

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



SAYI: 133
YIL : TEMMUZ 2019

DEVLET SU İŞLERİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

DSİ

TEKNİK

BÜLTENİ

DSİ TEKNİK BÜLTENİ

Sahibi

DEVLET SU İŞLERİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Adına Genel Müdür
Mevlüt AYDIN

Sorumlu Müdür

Nurettin PELEN

Yayın Kurulu (DSİ)

Murat Ali HATİPOĞLU
Ali GÖKYEL
Dinçer AYDOĞAN
Oğuzhan BEKTAŞ
Şenay ÖZKAN
Harun MEYDAN
Ali Alper ÇETİN
Vehbi ÖZAYDIN
Erkan EMİNOĞLU
Bekir YAPAN
Hasan ÇAKIRYILMAZ
Gökay AKINCI
Tuncer DİNÇERGÖK

Editörler

Figen ÖZYURT KUŞ
Özgür KÜÇÜKALİ

Haberleşme Adresi

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

Tel (312) 454 38 00
Faks (312) 454 38 05
bulten@dsi.gov.tr

Basıldığı Yer

Destek Hizmetleri Dairesi
Başkanlığı
Basım ve Foto-Film Şube
Müdürlüğü
Etlik - Ankara

SAYI : 133

YIL : TEMMUZ 2019

Yayın Türü

Yaygın süreli yayın
Üç ayda bir yayınlanır
(Ocak, Nisan, Temmuz,
Ekim)

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

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|----|
| YÜKSEK DÜŞÜLÜ DOLUSAVAKLARDA SU YÜZÜ PROFİLLERİNİN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİYLE BELİRLENMESİ M. Cihan AYDIN, Ercan IŞIK, Ali Emre ULU | 1 |
| SU SIZDIRMAZ GEOMEMBRAN LEVHA KAYNAĞINDA YENİ GELİŞTİRİLEN TEKNOLOJİLERİN UYGULANMASI Şehram DİZECİ | 12 |
| BARAJLARDA ARAŞTIRMA SONDAJ SIKLIĞININ GÖVDE ALTI KAZI SINIRININ BELİRLENMESİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ: ÜÇ ARAZİ ÖRNEĞİ Ahmet APAYDIN, Berna TOPUZ, Harun ÖZGÜR, Nurşen ŞAHİN | 20 |

DSİ Teknik Bülteni TÜBİTAK ULAKBİM (Ulusal Akademik Ağ ve Bilgi Merkezi)
ve uluslararası veritabanı EBSCO (Elton B. Stephens Company) tarafından
taranmaktadır.

DSI TECHNICAL BULLETIN

Publisher

On behalf of GENERAL
DIRECTORATE OF
STATE HYDRAULIC
WORKS
Mevlüt AYDIN
General Director

Director in charge

Nurettin PELEN

Editorial Board (DSI)

Murat Ali HATİPOĞLU
Ali GÖKYEL
Dinçer AYDOĞAN
Oğuzhan BEKTAŞ
Şenay ÖZKAN
Harun MEYDAN
Ali Alper ÇETİN
Vehbi ÖZAYDIN
Erkan EMİNOĞLU
Bekir YAPAN
Hasan ÇAKIRYILMAZ
Gökay AKINCI
Tuncer DİNÇERGÖK

Editors

Figen ÖZYURT KUŞ
Özgür KÜÇÜKALİ

Contact Address

DSİ Teknik Araştırma ve
Kalite Kontrol (TAKK)
Dairesi Başkanlığı 06100
Yücetepe – Ankara /
TURKEY

Tel (312) 454 38 00
Faks (312) 454 38 05
bulten@dsi.gov.tr

Place of Publication

Destek Hizmetleri Dairesi
Başkanlığı
Basım ve Foto-Film Şube
Müdürlüğü
Etilik – Ankara / TURKEY

ISSUE: 133

YEAR : JULY 2019

Publication Type

Widely distributed
periodical
Published quarterly
(January, April, July,
October)

ISSN

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

CONTENTS

| | |
|---|----|
| DETERMINATION OF WATER SURFACE PROFILES AT THE HIGH HEAD DAMS USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS M. Cihan AYDIN, Ercan IŞIK, Ali Emre ULU | 1 |
| APPLICATION OF NUMERICAL MODELING ON SPILWAY STRUCTURES: A CASE STUDY OF KAVSAK BENDİ HYDROELECTRIC POWER PLANT (HEPP) Şehram DİZECİ | 12 |
| INVESTIGATION OF THE EFFECT OF BOREHOLE SPACING ON THE EXCAVATION DEPTH UNDER DAMS: THREE CASE STUDIES Ahmet APAYDIN, Berna TOPUZ, Harun ÖZGÜR, Nurşen ŞAHİN | 21 |

DSI Technical Bulletin is indexed by TUBITAK ULAKBİM (Ulusal Akademik Ağ ve Bilgi Merkezi) and international database EBSCO (Elton B. Stephens Company).

DSİ TEKNİK BÜLTENİ'NİN AMACI

DSİ Teknik Bülteni'nde, su ile ilgili konularda, temel ve uygulamalı mühendislik alanlarında gönderilen makaleler yayınlanır. Makaleler, ilk önce konunun uzmanı tarafından incelenir ve değerlendirilir. Daha sonra, Hakem Kurulu uzman görüşünü de esas alarak makalenin yayınlanıp yayınlanmamasına karar verir. Makalelerin tamamı veya büyük bir kısmı diğer yayın organlarında yayınlanmamış olması gereklidir. DSİ Teknik Bülteni TÜBİTAK ULAKBİM (Ulusal Akademik Ağ ve Bilgi Merkezi) ve Eylül 2016 tarihi itibarı ile uluslararası veritabanı kuruluşu EBSCO (Elton B. Stephens Company) tarafından taranmaya başlamıştır.

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, makaleler üzerinde gerekli gördüğü düzeltme ve kısaltmaları yapar.
4. Makaleler bilgisayarda Microsoft Word olarak bir satır aralıkla yazılmalı ve Arial 10 fontu kullanılmalıdır. Makaleler A4 normundaki kâğıdın her kenarından 25 mm boşluk bırakılarak yazılmalıdır.
5. Sadece ilk sayfada, yazı alanı başlangıcından sola dayalı olarak, italik 10 fontunda Arial kullanılarak ilk satıra "DSİ Teknik Bülteni" yazılmalıdır.
6. Konu başlığı: Yazı alanı ortalanarak, "DSİ Teknik Bülteni" yazısından sonra dört satır boş bırakıldıktan sonra Arial 12 fontu kullanılarak büyük harflerle koyu yazılmalıdır.
7. Yazar ile ilgili bilgiler: Adı (küçük harf), soyadı (büyük harf), yazarın unvanı ile bağlı olduğu kuruluş (alt satıra) ve elektronik posta adresi (alt satıra) başlıktan iki boş satır sonra ilk yazardan başlamak üzere Arial 10 fontu ile yazı alanı ortalanarak yazılmalıdır. Diğer yazarlar da ilk yazar gibi bilgileri bir boşluk bırakıldıktan sonra yazılmalıdır.
8. Türkçe özet, elektronik posta adresinden dört boş satır sonra, özetten bir boş satır sonra ise anahtar kelimeler verilmelidir. Aynı şekilde, Türkçe anahtar kelimelerden iki boş satır sonra İngilizce özet, bir boş satır sonra ise İngilizce anahtar kelimeler verilmelidir.
9. Bölüm başlıkları yazı alanı sol kenarına dayandırılarak Arial 10 fontu kullanılarak koyu ve büyük harfle yazılmalı. Bölüm başlığının üzerinde bir boş satır bulunmalıdır.
10. Ara başlıklar satır başında başlamalı, üstlerinde bir boş satır bulunmalıdır. Birinci derecedeki ara başlıktaki bütün kelimelerin sadece ilk harfi büyük olmalı ve koyu harflerle Arial 10 fontunda yazılmalıdır. İkinci ve daha alt başlıklar normal harflerle Arial 10 fontu ile koyu yazılmalıdır.
11. Yazılar kâğıda iki sütün olarak yazılmalı ve sütün aralarındaki boşluk 10 mm olmalıdır.
12. Paragraf sola dayalı olarak başlamalı ve paragraflar arasında bir boş satır bırakılmalıdır.
13. Eşitlikler bilgisayarda yazılmalı ve numaralandırılmalıdır. Eşitlik numaraları sayfanın sağına oturmali ve parantez içinde yazılmalıdır. Her eşitlik alttaki ve üstteki yazılardan bir boş satır ile ayrılmalıdır. Eşitliklerde kullanılan bütün semboller eşitlikten hemen sonraki metinde tanımlanmalıdır.
14. Sayısal örnekler verildiği durumlarda SI veya Metrik sistem kullanılmalıdır. Rakamların ondalık kısımları virgül ile ayrılmalıdır.
15. Yararlanılan kaynaklar metinde kaynağın kullanıldığı yerde köşeli parantez içerisinde numaralı veya [Yazarın soyadı, basım yılı] olarak belirtilmelidir. Örneğin: "..... basamaklı dolusavaklar için geometri ve eşitlikler [1]" veya basamaklı dolusavaklar için geometri ve eşitlikler [Aktan, 1999]" gibi.
16. Kaynaklar yazar soyadlarına göre sıralanmalı, listelenirken yazar (veya yazarların) soyadı, adının baş harfi, yayın yılı, kaynağın ismi, yayınlandığı yer ve yararlanan 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. Makalenin tamamı 20 sayfayı geçmemeli, şekil, çizelge, grafik ve fotoğraflar yazının 1/3'ünden az olmalıdır.
19. Sayfa numaraları, sayfaların karışmaması için sayfa arkalarına kurşun kalem ile hafifçe verilmelidir.
20. Yazım kurallarına uygun olarak yazılmış makalenin tam metni eğer e-posta ortamında gönderilebilecek kadar küçük boyutta ise e-posta adresine, değilse; hem A4 kâğıda baskı şeklinde (2 adet) hem de dijital ortamda (CD veya DVD) yazışma adresine gönderilmelidir.
21. Yayınlanan bütün yazılar için "Kamu Kurum ve kuruluşlarınca ödenecek telif ve işleme ücretleri hakkındaki yönetmelik" hükümleri uygulanır.
22. Makaleyi gönderen yazarlar yukarıda belirtilenleri kabul etmiş sayılırlar.
23. Yazışma adresi aşağıda verilmiştir:

Yasal Uyarı

Bu Teknik Bülten yalnızca genel bilgilendirme amacıyla yayımlanmaktadır ve içeriğinde yer alan malzemelerin, prosedürlerin veya yöntemlerin tek mevcut ve uygun malzeme, prosedür veya yöntem olduğunu ima etmemektedir. Malzemeler, prosedürler veya yöntemler özel koşullara, yerel imar kanunlarına, tasarım şartlarına veya tüzel ve yasal şartlara göre değişebilir. Bu Teknik Bülten'deki bilgilerin doğru ve güvenilir olduğuna inanılmakla beraber, yayımlayıcı olarak Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü bu Teknik Bülten'in içeriğinde bulunan yöntemlerin, malzemelerin, talimatların veya fikirlerin herhangi bir şekilde kullanılması kaynaklı mal veya can kaybından veya oluşabilecek zararlardan sorumlu değildir.

DSİ TEKNİK BÜLTENİ DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol (TAKK) Dairesi Başkanlığı Yıldırım Beyazıt Mah. DSİ Küme

Evleri No:5 Pirsaklar / ANKARA

Tel (312) 454 38 00

Faks (312) 454 38 05

E-posta bulten@dsi.gov.tr

Web <http://www.dsi.gov.tr/yayinlarimiz/dsi-teknik-bultenleri>

YÜKSEK DÜŞÜLÜ DOLUSAVAKLARDA SU YÜZÜ PROFİLLERİNİN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİYLE BELİRLENMESİ

M. Cihan AYDIN

Bitlis Eren Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Merkez/Bitlis
mcaydin@gmail.com

Ercan IŞIK

Bitlis Eren Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Merkez/Bitlis
ercanbitliseren@gmail.com

Ali Emre ULU

Bitlis Eren Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Merkez/Bitlis
aliemreulu@gmail.com

(Makalenin geliş tarihi: 22.02.2019, Makalenin kabul tarihi: 02.12.2019)

ÖZ

Beton ağırlık ve silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) barajların dolusavakları ekonomik nedenlerle genellikle gövde üzerine inşa edilirler. Yüksek düşü ve eğimlere sahip baraj dolusavaklarında oluşan yüksek hızlı akımların serrbest su yüzü profillerinin belirlenmesi, dolusavak tasarımı ve hidrolik karakteristیکlerinin belirlenmesi açısından oldukça önemlidir. Baraj tipi ve mansap şartları dikkate alınarak belirlenen tasarım debilerine göre teorik ve ampirik yaklaşımlarla elde edilen su yüzü profilleri uygulama projesi öncesi genelde hidrolik model deneylerine tabi tutularak test edilir ve tasarımın son şekli verilir. Bununla birlikte, özellikle düşünün ve yüksek eğimin etkili olduğu dolusavaklarda tasarımda önem arz ettiği düşünülen her bir husus için gerekli deneysel ve teorik çalışmalar yapılmalıdır. Günümüzdeki gelişmiş sayısal model teknikleri, deneysel çalışmalarla birlikte ya da işin aciliyeti bakımından bazen deneysel çalışmalara alternatif olarak kullanılabilir. Bu çalışmada muhtemel maksimum taşkın debisi altında yüksek düşü ve yüksek eğimli bir SSB barajın dolusavağındaki akım profilleri hesaplamalı akışkanlar dinamiğı (HAD) kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış ve çok iyi bir uyum elde edilmiştir. Böylece bu tür projelerin hidrolik model çalışmalarının yanında sayısal modellerin de avantajları tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dolusavak, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğı, Su Yüzü Profilleri

DETERMINATION OF WATER SURFACE PROFILES AT THE HIGH HEAD DAMS USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

ABSTRACT

The spillways of Gravity and Roller Compacted Concrete (RCC) Dams are commonly constructed on the dam body because of economic reasons. The free surface profiles of the high velocity flows due to high head and slopes are very important in terms of the design and the hydraulic characteristics of the spillway. The flow characteristics obtained by theoretical and empirical approaches according to the design flow discharges - determined by considering dam type and downstream conditions - are applied to physical model tests and so the final design is confirmed. However, experimental and theoretical studies should be carried out for each subject that is considered to be of importance in design, especially in spillways where high head and slope is effective. Today, advanced numerical model techniques can be used together with experimental studies or sometimes as an alternative to experimental studies. In this study, the flow profiles of a high head RCC dam spillway under maximum flood discharge were investigated using Computational Fluid Dynamics (CFD). The numerical results were compared to the

experimental observation and a good agreement was achieved between the both results. Thus, the advantages of the numerical models using the hydraulic designs were discussed and highlighted.

Keywords: Spillway, Computational Fluid Dynamics, Water Surface Profiles

1 GİRİŞ

Baraj dolusavakları özellikle taşkın sırasında rezervuardaki su seviyesinin baraj üzerinden aşmadan fazla suların tahliyesi ve hazne işletmeleri için kullanılan emniyet ve kontrol yapılarıdır. Kontrollü ve kontrolsüz olarak inşa edilen bu yapılar hidrolik açıdan barajların en önemli elemanlarıdır. Bu nedenlerle, dolusavak şüt kanalları üzerindeki akımların önceden analiz edilerek sorunların tespiti ve çözümleri bu tür yapıların emniyet ve maliyeti açısından oldukça önemlidir. Yüksek düşümlü dolusavaklar üzerindeki akımın incelenmesi üç bakımdan önemlidir. Birincisi dolusavak kapasitesinin belirlenmesi ve buna göre dolusavak şüt kanalının boyutlandırılması; ikincisi, kavitasyon hasarı bakımından dolusavak şüt kanalı üzerindeki akımın basınç, hız gibi karakteristiklerin belirlenmesi; üçüncü ve sonuncusu ise, dolusavak şüt kanalı çıkışındaki yüksek enerjinin kırılması için uygulanacak yöntemler olarak sıralanabilir. Özellikle ilk iki unsur bakımından dolusavak şüt kanalı üzerindeki akımların su yüzü ve hız profillerinin belirlenmesi önemlidir. Hidrolik hesaplar, baraj tipi ve mansap şartları dikkate alınarak belirlenen tasarım debilerine göre yapılır. Dolusavak yapısından geçmesi beklenen akım değerleri için yapılan kavitasyon tahkikleri neticesinde belirlenen en kritik akım koşuluna göre yapılan boyutlandırmanın ardından, hidrolik hesaplamaların teorik ve ampirik yaklaşımlar kullanılarak yapılması sebebiyle, tasarımın doğruluğunun teyit edilmesi için model çalışması istenir. Model çalışmasının projelendirme aşamasında yapılamaması halinde, inşaat aşamasından önce mutlak suretle yapılarak tasarıma nihai halinin verilmesi elzemdir. Bu konuda yaygın olarak kullanılan yöntem fiziksel model deneyleri olmakla birlikte günümüzde gelişmiş tekniklerin kullanıldığı sayısal modeller de yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Esas olan, her iki yöntemin avantajlarından faydalanmak için birlikte kullanılmasıdır. Fakat bazı durumlarda (ön proje aşaması, işin aciliyeti gibi) zaman ve tasarruf sağlamak bakımından yeterince test edilmiş sayısal modeller kullanılabilir. Geçmişten günümüze birçok araştırmacı tarafından deneysel ve sayısal yöntemler kullanılarak çeşitli tip ve kapasitelerdeki dolusavakların hidrolik analizleri

yapılmıştır. Konuyla ilgili son yıllarda yapılmış bazı araştırmalar şu şekilde özetlenebilir: Chatila ve Tabara [2004], $k-\epsilon$ türbülans modelini kullanarak ogee profilli bir dolusavak üzerindeki akımın karakteristiklerini HAD yazılımıyla 2 boyutlu olarak incelemiş ve deneysel ölçümlerle iyi bir uyum yakalamıştır. Öztürk vd. [2008], alttan alışı havalandırıcıların kavitasyon üzerindeki etkileri ve havalandırma performansını HAD yöntemiyle belirlenmeye çalışılmıştır. Öztürk ve Aydın [2008], dolusavak üzerinde bulunan havalandırıcıların davranış ve verimliliğini yine HAD analizleri kullanarak üç boyutlu olarak incelemişlerdir. Aydın ve Öztürk [2009], dolusavak havalandırıcıların HAD analizlerinin doğruluğu ve geçerliliği üzerinde durmuşlardır. Van Vuuren vd. [2015], klasik bir ogee profilinin sadece iki boyut için verildiğini ancak çalışmalarında dolusavak kanalına yaklaşan akımın simetrisinin ogee formülünden farklı olarak alt nap şeklini etkilediğini göstermişlerdir. Dehdar-behbahani ve Parsaie [2016] İran'daki bir barajın dolusavağındaki kılavuz ayaklarının şeklinin akım üzerine etkisini Flow-3D yazılımı kullanarak başarılı bir şekilde incelemişlerdir. Çalışmalarında çapraz dalgaların benzeşiminde RNG- $k-\epsilon$ türbülans modelinin en başarılı türbülans modeli olduğunu belirtmişlerdir. Dursun ve Öztürk [2016], farklı eğim açılarındaki basamaklı dolusavakların akım karakteristiklerini belirlemek için HAD yöntemlerini kullanmışlar ve literatürdeki çalışmalarla karşılaştırmıştır. Kumcu [2016], Kavşak Barajı ve dolusavak tasarımının akış karakteristiklerini incelemek için sayısal bir çalışma yürütmüştür. Makalede, Kavşak Barajı dolusavağının deneysel verileri ile HAD analizleriyle elde edilmiş sonuçlar kıyaslanmıştır. Daneshfaraz ve Ghaderi [2017], ogee profili bir dolusavağın mansabındaki ters kurbun eğrilik çapının taban basınç üzerine etkisini FLUENT yazılımını kullanarak 2 boyutlu sayısal modelle incelemişlerdir. Aydın [2018], daha önce incelediği dolusavak havalandırıcı tipini bu kez deneysel olarak incelemiş ve havalandırıcı performansını önceki çalışmalarla karşılaştırmıştır.

Bu çalışmada, son yıllarda gelişen hesaplama ve bilgisayar tekniklerinin kullanılmasıyla tüm dünyada dikkat çeken Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği tekniği kullanılarak yüksek düşümlü bir SSB barajının dolusavak şüt kanalı üzerindeki

akımların karakteristikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sayısal veriler DSİ tarafından gerçekleştirilen ölçekli model deneyi ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılarak sonuçlar tartışılmıştır. Çalışmadaki sayısal model daha önceki bir bildiriye [Aydın vd., 2018] tarafımızca sunulmuş fakat detaylı analiz sonuçları, karşılaştırmalar ilk kez bu çalışmada verilmiş ve yorumlanmıştır.

