

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



SAYI: 132
YIL : NİSAN 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 : 132

YIL : NİSAN 2019

Yayın Türü

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

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

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|----|
| OTOMATİK YENİ YÖNTEMLERLE GÖZLENEN KAR BİLEŞENLERİNİN MANUEL ÖLÇÜMLER VE UYDU GÖRÜNTÜLERİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ A. Arda ŞORMAN, M. Cansaran ERTAŞ | 1 |
| DOLUSAVAK YAPILARINDA SAYISAL MODELLEMENİN UYGULANMASI: KAVŞAK BENDİ HİDROELEKTRİK SANTRALİ (HES) ÖRNEĞİ Şerife Yurdagül KUMCU, Mehmet Ali KÖKPINAR | 12 |
| FİLYOS ALT HAVZASINDA GÖZLENMİŞ VE DEĞİŞİK İHTİMALLİ AKIM VERİLERİNİN BARAJ TASARIMINDAKİ ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ Emre ÇIKRIKÇI, Nihat EROĞLU | 26 |

*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: 132

YEAR : APRIL 2019

Publication Type

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

ISSN

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

CONTENTS

| | |
|--|----|
| EVALUATING SNOW COMPONENTS BASED ON AUTOMATIC NEW METHODS WITH MANUAL MEASUREMENTS AND SATELLITE IMAGES A. Arda ŞORMAN, M. Cansaran ERTAŞ | 1 |
| APPLICATION OF NUMERICAL MODELING ON SPILWAY STRUCTURES: A CASE STUDY OF KAVSAK BENDİ HYDROELECTRIC POWER PLANT (HEPP) Şerife Yurdagül KUMCU, Mehmet Ali KÖKPİNAR | 12 |
| CONSIDERATION OF THE EFFECTS OF OBSERVED AND DIFFERENT PROBABLE FLOWS DATA ON THE DESIGN OF THE DAMS IN THE FİLYOS SUB-BASIN Emre ÇIKRIKÇI, Nihat EROĞLU | 27 |

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>

OTOMATİK YENİ YÖNTEMLERLE GÖZLENEN KAR BİLEŞENLERİNİN MANUEL ÖLÇÜMLER VE UYDU GÖRÜNTÜLERİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ

A. Arda ŞORMAN
Eskişehir Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir
asorman@eskisehir.edu.tr

M. Cansaran ERTAŞ
Eskişehir Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir
mcertas@eskisehir.edu.tr

(Makalenin geliş tarihi: 18.12.2018, Makalenin kabul tarihi: 15.10.2019)

ÖZ

Ortalama yüksekliği yaklaşık 1130 m olan Türkiye’de, yüksek kotlara yağın yağışların önemli bir kısmı kar olarak düşmekte ve erime sezonunda akımları beslemektedir. Bu çalışmada, Türkiye’de bulunan 11 adet özel kar istasyonunda (Snowpack Analyzer-SPA) gözlenen kar bileşenleri irdelenmiş ve tutarlılık bakımından manuel yer ölçümleri ve uydu görüntüleriyle karşılaştırılmıştır. Kar sezonunda istasyonların çalışma performansı, bulunduğu bölgenin kar tutma özelliği, istasyon-bölge temsiliyeti ve uydu görüntüleriyle olan uyumu araştırılmıştır.

Sonuçlara göre, en kolay ve başarılı ölçülebilen kar bileşeni kar derinliği olurken karın su eşdeğeri daha kullanışlı bir parametredir. İstasyon-uydu görüntüsü kar su eşdeğeri karşılaştırmasında hata oranı 30 - 314 mm arasında değiştiği gözlenmekte olup bu farkın farklı arazi kullanımı, suya yakınlık ve yüksek kar derinliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, bazı istasyonların kar tutmadığı ve yer seçiminin yeniden değerlendirilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Karın yoğun olduğu ve uzun süre yerde kaldığı istasyonlarda ise kar sezonu öncesi detaylı bakım/onarım ihtiyacının giderilmesi gerekliliği vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kar Bileşenleri, Snowpack Analyzer (SPA), Kar Tüpü Ölçümü, Uydu Görüntüleri

EVALUATING SNOW COMPONENTS BASED ON AUTOMATIC NEW METHODS WITH MANUAL MEASUREMENTS AND SATELLITE IMAGES

ABSTRACT

In Turkey, with an average elevation of around 1130 m, most of the precipitation falls as snow in the higher altitudes and feeds streamflow during the melting period. In this study, snow component measurements of 11 special snow stations (Snowpack Analyzer-SPA) in Turkey are evaluated and compared with manual measurements and satellite images. Within the snow season, station performance, snow accumulation, region representativity and satellite image consistency is evaluated. According to results, the easiest and the most accurate observed snow component is the height of snow whereas snow water equivalent is the more useful parameter. Station-satellite snow water equivalent error rate ranges between 30 – 314 mm mainly due to different land use conditions, proximity to water and deep snow cover. It is also interesting to note that some of the stations show little or even no deposition of snow hence bringing the idea of station relocation. Furthermore, maintenance is highly recommended before the snow season to those stations that lay under the snow for a long time.

Keywords: Snow Components, Snowpack Analyzer (SPA), Snow Tube Measurement, Satellite Images

1 GİRİŞ

Yerkürede sıcaklığın etkisiyle sürekli çevrim halinde bulunan ve iklim, tarım, enerji, turizm alanında önemli bir yere sahip olan su; özellikle yüksek bölgelerde çoğu zaman kar şeklinde hidrolojik çevrim içerisinde rol almaktadır. Özellikle Türkiye gibi ortalama yükseltisi fazla olan ülkelerde yılın büyük çoğunluğunda kar şeklinde meydana gelen yağış olaylarının ve bunların sonucunda oluşan kar birikiminin izlenmesi gerekmektedir.

Karın sezon içerisinde aralıklı olarak yağması, kar örtüsünün katmanlı bir yapıya sahip olmasına neden olur. Kar yağışı sırasındaki hava sıcaklığı, rüzgar ve nem oranı gibi meteorolojik değişkenler yağın karın yoğunluk ve derinliğini etkileyip, kar örtüsünün başkalaşım (metamorfoz) geçirmesinin başlıca sebeplerindendir. Bu nedenlerden dolayı kar örtüsünü teşkil eden kar katmanları zamana (mevsime) ve yere (yükseklige, bölgeye vb.) göre farklı fiziksel özellikler gösterebilmektedirler. Kar örtüsünün bu değişkenlik durumu ve arazi şartlarının zorlu koşulları, ölçüm yöntemlerinin çeşitlenmesine neden olarak gösterilebilir.

Günümüzde arazi kar ölçümleri iki farklı yöntemle yapılmaktadır. Bunlardan ilki özel aletler (numune alma tüpleri, yoğunluk kesici aletler vb.) yardımı ile insan tarafından arazide yapılan manuel ölçümler; ikincisi ise sürekli ölçümler alan ve değerleri kaydedip, uzaktaki merkeze gönderebilen sabit otomatik istasyon ölçümleridir. Büyük alanları kaplayan kar örtüsü üzerinde yapılan otomatik veya manuel ölçümler noktasal olarak nitelendirilmektedir. Bundan dolayı ölçüm için seçilen noktanın alansal temsiliyetinin yüksek olması ve kar savruntu veya birikintisine maruz kalmamasına özen gösterilmelidir.

Kar hidrolojisinin en önemli kısımlardan biri olan arazi üzerinde kar ölçümlerinin alınması işi, genellikle erişilmesi güç ve yüksek kotlarda yürütülmektedir. Bu nedenle, ölçümlerden elde edilen veriler ve yapılan uygulamalardan oluşan kar ölçüm teknikleri ile ilgili bilimsel çalışmalar son derece kıymetlidir. Dünya'da ve Avrupa'da klasik yöntem ve/veya otomatik kar ölçümleri ülkemize göre daha önce başlamıştır ve göze çarpan en önemli husus gözlem noktalarının sıklığıdır. Türkiye'de 1960'lı yılların sonuna doğru mülga Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) ve Devlet Su İşleri (DSİ) gibi kamu kurumları tarafından kar ölçümleri alınmaya başlanmıştır. İlk başlarda seçilmiş az sayıdaki önemli noktalarda klasik metotlarla yapılan kar derinliği ve kar yoğunluğu ölçümleri, yıllar içerisinde sayısal olarak artarak devam etmiştir. Bilgi

çağının getirdiği yenilikler sonucunda, kar hidrolojisi alanındaki ölçüm yöntemi ve gözlem sistemleri büyük ölçüde gelişmektedir. Özellikle kar örtüsünün katmanlı yapıya sahip olması ölçüm sistemlerini karı kesit olarak ölçmeye doğru yönlendirmiştir. Son dönemde; kar özelliklerinin (derinlik, yoğunluk, kar su eşdeğeri, kristal tipi ve büyüklüğü vb.) objektif olarak belirlenmesi ve kullanılan dilin ortak hale getirilmesi için standart ve tanımlamalar belirlenmiş [Fierz ve diğ.,2009], bunu takiben de Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi (National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA) tarafından kar ölçümü yapan kurumlar için yönlendirici ilkeler yayınlanmıştır [NOAA, 2013]. Yapılan çalışmalar ise kar bileşenlerinin ve fiziksel özelliklerinin farklı ekipmanlar ile ölçümü üzerine yoğunlaşmıştır [Kinar ve Pomeroy, 2015], [Krajci ve diğ., 2016], [Proksch ve diğ., 2016], [Haberkorn, 2019].

Arazi üzerinde alınan kar ölçümlerinde yaşanan zorluklar ve noktasal ölçümün alansal temsiliyet problemi göz önüne alındığında, kar örtüsünün uzaktan takip edilmesinde uzaktan algılama yöntemleri önemli bir role sahiptir. Yer ölçümlerinden elde edilen gerçek zamanlı nokta verilerinin yanı sıra, yakın gerçek zamanlı değişimleri de uydu görüntüleri kullanarak daha geniş alansal temsiliyete sahip olacak şekilde takip etmek mümkün olmaktadır. Karın görünür olduğu spektral bant aralığında en parlak objelerden biri olmasından dolayı, değişik niteliklerde (dalga boylarında) kar görüntüsü alan uydular bulunmakta ve kar hidrolojisi alanında yapılan çalışmalarda farklı şekillerde kullanılmaktadırlar.

Yeryüzü Gözlem (Earth Observation – EO) uydu verisi, kar hidrolojisinde 1970'li yıllarda uygulanmaya başlamıştır. Öncü çalışmalar Rango ve diğ. [1977] tarafından EO verisiyle Alp dağlarında kar kaplı alan uygulaması yapmış ve akım tahmini gerçekleştirilmiştir. EO verisi kullanılarak yapılan, o güne kadarki kar ve buz haritalama çalışmaları Hall ve Martinec [1985] tarafından özetlenmiştir. Uydu görüntüsünden üretilen karla kaplı alan verisinin hidrolojik modellemede kullanılmasının yararını gösteren öncü bir çalışma Martinec ve Rango [1987] tarafından verilmiştir. Wiesnet ve diğ. [1987] kar kaplı alanların haritalanması için uzaktan algılama metotlarının önemini ilk vurgulayan çalışmalardan biri olmuştur. Seidel ve diğ. [1994], Baumgartner ve Rango [1995], Rango [1996], Nagler ve Rott [1997] bireysel olarak sık sık karla kaplı alan izleme çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Ancak geniş kullanıcı kitlesiyle paylaşılan metot ve uygulama sonuçları özellikle Avrupa'da HydAlp [Rott ve

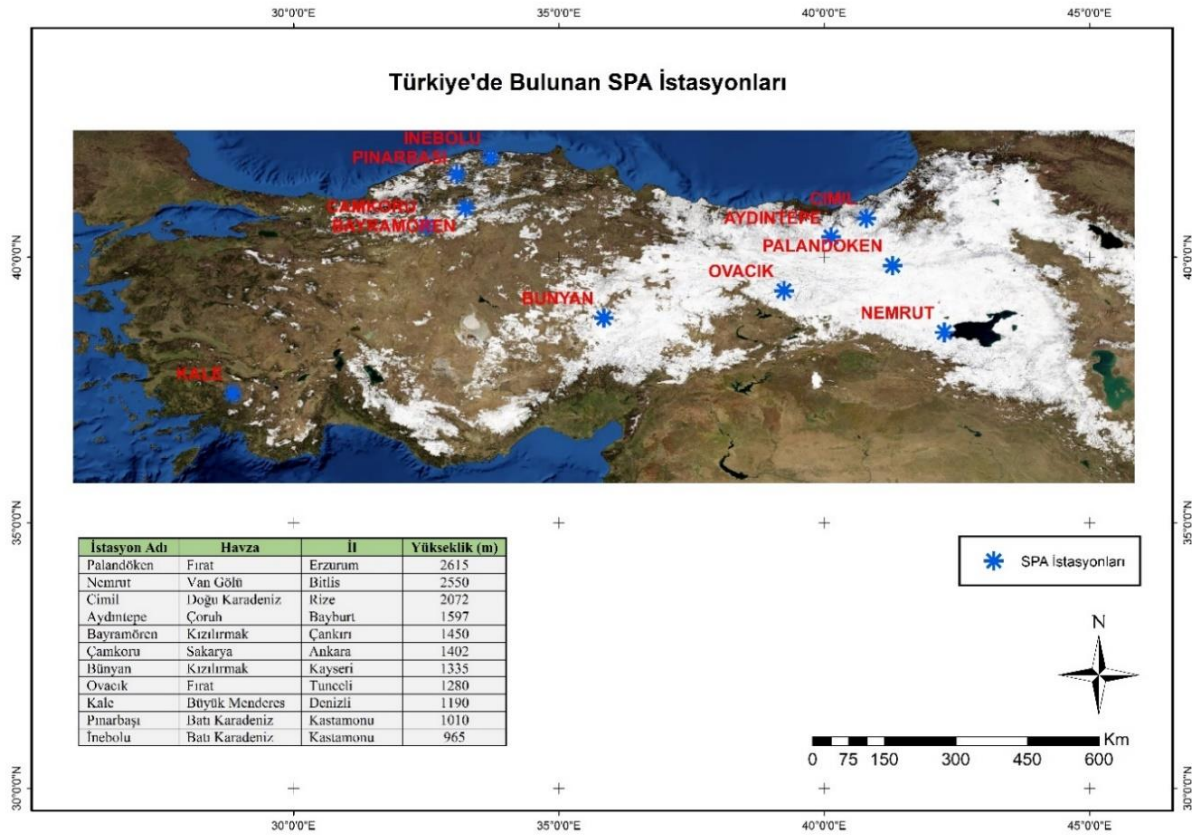
diğ., 2000] ve SnowTools [Gueriussen ve diğ., 2000] projeleri ile başlamış, SnowMIP [Etchevers ve diğ., 2002], Harmosnow [http://harmosnow.eu/], SnowEx [https://snow.nasa.gov/] gibi projelerle son dönemlerde de devam etmektedir. Türkiye’de geniş alanlar için uydularla kar izleme çalışmaları 1990’lı yılların sonunda başlatılmış ve yeni uyduların katılımlarıyla ilerletilerek devam ettirilmektedir [Kaya, 1999], [Akyürek ve Şorman, 2002], [Tekeli ve diğ., 2005], [Tekeli, 2008], [Şorman ve diğ., 2009], [Akyürek ve diğ., 2011], [Şorman ve Beşer, 2013], [Sönmez ve diğ., 2014], [Şorman ve diğ., 2019]. Ayrıca Türkiye, 2005 yılında Avrupa Meteoroloji Uyduları İşletme Örgütü (EUMETSAT) tarafından başlatılan ve desteklenen H-SAF projesi (Su Kaynaklarında Uydu Uygulamaları) kapsamında Avrupa’daki dağlık alanlarda kar uydu görüntüleri üretmek, doğrulamak ve hidrolojik modellerde uygulamaktan sorumlu ülke konumundadır [http://hsaf.meteoam.it]. Bu çalışmada ise Türkiye’de bulunan 11 adet Snowpack Analyzer (SPA) otomatik kar gözlem istasyonunu ölçümleri tanıtılmış ve 2017 yılı kar sezonunda istasyonlardan elde edilen ölçümler uydulardan gözlenen kar verisiyle

karşılaştırılmıştır. Ayrıca, yer temsiliyeti uygun ve kış sezonunda kolay ulaşılabilir bazı SPA istasyonları yanında manuel kar tüpü ölçümleri gerçekleştirilmiş ve otomatik istasyon gözlemleriyle kıyaslanmıştır.

2 ÇALIŞMA ALANI VE YÖNTEM

2.1 Çalışma Alanı

Ortalama yükseltisi 1130 metre olan ve bu değerle Avrupa’nın 4. en yüksek ülkesi (ilk 3 ülke sırasıyla Andora, Gürcistan ve İsviçre) olma özelliğine sahip Türkiye’de kış aylarında yağışlar çoğunlukla kar şeklinde düşmekte ve özellikle Doğu Anadolu, Doğu Karadeniz ve İç Anadolu bölgelerinin yüksek kesimlerinde neredeyse yılın yarısında yerde kalmaktadır. Bunun sonucu olarak Türkiye’de kar ölçümü yapan devlet kurumları mevcut ölçüm ağlarını yeni teknolojilerle geliştirmeyi ve kar örtüsünü güncel olarak izlemeyi hedeflemektedir. Bu sebeple Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) 2015 kar sezonu öncesi 11 adet Snowpack Analyzer (SPA) otomatik kar gözlem istasyonunu Türkiye’nin kar potansiyeli yüksek çeşitli bölgelerine kurulmasını sağlamıştır (Şekil 1).



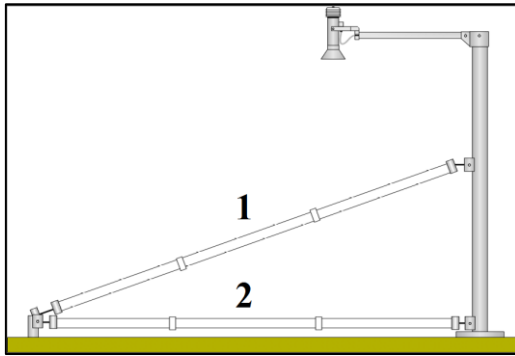
Şekil 1 - Türkiye’deki SPA otomatik kar istasyon konumları ve bilgileri

2.2 Yöntem

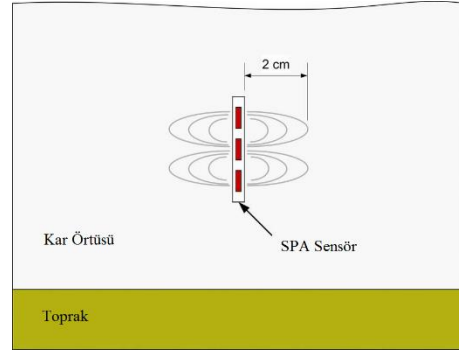
SPA istasyonu; kar kalınlığı, kar su eşdeğeri, kar yoğunluğu ve su içeriği değişkenlerini belirlemek için kullanılan bir ölçüm sistemi bütünüdür. Arazinin durumuna ve yapılması planlanan ölçüme göre farklı istasyon kurulum durumları söz konusu olmaktadır. SPA ölçüm istasyonunun, SPA sensörü, kontrol birimi, ultrasonik kar kalınlık sensörü ve sistemin gerekli gerginliği koruyabilmesi amacıyla yaylardan oluşan farklı bileşenleri mevcuttur. Gergi yayları frekans algılayıcılarını farklı seviyelerde tutmak için düz ya da eğimli bir

şekilde olabilmektedir (Şekil 2-a). Düz gergi yayı üzerindeki algılayıcılar aynı derinlikteki kar derinliği için ölçümü temsil ederken; eğimli olan ise farklı katmanlar arası genel ölçümü temsil etmektedir.

SPA şeritlerinin üzerinden geçen frekans algılayıcıları sayesinde bulunduğu seviye için ölçümler almaktadır (Şekil 2-b). Bu algılayıcılar ile kar kütlelerinin içindeki su, hava ve buz bileşenlerinin durumlarına göre kar yoğunluğu belirlenir. Belirlenen kar yoğunluğu ve ölçülen kar derinliği ile birlikte kar su eşdeğeri hesaplanmaktadır. Şekil 2-c'de Türkiye'de kurulan istasyonlardan örnekler sunulmuştur.



a)



b)



c)

Şekil 2 – SPA kar ölçüm istasyonlarının (a) kurulum, (b) çalışma prensibi ve (c) Türkiye'deki örnekleri (Pınarbaşı ve Çamkoru istasyonları)

Uygun atmosferik koşullar söz konusu iken donma sıcaklığının altında meydana gelen yağış olayları kar şeklinde gerçekleşir ve katman halinde birikmeye başlar. Kar örtüsünün sahip olduğu fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için Devlet Su İşleri (DSİ) kurumu tarafından manuel Kar Gözlem İstasyonu'nda (KGİ) ölçümler yapılmaktadır. Yapılan kar ölçümlerinde uluslararası standartlara uygun olan Kar Numune Alma Tüpü (Federal - Mount Rose) kullanılmakta olup; gözlem sırasında kar derinliği

ile kar su eşdeğeri ölçülmekte, kar yoğunluğu ise hesaplanmaktadır (Şekil 3).

3 UYDU GÖRÜNTÜSÜ

Çetin kış koşullarında ölçüm alanına ulaşmakta veya istasyon ile olan bağlantılarda çoğu zaman büyük zorluklar yaşanmaktadır. Bu koşullar göz önüne alındığında, kar örtüsünün uzaktan takip edilmesinde uzaktan algılama ürünleri önemli bir role sahiptir. Alansal kar örtüsü kolay ve verimli şekilde uydu görüntüleri ile izlenebildiği için öncül çalışmalar bu alanda yoğunlaşmıştır.



a)

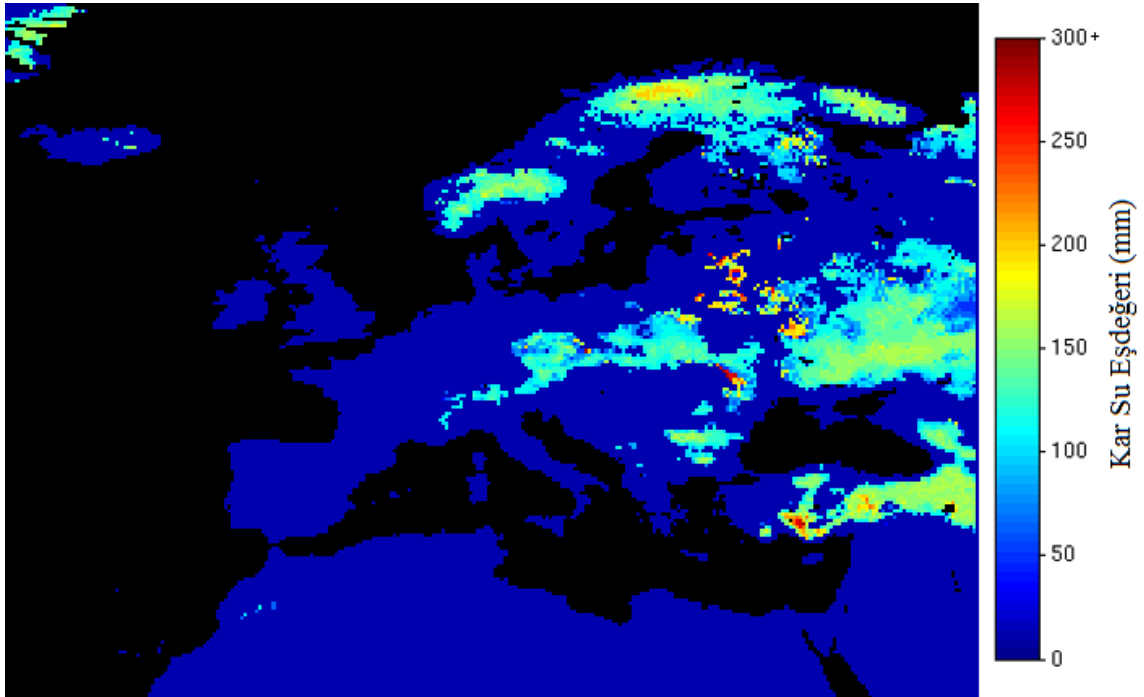


b)

Şekil 3 – Türkiye’de kullanılan kar tütü ve ekipmanları ile yapılan bir ölçüm örneği

Bu çalışmada Avrupa Meteoroloji Uyduları İşletme Örgütü (EUMETSAT) tarafından desteklenen H-SAF projesi (Su Kaynaklarında Uydu Uygulamaları) kapsamında üretilen Kar Su Eşdeğeri (KSE) uydu görüntüleri kullanılmıştır

(Şekil 4). Ürün SSM/I/S uydusunun pasif mikrodalga sensörleri ile üretilmekte ve 1 günlük zamansal ve 25 km x 25 km mekânsal çözünürlüğe sahiptir (<http://hsaf.meteoam.it/snow.php>).



Şekil 4 - Avrupa'nın 14 Şubat 2017 tarihli KSE (mm) uydu görüntüsü (<http://hsaf.meteoam.it/>)

4 SONUÇLAR

Çalışmada, Türkiye’de su potansiyeli için büyük önem arz eden kar baskın havzalarda kurulan otomatik SPA kar gözlem istasyonlarının, 2017 yılı kar sezonu kabul edilen 243 günlük periyodun (1 Ekim 2016 - 31 Mayıs 2017) değerlendirilmesi yapılmıştır. Kar bileşen ve meteorolojik ölçüm alan SPA istasyonları, verileri 10 dakikalık aralıklarla veri toplayıcıya (datalogger) kaydetmektedir. Bu çalışmada 11 ayrı SPA istasyonu için veriler işlenerek günlük hale dönüştürülmüştür. Şekil 5’te, 2017 kar sezonunda istasyon yakınında manuel ölçümler alındığı için seçilen Palandöken SPA örnek verisinde sunulduğu gibi sıcaklık (°C) ve yağış (mm) meteorolojik verilerine ek olarak; kar derinliği (cm), kar yoğunluğu (kg/m³) ve kar su eşdeğeri (mm) ölçülmektedir. Bütün istasyonlardan elde edilen veriler detaylı analiz edilerek 2017 kar sezonu için her istasyonda ayrı ayrı yorumlanmıştır.

