

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



SAYI: 127
YIL : OCAK 2018

DEVLET SU İŞLERİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

DSİ TEKNİK BÜLTENİ

DSİ TEKNİK BÜLTENİ

Sahibi

DEVLET SU İŞLERİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Adına Genel Müdür
Mevlüt AYDIN

Sorumlu Müdür

Turkay ÖZGÜR

Yayın Kurulu (DSİ)

Murat Ali HATİPOĞLU
Mehmet ALP
Dinçer AYDOĞAN
Oğuzhan BEKTAŞ
Şenay ÖZKAN
Harun MEYDAN
Ali Alper ÇETİN
Vehbi ÖZAYDIN
Erkan EMİNOĞLU
Bekir YAPAN
Hasan ÇAKIRYILMAZ
Mehmet KÖSEOĞLU
Tuncer DİNÇERGÖK

Editörler

Figen ÖZYURT KUŞ
Özgür KÜÇÜKALİ

Haberleşme Adresi

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

Tel (312) 454 38 00
Faks (312) 399 27 95
bulten@dsi.gov.tr

Basıldığı Yer

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

SAYI : 127

YIL : OCAK 2018

Yayın Türü

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

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

İÇİNDEKİLER

YAPAY SINIR AĞLARI İLE KONYA İLİ KURAKLIK TAHMİNİ Özlem TERZİ, Tülin ERSOY	1
ÇOK ZAMANLI UYDU GÖRÜNTÜLERİ KULLANILARAK UYDU- KAYNAKLI BATİMETRİ Mehmet Ali AKGÜL, Murat DAĞDEVİREN, İbrahim BİROĞLU	14
BARAJ YIKILMASI SONUCU OLUŞAN BASINÇ YÜKLERİNİN SAYISAL OLARAK MODELLENMESİ M. Deniz İTİBAR	28

DSİ Teknik Bülteni uluslararası veritabanı EBSCO tarafından taranmaktadır.

DSI TECHNICAL BULLETIN

Publisher

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

Director in charge

Turkay ÖZGÜR

Editorial Board (DSI)

Murat Ali HATİPOĞLU
Mehmet ALP
Dinçer AYDOĞAN
Oğuzhan BEKTAŞ
Şenay ÖZKAN
Harun MEYDAN
Ali Alper ÇETİN
Vehbi ÖZAYDIN
Erkan EMİNOĞLU
Bekir YAPAN
Hasan ÇAKIRYILMAZ
Mehmet KÖSEOĞLU
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) 399 27 95
bulten@dsi.gov.tr

Place of Publication

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

ISSUE: 127

YEAR : JANUARY 2018

Publication Type

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

ISSN

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

CONTENTS

DROUGHT ESTIMATION WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN KONYA Özlem TERZİ, Tülin ERSOY	1
SATELLITE-DERIVED BATHYMETRY USING MULTI-TEMPORAL SATELLITE IMAGES Mehmet Ali AKGÜL, Murat DAĞDEVİREN, İbrahim BİROĞLU	14
NUMERICAL INVESTIGATION OF DAM-BREAK INDUCED PRESSURE LOADS M. Deniz İTİBAR	28

DSI Technical Bulletin is indexed by international database EBSCO.