2 MATERYAL VE YÖNTEM

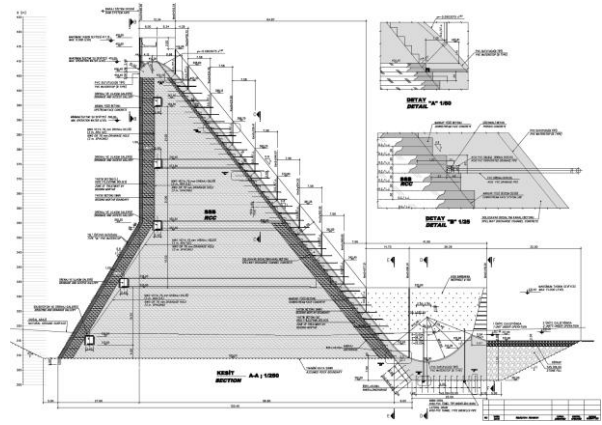
Bu çalışmada incelenecek olan Köprü Barajı ve HES Projesi Adana il sınırları içerisinde Seyhan Nehri'nin Göksu Çayında kurulmuştur. Barajın dolusavak yapısıyla birlikte genel görünümü Şekil 1'de verilmiştir. Silindirik Sıkıştırılmış Beton (SSB) gövde tipine sahip olan barajın talvegden yüksekliği 100 m'dir. Baraj projelendirilirken, ekonomiklik sağlamak bakımından dolusavak baraj gövdesi üzerine inşa edilmiştir. Baraj dolusavağı karşıdan direk (kontROLSÜZ) alışı olup, batık çalışan sıçratma eşiğine sahiptir. Baraj dolusavağıyla, 1000 yıllık taşkın ($Q=3500 \text{ m}^3/\text{s}$) ve muhtemel maksimum taşkın ($Q=5223 \text{ m}^3/\text{s}$) debilerinin gelmesi durumunda, bu debilerin yapıya zarar vermeden güvenli bir şekilde mansaba deşarj edilebilmesi amaçlanmıştır. 2013 yılında yapımı tamamlanan Köprü Barajı ve HES Türkiye'nin 97'nci Adana'nın 7'nci büyük enerji santrali olma özelliğine sahiptir. Köprü Barajı ve HES aynı zamanda ülkemizin 32'nci büyük Hidroelektrik Santralidir.



Şekil 1 - Köprü Barajı ve dolusavak yapısı [Özaltın, 2017]

2.1 Fiziksel Model

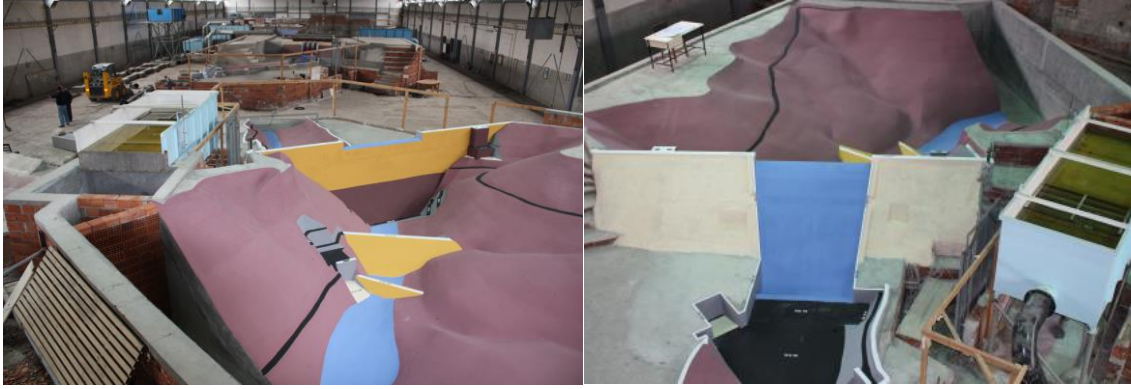
Köprü barajı dolusavağının ilk tasarımında, özellikle dolgu barajlarda sıkça kullanıldığı gibi sağ ve sol tarafta olacak şekilde planlanmıştır. Fakat, kazı maliyetinin artacağı öngörülerek bu tasarımdan vazgeçilip dolusavak baraj gövdesi üzerine inşa edilmiştir. Köprü Barajı ve HES projesi dolusavak ve dipsavak tasarımı muhtemel maksimum taşkın debisi olan $5223 \text{ m}^3/\text{s}$ 'ye göre yapılmıştır. DSİ tarafından 1/60 ölçekli fiziksel modellerle dolusavak yapısının hidrolik testleri yapılmış ve yeni tasarım önerileri getirilmiştir. Barajın gövde ve dolusavak yapısının orijinal projesindeki kesiti Şekil 2'de verilmiştir (Özcan, 2011). Froude benzeşim kurallarına göre belirlenen model deneylerine ait ölçek değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. DSİ tarafından gerçekleştirilen model deneyi düzeneğinden bazı görünüşler Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 2 - Köprü Barajı gövde ve dolusavak kesiti [Özcan, 2011]

Çizelge 1 - Model ve prototip arasındaki ölçek oranları [Özcan, 2011]

| Fiziksel Büyüklük | Birim | Formül | Ölçek |
|-------------------|-----------------------|-----------------|----------|
| Uzunluk (L) | m | $K_L=L_P/L_M$ | 60 |
| Hız (U) | m/s | $K_U=K_L^{1/2}$ | 7.7460 |
| Debi (Q) | m^3/s | $K_Q=K_L^{5/2}$ | 27885.48 |



(a) Memba

(b) Mansap

Şekil 3 - Fiziksel model düzeneğinden görüşler [Özcan, 2011]

2.2 Sayısal Model

Akışkan hareketi doğrusal olmayan, süreksiz, ikinci mertebeden diferansiyel denklemlerle açıklanmıştır. Bu denklemleri çözmek için akışkan hareket denklemleri kullanılmalıdır. Bu yöntemleri geliştirmenin bilimi, Hesaplama Akışkan Dinamiği (HAD) olarak adlandırılır. Bu denklemlerin sayısal çözümü, çeşitli terimleri cebirsel ifadelerle yaklaşmayı içerir. Elde edilen denklemler daha sonra orijinal probleme yaklaşık bir çözüm vermek için çözülür. Bu sürece simülasyon denir. FLOW-3D genel amaçlı bir HAD yazılımıdır. Bu tür yazılımlar akışkan hareketini üç boyutlu modelleyebilmek

için aşağıda belirtilen hareket denklemlerini sayısal olarak çözümler.

Kütle süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial x}(uA_x) + \frac{\partial}{\partial y}(vA_y) + \frac{\partial}{\partial z}(wA_z) = 0 \quad (1)$$

Burada; ρ akışkanın yoğunluğu, A_x , A_y , A_z sırasıyla x , y , ve z yönlerinde akıma açılan kısmi alanlar; u , v , w = sırasıyla x , y ve z yönlerindeki hız bileşenleridir. Akışkan hareketinin momentum (Navier-Stokes) Denklemleri:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y \frac{\partial u}{\partial y} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z} \right] = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y \frac{\partial v}{\partial y} + wA_z \frac{\partial v}{\partial z} \right] = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + G_y + f_y \quad (2)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[uA_x \frac{\partial w}{\partial x} + vA_y \frac{\partial w}{\partial y} + wA_z \frac{\partial w}{\partial z} \right] = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + G_z + f_z$$

Burada: (G_x , G_y , G_z): Kütle ivmesi, (f_x , f_y , f_z): Viskoz ivmeleri, (b_x , b_y , b_z): Gözenekli ortamlarda akım kayıplarını ifade etmektedir. İki fazlı akımların çözümü için hacim oranları

metodu (VOF: Volume of Fluid) kullanılmıştır. Bu metotta her birim hacim için 1. akışkanın hacmi aşağıdaki VOF fonksiyonu ile tanımlanır (Hirt ve Nichols, 1981).

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial}{\partial x} (FA_x u) + R \frac{\partial}{\partial y} (FA_y v) + \frac{\partial}{\partial z} (FA_z w) + \varphi \frac{FA_x u}{x} \right] = F_D + F_S \quad (3)$$

Burada; F_D sadece iki fazlı akım uygulamalarını içeren difüzyon terimini, F_S ise yoğunluk kaynak terimini temsil ederler [Flow-3D, 2016].

Bu çalışmada, tek fazlı ve türbülanslı akım modelleri kullanılmıştır. Tek fazlı akımlar çözüm zamanı ve su yüzü profillerinin belirlenmesi

bakımından daha başarılıdır fakat sadece tek faz (su) için hareket denklemleri çözüldüğünden hava kayma gerilmeleri ve hava girişi gibi hesapları yapamamaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada hava-su fazlarının etkileşimleri dikkate alınmamıştır. Dolusavaklardaki akımlar

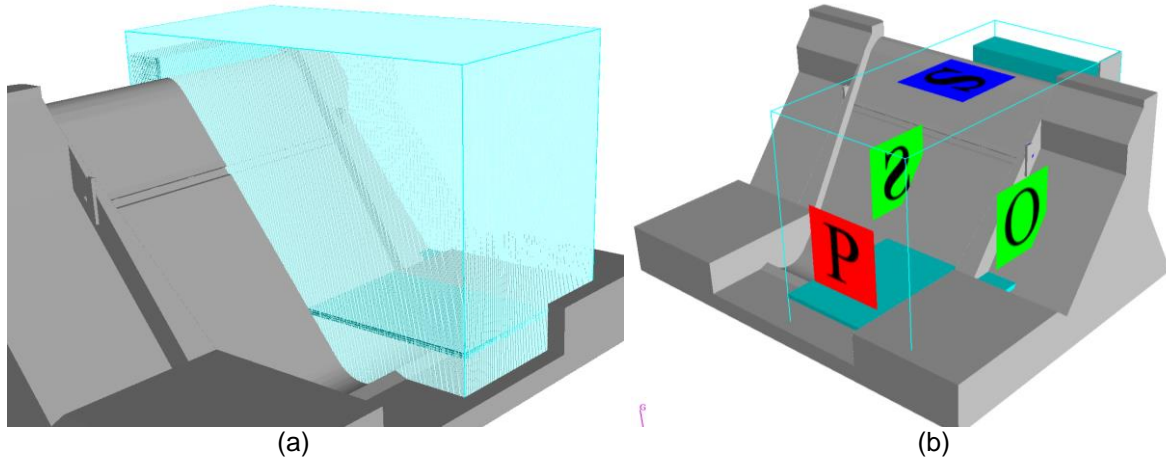
yüksek hızlı ve yüksek türbülanslı olduklarından sayısal analizlerde türbülans modeli olarak en yaygın olarak kullanılan türbülans modellerinden biri olan standart k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. İki denklemlilik türbülans modelleri (k-ε model gibi) HAD uygulamalarında yaygın olarak kullanılan türbülans modelleridir. Standart k-ε model, Reynolds gerilmeleriyle birlikte türbülans kinetik enerjisi (k) ve yayılma oranı ($\epsilon=k^{2/3}/L$, L: uzunluk ölçeğidir) için iki adet taşıyım denklemini çözer. Bu model akımın tamamen türbülanslı olduğu ve viskoz etkilerin ihmal edildiği kabullerine dayanır.

2.3 Model Geometrisi ve Sınır Şartları

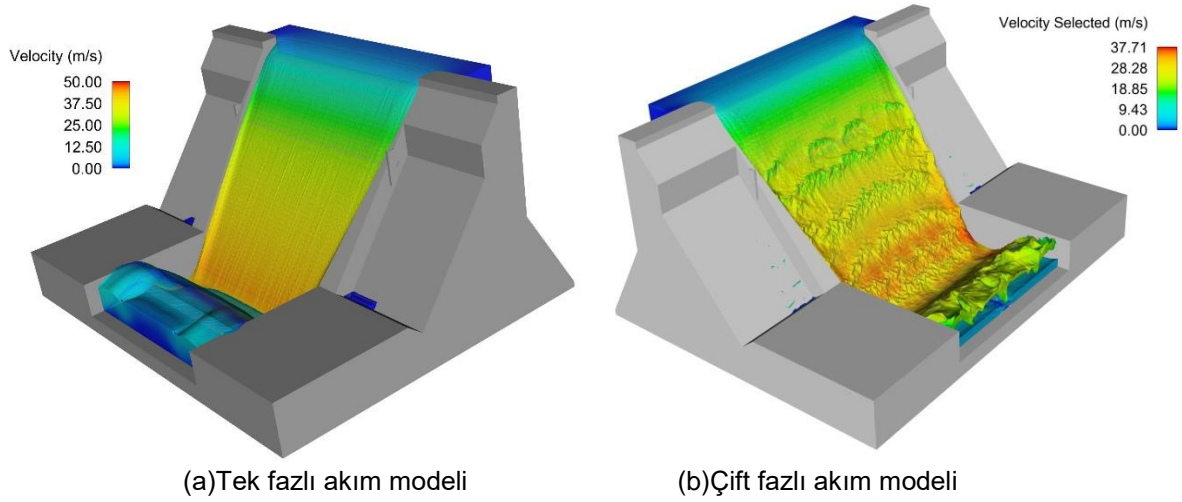
Öncelikle Köprü Barajı dolusavağının orijinal projesindeki prototip boyutlarına uygun olarak grafik programları yardımıyla sayısal geometrik modeli oluşturulmuş ve daha sonra ağ yağı belirlenmiştir. Fiziksel laboratuvar modellerde mümkün olmayan prototip boyutlarının kullanılması suretiyle ölçek etkilerinden kaçınılmış olunacaktır. Çözüm zamanını kısaltmak bakımından dolusavak modelinin Y-eksenine göre simetriği dikkate alınarak Şekil 4(a) görüldüğü gibi yarısı için çözüm alanı ağlara bölünerek tanımlanmıştır. Modelde ağ yapısını hassaslaştırmak için 24.300.000 yapısal (kare prizmatik) eleman kullanılmıştır. Kare prizmatik elemanlar, sayısal hesap bakımından bozuk geometrisi olmayan (çarpıklık gibi bir sorun olmayacağından) mükemmel elemanlardır. Bu

elemanlar yeterince küçük hücre boyutlarıyla kullanılarak simülasyon sonuçlarının hücre yapısına hassasiyetlerinin azaltılması sağlanmıştır. Şekil 4 (b)'de sayısal modelin sınır ve başlangıç şartları verilmiştir. Buradaki P: Basınç girişi (Specified Pressure), S: Simetri (Symmetry), O: Akım çıkışı (Outflow) sınır şartlarını ifade etmektedir. Başlangıç koşulu olarak proje debilerine uygun olarak memba ve kuyruk suyu seviyeleri girilmiştir. Dolusavak debileri projesindeki dolusavağın Debi-Seviye eğrisi kullanılarak elde edilen statik su seviyelerinin memba sınır şartında girilmesiyle belirlenmiştir.

Şekil 5'te tek ve çift fazlı akım modelleri için iki farklı analiz yapılmıştır. Verilen şekillerden anlaşılacağı üzere tek fazlı akım modelinde daha düzgün ve gerçekçi bir su yüzü elde edilmiştir. Çift fazlı akım modelinde ise hava-su fazları arasındaki kayma gerilmeleri ve türbülansın neden olduğu tahmin edilen yüzey dalgalanmaları gözlemlenmiştir. Daha hassas bir meş yapısı çift-fazlı akım modeli için çözümleri daha iyi hale getirebilir fakat bu durumda çözüm zamanı çok fazla uzamaktadır. Ayrıca enerji kırıcı havuzdaki hidrolik sıçrama tek fazlı akım modelinde çok iyi gözlemlenirken çift fazlı akım modelinde bu durum gözlemlenmemiştir. Bu nedenle çalışmada, akım karakteristiklerini daha iyi yansıttığı için ve hava girişi dikkate alınmadığından tek fazlı akım modeli kullanılmıştır.



Şekil 4 - Sayısal modelin; a) Ağ yapısı b) sınır ve başlangıç koşulları



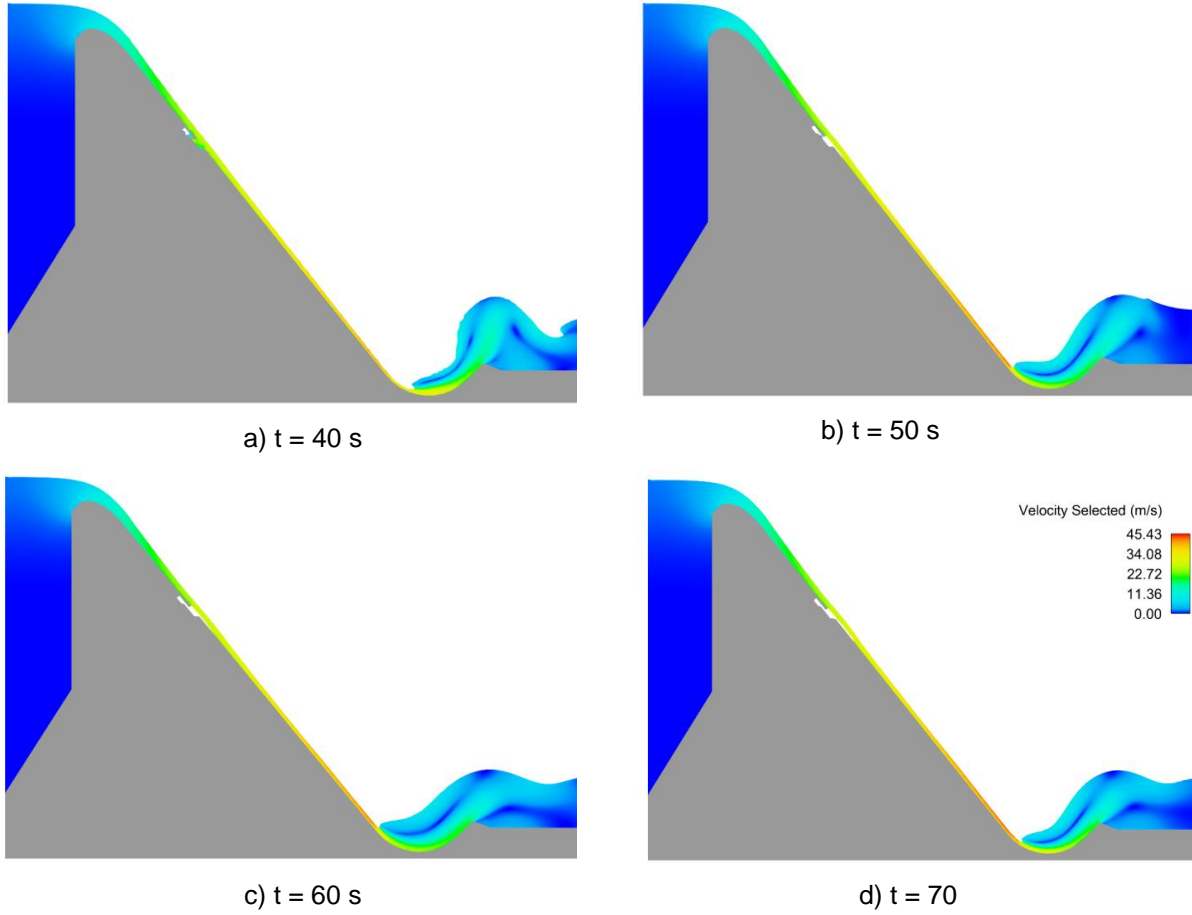
Şekil 5 - Tek ve Çift fazlı akımların karşılaştırması [Aydın vd. 2018]

3 BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1 Tek Fazlı Akım Modeli Sonuçları

Dolusavak hidrolik karakteristiklerini belirlemek için maksimum katastrofal taşkın debisi olan $Q=5223 \text{ m}^3/\text{s}$ dikkate alınarak prototip ölçeğinde sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Yüksek ağ çözünürlüğüne sahip bu modelin 70 s'lik çözümleri, 8 çekirdekli Xenon 3.3 Ghz işlemcili ve 20 GB Ram kapasitesine sahip bir iş istasyonu ile yaklaşık 5 gün sürmüştür. Dolusavak üzerindeki akımın zamana göre değişimi ve nihai durumda kararlı hale geldiği durumu ($t=70 \text{ s}$ sonundaki) Şekil 6'da verilmiştir. İlk 40 s'ye kadar havalandırıcı oluğu su ile dolduğu ve su jetinin tabanına yapıştığı görülmekteyken daha sonra su jetinin havalandırıcı rampadan sıçrayarak nap altı havalandırma boşluğunun oluştuğu görülmektedir. Analizlerde savak yüzeyindeki akım hızlarından kaynaklanan basınç düşüşleri -44000 pascal'a kadar düşerken akım hızları ise şut kanalının aşağılarında 45 m/s hızlara kadar yükseldiği tespit edilmiştir. Bu değerlerin ciddi kavite hasarı oluşturabilecek potansiyeli

vardır. Birçok araştırmacının da referans aldığı Falvey [1990]'a göre kavite indeksinin 0.25'in altına düşmesi durumunda kavite hasarı riski çok yüksek olmaktadır. Sayısal analizlerden elde edilen bulgulara göre, dolusavak havalandırıcı sıçratma ucundan yüzey boyunca yaklaşık 12 m sonra kavite indeksinin 0.25 in altına düştüğü tespit edilmektedir. Ayrıca, akım hızlarının 20-30 m/s'i aşması durumunda da kavite riski olacağı bildirilmiştir [Chanson, 1994]. Havalandırıcı hemen membasında akım hızlarının 20 m/s civarlarında olduğu da dikkate alınır seçilen havalandırıcı yerinin doğru olduğu söylenebilir. Bunlara ilave olarak, verilen şekillerde havalandırıcı üzerindeki sıçrayan su jeti ve nap altı hava boşluğu net bir şekilde görülmektedir. Ayrıca şut akımının sıçratma ucundaki havuza dalarak hidrolik sıçrama ile enerjisinin kırıldığı görülmektedir. Elde edilen bu bulgular dolusavak akımının fiziksel olarak gerçekleştiğini göstermekte fakat yine de sonuçların doğruluğunu test etmek için fiziksel model deneyleriyle karşılaştırılması uygun olacaktır.



