yöntemi için yukarıda (a), (b), (c), (d) ve (e) maddelerinde belirtilen özellikler bu yöntem için de geçerlidir.

5 ÖNERİLER

Yıllar arası düzenleme amaçlı büyük haznelerin kesin tasarımında

- Aylık Su Bütçesi ve Gould Olasılık Matrisi yöntemlerinin ikisi de kullanılabilir. Ancak, başlangıç hacmi seçiminin etkisini ortadan kaldırmak için, aylık su bütçesi çalışmalarının akım verilerinin istatistiksel yapısını koruyacak şekilde üretilmiş sentetik verilerle çok sayıda tekrarlanması daha doğru olacaktır.
- Aylık Su Bütçesi Yönteminde oluşturulacak hazne kapasitesi-düzenleme oranı-risk eğrileri yardımıyla haznenin farklı koşullarını değerlendirmek mümkün olabilir.

Hazne doluluk oranlarının olasılıklarının tahmininde

Gould Olasılık Matrisi Yöntemi;

- Hem haznenin uzun dönemde herhangi bir doluluk oranında bulunma olasılıklarının,
- Hem de (özellikle hazne işletme çalışmalarında gerekli olabilecek) başlangıç doluluk oranına (dolu, yarı dolu, boş vb) bağlı kısa süreli (1., 2.... yılın sonundaki) hazne doluluk oranlarının olasılıklarının tahmin edilmesinde kullanılabilir.

6 KAYNAKLAR

- Aksoy, H., "Storage capacity for river reservoirs by wavelet-based generation of sequent-peak algorithm", Water Resources Management 15:423-437, 2001.
- Bacanlı, Ü; Özkul, S. ve Baran, T., "Dicle Havzası Botan Çayı örneğinde farklı yöntemlerle biriktirme haznelerinin tasarımı", I. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Gümüş, İzmir, s. 389-402, 22-26 Eylül 2003.
- Bayazit, M. ve Bulu, A.; "Generalized probability distribution of reservoir capacity", Journal of Hydrology, 126: 195-205, 1991.
- Bayazit, M., "Biriktirme haznelerinin tasarımı ve işletilmesi" İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, 200 s, 1997.
- Bayazit, M.; "Ideal reservoir capacity as a function of yield and risk", Journal of Hydrology, 58:1-9, 1982.
- DOLSAR ve SUIŞ Proje "İzmir içmesuyu Gördeş ve Çağlayan Projesi Katı Proje Yapımı", DSİ II. Bölge Müdürlüğü, İzmir, Mayıs 2007.
- Gould, B.W., "Statistical methods for estimating the design capacity of dams", Jour. Inst. Eng. Australia, 33, s.405-416, 1961.
- Halden, E. ve Özkul, S., "Kritik dönem yöntemleri ile hazne hacminin belirlenmesi", DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 6-1:101-115, 2004.
- McMahon, T. A. ve Mein, R.G.; "River and reservoir yield", Elsevier, 367 pp, 1986.
- Moran, P.A.P., "The theory of storage", Methuen, 1959.
- Oğuz, B. ve Bayazit, M., "Statistical properties of the critical period", Journal of Hydrology, 126: 183-194, 1991.
- Rao, Z.; Moore, I. N.; O'Connell, P. E. ve Jamieson, D. G.; "An interactive management system for operational control of Kirazdere Reservoir (Turkey)", Water Resources Management, 15: 223-234, 2001.