DSİ TEKNİK BÜLTENİ'NİN AMACI

DSİ Teknik Bülteni'nde, su ile ilgili konularda, temel ve uygulamalı mühendislik alanlarında gönderilen bildirimler yayınlanır. Bildirimler, ilk önce konunun uzmanı tarafından incelenir ve değerlendirilir. Daha sonra, Hakem Kurulu uzman görüşünü de esas alarak bildirim yayınlanıp yayınlanmamasına karar verir. Bildirimlerin tamamı veya büyük bir kısmı diğer yayın organlarında yayınlanmamış olması gereklidir. DSİ Teknik Bülteni Eylül 2016 tarihi itibarı ile uluslararası veritabanı kuruluşu EBSCO 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, bildirimler üzerinde gerekli gördüğü düzeltme ve kısaltmaları yapar.
4. Bildirimler bilgisayarda Microsoft Word olarak bir satır aralıkla yazılmalı ve Arial 10 fontu kullanılmalıdır. Bildirimler A4 normundaki kâğıdın her kenarından 25 mm boşluk bırakılarak yazılmalıdır.
5. Sadece ilk sayfada, yazı alanı başlangıcından sola dayalı olarak, 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 sütun olarak yazılmalı ve sütun 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 yararlanılan sayfa numaraları belirtilerek, köşeli parantez içerisinde numaralandırılmalı ve yazarken soldan itibaren 0,75 cm asılı paragraf şeklinde yazılmalıdır. Makale başlıkları çift tırnak içine alınmalı, kitap isimlerinin altı çizilmelidir. Bütün kaynaklara metin içinde atıf yapılmalıdır.
17. Çizelgeler, şekiller, grafikler ve resimler yazı içerisine en uygun yere gelecek şekilde yerleştirilmelidir. Fotoğraflar net çekilmiş olmalıdır. Şekil ve grafikler üzerine el yazısı ile ekleme yapılmamalıdır.
18. Bildirimlerin tamamı 20 sayfayı geçmemeli, şekil, çizelge, grafik ve fotoğraflar yazının 1/3'ünden az olmalıdır.
19. Sayfa numarası, sayfaların karışmaması için sayfa arkalarına kurşun kalem ile hafifçe verilmelidir.
20. Yazım kurallarına uygun olarak basılmış bildirimlerin tam metni hem A4 kâğıda baskı şeklinde (2 adet) hem de dijital ortamda (CD veya DVD) yazışma adresine gönderilmelidir.
21. Yayınlanan bütün yazılar için "Kamu Kurum ve Kuruluşlarınınca ödenecek telif ve işleme ücretleri hakkındaki yönetmelik" hükümleri uygulanır.
22. Bildiri 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

06100 Yüce-tepe ANKARA

Tel (312) 454 3800

Faks (312) 399 2795

E-posta bulten@dsi.gov.tr

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

YAPAY SİNİR AĞLARI İLE KONYA İLİ KURAKLIK TAHMİNİ

Özlem TERZİ

Süleyman Demirel Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü 32260 ISPARTA
ozlemterzi@sdu.edu.tr

Tülin ERSOY

Ümraniye Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi 34760 Ümraniye İSTANBUL
ersoy-3440@hotmail.com

(Makalenin geliş tarihi: 21.12.2017, Makalenin kabul tarihi: 26.02.2018)

ÖZ

Kuraklık, uzun yıllar yağışların normal seviyenin altına düşmesiyle ortaya çıkan süresi, zamanı ve yeri tam olarak kestirilemeyen hidrolojik dengenin bozulmasına sebep olan bir doğal afettir. Kuraklık yaşanmadan önceki dönemlerde, analizler yaparak tedbirler almak ve kuraklığın yaşandığı dönemlerde doğru planlamalar yapmak kuraklığın olumsuz etkilerini azaltabilir. Bu çalışmada ülkemizde, küresel ısınmanın da etkisiyle yağışlarda meydana gelen düzensiz dağılım sonucu kuraklığın en şiddetli şekilde hissedildiği illerimizden biri olan Konya'nın farklı meteoroloji istasyonlarında kuraklık analizi yapılmıştır. Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan 1971-2014 yılları arası yağış verileri kullanılarak standartlaştırılmış yağış indisi (SYİ) yöntemiyle istasyonların 3, 6, 9 ve 12 aylık kuraklık kategorileri, yüzde dağılımları belirlenmiş ve istasyonlarda kuraklık görülme olasılıkları hesaplanmıştır. Kuraklığın modellenmesinde yapay zekâ metotlarından biri olan yapay sinir ağları (YSA) yöntemi kullanılmıştır. YSA modellerinde yağış verileri t ve t-1 zamanlarda olmak üzere girdi parametresi, SYİ değerleri ise çıktı parametresi olarak alınmıştır. Tüm istasyonlarda 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman dilimlerinde yapılan modellemede en yüksek determinasyon katsayısı ve en düşük ortalama karesel hata değeri 12 aylık periyot için elde edilmiştir. Geliştirilen modellerden elde edilen sonuçlara bakıldığında YSA yönteminin kuraklık tahmininde kolaylıkla kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kuraklık, Yağış, Standartlaştırılmış Yağış İndisi, Yapay Sinir Ağları, Konya İli