Şekil 6 - Tek fazlı akım modeli için farklı zamanlardaki dolusavak su yüzü profilleri

3.2 Fiziksel Model Sonuçlarıyla Karşılaştırma

Sayısal simülasyon sonuçlarının doğruluğunu kontrol etmek için DSİ [Özcan, 2011] tarafından Froude benzeşim kurallarına göre yürütülmüş 1/60 ölçekli fiziksel model deney sonuçları kullanılmıştır. Şekil 7'deki fiziksel ve sayısal modeller görsel karşılaştırmasında, dolusavak kret ve şut kanalı üzerindeki akımların fiziksel olarak oldukça iyi bir şekilde benzeştiği görülmektedir. Fakat akımın kuyruk suyuna daldığı sıçratma ucundaki akım incelendiğinde fiziksel model deneylerinde gözlenen yoğun kabarcıklı ve türbülanslı akım sayısal modelde gözlenmemiştir. Bunun öncelikli sebebi tek fazlı akım modeli kullanılması nedeniyle hava karışımının dikkate alınmamasıdır. Bununla birlikte yoğun hava kabarcıkları içeren ve 1/60 gibi küçük ölçeğin kullanıldığı fiziksel modelde önemli ölçek etkilerinin oluşması beklenir. Dolayısıyla yoğun türbülanslı ve hava-su karışımı içeren kuyruk suyu dalma bölgesindeki ölçekli model deneyi sonuçlarının sayısal model sonuçlarıyla hatta prototip sonuçlarıyla tam olarak örtüşmesi beklenemez. Dolusavak

üzerindeki su yüzü profillerini daha iyi görebilmek için Şekil 8 ve 9'da deneysel ve sayısal sonuçların boykesit su yüzü grafikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Dolusavağın orta eksenini boyunca çizdirilen Şekil 8'deki su yüzü profillerinin şut boyunca neredeyse birebir uyuştugu görülmektedir. Her iki modelde de akım derinliği şut kanalı boyunca hızların artmasıyla aşağıya doğru azalmaktayken havalandırıcı üzerinde ise su jetinin tabandan sıçramasından kaynaklı bir yükselme görülmektedir. Bu kesimde tek fazlı akım modelinin oldukça başarılı olduğu ve su yüzü profilleri bakımından ölçek etkilerinin önemsiz olduğu söylenebilir. Kenar duvar boyunca çizdirilen Şekil 9'daki profillerde ise yine deneysel ve sayısal sonuçların şut kanalı boyunca çok iyi uyuştugu ve orta eksenin aksine su derinliğinde mansaba doğru bir artış olduğu görülmektedir. Bunun sebebi Dolusavak genişliğinin sabit olmadığı ve aşağıya doğru daraltılmasıdır. Dolayısıyla mansaba doğru akım kenar duvarlara belirli bir açıyla çarparak yükselmektedir. Bu durum her iki model (sayısal ve fiziksel) için de açık bir şekilde

gözlemlenmiştir. Bu iki şekilde incelendiğinde, şüt boyunca akım profilleri iyi bir şekilde uyuşurken yukarıda da bahsedildiği gibi akımın kuyruk suyuna daldığı sıçratma ucunda akım profillerinin birbirinden biraz saptığı görülmektedir. Bunun sebebi daha önce de söylenildiği gibi tek fazlı akım modelinin akım içindeki yoğun hava kabarcıklarını dikkate katmaması ve yoğun türbülans ve hava karışımının olduğu bu bölgedeki ölçek etkileri ve sayısal belirsizliklerdir. Bununla birlikte akımın mansabında meydana gelen hidrolik sıçrama sayısal modelde net bir şekilde görülmektedir. Bu durum dolusavak mansap ucundaki enerjinin iyi bir şekilde kırıldığını ve tasarımın başarılı olduğunu göstermektedir.

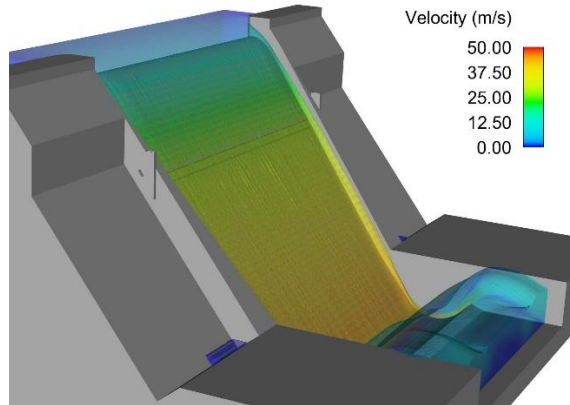
3.3 Basınç Değişimleri

Çalışılan debi değeri için ($Q=5223 \text{ m}^3/\text{s}$) dolusavak orta kesiti üzerindeki basınç kontörleri Şekil 10'da verilmiştir. Sayısal modelden elde edilen basınç değerleri, Özcan (2011) tarafından deneysel çalışmada verilen orta eksen boyunca basınç ölçüm noktalarına göre elde edilen basınç değerleri (mss) ile Çizelge 2'de karşılaştırılmıştır. Bu çizelge incelendiğinde orta

eksen boyunca kret bölgeleri (7-8. noklara) ile düşüm yatağı (29-31. noktalar) bölgelerindeki basınçların birbirine yakın olduğu, ancak yüksek hızlı şüt akımının olduğu ve özellikle de havalandırıcı bölgesindeki basınç değerlerinde bir uyumsuzluk olduğu görülmektedir. Akımın fiziği gereği Kret profilinin hemen başladığı (9-10. noktalarda) ve havalandırıcı mansabındaki jet altı boşlukta (23. nokta) düşük basınçların; saptırıcı rampanın hemen membasında (22. Nokta) ve havalandırıcı jetin çarpma noktasında (24. Noktanın membası) ise büyük basınçların meydana gelmesi beklenir. Sayısal modelde bu beklentiye uygun sonuçlar elde edilmesine rağmen deneysel sonuçlarda bu durumun elde edilememesinin sebebi, deneysel çalışmaların havalandırıcının yer almadığı original projeye göre yapılmış olmasıdır. Sayısal analizde yer alan havalandırıcı akımı etkilediğinden havalandırıcı mansabındaki şüt kanalı üzerindeki basınç değerlerinde farklılıklar meydana gelmesi beklenen bir durumdur. Dolayısıyla, havalandırıcı bölgesi dahil basınç değerlerinin sayısal model tarafından makul derecede tanımlandığı söylenebilir.



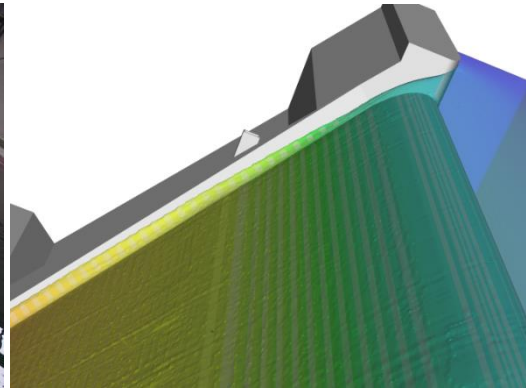
a) Fiziksel model [Özcan, 2011]



b) Sayısal Model

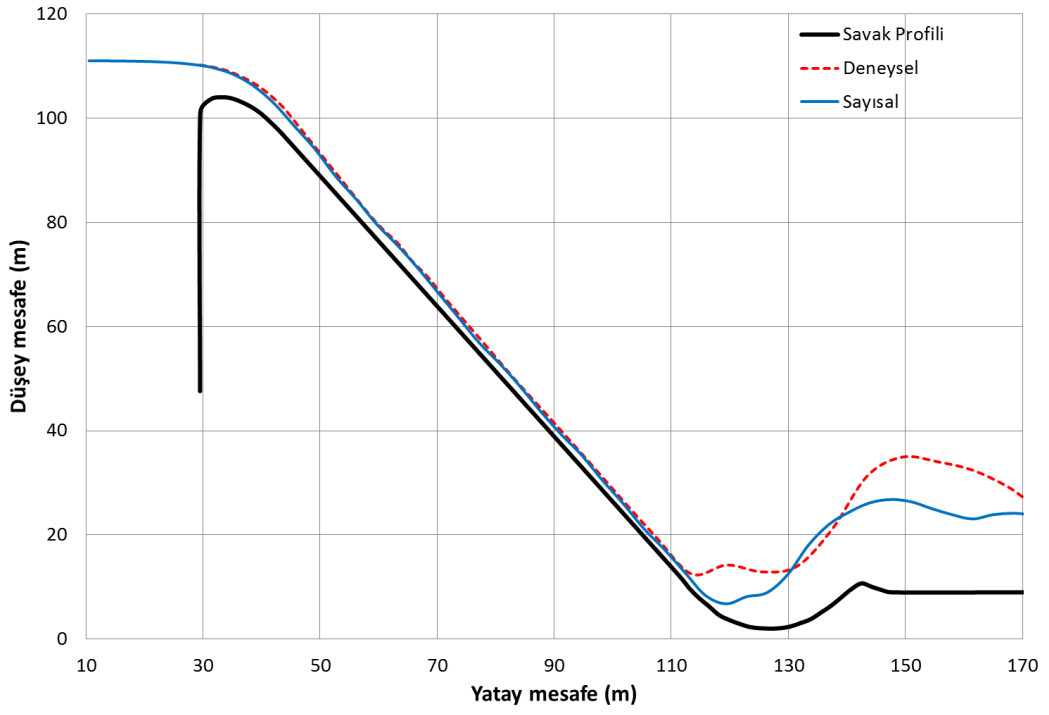


c) Fiziksel model [Özcan, 2011]

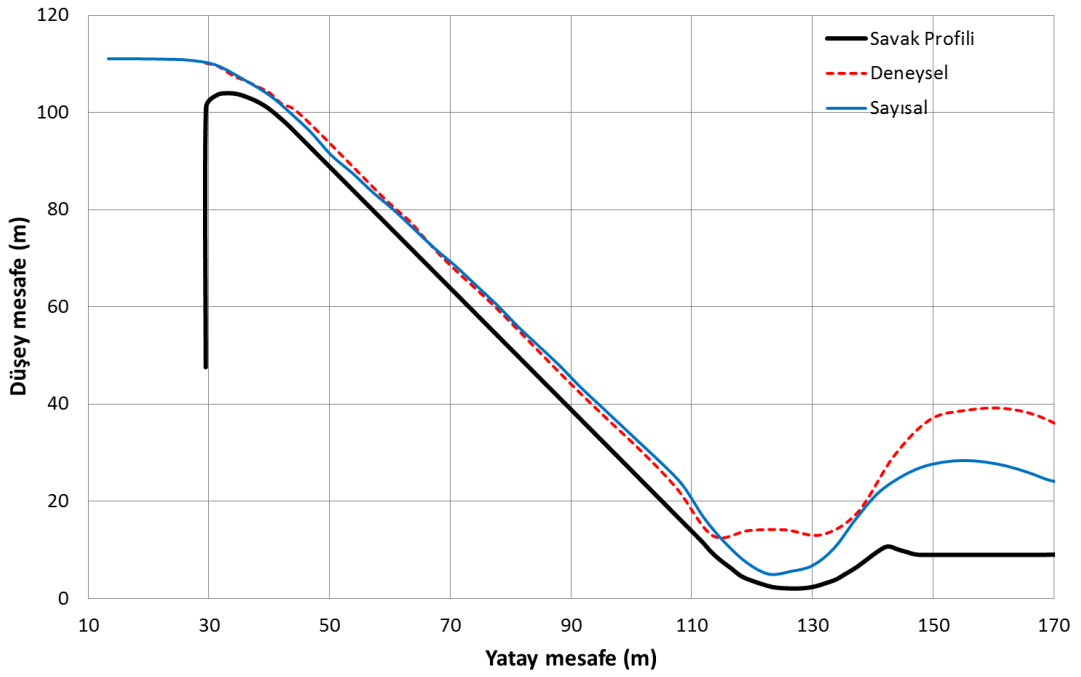


d) Sayısal Model

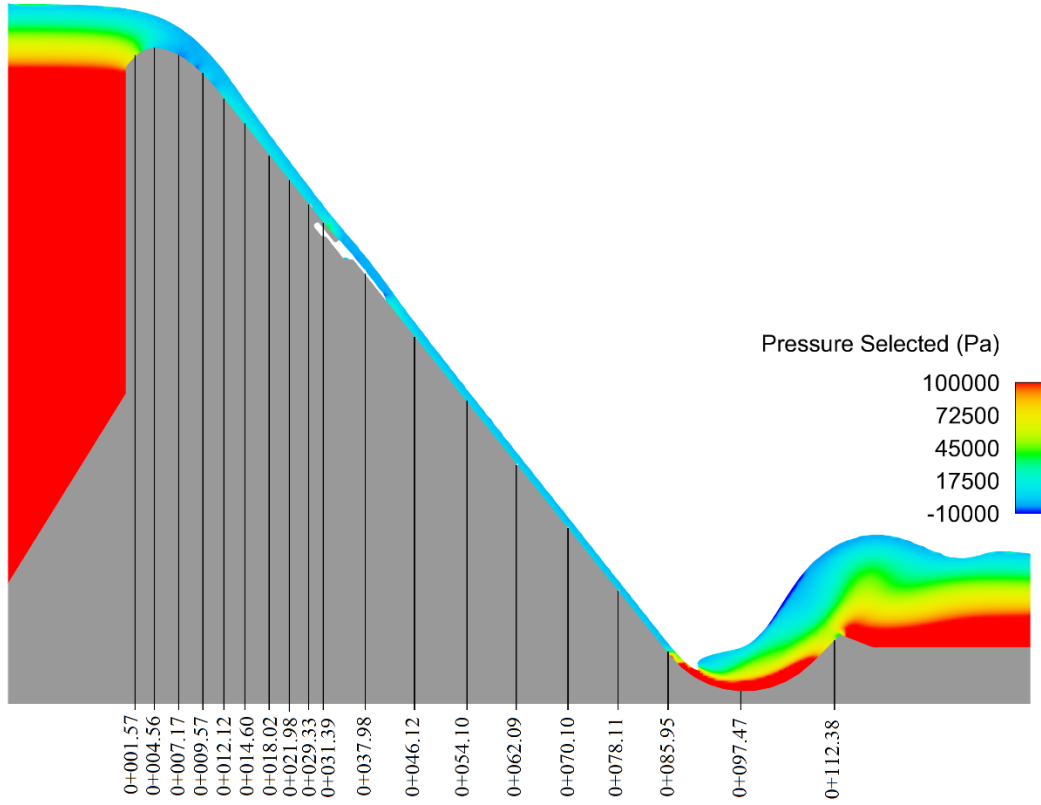
Şekil 7 - Fiziksel ve sayısal model çıktılarının karşılaştırılması ($Q=5223 \text{ m}^3/\text{s}$)



Şekil 8 - Dolusavak orta eksen boyunca su yüzü profilleri



Şekil 9 - Dolusavak kenar duvar boyunca su yüzü profilleri



Şekil 10 - Dolusavak orta eksenindeki basınç kontrolleri

Çizelge 2. Orta eksenindeki basınç değerlerinin karşılaştırılması

| Nokta | km | Basınç (mss) | |
|-------|----------|--------------|-------|
| | | Deney | HAD |
| 7 | 0+001.57 | 6.15 | 5.75 |
| 8 | 0+004.56 | 0.98 | 0.79 |
| 9 | 0+007.17 | 0.23 | 0.02 |
| 10 | 0+009.57 | 0.49 | -0.01 |
| 11 | 0+012.12 | 0.16 | 0.47 |
| 12 | 0+014.60 | 1.57 | 0.56 |
| 19 | 0+018.02 | - | 1.67 |
| 20 | 0+021.98 | 0.75 | 1.36 |
| 21 | 0+029.33 | -0.14 | 1.08 |
| 22 | 0+031.39 | -0.95 | 2.36 |
| 23 | 0+037.98 | 0.92 | -1.00 |
| 24 | 0+046.12 | 1.91 | 1.06 |
| 25 | 0+054.10 | -2.81 | 0.83 |
| 26 | 0+062.09 | 1.36 | 1.04 |
| 27 | 0+070.10 | 1.48 | 0.97 |
| 28 | 0+078.11 | -4.82 | 0.67 |
| 29 | 0+085.95 | 9.59 | 5.32 |
| 30 | 0+097.47 | 20.24 | 25.50 |
| 31 | 0+112.38 | 3.93 | 5.66 |

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada, 100 m yüksekliğinde SSB tipli barajın gövdesi üzerine inşa edilmiş yüksek

eğimli bir dolusavak şut kanalı üzerindeki akım karakteristikleri üç boyutlu sayısal model kullanılarak analiz edilmiştir. Tek fazlı akım modeline göre elde edilen şut kanalı üzerindeki su yüzü ve hız profilleri model deneylerdekiyle oldukça iyi bir şekilde uyurken, hava fazı dikkate alınmadığından yüksek türbülanslı ve hava karışımı düşüm havuzundaki akım tam olarak benzeşmemiştir. Ayrıca elde edilen verilere göre dolusavak üzerindeki havalandırıcının yeri uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Yüksek düşülü ve yüksek maliyetli barajların dolusavaklar gibi hidrolik yapılarının uygulama projelerinden önce model deneylerinin yapılması oldukça önemlidir. Bununla birlikte bu çalışma göstermiştir ki; günümüzün gelişmiş tekniklerinin kullanıldığı sayısal modellerin fiziksel modellerle birlikte kullanılması tasarımcılar için önemli avantajların sağlayabilmektedir.

5 BİLGİLENDİRME

Bu çalışma Bitlis Eren Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından BEBAP 2018.02 nolu projeye desteklenmiştir.