İstasyonlardaki kar durumu, kopukluklar yaşandığı günlerde meteorolojik verilerden desteklenerek ve buldukları bölgenin kar sezonu gözetilerek değerlendirilmiştir. Sezon içinde SPA istasyonlarında ilk kar 1 Kasım 2017 tarihinde 2615 m kotunda bulunan Palandöken

istasyonunda, en son kar ise 20 Mayıs 2017 tarihinde 2550 m kotunda bulunan Nemrut istasyonunda ölçülmüştür. Çizelge 1’de sunulduğu gibi her istasyon 1 Ekim - 31 Mayıs çalışma periyodu içerisindeki negatif sıcaklık gün sayısı, ortalama sıcaklık, yağışlı gün sayısı, ortalama bağıl nem ve maksimum/ortalama kar derinlik değerleri belirlenmiştir. Arazi üzerinde değişkenlik gösterebilen kar derinliğinin (maksimum/ortalama), yükseklik ile direkt bir ilişkisinin olmadığı görülebilmektedir. Beklenildiği gibi Türkiye’nin doğusunda hava sıcaklıkları 153 gün gibi uzun süre negatif seyrederken, batısında bu süre 32 gün ile sınırlı kalmıştır. Bunun sonucu olarak; Palandöken ve Nemrut gibi istasyonlar soğuk bir bölgede, diğer istasyonlar ise bunlara göre daha ılıman bölgelerde konumlandırılmış oldukları ortaya çıkmaktadır. Ayrıca denize yakın ve ormanlık alanda bulunan istasyonlarda daha nemli (%70 - %80), dağlık ve kırsal alanlarda bulunan istasyonlarda ise göreceli olarak daha kuru (%60 - %70) iklim şartları hâkimdir. Bütün bunların sonucunda, kış şartlarının daha baskın olduğu Palandöken, Nemrut ve Ovacık gibi istasyonlarda daha fazla kar derinliği (90 – 200 cm) gözlenmiştir.

Çizelge 1- 2017 kar sezonu (1 Ekim 2016 – 31 Mayıs 2017) SPA istasyonları meteorolojik ve kar analiz sonuçları

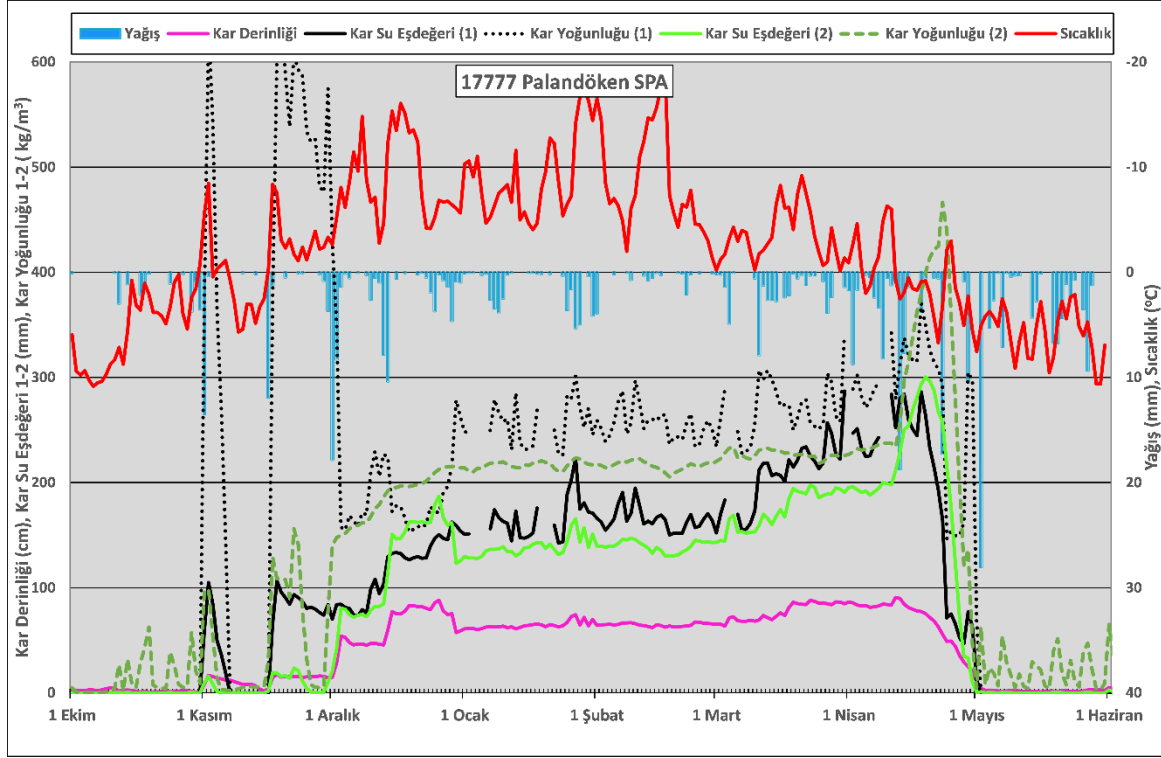
| | Yükseklik (m) | Ölçüm Alınan Gün Sayısı | Negatif Sıcaklık Gün Sayısı | Ortalama Sıcaklık (°C) | Yağışlı Gün Sayısı | Ortalama Bağıl Nem (%) | Maks./Ort. Kar Derinliği (cm) |
|-------------------|---------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|-------------------------------|
| PALANDÖKEN | 2615 | 243 | 153 | -2.31 | 72 | 62.39 | 90.6 / 44.1 |
| NEMRUT | 2550 | 240 | 143 | -1.24 | 84 | 76.20 | 195.5 / 64.3 |
| CİMİL | 2072 | 0 | - | - | - | - | - |
| AYDINTEPE | 1597 | 234 | 98 | 1.40 | 50 | 66.62 | 27.8 / 9.9 |
| ÇAMKORU | 1450 | 243 | 101 | 1.26 | 82 | 77.95 | 0.0 / 0.0 |
| BAYRAMÖREN | 1402 | 239 | 82 | 3.18 | 47 | 71.74 | 59.2 / 14.3 |
| BÜNYAN | 1335 | 242 | 64 | 5.23 | 40 | 60.17 | 20.8 / 3.1 |
| OVACIK | 1280 | 242 | 92 | 2.16 | 70 | 82.04 | 116.4 / 31.8 |
| KALE | 1190 | 243 | 32 | 7.63 | 49 | 63.03 | 0.0 / 0.0 |
| PINARBAŞI | 1010 | 243 | 60 | 4.65 | 89 | 84.26 | 37.3 / 9.3 |
| İNEBOLU | 965 | 231 | 45 | 5.54 | 84 | 75.81 | 71.0 / 19.3 |

Bunlara ek olarak, hatalı verilerin ayıklanmasından sonra KSE uydu görüntüleri SPA istasyonu ile kıyaslama için kullanılmış ve istasyonun içinde bulunduğu hücre ile aşağıda formülleri verilen RMSE (Hata Karelerinin Ortalama Kökü) ve MAE (Ortalama Mutlak Hata) gibi istatistiksel yöntemlerle değerlendirilmiştir.

2017 kar sezonu için Çizelge 2’ de bütün SPA istasyonlarının uyduyla değerlendirmesi ve Şekil 6’da ise örnek olarak Palandöken SPA istasyonunun uydu ile grafiksel ilişkisi sunulmuştur. İstasyonda bulunan eğimli ölçüm kablosu KSE-1 ve yatay ölçüm kablosu ise KSE-2 olarak gösterilmiştir. Teknik problemlerden

dolayı kablosu veya tamamen kendisi çalışmamış istasyonlar (Nemrut ve Cimil) ve uydu ile ortak gözlem çifti bulunmayan

istasyonlar (Çamkoru ve Kale) için değerlendirme yapılamamıştır.



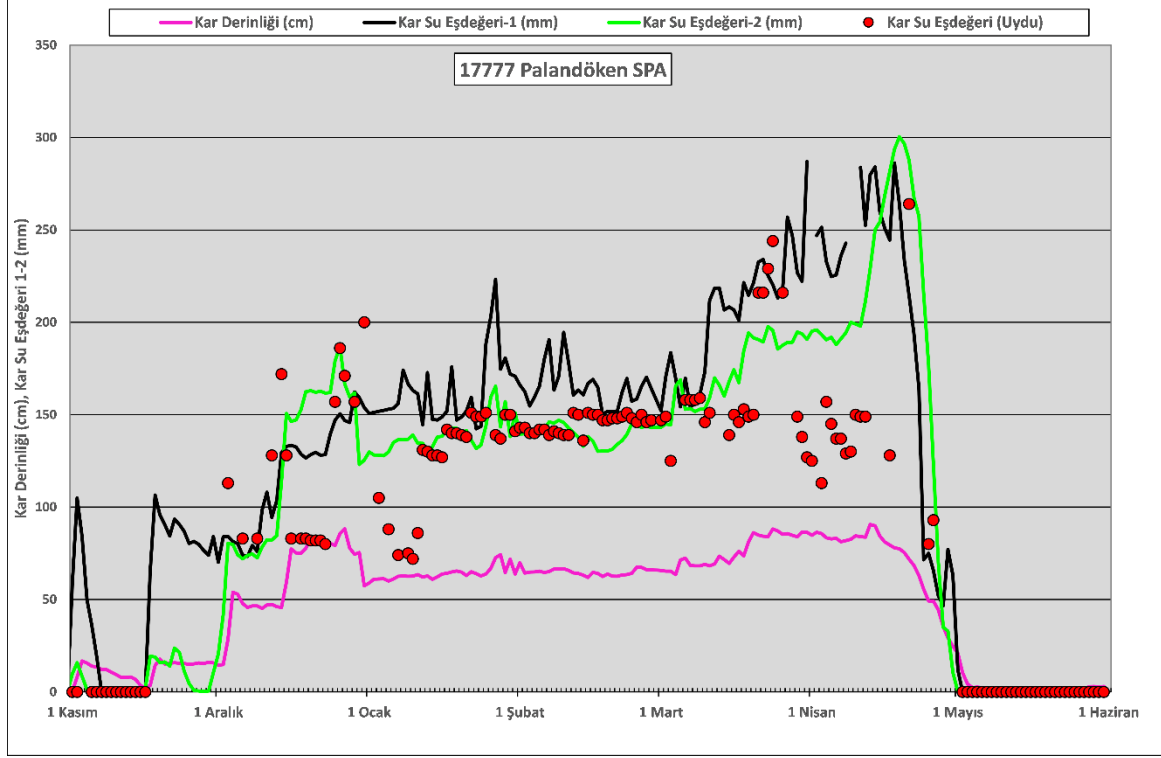
Şekil 5 – 2017 kar sezonu Palandöken SPA istasyon ölçüm örneği

İlgili grafik incelendiği zaman; uydudan elde edilen KSE değerlerinin kar sezonunun başında ve sonunda daha iniş çıkışlı bir seyir, Ocak ayından sonra ise daha istikrarlı bir seyir gösterdiği gözlenebilmektedir. Beklenildiği gibi sezon içerisinde yatay ve eğimli ölçüm kablolarının KSE ölçümlerinde kar birikmesinden dolayı sezon süresince artış gözlenmektedir. Uydu görüntüsü KSE değerleri için de zamansal olarak benzer artış göze çarpmaktadır. Genel olarak SPA istasyonları 2017 sezonunda iyi derecede değerlendirilebilecek kar bileşeni ölçmüşlerdir, ancak uydu görüntüleri tutarlılığı açısından çok farklı davranmışlardır. Yatay ölçüm kablosu (KSE-2) eğimli ölçüm kablosuna (KSE-1) göre uydu görüntüleri ile daha uyumludur. Performans sonuçları RMSE açısından KSE-1 45 - 266 mm arasında, KSE-2 ise 36 - 314 mm arasında değişmektedir. Literatürde, KSE yer gözlem-uydu RMSE hata oranı dağlık alanlar için 40 - 50 mm'ye kadar

başarılı kabul edilmektedir [H-SAF PVR, 2012]. Palandöken, Bayramören, Bünyan ve Pınarbaşı istasyonları uydu ile tutarlı iken, Nemrut ve Ovacık istasyon ölçümlerinin daha tutarsız olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeni; 25 x 25 km'lik bir alanı temsil eden kaba mekânsal çözünürlüğe sahip uydu görüntüsünün istasyonda ölçülen KSE değerini temsil edememesi olarak düşünülmektedir. Ayrıca Nemrut (maksimum 200 cm) ve Ovacık (maksimum 120 cm) gibi çok fazla kar tutan istasyonların bulunduğu bölgelerde, literatürden de bilindiği üzere pasif mikrodalga yansımaları 100 - 150 cm' den derine nüfuz edememekte ve dolayısıyla hatalı sonuçlar verebilmektedir. Yine Nemrut ve İnebolu gibi istasyonların büyük su kütlelerine (Van Gölü veya Karadeniz) yakın olması yer ölçümü-uydu performansının düşük olmasının diğer bir nedeni olarak değerlendirilmektedir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(SPA_i - Uydu_i)^2]} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |SPA_i - Uydu_i| \quad (2)$$



Şekil 6 - 2017 kar sezonu Palandöken SPA istasyonu ve KSE uydu görüntüsü ilişkisi

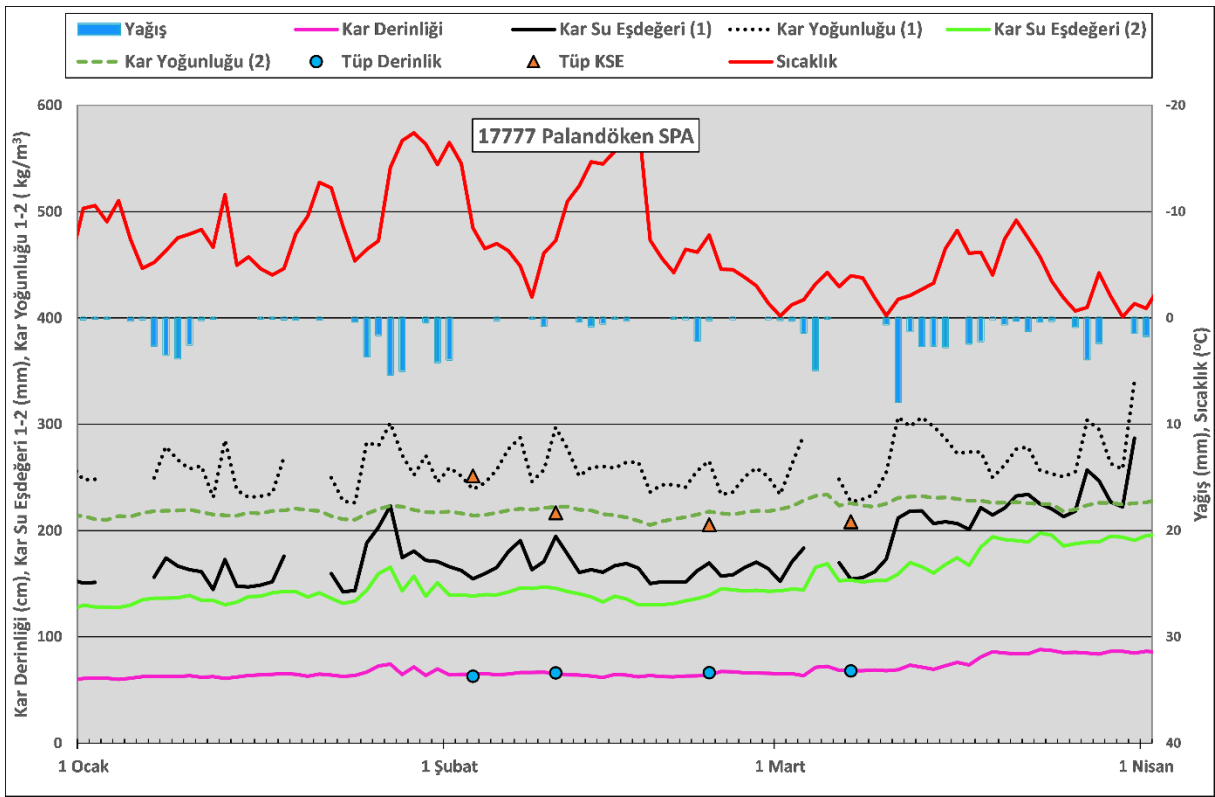
Çizelge 2- 2017 kar sezonu (1 Ekim 2016 – 31 Mayıs 2017) yer gözlem-uydu değerlendirilmesi

| | Yükseklik (m) | Ortak Gözlem Sayısı | RMSE (mm) | | MAE (mm) | |
|-------------------|---------------|---------------------|-----------|--------|----------|--------|
| | | | KSE-1 | KSE-2 | KSE-1 | KSE-2 |
| PALANDOKEN | 2615 | 106 | 62.66 | 38.69 | 43.12 | 26.87 |
| NEMRUT | 2550 | 86 | * | 313.94 | * | 244.05 |
| CİMİL | 2072 | * | * | * | * | * |
| AYDINTEPE | 1597 | 8 | 53.78 | 46.62 | 47.71 | 41.73 |
| BAYRAMÖREN | 1450 | 23 | 87.02 | 29.56 | 62.02 | 22.77 |
| ÇAMKORU | 1402 | 0 | - | - | - | - |
| BÜNYAN | 1335 | 23 | 44.08 | 60.14 | 43.91 | 55.28 |
| OVACIK | 1280 | 72 | 266.44 | 192.65 | 220.80 | 173.49 |
| KALE | 1190 | 0 | - | - | - | - |
| PINARBAŞI | 1010 | 27 | 77.47 | 36.89 | 74.09 | 30.37 |
| İNEBOLU | 965 | 27 | 140.84 | 104.99 | 122.88 | 77.25 |

* Sezon içerisinde ölçümü bulunmayan istasyon (istasyondan veri alınamamış veya istasyon kablosu çalışmamış)

Ayrıca, 2017 kar sezonu için Şubat ve Mart aylarında olmak üzere toplam dört defa Palandöken SPA istasyonunda manuel kar tüpü ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler için uluslararası standartlara uygun olan ve Türkiye'de Devlet Su İşleri'nin sorumluluğunu üstlendiği kar rasatlarında da kullanılan Kar Numune Alma Tüpü (Federal - Mount Rose) kullanılmıştır. Manuel ölçümlerden elde edilen değerler ile otomatik istasyon ölçümleri karşılaştırılmıştır (Şekil 7). Bu sonuçlara göre, kar örtüsünün nispeten daha az değişkenlik gösterdiği ve sürekliliğinin olduğu söz konusu dönem içinde otomatik ve manuel kar derinlik ölçümleri oldukça tutarlıdır. Buna karşın SPA istasyonu manuel ölçüm döneminde 150 - 200 mm KSE değeri ölçerken, manuel ölçümler

sonucunda 200 - 250 mm KSE değerleri belirlenmiştir. Otomatik ve manuel ölçümler arasında sistematik bir fark olmasının nedeni olarak; SPA istasyonun yoğunluk ölçümlerinden meydana gelen bir durum olduğu düşünülmektedir. 1 Ocak - 1 Nisan tarihleri arasında SPA istasyonunda (1) numaralı eğimli kablo 250 - 300 kg/m³, (2) numaralı yatay kablo ise 200 - 250 kg/m³ kar yoğunluğu ölçmüştür. Ancak kar kütesinin fiziksel yapısı ve başkalaşım (metamorfoz) geçirmesi göz önüne alındığı zaman, yerde bekleyen karın yoğunluğunun daha fazla (300 - 350 kg/m³) olması öngörülmektedir. Bu yanlış yoğunluk ölçümlerinin sonucunda, olduğundan daha düşük KSE ölçümlerinin meydana gelmiş olma durumunu ortaya çıkarmaktadır.



Şekil 7 - 2017 kar sezonu Palandöken SPA istasyonu manuel ölçüm ve istasyon ilişkisi

5 YORUMLAR

Türkiye'nin dağlık bölgelerindeki memba havzalarında kar erimesinin meydana getirdiği akımlar, bahar ve yazın ilk ayları süresince yıllık toplam akım hacminin yaklaşık 2/3'ünü oluşturması sebebiyle büyük bir öneme sahiptir. Bu nedenle, özellikle büyük barajların bulunduğu havzalarda, kış aylarında biriken kar miktarının alansal ve zamansal olarak takip edilmesi ülkenin su kaynaklarının verimli şekilde

kullanılması için özen gösterilmesi gereken bir konudur.

Bu çalışmada ülkemizde yeni kurulmuş olan 11 adet SPA otomatik kar ölçüm istasyon verisi ve bu istasyonların uydu görüntüleriyle olan tutarlılığı 2017 kar sezonu için incelenmiştir. Bazı istasyonlarda kesintisiz ve kaliteli veri elde edilirken diğerlerinde çeşitli sorunların yaşandığı tespit edilmiştir. İstasyon kar ölçümleriyle uydu verisi karşılaştırıldığında ise RMSE ölçütüyle 30 - 314 mm arasında hatalar hesaplanmıştır.

Oluşan bu farkların istasyon konum temsiliyeti, çok az/fazla kar derinliği, şehir/orman/su arazi kullanımına yakınlık gibi sebeplerden kaynaklandığı vurgulanmıştır. Bu noktada istasyon yer seçiminin ne kadar önemli olduğu ön plana çıkmakta ve bu çalışmayla bazı istasyonlarda yapılabilecek yer değişikliğinin daha güvenilir veri elde etme açısından isabetli olacağı değerlendirilmiştir.

2017 kar sezonunda ayrıca otomatik ve manuel kar ölçümleri karşılaştırılmıştır. Palandöken SPA istasyonu ile yanında yapılan kar tüpü ölçümlerine bakıldığında kar derinliğinin oldukça tutarlı ölçüldüğü ancak kar su eşdeğeri açısından otomatik SPA istasyonunda daha düşük değerler elde edildiği saptanmıştır. Bu durumun SPA istasyonunda ölçülen kar yoğunluk değerlerinin sezon içinde beklenenden daha düşük olduğu ve bunun sebebinin de kablolar etrafında oluşan bitki örtüsü ve dolayısıyla hava boşluklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer durumun tekrarlanmaması için kar sezonu öncesi SPA istasyonlarında detaylı bir bakım/onarım yapılması önerilmiştir. Uzun zamandan beri DSİ/EİEİ gibi kurumlar tarafından devam ettirilen manuel kar tüp ölçüm metodunun yanı sıra kar çukur (snow pit) ölçümleri gibi detaylı yer ölçüm tekniklerinin de uygulanması, veri kalitesi ve çeşitliliğine katkı sağlayacağı önerilmektedir. Kar örtüsünün kesit ölçümleri olarak tespit edilmesi ve kar bileşenlerinin birikme/erime dönemlerinde detaylı takibi, bölgedeki çığ oluşum durumu için de ön bilgi sağlayabilecektir.

Yükseklik bakımından kar potansiyeli fazla olan ülkemizde bu tarz uygulamaların uzun yıllar devam ettirilip kaliteli ve gerçek zamanlı veri toplanması başta bölgedeki kar potansiyelinin yakından izlenmesi bakımından son derece önemlidir. Ayrıca elde edilen verilerin kar/hidrolojik modellemede kullanılması, kar örtüsünün zamansal ve miktarsal olarak getirebileceği su miktarını önceden tahmin edebilmek ve buna göre baraj işletmesi planlamak da sağlayacağı diğer faydalar arasında olacaktır. Bu durum su zengini olmayan Türkiye'nin daha verimli su kaynakları yönetimini sağlayabilecek ve hidro-politik açıdan da elini güçlendirecektir.

6 TEŞEKKÜR

Bu çalışma Devlet Su İşleri (DSİ) 8. Bölge Müdürlüğü, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ve Eskişehir Teknik Üniversitesi 1610F676 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) tarafından desteklenmiştir.