DROUGHT ESTIMATION WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN KONYA

ABSTRACT

The drought is a natural disaster which cannot be accurately predicted period, time and place occurred by falling below the seasonal average of long-term precipitation and causes the degradation of the hydrological equilibrium. The taking precautions by analyzing in the previous periods from the drought and doing correct planning in drought periods may reduce the negative effects of drought. In this study, the drought analysis was carried out in different meteorological stations of Konya, one of the cities where the drought is felt severely on the result of irregular distribution occurring on precipitation due to global warming. The 3, 6, 9 and 12 monthly drought categories, percentage distribution and possibilities of drought of the stations were determined with standardized precipitation index (SPI) method by using precipitation values between 1971 and 2014 years obtained from Turkish State Meteorological Service. Artificial neural networks (ANN) method, which is one of artificial intelligence methods, was used in modeling of the drought. In ANN models, the precipitation data for t and t-1 were used as input

parameters and the SPI values as output parameter. The highest determination coefficient and the lowest mean square error value were obtained for 12 monthly period in models developed for 3, 6, 9 and 12 monthly time periods in all stations. When the results obtained from the developed models are examined, it is shown that the ANN method can be used easily in predicting the drought.

Keywords: Drought, Precipitation, Standardized Precipitation Index, Artificial Neural Networks, City of Konya

1 GİRİŞ

Su hayatın devamı için mutlaka gereklidir. İnsanlar tarih boyunca bütün medeniyetleri su kenarlarında kurmuş ve suyu kullanabildikleri ölçüde, kurdukları medeniyeti ilerletmişlerdir. Bununla beraber su pek çok medeniyetin başlangıcı olduğu gibi sonu da olmuştur. Yağışlarda ve dolayısıyla nehirlerde taşınan su miktarında, insanların kontrol edemeyeceği kadar artış veya azalış toplumların sosyoekonomik faaliyetlerini olumsuz yönde etkilemiş ve birçoğunun varlığını yitirmesine veya yurtlarından ayrılmasına neden olmuştur.

Yağış ve sıcaklık değerlerinde görülen ve beklenmeyen ölçülerdeki artış, azalış veya yağış tipindeki değişiklikler, iklim değişikliğinin önemli sonuçlarındandır. Yağış miktarıyla doğrudan ilgili olan kuraklık, iklim değişimiyle daha önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle kuraklığın sebepleri ve sonuçları araştırılarak, ne zaman başlayacağını, süresini ve şiddetini önceden tahmin ederek, etkilerini en aza indirmenin yolları bulunmalıdır [1].

Ülkemizde kuraklık üzerine 1940'tan itibaren birçok çalışma yapılmıştır. 1943 yılındaki çalışmasında Tanoğlu, De Martonne yöntemi kullanarak Türkiye için bir kuraklık haritası oluşturmuştur. Bu haritaya göre 600 mm'ye kadar yağış alan yerlerde kuraklık sorununun olduğu, daha fazla yağış alan yerlerin ise nemli olduğu belirtilmiştir [2,3].

1993 yılında McKee ve arkadaşları tarafından kuraklığın tarifi ve takibi amacıyla geliştirilmiş SYÍ yöntemi kuraklık tahminlerinde sıklıkla kullanılmıştır [4]. Sırdaş (2002), standartlaştırılmış yağış indisi (SYÍ) yöntemini kullanarak kuraklık genliği, süresi ve şiddetini 60 istasyon için belirlemiş ve bu değişkenlerin maksimum ve minimum değerlerini bularak ülke geneli için haritalar ve tablolar elde etmiştir [5]. Yeğnidemir (2005), kuraklığın sıklıkla görüldüğü İç Anadolu Bölgesi'ne ait 28 istasyonun SYÍ değerlerini hesaplamış ve istasyonların kuraklık karakteristiklerini bularak noktasal kuraklık özelliklerini belirlemiştir [1]. Korkkoğlu (2006),