Çalışmaya katkı ve desteklerinden dolayı DSİ Genel Müdürlüğü TAKK Daire Başkanlığına ve

ENERJİSA ENERJİ ÜRETİM A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

6 KAYNAKLAR

- [1] Aydın M.C. (2018). Aeration efficiency of bottom-inlet aerators for spillways, *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 24(3):330-336
- [2] Aydın M.C., Işık E., Ulu A.E. (2018). Yüksek Düşümlü Dolusavak Kanallarındaki Akımın Sayısal Simülasyonu, *UMTEB, IV. Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi*, 07-09 Aralık 2018, Erzurum
- [3] Aydın M.C., Öztürk M. (2009). Verification and validation of a computational fluid dynamics (CFD) model for air entrainment at spillway aerators, *Can. J. Civ. Eng.* 36: 826–836
- [4] Chanson H. (1994). Aeration and deaeration at bottom aeration devices on spillways, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 21, No.3, 404-409
- [5] Chatila J., Tabbara M. (2004). Computational modeling of flow over an ogee spillway, *Computers and Structures* 82 (2004) 1805–1812
- [6] Daneshfaraz R., Ghaderi A. (2017). Numerical Investigation of Inverse Curvature Ogee Spillway. *Civil Engineering Journal*, 3(11): 1146-1156
- [7] Dehdar-behbahani S., Parsaie A. (2016). Numerical modeling of flow pattern in dam spillway's guide wall. Case study: Balaroud dam, Iran, *Alexandria Engineering Journal* (2016) 55, 467–473
- [8] Dursun O. F., Öztürk M. (2016). Determination of flow characteristics of stepped spillways. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management* 169(1): 30-42
- [9] Falvey H. (1990). Cavitation in shutes and spillways, USBR, Monograph No:42
- [10] FLOW-3D (2016). *Flow Science User Manual, Theory Guide*
- [11] Hirt C.W., Nichols B.D. (1981). Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. *Journal of Computational Physics*, 39(1), 201–225
- [12] Özcan Ç. (2011). Köprü Barajı ve HES Projesi Dolusavak Yapısı Model Raporu (M-388). Fiziksel Model Deney Raporu, DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı Hidrolik Model Laboratuvarı Şube Müdürlüğü. Ankara. Rapor No: Hİ-1011 120 s
- [13] Kumcu Ş.Y. (2016). Investigation of Flow Over Spillway Modeling and Comparison between Experimental Data and CFD Analysis. *KSCE Journal of Civil Engineering* 21(3), 994-1003
- [14] Özaltın (2017). Köprü Barajı ve HES. <http://www.ozaltin.com.tr/insaat/barajlar/ko-pru-baraji-ve-hes>. Erişim tarihi: 28.02.2018
- [15] Öztürk M., Aydın M.C., Aydın S. (2008). Damage Limitation-a new spillway aerator. *International Water Power & Dam Construction. Spillways*
- [16] Van Vuuren S.J., Coetzee G.L. Roberts C.P.R. (2015). Investigating the bottom free surface nappe (ogee profile) across a sharp-crested weir caused by the flow in an asymmetrical approach channel. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, 57(3): 57-63

SU SIZDIRMAZ GEOMEMBRAN LEVHA KAYNAĞINDA YENİ GELİŞTİRİLEN TEKNOLOJİLERİN UYGULANMASI

Şehram DİZECİ
TED Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, 06420 ANKARA
sehram.dizeci@tedu.edu.tr

(Makalenin geliş tarihi: 21.05.2019, Makalenin kabul tarihi: 20.11.2019)

ÖZ

Günümüzde su ve su kaynakları gitgide daha da önem taşımaktadır. Geomembran genelde toprak altında su sızdırılmaya karşı kullanılmaktadır, ancak son yıllarda özelliklerine göre göletlerde, tünellerde, havuzlarda, belediyelerin çöp depolama merkezlerinde ve benzeri birçok uygulamalarda son tabaka olarak kullanılmıştır. Geomembranlar ince ve uzun tabakalar şeklinde olduklarından dolayı, füzyon veya ekstrüzyon kaynak yöntemleri ile proje yerinde kaynatılırlar. En yaygın kaynak makinesi, genelde füzyon yöntemini kullanan sıcak takozlu kaynak makineleridir. Bu makineler sürekli gelişmektedir ve son yıllarda çevrim içi kontrol sistemleri ile beraber artık robot ismini taşımaya başlamışlardır. Bu projede geliştirilen takozlu kaynak robotu tamamen yerli imkanlar ve kaynaklar ile tasarlanmış ve imalatı yapılmıştır. Söz konusu robotta dünya çapında ilk kez bir fırçasız motor kullanılmıştır ve bu nedenle robot hızı diğer robotlara göre en az %10 daha fazla ve ölçüleri en az %15 daha küçük olmuştur. Ayrıca özgün bir çevrim içi kontrol sistemi sayesinde robotun kontrolü daha kolay hale getirilmiştir. Kaynak kalitesi farklı standartlara göre test edilmiş ve kabul raporu almıştır. Uygulanan yeni teknolojilerin yaratacağı muhtemel problemler bu çalışmada irdelenmiş ve çözümleri için öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Geomembran, Su Sızdırmaz Tabaka, Çevre Koruma, Takozlu Kaynak Robotu

IMPLEMENTATION OF NEWLY DEVELOPED TECHNOLOGIES IN THE WATERPROOF GEOMEMBRANE SHEET WELDINGS

ABSTRACT

Nowadays, water and water resources are becoming more and more important. Geomembrane is generally utilized to prevent water leaking beneath the soils, but it has recently been used as a final layer in ponds, tunnels, municipal landfills and similar applications according to their features. The geomembranes mainly are in the form of thin and long layers which should be welded at the site with fusion or extrusion welding methods. These machines are continuously developing, and they are now carrying the name of the robot due to implementing the closed loop control systems. In this project, a new wedge welder robot has been designed and manufactured using new technologies. For the first time in the world, the robot has been equipped with a brushless motor which caused the speed of the robot to be at least 10% higher and the dimension to be at least 15% smaller than other robots. In addition, thanks to a unique closed loop control system, the robot can be controlled easily and user friendly. The weld nugget has been tested according to different standards and the result are quite acceptable. The possible problems due to the applied new technologies are discussed in this study and the suggestions have been given to overcome them.

Keywords: Geomembrane, Waterproof Sheet, Environmental Protection, Wedge Welder Robot

1 GİRİŞ

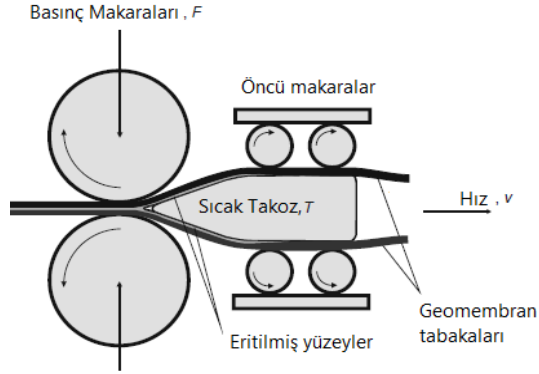
Günümüzde su ve su kaynakları gitgide daha da önem taşımaktadır. Tarım sektöründe gelişen yöntemler ve modernizasyon sonucu basınçlı sulama sistemleri yaygınlaşmaktadır. Bu sistemlerin getirdiği avantajların yanı sıra sulama göletlerine de ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca tarım amaçlı yapılan küçük barajlar için kullanılan izolasyon tabakalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tip uygulamalarda geçmişte beton kullanılıyordu ki öncelikle maliyet olarak çok yüksek inşaat masrafları doğuyor ve ayrıca toprak kaymasından dolayı oluşan hasarlar karşısında beton artık kullanılmaz hale gelmekteydi. Ayrıca beton altyapılar çok erken zamanda onarım gerektirmekte olduklarından dolayı zaman içerisinde daha ucuz ve hızlı yöntemlerin bulunması için araştırmalar gerçekleştirilmiştir [1]. Polimer tabakaların kullanımı her iki problemi de çözebilmiştir. Bu tabakalarda daha yüksek ömür, daha kaliteli izolasyon, daha hızlı inşaat ve daha az masraf gerektiğinden kullanımları hızla artmaktadır. İlk kez 1969 da kullanıma başlanan polimer çözümler, geldiğimiz bu dönemde artık vazgeçilmez çözümler olmaktadır. 1970'lerden sonra, eski beton yapıların onarımı da artık polimer tabakalar ile yapılmaya başlanmıştır. Koerner ve Soong [2], yayınladıkları raporda, geomembranların fonksiyonlarını ve karşılaşılabilecek problemleri anlatmışlardır. Bu raporda geomembranı toprak erozyonuna karşı, dik yamaçların güçlendirilmesi, drenaj uygulamaları ve baraj uygulamalarında kullanılabileceklerinin şartnamesini göstermişlerdir. Ayrıca raporda su rezervlerinin korunması, içme suyunun korunması ve doğal olarak çevreyi korumak için kullanılabilecek polimerik çözümler anlatılmıştır. Geomembranlar ince ve uzun tabakalar şeklinde olduklarından dolayı, füzyon veya ekstrüzyon kaynak yöntemleri ile sahada kaynatılırlar. En yaygın kaynak metodu, genelde füzyon yöntemini kullanan sıcak takozlu kaynağıdır [3]. Şekil 1 de bu tip kaynağa ait mekanizma gösterilmiştir. Geomembranlar beton yapılara göre daha uzun ömürlü olduklarından dolayı genellikle çevre koruma projelerinde dünya genelinde artık ilk ve son tercih olarak ortaya çıkmaktadırlar. Bu yüzden de bu tip projelerde özellikle içme su kaynaklarını korumak için geomembranlar uzun süre denetimlere tabi tutulmaktadır. Örneğin bir çalışmada geomembran tabakaların performansını sürekli sulu ve bazen sulu ortamlarda siskalık değişimi yönünden inceleyip ve sürekli sulu ortamlarda olan tabakaların daha iyi performans gösterdiklerini tespit etmişlerdir [4]. Benzeri

çalışmada Rowe ve Hoor [5] çöp depolama alanlarında tek tabaka kullanılan geomembranların 10 yıllık izlenimlerine göre özellikle kaynak yapılan bölgelerde su sızdırmaları tespit etmişlerdir ve bundan dolayı ikinci bir tabakanın kullanımını çevre ve su korumaları göz önünde bulundurulduğunda elzem olması tavsiye edilmiştir. Başka bir çalışmada PVC malzemesinden üretilen geomembran tabakaların üzerine yapılan ömür testlerinde, kaynak turunun tabakaların ömrünü hangi yönde etkilediği araştırılmıştır [6]. Bu araştırma sonucu, standartlara her yönden uygun yapılan kaynakların tabakaların ömründe negatif bir etki yaratmayacağı tespit edilmiştir. Çevre ve su kaynakları koruma amaçlı kullanılan tabakalar genelde HDPE ve PVC malzemelerinden yapılmaktadırlar. Bu yüzden de araştırmalar genelde bu iki malzeme üzerine yapılmaktadır. Lüders [7] HDPE malzemesinin testlerini yaparak, aslında standartlara göre uygun olan bir kaynağın hangi sebeplerden dolayı uzun süreli ömür testlerinde başarısız olabileceğinin faktörlerini sıralamıştır. Bu faktörlerin hepsi bir nevi Şekil 1'de verilen eritilmiş yüzeylerin toplam kalınlığı (t_{ey}) ile alakalı olduğunu göstermiştir.

Bu tabakaların kaynağında gerekli kalitenin oluşturulması ve test edilebilmesi için çeşitli standartlar üretilmiştir. DVS 2225 ve ASTM 6392 ve GM19-1 bu standartlardan bazılarıdır. Bu standartlara göre bir takozlu geomembran kaynağının uzun süre performans gösterebilmesi için dört temel testi başarı ile geçmesi gerekmektedir. Bu testler sırayla, görsel, hava basınçlı, kesme ve soyma testleridir. Bu standartlar genelde çok net bir prosedür ortaya koymayıp sadece bir çerçeve tanımlayıp ve o çerçeve kapsamında alınan sonuçların nasıl değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadırlar. Örneğin hava basınç testi için Thomas vd. [8] DVS standartlarına uygun, hava basıncını 2.0 bar dan başlayıp 5 saniye süre ile yırtılma anına kadar kademeli artırma yönteminin daha doğru olduğunu yaptıkları çalışmalar ile göstermişlerdir. Halbuki GM19-1 standardına göre hava basıncını 5 saniye ile 4.0 bar da tutmak test için yeterliliği sağlamaktadır. Müller [9] çalışmasında, HDPE tabakaların kaynağı ile ilgili problemlerin ve kaynaktan sonra yapılması gereken testleri etraflıca anlatıp farklı standartlarda olan yöntemleri karşılaştırarak hangisinin uzun ömür yönünden daha iyi olduğunu ortaya koymuştur.

Bu çalışmada, bir Ar-Ge projesi sonucunda yeni ve tamamen yerli imkanlar ile tasarlanarak prototipi yapılan ve belirli alanlarda patentine başvurulmuş bir takozlu kaynak makinesinin yaptığı kaynak yukarıda bahsedilen kriterler göz

önünde bulundurularak incelenip sonuçları standartlara uygun şekilde değerlendirilmiştir.



Şekil 1 – Takozlu füzyon kaynağın mekanizması

Bu yeni robotta günümüz teknolojilerinden olan yüksek hızlı fırçasız motor kullanılmıştır. Bu motorlar daha hafif ve daha küçük olmalarına rağmen fırçalı motorlara göre daha güçlü ve daha hızlıdır. Bu motorlar ilk kez NASA tarafından Apollo uzay aracı yaşam destek körüklerinin ana tetikleyicisi olarak kullanılmıştır [11]. O günden bugüne üretim masraflarının düşüşü ve yeni kontrol sistemlerinin gelişmesi ile artık fırçalı motorların yerini her sektörde almaya başlamışlardır. Geomembran kaynak robotları, geliştirilen bu yeni cihazdan önce hemen hemen hepsi fırçalı motor kullanmaktadır. Bunun nedenleri, fırçasız motorun yüksek hızının azaltma ve kaynak yapılacak hızlara indirmenin zorluğu ve kontrol sisteminin fırçalı motorlara göre çok daha karmaşık olmasıdır. Söz konusu robotta dünya çapında ilk kez bir fırçasız motor kullanılmıştır ve bu nedenle robotun hızı (v) diğer robotlara göre en az %10 daha fazla ve ebadı en az %15 daha küçük olmuştur. Ayrıca özgün bir çevrim içi kontrol sistemi sayesinde robotun kontrolü daha kolay hale getirilmiştir. Bu gelişmeler sonucu robot tünel ve dik alanlarda kaynaklarda en uygun tercih olarak ortaya çıkmıştır çünkü bu alanlarda operatör kaynak robotunu elinde taşıyıp ve dar alanlara sokup kaynak yapması gerekmektedir. Bu tip uygulamalarda hafiflik ve küçük ebat azami önem taşımaktadır.

Makinenin hızının artması kaynakta erimiş yüzeylerin (t_{ey}) daha ince olmasına yol açmaktadır. Bu yüzden daha kaliteli bir kaynak elde edilebilmesi için makaralardan uygulanan

basınç miktarının (F) artması gerekmektedir. Bu robotun patent konusu olan yenilikçi tarafı yüksek hızlara rağmen özgün bir çevrim içi kontrol sistemi sayesinde ısı ve uygulanan makara basıncını en yüksek kaynak kalitesini sağlayacak şekilde ayarlamasıdır. Bu çalışma robotun yaptığı kaynakların kalitesini bu bakışla değerlendirmeye alıp inceleyip ve uygunluğunu test etmiştir.

2 KAYNAK ROBOTU

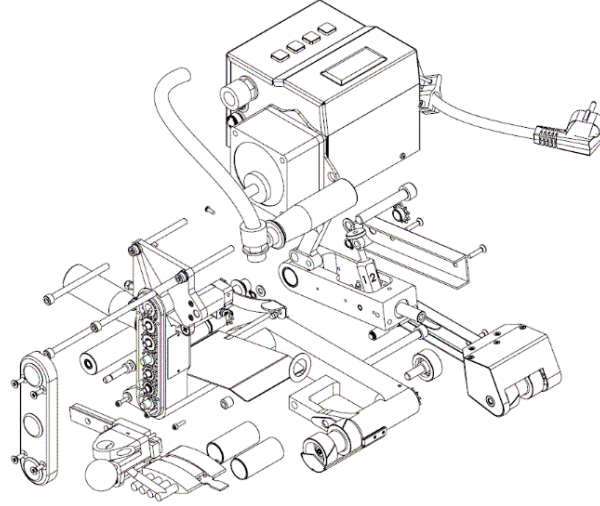
Şekil 2'de detaylı gösterilen takozlu kaynak robotunda, tasarım yönü, ağırlığı hafifletme, ebadı küçültme, gücü artırma ve özgün bir kontrol sistemi tasarımından oluşan çalışmalar birer ArGe alanıdır ve çeşitli sonlu eleman analizleri, statik ve dinamik testler ve sahada uygulamalı testler sonucu çıktıkları test edilmiştir. Önceden de bahsedildiği gibi, fırçasız motor ve tamamen özgün bir güç aktarım sistemi sayesinde ilk kez hafif, küçük ebatlı ve hızlı bir robot aynı zamanda yeteri kadar kaliteli kaynak yapabilmıştır. Bu kalite ayrıca nevi münhasır kontrol sistemine borçludur.

3 KAYNAK KALİTE TESTLERİ

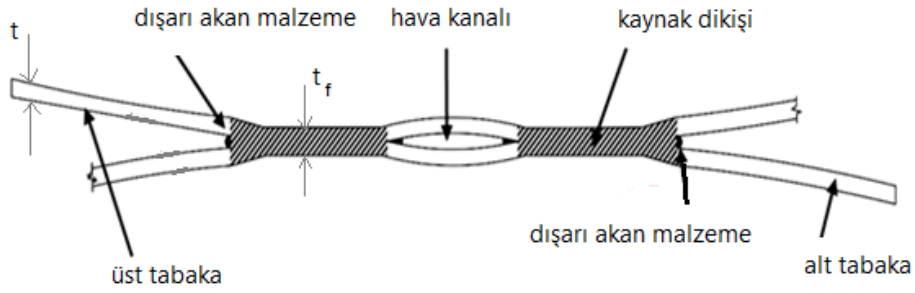
DVS 2225, ASTM 6392 ve GM19-1, standartlar da verilen ve dikişli kaynakların ölçümünde kullanılan çeşitli testler genel bir çerçeve çizmektedirler. Bu çerçevede yapılan kaynak, malzemesine göre farklı durumlarda test edilebilir. Bu testler genelde görsel testi, ısı-yük denge testi, hava basınç testi, kesme ve sıyırma testleridir.

3.1 Görsel Testi

Bu testte kaynak yapıldıktan sonra iki tabakanın dış taraftan aralayarak, kaynak noktasında kaynağın çok azda olsa dışarı taşması kontrol edilir. Bu kontrol aslında malzemenin yeteri kadar eritildiğinin bir kanıtıdır. Eğer bu noktada erimiş malzeme dışarı taşmadıysa o zaman kaynak esnasında yeteri kadar ısı sağlanmamıştır ve eritilmiş yüzeyler (t_{ey}) çok sığ kalmışlardır. Bu problemi aşabilmek için rezistansların ısı derecesini yükseltmek gerekir. Şekil 3'de bu testin yapıldığına dair şematik bir gösterim mevcuttur. Bu test DVS 2225 standartına göre her metrede en az üç kere yapılıp ve ara ara kaynak esnasında daha büyük problemler yaşanmadan engelleme amaçlı tekrarlanır. Öte yandan Bir kaynak sadece bu testi geçmesiyle kaliteli sayılmaz.



Şekil 2 – Tasarlanan takozlu kaynak robotunun şematığı



Şekil 3 – İkili kaynak dikişi şematığı

3.2 Isı-Basınç Dengesi

İkili dikiş kaynağında, iki farklı dikiş yapılmaktadır ve bu iki dikişin ortasında bir kanal oluşmaktadır. Kaynak yapıldıktan sonra, bölgelerdeki kalınlık, toplam kalınlıktan daha azdır. Bu kalınlık değişimi eritilmiş yüzeylerin (t_{ey}) kalınlığına bağlıdır ve dolaylı olarak takoz sıcaklığı ve makaralardan yapılan kaynak basıncı ile bağlantılıdır. Kalınlık değişimi alttaki formülle hesaplanır:

$$\delta_t = 2t - t_f \quad (1)$$

t , kaynaktan önce tabakanın kalınlığıdır ve t_f kaynaktan sonra kaynak bölgesinde oluşan kalınlıktır (Şekil 3). δ_t değerleri malzemeden malzemeye ve kullanım alanına göre DVS 2225 standardına uygun olması gerekmektedir. Örneğin HDPE malzemesine özel, çevre ve içme su kaynakları koruma kullanımlarında, kalınlık değişimi $0.2 \leq \delta_t \leq 0.8$ aralığında olması önerilmiştir.

Makaraların basınç miktarı da kalınlık değişimini etkilemektedir. Bu basınç mekanik sigorta dediğimiz bir mekanizma ile kademeli olarak artırılıp veya azaltılabilir. Bu parametre alttaki formülden hesaplanabilir:

$$F = C \cdot \delta_t + F_0 \quad (2)$$

F_0 , minimum başlangıç basınç olarak uygulanır, bu basınç, tabakaların birbirine temasını sağlar ve her makine için bir minimum basınç ayarı uygulanır. C , sabit değerdir ve malzemede oluşacak erimiş yüzey miktarına bağlıdır. Formül 2'yi erimiş yüzey değerine böldüğünde basınç oranını elde edilmiş olacaktır,

$$\frac{F}{t_{ey}} = C_1 \cdot \frac{\delta_t}{t_{ey}} + C_2 \cdot t_{ey} \quad (3)$$

Çift dikişli HDPE kaynağı için C_1 ve C_2 değerlerini Çizelge 1'de verildiği gibi elde etmiştir. Bu çizelgeyi kullanabilmek için erimiş yüzey kalınlığı kullanılmaktadır.