7 KAYNAKLAR

- Akyürek, Z. ve Şorman, A.Ü., Accuracy Assessment of a Landsat Assisted Land-cover Mapping Case Study: City of Erzurum and its Vicinity-Turkey, 3rd International Remote Sensing Symposium of Urban Areas, İstanbul, Türkiye, Vol. 2, pp. 529-536, 2002
- Akyürek, Z., Süreç, S. ve Beser, Ö., Investigation of the snow-cover dynamics in the Upper Euphrates Basin of Turkey using remotely sensed snow-cover products and hydrometeorological data, Hydrological Processes, 25(23), 3637-3648, 2011
- Baumgartner, M.F. ve Rango, A., A microcomputer based alpine snowcover analysis system (ASCAS), Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 61 (12), 1475-1486, 1995
- Etchevers, P., E. Martin, R. Brown, C. Fierz, Y. Lejeune, E. Bazile, A. Boon, Y.-J. Dai, R. Essery, A. Fernandez, Y. Gusev, R. Jordan, V. Koren, E. Kowalczyk, R. Nasonova, D. Pyles, A. Schlosser, A. Shmakin, T. G. Smirnova, U. Strasser, D. Verseghy, T. Yamazaki, and Z.-L. Yang, 2002: SnowMiP, an intercomparison of snow models: first results. In: Proceedings of the International snow science workshop, Penticton, Canada, 29 Sep.-4 Oct., 2002
- Fierz, C., Armstrong, R.L., Durand, Y., Etchevers, P., Greene, E., McClung, D.M., Nishimura, K., Satyawali, P.K. and Sokratov, S.A., The International Classification for Seasonal Snow on the Ground. IHP-VII Technical Documents in Hydrology N°83, IACS Contribution N°1, UNESCO-IHP, Paris, 2009
- Guneriussen, T., Bjerke, P.L., Hallikainen, M., Hiltbrunner, D., Johnsen, H., Jaaskelainen, V., Kolberg, S.A., Koskinen, J., Maltzer, C., Pullianen, J., Sand, K., Solberg, R. Standley, A. ve Wiesmann, A., Research and Development of Earth Observation Methods for Snow Hydrology, SnowTools Final Report, NORUT Report, 431/47, 2000
- Haberkorn, A. (Ed.), European Snow Booklet, 363 pp., doi:10.16904/envidat.59, 2019
- Hall, D.K. ve Martinec, J., Remote sensing of ice and snow, Chapman and Hall, London, 1985
- H-SAF PVR, Product Validation Report (PVR-13_1.2.1) for product H13, 2012
- Kaya, I., Application of Snowmelt Runoff Model using remote sensing and geographic information systems, Master of Science Thesis, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, 1999

- Kinar N. J. ve Pomeroy J. W., Measurement of the physical properties of the snowpack, *Reviews Geophysics*, 53, doi:10.1002/2015RG000481, 2015
- Krajci P., Danko M., Hlavco J. ve Holko L., Experimental measurements for improved understanding and simulation of snowmelt events in the Western Tatra Mountains, *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 2016
- Martinec, J. ve Rango, A., Interpretation and utilization of areal snow cover data from satellites, *Annals of Glaciology* Vol. 19, pp. 166-169, 1987
- Nagler, T. ve Rott H., The application of ERS-1 SAR for snowmelt runoff modeling. In: M.F. Baumgartner, G.A. Schultz, ve A.I. Johnson (eds), 55th Scientific Assembly of the International Association of Hydrological Sciences, Rabat, Morocco, 28-30 April, IAHS Publication No.242, pp. 119-126, 1997
- NOAA, Snow Measurement Guidelines for National Weather Service Surface Observing Programs, National Weather Service Office of Climate, Water and Weather Services, 2013.
- Rango, A., Salomonson, V.V., ve Foster, J.L., Seasonal streamflow estimation in the Himalayan region employing meteorological snowcover observations, *Water Resources Research*, Vol. 13 (1), 109-112, 1977
- Rango, A., Spaceborne remote sensing for snow hydrology applications, *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 41, 477-494, 1996
- Rott, H., Nagler, T., Glendinning, G., Wright, G., Miller, D., Gauld, J., Caves, R., Ferguson, R., Quegan, S., Turpin, O., Clark, C., Johansson, B., Gyllander, A., Baumgartner, M., Kleindienst, H., Voigt, S. ve Pirker, O., HYDALP. Hydrology of Alpine and High Latitude Basins. Final Report. Institut für Meteorologie and Geophysik, Universität Innsbruck, Mitteilungen, 2000
- Proksch M., Rutter N., Fierz C. ve Schneebeli M., Intercomparison of snow density measurements: bias, precision, and vertical resolution, *The Cryosphere*, Vol. 10, Pages 371–384, 2016
- Seidel, K., Brush, W. ve Steinmeier, C., Experiences from real time runoff forecasts by snow cover remote sensing, *IEEEIGARSS*, 1994
- Sönmez İ, A.E. Tekeli, E. Erdi, Snow cover trend analysis using Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System (IMS) data over Turkey, *International Journal of Climatology*, 34(7): 2349–2361, DOI: 10.1002/joc.3843, 2014
- Şorman, A. A., Şensoy, A., Tekeli, A. E., Şorman, A. Ü. ve Akyürek, Z., Modeling and forecasting snowmelt runoff process using the HBV model in the eastern part of Turkey, *Hydrological Processes*, 23, 1031–1040, 2009
- Şorman, A., Ü. ve Beşer, O., Determination of snow water equivalent over the eastern part of Turkey using passive microwave data, *Hydrol. Process.* 27, 1945–1958, 2013
- Şorman, A. A., Uysal G., Şensoy, A., Probabilistic snow cover and ensemble streamflow estimations in the Upper Euphrates Basin, *J. Hydrol. Hydromech.*, 67, 2019
- Tekeli, A.E., Akyürek, Z., Şensoy, A., Şorman, A.A. ve Şorman, A.Ü., Modelling the temporal variation in snow-covered area derived from satellite images for simulating/forecasting of snowmelt runoff in Turkey, *Hydrological Sciences Journal*, 50 (4), 669-682, 2005
- Tekeli A. E., Early findings in comparison of AMSR-E/Aqua L3 global snow water equivalent EASE grids data with in situ observations for Eastern Turkey, *Hydrological Processes*, Vol 22, Issue 15, pp 2737-2747, DOI: 10.1002/hyp.7093, 2008
- Wiesnet, D.R., Ropelevski, C.F., Kukla, G.J. ve Robinson, D.A., A discussion of the accuracy of NOAA satellite derived global seasonal snow cover measurements, *IAHSpublications*, Vol. 166, 291-304, 1987

DOLUSAVAK YAPILARINDA SAYISAL MODELLEMENİN UYGULANMASI: KAVŞAK BENDİ HİDROELEKTRİK SANTRALİ (HES) ÖRNEĞİ

Şerife Yurdağül KUMCU
Necmettin Erbakan Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü 42090, Meram KONYA
yurdağulkumcu@gmail.com

Mehmet Ali KÖKPİNAR
TED Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü 06420, Kolej ANKARA
mkokpinar@superonline.com

(Makalenin geliş tarihi: 26.08.2019, Makalenin kabul tarihi: 06.11.2019)

ÖZ

Hidrolik mühendisliğinde her bir barajın projelendirilmesi, barajın şekli, amacı, havza özellikleri ve topoğrafyası ile özel olduğu ve herhangi bir tip projesi yapılamadığı için, inşaat aşamasına geçmeden önce barajların emniyet yapıları olan dolusavakların fiziksel ve/veya matematiksel modellenme yöntemleri ile test edilmesi emniyet açısından çok önemlidir. Fiziksel modellemede ölçek etkisi, zaman ve laboratuvar şartları, matematiksel modellemede ise yapılan varsayımlar ve ilk yatırım maliyeti, her ne kadar kısıtlayıcı olsa da modelleme inşaat ve işletme aşamasında karşılaşılabilecek problemlerin önceden tespit edilmesinde son derece faydalı olmaktadır. Fiziksel model (PM) çalışmaları sırasında, bir seri deneysel çalışma yapılarak; hız profilleri, anahtar eğrisi, su yüzeyi profilleri ve çeşitli konumlardaki basınçlar, enerji kırıcı havuzun çalışma şartları gibi özellikler ölçülmektedir. Bilgisayar teknolojilerinin büyük bir hızla gelişmesi ve sayısal çözümlerdeki son ilerlemeler, mühendisleri sayısal modelleme yapmaya da yönlendirmektedir. Bu çalışma kapsamında Kavşak Bendi Hidroelektrik Santrali (HES) Projesi'nin hidrolik özellikleri, laboratuvarda yapılan 1/50 ölçekli fiziksel model ile deneysel olarak incelenmiştir. Akım derinliği, deşarj debisi ve basınç okuma değerleri farklı akım koşullarında ölçülmüştür. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar ile orijinal proje üzerinde önemli değişiklikler yapılmıştır. Deney çalışmalarına ek olarak, sayısal modellemenin (CFD) dolusavak akımı modellenmesinde kullanılabilirliğini ve uygun bir çözüm olup olmadığını görmek için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) simülasyonu da yapılmıştır. Matematiksel modellemede, Reynolds-Ortalama Navier-Stokes (RANS) denklemlerini çözen FLOW-3D programı kullanılmıştır. FLOW-3D programı, hesaplama alanında, akımın kısmen veya tamamen doldurduğu hücreleri tanımlayarak çözüm yapmaktadır. Çalışmanın sonunda proje ve her iki model çalışmasından elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Fiziksel modelleme ile sayısal modellemenin karşılaştırılması için anahtar eğrisi, deşarj kanalındaki akım profilleri ile kavitasyon sayısı, hız ve basınç ölçümleri kullanılmıştır. Dolusavak modellemesinde, akım özelliklerinin karşılaştırılması sonucu fiziksel ve sayısal modellemeden elde edilen sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür

Anahtar Kelimeler: Dolusavak Tasarımı, Fiziksel Modelleme, Sayısal Modelleme, Dolusavak Yapısı

APPLICATION OF NUMERICAL MODELING ON SPILWAY STRUCTURES: A CASE STUDY OF KAVŞAK BENDİ HYDROELECTRIC POWER PLANT (HEPP)

ABSTRACT

The design of each dam in hydraulic engineering should be tested by physical and / or mathematical modeling methods before construction phase, as the dam is special with its shape, purpose, basin characteristics and topography and does not have a typical project. Although there are some restrictives like the scale effect, modeling duration and laboratory conditions in physical modeling; assumptions made and investment cost in mathematical modeling, modeling is very useful in predicting the problems

which will arise during the construction and operation phase of the dam. During model studies, a series of experiments are carried out and velocity profiles, rating curves, water surface profiles and pressure measurements in various locations, energy dissipation pool operating conditions are investigated. Due to recent advances in computational power and numerical techniques, it is now also possible to obtain much of this information through numerical modeling. In this study, hydraulic characteristics of Kavsak Bendi Hydroelectric Power Plant (HEPP) Project have been experimentally investigated in the laboratory with a 1/50 scale. Flow depths, flow discharges and piezometer readings are measured at different flow conditions. Significant changes have been made on the original project according to the results obtained from experimental study. In order to evaluate the capability of the computational fluid dynamics on modeling spillway flow, a comparative study was made by using results obtained from physical modeling and computational fluid dynamics (CFD) simulation. A commercially available CFD program, which solves the Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) equations, was used to model the numerical model setup by defining cells where the flow is partially or completely restricted in the computational space. At the end of the study, the results of both model studies were compared with each other. Discharge rating curves, velocity patterns and pressures were used to compare the results of the physical model and the numerical model. It was shown that there is a reasonably good agreement between the physical and numerical models in flow characteristics.

Keywords: Spillway Design, Physical Modeling, Numerical Modeling, Spillway Structure

1 GİRİŞ

Su biriktirmek amacı için yapılan barajların, haznelerinde biriktirdikleri suların taşkın sırasında baraj gölünden akarsu yatağına emniyetli bir şekilde aktarılması gerekmektedir. Bu amaçla inşaa edilen dolusavak ve enerji kırıcı yapılar, hidrolik mühendisleri tarafından ilgi görmüş ve en çok çalışılan konular arasında yer almıştır. Plan ve projelendirilmesi düzgün yapılan yaklaşım kanalı akım şartları ile dolusavak ve enerji kırıcı havuz boyutları, olası bir taşkının rezervuardan dere yatağına güvenli bir şekilde aktarılmasını sağlayacaktır. Belirli bir ölçekte küçültülerek yapılan fiziksel model çalışması, hidrolik yapıların projelendirilmesinde ve incelenmesinde, yüzyılı aşkın zamandır kullanılmaktadır. Projesi yapılan bir dolusavak yapısının, doğrulamasının yapılması amacı ile deneysel çalışmalarla test edilerek fiziksel modellenmesi, günümüzde çok yaygın olarak tercih edilen bir yöntemdir [Willey ve ark., 2012]. Bilgisayar teknolojilerinin gelişmesi ve işletim sistemlerinin kapasitesilerinin artması ile dolusavak yapılarının da içinde yer aldığı hidrodinamik problemlerinin, fiziksel modellenmenin yanı sıra sayısal olarak da modellenmesini cazip hale getirmiştir. Ancak, sayısal modelleme sonuçlarının, kalibrasyon ve doğrulanması amacı ile hala deneysel çalışmalarla ve gerçek ölçümlerle karşılaştırılması gereklidir. Sayısal modellenmenin dallarından biri olan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (Computational Fluid Dynamics; CFD), hidrolik akım problemlerini sayısal olarak çözmek için geliştirilmiştir. Bu modelleme yöntemi ile, hidrolik yapıların üzerindeki veya etrafındaki akımlar ile akarsu akımları gibi akım sırasında akışkan ile katı

yüzey arasındaki etkileşimi içeren uygulamalar da çözülebilmektedir. CFD çözümlerinde, karmaşık doğa olaylarını tarif ederken hesap kolaylığı sağlamak amacı ile yapılan kabuller, elde edilen sonuçların gerçek sonuçlardan farklı olmasına neden olsa da, hızlı ve doğru sonuç verdiği, işçiliğe ihtiyaç duymadığı için CFD çözümleri hidrolik mühendisleri tarafından son yıllarda oldukça ilgi görmektedir. CFD'nin dolusavak modellemesi üzerindeki uygulamaları ile ilgili literatürde bulunan çalışmaların çoğu Reynolds-Ortalama Navier-Stokes (Reynolds Avaraged Navier-Stokes; RANS) denklemlerini çözen FLOW-3D' nin kullanıldığı çalışmalardır [Ho ve ark., 2003; Savage ve ark., 2001; Kim, 2010; Chanel, 2008]. RANS modelleri, türbülanslı akım özellikleri yerine ortalama akım profillerinin yeterli olduğu akım şartlarında tercih edilirler. Akım alanında sui le beraber başka bir akışkanın etkileşimi de önem kazanıyorsa, çok fazlı modellemeler düşünülmelidir. Açık kanal akım şartlarında hava-su etkileşimi olduğu için, FLOW-3D serbest su yüzeyi profilini çizme aşamasında (hava / su ara yüzeyini belirleme sırasında), Akışkanın Hacmi (Volume of fluid; VOF) olarak adlandırılan gelişmiş bir algoritma kullanır. VOF yöntemi, hesaplama yapılan her bir hücrede akışkan miktarının belirlenmesi ile bir sonraki hücrenin hesabına geçer. Hacimsel değişme, akımın her bir hücreden komşu hücreye girmesi ya da komşu hücreden çıkması ile olmaktadır. Bu çözüm metoduna göre her hesaplama hücresi akışkan ile tamamen boş ya da doludur. FLOW-3D, akım sırasında karşılaşılan problemler için de Alan/Hacim oransal gösterimi (Fractional Area Volume Obstacle Representation; FAVOR) metodunu kullanmaktadır [Hirt ve Sicilian, 1985]. Pek çok

hesap yönteminde sayısal çözümler hücrelerden oluşurken, FAVOR yönteminde her akım hücresi bir bütün olarak hesaplanır. Teklemariam ve ark. [2001],[hazırladıkları raporda FLOW-3D hesap yöntemi ile buldukları sonuçlar ile deneysel çalışma sonuçlarının çok uyumlu sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. FLOW 3D el kitabında da FLOW 3D'den elde edilen akım şeklinin, debi ve hız ölçümlerinin deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlarla çok uyumlu olduğu belirtilmiştir [Flow-3D User's manual, 2012]. Teklemariam ve ark., [2008] yaptıkları araştırmada, hidrolik yapıların ve batardo yapılarının; tasarım, izlenme ve optimizasyon çalışmalarında, CFD model çalışmalarının başarılı sonuçlar verdiğini ancak sonuçların, fiziksel model çalışma sonuçları ile teyit edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Bu çalışma kapsamında, Kavşak Bendi Barajı'na ait dolusavak yapısının proje hesapları, hem deneysel modelleme, hem de FLOW-3D matematiksel modelleme yöntemi ile test edilmiş ve sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak her bir modelleme sonucundan elde edilen anahtar eğrisi, akım profilleri ve dolusavak basınç ölçümlerinin benzer sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

2 FİZİKSEL MODEL

Kavşak Bendi HES projesi çalışmaları 1000 yıl tekerrürlü taşkın debisi olan 3856 m³/s'ye göre projelendirilmiş ve 10000 yıllık taşkın debisi olan 5053 m³/s'ye göre test edilmiştir. Bu nedenle, model çalışmalarında da aynı çalışma şartlarını sağlayabilmek için 1 adet 1,5 m'lik keskin kenarlı dikdörtgen kesitli savak, 1 adet de 0,30 m çapında iletim borusu kullanılmıştır. Modelde baraj rezervuarından suyun uniform ve dinlenmiş bir şekilde dolusavağa verilebilmesi için baraj rezervuarı ile savak ve iletim hattından dökülen suyun arasına tuğla duvar örülmüş, tuğlaların önüne delikli/gözenekli sac plakalar yerleştirilmiştir. Yüksek debilerde su yüzeyinde oluşacak dalgalanmaları önlemek için, ahşap çubuklardan oluşan, kafes şeklinde enerji kırıcılar yerleştirilmiştir.

Kavşak Bendi HES dolusavak Model çalışmalarında, viskoz kuvvetler yerçekimi ve atalet kuvvetleri yanında ihmal edilebileceğinden, Froude benzeşim kuralları kullanılmıştır. Laboratuvar olanakları, deney çalışmaları için gerekli olan süre ve işçilik de göz önünde tutularak 1/50 ölçekli olarak DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı Hidrolik Laboratuvarı'nda inşaa edilmiştir [Kumcu, 2010]. Model çalışmaları yapılırken ilk aşamada, orjinal proje durumundaki hidrolik akım koşullarına bakılmıştır. Orjinal proje

durumuna göre baraj rezervuarının akım koşulları üzerinde etkisinin hissedildiği büyük bir bölümü, dolusavak yapısının tamamı ve enerji kırıcı havuzdan sonraki dere yatağının inşaatı yapılmıştır.

2.1 FİZİKSEL MODEL DENEYLERİ

Kavşak Bendi HES'e ait dolusavağın genişliği 45.8 m, uzunluğu 57 m ve eğimi 125%'dir. Model testleri sırasında akımın hız ölçümleri ultrasonik akımölçer ile yapılırken, basınç ölçümlerinde, ölçüm yapılacak her noktada piyezometre uçlarına yerleştirilen piyezometre boruları kullanılmıştır. İşletme sırasında rezervuar su seviyesine karşılık gelen mansap kuyruksuyu yükseklikleri Çizelge 1'de verilen 4 farklı işletme şartlarında yapılmıştır. Su seviyeleri ayarlanırken kontrol vanaları, kuyruksuyu seviyeleri ayarlanırken de model sonuna yerleştirilen kontrollü savak yapısı kullanılmıştır.

Çizelge 1 - Rezervuar su seviyesine karşılık ve kuyruksuyu işletme şartları

| Deney no | Rezervuar su seviyesi (m) | Kuyruksuyu seviyesi (m) |
|----------|---------------------------|-------------------------|
| 1 | 306,55 | 168,00 |
| 2 | 311,35 | 174,50 |
| 3 | 314,00 | 178,90 |
| 4 | 316,50 | 182,55 |

Çizelge 1'de verilen işletme şartlarından; 3. satırda verilen değerler 1000 yıllık taşkın debisi, $Q_{1000}=3856\text{m}^3/\text{s}$ için olup son satırdaki değerler ise 10000 yıllık taşkın debisi, $Q_{10000}=5053\text{m}^3/\text{s}$ 'ye karşılık gelmektedir. Laboratuvarda yapılan model çalışmasının genel görünüşü Şekil 1'de verilmektedir.



a)



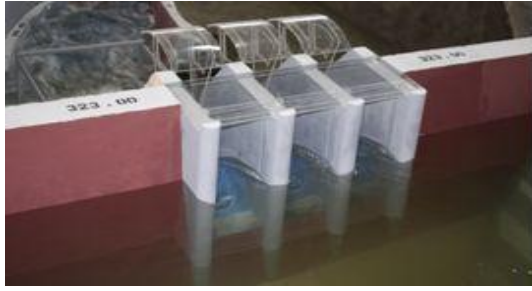
b)

Şekil 1 - Çalışma alanının a) Mansaptan görünüşü b) Üstten görünüşü (Kumcu, 2010)

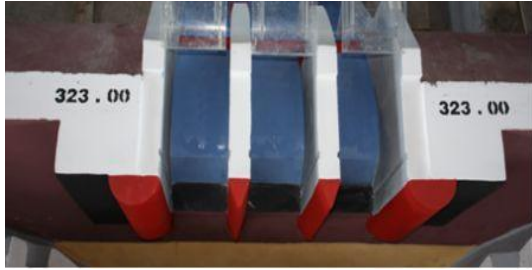
2.1.1 Yaklaşım kanalında yapılan deneyler

Düzgün akım koşulları elde etmek ve yaklaşım kanalı boyunca enerji kayıplarını azaltmak için, akım hızı yaklaşım kanalında 5 m/s' den daha küçük olmalıdır (Şentürk, 1994). Bu akım şartlarının sağlanması ve akımın uniform bir şekilde, her bir kapak açıklığından dolusavak yapısına mümkün olduğu kadar eşit debilerle iletilmesi için, ayırma duvarları üzerinde revizyon yapılmıştır. Bu duvarlar akımı daha iyi

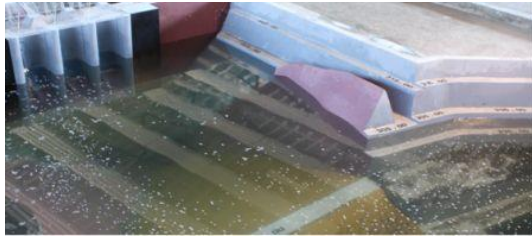
yönlendirecek şekilde membaya doğru uzatılmıştır. Benzer düzenlemeler dolusavak yapısı üzerine doğru uzanan ayırma duvarlarında da yapılmıştır. Dolusavak üzerindeki ayırma duvarları konsol gibi davranmaktadır. Stabilité problemleri yaşanmaması için, bu ayırma duvarları tabana doğru uzatılmış, daha sonra eğimli olarak baraj gövdesi ile birleştirilmiştir (Şekil 2).



a)



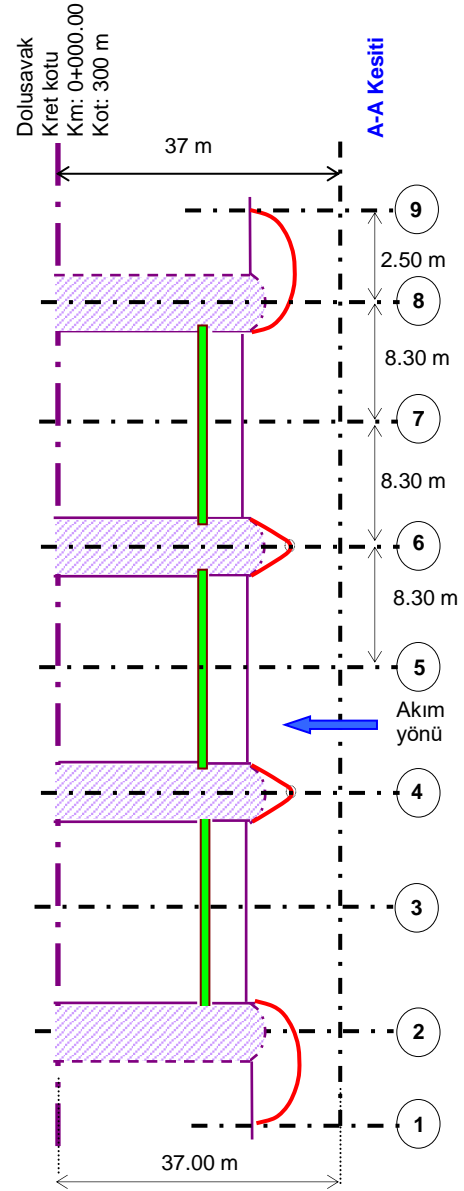
b)



c)



d)



e)

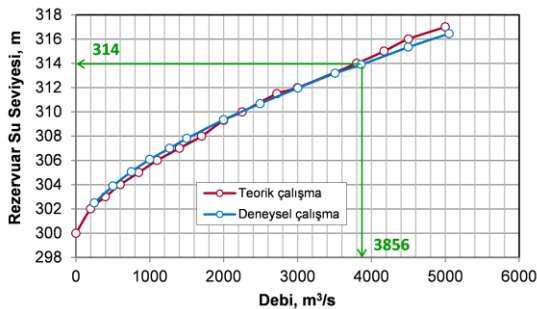
Şekil 2 - Yaklaşım kanalında deneysel çalışma sonucunda yapılan düzenlemeler a) Orjinal proje durumuna göre ayırma duvarları b) Final proje durumuna göre ayırma duvarları c) Orjinal proje durumuna göre rezervuar topoğrafyası d) Final proje durumuna göre rezervuar topoğrafyası e) Ayırma duvarlarının plan görünüşü ve akım ölçüm noktaları

2.1.2 Dolusavak Deşarj Kapasitesi

Dolusavak üzerinden geçen akım üç adet radyal kapakla kontrol edilmektedir. Deşarj kanalı ayırma duvarları ile üçe bölünmüş, daha sonra ayırma duvarları kesilmiş ve deşarj kanalı tek açıklıklı kanal olarak enerji kırıcı havuza bağlanmıştır.

Dolusavak deşarj kapasitesini belirlemek için, ilk aşamada tam kapak açıklığında, çeşitli debi değerlerine karşılık gelen rezervuar-su seviyesi ölçümleri yapılmıştır. Proje aşamasında yapılan çalışmalarda tam kapak açıklığında, 1000 yıllık taşkın ile ulaşılabilecek $Q=3856 \text{ m}^3/\text{s}$ debisinde baraj rezervuarında elde edilen su kotu yaklaşık olarak 318,00 m olarak hesaplanmıştır. Model çalışmalarında dolusavak memba yüzünde yapılan düzenlemelerden sonra, aynı şartlarda elde edilen rezervuar su seviyesi 314,00 m olarak ölçülmüştür (Şekil 3).

Ayrıca 10.000 yıllık taşkın debisi olan $Q_{\text{FEYEZAN}}=5053 \text{ m}^3/\text{s}$ ile ulaşılması beklenen maksimum rezervuar su seviyesi teorik olarak 321,20 m olarak hesap edilmiş, bu değer model çalışmalarında 316,50 m olarak ölçülmüştür. Model çalışmaları sonucunda elde edilen rezervuar su seviyelerinin teorik hesaplamalarla elde edilen rezervuar su seviyesi değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Bu fark laboratuvar çalışmasında yapılan modelden kaynaklı ölçüm etkisi veya proje hesaplarındaki kabullerden kaynaklı olabilmektedir. Sonuç olarak dolusavak, özellikle yüksek debilerde, yeterli deşarj kapasitesine sahip olup, teorik hesapla bulunan debi miktarını hesaplanan değerden daha düşük bir rezervuar seviyesinde deşarj edebilecektir.