İç Anadolu Bölgesi'ne ait 26 istasyonda SYÍ ile elde edilen kuraklık sürelerini analiz etmiş ve özellikle kritik kuraklıkların sıkça yaşandığı bölgelerde, nonparametrik Kernel yaklaşımın, parametrik yaklaşımlara iyi bir alternatif olabileceğini gözlemlemiştir [3]. İskenderoğlu (2006), İç Anadolu Bölgesi'ndeki 27 istasyonun 1953-2003 yılları arası aylık toplam yağışlarına ait olasılık dağılımlarını belirlemiştir. Gamma ve log-normal dağılımlarının daha tutarlı sonuçlar verdiğini, normal dağılımın ise nisan ayında daha iyi sonuçlar vermekle birlikte temmuz, ağustos ve eylül aylarında nispeten daha fazla hata oranları verdiğini gözlemlemiştir [6]. Deniz (2009), SYÍ yaklaşımının kuraklık izleme, planlama ve etki değerlendirme amaçları için kullanılmasının, Türkiye örneğinden hareketle uygulanabilir olduğunu belirlemiştir [7]. Apak (2009), SYÍ yöntemi ile Ege Bölgesi'nde yer alan, yeterli yağış ölçümlerine sahip istasyonlarda kuraklığı, 1938-1970 ve 1971-2006 yılları arası olmak üzere iki dönem için analiz etmiştir. İkinci dönemde, birinci döneme oranla yağışlı dönemlerin azaldığını, mevsim kuraklık sınıflandırmalarında değerlerin neredeyse bir sınıf düştüğünü tespit etmiştir [8]. Küçükyaman (2010), kuraklık sınıflarını belirlemek için SYÍ yöntemini, kuraklığı modellemek içinse Adaptif Sinir Ağına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ve YSA yöntemlerini kullanmış, Kovada Gölü'nün kuraklık değerlendirmesini yapmıştır. Yağış ve göl seviyesi değerlerinde azalma olduğunu ve kuraklığın meydana geldiğini belirlemiştir [9]. Özer (2010), iklim değişikliği, iklim değişikliğinin nedenleri ve oluşturduğu riskler ve risk kavramını incelemiş, bu doğrultuda kuraklığı izlemede yaygın olarak kullanılan indislerin analizini yapmıştır. Mevcut kuraklık tahmin yöntemlerinin yetersiz olduğunu, gelişmiş istatistiksel yöntemler ve simülasyon teknikleri kullanılarak geliştirilirse, sonuçların kuraklığın oluşturduğu risklerin izlenmesi için daha yararlı olacağını vurgulamıştır [10]. Fidan (2011), Doğu Akdeniz Bölgesi'nde yer alan 58 istasyonda, SYÍ yöntemi ile kuraklık indekslerinin bulunması ve Markov zinciri ile kurak olma olasılıklarının

belirlenmesi için çalışma yapmıştır. Alansal olarak incelendiğinde ardışık süreler arttıkça çalışma alanında kurak olma olasılıklarının arttığını, yağışlı olma olasılıklarının ise düştüğünü tespit etmiştir [11]. Biberöglü (2011), küresel iklim değişikliğinin, Türkiye yağış ve sıcaklıkları üzerindeki etkilerini incelemiştir. Küresel iklim modellerinin 1971-2000 dönemindeki Türkiye yağış ve sıcaklık tahminlerinin, İklim Araştırma Birimi (CRU)'nden temin edilen gözlenmiş yağış ve sıcaklık değerlerinden önemli ölçüde farklı olduğunu; bunun yanında tahminler ile gözlenmiş değerlerin eğilim yapılarının da büyük farklılıklar gösterdiğini belirlemiştir [12]. Topçu (2013), Seyhan Havzası'nda yer alan 11 istasyon için SYİ ile kuraklık takibi yapmış ve L-Momentler tekniğini kullanarak SYİ ile belirlenen en kurak ayların yağış değerlerine bölgesel frekans analizi uygulamıştır. Sonuçta Seyhan Havzası'nın kuraklık sınırında hafif nemli bir havza olduğunu tespit etmiştir [13].

Yapay zekâ tekniklerinden olan ve günümüzde yaygın bir şekilde kullanılan yapay sinir ağları (YSA) yöntemi hidroloji alanında sıklıkla kullanılmaktadır. Terzi (2004), Eğirdir Gölü için buharlaşma modelleri geliştirmiştir. Modellerin performansını değerlendirebilmek için YSA modellerinin ve çoklu lineer regresyon modellerinin sonuçlarını, Penman yönteminin sonuçları ile karşılaştırmış ve yüksek determinasyon katsayıları elde etmiştir. Araştırmada mevcut klasik buharlaşma metodlarına ilaveten geliştirilen modellerin de buharlaşma hesaplarında kullanılabileceği sonucuna varmıştır [14]. Önal (2009), YSA yöntemi ile akım tahmin modelleri geliştirmiş ve YSA yönteminin akım tahmin problemlerinde kolaylıkla kullanılabileceğini belirtmiştir [15]. Oğuztürk (2010), Kızılırmak Havzası'nda SYİ yöntemi ile kuraklık analizi yaparak, her bir istasyonun YSA yöntemi ile gelecek yıllara yönelik kuraklık tahminini yapmıştır. Sonuçta

gerekli analizler ve deneme-yanılmalar yapıldığında SYİ serilerini temsil edebilecek ağ modellerinin oluşturulabildiği ve bu ağ modellerinin kullanılması ile de gelecek döneme ait yaklaşık tahminlerde bulunulabileceği kanısına varmıştır [16].