Robotta takoz sıcaklığı kaynak yapmadan önce bir süre içinde malzemeye bağlı olarak belirli miktara gelmesi gerekmektedir. Bu süre ön

ısınma süresi olarak Formül 4'de verildiği gibi hesaplanır:

$$t_{tk} = \frac{L_t}{v} \quad (4)$$

Çizelge 1 – Erimiş yüzey kalınlığına göre sabit değerler [7]

| t_{ey} (mm) | C_1 (N/mm) | C_2 (N/mm) |
|---------------|--------------|--------------|
| 0.5 | 8800 | 1335 |
| 0.75 | 1400 | 1625 |
| ≥ 1.0 | ≤ 870 | ≤ 225 |

t_{tk} , takoz sıcaklığı, L_t takozun geomembran tabaka ile temasta olan bölgesinin uzunluğu ve v kaynak hızıdır. Tabakaların çevre ısı (T_a) ayrıca kaynak kalitesini etkilemektedir ve hesaplamalarda göz önünde bulunur. Bu bağlamda eyer T_m , malzemenin erime noktası ve T_t , takozun kaynak yaparken sıcaklığı olursa erimiş yüzey kalınlığı alttaki gibi hesaplanır [10],

$$t_{ey} = 1.905 \left(1 - \frac{T_m - T_a}{T_t - T_a} \right) \sqrt{a \cdot t_{tk}} \quad (5)$$

ki a , malzemenin ısı iletkenlik değeridir.

Kaynak kalitesini daha iyi analiz edebilme amacı ile δ_t/t_{ey} oranını, kalınlık değişim oranı olarak hesaplatılmaktadır. Sonrasında, robotta takozun geometrisi ve sıcaklığı, kalınlık değişim oranı-yük oranı ($\delta_t/t_{ey} - F/t_{ey}$) eğrisi çizilerek kaynak kalitesini doğrudan etkileyen erimiş yüzey kalınlığı ve uygulanacak kaynak yüküne bağlanmış olacaktır. Bu eğriler her makineye özel olarak tabaka kalınlığına göre çizilir ve uzun ömürlü kaynak elde edebilmek için mutlaka göz önünde bulundurulur.

3.3 Hava Basınç Testi

Bu test için farklı standartlarda farklı uygulamalar mevcuttur. DVS de hava basıncını 2.0 bar dan başlatıp ve bir kusur ortaya çıkana kadar kademeli artırma yöntemi vardır. GM19-1 standardına göre hava basıncını 5 saniye ile 4.0 bar da tutmak test için yeterlidir. ASTM D6392 ye göre kaynak yapıldıktan sonra kaynağın iki ucu kapatılır ve hava 2.0 bar basıncı ile 30 saniye tutulup sonra 4.0 bara çıkarılıp 30 saniye daha tutulur. Uygulamada ya basınç miktarı yüksek alınıp tutulan süre kısa olur, ya da basınç az alınıp tutulan süre uzun olur. Sonuçta her iki metot aynı sonuçlar vermektedir. Testi geçebilmek için bekleme esnasında basıncın %10 dan fazla düşmemesi gerekmektedir. Bu düşüş test esnasında polimer malzemenin genişlenmesine ve dolayısı ile kanalın hacminin büyümesi ve basıncın düşmesine veriliyor. Tüm

standartların yöntemi aslında geçerli olabilir. Ama çevre hassasiyeti olan uygulamalarda uzun ömürlü kaynak kalitesi öneminden dolayı genelde DVS standardı kullanılmaktadır.

3.4 Kesme ve Sıyırma Testleri

Kesme ve sıyırma testleri genelde uzun ömür kaynak kalitesine gösterge olarak kullanılmamaktadır. Ama kaynağın anlık kalitesini gösteren en iyi testlerdir. Bu testlerde tek problem kaynak yapıldıktan sonra numuneler hazırlanıp ve laboratuvarında test edilmesidir. Görsel ve hava basıncı testleri sahada yapılabilmektedir ve bu nedenle genelde tercih edilmektedir. Ama bu testlerin sonucu kesme ve sıyırma testi kadar güven vermemektedirler. Kesme ve sıyırma numunesi, DVS standardına göre 20.0 mm eninde kesilir ve 50.0 mm/min hızla çekilerek test edilir. Genel olarak üç farklı değerlendirme tipi yapılmaktadır. Birinci değerlendirmede numunede yaşanan kırılma veya herhangi bir başka sorun, kaynakta değil de malzemenin kendisinde ortaya çıkmasıdır. İkinci değerlendirmede numunede kırılma olmadan önce uzama yüzdesidir. İyi bir kaynak kalitesi için bu uzama örneğin ASTM D6392 standartına göre en az %100 olmasıdır. Üçüncü ve en önemli değer kesme ve sıyırma yükü olarak tanımlanır ve malzemenin türü ve kalınlığına bağlıdır. Örneğin DVS standartında HDPE malzemesinin sıyırma yükü şöyle hesaplanır,

$$Sıyırma \text{ Yüğü} = 15 \cdot t \text{ (N/mm)} \quad (6)$$

ki t , malzemenin kalınlığıdır. Farklı standartlarda farklı yöntemler verilmektedir ama genel olarak sonuç olarak hesaplanan değerler çok yakındır. Sıyırma testinde ayrıca kaynak sıcaklığına bağlı sıyırma kuvveti bazen rapor edilmektedir. Bu değerler malzemenin en uygun kaynak yapılabileceği ısıyı ortaya çıkarmak amacı ile kullanılmaktadır.

4 DENEYLER

Yeni yapılan robotta, fırçasız motor, çok katmanlı çok kademeli şanzıman, havacılık sınıfında olan malzemeler ve özgün kontrol algoritmaları gibi günümüz teknolojileri kullanılmıştır. Bu teknolojiler sayesinde robotun hızı diğer robotlara göre en az %10 daha fazla ve ebadı en az %15 daha küçük olmuştur. Hızlı ve küçük robot, kullanım kolaylığı yanı sıra projelerin daha

erken sürede teslimini sağlayabilmektedir. Lakin bu kapasiteyi kullanabilmek için artan hız nedeni ile kaynak kalitesinde kayıp yaşanmadığını kontrol etmek gerekmektedir. Bu yüzden yeni robotu kullanarak iki farklı malzemeden oluşan farklı kalınlıklarda tabakaların ikili dikiş kaynağı yapılmıştır.

Bu numunelerin özeti Çizelge 2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2 – Deney numunelerinin özeti

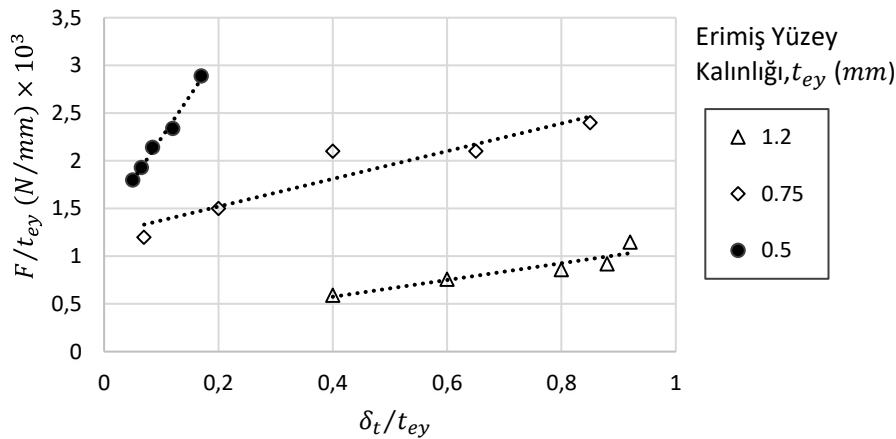
| Malzeme | a ($10^{-6}m/m^{\circ}C$) | Kalınlık (mm) |
|---------|-------------------------------|---------------|
| HDPE | 95.0 | 1.5, 2.0 |
| PVC | 18.5 | 1.5, 2.0 |

Bu numunelerin görsel, hava basınç, ısı-yük denge, kesme ve sıyırma testleri yukarıda anlatılan standart şartnamelerine göre yapılmıştır.

5 DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA

Kaynak kalitesinin en kritik şartnamesi dünya genelinde, içme suyu kaynaklarının korunması ve çöp atık bölgelerinde yer altı su kaynaklarını koruma amaçlı kullanılacak geomembran kaynağının testinde uygulanmaktadır. Bu tip uygulamalarda kaynağın uzun ömürlü olması azami öneme sahiptir ve bu yüzden tüm testlerin başarı ile geçilmesi şarttır. Yeni robotla yapılan kaynaklardan standartlara göre numuneler hazırlanıp ve farklı testler tabi tutulmuşlardır. Görsel testinde gözle görünür miktarda kaynağın dışarı taşması test edilmiştir. Herhangi bir numunede bu şart sağlanmayınca, diğer testlere geçilmemiştir.

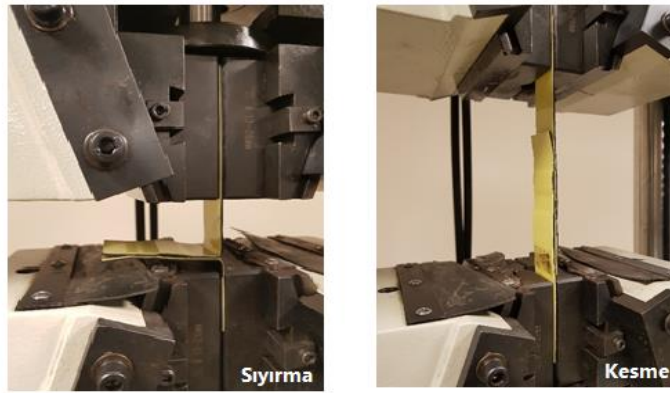
Isı-Yük dengesi için farklı kalınlıklarda numuneler test edilip ve her birisinde kaynak kalitesini ve erimiş yüzey kalınlığının yeterliliği için kaynak parametreleri Şekil 4’te verilen $(\delta_t/t_{ey} - F/t_{ey})$ eğrisine uygun seçilmiştir. Böylece robotun hızı ve makaraların bastığı yük miktarı bu eğriden elde edilip farklı durumlarda uygulanmıştır. Bu eğride çizgilerin eğimi C_1 ve C_2 değerlerini Çizelge 1 de verildiği gibi gösterir. Bu eğriyi tutturduğun süre robotun hızını istediğin kadar artırabilirsin. Buradaki problem, bazı yüksek hızlarda istenilen erimiş yüzey kalınlığı için makine tarafından yeterli miktarda yükün sağlanamamasıdır ki şekilde gözüktüğü gibi bu problem yeni makine mevcut aşımıştır zira bu eğride olan $t_{ey} = 0.5$, makinenin en yüksek hızında elde edilmiştir ve robot gereken basıncı uygulamıştır.



Şekil 4 – 2 mm kalınlığında HDPE malzemesi için Isı-Yük denge eğrisi



Şekil 5 – PVC malzemesi kaynağının hava basıncı testinde gösterge 4.0 bar üstündedir



Şekil 6 – PVC malzemesi kesme ve sıyırma testleri

Çizelge 3 – 2 mm HDPE malzemesi için kaynak hızı ve takoz sıcaklığının sıyırma kuvvetinde tesiri

| Hız (<i>m/min</i>) | Sıyırma Kuvveti (MPa) | | |
|----------------------|-----------------------|--------|--------|
| | 340 °C | 400 °C | 460 °C |
| 2.5 | 10.0 | 13.5 | 13.2 |
| 3.2 | 5.2 | 12.0 | 11.5 |
| 4.0 | 2.6 | 9.0 | 9.1 |

Hava basınç testinde, oluşan kanalın iki ucunu kapatıp ve kanala basınçlı hava verilir. Şekil 5'te gösterildiği gibi hava basıncı barometre ile kontrol edilir. Bu çalışmada yapılan kaynaklarda DVS standartına göre önce 2.0 bar basınç ile başlayıp, 5 saniyede bir, 1.0 bar artırarak ilk kusurun meydana geldiğine kadar basınç kademeli olarak artırıldı. İlk kusur 7.0 bar basınca geldiğinde ortaya çıkmıştır. Normalde 4.0 bar basıncı geçtikten sonra kaynak geçerli sayılır ve daha yüksek basınçlar kaynağın daha kaliteli yapıldığının göstergesidir.

Kaynak numuneleri kesme ve sıyırma testlerinde Şekil 6 gibi test edilmişlerdir. Önce herhangi bir kırılma veya kopmanın kaynaktaki olmaması ve malzemenin kendinde meydana gelmesi kontrol edilmiştir. Test sonuçlarına göre 2 mm kalınlığında HDPE malzemesi için kesme ve sıyırma sırasıyla 39.2 ve 27.3 (*N/mm*) değerleri elde edilmiştir. Bu değerler 2 mm PVC malzemesi için 32.3 ve 21.5 (*N/mm*) olmuştur ve tüm standartlara göre kabul almışlardır. Sonra kırılma dan önce uzama kontrol edilmiştir ki örneğin HDPE malzemesi için kesme testinde

%240 da ve sıyırma da %210 da kopma olmuştur.

Çizelge 3'te kaynak hızına ve robotun takoz siskalığına göre sıyırma test numunelerinin çekme testinde gösterdikleri maksimum stres değerleri vardır. Bu değerler tüm durumlarda eşit kaynak yükü altında elde edilmişlerdir. Değerlere göre kaynak hızı artığında sıyırma kuvveti düşmektedir. Bunun nedeni erimiş yüzey kalınlığının (t_{ey}) düşmesine bağlıdır. t_{ey} düşerse Şekil 4'de verilen eğriye göre δ_t ve F değerleri de aynı zamanda düşmesi gerekir yoksa kaynak kalitesi azalır.

Bu tespiti sabit kaynak yükünde yapılan farklı hızlarda düşen sıyırma kuvveti ile görmektedir. Başka bir husus, sıcaklığın artması ile sıyırma kuvvetinin artmasıdır. 340°C den 400°C sıcaklığa çıkınca tüm hızlarda sıyırma kuvveti artmaktadır. Ama 400°C den 460°C çıkınca çok değişiklik yok. Böylece her malzeme için optimum ısı değerinin olduğu ve fazla ısıtmanın bazı durumlarda kaynak kalitesinin azalmasına sebebiyet verdiği anlaşılmaktadır. Yeni robotun farkı eski teknolojide olan robotlara göre kaynak yükünün çevrim içi kontrol ile ayarlanabilir olmasıdır. Böylece Çizelge 3'te gözükten sıyırma kuvveti düşüşünün önüne geçilebilmektedir.

6 SONUÇLAR

Uzun ömürlü kaynakların yapılması, içme suyu kaynaklarının korunması ve çöp depolama alanlarında zehirli maddelerin yer altı sularına karışmaması azami önem taşımaktadır. Bu çalışmada, yeni bir teknoloji ile donanmış takozlu kaynak robotu, hafiflik ve küçük ebada sahip olmasının yanı sıra, yüksek hızlarda yeteri kadar kaliteli kaynak yapabildiği ortaya çıkmıştır. Robotun kaynak kalitesi ile birebir etkileşimde olan parçalarının geometrisi kaynak parametrelerine bağlanarak çevrim içi kontrol ile en kaliteli kaynağın elde edilmesi hedeflenmiştir ve başarı ile gerçekleşmiştir. Bu kalite, farklı standartlara göre farklı malzemelerde 5 farklı test ile denenmiştir ve sonuçlar yeteri kadar tatmin edici olmuştur. Bu testlerin bazıları saha da rahatlıkla yapılabilir olmaları için öncelik olarak tercih edilmektedirler. Görsel ve hava basınç testleri mutlaka tüm kaynaklar için yapılmalıdır. Ama konu yer altı su kaynaklarının korunması ise, tüm testlerin yapılması elzemdir.

7 TEŞEKKÜR

Yazar, bu projeyi Ar-Ge ve İnnovasyon Destek Programı kapsamında destekleyen KOSGEB'e teşekkür etmektedir.

8 KAYNAKLAR

- [1] Comer A. I., "Water Conservation Strategies Using Geosynthetics", 5th Int. Conf. on Geotextiles, Geomembranes and Related Products, Singapore, 5-9, 1994
- [2] Koerner R. M. Ve Soong T. Y., "Use of Geosynthetics in Infrastructure Remediation", J. of Infrastruct. Syst. Vol. 1, 66-75, 1995
- [3] Carson, D. A. ve Lenderth, R., "Techniques for the Fabricaiton of Geomembrane Field Seams", Waste Management and Reaseach, Vol. 10, 399-410, 1992
- [4] Koerner, G. R. ve Koerner, R. M., "Long-term temperature monitoring of geomembranes", Geotextiles and Geomembranes, Vol. 24, 72-77, 2006
- [5] Rowe, R. K. ve Hoor A., "Predicted temperatures and service lives of secondary geomembrane landfill liners", Geosynthetics International, Vol. 2, 71-82, 2009
- [6] Newman, E. J. ve Stark T. D., "Ten-year PVC geomembrane durability", Geosynthetics International, Vol. 2, 97-108, 2009
- [7] Lüders G., "Processmodel assisted control for hot wedge welding of landfill HDPE geomembranes", In: Delmas P and Gourc JP (eds) Geosynthetics, State of the Art, Recent Developement, Proceedings of the Seventh International Conference on Geosynthetics. A.A. Balkema Publishers, Nisse, The Netherlands, 1491-1494, 2002
- [8] Thomas, R. W., Stark, T. D., Choi, H. "Air channel testing of thermally bonded PVC geomembrane seams". Geosynthetics International, Vol 10, 56-69, 2003
- [9] Müller, W., "HDPE geomembranes in geotechnics". Springer, 2007
- [10] Lüders G., "Quality assurance in hot edge welding of HDPE geomembranes", Cancelli A et al. (eds) Proceedings of the Second European Geosynthetics Conference. Pàtron Editore, Bologna, 591-597, 2000
- [11] Midwest Research Institute "Brushless DC Motors". NASA-CR-2506, 1975

BARAJLARDA ARAŞTIRMA SONDAJ SIKLIĞININ GÖVDE ALTI KAZI SINIRININ BELİRLENMESİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ: ÜÇ ARAZİ ÖRNEĞİ

Ahmet APAYDIN
Giresun Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü-GİRESUN
ahmet.apaydin@giresun.edu.tr

Berna TOPUZ
Devlet Su İşleri 5. Bölge Müdürlüğü-ANKARA
btopuz@dsi.gov.tr

Harun ÖZGÜR
Devlet Su İşleri 5. Bölge Müdürlüğü-ANKARA
harunozgur@dsi.gov.tr

Nurşen ŞAHİN
Devlet Su İşleri 5. Bölge Müdürlüğü-ANKARA
nursen.turhan@dsi.gov.tr

(Makalenin geliş tarihi: 05.07.2019, Makalenin kabul tarihi: 16.12.2019)

ÖZ

Barajlarda gövdenin ve diğer yapıların oturacağı jeolojik ortamın tanımlanması ve sınırlarının tespitine yönelik olarak açılan araştırma sondajlarının sıklığı ve temsil ediciliği; kazı miktarı, gövde hacmi ve konumu başta olmak üzere birçok hususu etkilemektedir. İnşaat sırasında gövde altında kazı sınırının planlama veya projede öngörülenden farklı çıkması, özellikle de daha derin çıkması arzu edilmeyen bir durumdur. Böyle bir durum hem maliyet artışı, hem inşaat süresinde uzama, hem de bazı yapıların yer ve konumlarının değişmesi, yani proje değişikliği ile sonuçlanmaktadır. Ankara-Haymana-Sırçasaray Göleti ve Çorum-İskilip-Derekargın Göleti gövde altında kazı derinliği uygulamada projesinden farklı çıkan ilginç örneklerdir. Ankara-Bala-Süleymanlı Göleti ise proje aşamasında sondajlar sıklaştırıldığında kazı sınırı ilk tespite göre değişen örneklerdendir. Bu örneklerden Sırçasaray Göleti'nde inşaat aşamasında gövde altı kazı miktarı %27 artmış, buna karşın memba batardosu, projedeki konumundan 300 m membaya çekilerek batardo hacmi küçülmüştür. Derekargın Göletinde gövde altı kazıları başladığında gövde ekseninin sağ tarafında, aralarında 90 m mesafe bulunan iki araştırma sondaj kuyusu arasında kazılması gereken kısmın projede öngörülenden yaklaşık 4 m daha kalın olduğu görülmüştür. Bunun sonucunda toplam kazı miktarı % 20 oranında artmıştır. Projesine göre, geçirimli alüvyon kaldırılmayarak, gövde altında 2-3 m sıyırma yapılmak suretiyle gövdenin alüvyon üzerine oturtulması öngörülmüştür. Batardo altında inşa edilecek plastik beton perdenin derinliğine karar verebilmek için ilk açılan sondajlara göre en fazla 30 m düşünülen perde derinliği, batardo eksenine boyunca sık aralıklarla açılan ilave sondajlardan elde edilen bilgilere 40 m'ye yaklaşmış ve perde alanı üçte bir oranında artmıştır. Barajlarda yukarıdaki üç örnekte yaşananlara benzer olumsuzluklarla karşılaşılmasını önlemek için sondajlardan önce iyi bir jeolojik araştırma yapılarak jeolojik modelin doğru kurulması, daha sonra bu modele göre mümkün olduğunca sık aralıklı ve temsil edici sondaj kuyularının açılarak modelin test edilmesi ve gerekiyorsa ilave sondajlarla modelin revize edilmesi son derece önemlidir. Bunun başarılması araştırmalarda yeterli maliyet, yeterli süre ve bilgi birikimini gerektirmektedir.