Şekil 3. Dolusavak deşarj kapasitesi (Kumcu, 2010)

2.1.3 Dolusavak üzerinde yapılan deneyler

Dolusavak deşarj kanalı üzerindeki su basıncı atmosfer basıncının altına düştüğü zaman, betonda emme basıncı oluşup yapıda yıkılmalara ve ezilmelere neden olmaktadır. Dolusavak üzerindeki su basıncının düşebileceği en düşük basınç buhar basıncı

olup, akımda basınç ölçümleri buhar basıncının altına düşerse, akımda kaynamalarla beraber hava kabarcıkları oluşur. Bu hava kabarcıkları akım içinde hızın artması ile beraber, hareket edecek yer bulamayarak patlamaya başlar [Wagner,1967]. Bu patlamalar aşırı ses ve titreşimlere neden olur. Bu durum yapının bozulmasına neden olabilir [Vischer ve Hager, 1997]. Kaviteasyon yapılarında çok kısa sürede çok büyük hasarlara neden olabilir [Şentürk, 1980]. Havalandırıcılar, akımda hava-su karışımı sağlayarak, kaviteasyon riskini önlemek amacı ile yapılan dolusavak yapılarıdır [Falvey, 1990; Aydın, 2018; Pfister 2010a ve 2010b]. Dolusavak boşaltım kanalı üzerinde kaviteasyonun önlenmesi ancak sağlanan hava-su karışımı yeterli olması ile mümkündür. Deşarj kanalı üzerindeki hava konsantrasyonunun yeterli olmadığı durumlarda havalandırıcıların boyutlarının artırılması, havalandırıcı sayısının artırılması ya da havalandırıcıların üzerine rampa (saptırıcı) konulması gibi çalışmalar yapılmaktadır [Kokpınar and Gogus, 2002]. Kaviteasyon riski, aşağıdaki denklemde tanımlanan kaviteasyon sayısına göre kontrol edilir.

$$\sigma = \frac{P - P_v}{\frac{1}{2} \rho U^2} \quad (1)$$

Bu denklemde, σ boyutsuz kaviteasyon sayısı; P mutlak basınç (N/m^2); P_v , akışkanın buhar basıncı (N/m^2); ρ , akımın yoğunluğu (kg/m^3) ve U ortalama akım hızıdır (m/s). Kaviteasyon sayısı, kaviteasyonun başladığı zamanı temsil etmektedir [Kokpınar and Gogus, 2002]. Falvey'in [1990] yaptığı çalışmaya göre kritik kaviteasyon sayısı $\sigma = 0.2$ olup kaviteasyon olayı da $\sigma < 0.2$ olduğu durumda başlamaktadır. Dolusavak kanalı üzerinde yapılan basınç ölçümlerinde, kaviteasyon riskinin görülmesi üzerine, model deşarj kanalında oluşabilecek kaviteasyon tahkiki, kanal boyunca belirli noktalarda boyutsuz kaviteasyon indeksinin hesabi ile yapılır. Akım karakteristiklerini belirlemek ve kaviteasyon sayılarını hesaplamak için dolusavak boyunca basınç, akım derinliği ve debi ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde, $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$, $1000 \text{ m}^3/\text{s}$, $2500 \text{ m}^3/\text{s}$, $3856 \text{ m}^3/\text{s}$ ve $Q_{\text{FEYEZAN}}=5053 \text{ m}^3/\text{s}$ debilerinde için, dolusavak kapaklarının tamamen açık olduğu en olumsuz akım şartları çalışılmıştır. Yapılan çalışmalarda akım derinlikleri $\pm 0,2 \text{ mm}$ hassasiyetle ölçüm yapabilen limnometre ile direkt olarak ölçülürken basınç ölçümleri de piezometre uçları ile yapılmıştır. Yapılan çalışmaların detayları Kavşak Bendi HES Projesi Dolusavak Yapısı

Model Raporu'nda verilmiştir (Kumcu, 2010). Orjinal projede verilen tasarıma göre yapılan çalışmalarda $Q_{1000}=3856 \text{ m}^3/\text{s}$ ve $Q_{\text{FEYEZAN}}=5053 \text{ m}^3/\text{s}$ için yapılan ölçümlerde negatif basınç değerleri elde edilmiş ve kavitasyon riski olup olmadığını araştırmak için de kavitasyon sayıları hesaplanmıştır. Dolusavak boyunca yapılan deneysel çalışmalarda akımın, çok yüksek akım hızlarından ve değişken basınçlardan etkilendiği izlenmiştir. Deneysel çalışmalar sırasında elde edilen ölçümler Çizelge 2'de verilmiştir (Kumcu, 2010).

Çizelge 2. Dolusavak üzerindeki akım şartları

| No | Km | Q (m ³ /s) | U (m/s) | Kavitasyon Sayısı σ |
|----|----------|--------------------------|--------------|----------------------------------|
| 1 | 0+022.50 | 500 | 20.67 | 0.413 |
| 2 | 0+030.50 | 500 | 15.04 | 0.923 |
| 3 | 0+043.00 | 500 | 15.47 | 0.870 |
| 1 | 0+022.50 | 1000 | 18.21 | 0.544 |
| 2 | 0+030.50 | 1000 | 18.38 | 0.632 |
| 3 | 0+043.00 | 1000 | 20.51 | 0.509 |
| 1 | 0+022.50 | 2500 | 19.14 | 0.493 |
| 2 | 0+030.50 | 2500 | 20.40 | 0.549 |
| 3 | 0+043.00 | 2500 | 26.26 | 0.329 |
| 1 | 0+022.50 | 3856 | 20.30 | 0.429 |
| 2 | 0+030.50 | 3856 | 20.17 | 0.583 |
| 3 | 0+043.00 | 3856 | 27.78 | 0.218 |
| 1 | 0+022.50 | 5053 | 20.33 | 0.415 |
| 2 | 0+030.50 | 5053 | 21.72 | 0.517 |
| 3 | 0+043.00 | 5053 | 29.20 | 0.212 |

Çizelge 2 incelendiğinde, dolusavak üzerinde Km: 0+043.00'de, $Q_{1000}=3856 \text{ m}^3/\text{s}$ ve $Q_{\text{FEYEZAN}}=5053 \text{ m}^3/\text{s}$ debileri için ölçülen hızlar sırası ile 27.78 m/s ve 29.20 m/s iken kavitasyon sayıları da 0.218 ve 0.212'dir. Bu kavitasyon sayıları, kritik kavitasyon sayısı olan 0.2'ye çok yakındır ve dolusavak emniyeti açısından risk içermektedir. Bu durumda, tedbir alınması gerekmektedir. Dolusavak yapılarında kavitasyonu önlemek amacı ile yapıya eklenen havalandırıcılar ve saptırıcılar ile dolusavak yapısının yüzeyinin havalandırılması alınacak tedbirlerden biridir. Bu durum bazen dolusavak üzerinden yapılırken bazen de dolusavak yan duvarları tarafından yapılabilmektedir Yapılan literatür araştırması sonucu, ayırma duvarlarının kesilerek deşarj yapısının tek kanal olarak devam ettiği, dik ve kısa olan dolusavak deşarj yapılarında dolusavak deşarj yapısının üzerine, ayırma duvarlarının bittiği noktaya basamak şeklinde havalandırıcıların yapıldığı görülmüştür [Chanson, 2002]. Böylece ayırma duvarlarının

uç noktaları da havalanmaya yardımcı olmaktadır. Havalandırıcılar kavitasyonun olacağı düşünülen noktanın havalanması amacı ile hesap yapılan noktaya yerleştirilip, oluşturulan basamak yapısı ile dolusavak yüzeyine hava girişini sağlayarak, yüksek hızlardaki akımı kavitasyon noktasından daha ileriye yönlendirirler. Bu çalışma kapsamında, ayırma duvarlarının bittiği noktaya, tek bir kanal halinde dolusavak deşarj kanalının üzerine havalandırıcılar yerleştirilmiştir. Ayırma duvarları ve havalandırıcı yapısının detayı Şekil 4'de görülmektedir.

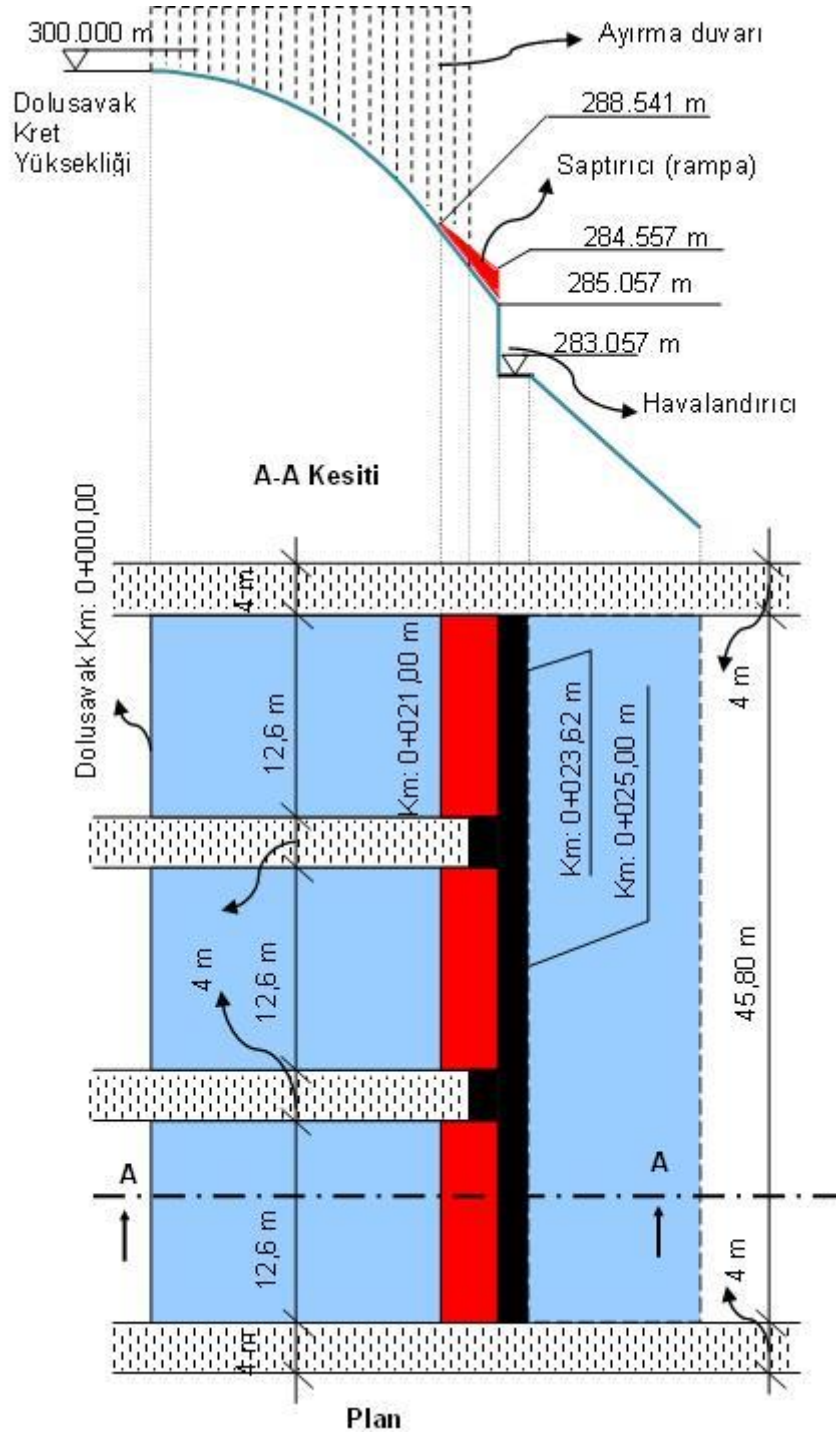


Şekil 4 - Dolusavak ayırma duvarları ve dolusavak deşarj kanalı havalandırma yapısı (Kumcu, 2010)

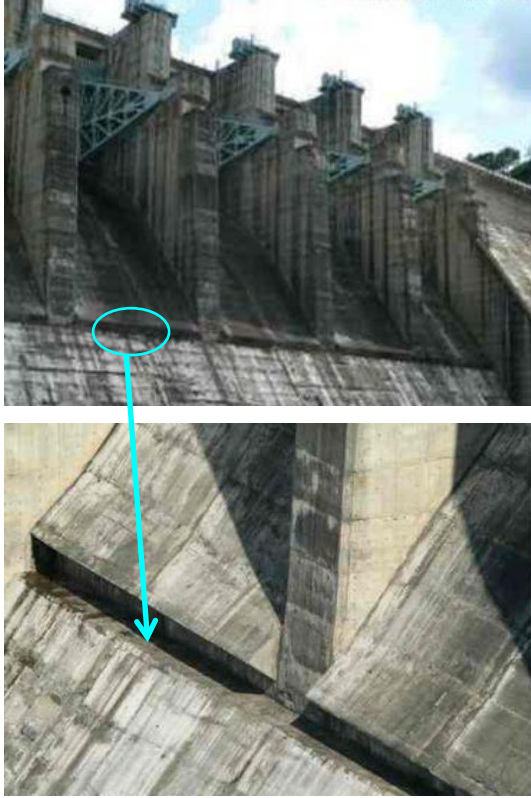
Literatürde, dolusavak boşaltım kanallarındaki akıma daha fazla hava karışmasını sağlamak, böylece boşaltım kanalı boyunca, havalandırıcıların performansını artırarak oluşabilecek kavitasyon riskini minimuma indirmek amacıyla çeşitli çalışmalar bulunmaktadır [Kökpınar ve Göğüş, 2002; Demiröz, 1997]. Bu çalışmalar sonucunda, havalandırıcılardan ayrılan su jetinin yörüngesinin akıma karışan havanın miktarında önemli derecede rol oynadığı görülmüştür. Havalandırıcılardan ayrılan su jeti boyunun uzunluğu ile akıma karışan hava arasında doğru orantının olduğu tespit edilmiş ve bu deneylerle ispatlanmıştır [Kökpınar ve Göğüş, 2002]. Havalandırıcıların neden olduğu su jetinin boyunun artırılmasının en pratik yolu havalandırıcıların üzerine saptırıcı (rampa) yerleştirilmesidir. Saptırıcılar su jeti boyunun uzamasına ve havalandırıcılardan emilen hava miktarının artmasına neden olmaktadır. Bu durum göz önüne alınarak hesaplanan kavitasyon indeksi değerlerinin kritik kavitasyon indeksi değeri 0.2'ye yakın olduğu için tasarımı yapılan havalandırıcıların üzerine saptırıcıların yerleştirilmesine karar verilmiştir. Havalandırıcıların ve saptırıcıların plan ve kesit görünüşü, Şekil 5'te gösterilmiştir. Havalandırıcıların uygulamadaki kesit görünüşü [Chanson ve Gonzalez, 2005] ile benzerliği ile çalışma şekli ve havalandırma miktarı Şekil 6'da

verilmiştir. Bu şekilde de açıkça anlaşılabilirdiği gibi, havalandırıcılar ve saptırıcılar etkili bir

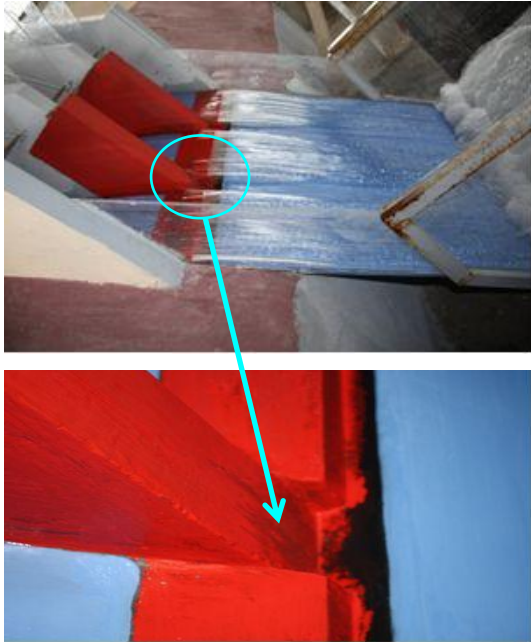
şekilde çalışmakta ve dolu savak kanalı havalanmaktadır.



Şekil 5 - Saptırıcılar ile havalandırıcıların plan ve kesit görünüşü



a) Havalandırıcıların arazide uygulanması
[Chanson ve Gonzalez, 2005]



b) Havalandırıcıların deneysel çalışmaya uygulanması (Kumcu, 2010)

Şekil 6 - Havalandırıcıların prototip ve model üzerinde uygulanması

Saptırıcıları model üzerine yerleştirildikten sonra havalandırıcılarda jet boyları ölçülmüş, saptırıcıların etkin olarak çalıştığı, havalandırıcıların havalandırma kapasitesinin saptırıcı ilave edildiği durumda yaklaşık iki katına çıktığı görülmüştür.

Yerleştirilen havalandırıcı ve saptırıcılarda yapılan jet boyu ölçümleri Çizelge 3' de verilmiştir.

Çizelge 3 - Deşarj kanalı üzerine yerleştirilen havalandırıcı ve saptırıcılardan sonra akımda oluşan hava jetlerinin uzunlukları

| Q m ³ /s | L _{jet} m |
|------------------------|-----------------------|
| 500 | 17,00 |
| 1000 | 20,00 |
| 2500 | 21,25 |
| 3856 | 21,75 |
| 5053 | 22,50 |

3 SAYISAL MODELLEME

Kavşak Bendi Barajı dolusavak yapısının fiziksel model çalışmaları sırasında, orijinal proje üzerinde pekçok değişiklik yapılmıştır. Yapılan değişikliklerden sonra nihai şeklini alan projenin sayısal modellenmesi de yapılarak; fiziksel model ile hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) modellenmesinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Akım alanının simülasyonunda ticari CFD paketi FLOW-3D sürüm 10.0 kullanılmıştır. FLOW-3D CFD modellenmesinde Reynolds Ortalamalı Navier Stokes (RANS) denklemlerinin çözümü sırasına sonlu hacimler yöntemini kullanır. Serbest yüzeyli akımların, Akım Hacmi (Volume of Fluid – VOF) yöntemi Nichols ve Hirt [1975] tarafından çözülmüş olup daha ileri çalışmaları yine Hirt ve Nichols tarafından 1981'de yapılmıştır. TruVOF olarak tescilli olan bu yöntem, programın ayırt edici özelliklerinden biridir ve serbest yüzeyli akımların çözümünde iyi sonuçlar vermektedir. Bu yöntemde aşağıdaki fonksiyonlar tanımlanabilmektedir:

- Hesaplama yapılan hücrenin içinde tanımlanan serbest yüzeyli akımın konumunu ve eğilimi,
- Serbest yüzeyli akımın hücreler boyunca takip edilebilmesi,
- Sınır koşullarının gerçek akım şartları ile uyumluluğu.

Hirt [1992] tarafından geliştirilmiş olan FAVOR metodu, tanımlanan her bir akım hücresinin su ile doluluğuna bağlı olarak, akışa engel teşkil

eden cisimlerin konumlarının ve şekillerinin tanımlanmasını sağlamaktadır. Kademeli olarak yapılan ızgara tekniği ile her bir hücrede ortalama akım parametreleri (özellikle basınç ve hız) belirlenen zaman aralıklarında hesaplanmaktadır. Bu ortalama akım değerleri, hücre yan duvarları ile yapılan hesaplamaların hesap hücresi merkezi ile kontrol edilmesi ile tekrar kontrol edildikten sonra sonuca ulaşır [Vesteeg and Malalasekera 1996; Kumcu ve ark., 2017]. Kartezyen koordinat sistemine göre sıkıştırılmaz 3 boyutlu akımlar için temel akım denklemi Kim ve arkadaşları [2010] tarafından aşağıdaki denklemdeki gibi verilmiştir:

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uA_x) + \frac{\partial}{\partial y}(vA_y) + \frac{\partial}{\partial z}(wA_z) = \frac{RSOR}{\rho} \quad (2)$$

Bu denklemde, (u, v, w) sırasıyla (x, y, z) koordinat sisteminde hız parametrelerini; (Ax, Ay, Az) her bir hesap hücresindeki akım alanlarını, ρ akım yoğunluğunu ve RSOR ise yoğunluk terimini temsil etmektedir. Sayısal hesaplamalarda kullanılan üç boyutlu akım çözümleri için Navier-Stokes denklemleri aşağıda verilmiştir

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y \frac{\partial u}{\partial y} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x \quad (3a)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y \frac{\partial v}{\partial y} + wA_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + G_y + f_y \quad (3b)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(uA_x \frac{\partial w}{\partial x} + vA_y \frac{\partial w}{\partial y} + wA_z \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + G_z + f_z \quad (3c)$$

3a, 3b ve 3c denklemlerinde ise; V_F akım hacmini; p basıncı; (G_x, G_y, G_z) (x,y,z) koordinat sistemindeki akım kütlelerinin immesini, f_x, f_y ve f_z ise 3 boyutlu koordinat sistemindeki viskoz ivmeleri göstermektedir.

Süreklilik denklemi ise,

$$\frac{\partial}{\partial x}(uA_x) + \frac{\partial}{\partial y}(vA_y) + \frac{\partial}{\partial z}(wA_z) = 0 \quad (4)$$

şekindedir.

Çok fazlı akımlarda kullanılan çözüm metodu olan VOF yönteminde hava-su etkileşiminin olduğu kabul edilmektedir. Her bir akım hücresinin fazı, her bir akışkan fazının yüzde olarak tarif edildiği bir oranla ifade edilmektedir. Bu oran hacim oranı olarak adlandırılır. Her bir hesap hücresinde $F(x, y, z, t)=1$ ise akım hücresi su ile doludur, $F(x, y, z, t)=0$ ise akım hücresinde su yoktur. Akımın hava ile birleştiği durumlarda,

F, 0 ile 1 arasında bir değer alır. Bu durumda F denklem 2'de yerine konursa temel akım denklemi,

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[\frac{\partial}{\partial x}(FuA_x) + \frac{\partial}{\partial y}(FvA_y) + \frac{\partial}{\partial z}(FwA_z) \right] = 0 \quad (5)$$

şeklini alır. Bu çalışma kapsamında akıma giren hava oranı 0.5 alınmıştır.

Hidrolik mühendisliğinde akımların çoğu türbülanslıdır. Flow-3D beş farklı türbülans modeli ile çözüm yapmaktadır. Bu çalışmada kullanılan k- ϵ modeli, mühendislik amaçlı açık kanal akımlarının çözümlerinde uygun olmakta ve yaygın olarak kullanılmaktadır. k- ϵ türbülans modelinde türbülans enerjisi k, Hirt [1992] tarafından aşağıdaki gibi tarif edilmiştir.

$$k = \frac{3}{2}(UI)^2 \quad (6)$$

Bu denklemde, U ortalama hız, I ise türbülansın yoğunluğudur. I türbülansın seviyesini verir ve aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$I = \frac{u'}{U} \quad (7)$$

Bu denklemdeki u' ise,

$$u' = \sqrt{u_x'^2 + u_y'^2 + u_z'^2} = \sqrt{\frac{2}{3}k} \quad (8)$$

şeklinde verilmektedir.

Türbülansın yayılma oranı ϵ ise aşağıdaki şekilde verilmiştir.

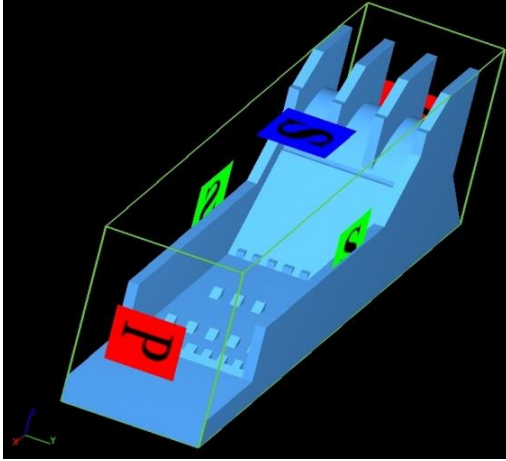
$$\epsilon = C^{\frac{3}{4}} \frac{k^{\frac{3}{2}}}{L} \quad (9)$$

Bu denklemde $C=0.09$ değerine sahip olan türbülans sabitidir. L ise türbülans uzunluğunun ölçüsünü tarif eden, türbülanslı akımdaki enerji içeren büyük çalkantıların uzunluğunu göstermektedir.

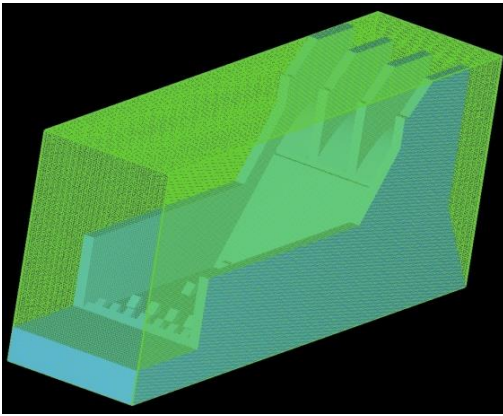
Kavşak Bendi dolusavak yapısında, FLOW-3D programının V10.0 sürümü kullanılmıştır. Şekil 7'de gösterilen hesaplama alanında dikdörtgen bir hücre alanı tanımlanmıştır. Toplam hücre sayısı yaklaşık $6.24E + 06$ 'dır. Kullanılan hücre boyutları ise $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0.5$ m seçilmiştir.

Akımın modellenmesi aşamasında sınır şartlarının iyi tanımlanması önemlidir. Akım kartezyen koordinatlarda tanımlandığı için, hesaplama ağı alanında altı farklı sınır şartı vardır. Sayısal modellemede, üç boyutlu kartezyen koordinat ızgara sisteminin sınır şartları; y_{\min} – simetri eksen, y_{\max} – duvar, z_{\min} – duvar, z_{\max} – atmosferik basınç, x_{\min} – memba

su seviyesi ve x_{max} - kuyruk suyu seviyesi şekilde tanımlanmıştır. Giriş ve çıkış sınır koşulları (sol ve sağ sınır şartları, x yönü) akış derinliği boyunca hidrostatik basınç dağılımı kullanılarak hesaplanabilmektedir.



a) Katı model



b) Dikdörtgen hücre yapısı

Şekil 7. Sayısal modelde kullanılan katı model ve hücre yapısı

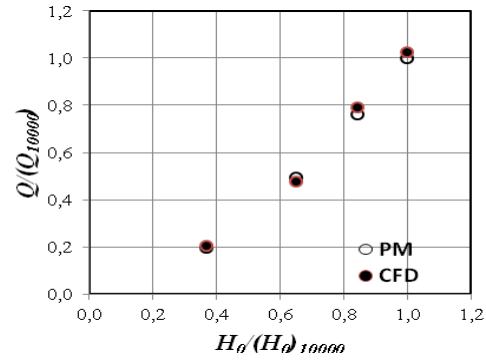
FLOW-3D CFD yazılımı çalıştırılırken projeden alınan gerçek değerler ile hesaplama yapılmıştır. Programın çalıştırıldığı tüm durumlar için viskozite ve türbülans, yerçekimi, hava girişi ve yoğunluk modülleri etkinleştirilmiştir. Sayısal modelleme sonuçları ile karşılaştırılacak gerçek akım şartları olmadığı için, sonuçların karşılaştırılmasında, model deneylerinden elde edilen sonuçlar ölçek ile büyütülerek kullanılmıştır.