Bu çalışmanın amacı ülkemizde, küresel ısınmanın da etkisiyle yağışlarda meydana gelen düzensiz dağılım sonucu kuraklığın belirgin şekilde hissedildiği illerimizden biri olan Konya'nın farklı meteoroloji istasyonlarına ait aylık yağış verilerinin analizi ile meteorolojik kuraklık incelemesi yapmaktır. Bu amaç doğrultusunda yağış verilerine bağlı olarak kuraklık hakkında oldukça sağlıklı sonuçlar veren standartlaştırılmış yağış indisi yöntemiyle kuraklık analizleri yapılarak istasyonların kuraklık karakteristikleri belirlenmiştir. Ayrıca lineer olmayan veri serilerinin analizindeki başarısı ile hidroloji konularında sıkça kullanılan YSA yöntemi ile kuraklık tahminleri yapılmıştır.

2 MATERYAL

2.1 Çalışmada Kullanılan Veriler

Bu çalışmada Konya İli'nde yer alan 9 istasyona ait aylık toplam yağış verileri kullanılmıştır. Kayıt süresi kısa olan istasyonlar taraflı sonuç vereceği düşüncesiyle göz ardı edilerek değerlendirmeye alınmamıştır. 1971-2014 yılları arası Yunak 1975 yılı ocak ayı ve Cihanbeyli 2010 yılı ağustos ayı hariç olmak üzere, aylık yağış verileri kesintisiz olan Akşehir, Beyşehir, Cihanbeyli, Ilgın, Ereğli, Kulu, Karapınar, Seydişehir ve Yunak istasyonları SYİ hesabı için seçilmiştir. 1971-2014 yılları arası 44 yıllık dönem Yunak istasyonu ocak ayları ortalaması ve Cihanbeyli istasyonu ağustos ayları ortalaması alınarak eksik veriler tamamlanmıştır. İstasyonların enlem, boylam ve yükseklik bilgileri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1 - İstasyonların konum bilgileri [17]

İstasyon Adı	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)
Akşehir	38	31	1002
Beyşehir	37	31	1141
Cihanbeyli	38	32	969
Yunak	38	31	1148
Ereğli	37	34	1044
İlgın	38	31	1034
Karapınar	37	33	1004
Kulu	39	33	1010
Seydişehir	37	31	1131

Çizelge 2 - İstasyonların 1971-2014 yılları arası yıllık toplam yağış istatistikleri

Kodu	İstasyon Adı	Ortalama (mm)	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Standart Sapma
17239	Akşehir	543,10	719,20	371,30	96,71
17242	Beyşehir	487,19	655,90	317,10	94,21
17191	Cihanbeyli	322,49	499,80	184,60	72,06
17798	Yunak	443,62	694,10	227,40	91,80
17248	Ereğli	302,45	438,50	140,00	59,33
17832	İlgın	420,83	584,20	236,20	78,53
17902	Karapınar	283,36	412,90	171,60	59,00
17754	Kulu	373,32	547,80	198,00	76,63
17898	Seydişehir	751,86	1202,00	474,90	163,95

Çizelge 2'ye baktığımızda Seydişehir yıllık ortalama 751,86 mm ile en fazla, Karapınar yıllık ortalama 283,36 mm ile en az yağış almıştır. 44 yıllık dönemde 163,95 standart sapma ile Seydişehir, yıllık toplam yağış değerlerinde farklılaşmanın en fazla olduğu istasyondur.

2.2 Çalışma Bölgesi

Konya ili, Anadolu'nun merkezinde bulunan İç Anadolu Bölgesi'nin Konya Bölümü'nde yer almaktadır. İç Anadolu Bölgesi'nde yer almasına rağmen topraklarının bir kısmı Akdeniz Bölgesi'ne dâhildir. İlimiz, 36°41' ve 39°16' kuzey enlemleri ile 31°14' ve 34°26' doğu boylamları arasında yer alır. 38873 km²'lik kapladığı alan ile en büyük yüzölçüme sahip ilimizdir. Kuzeyde Ankara; batıda Isparta, Afyon, Eskişehir; güneyde Mersin, Karaman,

Antalya; doğuda Niğde ve Aksaray illeri ile komşudur (Şekil 1).