Anahtar Kelimeler: Baraj yeri, araştırma sondajı, zemin-kaya sınırı, kazı derinliği

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF BOREHOLE SPACING ON THE EXCAVATION DEPTH UNDER DAMS: THREE CASE STUDIES

ABSTRACT

The frequency and representativeness of the exploration boreholes to determine the geological environment where the body and other structures of dams will be located may affect such factors as excavation volume, body volume and location. It is undesirable that the excavation boundary during the construction is different from the project or plans, particularly being deeper than the predicted. This results in both an increase in costs and construction time, and a change in the location of some structures, ie a change of project. Ankara-Haymana-Sırçasaray and Çorum-İskilip-Derekargın dams are interesting examples for the difference between the predicted and actual excavation depths. Ankara-Bala-Süleymanlı Dam is one of the examples where the excavation depth was modified upon drilling additional boreholes. Under the construction of Sırçasaray Dam, the excavation volume increased by 27%, while the upstream cofferdam was shifted to 300 m upstream from its position in the project. When the excavations started in the Derekargın dam, it was seen that the part to be excavated between the two exploration wells with a distance of 90 m on the right side of the dam axis was approximately 4 m thicker than the predicted in the project. As a result, the total volume of excavation has increased by 20%. According to the project, the permeable alluvium is not removed and it is envisaged that the dam wall will be placed on the alluvium by 2-3 m excavating under the body. In order to determine the depth of the slurry wall to be constructed under the cofferdam, the depth of the wall, which is thought to be 30 m at most compared to the first drillings, has approached 40 m according to the data obtained from the additional boreholes drilled frequently along the axis of the cofferdam and the wall area has increased by one thirds. In order to avoid similar problems as mentioned above, it is very important to realize the detailed geological exploration before drilling, to establish the geological model properly, then to test the model with frequent and representative boreholes, and to revise the model with additional drillings as necessary. Achieving this goal depends on sufficient budget and time for explorations and expertise.

Keywords: Dam site, exploration borehole, soil-rock boundary, excavation depth

1 GİRİŞ

Boyutları ne olursa olsun, gölet ve baraj gibi su depolama yapılarında “geçirimsizlik” ve “duraylılık” olmazsa olmaz iki koşuldur. Geçirimsizlik hem gövdenin kendisi, hem gövde altı, hem de bütün rezervuar için söz konusudur. Duraylılık (yani stabilite) ise başta gövde olmak üzere bütün sanat yapılarında ve diğer yapılarda istenen bir koşuldur. Baraj gövdesinin duraylılığı kendi özelliklerine (tasarım, boyut, gövdeyi oluşturan malzeme, imalat-işçilik vb) ve üzerine oturduğu jeolojik ortama bağlıdır. Bir depolama yapısında gövdenin oturacağı jeolojik ortamın (zemin, ayrılmış kaya veya kaya) jeolojik ve jeoteknik değerlendirmesi, inşa edilecek mühendislik yapılarının güvenli ve ekonomik olarak yapılabilirliği açısından önemlidir. Baraj yeri planlamasında gövde ve diğer yapıların oturacağı jeolojik birimlerin taşıma gücü, geçirimsizliği, kazılabilirlik ve kazı şevlerinin duraylılıklarının araştırılması gereklidir (DSİ 2016a; Ulaş vd. 2017). Özellikle gövdenin sağlam ve taşıma gücü yüksek bir temel üzerine (kaya ortamları tercih edilir) oturması için varsa üzerinde taşıma gücü düşük ve/veya geçirimli ortamın (çoğunlukla zemin olarak tanımlanır) kazılarak kaldırılması gerekir. Aslında mühendislikte zeminleri kayalardan, özellikle de

yumuşak kayalardan veya ayrılmış kayalardan ayırmak çoğu zaman kolay değildir. İki ortamı ayıran temel özellik zeminlerin taneli ve gevşek oluşudur. Mühendislik parametresi olarak da jeolojik malzemenin veya ortamın kayma direnci (kesme mukavemeti) ve geçirgenliği (permeabilite) en önemli ayırıcı özelliklerdir (Şekercioğlu 2002). Kaya ve zeminlerin kazılabilirlik özellikleri de birbirinden farklılık göstermektedir (Abdullatif ve Cruden, 1983; Bieniawski, 1989; Church, 1981; Tsiambaos and Saroglu, 2009).

Su depolama yapılarında gövdenin ve dolusavağın duraylılığının sağlanması ve gövde altından su kaçaklarının meydana gelmemesi için gövde altındaki gevşek (taşıma gücü zayıf) ve geçirimli malzemenin kazılarak gövdenin sağlam (taşıma gücü yeterli-yüksek) ve geçirimsiz (en azından enjeksiyonla ıslah edilebilen) jeolojik ortam üzerine oturtulması istenir. Kazılması gereken malzeme kum, çakıl gibi kohezyonsuz, yani bağlayıcısı olmayan zeminler ile kil ve silt gibi kohezyonlu zeminlerdir. Ayrıca, taşıma gücü ve geçirimsizlik yönünden sorun yaratabilecek ayrılmış kaya özelliğindeki kısmın da kazılarak kaldırılması gerekir.

Gövde altında kazılarak atılacak kısmın kalınlığı ve yayılımı planlama aşamasında yapılan

jeolojik-jeoteknik araştırmalar kapsamında yapılan sondajlarla belirlenir. Ancak, sondaj öncesinde problemin doğru tanımlanmaması ve jeolojik modelin doğru kurulmamasına bağlı olarak sondaj yerlerinin ve derinliklerinin doğru seğıilmemesi, sondajların yeterince sık olmaması, sondaj numunelerine göre jeolojik ortamın yanlış tanımlanması gibi nedenlerle kazı sınırının tespiti doğru yapılmayabilmektedir. Özellikle küçük depolama yapısı olan göletlerde ön inceleme-planlama-proje aşamasında araştırmaların barajlar kadar ayrıntılı olmaması (örneğin, sondaj sayısının azlığı) ve biraz daha hızlı karar verilmesi nedeniyle bu sorunla daha sık karşılaşılmaktadır.

Göletlerde inşaat aşamasında ana kaya sınırının projedekine göre daha derin, başka bir ifade ile gövde altından kazılarak kaldırılacak taşıma gücü zayıf ve/veya geçirimli malzemeden oluşan zonun daha kalın veya geniş çıkması halinde şu olumsuzluklar meydana gelmektedir:

- 1- Kazı hacminde artış; dolayısıyla maliyet artışı ve inşaat süresinin uzaması
- 2- Dolgu hacminde artış; dolayısıyla maliyet ve inşaat süresinin uzaması
- 3- Kazı çukuruna gelen suda artma nedeniyle pompa kapasitesinde artış; ilave maliyet ve süre artışı
- 4- Artan dolgu hacminin malzeme yetersizliği nedeniyle karşılanmasında güçlükler; ilave saha aranması; maliyet artışı ve süre uzaması
- 5- Kazı tabanının derinleşmesi nedeniyle kazı alanının genişlemesi ve bunun sonucunda gövde yerleşiminde değişiklik, batardonun membaya çekilmek zorunda kalınması, batardo arkasında biriken suyun tünel veya kondüviye akıtılması için ilave çalışmalara gerek duyulması, bu işlemler için ilave zaman ve maliyet gerekmesi.

Bu çalışmada yukarıdaki sorunların yaşandığı Ankara-Haymana-Sırçasaray Göleti, Bala-Süleymanlı Göleti ve Çorum-İskilip-Derekargın Göleti incelenmiştir. Bu projeler gövde yüksekliği yönüyle baraj sınıfındadır; ancak, ihaleleri gölet kapsamında gerçekleştirilmiştir. 2019 yılı itibariyle bu depolama yapılarından Süleymanlı ve Sırçasaray göleti inşa halinde, Derekargın göletinin inşaati tamamlanmıştır. Bu projeler, gövde altında sıyırma derinliğinin uygulamada projesinden farklı olduğu görülen veya sondajlar sıklaştırıldığında kazı sınırı değişen örneklerdir.

2 GÖLET EKSEN YERLERİNDE AÇILAN SONDAJLAR VE FONKSİYONLARI

Türkiye’de su yapılarının yer seğıimine yönelik ilk incelemeden sonra sırasıyla Ön İnceleme (1),

Planlama (2), Proje-Kesin (Kati) Proje (3), Uygulama (İnşaat) (4) ve Uygulama Sonrası (5) adı altında 5 evre bulunmaktadır. Su yapılarının yer seğıimine yönelik ilk çalışma büroda haritalar veya uydu görüntüleri üzerinde yapılır, sonrasında arazi çalışmaları başlar. Her evrede yapılacak işlemler şartname ve sözleşmelerle şekillenmektedir. Örneğin, su yapılarının jeolojik-jeoteknik yönden incelenmesi, araştırılması, arazi ve laboratuvar testleri, haritalanması, raporlanması başta olmak üzere bütün konular 2016 yılında revize edilerek yeniden yayınlanan DSİ Jeoteknik Etüt şartnamesi (DSİ 2016a)’da ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Ayrıca, yapı yerlerinde açılacak sondajlar ve enjeksiyon çalışmaları için Temel Sondaj ve Enjeksiyon Teknik şartnamesi (DSİ 2016b) bulunmaktadır. Gölet yerlerinde jeolojik yapıyı aydınlatmak ve gövdenin ve diğer yapıların oturacağı formasyonların jeolojik/jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla temel sondaj kuyuları açılır. Bu kuyular için kuyuların açılma amaçları, yerleri, derinlikleri, çapları ve yapılacak deneyleri kapsayan temel sondaj talimatı hazırlanır. Formasyon tanımlamalarının doğru yapılması, karotlar üzerinde inceleme-ölçüm ve laboratuvar deneylerine göre zeminin mühendislik özelliklerinin doğru anlaşılması için yüksek oranda karot alınmasına özen gösterilir. Kaya ortamlarında basınçlı, zeminlerde ise basınçsız su testleri (serbest permeabilite) yapılarak gövde altındaki jeolojik formasyonun geçirimsizliği araştırılır. Permeabilite özellikleri karot ve kırıntı örnekleri ile deneştirilerek ana kaya üzerinde sıyırılması düşünölen taneli ve gevşek zeminin kalınlığına her kuyu için karar verilir. Ayrıca, perde enjeksiyonu da boyutlandırılır (DSİ 2016b).

şartnameler ne diyor?

2016 tarihli DSİ Jeoteknik Etüt şartnamesinde Baraj ve göletlerin ön inceleme aşamasında temel araştırmaları yapılmamasına rağmen bazı özel durumlarda (örneğin; alüvyon veya örtü kalınlığının bilinmesi, yeraltı su seviyesinin belirlenmesi, karstlaşma vb) temel araştırma sondaj kuyusu, araştırma çukuru veya yarmalar açılabiliceği belirtilmekte; ancak, sondaj aralıkları veya sondaj sayısı konusunda bir öneri sunmamaktadır. şartnamede, planlama aşamasındaki temel araştırmalarında ise sondajların amacı, yeri, adedi konusunda açıklama bulunmaktadır. Buna göre, özel teknik şartnamelerde aksi belirtilmedikçe aşağıda yeri, adedi ve derinliği verilen temel sondajlar planlanacaktır. Jeolojik koşulların gerektirdiği durumlarda kuyu adetleri artırılabilir.

- Homojen, zonlu ve kaya dolgu baraj ve göletlerde aks boyunca sağ ve sol yamaçlarda en az 2'şer adet, talveg kotunda en az 1 adet,
- Ön yüzü beton kaplı barajlarda topuk plağı (plinth) boyunca (yamaçlarda ve talvegde olmak üzere) 6-10 adet, gövde altında ve mansap eteğinde en az 1'er adet,
- Beton ağırlık/silindirle sıkıştırılmış beton (SSB)/silindirle sıkıştırılmış katı dolgu (SSKD/hardfill) barajlarda aks boyunca sağ ve sol yamaçlarda en az 2'şer adet,
- talveg kotunda 2 adet, gövde altında 2-4 adet,
- Baraj ve göletlerde gerekmesi durumunda göl alanında en az 1 adet,
- Regülatörlerde, batardolarda sağ ve sol yamaç ile talvegde olmak üzere en az 3 adet,
- Dolusavak ve derivasyon güzergahlarında yapıların boyutlarına bağlı olarak en az 3 adet (giriş/çıkış ve orta kesimlerde), yükleme havuzu, cebri boru, santral yeri, şalt sahası, köprü ayakları gibi yerlerinde en az 2-4 adet,
- Yeraltı barajlarında eksen yerinde en az 3 adet,
- Yapılacak kazılara bağlı olarak oluşturulacak şevler (dulusavak, kondüvi, santral yeri, su alma yapısı, yol güzergahı vb) için en az 2 adet,

Titreşimli yükler altında çalışan yapılar ve binalarda en az 3 adet temel sondaj kuyusu planlanacaktır. Temel sondaj kuyularının derinliği yapıların temel kazı kotu altına en az 2B (B= yapı temel genişliği) altını kapsayacak şekilde yapılacaktır.

Yeraltı su seviyesinin derin olduğu, yapılan geçirimsizlik deneyleri sonucunda geçirimli-çok geçirimli seviyelerin çok derinlere kadar devam ettiği ve tabanda geçirimsiz seviyelerin yer almadığı vb durumlar ile İdare'nin (DSİ) uygun gördüğü projelerde deneme enjeksiyonları yapılarak enjeksiyon perde boyutları ve metodolojisi belirlenecektir.

3 GÖVDE ALTI KAZI SINIRININ ÜÇ GÖLET ÖRNEĞİNDE İNCELENMESİ

3.1 Örneklenen Göletlerin Genel Özellikleri

Bu çalışmada örnek olarak incelenen göletler Ankara'ya bağlı Haymana sınırları içinde

bulunan ve baraj özelliğine sahip Sırçasaray Göleti, yine Ankara'ya bağlı Bala-Süleymanlı Göleti ve Çorum'un İskilip ilçesindeki Derekargın Göletidir (Şekil 1). 2019 yılı başı itibarıyla Süleymanlı ve Sırçasaray göletleri inşa halinde, Derekargın Göletinin inşaatı tamamlanmıştır (Çizelge 1). Her üç gölete ait gövde en kesitleri Şekil 2'de verilmiştir.

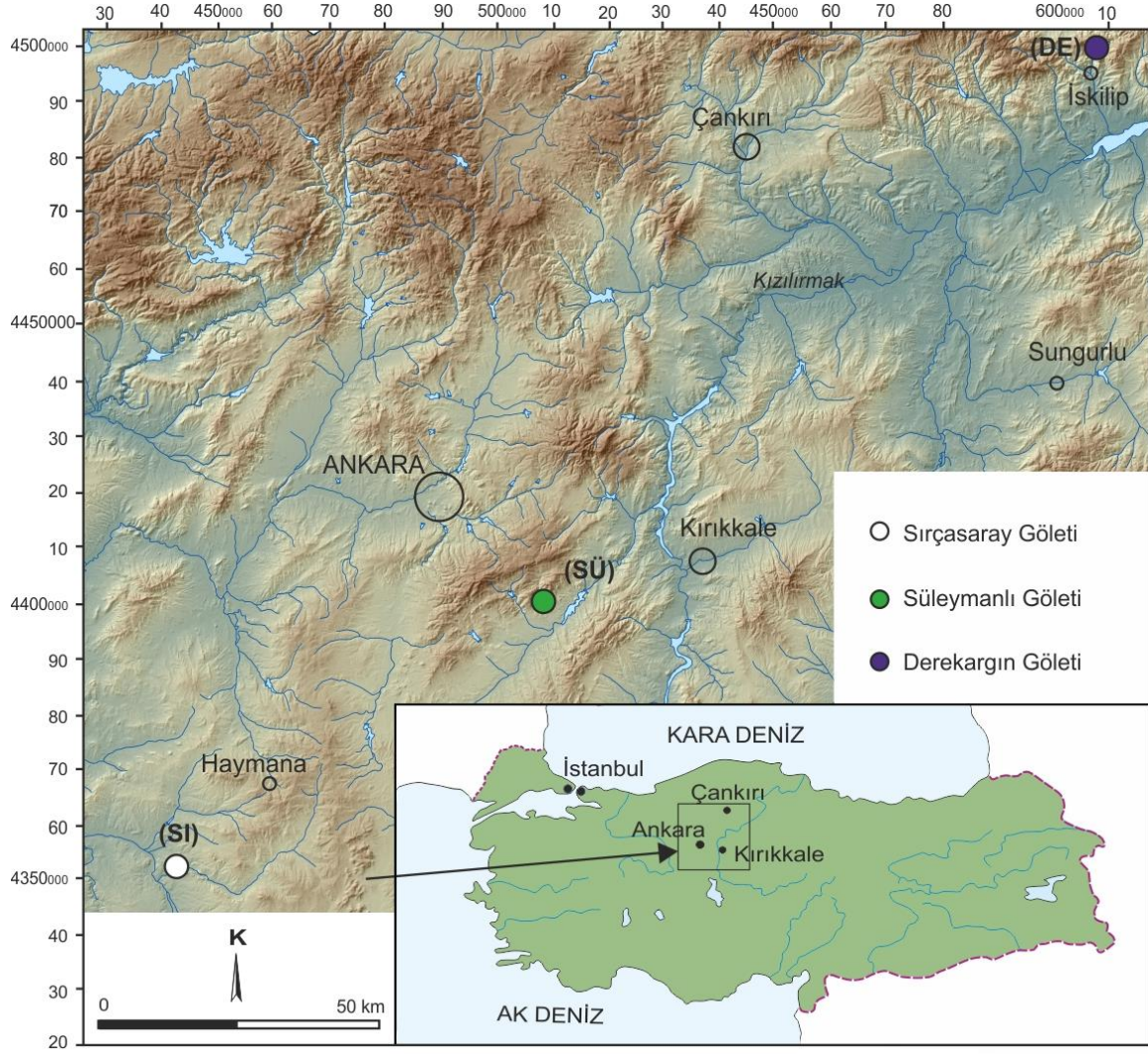
3.2 Haymana Sırçasaray Göleti

Sırçasaray göleti Acıöz Dere vadisindedir. Kil çekirdekli kaya dolgu tipinde projelendirilen göletin geçirimsiz malzemesi göl alanından sağlanacaktır. Göletin gövde yüksekliği projesine göre temelden 59,5 m, talvegden ise 40 m olan baraj kriterlerinde bir depolama yapısıdır. Projeye göre gövde altı sıyırma derinliği maksimum 19.5 m'dir. 1970'li yıllarda Sırçasaray Barajı adı altında planlama çalışmaları yapılan ancak daha ileri aşamalarına geçilemeyen gölette, 2013-2014 yıllarında proje çalışmaları yapılmıştır.

Sırçasaray gölet yerinde Eosen yaşlı fliş fasiyesine çökel kayalar ile bu birim üzerine Üst Miyosen ve Pliyosen yaşlı karasal çökeller yüzeyler. Gövde ekseni boyunca orta kısımda en fazla 30 m kalınlığında alüvyon, alüvyonun altında kumtaşları, her iki uca doğru ise kumtaşı, marn ve çakıltaşları bulunmaktadır. Sol tarafta kumtaşı ve marnlar ince bir yamaç molozu tarafından kısmen örtülmüştür. Sağ taraftaki derivasyon tüneli çakıltaşları içinde olup, sol tarafta bulunan dolusavak ise kumtaşı ve çakıltaşları üzerine oturtulacak şekilde projelendirilmiştir (Şekil 3).

Proje revizyonu kapsamında eksen boyunca 9 adet araştırma amaçlı temel sondaj kuyusu açılmış, bu sondajlara göre kazı sınırı belirlenmiştir (Şekil 4a).