4 BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmanın esas amacı ogee tipindeki bir dolusavak yapısının üzerinden geçerek boşaltım kanalı boyunca akan akıma ait fizisel modelleme ile matematiksel (CFD) modelleme

çalışmalarından elde edilen sonuçların karşılaştırılmasıdır. Fiziksel model çalışmaları ile CFD modellemesinden elde edilen dolusavak üzerinden akan akımın debisi ve akım yükseklikleri, yükseklik ortalamalı hız dağılımları, dolusavak yapısı ve sıçratma ucundaki basınç dağılımları birbiri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalarda, Kavşak Bendi Barajına ait gerçek proje değerleri kullanılmıştır [Kumcu, 2010].

Fiziksel modelleme aşamasında deneysel olarak ölçülen akım değerleri (Q_{PM}) ve CFD sayısal modelleme ile hesaplanan (Q_{CFD}) akım değerleri Q_{10000} değerleri ile normalize edilerek, boyutsuz olarak Şekil 8’de verilmiştir. 10000 yıllık tekerrür süresine karşılık gelen akım şartları için temel olarak fiziksel modelden elde edilen $(H_0)_{10000} = 16,46$ m ve $Q_{10000} = 5053$ m³ / sn kullanılmıştır. Grafikte, x-ekseninde akım yüksekliği; y-ekseninde akım debisi verilmiştir.



Şekil 8 - CFD ve fiziksel model çalışmasından elde edilen akım debileri

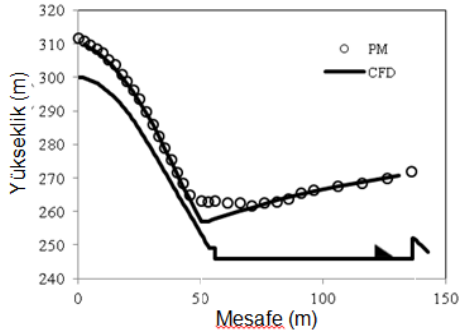
Çizelge 3’de verilen % farklar, $(Q_{CFD} - Q_{PM}) / Q_{PM} \times 100$, incelendiğinde; fiziksel model ile sayısal modelleme değerlerinin birbirine çok yaklaştığı, en büyük farkın ise %3.2 olduğu görülmektedir.

Çizelge 3 - Fiziksel ve matematiksel modellemelerden elde edilen akım debileri

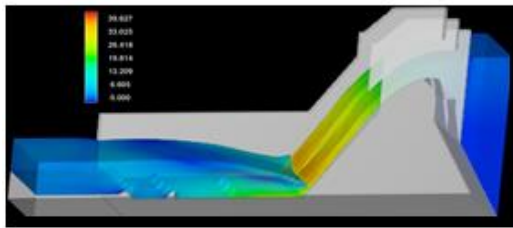
| Test | Q_{PM} m ³ /s | Q_{CFD} m ³ /s | % fark |
|------|-------------------------------|--------------------------------|-----------|
| 1 | 1000 | 1034 | 3,4 |
| 2 | 2500 | 2415 | 3,4 |
| 3 | 3856 | 4001 | 3,7 |
| 4 | 5053 | 5170 | 2,3 |

Fiziksel modelleme ile sayısal modelleme çalışmalarına ait akım şartlarını karşılaştırmak

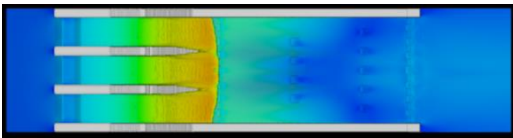
için $Q_{10000}=5053 \text{ m}^3/\text{s}$ debisi ile yapılan çalışmadan elde edilen ölçüm değerleri kullanılmıştır. Bu akım şartlarında, dolusavak yapısı üzerindeki akım profilleri Şekil 9’ da verilmiştir. Bu şekilde, hidrolik sıçramanın olduğu bölgede, türbülanslı akımın etkili olması, hava-su karışımı olan akım şartlarının oluşması nedeni ile hesap ve ölçüm zorluklarından dolayı farklılıklar görülmektedir. Diğer noktalarda ise ölçümlerin pekçoğu birbirine ya çok yakın, ya da üst üste düşmektedir. $Q = 2500 \text{ m}^3/\text{s}$ ve $5053 \text{ m}^3/\text{s}$ akım debisi için CFD modellemesinden elde edilen, ortalama hız değerleri 2 boyutlu (2D) olarak sırası ile Şekil 10 ve Şekil 11’de gösterilmektedir. Dolusavak boşaltım kanalı boyunca ölçülen ortalama hızların maksimum değeri maksimum proje debisi olan $Q = 5053 \text{ m}^3/\text{s}$ ’de yaklaşık 32 m/s olarak ölçülmüş ve bu hız değerinin kavitasyon için risk taşıdığı görülmüştür.



Şekil 9 - $Q = 5053 \text{ m}^3/\text{s}$ için CFD ve Fiziksel Model çalışmalarına ait dolusavak üzerinden geçen akım profilleri



a) Akım hızı değişiminin profil görünüşü

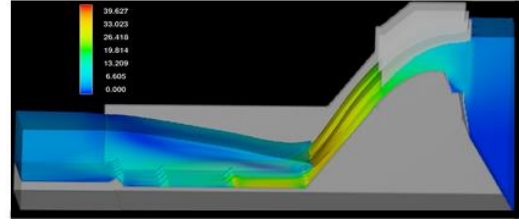


b) Akım hızı değişiminin plan görünüşü

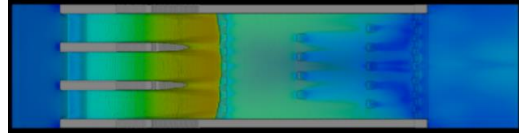
Şekil 10 - $Q=2500 \text{ m}^3/\text{s}$ CFD modellemesinden elde edilen ortalama hız ölçümleri

CFD modellemesi ile elde edilen dolusavak yapısı, boşaltım kanalı ve enerji kırıcı havuzu akım şartlarında, akıma hava karışımı

olmaktadır. $Q = 5053 \text{ m}^3/\text{s}$ akım şartlarında, akıma karışan hava miktarı fiziksel olarak Şekil 12’de verilmektedir.

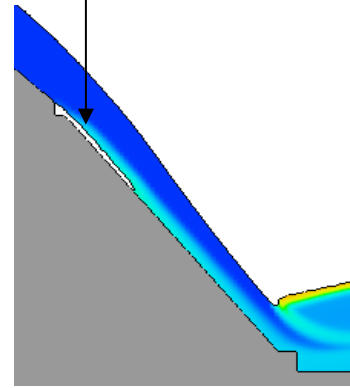
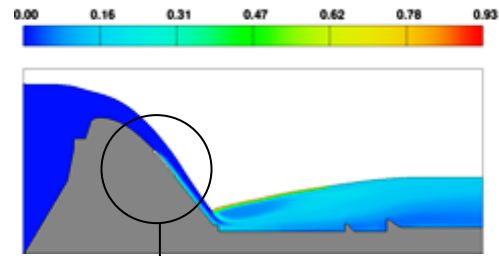


a) Akım hızı değişiminin profil görünüşü



b) Akım hızı değişiminin plan görünüşü

Şekil 11 - $Q=5053 \text{ m}^3/\text{s}$ CFD modellemesinden elde edilen ortalama hız ölçümleri



Şekil 12 - $Q_{10000}=5053 \text{ m}^3/\text{s}$ akım şartlarında CFD modellemesinden elde edilen 2 boyutlu hava-su karışımı oranları

Bu şekilden, havalandırıcı yapılarının alt tarafında, kavitasyon riskinin olduğu akım bölgesinde, havalandırıcıların etkili bir şekilde çalıştığı ve dolusavak yapısının yeterli miktarda havalandığı görülmektedir. Tasarımcıların çoğu, kavitasyon riskinin olmaması için, tabana yakın akım şartlarında, akımın en az % 6-8 oranında

havalanması gerektiğini belirtmektedir [Peterka, 1953; Rutschmann ve Volkart, 1988; Oskolkov ve Semenov, 1979]. Yapılan çalışma kapsamında CFD modellemesi sonuçlarından elde edilen verilere göre, dolusavak yapısı boyunca kavitasyon riskinin olduğu akım bölgesinde akımdaki hava/su karışımı oranının %10 değerlerine ulaştığı görülmüştür. Bu değer, minimum hava-su karışımı değerlerinin üzerinde olduğu için; havalandırıcıların etkili bir şekilde çalıştığı ve akımın yeterince havalandığı sonucuna varılmıştır.

Deney çalışmaları sırasında, dolusavak yapısı boyunca, pizometre uçları ile basınç ölçümleri de yapılmıştır. Fiziksel model çalışması ile CFD sayısal modelleme çalışmalarında $Q=1000 \text{ m}^3/\text{s}$, $2500 \text{ m}^3/\text{s}$, $3856 \text{ m}^3/\text{s}$ ve $5053 \text{ m}^3/\text{s}$ debileri için dolusavak eşik yapısında akımı kontrol eden üç kapağın da tam açık olduğu deşarj durumunda elde edilen basınç ölçümleri karşılaştırılmıştır.

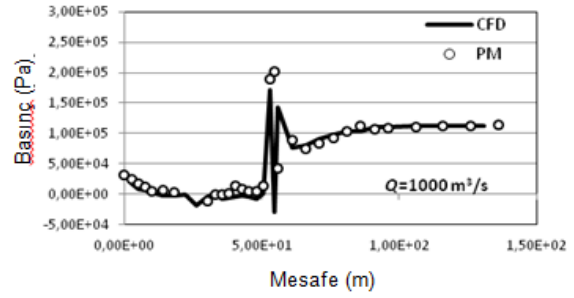
Deney çalışmaları sırasında, dolusavak yapısı boyunca, pizometre uçları ile basınç ölçümleri de yapılmıştır. Fiziksel model çalışması ile CFD sayısal modelleme çalışmalarında $Q=1000 \text{ m}^3/\text{s}$, $2500 \text{ m}^3/\text{s}$, $3856 \text{ m}^3/\text{s}$ ve $5053 \text{ m}^3/\text{s}$ debileri için dolusavak eşik yapısında akımı kontrol eden üç kapağın da tam açık olduğu deşarj durumunda elde edilen basınç ölçümleri karşılaştırılmıştır.

Proje değerlerine göre yapılan hesaplarda, dolusavak kret noktasından 86 m uzaklıktaki noktada mutlak basınç değerlerinde, $Q_{1000}=5053 \text{ m}^3/\text{s}$ akım şartlarında fark $\Delta H=19.2 \text{ m}$ olarak ölçülmüştür (Şekil 13d). Bu farkın sebebinin CFD hesap yönteminde seçilen $\Delta x=\Delta y=\Delta z=0.5 \text{ m}$ hücre boyutlarından olduğu düşünülmektedir. Daha hassas çalışma şartlarında (örneğin, $\Delta x=\Delta y=\Delta z=0.25 \text{ m}$ veya daha küçük boyutlu) bu farkın azalma ihtimali yüksektir [Savage ve Johnson, 2001; Johnson ve Savage, 2006]. Diğer basınç okuma noktalarında ise, Şekil 13'den de görülebileceği gibi CFD ile fiziksel modelleme sonuçları birbirine çok yakın değerler vermiştir.

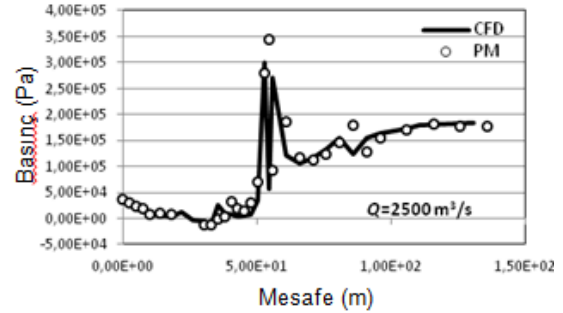
5 SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında barajların emniyet yapısı olan dolu savak yapılarının hidrolik açıdan analizi, sayısal modelleme ve fiziksel modelleme yöntemi ile yapılarak, elde edilen sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır. Fiziksel modelleme 1/50 ölçek ile yapılmıştır. Proje hesapları ile de kıyaslama yapabilmek için sayısal model hesaplamalarında gerçek proje değerleri kullanılmıştır. Fiziksel model karşılaştırmalarında ise fiziksel modelmeden

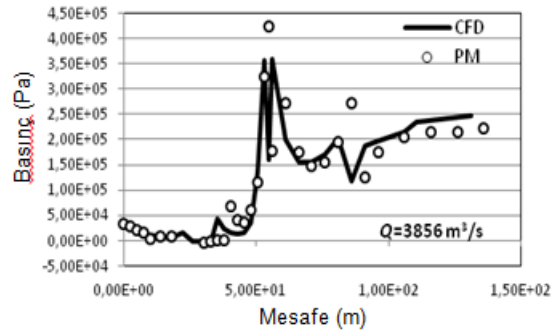
elde edilen hesap değerleri ölçeklendirilerek gerçek değerler kullanılmıştır.



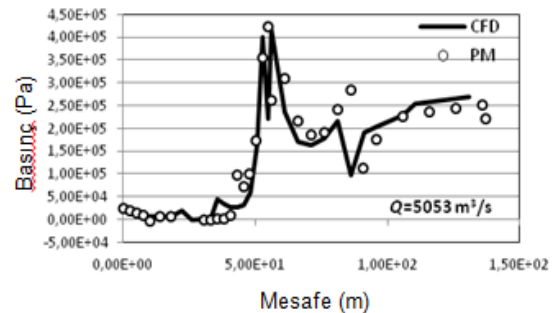
a) $Q=1000 \text{ m}^3/\text{s}$



b) $Q=2500 \text{ m}^3/\text{s}$



c) $3856 \text{ m}^3/\text{s}$



d) $5053 \text{ m}^3/\text{s}$

Şekil 13 - Sayısal ve Fiziksel model çalışmalardan elde edilen basınç değerlerinin karşılaştırılması

Dolusavak yapısı boyunca, üniform akım koşullarını elde etmek ve yaklaşım kanalı boyunca enerji kayıplarını azaltmak için orjinal

proje üzerinde değişiklikler yapılmıştır. Yaklaşım kanalında akımı bozan kesitlerde geometri üzerinde dzenlemeler yaparak akım şartları ve akım hızlarında iyileştirmeler yapılmıştır. Dolusavak yapısı boyunca kavitasyon riski araştırılmış ve kavitasyon riski gürülmüştür. Kavitasyon riski, sisteme havalandırıcı eklenerek çözülmeye çalışılmış; havalandırıcıların performansını artırmak için havalandırıcıların üzerine saptırıcı eklenmiştir. Fiziksel modelleme üzerinde yapılan dzenlemelerden sonra, akım şartları CFD modelleme ile tekrar çözümlenmiş ve elde edilen sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır. Dolusavak yapısının akım performansı her iki model çalışmasında da birbirine yakın çıkmış olup, en büyük fark %3.2'dir.

Dolusavak yapısı, boşaltım kanalı ve enerji kırıcı havuz üzerindeki her çalışma debisine karşılık gelen akım yükseklikleri ile derinlik ortalamalı akım hızları hem fiziksel modelleme ile hem de CFD modelleme ile hesaplanmıştır. Akımın sel rejiminden nehir rejimine geçtiği, türbülanslı akımın etkili olduğu akım şartları dışında elde edilen sonuçlar her iki modellemede birbiri ile örtüşmektedir.

6 KAYNAKLAR

- [1] Aydın, M. C., "Aeration efficiency of bottom-inlet aerators for spillways", *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 2018
- [2] Chanel, P. G., "An evaluation of computational fluid dynamics for spillway modeling", MSc Thesis, University of Manitoba Winnipeg, Manitoba, Canada, 2008
- [3] Chanson, H., "The hydraulics of stepped chutes and spillways", Balkema, Lisse, Hollanda, 2002
- [4] Chanson, H. ve Gonzalez, C. A., "Physical modeling and scale effects of air-water flows on stepped spillways", *Journal of Univ. SCI*, 6A (3), sf: 243-250, 2005
- [5] Demiroz, E., "Dolusavak yapılarındaki havalandırıcıların özellikleri", *DSI Raporu*, HI-754, DSI-TAKK yayını, Ankara, 1986
- [6] Falvey, H. T., "Cavitation in chutes and spillways", Engineering Monograph, Water Resources Technical Publication, US Printing Office, Bureau of Reclamation, Denver, 199
- [7] "Flow-3D User's Manual", Flow Science, Inc., Santa Fe, N.M., 2012
- [8] Hirt, C. W. "Volume-fraction techniques: powerful tools for flow modeling", Flow Science Rep. No. FSI-92-00-02, Inc., Santa Fe, N.M., 1992
- [9] Hirt, C. W. ve Nichols, B. D., "Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries", *J. Computational Phy.*, (39), sf: 201-225, 1981
- [10] Hirt, C. W. ve Sicillian, J. M., "A porosity technique for the definition of obstacles in rectangular cell meshes", *Proceedings of the 4th International Conference on Ship Hydro-dynamics*, National Academic of Sciences, Washington DC, 1985
- [11] Ho, D., Boyes, K., Donohoo, S. Ve Cooper, B. "Numerical flow analysis for spillways", 43rd ANCOLD Conference, Hobart, Tasmania, 2003
- [12] Johnson, M. C. ve Savage, B. M., "Physical and numerical comparison of flow over ogee spillway in the presence of tailwater", *Journal of Hydraulic Eng.*, 132 (12), sf: 1353-1357, 2006
- [13] Kim, S. D., Lee, H. J. Ve An, S. D., "Improvement of hydraulic stability for spillway using CFD model", *International Journal of Physical Sciences*, 5 (6), sf: 774-780, 2010
- [14] Kokpınar, M. A. ve Gogus, M., "High speed jet flows over spillway aerators", *Can. J. Civ. Eng.* (29), sf: 885-898, 2002
- [15] Kumcu, ř. Y., "Kavşak Bendi HES Projesi dolusavak yapısı model raporu" DSI Raporu, HI-1005. DSI-TAKK yayını, Ankara, 2010
- [16] Kumcu, S.Y., "Investigation of flow over spillway modeling and comparison between experimental data and CFD analysis", *KSCE Journal of Civil Engineering*, 2017
- [17] Nichols, B.D. and Hirt, C.W. "Methods for calculating multi-dimensional, transient free surface flows past bodies", *Proc. First Intern. Conf. Num. Ship Hydrodynamics* Gaithersburg, ML, Ekim 1975
- [18] Oskolkov, A. G. ve Semenov, V. M., "Experience in developing methods for preventing cavitation in excess flow release structures", *Gidrotekhnicheskoe Stroitel'tvo*, Moskow, USSR, (8), sf: 11-15, 1979

- [19] Peterka, A. J., "The effect of entrained air on cavitation", IAHR/ASCE, Minneapolis, USA, sf: 507-518, 1953
- [20] Pfister, M. ve Hager, W.H., "Chute aerators II: hydraulic design." J. Hydraul. Eng., 136, sf: 360–367, 2010a
- [21] Pfister, M., ve Hager, W.H., "Chute aerators I: transport characteristics." J. Hydraul. Eng., 136, sf: 360–367, 2010b
- [22] Rutschmann, P. ve Volkart, P. "Spillway chute aeration", International Waterpower and Construction, 40 (1), 1988
- [23] Savage, B. M. ve Johnson, M. C., "Flow over ogee spillway: Physical and numerical model case study", J. Hydraul. Eng. 127 (8), sf: 640-649, 2001
- [24] Şentürk, F., "Hydraulics of dams and reservoirs. Water Resources Publication Colorado, USA, 1994
- [25] Teklemariam, E., Korbaylo, B., Groeneveld, J., Sydor, K. ve Fuchs, D., "Optimization of hydraulic design using computational fluid dynamics", Waterpower XII., Salt Lake City, Utah, 2001
- [26] Teklemariam, E., Shumilak, B., Sydor, K., Murray, D., Fuchs, D. ve Holder, G., "An integral approach using both physical and computational modeling can be beneficial in addressing the full range of hydraulic design issues", CDA Annual Conference, Winnipeg, Canada, 2008
- [27] Vesteeg, H.K. ve Malalasekera, W., "An introduction to computational fluid dynamics", Longman Scientific and Technical, New York, 1996
- [28] Vischer, D.L. ve Hager, W.H, "Dam Hydraulics", J. Wiley & Sons Ltd., England, 1997
- [29] Wagner, W., "Glen Canyon diversion tunnel outlets", J. Hydraul Div. ASCE, 93 (HY6), sf: 113-134, 1967
- [30] Willey, J., Ewing, T., Wark, B. Ve Lesleighter, E., "Complementary use of physical and numerical modeling techniques in spillway design refinement", Commission Internationale Des Grands Barrages, Kyoto, 2012

FİLYOS ALT HAVZASINDA GÖZLENMİŞ VE DEĞİŞİK İHTİMALİ AKIM VERİLERİNİN BARAJ TASARIMINDAKİ ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Emre ÇIKRIKÇI

Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği 06570 Maltepe ANKARA
emreecikrici@gmail.com

Nihat EROĞLU

Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği 06570 Maltepe ANKARA
enihat@gazi.edu.tr

(Makalenin geliş tarihi: 21.10.2019, Makalenin kabul tarihi: 05.12.2019)

ÖZ

Dünyada ve ülkemizdeki hızlı nüfus artışı suyun en verimli şekilde kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Ülkemiz bir tarım ülkesidir. Ülkemizde tarımsal faaliyetlerin en önemli sorunlarından biri halen birçok tarım alanında kuru tarım yapılması, yani sulama yetersizliğidir. Bu bölgelerde sulu tarıma geçilmesi hem elde edilecek verimin yükselmesini hem de tarım sektöründe çalışan nüfusun köyden kente göçünün azalmasını sağlayacaktır. Bu amaçla inşa edilen baraj ve gölet gibi su yapıları toprak ve su kaynaklarının geliştirilmesine yardımcı olarak tarımda sulama koşullarının geliştirilmesini sağlamaktadır. Baraj planlamasında ve tasarımında, havzalardaki su kaynaklarının çok doğru bir şekilde değerlendirilmesi ve akım gözlem istasyonlarına (AGİ) ait verilerin uzun süreli (en az 30 yıl) ve eksiksiz olması gerekmektedir.

Bu çalışmada, gözlenmiş ve ihtimalli akımlar kullanılarak yapılan baraj tasarımının ve buna bağlı oluşacak maliyetlerin ve elde edilecek faydaların arasındaki farklar ortaya konulmaya çalışılmıştır. Batı Karadeniz Havzası'nın alt havzalarından biri olan Filyos Havzası'nda bulunan Akım Gözlem İstasyonlarının akım değerleri irdelenmiş ve bu istasyonların bazı yıllardaki eksik verilerinin tamamlanması için korelasyona bağlı regresyon analizi metodu kullanılmıştır. Eksik verilerin tamamlanması için her bir istasyonun diğer istasyonlar ile aralarındaki lineer ve logaritmik regresyon denklemleri oluşturularak, en uygun regresyon denklemi tespit edilmiştir. Böylece, akım gözlem istasyonlarının orijinal gözlenmiş akım verilerinin uzatılması ve düzensiz ölçümlerin eksik kısımlarının tamamlanmasıyla AGİ verilerinin düzenli, sürekli ve yeterli hale getirilmesi sağlanmıştır. Filyos Havzası'nda bulunan AGİ'lerin akım değerleri en az 30 yıl olacak şekilde tamamlandıktan sonra, havzada bulunan barajlardan on tanesi için tasarım çalışması yapılmıştır. Bu amaçla, öncelikle baraj aks yerinde baraj yeri su temin değerleri drenaj alanı oranı yöntemi ile gözlenmiş akım verilerine göre oluşturulmuştur. Daha sonra, akım süreklilik eğrileri kullanılarak, baraj aks yerindeki %90, %80, %70 ve %60 ihtimalli akım değerleri için uzun yıllara dayalı akım serileri elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler için ayrı ayrı baraj işletme çalışması yapılarak baraj kret kotu, kret uzunluğu, gövde yüksekliği, depolama hacmi, barajın dolgu hacmi, sulama alanı ve baraj maliyeti hesaplanmıştır. Baraj tasarımları sadece sulama amaçlı olarak düşünülmüş ve sulu tarıma geçildiğinde elde edilecek sulama faydası hesaplanmıştır.

Yapılan çalışma ile değişik ihtimalli akımların baraj tasarımına, baraj maliyetine ve tarım arazilerinden elde edilecek sulama faydasına etkisi ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Akım Gözlem İstasyonu, müteferrik ölçüm, Filyos Havzası, regresyon analizi, akım süreklilik eğrileri

CONSIDERATION OF THE EFFECTS OF OBSERVED AND DIFFERENT PROBABLE FLOWS DATA ON THE DESIGN OF THE DAMS IN THE FİLYOS SUB-BASIN

ABSTRACT

The rapid population increase in the world and in our country necessitates the most efficient use of water. Our country is an agricultural country. One of the most important problems of agricultural activities in our country is the lack of irrigation in many agricultural areas. Switching from dry agriculture to irrigated agriculture in these regions will both increase the yield to be obtained and increase irrigation benefit and decrease the migration from village to city. Water structures such as dams and small dams built for this purpose help to improve soil and water resources and improve irrigation conditions in agriculture. In dam planning and design, the water resources in the basins should be evaluated very accurately and the data of flow monitoring stations (AGİ) should be long term (at least 30 years) and complete.