İlimiz ortalama 1016 m yükseltiye sahiptir ve topraklarının büyük bir kısmı ova ve platolardan oluşmaktadır. Ova tabanlarındaki çukurluklarda oluşan kapalı havzalar geniş yer kaplamaktadır. Yağış rejiminin düzensiz olduğu ilimizde, mevsimlik ve sel rejimli akarsular hâkimdir. Bu akarsuların çoğu kapalı havzalardaki bataklıklarda yok olmaktadır. Yükselti az yer kaplamakla birlikte çoğunlukla ilin güney kesimde bulunmaktadır. İlin kuzey ve güneyindeki yükselti doğu-batı doğrultusunda, batısındaki yükselti kuzey-güney doğrultusunda uzanmaktadır. Su kaynakları ve ormanların büyük kısmı bu yükseltilerde yer almaktadır [18].



Şekil 1 - Konya haritası [19]

3 YÖNTEM

3.1 Standart Yağış İndisi

Yağıştaki azalmanın yer altı suyu, su biriktirme haznesi depolama, toprak nemi, kar yığını ve akarsu üzerindeki etkilerini belirlemek için McKee vd. (1993) tarafından standart yağış indisi (SYİ) geliştirilmiştir [4].

Thom (1958) iklimsel yağış serisini en iyi temsil eden dağılımının Gamma dağılımı olduğunu bulmuştur. Gamma dağılımı olasılık yoğunluk fonksiyonu ile tanımlanır.

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (1)$$

Yukarıdaki eşitlikte α şekil parametresini, β ölçek parametresini, x yağış miktarını ve $\Gamma(\alpha)$ gama fonksiyonunu ifade eder [20,5].

SYİ, bir istasyonda yağış toplamları verilmiş olan frekans dağılımına bir Gamma olasılık yoğunluk fonksiyonu uydurulmasını esas alır. Her bir istasyon için zaman ölçeklerinde Gamma olasılık yoğunluk fonksiyonunun α ve β parametreleri tahmin edilir. Thom (1966) tarafından verilen maksimum olasılık çözümleri α ve β tahmininde aşağıdaki şekilde kullanılır:

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right] \quad (2)$$

$$\beta = \frac{x}{\alpha} \quad (3)$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (4)$$

Burada, n yağış gözlemlerinin sayısıdır. Parametreler bir istasyondaki zaman ölçekleri için gözlenen yağışın kümülatif olasılık dağılım fonksiyonunu oluşturmak için kullanılır [21,5].

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad (5)$$

$t = x/\beta$ iken, bu eşitlik eksik gamma fonksiyonunu oluşturur:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (6)$$

Gamma fonksiyonu $x=0$ için tanımsızdır ve yağış dağılımı 0 değerler içerebilir, toplam olasılık dağılımı aşağıdaki gibi oluşur:

$$H(x) = q + (1 - q) G(x) \quad (7)$$

Burada q sıfırın olasılığıdır [5].

SYİ çoklu zaman ölçümlerinde farklı zaman dilimlerindeki yağış azalmasını belirlemek için tasarlanmıştır. Toprak nemi şartları rölatif kısa dönem yağış anomalliklerine hemen cevap verir. Yeraltı suyu, akarsu ve su biriktirme haznesi depolama uzun dönem yağış anomalliklerini yansıtır. Yağışın, belirlenmiş bir zaman diliminde ortalamadan çıkarılıp standart sapmaya bölünmesi ile SYİ hesaplanır. Çünkü yağış zaman ölçeği 12 aydan daha kısa zamanlarda normal dağılıma sahip değildir. Böylece, SYİ'nin herhangi zaman ölçeği ve alan için ortalaması 0 ve standart sapması 1'dir. Bunun faydası, sulak ve kurak iklimlerin aynı yolla temsil edilebilmesidir. İlave olarak, sulak periyotlar SYİ kullanılarak izlenebilir. SYİ'den kuraklık şiddetinin sonuçlarını sınıflandırma kategorileri Çizelge 3' te verilmiştir.