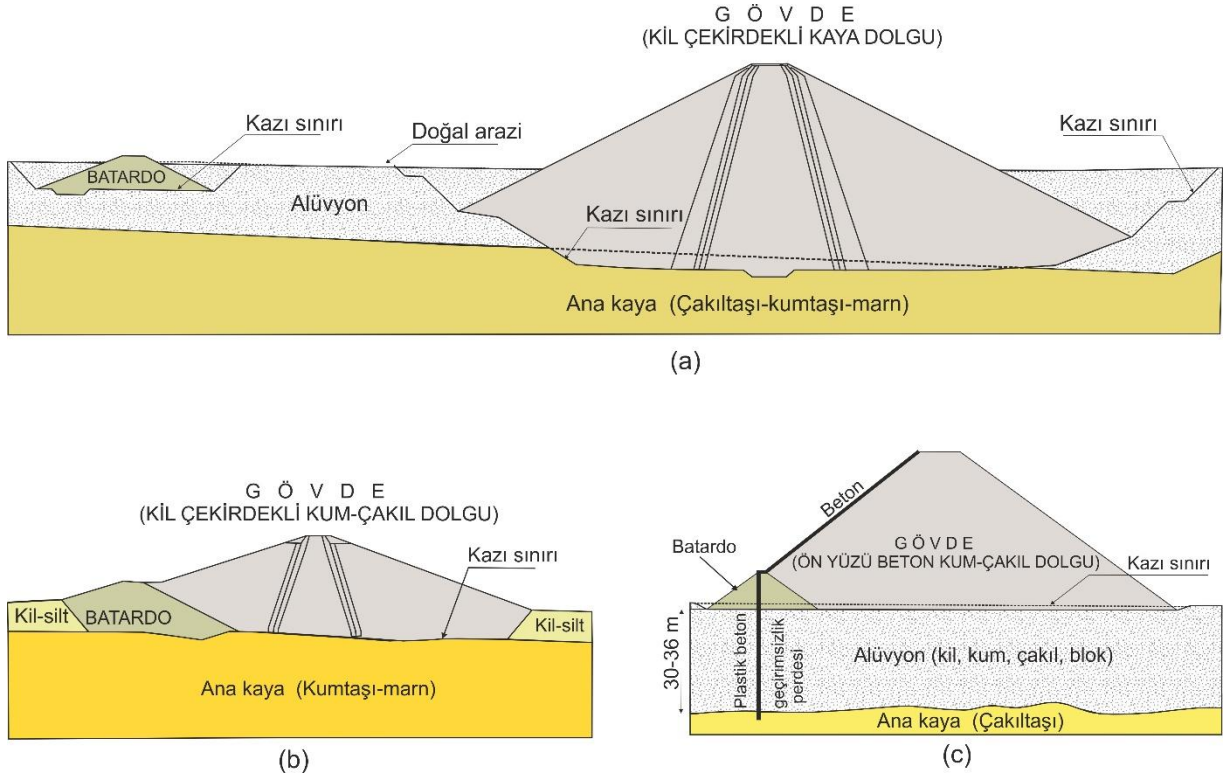
Göletin inşaatına 2015 yılında başlanmıştır. Gövde altı sıyırma kazıları devam ederken alüvyonun orta bölümlerinde, SK-5 ile SK-12 araştırma sondajları arasında ve SK-12-SK-16 arasındaki bölgede alüvyonunun projede öngörülenden daha kalın olduğu görülmüştür (Şekil 4b ve Şekil 5).



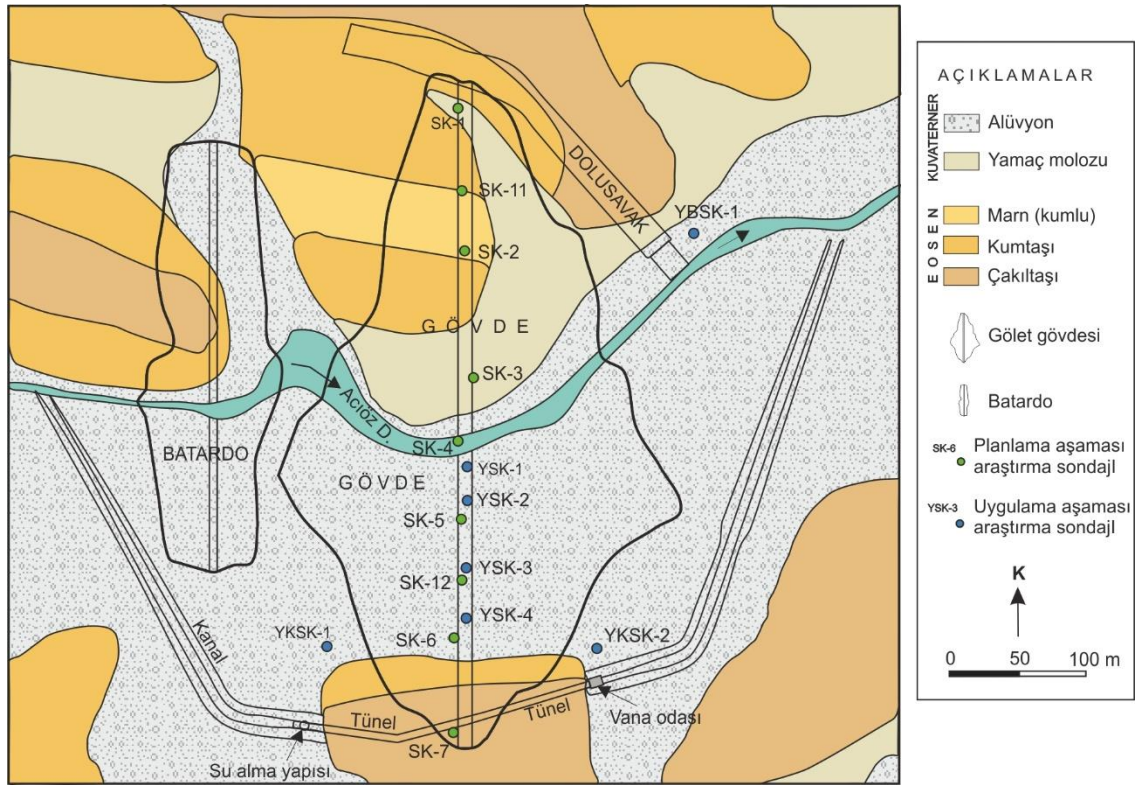
Şekil 1 - İncelenen göletlerin buldu haritası

Çizelge 1 - İncelenen göletlere ait karakteristik bilgiler

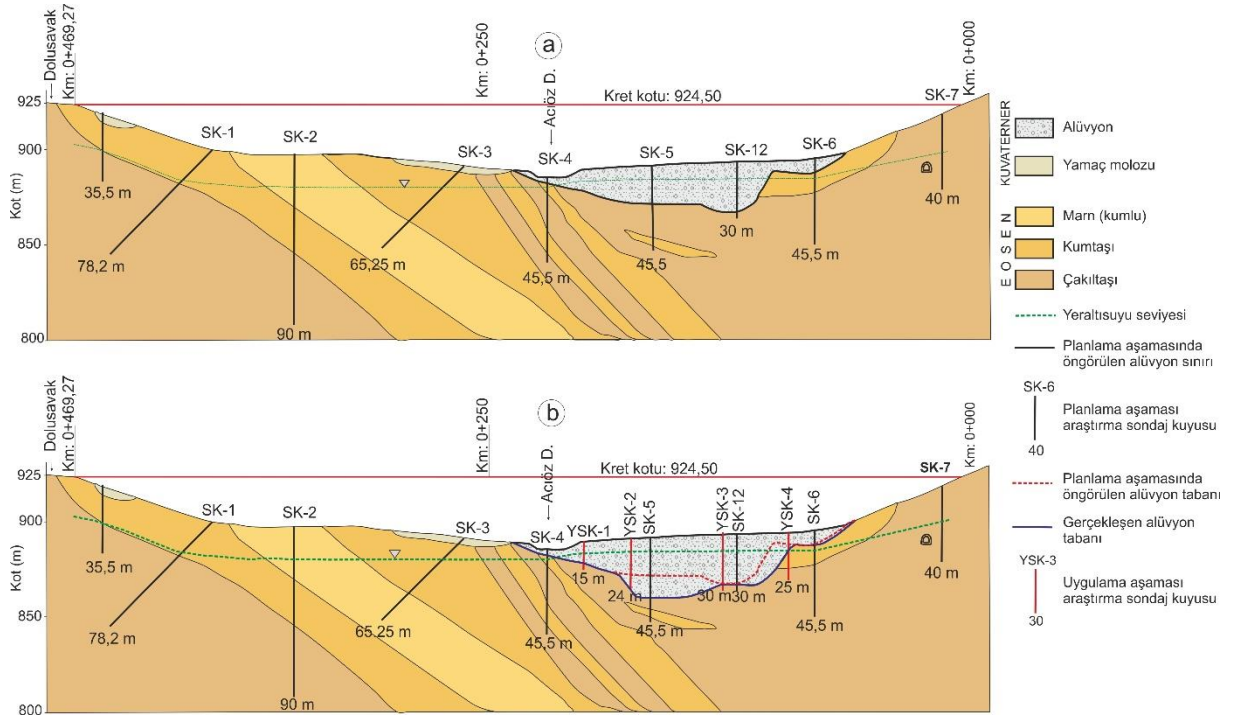
| Gölet Adı | Sırçasaray | Süleymanlı | Derekargın |
|-----------------------------------|--|---------------------------------|---|
| Yer | Haymana'nın 30 km güneybatısı | Ankara'nın 30 km güneydoğusu | İskilip'in 5 km kuzeydoğusu |
| Akarsu | Acıöz D. | Miskince D. | İkipınar D. |
| Amacı | Sulama | Sulama | Sulama |
| Gövde Tipi | Kil çekirdekli kaya | Ön yüzü beton kaplı kum-çakıl | Kil çekirdekli kum-çakıl |
| Temelden Gövde Yüksekliği (m) | 59,5 | 40 | 34 |
| Talvegden Gövde Yüksekliği (m) | 38,5 | 37 | 21 |
| Kret Uzunluğu (m) | 469 | 263 | 318 |
| Gövde Hacmi (hm ³) | 1,483 | 0,508 | 0,582 |
| Depolama Hacmi (hm ³) | 29,33 | 4,31 | 1,17 |
| İnşaat Yılları | 2015- | 2017- | 2015-2017 |
| 2019 Başı itibariyle | İnşa halinde | İnşa halinde | İşletmede |
| Gövde altı jeoloji | Alüvyon altında Eosen marn-kumtaşı-çakıltaşı | Alüvyon altında Eosen çakıltaşı | Alüvyon ve Pliyosen doğu altında Eosen kumtaşı-marn |



Şekil 2 - Projelerine göre Sırçasaray (a), Derekargın (b) ve Süleymanlı (c) göleti basitleştirilmiş gövde en kesitleri



Şekil 3 - Sırçasaray Gölet yeri jeoloji haritası (HİDROMARK, 2014'ten sadeleştirilmiştir)



Şekil 4 - Sırçasaray Göletinde planlama aşamasında öngörülen (a) ve uygulama aşamasında gerçekleşen (b) alüvyon taban sınırını gösteren jeolojik kesitler (HİDROMARK, 2014'ten sadeleştirilmiştir)

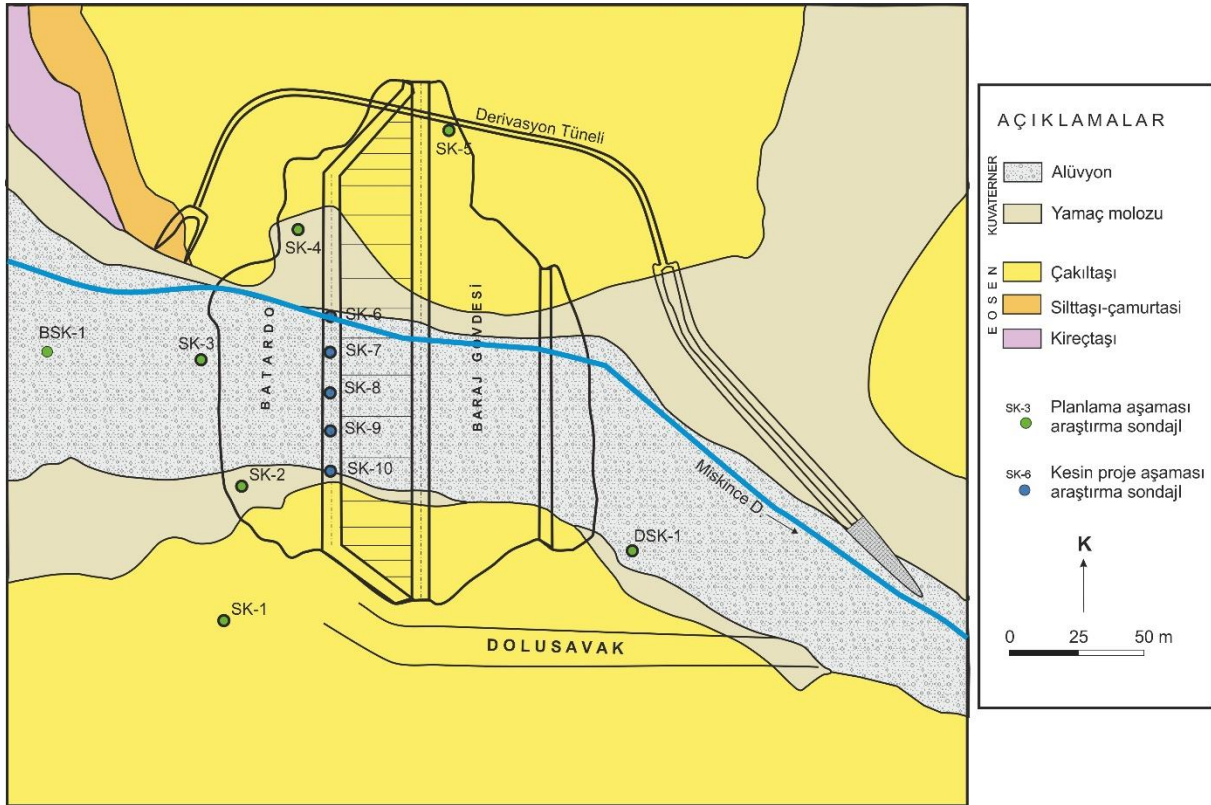


Şekil 5 - Sırçasaray göletine ait görüntüler (a: Gövdenin konumu, b: gövde altında sıyrılan alüvyon ve Eosen'e ait gevşek zemin, c: çekirdek hendeğinde sert ve sağlam çakıltaşları, d: gövde dolgu inşaatı devam ederken)

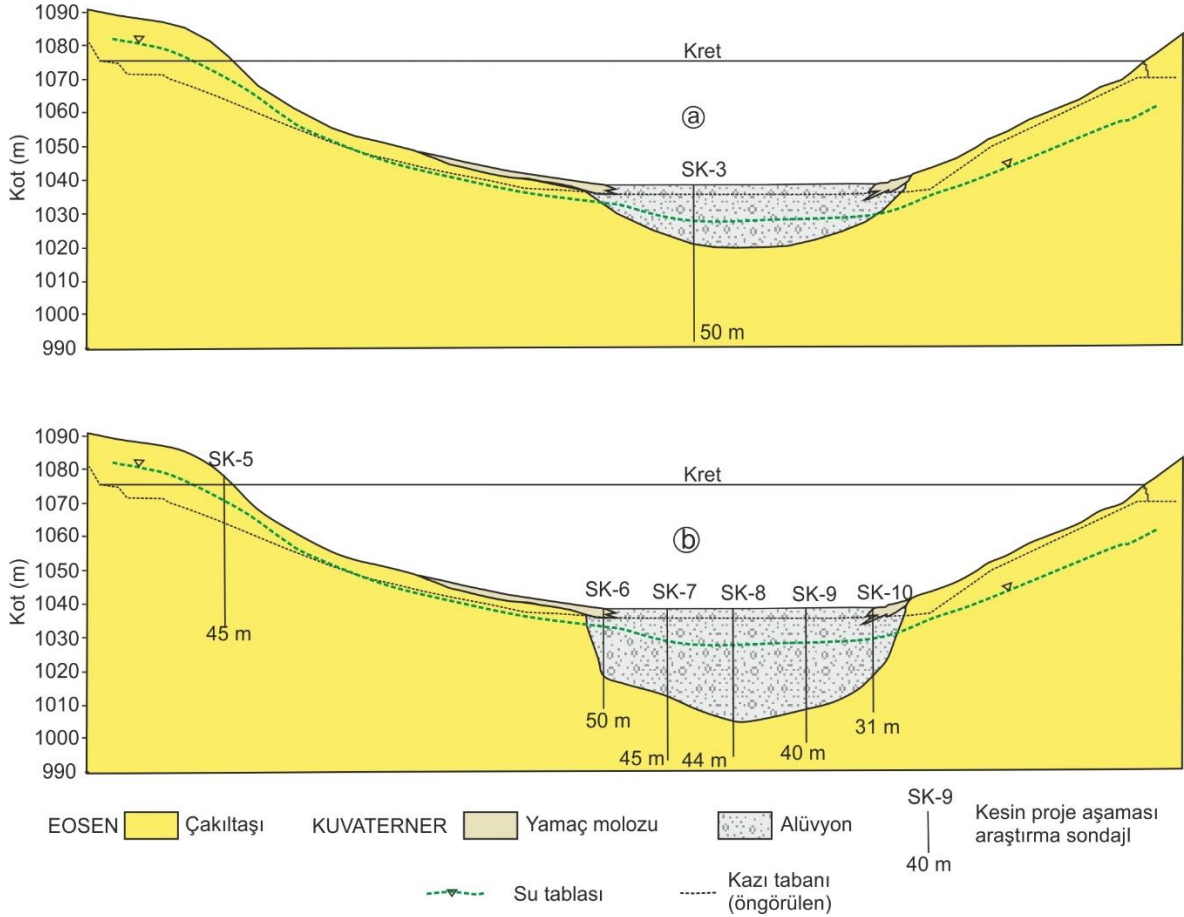
3.3 Ankara-Bala-Süleymanlı Göleti

Süleymanlı Göleti; havzasından bol miktarda malzeme taşıyan Miskince Dere vadisindedir. Gölet eksen yerinde ve göl alanında vadi boyunca uzanana alüvyonun altında ve sağ ve sol yamaçta yüzeyde Eosen yaşlı çakıltaşı bulunmaktadır (Şekil 6). Alüvyon kil, kum, çakıl ve yer yer blok boyutlu iri malzemeden ibarettir. Ön inceleme ve Planlama çalışmaları göletin kil çekirdekli kaya veya kum-çakıl dolgu tipinde inşa edilmesi öngörülmüştür. Ancak, yapılan araştırmalar sonucunda sulama alanlarındaki değerli tarım toprakları haricinde yeterli miktar ve kalitede geçirimsiz kil malzeme ve yakın çevreden kaya malzeme temin edilemeyeceği anlaşıldığından gövdenin ön (mamba) yüzü beton kum-çakıl olarak inşa edilmesine karar verilmiştir. Proje çalışmaları başlangıçta alüvyonun kaldırılarak gövde çakıltaşlarına oturtulacak şekilde ön yüzü beton kum-çakıl gövde tipinde inşa edilecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Planlama çalışmalarında

belirlenen eksen, projede bir miktar mansaba doğru kaydırılmıştır. Proje başlangıcında açılan BSK-1, SK-1, SK-2, SK-3 ve SK-4 sondaj verileri değerlendirilerek alüvyon kalınlığı belirlenmiştir (Şekil 7a). Alüvyonun kalın olması (SK-3'de 26 m, BSK-1'de 34 m) nedeniyle, kaldırılmayarak batardo altında plastik beton perde ile geçirimsizliğin sağlanması düşünülmüştür. Yapılması planlanan plastik beton perde alanının net ortaya konması için proje çalışmaları devam ederken gövde konumuna göre batardo eksenini boyunca sık aralıklarla temel sondajlar açılmış (SK-6, SK-7, SK-8, SK-9 ve SK-10) ve alüvyon taban sınırı belirlenmiş ve gölet buna göre projelendirilmiştir. Bu sondajlara göre hazırlanan kesitte (Şekil 7b) görüldüğü gibi, batardo ekseninde alüvyonun daha önce öngörülenden daha kalın ve daha geniş, başka bir ifade ile eksen yerinde alüvyon kesit alanının daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Süleymanlı Göleti gövde ve araştırma kuyularının konumu Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 6 - Süleymanlı Gölet yeri jeoloji haritası üzerinde gövde ve sanat yapılarının konumu (JEODİZAYN, 2014'ten sadeleştirilmiştir)



Şekil 7 - Süleymanlı Gölü batardo eksenini tek sondajlı (a) ve sık aralıklı sondajlara göre (b) jeolojik kesitleri (JEODİZAYN, 2014'ten sadeleştirilmiştir)

3.4 Çorum-İskilip-Derekargın Gölü

İskilip-Derekargın göletinin gövde altında en fazla 10 m genişliğinde, 1-2 m kalınlığında alüvyon ve taşıma gücü zayıf, gevşek Pliyosen kil-silt (az kumlu) zemin altında Yoncalı formasyonuna ait kumtaşı, silttaşı ve marnlar bulunmaktadır (Şekil 9). Gövde tipi, projesinde kil çekirdekli kum-çakıl olarak belirlenmiştir. Geçirimsizliği sağlayacak olan kilin, kısmen göl alanından sağlanacağı, ayrıca gövde altı, dipsavak ve dolusavak kazılarından çıkacak Pliyosen yaşlı malzemenin de kullanılması öngörülmüştür [ALTER 2014]. Proje aşamasında açılan sondajlara göre gövde altında sıyrılacak zonun kalınlığı en fazla 12 m olarak belirlenmiştir (Şekil 10a). Ancak uygulama aşamasında sağ tarafta SK-3 ile SK-4 kuyuları arasında Pliyosen yaşlı malzemenin projede öngörülenden daha kalın (16 m civarında) olduğu tespit edilmiştir (Şekil 10b, Şekil 11).