In this study, the differences between the dam designs, the costs and benefits to be obtained by using observed and probable flows have been tried. The flow values of Flow Observation Stations in Filyos Basin, which is one of the sub-basins of Western Black Sea Basin, are examined and correlation based regression analysis method is used to complete missing data of these stations in some years. In order to complete the missing data, linear and logarithmic regression equations between each station and other stations were formed and the most appropriate regression equation was determined. Thus, the original observed flow data of the flow monitoring stations is extended. After the completion of the current values of the AGİ's in the Filyos Basin to be at least 30 years, design studies were carried out for ten of the dams which are in the Filyos Basin. For this purpose, first of all at the dam axle location, flow values to the dam were established according to the observed flow data by the ratio of the drainage area method. Then, long-term flow series were obtained for 90%, 80%, 70% and 60% probability flow values at the dam axle using flow duration curves. Finally, for these datas dam operating process were done separately. According to dam operating processes, crest elevation, crest length, height, storage volume, fill volume, irrigation area of the dam were detected for all of the probability flow values separately. Also, dam cost were made for all of the probability flow values separately. The dam designs are intended for irrigation purposes only and it is aimed to calculate the irrigation benefit to be obtained when switching to irrigated agriculture.

With this study, the effects of different probable flows on dam design, dam cost and irrigation benefit to be obtained in agricultural lands were observed.

Keywords: Flow Observation Station, miscellaneous measurement, Filyos Basin, regression analysis, flow duration curves

1 GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizdeki hızlı nüfus artışı sanayi ve tarımın gelişimini zorunlu kılmaktadır. Bu durum ülkemizdeki su ve toprak potansiyelinin en etkin bir şekilde kullanılmasını gerektirmektedir. Ülkemizde su ve toprak kaynaklarının korunması, planlanması, geliştirilmesi ve işletilmesiyle görevli kurumlardan birisi de Devlet Su İşleri dir. Devlet Su İşleri yatırımcı bir kuruluş olup, aynı zamanda ülkemizdeki su ve toprak kaynaklarını değişik kullanım amaçlarına göre tahsis eden bir kuruluştur. DSİ'nin en önemli faaliyetlerinden birisi sulu tarımı yaygınlaştırarak, tarımdan elde edilecek gelir artışını ve milli ekonomiye katkı sağlamaktır [1].

Tarım sektöründe kullanılacak sulama suyu genellikle akarsular üzerine inşa edilen baraj ve göletlerden sağlanmaktadır.

Baraj ve gölet gibi yapıların planlanması ve yönetimine yönelik havza bazındaki

çalışmalarda, hidrolojik verilere ihtiyaç bulunmaktadır. Bu verilerin eksiksiz ve uzun yıllara dayalı olması su yapılarının sağlıklı tasarımının yapılması açısından çok önemlidir. Ancak, birçok havzada, Akım Gözlem İstasyonlarında (AGİ) ölçülen akım değerleri çeşitli nedenlerle eksik olmaktadır. AGİ'nin kurulduğu noktanın ulaşılması zor yerlerde olması, iklim koşulları, ölçüm cihazında arızalanma veya okuma yapılacak yeterli seviyenin oluşmaması gibi nedenlerle akım serilerindeki bazı yıllarda eksik veriler olmaktadır. Ülkemizdeki hidrolojik verilerde, yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı, önemli miktarda veri eksiklikleri vardır [2].

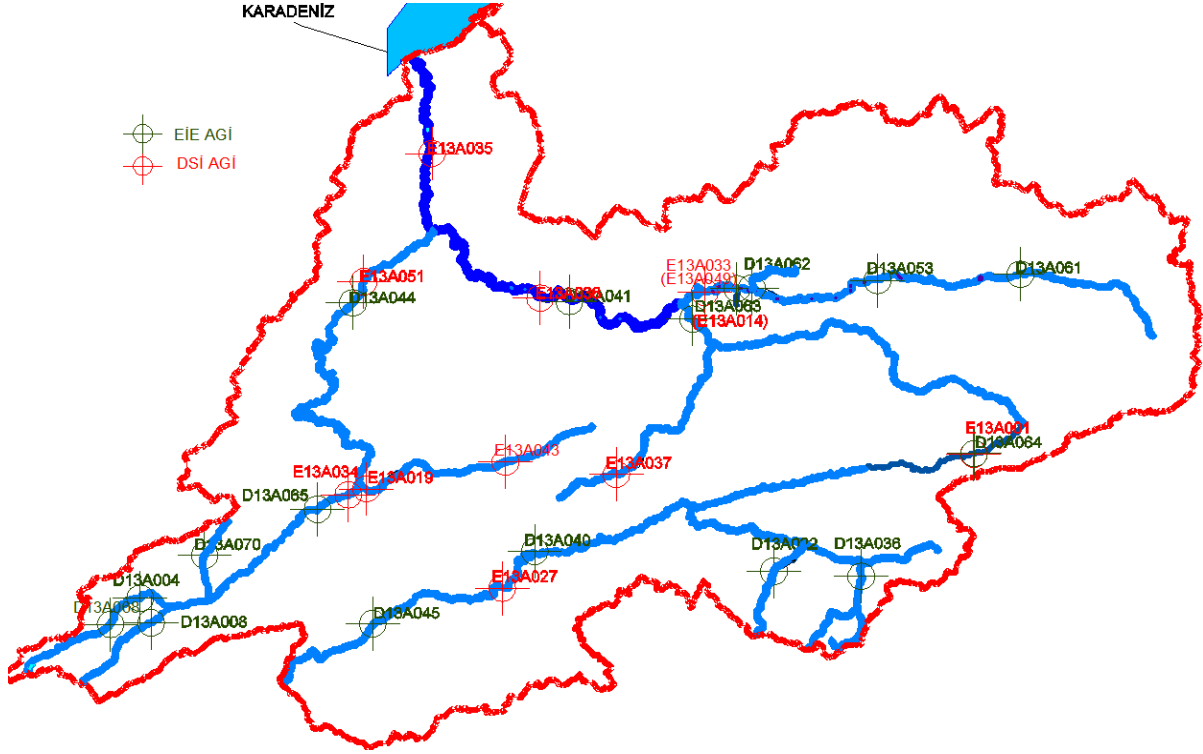
Veri eksikliği baraj gibi yapıların planlanmasında ve işletilmesinde hatalara ve problemlere sebep olmaktadır.

Bu çalışmada, Batı Karadeniz Havzası'nın bir alt havzası olan Filyos Havzası'ndaki AGİ verilerinin yeterliliği sorgulanmış ve bu AGİ'lerden elde

edilen verilerin yapılacak barajların maliyetine ve elde edilecek faydaya etkisi ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Filyos Çayı ve Filyos Çayı'na mansaplanan yan dereler üzerinde toplam 29 adet AGİ

bulunmaktadır. Bunların tümü DSİ tarafından işletilmektedir (Şekil 1). Bu istasyonlardan üç tanesi ise aynı yerde, diğer bir istasyon kapatıldıktan sonra açılmış olup, havzada toplam 26 adet AGİ çalışılmıştır.



Şekil 1- Filyos Havzası'nda DSİ ve mülga EİE tarafından kurulmuş AGİ ağı

Filyos Çayı ve Filyos Çayı'na mansaplanan yan dereler üzerindeki AGİ'lerde ölçüm yapılamamış aylar tespit edilerek, istasyonların aralarındaki akım ilişkisi, regresyon analizi kullanılarak matematiksel bağıntılarla ortaya konulmuştur. Bu matematiksel bağıntılardan en uygun olanı kullanılarak, ölçüm yapılamayan yıllara ait eksik akım verileri, her bir AGİ için ayrı ayrı tamamlanmıştır. Böylece, akım gözlem istasyonlarının orijinal gözlenmiş akım verilerinin uzatılması sağlanmıştır. Ayrıca, AGİ'lerin eksik ve tamamlanmış verilerle akım süreklilik eğrileri çizilerek ve bu eğriler üst üste oturtularak sonuçların doğruluğu kontrol edilmiştir.

Filyos Havzası'nda bulunan AGİ'lerin akım değerleri en az 30 yıl olacak şekilde tamamlandıktan sonra, havzada mevcut üç ve planlanan yedi olmak üzere toplam on baraj için tasarım çalışması yapılmıştır. Bu amaçla, Filyos Çayı ve Filyos Çayı'na mansaplanan yan dereler üzerindeki AGİ'lerde ölçüm yapılamamış aylar tespit edilerek, istasyonların aralarındaki akım ilişkisi, regresyon analizi kullanılarak

matematiksel bağıntılarla ortaya konulmuştur. Bu matematiksel bağıntılardan en uygun olanı kullanılarak, ölçüm yapılamayan yıllara ait eksik akım verileri, her bir AGİ için ayrı ayrı tamamlanmıştır. Böylece, akım gözlem istasyonlarının orijinal gözlenmiş akım öncelikle baraj aks yerinde baraj yeri su temin değerleri drenaj alanı oranı yöntemi ile gözlenmiş akım verilerine göre oluşturulmuştur. Daha sonra, akım süreklilik eğrileri kullanılarak, baraj aks yerindeki %90, %80, %70 ve %60 ihtimalli akım değerleri için uzun yıllara dayalı akım serileri elde edilmiştir. Son olarak, gözlenmiş akım değerleri ve ihtimalli akım değerleri için ayrı ayrı baraj işletme çalışması yapılarak baraj kret kotu, kret uzunluğu, gövde yüksekliği, depolama hacmi, barajın dolgu hacmi, sulama alanı ve baraj maliyeti hesaplanmıştır. Baraj tasarımları sadece sulama amaçlı olarak düşünülmüş ve sulu tarıma geçildiğinde elde edilecek sulama faydasının da hesaplanması amaçlanmıştır. Bu çalışmanın amacı, su kaynaklarının planlanması ve yönetimine yönelik, havza

bazında planlanan su yapılarından en önemlisi olan barajların tasarımında akarsu akımlarının seçiminin önemini vurgulayarak, baraj maliyetine ve tarım arazilerinden elde edilecek sulama faydasına etkisinin ortaya konulmasıdır.

Bir başka deyişle, su yapılarının tasarımında akarsu akımlarının seçiminin, milli ekonomiye ve elde edilecek milli gelire etkisini göstermek adına bir çalışma hazırlamak amaçlanmıştır.

Planlanan barajların hayata geçirilmeden önce, baraj aks yerlerinde veya yakınlarında düzenli ve uzun süreli akım gözlemleri olan AGİ'lerin kurulmuş olmasının önemi büyüktür. Çünkü, yeterli veya düzenli ölçüm yapılmamış istasyonların akım değerlerini, daha güvenli tarafta kalabilmek amacıyla belli ihtimallerle azaltarak kullanmak hem baraj maliyeti hem de sulamadan sağlanacak gelir açısından azımsanmayacak farklar oluşturmaktadır.

2 YÖNTEM

Araştırmada, Batı Karadeniz Havzası'nın alt havzalarından biri olan Filyos Havzası'na ait Akım Gözlem İstasyonlarının (AGİ) akım verileri incelenmiştir. Havzadaki DSİ veya mülga EİE tarafından kurulan ve halen DSİ tarafından işletilen bazı AGİ'lere ait akım datalarında çeşitli nedenlerden dolayı ölçüm yapılamamış eksik verilerin olduğu belirlenmiştir. Her bir istasyonun diğer istasyonlar ile aralarındaki akım ilişkisinin incelenmesi için regresyon analizleri yapılarak regresyon denklemleri oluşturulmuştur. Regresyon denklemleri olarak; 1. Derece Lineer, 1. Derece Logaritmik, Yarılog, 2. Derece Lineer ve 2. Derece Logaritmik istatistiksel değerlendirmeler yapılarak, istasyonlar arasındaki korelasyon katsayısı en büyük, standart sapması en küçük olanın seçilmesine dikkat edilmiştir. Ayrıca, en uygun korelasyon seçilirken, iki AGİ'nin memba-mansap ilişkisi, aynı kol üzerinde olup olmadıkları, ana kol veya yan kol üzerinde bulunmaları durumu, birbirlerine olan uzaklıkları, havza alanlarının büyüklüğü, klimataolojik olarak aynı bölgede olup olmadıkları gibi kriterlerine de öncelikle dikkat edilmiştir. Bu istatistiksel değerlendirmeler ve istasyonlar arasındaki matematiksel ilişkileri açıklayan korelasyon katsayılarının belirlenmesinde Microsoft Excel ile hazırlanan bir program kullanılmıştır.

En uygun regresyon denklemi kullanılarak, AGİ'lerin eksik verileri tamamlandıktan sonra, AGİ'lerin eksik ve tamamlanmış aylık toplam akımlarla akım süreklilik eğrileri çizilerek ve eğriler üst üste oturtularak sonuçların doğruluğu kontrol edilmiştir. Akım Süreklilik Eğrilerinin çizilmesi için Microsoft Excel uygulaması kullanılmıştır.

Daha sonra, havzada bulunan mevcut üç ve planlama aşamasında yedi olmak üzere toplam on baraj için, baraj aks yerinde baraj yeri su temin değerleri drenaj alanı oranı yöntemi ile gözlenmiş akım verilerine göre oluşturulmuştur. Akım süreklilik eğrileri kullanılarak, baraj aks yerindeki %90, %80, %70 ve %60 ihtimalli akım değerleri için uzun yıllara dayalı akım serileri elde edilmiştir. Son olarak, gözlenmiş akım değerleri ile %90, %80, %70 ve %60 ihtimalli akım değerleri için ayrı ayrı baraj işletme çalışması yapılarak baraj kret kotu, kret uzunluğu, gövde yüksekliği, depolama hacmi, barajın dolgu hacmi, sulama alanı ve baraj maliyeti ile sulu tarıma geçildiğinde elde edilecek sulama faydası hesaplanmıştır.

Barajların işletme çalışması için, 25000 ölçekli topoğrafik haritalardan elde edilmiş Sayısal Arazi Modeli (DEM, Digital Elevation Model), ARCGIS programı ve DSİ tarafından baraj işletmelerinde kullanılan ve Microsoft Excelde hazırlanmış işletme programından yararlanılmıştır [3].

Barajların dolgu hacmi hesabında, 25000 ölçekli topoğrafik haritalardan elde edilmiş Sayısal Arazi Modeli (DEM), ARCGIS programı ve Autocad Civil 3D yazılımından yararlanılmıştır.

Yeknesaklığın sağlanması bakımından barajların tümünün Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj gövde tipinde tasarlandığı ve sadece sulama meksatlı işletildiği kabul edilmiştir.

Baraj maliyeti için, proje firmaları tarafından çalışılan "Kil Çekirdekli Kaya Dolgu" gövde tipindeki barajların toplam keşif bedelleri (kazı işleri, dolgu işleri, ölçüm aletleri, enjeksiyon, nakliye, vb.) dikkate alınarak, ortalama 1 m³ dolgu maliyeti elde edilmiştir. Böylece, bu makale kapsamında çalışılan barajların toplam dolgu hacmi ile 1 m³ dolgu maliyeti çarpılarak baraj maliyetleri hesaplanmıştır.

Sulama faydasından elde edilecek gelir ise hektara net gelir artışı ile barajda depolanacak hacimle sulanabilecek brüt sahanın çarpılması sonucunda bulunmuştur.

Böylece, bu çalışma ile değişik ihtimalli akımların baraj tasarımına, baraj maliyetine ve tarım arazilerinde elde edilecek sulama faydasına etkisi değerlendirilmiştir.

3 ÇALIŞMA ALANININ TANITILMASI

Türkiye topoğrafik özelliklerine göre 25 hidrolojik havzaya ayrılmıştır. Bu havzalardan 13 numaralı Batı Karadeniz Havzası beş alt havzadan oluşmaktadır. Bunlar;

- 1- Melen Alt Havzası
- 2- Bartın Alt Havzası
- 3- Filyos Alt Havzası
- 4- Devrekhani Alt Havzası

Çizelge 1- Filyos Havzası'nda bulunan AGİ'lerin karakteristikleri

| AGİ No | Akarsu Adı | AGİ Adı | Yağış Alanı (km ²) | Koordinat | Akım Gözlem Yılları |
|---------|-----------------|----------------|--------------------------------|----------------------|---|
| D13A004 | Büyüksu | Yumrukaya | 183,5 | 31°24' D 40°49' K | 1961-1965, 1967-1969, 1971-1972 |
| D13A008 | Mudurnu Çayı | Akkaya(Akmina) | 118,3 | 31°31' D 40°40' K | 1961-1963, 1966-1969, 2005-2007, 2009-2010, |
| D13A022 | Akhasan Deresi | Akhasan | 76,5 | 32°48' D 40°46' K | 1969-1972, 1974-1993, 1996-2011 |
| D13A036 | Hacılar Deresi | Yalaközü | 88,3 | 32°59' D 40°45' K | 1972, 1975-1983, 1985- 2016 |
| D13A037 | Eflani Çayı | Çevrikköprü | 537,1 | 32°45' D 41°13' K | 1972-1994, 1999-2000, 2002-2007, 2011-2017 |
| D13A040 | Gerede Çayı | Bahçedere | 1343,0 | 32°19' D 40°48' K | 1976-1978, 1980-1997, 2000-2009, |
| D13A041 | Filyos Çayı | Balıkısık | 8310,0 | 32°23' D 41°11' K | 1979-1996, 2002, 2004-2007 |
| D13A044 | Bolu Çayı | Devrek | 2917,4 | 31°56' D 41°11' K | 1982-1997, 2001-2007 |
| D13A045 | Ulus Deresi | Yağbaşlar | 196,0 | 31°59' D 40°41' K | 1983-1998, 2000-2017 |
| D13A061 | Araç Çayı | Araç | 885,5 | 33°19' D 41°14' K | 2001, 2004-2017 |
| D13A062 | Araç Çayı | Karıt | 2571,4 | 32°44' D 41°12' K | 2004-2006, 2011-2017 |
| D13A053 | Araç Çayı | Kayaboğazı | 1747,0 | 33°10' D 41°13' K | 1985-1994, 1999-2000, 2003-2007 |
| D13A063 | Soğanlı Çayı | Karabük | 5086,8 | 32°38' D 41°10' K | 2004-2006, 2011-2015, 2017 |
| D13A064 | Gerede Çayı | Bayramören | 3002,0 | 33°13' D 40°57' K | 2004-2017 |
| D13A065 | Büyüksu | Küplüce | 1053,0 | 31°52' D 40°51' K | 2004-2007, 2009-2016 |
| D13A068 | Abant Deresi | Akçaalan | 86,5 | 31°26' D 40°40' K | 2005-2007, 2011-2013, 2015-2016 |
| D13A070 | Hızar Deresi | Bayramışlar | 24,45 | 31°38' D 40°47' K | 2006-2016 |
| E13A001 | Melen Çayı | Dalgöz | 2984,4 | | 1953-1958, 1964-1971 (2004 den itibaren) |
| E13A014 | Soğanlı Çayı | Karabük | 5086,8 | 32°38' D 41°10' K | 1963-2011 (2012 den itibaren D13A063 olarak) |
| E13A019 | Mengen Çayı | Gökçesu | 786,3 | 31°58' D 40°53' K | 1965-2004, 2008-2011, 2013, 2015-2016 |
| E13A027 | Ulus Çayı | Afatlar | 953,6 | 32°15' D 40°44' K | 1968-2011, 2013-2017 |
| E13A033 | Araç Çayı | Karabük | 2833,2 | 32°37' D 41°11' K | 1965-1998 (1999 den itibaren E13A049 olarak) |
| E13A034 | Bolu Çayı | Beşdeğirmenler | 1095,3 | 31°55' D 40°53' K | 1967-2011 |
| E13A035 | Filyos Çayı | Derecikvıran | 13300,4 | 32°05' D 41°25' K | 1964-2009, 2015-2017 |
| E13A036 | Yenice Irmağı | Yenice | 8966,0 | 32°19' D 41°12' K | 1979-2000, 2007-2009, 2013-2017 |
| E13A037 | Göksu Deresi | Büyükyayalar | 42,0 | 32°28' D 40°55' K | 1981-2001 |
| E13A043 | Korubaşı Deresi | Aarak | 125,0 | 32°15' D 40°56' K | 1992-2011, 2013-2016 |
| E13A049 | Araç Çayı | Karabük | 2798,5 | 32°39' D 41°12' K | 1999-2002, 2007-2008, 2010-2011 |
| E13A051 | Devrek Çayı | Devrek | 2966,4 | 31°57' D 41°13' K | 1999-2002, 2005-2011, 2013, 2015-2017 |

Akım gözlem istasyonlarının noksan olan yıllarındaki akımları tamamlayabilmek için bir seri korelasyon analizi uygulanmıştır. Ancak, akım gözlem istasyonlarından bazılarının akımları müdahaleli olduğu için, bu veriler öncelikle doğrulaştırılmıştır. Daha sonra, her bir

AGİ'nin birbiriyle korelasyon yapılmış ve her bir korelasyonda 1. Derece Lineer, 1. Derece Logaritmik, Yarılog, 2.Derece Lineer ve 2. Derece Logaritmik istatistiksel değerlendirmeler olmak üzere toplam 5 tane regresyon denklemi kurulmuştur. AGİ'ler arasında toplam 293 adet

korelasyon yapılarak, 1465 adet regresyon denklemi oluşturulmuştur. AGİ'ler arasındaki uygun korelasyonlar seçildikten sonra, bu çalışma kapsamında çalışılan on baraj için su temin değerlerinin hesaplanmasında kullanılacak istasyonların noksan yıllardaki verileri tamamlanmıştır.

4.1 AGİ Akım Değerlerinin Doğallaştırılması

Filyos Havzası'nda bulunan AGİ'lerden bazılarının membasında su tüketimleri veya derivasyonlar olduğu için müdahalelidir ve doğal hale getirilmeleri gerekmektedir. Çünkü, AGİ ler arasında sağlıklı bir korelasyon yapabilmek için bu zorunludur. Müdahaleli akım değerleri DSİ, İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı'ndan temin edilen veriler (su tüketimleri, derivasyon debileri) doğrultusunda doğal hale getirilmiştir.

D13A008 Mudurnu Çayı, Akkaya (Akmina) AGİ akım değerlerinin doğal hale getirilmesi

D13A008 Akkaya AGİ'nin 1961 Ocak-Eylül, 1962-1963, 1966-1969, 2005-2007, 2009 Ekim-Kasım ve Mart-Eylül, 2010 Nisan-Eylül, 2012-2013 ve 2015-2016 yılları akımları mevcuttur. Ancak, 2005 yılından sonraki akımları, Gölköy Barajı'na yapılan derivasyondan dolayı müdahalelidir. Gölköy Barajı derivasyon kanalına alınan sular DSİ tarafından ölçülmediğinden dolayı doğal hale getirilmesi mümkün olmamaktadır. Bu sebeple D13A008 Akkaya AGİ'nin 2005 yılı ve sonrası akımları kullanılmamıştır.

D13A065 Büyüksu Çayı, Küplüce AGİ akım değerlerinin doğal hale getirilmesi

D13A065 Küplüce AGİ de Gölköy Barajı etkisindedir. Akım değerlerini doğal hale getirmek için, Bolu Gölköy Barajı'nın DSİ, İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı'ndan temin edilen 2003-2017 periyodunda sulamaya, su ürünleri istasyonuna ve içme suyuna çekilen suların ortalaması alınmıştır. Bolu Gölköy Barajı'ndan D13A065 Küplüce AGİ'ye gelmeyen sular, sulama suyu, içme suyunun % 20 si ve su ürünleri istasyonuna verilen sulardır. 2003-2017 periyodunda ortalama aylık toplam gelmeyen sular D13A065 Küplüce AGİ'nin gözlenmiş akımlarına eklenerek doğal hale getirilmiştir.

D13A070 Hızar Deresi, Bayramışlar AGİ akım değerlerinin doğal hale getirilmesi

D13A070 Bayramışlar AGİ'nin, 2006-2016 gözlem periyodunda 11 yıllık akım değerleri mevcuttur. D13A070 Bayramışlar AGİ nin membasında bulunan köylerde su tüketimleri vardır. DSİ, İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı'ndan temin edilen su tüketimleri, D13A070 Bayramışlar AGİ aylık toplam akım değerlerine eklenerek doğal hale getirilmiştir.

E13A034 Bolu Çayı, Beşdeğirmenler AGİ akım değerlerinin doğal hale getirilmesi

E13A034 Beşdeğirmenler AGİ'nin 1967-2011 gözlem periyodunda 45 yıllık akım gözlemleri mevcuttur. Akım gözlemleri 1970 yılında işletmeye açılan Gölköy Barajı etkisindedir. Akım değerlerini doğal hale getirmek için aşağıdaki işlemler uygulanmıştır.

Bolu Gölköy Barajı'nın DSİ, İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı'ndan temin edilen 2003-2017 periyodunda sulamaya, su ürünleri istasyonuna ve içme suyuna çekilen suların ortalaması alınmıştır. Bolu Gölköy Barajı'ndan E13A034 Beşdeğirmenler AGİ'ye gelmeyen sular, sulama suyu, içme suyunun % 20 si ve su ürünleri istasyonuna verilen sulardır. 2003-2017 periyodunda ortalama aylık toplam gelmeyen sular E13A034 Beşdeğirmenler AGİ'nin gözlenmiş akımlarına eklenerek doğal hale getirilmiştir.

4.2 AGİ Korelasyon Çalışmaları

Havzada her bir AGİ'nin birbiriyle korelasyonu yapılmış ve her bir korelasyonda 1. Derece Lineer, 1. Derece Logaritmik, Yarılog, 2. Derece Lineer ve 2. Derece Logaritmik istatistiksel değerlendirmeler olmak üzere toplam 5 tane regresyon denklemi kurulmuştur. AGİ ler arasında toplam 324 adet korelasyon yapılmıştır.

Korelasyon hesabının yapılabilmesi için incelenen AGİ ikilisinin aynı tarihte ölçüm verisine sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle korelasyon matrisinde bazı kısımlar boş kalmıştır. Geriye kalan 293 adet korelasyonda 1465 adet regresyon denklemi oluşturularak en yüksek korelasyon katsayısını ve en küçük standart sapma değerini veren regresyon denklemi, noksan akım verilerinin tamamlanmasında kullanılmıştır.

Ayrıca, gerekli olduğu durumlarda iki AGİ arasındaki korelasyon çalışması, bağımlı ve bağımsız değişkenler yer değiştirilerek tekrarlanmıştır. En uygun korelasyon seçilirken, aşağıdaki durumlar da dikkate alınmıştır.