Çizelge 3 - SYİ Değerleri

SYİ değeri	Kuraklık kategorisi
0,0 ile -0,99	Hafif
-1,0 ile -1,49	Orta
-1,5 ile -1,99	Şiddetli
-2 ve daha az	Çok Şiddetli

McKee vd. (1993) herhangi bir zaman diliminde "kurak olay" kriterini tanımlamıştır. "Kurak olay", zaman serisinin SYİ değerlerinin negatif olduğu süre boyunca devam eder ve şiddeti -1 veya daha küçüktür. Olay, SYİ pozitif olunca sona erer. Her kurak olay; bu yüzden, başlangıç ve bitişi olan bir kuraklık süresine ve her kurak ay devam eden olayın şiddetine sahiptir. Standart zaman serisinde sıfırın altındaki değerleri boyunca devam eden negatif toplamlar alanına kuraklık genliği denir.

Değişik istasyonlarda aylık yağış serilerinin ortalama ve standart sapması farklı değerlerdedir. Verilerin standart hale getirilmesi ile standart sapma ve varyansı 1, ortalaması 0 olur. Ayrıca standartlaştırma işlemiyle veriler birimlerinden kurtarılıp boyutsuz hale getirilir. Tüm bunlar verilerin incelenmesinde bize kolaylık sağlar. Yağış serisi kolaylık sağlaması bakımından standart hale getirilir.

Kuraklık analizinde verilmiş olan zaman serisine kısaca X dersek bunun elemanlarını X_1, X_2, \dots, X_n dizisi olarak gösterebiliriz. Standartlaştırılmış yağış serisi ise,

$$x_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S_x} \quad (8)$$

şeklinde tanımlanır. Burada \bar{X} , aritmetik ortalamayı; S_x ise standart sapmayı göstermektedir [5].

3.2 Yapay Sinir Ağları

YSA, insanların beyin fonksiyonlarının ürünü olan örnekleri işleyerek problemleri öğrenebilen, dış dünyadan gelen problemlere nasıl tepkiler oluşturulacağını belirleyen bilgisayar sistemleridir. YSA'nın avantajlı özellikleri;

- Yapay sinir ağlarının güvenle çalıştırılabilmesi için örnekleri eğitim test edebilmeleri,
- Örnekleri ilişkilendirebilme ve sınıflandırma yapabilme yeteneği,
- Hata toleransına sahip olabilmeleri olarak sıralanabilir.

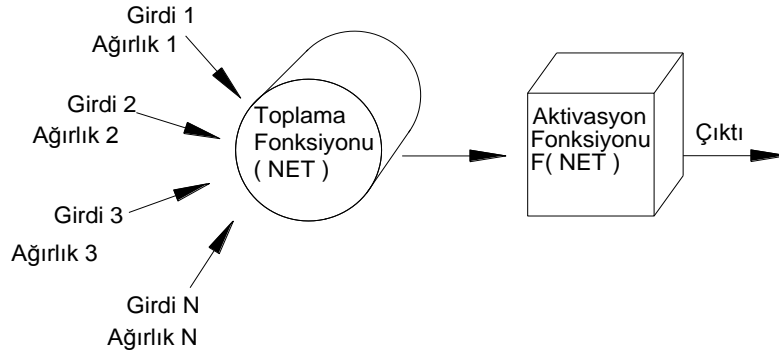
YSA'nın tüm bu avantajlarının yanında bazı dezavantajları da vardır. Olaylara uygun ağ yapısı genelde deneme yanılma yolu ile bulunmakta ve bu yolla elde edilen çözümlerin de optimum çözüm olduğunun garantisi verilememektedir. Bir diğer sorun bazı ağlarda parametre değerlerinin belirlenmesinde bir kaide olmamasıdır. YSA yalnızca nümerik bilgiler ile çalıştığından olayların ağa gösterimi de büyük bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Nümerik gösterime dönüştürülmeyen problemler YSA ile çözülememektedir. Optimum netice garanti edilemediğinden ve bunun için geliştirilmiş bir yöntem olmadığından ağın eğitiminin ne zaman tamamlanacağına karar vermek de güçtür. Tüm bu dezavantajlarına rağmen YSA, problemlere farklı şekillerde çözümler üreterek başarılı uygulamalar oluşturabilmektedir [14].