3.5 Öngörülenle Gerçekleşen Durumların Karşılaştırılması

Bu çalışma kapsamında örneklenen üç projeden Sırçasaray Gölü'nde proje çalışmalarında açılan temel sondajlara göre kazı sınırı belirlenerek gövde Eosen yaşlı çakıltaşı, kumtaşı ve marn tabakaları üzerine oturtulacak şekilde konumlandırılmış ve projelendirilmiştir. Projesine göre gövde altı kazı sınırı alüvyon ve altındaki 1-2 m kalınlığındaki gevşek zon kaldırılacak şekilde belirlenmiştir. Projesine göre gövde hacmi 1483000 m³ hesaplanmıştır. Uygulama aşamasında, SK-5 ve SK-12 temel araştırma sondajları arasında ve SK-12 ile SK-16 arasındaki projede öngörülenden daha kalın olduğu görülmüştür. Bu nedenle gövde altı kazısı derinleştirilmiştir. Bunun sonucunda memba batardosu, projedeki mevcut konumundan yaklaşık 300 m membaya çekilerek hacmi küçülmüş ve dereden alüvyona fazla beslenimin önlenmesi için, başka bir ifadeyle kazı alanına gelecek suyun azaltılması için derivasyon tüneline doğru 300 m'lik kısım betonla kaplanmak durumunda kalınmıştır.



Şekil 8 - Süleymanlı Göleti eksen yerine mansaptan bakış

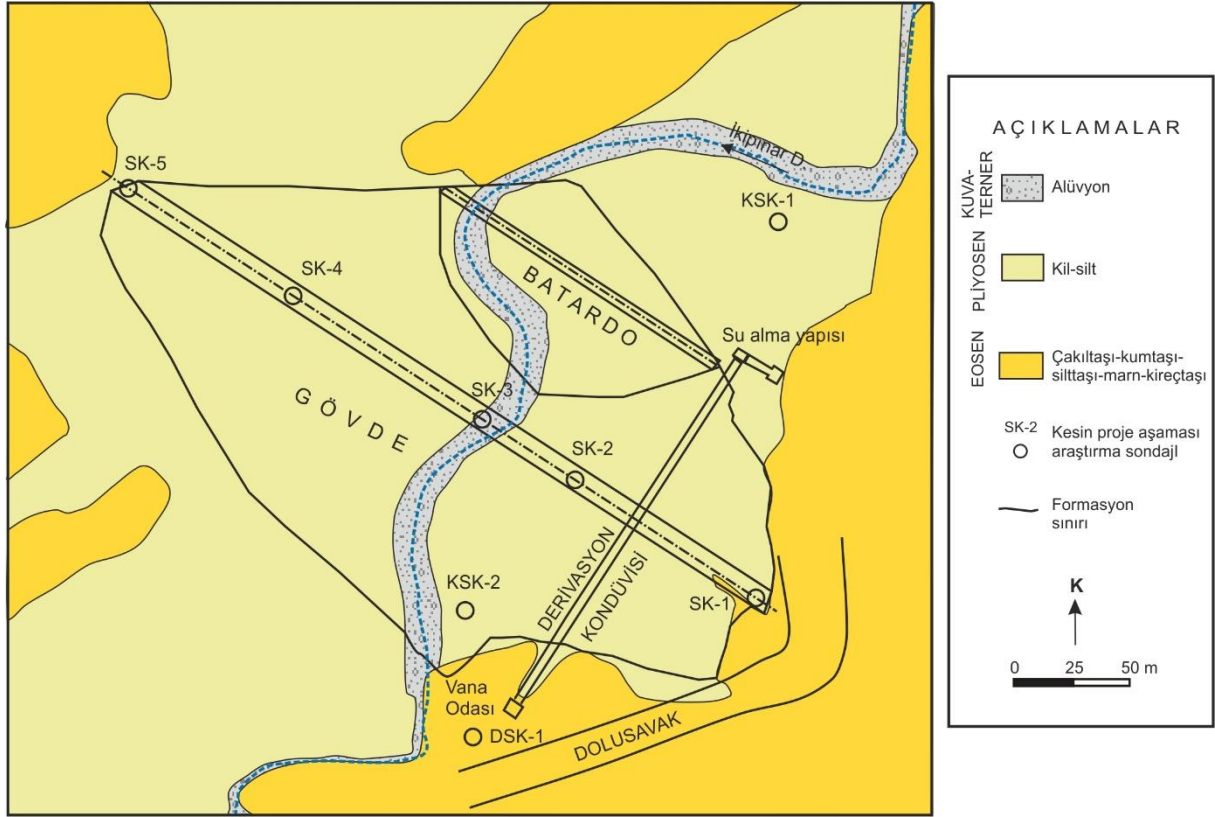
Projede yaklaşık 1,100,000 m³ kazı öngörülürken, uygulama aşamasında kazı derinliğinin artışı ile 300,000 m³ ilave kazı nedeniyle toplam kazı miktarı 1,400,000 m³'e çıkmıştır.

Süleymanlı Göleti batardo altında plastik beton perde (slurry wall/bulamaç duvarı) ve memba yüzü beton kum-çakıl gövde tipinde projelendirilmiş [JEODİZAYN 2015] ve ihale edilmiştir. Derivasyon tüneli ve ulaşım yolu inşaatına 2017 yılında başlanmış ancak ödenek sıkıntısı nedeniyle bir süre sonra inşaatına ara

verilmiştir. Projesine göre, geçirimli alüvyon kaldırılmayacak, gövde altında 2-3 m sıyırma yapılarak gövde alüvyon üzerine oturtulacaktır. Batardo altında inşa edilecek plastik betonun geçirimli alüvyonu tamamen kapatması ve altındaki ana kayaya (çakıltaşları) soketlenmesi amacıyla alüvyon-ana kaya sınırının belirlenmesi için batardo eksenini boyunca açılan sondajlarda alüvyon kalınlığı, memba tarafta daha önce açılan sondaja göre derin çıkmıştır. Plastik beton perde derinliği yeni duruma göre projelendirilmiştir. İlk değerlendirmeye göre en

fazla 30 m (26-27 m alüvyon, 3-4 m ana kaya olmak üzere) düşünölen perde derinliği, ilave sondajlardan elde edilen bilgilere göre 40 m'ye yaklaşmıştır (35-36 m alüvyonun altında 4-5 m

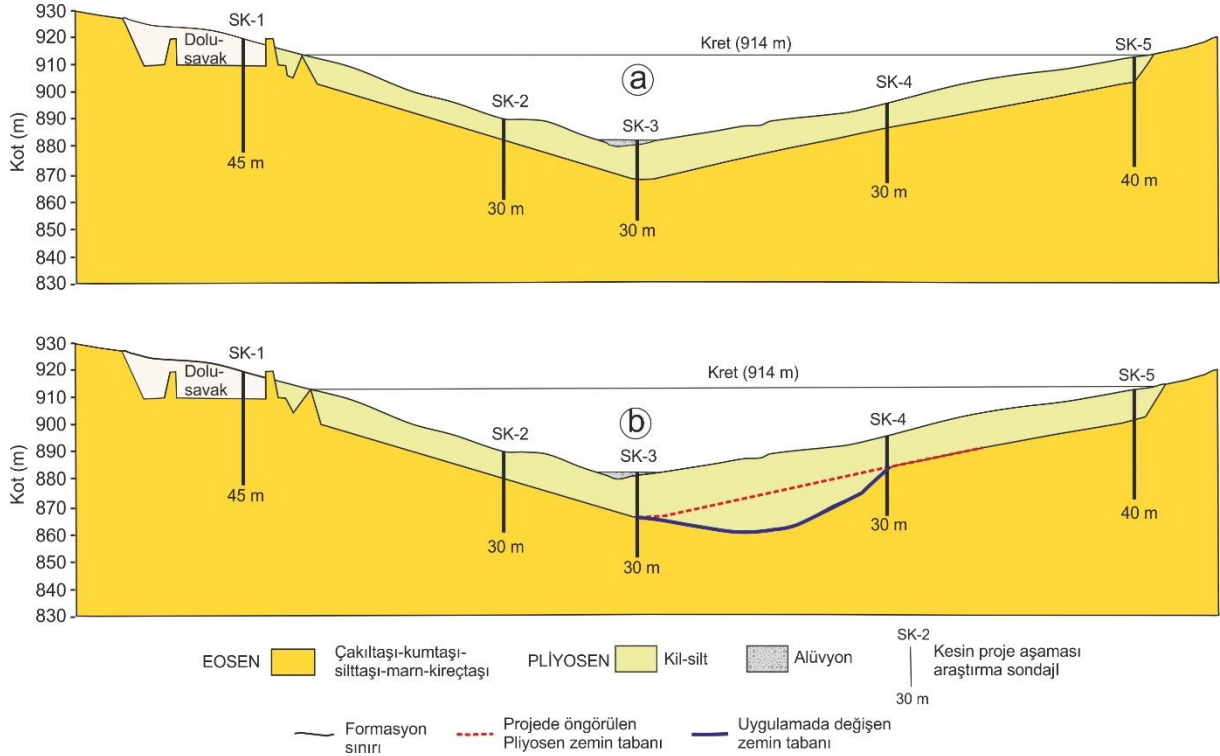
ana kayaya girecek şekilde). Bu değişiklikten toplam perde alanı çok etkilenmiş, üçte bir oranında artmıştır.



şekil 9 - Derkargın Göleti jeoloji haritası üzerinde gövde ve sanat yapılarının konumu (ALTER, 2014'ten sadeleştirilmiştir)

Kil çekirdekli kum-çakıl gövde tipindeki Derkargın Göleti'nde gövdenin oturacağı ana kaya Eosen yaşlı kumtaşı-silttaşı-marn'dan oluşan Yoncalı formasyonu olarak belirlenmiş, vadi boyunca uzanan çok ince alüvyon ve altındaki Pliyosen yaşlı kil-silt (az kumlu) malzemenin sıyrılarak kaldırılması ve hatta bu malzemenin gövde dolgusunda kullanılması planlanmıştır. 2015 yılında gövde altı kazıları başladığında diğer kısımlarda her şey beklendiği

gibi devam ederken, gövde ekseninin sağ tarafında Pliyosen yaşlı malzemenin projede öngöröleden 4 m daha kalın olduğu görölmüş ve bu kısmın kazılarak kazı tabanının derinleştirilmesi gerekmiştir. Kazılması gereken kısım, aralarında 90 m mesafe bulunan SK-3 ile SK-4 kuyuları arasındadır. İnşaat esnasında yapılan bu ilave kazı yaklaşık 120,000 m³ civarında olup toplam kazı miktarını % 20 oranında arttırmıştır.



Şekil 10 - Derekargın Göleti gövde kesiti üzerinde proje aşamasında sondajlarla öngörülen (a) ve kazı esnasında gerçekleşen (b) zemin taban sınırı (ALTER, 2014'ten sadeleştirilmiştir)



Şekil 11 - Derekargın göletinde SK-3 ile SK-4 kuyuları arasında kazılarak alınması gereken kahverengi gevşek zemine (Pliyosen) ve gövdenin oturacağı gri renkli sağlam kayaya (Eosen) sağ yamaçtan (a) ve sol yamaçtan (b) bakış, gevşek zeminin daha yakından görünüşü (c) ve sol yamaçta kondüvinin oturduğu sağlam Eosen kumtaşı-marn-silttaşı tabakaları (Foto: Hasan Deveci)

4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Barajlarda gövdenin ve diğer yapıların oturacağı jeolojik ortamın tanımlanması ve sınırlarının tespitine yönelik olarak açılan temel sondajlarının sıklığı ve temsil ediciliği, kazı miktarı, gövde hacmi ve konumu başta olmak üzere bir çok hususu belirlemektedir. Özellikle uygulamada gövde altında kazı sınırının öngörülenden daha derin çıkması arzu edilmeyen bir durumdur. Böyle bir durum hem maliyet artışı, hem inşaat süresinde uzama, hem de bazı yapıların yer ve konumlarının değişmesi, yani proje değişikliği ile sonuçlanmaktadır.

2016 yılında revize edilen DSİ Jeoteknik Etüt Şartnamesi'nde depolama yapılarında eksen boyunca araştırma sondaj sayısı hususunda asgari sayılara yer verilmiştir. Buna göre, Sırçasaray ve Derekargın Göleti gibi zonlu ve kaya dolgu yapılarda talvegde 1, sağ ve sol yamaçta en az ikişer adet sondaj açılması istenmektedir. Sırçasaray göletinde proje aşamasında eksen boyunca yaklaşık eşit aralıklı olacak şekilde (sondaj aralıkları 40-50 m'dir, sadece SK-2 ile SK-3 arası 100 m'dir) toplam 9 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Sondaj sayısı ve aralıkları benzer birçok projeye göre makul olmasına rağmen, sondaj aralıklarının alüvyonun taban sınırının sağlıklı bir şekilde belirlenmesi için yeterli olmadığı görülmüştür. Alüvyon tabanının düzensizliğinde, Eosen yaşlı formasyon içinde aşınmaya karşı dayanımı farklı olan tabakaların 45-50 derece eğimle birbiri ardına gelmesidir. Bu durum, akarsu tabanının kazınma dönemi sonunda son derece pürüzlü hale gelmesi ve çökmenin bu topoğrafya üzerine gelmesinin sonucudur. Bu örnek, karmaşık jeolojiye sahip yerlerde, özellikle de aşınmaya karşı direnci farklı jeolojik ortamların bulunduğu vadilerde alüvyon taban sınırının yeterince sağlıklı olarak belirlenmesi için sondajların daha sık aralıklı ve farklı litolojik birimleri temsil edecek yerlerde seçilmesi gerektiğini göstermektedir. Böylece, sonradan proje değişikliğinin önüne geçilmiş olacaktır.

Derekargın Göleti'nde talvegde 1, yamaçlarda ikişer araştırma sondajı açılmıştır. Şartnamedeki asgari koşulları sağlamakla birlikte, eksen boyunca sondaj aralıkları 50 m ile 90 m arasındadır. Projeye göre gövde altında sıyrılması öngörülen taşıma gücü zayıf Pliyosen zeminin kalınlığı konusunda diğer yerlerde bir sürprizle karşılaşılmamış, ancak sondaj aralığının fazla olduğu SK-3 ve SK-4 arasında beklenenden daha kalın bir zonla karşılaşılmıştır. Proje aşamasında iki sondaj arasında bir sondaj daha açılmış olsaydı, kazı derinliği uygulamada karşılaşılanla hemen

hemen aynı olacak ve projelendirme buna göre yapılacaktır.

Süleymanlı Göleti ön yüzü beton, kum-çakıl dolgu tipindedir. Şartnameye göre topuk plağı (plinth) boyunca 6-10 adet, ayrıca, gövde altında ve mansap eteğinde en az birer adet araştırma sondajı açılması önerilmektedir. Süleymanlı Göleti'nde proje aşamasında topuk plağı boyunca 3 adet araştırma sondajı açılmıştır. Önce, talvegde alüvyonu temsil eden SK-3 kuyusundan elde edilen kalınlık (alüvyon kalınlığı 26 m), batardo eksenine taşınarak proje kesiti hazırlanmıştır. Daha sonra bunun yeterli olmayacağı düşünülerek, batardo üzerinden inşa edilecek ve alüvyonun altındaki Eosen çakıllarına soketlenecek olan plastik beton perdenin sağlıklı bir şekilde boyutlandırılması için eksen boyunca sık aralıklarla araştırma sondajlarının açılmasına karar verilmiştir. Eksen boyunca 20 m aralıklarla açılan sondajlara göre alüvyonun taban sınırı (kalınlık en fazla 35-36 m) belirlenerek geçirimsizlik perdesi buna göre boyutlandırılmıştır. Buna göre, özellikle plastik beton perdeli depolama yapılarında boyutlandırmanın sağlıklı bir şekilde yapılması ve imalat aşamasında sorun yaşanmaması için eksen boyunca sondaj aralıklarının sık tutulması, zemin tanımlamalarının doğru yapılması ve geçirimsizlik testlerinin standartlara uygun yapılarak modelin doğru kurulması önem taşımaktadır.

Yukarıdaki üç projede karşılaşılan durumlardan da anlaşılacağı üzere, su depolama yapılarında özellikle kazı sınırının belirlenmesinde sondaj sıklığı ve temsil ediciliği çok önemlidir. DSİ tarafından uygulamaya konan ve 2016 yılında revize edilen Jeoteknik Etüt Şartnamesinde temel araştırma sondajları konusunda belirli bir mesafe ve derinlik önerilmemiş, asgari sayılar verilmiştir. Ancak, planlama veya proje mühendisinin projelendirmeye esas bilgilerin sağlıklı bir şekilde edebilmesi için şartnamede belirtilen asgari hususların üzerine çıkması gerekir. Her şeyden önce, jeolojik ortamların hem litolojik, yani kaya türü, hem yapısal, hem de geçirimsizlik yönünden çok karmaşık olabileceği dikkate alınarak, sondajlardan önce iyi bir jeolojik araştırma yapılması ve modelin doğru kurulması, daha sonra bu modele göre mümkün olduğunca sık aralıklı sondaj kuyularının açılarak modelin test edilmesi ve gerekiyorsa ilave sondajlarla modelin revize edilmesi son derece önemlidir. Böylece projelendirmede hataların önüne geçilmesi sağlanacak, uygulama aşamasında kazı miktarında artış, inşaat süresinin uzaması, kondüvi, batardo gibi önemli yapıların

ötelenmesi, gövde boyutunun, hatta gövde tipinin bile değişmesi gibi sorunların önüne geçilmiş olacaktır. Bunun için araştırma ekibine yeterli sürenin verilmesi ve maliyetten kaçınılmaması en önemli hususlardandır.

5 TEŞEKKÜR

Bu çalışmada örneklenen üç proje Devlet Su İşleri (DSİ)'ne aittir. Projeye emek veren DSİ mensupları ve yöneticilerine teşekkür ederiz.

6 KAYNAKLAR

- [1] Abdullatif, O. M, Cruden, D. M, 1983, The relationship between rock mass quality and ease of excavation. Bulletin of International Association of Engineering Geologists, 28, 183-187
- [2] ALTER, 2014, Çorum İskilip-Derekargın, Oğuzlar ve Osmançık Dereboğazı Göletleri Planlama ve Proje Yapımı, Çorum İskilip Derekargın Göleti Mühendislik Jeolojisi Planlama raporu, DSİ 5. Bölge Müdürlüğü, Ankara, 112 s
- [3] Bieniawski, Z. T., 1989, Engineering Rock Mass Classifications. John Wiley and Sons, New York, 237 pp
- [4] Church, H. K., 1981, Excavation Handbook. McGraw-Hill, New York, USA
- [5] DSİ 2016a, Jeoteknik Etüt Şartnamesi, DSİ Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Dairesi Başkanlığı, 132 s
- [6] DSİ, 2016b, Temel Sondaj ve Enjeksiyon Teknik Şartnamesi, DSİ Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Dairesi Başkanlığı, 43 s
- [7] HİDROMARK, 2014, Ankara-Haymana-Sırçasaray Göleti Kesin Proje Aşaması Jeoteknik Etüt Raporu, DSİ 5. Bölge Müdürlüğü, Ankara, 78 s
- [8] JEODİZAYN, 2014, Ankara-Bala-Süleymanlı Göleti ve Sulaması Kesin Proje Aşaması Jeoteknik Etüt Raporu, DSİ 5. Bölge Müdürlüğü, 67 s
- [9] Şekercioğlu 2002, Yapıların Projelendirilmesinde Mühendislik Jeolojisi, Genişletilmiş 3. Baskı, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, ISBN: 975-395-087-X, 280 s
- [10] Tsiambaos, G., Saroglou, H., 2009, Excavatability assessment of rock masses using the Geological Strength Index (GSI). Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 69 (1), 13-27
- [11] Ulaş, K, Temiz R, Kılıç R, 2017, Beypazarı Gölet Yerindeki Tüfün Temel Kaya Olabilirliğinin İncelenmesi, (Ankara), MÜHJEO'2017: Ulusal Mühendislik Jeolojisi ve Jeoteknik Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 12-14 Ekim 2017, ÇÜ, Adana, 285-291