- memba-mansap ilişkisi
- aynı kol üzerinde olup olmadıkları
- ana kol veya yan kol üzerinde bulunmaları durumu
- birbirlerine olan uzaklıkları
- havza alanlarının büyüklüğü
- klimataolojik olarak aynı bölgede olup olmadıkları

AGİ'ler arasındaki korelasyonlar Çizelge 2'de matris olarak verilmiştir. Her bir AGİ için en yüksek korelasyon katsayısını veren değer pembe renkle gösterilmiştir.

Filyos Havzasındaki akım gözlem istasyonları arasındaki en uygun istatistiksel ilişkilerin görsel açıdan irdelenebilmesi amacıyla bir matris grafiği de oluşturulmuştur. İstasyonlar arasındaki en uygun istatistiksel ilişkileri gösteren grafikler Şekil 3'de verilmiştir. Grafikler, Microsoft Office programı kullanılarak çizilmiştir. İstasyonlar arasındaki ilişkinin genelde lineer olduğu görülürken, logaritmik ilişkiler de bulunmaktadır. İki istasyon arasındaki r^2 değeri en yüksek olan ilişki dikkate alınmıştır. Ancak, tüm gözlem zamanı boyunca hem en uygun matematiksel ilişkiyi veren, hem de ilgili zaman diliminde akım gözlem verisine sahip AGİ bulabilmek mümkün olmamaktadır. Bu durumda eksik kalan zaman dilimleri için, ikinci veya üçüncü en iyi istatistiksel ilişkiye sahip bir başka AGİ verisi kullanılmıştır.

4.3 Eksik Akım Değerlerinin Tamamlanması

Bu çalışma kapsamında baraj tasarımında kullanılacak 11 tanesi AGİ için eksik akım verileri tamamlanmıştır.

İstasyonlar arasında matematiksel ilişkiler değerlendirilerek, birbiri ile uyumlu olan ve noksan verilerin tamamlanmasında kullanılacak istasyonlar tespit edilmiştir. İstasyonlar arasındaki matematiksel ilişkilerin incelenmesi için Microsoft Excel programında yazılan bir programdan yararlanılmıştır. Bu program, Microsoft Excelin kendi veri analizinden yararlanılarak kontrol edilmiş ve her iki uygulamanın da aynı sonucu verdiği görülmüştür. Bu amaçla, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin varlığı ve eğer bir ilişki varsa bu ilişkinin yönü ve kuvvetini belirlemek amacıyla regresyon-korelasyon analizleri yapılmıştır.

Lineer korelasyon katsayısının hesaplanması için aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$r = \frac{\sum xy - \frac{(\sum x \sum y)}{n}}{\sqrt{[\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}] [\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}]}} \quad (1)$$

Burada;

x = bağımsız değişken olarak seçilen AGİ

y = bağımlı değişken olarak seçilen AGİ

$x^2, y^2 = x$ ve y istasyonlarının aynı tarihte ölçülmüş akım değerlerinin karesi

$n = x$ ve y istasyonlarının aynı tarihte ölçülmüş akım değerlerinin sayısı

$r = x$ ve y arasındaki korelasyon katsayısı

İstasyonlar arasında regresyon denklemleri olarak; 1. Derece Lineer, 1. Derece Logaritmik, Yarılog, 2. Derece Lineer ve 2. Derece Logaritmik istatistiksel değerlendirmeler yapılarak, istasyonlar arasındaki korelasyon katsayısı 1'e en yakın ve standart sapması en küçük olanın seçilmesine dikkat edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında tasarlanan barajların su temin değerlerinin hesaplanmasında kullanılan AGİ'lerin noksan verilerinin tamamlanmasında yararlanılan istatistiksel ilişkiler ve R değerleri Çizelge 3'de verilmiştir.

4.4 Akım Süreklilik Eğrileri

Akım süreklilik eğrileri, bir akarsu kesitinde yapılan en düşük ve en büyük akımlarla bunların arasında kalan tüm gözlenmiş akımları esas alarak o kesitteki akışın davranış biçimi hakkında bilgi sağlar. Elde edilen ASE istenilen bir akım değerinin zamanın kaçta kaçında mevcut olduğunu gösterir [5].

Örneğin, V_{90} zamanın %90'ında aşılması beklenen akım demektir.

Düşey ekseninde akımlar, yatay ekseninde zaman yüzdeleri gösterilir. Akım süreklilik eğrilerini çizerken mümkün olduğu kadar uzun bir süreye ait veri kullanmak daha sağlıklı olmaktadır. Bu çalışmada, akım süreklilik eğrilerinden iki şekilde yararlanılmıştır. Birinci olarak, akım verileri tamamlanan istasyonların uygun şekilde korelasyon yapıldıklarını kontrol etmek amacıyla; o istasyonun eksik ve tamamlanmış akım verileri ile akım süreklilik eğrileri elde edilerek, üst üste oturtulmuş ve eğrilerin uyumu incelenmiştir. Örneğin, D13A022 Akhasan Deresi üzerinde bulunan Akhasan AGİ'nin eksik ve tamamlanmış verilerle çizilen ASE Şekil 4'de verilmiştir.

İkinci olarak, akım süreklilik eğrilerinden alternatif baraj tasarımları yapılırken yararlanılmıştır. Baraj aks yerinde, baraj aks yeri gözlenmiş su temin değerleri hesaplandıktan sonra, akım süreklilik eğrileri kullanılarak, %90, %80, %70 ve %60 ihtimalli akım değerleri için uzun yıllara dayalı akım serileri elde edilmiştir. Böylece, gözlenmiş akım değerleri ile %90, %80, %70 ve %60 ihtimalli akım değerleri için ayrı ayrı baraj tasarımı yapılmıştır.

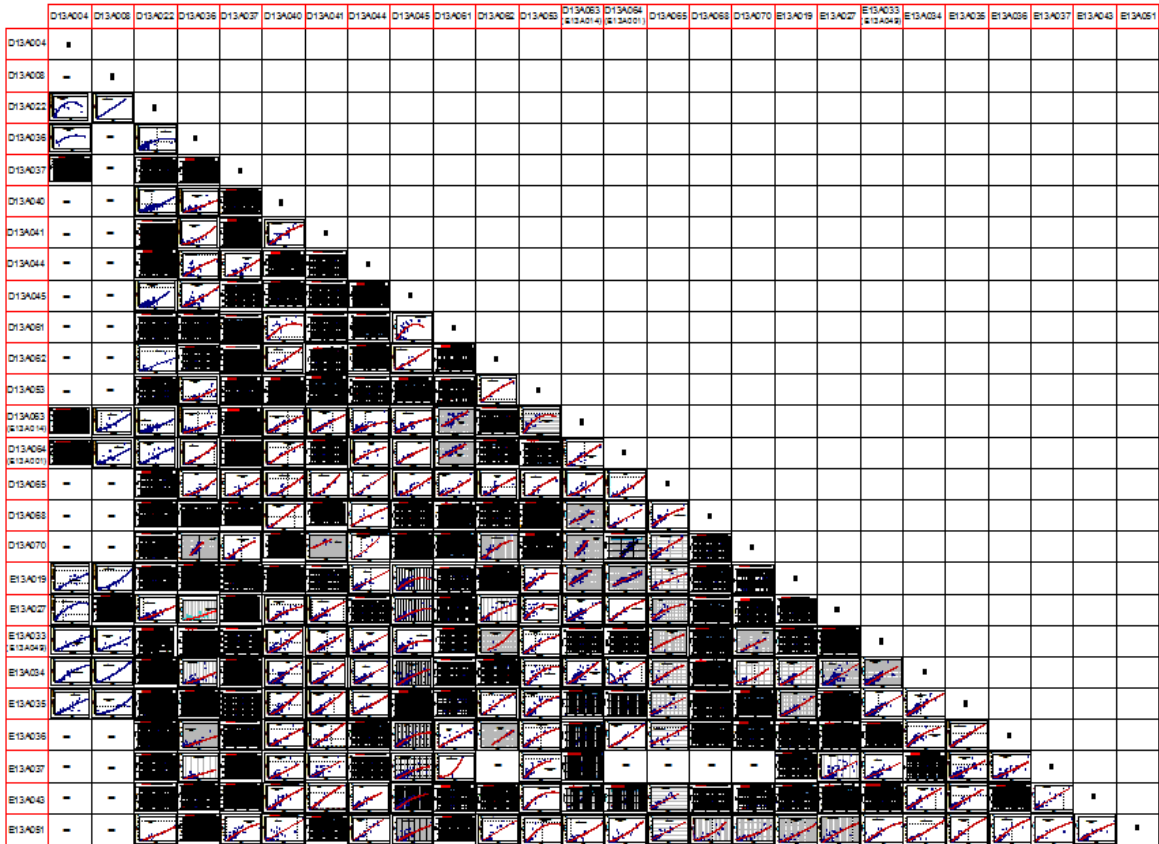
Böylece, bu çalışma ile değişik ihtimalli akımların baraj tasarımına, baraj maliyetine ve tarım arazilerinde elde edilecek sulama faydasına etkisi değerlendirilmiştir. Çünkü, baraj tasarımında seçilecek akım değeri, baraj maliyeti ve sulamadan elde edilecek fayda (gelir) açısından çok önemlidir.

5 BARAJLARIN PLANLANMASI VE İŞLETİLMESİ

Batı Karadeniz Havzası Master Plan Raporu kapsamında, DSİ'den alınan veriler doğrultusunda havzada bulunan mevcut ve planlanan depolama tesisleri tespit edilmiştir [6]. Bu depolama tesislerinden on tanesi için tasarım yapılmıştır. Çalışmaya konu olan barajların isimleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2 - Akım ölçüm istasyonları arasındaki korelasyonlar

| | D13A004 | D13A008 | D13A022 | D13A036 | D13A037 | D13A040 | D13A041 | D13A044 | D13A045 | D13A061 | D13A062 | D13A063 | D13A063 (E13A014) | D13A064 (E13A001) | D13A065 | D13A068 | D13A070 | E13A019 | E13A027 | E13A033 (E13A049) | E13A034 | E13A035 | E13A036 | E13A037 | E13A043 | E13A051 |
|----------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------|
| D13A004 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D13A008 | - | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D13A022 | 0,823 | 0,949 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D13A036 | 0,531 | - | 0,857 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D13A037 | 0,684 | - | 0,778 | 0,714 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D13A040 | - | - | 0,894 | 0,84 | 0,852 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D13A041 | - | - | 0,887 | 0,83 | 0,879 | 0,926 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D13A044 | - | - | 0,782 | 0,732 | 0,881 | 0,859 | 0,89 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D13A045 | - | - | 0,86 | 0,85 | 0,853 | 0,954 | 0,914 | 0,832 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D13A061 | - | - | 0,791 | 0,783 | 0,783 | 0,797 | 0,866 | 0,733 | 0,823 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D13A062 | - | - | 0,856 | 0,888 | 0,917 | 0,942 | 0,945 | 0,906 | 0,912 | 0,917 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| D13A063 | - | - | 0,867 | 0,797 | 0,891 | 0,902 | 0,917 | 0,83 | 0,874 | 0,896 | 0,976 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| D13A063 (E13A014) | 0,661 | 0,856 | 0,83 | 0,818 | 0,867 | 0,959 | 0,964 | 0,833 | 0,914 | 0,794 | 0,843 | 0,929 | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| D13A064 (E13A001) | 0,871 | 0,849 | 0,883 | 0,96 | 0,875 | 0,977 | 0,943 | 0,904 | 0,952 | 0,883 | 0,922 | 0,937 | 0,953 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| D13A065 | - | - | 0,857 | 0,851 | 0,848 | 0,886 | 0,936 | 0,97 | 0,864 | 0,804 | 0,838 | 0,902 | 0,844 | 0,926 | 1 | | | | | | | | | | | |
| D13A068 | - | - | 0,725 | 0,865 | 0,888 | 0,899 | 0,908 | 0,952 | 0,905 | 0,818 | 0,883 | 0,881 | 0,806 | 0,878 | 0,892 | 1 | | | | | | | | | | |
| D13A070 | - | - | 0,791 | 0,845 | 0,865 | 0,861 | 0,865 | 0,951 | 0,85 | 0,779 | 0,812 | 0,945 | 0,832 | 0,838 | 0,842 | 0,873 | 1 | | | | | | | | | |
| E13A019 | 0,895 | 0,919 | 0,867 | 0,737 | 0,914 | 0,904 | 0,943 | 0,898 | 0,869 | 0,867 | 0,933 | 0,927 | 0,919 | 0,936 | 0,904 | 0,893 | 0,843 | 1 | | | | | | | | |
| E13A027 | 0,867 | 0,916 | 0,907 | 0,835 | 0,852 | 0,971 | 0,946 | 0,846 | 0,945 | 0,793 | 0,923 | 0,9 | 0,946 | 0,971 | 0,84 | 0,905 | 0,845 | 0,904 | 1 | | | | | | | |
| E13A033 (E13A049) | 0,866 | 0,823 | 0,867 | 0,712 | 0,916 | 0,894 | 0,946 | 0,893 | 0,845 | 0,73 | 0,805 | 0,964 | 0,936 | 0,906 | 0,818 | 0,724 | 0,834 | 0,942 | 0,897 | 1 | | | | | | |
| E13A034 | 0,931 | 0,976 | 0,837 | 0,717 | 0,832 | 0,854 | 0,904 | 0,902 | 0,803 | 0,745 | 0,691 | 0,874 | 0,874 | 0,844 | 0,88 | 0,672 | 0,778 | 0,927 | 0,843 | 0,873 | 1 | | | | | |
| E13A035 | 0,903 | 0,905 | 0,839 | 0,765 | 0,931 | 0,929 | 0,935 | 0,931 | 0,892 | 0,798 | 0,934 | 0,909 | 0,91 | 0,932 | 0,926 | 0,892 | 0,908 | 0,949 | 0,923 | 0,949 | 0,928 | 1 | | | | |
| E13A036 | - | - | 0,913 | 0,777 | 0,93 | 0,939 | 0,979 | 0,915 | 0,907 | 0,884 | 0,961 | 0,957 | 0,945 | 0,956 | 0,867 | 0,918 | 0,887 | 0,971 | 0,931 | 0,963 | 0,93 | 0,969 | 1 | | | |
| E13A037 | - | - | 0,81 | 0,682 | 0,817 | 0,806 | 0,879 | 0,748 | 0,79 | 0,822 | - | 0,826 | 0,872 | - | - | - | - | 0,868 | 0,791 | 0,847 | 0,844 | 0,819 | 0,881 | 1 | | |
| E13A043 | - | - | 0,876 | 0,859 | 0,93 | 0,923 | 0,951 | 0,872 | 0,901 | 0,826 | 0,945 | 0,925 | 0,918 | 0,921 | 0,891 | 0,914 | 0,856 | 0,979 | 0,897 | 0,947 | 0,91 | 0,949 | 0,968 | 0,913 | 1 | |
| E13A051 | - | - | 0,851 | 0,837 | 0,84 | 0,843 | 0,907 | 0,942 | 0,841 | 0,746 | 0,857 | 0,897 | 0,81 | 0,864 | 0,909 | 0,851 | 0,841 | 0,952 | 0,816 | 0,884 | 0,907 | 0,967 | 0,923 | 0,885 | 0,927 | 1 |



Şekil 3- Akım ölçüm istasyonları arasındaki en uygun korelasyon grafikleri

Çizelge 3 - İstasyonların eksik verilerinin doldurulmasında kullanılan istatistiksel ilişkiler ve R değerleri

| İSTASYON KİLLERİ | | DENKLEM | R | TAMAMLANAN YILLAR |
|----------------------|---------------------|---|-------|---|
| x, bağımsız değişken | y, bağımlı değişken | | | |
| E13A034 | D13A004 | $Q_{D13A004} = -2,183150 + 0,443373 \times (Q_{E13A027}) - 0,001692 \times (Q_{E13A034})^2$ | 0,956 | 1970, 1973-1986, 1987 (Ekim hanç), 1988-1993, 1994 (Eylül hanç), 1995 (Ekim hanç), 1996-2006, 2007 (Eylül hanç), 2008-2009 (Ekim, Kasım hanç), 2010 (Eylül hanç), 2011 (Ekim-Şubat, Eylül hanç) |
| E13A019 | | $Q_{D13A004} = -0,130461 + 0,416259 \times (Q_{E13A019}) - 0,000732 \times (Q_{E13A019})^2$ | 0,927 | 1987 Ekim, 1994 Eylül, 1995 Ekim, 2008-2009 (Ekim-Kasım), 2010 Eylül, 2011 (Ekim-Şubat, Eylül) |
| E13A027 | | $Q_{D13A004} = 1,160645 + 0,361221 \times (Q_{E13A027}) - 0,001490 \times (Q_{E13A027})^2$ | 0,926 | 2007 Eylül, 2014 |
| E13A034 | D13A008 | $Q_{D13A008} = -0,044183 + 0,111589 \times (Q_{E13A034}) + 0,000973 \times (Q_{E13A034})^2$ | 0,976 | 1970-2011 |
| E13A019 | | $D_{13A008} = 1,109218 + 0,052945 \times Q_{E13A019} + 0,003919 \times (Q_{E13A019})^2$ | 0,919 | 1965, 2013, 2015-2016 |
| E13A027 | | $LOG(Q_{D13A008}) = -0,480206 + 0,629575 \times LOG(Q_{E13A027}) + 0,070418 \times LOG(Q_{E13A027})^2$ | 0,916 | 2014, 2017 |
| E13A035 | | $Q_{D13A008} = 1,216806 - 0,000346 \times (Q_{E13A035}) + 0,000016 \times (Q_{E13A035})^2$ | 0,905 | 1964 |
| E13A027 | D13A022 | $Q_{D13A022} = 0,084880 + 0,033554 \times (Q_{E13A027}) + 0,000068 \times (Q_{E13A027})^2$ | 0,907 | 1973, 1994-1995, 2013-2017 |
| D13A040 | | $Q_{D13A022} = 0,068577 + 0,027349 \times (Q_{D13A040}) + 0,000098 \times (Q_{D13A040})^2$ | 0,894 | 2012 |
| D13A064 (E13A001) | D13A036 | $Q_{D13A036} = 0,055771 + 0,022628 \times Q_{D13A064 (E13A001)} + 0,000057 \times (Q_{D13A064 (E13A001)})^2$ | 0,96 | 2017 |
| E13A027 | | $Q_{D13A036} = 0,207980 + 0,051654 \times (Q_{E13A027}) + 0,000226 \times (Q_{E13A027})^2$ | 0,879 | 1972 (Ekim), 1973-1974, 1984 |
| E13A033 (E13A049) | D13A037 | $GI(Q_{D13A037}) = -2,662118 + 3,197538 \times LOG(Q_{E13A033 (E13A049)}) - 0,000037 \times LOG(Q_{E13A033 (E13A049)})^2$ | 0,916 | 1995-1998, 2001, 2008, 2010, 2011 (Ekim-Mart) |
| D13A063 (E13A014) | | $GI(Q_{D13A037}) = -3,285127 + 3,735936 \times LOG(Q_{D13A063 (E13A014)}) - 0,748790 \times LOG(Q_{D13A063 (E13A014)})^2$ | 0,867 | 2009 |
| E13A027 | D13A040 | $Q_{D13A040} = -0,044901 + 1,344815 \times Q_{E13A027} - 0,003465 \times (Q_{E13A027})^2$ | 0,976 | 1979, 1998-1999, 2008 (Mart-Mayıs), 2009 (Ekim-Ocak), 2010, 2014-2017 |
| E13A036 | | $Q_{D13A040} = -4,915593 + 0,872817 \times Q_{E13A036} + 0,000181 \times (Q_{E13A036})^2$ | 0,979 | 1984 (Nisan-Temmuz), 1997-2000, 2008-2009, 2014-2017 |
| E13A033 (E13A049) | D13A041 | $Q_{D13A041} = 2,918357 + 2,486228 \times Q_{E13A033 (E13A049)} + 0,006074 \times (Q_{E13A033 (E13A049)})^2$ | 0,946 | 2001, 2010-2011 |
| D13A062 | | $LOG(Q_{D13A041}) = 0,701977 + 0,515276 \times LOG(Q_{D13A062}) + 0,184962 \times LOG(Q_{D13A062})^2$ | 0,945 | 2012, 2013 (Ekim-Nisan) |
| D13A063 (E13A014) | | $Q_{D13A041} = 4,476213 + 1,956328 \times Q_{D13A063 (E13A014)} - 0,000505 \times (Q_{D13A063 (E13A014)})^2$ | 0,964 | 2003 |
| E13A051 | D13A044 | $Q_{D13A044} = -2,041974 + 0,988454 \times Q_{E13A051}$ | 0,967 | 1999-2000, 2008-2011, 2013 (Mart-Eylül), 2015 (Ocak-Eylül), 2016-2017 |
| D13A065 | | $Q_{D13A044} = -8,423981 + 3,122205 \times Q_{D13A065}$ | 0,967 | 2012, 2013 (Ekim-Şubat), 2014, 2015 (Ekim-Aralık) |
| E13A034 | | $Q_{D13A044} = -0,061668 + 3,079736 \times Q_{E13A034}$ | 0,902 | 1982 (Ekim-Aralık), 1998 |
| D13A063 (E13A014) | D13A064 (E13A001) | $Q_{D13A063 (E13A014)} = 0,576998 + 0,720798 \times Q_{D13A064 (E13A001)}$ | 0,972 | 1963, 1972-2003, 2008 Şubat-Eylül, 2009 Ekim-Nisan, 2010 Ekim-Ocak |
| D13A064 (E13A001) | D13A063 (E13A014) | $Q_{D13A064 (E13A001)} = 4,913416 + 1,166208 \times Q_{E13A063 (E13A014)} + 0,000448 \times (Q_{E13A063 (E13A014)})^2$ | 0,953 | 2016 |
| D13A053 | D13A061 | $LOG(Q_{D13A053}) = 0,171608 + 0,367667 \times LOG(Q_{D13A053}) + 0,233467 \times LOG(Q_{D13A053})^2$ | 0,922 | 1985-1993, 1994 (Ekim-Temmuz), 1999-2000, 2003 |
| D13A062 | | $LOG(Q_{D13A061}) = -0,127659 + 0,554013 \times LOG(Q_{D13A062}) + 0,138672 \times LOG(Q_{D13A062})^2$ | 0,939 | 2011 (Mayıs-Eylül), 2012 |
| E13A033 (E13A049) | | $DI(Q_{D13A061}) = -0,522215 + 1,262724 \times LOG(Q_{E13A033 (E13A049)}) - 0,146252 \times LOG(Q_{E13A033 (E13A049)})^2$ | 0,919 | 1994 (Ağustos-Eylül), 1995-1998, 2002, 2011 (Ekim) |
| E13A034 | D13A070 | $Q_{D13A070} = 0,309019 + 0,005026 \times Q_{E13A034} + 0,000597 \times (Q_{E13A034})^2$ | 0,885 | 1967-2005 |
| D13A040 | | $Q_{D13A070} = 0,451948 + 0,238956 \times Q_{D13A040} - 0,000349 \times (Q_{D13A040})^2$ | 0,948 | 1976-1978, 1980-1982 |
| E13A027 | D13A045 | $Q_{D13A045} = 0,258013 + 0,320929 \times Q_{E13A027} - 0,001087 \times (Q_{E13A027})^2$ | 0,945 | 1979, 1999 |
| D13A065 | E13A034 | $Q_{E13A034} = 0,824303 + 0,632777 \times Q_{D13A065} + 0,006501 \times (Q_{D13A065})^2$ | 0,936 | 2012-2016 |

- Akhasan Barajı (mevcut)
- Aktaş Barajı
- Andıraz Barajı
- Araç Barajı
- Çay Barajı
- Çele Barajı
- Gölköy Barajı (mevcut)
- Hacılar Barajı
- Köprübaşı Barajı (mevcut)
- Tekke Barajı

Yapılan baraj tasarımları ile değişik ihtimalli akımlarının baraj maliyetine ve tarım arazilerinde elde edilecek sulama faydasına etkisi görülmüştür.

Baraj tasarımları sadece sulama amaçlı olarak düşünülmüş ve sulu tarıma geçildiğinde elde edilecek sulama faydasının da hesaplanması amaçlanmıştır.

Baraj aks yerlerinde, noksan yılları tamamlanmış ilgili AGİ akım değerleri kullanılarak, gözlenmiş su temin değerleri hesaplandıktan sonra, akım süreklilik eğrileri çizilerek, baraj aks yerindeki %90, %80, %70 ve %60 ihtimalli akım değerleri için uzun yıllara dayalı akım serileri elde edilmiştir.

Gözlenmiş akım değerleri ile ihtimalli akım değerleri için ayrı ayrı baraj işletme çalışması yapılarak baraj kret kotu, kret uzunluğu, gövde yüksekliği, depolama hacmi, barajın dolgu hacmi, baraj maliyeti ve barajda depolanacak akımlarla sulanabilecek sulama alanı büyüklüğü ile sulu tarıma geçildiğinde elde edilecek sulama faydası (geliri) hesaplanmıştır.

5.1 Baraj Aks Yeri Gözlenmiş Su Temin Değerleri

Su temini, bir akarsuyun herhangi bir kesitinden geçen suyun miktarını, aylık toplam olarak hm^3 cinsinden gösteren değerlerdir. Bu kesit yeri; bir baraj, gölet veya regülatör aks yeri olabilmektedir.

Akarsular üzerinde akım ölçüleri için DSİ, DMİ ve EİE (Mülga) tarafından kurulmuş AGİ'ler bulunmaktadır. Akım Gözlem İstasyonlarında düzenli olarak akım ölçümleri yapılmaktadır. Ayrıca, AGİ istasyonlarının olmadığı akarsularda münferit ölçümlerle su temin değerleri oluşturulur. Mütefferik denilen bu ölçümler, düzenli olmayan ve ayda bir-iki kere akarsu

yatağında muline denilen bir aletle yapılmaktadır.

Mühendislik yapılarının boyutlandırılmasına esas teşkil eden gözlem değerleri ne kadar uzun süreli olursa projenin o derece sağlıklı planlanması mümkün olacaktır.

5.1.1 Akhasan Barajı su temini

Akhasan Barajı mevcut bir baraj olup, yağış alanı 59,61 km² dir. Akhasan Barajı aylık toplam doğal akım değerleri, D13A022 Akhasan AGİ (76,5 km²) aylık toplam doğal akım değerlerinden, aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$V_{AKHASAN\ BARAJI} = \frac{59,61}{76,5} \times V_{D13A022}$$

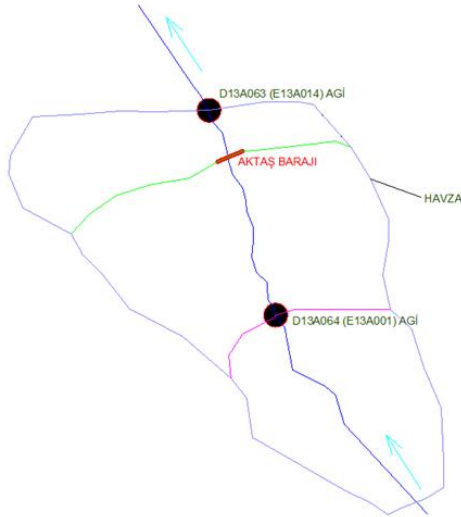
5.1.2 Aktaş Barajı su temini

Aktaş Barajı'nın yağış alanı 4264,16 km² dir. Aktaş Barajı D13A064 (E13A001) Bayramören AGİ ile E13A014 (D13A063) Karabük AGİ arasında kalmaktadır.

Aktaş Barajı aylık toplam doğal akım değerleri; $V_{AKTAŞ} = V_{D13A064} + [(A_{AKTAŞ} - A_{D13A064}) / (A_{E13A014} - A_{D13A064})] \times (V_{E13A014} - V_{D13A064})$ formülasyonu ile hesaplanmıştır. Şematik gösterimi Şekil 4'de verilmiştir.

Aktaş Barajı'nın membasında mevcut durumda sadece Akhasan Barajı işletmeye açılmıştır. Mevcut durumdaki aylık toplam su temini değerleri;

$V_{AKTAŞ} = V_{AKTAŞ\ DOĞAL} - V_{AKHASAN\ DOĞAL} + V_{AKHASAN\ CHS} + V_{AKHASAN\ DOLUSAVAK}$ formülasyonu ile hesaplanmıştır.



Şekil 4 - Aktaş Barajı su temini şematik gösterimi

5.1.3 Andıraz Barajı su temini

Andıraz Barajı'nın yağış alanı 3527,23 km² dir. Andıraz Barajı D13A064 Bayramören AGİ ile E13A014 (D13A063) Soğanlı Çayı Karabük AGİ

arasında kalmaktadır. Andıraz Barajı aylık toplam doğal akım değerleri;

$$V_{ANDIRAZ} = V_{D13A064} + [(A_{ANDIRAZ} - A_{D13A064}) / (A_{E13A014} - A_{D13A064})] \times (V_{E13A014} - V_{D13A064})$$

formülasyonu ile hesaplanmıştır. Andıraz Barajı'nın membasında mevcut durumda sadece Akhasan Barajı işletmeye açılmıştır. Mevcut durumdaki aylık toplam su temini değerleri;

$$V_{ANDIRAZ} = V_{ANDIRAZ\ DOĞAL} - V_{AKHASAN\ DOĞAL} + V_{AKHASAN\ CHS} + V_{AKHASAN\ DOLUSAVAK}$$

5.1.4 Araç Barajı su temini

Araç Barajı aylık toplam doğal akım değerleri, D13A061 Araç AGİ'den hesaplanmıştır. Araç Barajı'nın yağış alanı 696 km², D13A061 Araç AGİ yağış alanı 885,5 km² dir. Araç Barajı aylık toplam doğal akım değerleri, aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$V_{ARAÇ\ BARAJI} = \frac{696}{885,5} \times V_{D13A061}$$

5.1.5 Çele Barajı su temini

Çele Barajı Büyüksu Çayı'nın yan kolu olan Hızır Deresi üzerinde planlanmıştır. Çele Barajı yağış alanı 22,09 km² dir. Hızır Deresi üzerinde 2006-2016 gözlem periyodunda 11 yıllık akım gözlemleri ve yağış alanı 24,45 km² olan D13A070 Bayramışlar AGİ bulunmaktadır. Çele Barajı aylık toplam doğal akım değerleri, D13A070 Bayramışlar AGİ (24,45 km²) aylık toplam doğal akım değerlerinden;

$$V_{ÇELE\ BARAJI} = \frac{22,09}{24,45} \times V_{D13A070}$$

eşitliği ile Çele Barajı'nın kendi havzasından gelen aylık toplam doğal akım değerleri hesaplanmıştır.

DSİ, İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı'ndan alınan bilgiler doğrultusunda, Çele Barajı'nın membasındaki köylerde su tüketimleri bulunduğu tespit edilmiştir. Mema su tüketimleri Çele Barajı aylık toplam doğal akım değerlerinden çıkarılarak Çele Barajı net aylık toplam su temini değerleri hesaplanmıştır.

5.1.6 Gölköy Barajı su temini

Gölköy Barajı mevcut bir barajdır. Barajın yağış alanı 7,54 km² olup, kendi havzasından gelen bir akım bulunmamaktadır. Bu nedenle, sağ sahilde bulunan Mudurnu Çayı üzerindeki Mudurnu Regülatörü (114,69 km²) 2,5 m³/s kapasiteli derivasyon kanalı ve sol sahilde bulunan Yumrukaya Regülatörü'nden (190,7 km²) 3,0 m³/s kapasiteli derivasyon kanalı ile Gölköy Barajı'na çevrilen derivasyon akımları Gölköy Barajı su temini potansiyelini oluşturmaktadır.

5.1.6.1 Mudurnu Çayı Mudurnu Regülatörü su temini

D13A008 Akkaya AGİ yağış alanı, Mudurnu Regülatörü yağış alanına çok yakın olduğundan alan oranıyla taşınmayıp, D13A008 Akkaya AGİ aylık toplam akımları aynı zamanda Mudurnu Regülatörü akımları olarak kabul edilmiştir.

Mudurnu Çayı üzerinde bulunan ve yağış alanı 118,3 km² olan D13A008 Akkaya (Akmına) AGİ'nin akımlarından canlı hayat suları düşülerek hesaplanan aylık akımlardan 2,5 m³/s derivasyon kapasitesine göre seçim yapılarak Gölköy Barajı'na yapılacak derivasyon akımları elde edilmiştir.

5.1.6.2 Büyüksu Yumrukaya Regülatörü su temini

Büyüksu Deresi üzerinde bulunan ve yağış alanı 183,5 km² olan D13A004 Yumrukaya AGİ nin aylık toplam akımları, Yumrukaya Regülatörü'ne alan oranı ile taşınarak,

$$V_{YUMRUKAYA\ REGÜLATÖRÜ} = \frac{190,7}{183,5} \times V_{D13A004}$$

eşitliği ile yağış alanı 190,7 km² olan Yumrukaya Regülatörü aylık toplam akımları hesaplanmıştır. Yumrukaya Regülatörü aylık toplam akımlarda canlı hayat suları hesaplanmış ve Yumrukaya Regülatörü aylık akımlarından düşülerek hesaplanan net akımlardan 3,0 m³/s derivasyon kapasitesine göre seçim yapılarak Gölköy Barajı'na yapılacak derivasyon akımları elde edilmiştir.

Gölköy Barajı aylık toplam su temini değerleri, Mudurnu Regülatörü'nden Gölköy Barajı'na çevrilen akımlarla, Yumrukaya Regülatörü'nden Gölköy Barajı'na çevrilen akımların toplanmasıyla hesaplanmıştır.

$$V_{GÖLKÖY\ BARAJI} = V_{MUDURNU\ ÇAYINDAN\ ÇEVİRİLEN\ AKIM} + V_{BÜYÜKSU\ DERESİNDEN\ ÇEVİRİLEN\ AKIM}$$

Gölköy Barajı'ndan hem içme suyuna hem de su ürünleri için su verilmekte olup, barajın işletme çalışmasında dikkate alınarak, sulamaya verilebilecek su tespit edilmiştir.

5.1.7 Hacılar Barajı su temini

Hacılar Barajı yağış alanı 80,07 km² dir. Akhasan Barajı aylık toplam doğal akım değerleri, D13A036 Hacılar AGİ (88,3 km²) aylık toplam doğal akım değerlerinden, aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$V_{HACILAR\ BARAJI} = \frac{80,07}{88,30} \times V_{D13A036}$$

5.1.8 Tekke Barajı su temini

Tekke Barajı aylık toplam doğal akım değerleri D13A045 Yağbaşlar AGİ'den hesaplanmıştır. Barajın yağış alanı 187,7 km², D13A045 Yağbaşlar AGİ yağış alanı 196 km² dir. Tekke

Barajı aylık toplam doğal akım değerleri, aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$V_{TEKKE\ BARAJI} = \frac{187,7}{196} \times V_{D13A045}$$

5.1.9 Köprübaşı Barajı su temini

Köprübaşı Barajı, Bolu Çayı üzerinde mevcut bir baraj olup, toplam yağış alanı 1988,95 km² dir. Köprübaşı Barajı, E13A034 Beşdeğirmenler AGİ (1095,3 km²) ile D13A044 Devrek AGİ (2917,4 km²) arasında yer almaktadır.

Köprübaşı Barajı'nın aylık toplam akım değerleri; $V_{KÖPRÜBAŞI} = V_{E13A034} + [(A_{KÖPRÜBAŞI} - A_{E13A034}) / (A_{D13A044} - A_{E13A034})] \times (V_{D13A044} - V_{E13A034})$ formülasyonu ile hesaplanmıştır. Şematik gösterimi Şekil 5'de verilmiştir.

Mevcut durumda sadece Gölköy Barajı işletmede olup, Köprübaşı Barajı su temini değerleri mevcut durum için hesaplanmıştır. Mevcut durumda su temini hesabı aşağıda verilmiştir. Köprübaşı Barajı su temini;

$$V_{KÖPRÜBAŞI} = [V_{KÖPRÜBAŞI\ DOĞAL} - V_{GÖLKÖY}] + V_{GÖLKÖY(DOLUSAVAK + İÇMESUYUDÖNEN (%80)) + CANLI HS}$$

5.1.10 Çay Barajı su temini

Çay Barajı Devrek (Bolu) Çayı üzerinde olup, toplam yağış alanı 2563,31 km² dir. Çay Barajı, E13A034 Beşdeğirmenler AGİ (1095,3 km²) ile D13A044 Devrek AGİ (2917,4 km²) arasında yer almaktadır. Çay Barajı'nın aylık toplam akım değerleri;

$$V_{ÇAY} = V_{E13A034} + [(A_{ÇAY} - A_{E13A034}) / (A_{D13A044} - A_{E13A034})] \times (V_{D13A044} - V_{E13A034})$$

formülasyonu ile hesaplanmıştır.

Mevcut durumda Köprübaşı Barajı işletmede olup, Çay Barajı su temini değerleri mevcut durum için hesaplanmıştır. Mevcut durumda su temini hesabı aşağıda verilmiştir.

Çay Barajı su temini;

$$V_{ÇAY} = V_{ÇAY\ DOĞAL} - V_{KÖPRÜBAŞI\ DOĞAL} + V_{KÖPRÜBAŞI\ ÇIKIŞ(DOLUSAVAK)} + V_{KÖPRÜBAŞI\ CHS}$$

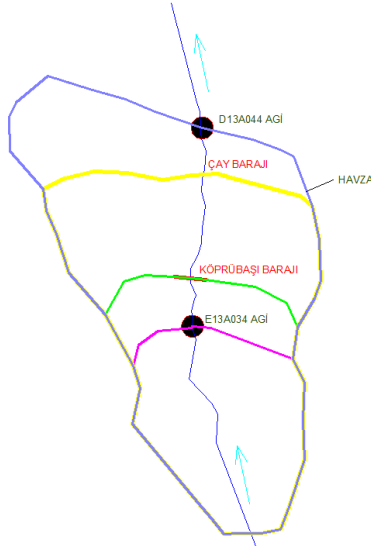
formülasyonu ile hesaplanmıştır.

5.2 Baraj Aks Yeri İhtimalli Su Temin Değerleri

Baraj aks yerlerinde gözlenmiş aylık toplam akım verileri oluşturulduktan sonra, aynı aks yerlerinde değişik ihtimalli (%90, %80, %70 ve %60) akım değerleri için uzun yıllara dayalı akım serileri elde edilmiştir. Böylece, değişik ihtimalli akımların baraj tasarımına, baraj maliyetine ve tarım arazilerinden elde edilecek sulama faydasına etkisi değerlendirilmiştir.

İhtimalli akım serilerinin nasıl elde edildiğini daha iyi anlayabilmek için, örnek olarak %90 ihtimalli akım üzerinden yapılan işlemler aşağıda sıralanmıştır

- Önce gözlenmiş akım verileri ile Akım Süreklilik Eğrisi çizilmiştir.
 - Daha sonra bu eğriler kullanılarak aylık (ekim, kasım, aralık, vs..) 0,90 lık akımlar ile yıllık toplam akımların 0,90 lık akımı hesaplanmıştır.
 - Yıllık 0,90 lık akımı AGİ nin her yılındaki yıllık toplam akımına bölerek $V_{0,90}/V_{yillik}$ toplam oranları bulunmuştur.
 - Bu oranlarla yıllık toplam 0,90 lık akım çarpılarak her yılın 0,90 lık akımı hesaplanmıştır.
 - Daha sonra, aylık 0,90 lık akımların her yıldaki toplam 0,90 lık akıma oranları hesaplanmıştır ($V_{ay(0,90)}/V_{yil(0,90)}$).
 - Son olarak, bu oranlarla yıllık toplam 0,90 lık akım çarpılarak, 0,90 ihtimalli akım serisi elde edilmiştir.
- Yukarıda hesap yöntemleri anlatılan barajların tasarımında kullanılan gözlenmiş ve değişik ihtimalli akımlar Çizelge 4'de verilmiştir.



Şekil 5 - Köprübaşı ve Çay Barajları su temini şematik gösterimi

5.3 Canlı Hayat Suyu Hesabı

Ekolojik sistemde, doğal floranın devamı için canlı hayat suyu hesaplanması gerekmektedir. Doğal hayatın devamı için bırakılması gereken canlı hayat suyu miktarı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü kriterlerine göre aşağıda belirtildiği şekilde hesaplanmaktadır. Canlı hayat suyu hesabı, düşük ve yüksek akım tespitine göre hesaplanmaktadır. Öncelikle, baraj havzasından gelen ortalama aylık toplam akımların aylık ortalama debileri hesaplanmıştır. Daha sonra, aylık ortalama debiler içinden yıllık ortalama debiden düşük ve yüksek olan aylar tespit edilmektedir. Düşük ayların ve yüksek olan ayların ortalaması ayrı ayrı bulunarak % 10'u canlı hayat suyu olarak kabul edilmiştir. Eğer

aylık ortalama debi, düşük veya yüksek olan ayların ortalama debisinden büyük ise o aya ait ortalama debinin % 10'u canlı hayat suyu kabul edilmiştir.

Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, canlı hayat suyu miktarının yıllık toplam su potansiyelinin % 10'undan az olmaması gerektiğini belirtmektedir.

Bu araştırma kapsamında çalışılan tüm barajlar hesaplan canlı hayat suyu miktarları aşağıda verilmiştir (Çizelge 5).

5.4 Baraj İşletme Çalışması

İşletme çalışması; bir baraj gölündeki işletme seviyesinde (normal su seviyesi) depolanacak su ile sulanabilecek tarım arazilerinin büyüklüğünü veya temin edilecek içme suyu miktarını ya da üretilebilecek enerji miktarını bulmak için yapılan bir çalışmadır. Uzun zaman gerektirdiği için işletme programları aracılığıyla yapılmaktadır.

Baraj işletme çalışmaları sadece sulama amaçlı olarak işletilmiş ve sulu tarıma geçildiğinde elde edilecek sulama faydasının hesaplanması amaçlanmıştır.

Barajların işletme çalışması için, 25000 ölçekli topografik haritalardan elde edilmiş Sayısal Sayısal Arazi Modeli (DEM, Digital Elevation Model), ARCGIS programı ve DSİ tarafından baraj işletmelerinde kullanılan ve Microsoft Excelde hazırlanmış işletme programından yararlanılmıştır [3].

Gözlenmiş akım değerleri ile ihtimalli akım değerleri için ayrı ayrı baraj işletme çalışması yapılarak baraj kret kotu, kret uzunluğu, gövde yüksekliği, depolama hacmi, barajın dolgu hacmi, sulama alanı ve baraj maliyeti gibi çıktıların hesaplanması sağlanmıştır.

5.5 Baraj Maliyet Hesapları ve Elde Edilecek Fayda

İşletme çalışması sonucunda bulunan barajın normal su seviyesi kotu, taşkın hacmi ve dalga payı için barajın havza alanı büyüklüğüne bağlı olarak, 2,5 m ila 4 m arttırılarak barajın kret kotu bulunmuştur.

Barajın kret kotu tespit edildikten sonra, baraj gövdesinin çizimi ve dolgu hacmi miktarı için, 25000 ölçekli topoğrafik haritalardan elde edilmiş Sayısal Arazi Modeli (DEM_Digital Elevation Model), ARCGIS programı ve Autocad Civil 3D yazılımından yararlanılmıştır.

Proje firmalarından yapılan araştırmalar neticesinde, Kil Çekirdekli Kaya Dolgu gövde tipi için, 1 m³ dolgu miktarının 2019 yılı birim fiyatları ile 35 TL civarında olduğu öğrenilmiştir. Böylece, baraj gövdesi için maliyet, m³ başına 35 TL alınarak hesaplanmıştır.

Bu makale kapsamında çalışılan barajların sulama alanlarında bir hektardan sağlanacak fayda için, havzadaki planlama çalışması tamamlanmış Araç Barajı'nın net gelir artışı

kullanılmıştır [7]. Buna göre, sulama sahasından elde edilecek gelir, hektar başına 9500 TL kabul edilmiştir.

Çizelge 4 - Filyos Havzasında barajların tasarımında kullanılan gözlenmiş ve ihtimalli akım değerleri

YILLIK ORTALAMA AKIM (hm³/yıl)

| No | Baraj Adı | GÖZLENMİŞ AKIMLARLA | %60 İHTİMALİ AKIMLARLA | %70 İHTİMALİ AKIMLARLA | %80 İHTİMALİ AKIMLARLA | %90 İHTİMALİ AKIMLARLA |
|----|------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 | AKHASAN BARAJI | 7,76 | 6,38 | 5,5 | 5,3 | 4,91 |
| 2 | AKTAŞ BARAJI | 652,06 | 550,62 | 518,51 | 500,89 | 486,2 |
| 3 | ANDIRAZ BARAJI | 585,933 | 494,633 | 474,706 | 438,766 | 436,655 |
| 4 | ARAÇ BARAJI | 127,21 | 96,73 | 91,14 | 88,2 | 85,83 |
| 5 | ÇAY BARAJI | 331,50 | 311,848 | 277,72 | 270,41 | 253,91 |
| 6 | ÇELE BARAJI | 8,19 | 7,16 | 6,79 | 6,62 | 6,18 |
| 7 | GÖLKÖY BARAJI | 77,70 | 71,49 | 69,08 | 65,86 | 60,67 |
| 8 | HACILAR BARAJI | 16,39 | 12,16 | 11,41 | 10,88 | 9,26 |
| 9 | KÖPRÜBAŞI BARAJI | 455,31 | 419,93 | 384,12 | 381,32 | 356,30 |
| 10 | TEKKE BARAJI | 62,18 | 53,67 | 47,08 | 45,06 | 37,71 |

Çizelge 5 - Barajların canlı hayat suyu miktarları

| No | Baraj Adı | GÖZLENMİŞ AKIMLARLA | %60 İHTİMALİ AKIMLARLA | %70 İHTİMALİ AKIMLARLA | %80 İHTİMALİ AKIMLARLA | %90 İHTİMALİ AKIMLARLA |
|----|--|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 | AKHASAN BARAJI | 0,917 | 0,568 | 0,609 | 0,628 | 0,759 |
| 2 | AKTAŞ BARAJI | 76,035 | 55,419 | 57,132 | 59,539 | 63,612 |
| 3 | ANDIRAZ BARAJI | 68,408 | 49,922 | 50,059 | 54,771 | 57,27 |
| 4 | ARAÇ BARAJI | 14,392 | 9,836 | 9,939 | 10,451 | 11,031 |
| 5 | ÇAY BARAJI | 38,225 | 29,104 | 31,572 | 32,722 | 35,825 |
| 6 | ÇELE BARAJI | 0,928 | 0,698 | 0,722 | 0,744 | 0,797 |
| 7 | GÖLKÖY BARAJI'NA DERİVASYON YAPILAN MUDURNU DERESİ | 3,926 | 2,609 | 2,968 | 3,115 | 3,158 |
| 8 | GÖLKÖY BARAJI'NA DERİVASYON YAPILAN BÜYÜKSU DERESİ | 8,678 | 6,066 | 6,715 | 7,215 | 7,607 |
| 8 | HACILAR BARAJI | 1,964 | 1,119 | 1,313 | 1,401 | 1,472 |
| 9 | KÖPRÜBAŞI BARAJI | 51,583 | 39,335 | 43,867 | 44,431 | 47,797 |
| 10 | TEKKE BARAJI | 7,348 | 4,429 | 5,245 | 5,562 | 6,417 |

6 SONUÇ

Nüfusu hızla artan ülkemizde tarım sektörünün en temel ihtiyacı olan sulama projelerine öncelik verilmesi gerekmektedir. Ülkemizin su kaynaklarının planlanması, değerlendirilmesi ve yönetilmesinde barajların önemi çok büyüktür. Bunun için, ülkemizde yeterli sayıda ve teknolojik gelişmelere uygun bir gözlem

istasyonu ağının kurulması, bu istasyonlarda düzenli ve sürekli ölçüm yapılması ve elde edilen bu verilerle su yapılarının tasarlanması gerekmektedir.

Yeterli veya düzenli ölçüm yapılmamış istasyonların akım değerlerini daha güvenli tarafta kalabilmek amacıyla belli ihtimallerle azaltarak kullanılmasının hem yapının

tasarımında hem de elde edilecek tarım geliri açısından önemli farklar oluşturacağı bu çalışma ile görülmüştür.

Bu kapsamda gözlenmiş ve ihtimalli akımların baraj tasarımına, baraj maliyetine ve tarım arazilerinde elde edilecek sulama faydasına etkisi değerlendirilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda baraj tasarımında seçilecek su temin değerlerinin hem elde edilecek gelir hem de baraj maliyeti olarak milli ekonomiye direkt etki ettiği açık olarak görülmüştür.

Doğru bir baraj tasarımı için, su temin değerlerin çok sağlıklı bir şekilde seçilmesi gerekmektedir. Baraj yapılması planlanan dereler üzerinde uzun yıllar (en az 25 yıl) düzenli ölçümler yapan AGİ'ler kurulması şarttır.

Su temin değerlerinin yanlış hesaplanması veya seçilmesi barajın gereğinden büyük veya küçük yapılmasına neden olmaktadır. Su temin değerlerinin olduğundan daha az alınması durumunda, baraj olması gerekenden daha

küçük olacak, daha az su depolayacak, dolayısıyla amacına bağlı olarak içme suyuna ve tarım alanların sulanmasına daha az su ayrılacak veya enerji üretimi azalacaktır. Barajın olması gerekenden daha küçük yapılması durumunda, gelen akımlar depolanmadan baraj dolusavağından atılacaktır. Böyle barajlarda dolusavak sürekli olarak çalışarak, zaten kısıtlı olan tatlı su kaynaklarımız denizlere karışacaktır.

Su temin değerlerinin olduğundan daha fazla alınması durumunda, baraj olması gerekenden daha büyük olacak ve dolmayacaktır. Dolayısıyla, baraj maliyeti gereksiz şekilde artmış olacak ve milli gelir zayı olacaktır.

Filyos alt havzasında yapılan bu çalışmada, gözlenmiş akım değerleri ile ihtimalli akım değerleri arasında %15 ila %30 oranları arasında fark bulunduğu görülmüştür. Bu oranlar, baraj maliyetine %20 ila %50, sulamadan elde edilecek gelire ise %10 ila %25 oranları arasında tesir etmektedir (Çizelge 6).

Çizelge 6- İhtimalli akımların gözlenmiş akımlara göre kıyaslanması

| | GÖZLENMİŞ AKIMLARLA | %60 İHTİMALİ AKIMLARLA | %70 İHTİMALİ AKIMLARLA | %80 İHTİMALİ AKIMLARLA | %90 İHTİMALİ AKIMLARLA |
|---------------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| SULAMA FAYDASINDAKİ FARK | | 11% | 18% | 21% | 26% |
| BARAJ MALİYETİNDEKİ FARK | | 21% | 35% | 39% | 50% |
| YILLIK AKIMDAKİ FARK | | 15% | 21% | 24% | 29% |

7 KAYNAKLAR

[1] T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı. (2018). DSİ 2018 Yılı Faaliyet Raporu

[2] Usul, N. (2013). Engineering Hydrology, 3rd Edition, METU Press, Ankara

[3] Erdin, İ. (2018). Baraj İşletme Programı [Microsoft Office Excell, Makro]

[4] T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. (2016). İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi, Batı Karadeniz Havzası Proje Nihai Raporu – Ek 15

[5] Çimenci Veysel, (2011). Küçük Hidroelektrik Santraller ve Dere Yatağında Bırakılması Gereken Can Suyu Miktarı, Yüksek lisans tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi

[6] T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. (2015). Batı Karadeniz Havzası Master Plan Raporu. (Akar-Su Mühendislik Müşavirlik Ltd. Şti. ve Hidromark Mühendislik Müşavirlik A.Ş.)

[7] T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 23. Bölge Müdürlüğü, Havza Yönetimi, İzleme ve Tahsisler Şube Müdürlüğü Kastamonu. (2013). Fiyos-Araç Barajı Planlama Raporu. (Hidro Dizayn Mühendislik Müşavirlik İnşaat ve Ticaret A.Ş.)