YSA'da sinir hücrelerinin bağlantılarının ağırlık değerlerinin belirlenmesi işlemine ağın eğitilmesi denir. Başlangıçta bu ağırlık değerleri rastgele olarak atanmaktadır. Ağ gösterilen örnekler için doğru çıktıları üretecek ağırlık değerleri bulununcaya kadar bu ağırlık değerleri değiştirilir. Ağın doğru ağırlık değerlerine ulaşmasına ağın öğrenmesi denir.

Ağın eğitimi tamamlandıktan sonra öğrenip öğrenmediğini test etmek için ağın öğrenme sırasında görmediği örnekler kullanılmıştır. Test örnekleri ağa gösterilmiş ve ağ eğitim sırasında belirlenen bağlantı ağırlıklarını kullanarak görmediği bu örnekler için çıktılar üretmiştir. Eğitimde kullanılan örnek setine eğitim seti, test için kullanılan sete ise test seti denilmiştir. YSA'nın bu şekilde bilinen örneklerden belirli bilgileri çıkartarak bilinmeyen örnekler hakkında genelleme yapabilme yeteneğine adaptif öğrenme denir (22).

3.2.1 Yapay sinir hücresi

Nasıl ki biyolojik sinir ağları sinir hücrelerine sahipse yapay sinir ağları da yapay sinir hücrelerine sahiptir. Yapay sinir hücreleri proses elemanları olarak da bilinmektedir. Yapay sinir hücresinin 5 temel elemanı vardır (Şekil 2).



Şekil 2 - Yapay sinir hücresinin yapısı [22]

- Girdiler: Proses elemanının çevreden aldığı bilgilerdir. Bu bilgiler ağırlık öğrenmesi istenen örnekler tarafından belirlenmektedir.

- Ağırlıklar: Bir proses elemanına gelen bilginin hücre üzerindeki tesirini ve önemini göstermektedir. Ağırlığın değerinin artı veya eksi olması tesirinin pozitif ya da negatif olduğunu göstermektedir. Ağırlıklar sabit ya da değişken değerler olabilirler.

- Toplam Fonksiyonu: Bir hücreye gelen net girdiyi toplam fonksiyonu hesaplar. Değişik fonksiyonlar bunun için kullanılmaktadır. En çok kullanılanı ise ağırlıklı toplamı bulmaktır. Burada gelen her girdi değeri kendi ağırlığı ile çarpılarak toplanmakta ve ağırlıklı toplam bu şekilde hesaplanmaktadır. Bu durum aşağıdaki gibi formülize edilir:

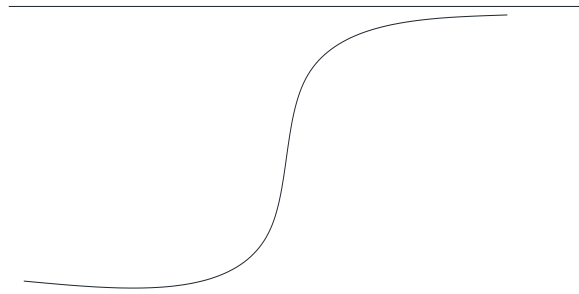
$$NET = \sum_{i=1}^n G_i A_i \quad (9)$$

Formülde G girdileri, A ağırlıkları, n ise bir hücreye gelen toplam girdi sayısını göstermektedir. Ancak YSA'da sürekli bu formülün kullanılması zorunluluğu yoktur.

- Aktivasyon Fonksiyonu: Hücreye gelen net girdiyi işleyerek bu girdiye karşı hücrenin üreteceği çıktıyı aktivasyon fonksiyonu belirlemektedir. Aktivasyon fonksiyonunda da çıktıyı hesaplamak için farklı formüller kullanılır. Oldukça yaygın kullanılan çok tabakalı algılayıcı modelinde genellikle aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu durum aşağıdaki şekilde formülize edilir:

$$F(NET) = \frac{1}{1 + e^{-NET}} \quad (10)$$

Burada NET , yapay sinir hücresine gelen toplam fonksiyonu kullanılarak hesaplanan NET girdi değerini göstermektedir. Sigmoid fonksiyonu Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3 - Sigmoid fonksiyonunun şekilsel gösterimi [22]

- Hücrenin Çıktısı: Aktivasyon fonksiyonunun belirlediği çıktı değeridir. Ağa baktığımızda bir yapay sinir hücresinin birden çok çıktısı varmış gibi görünmesine rağmen aslında tek çıktı değeri vardır. Aynı çıktı değeri birden fazla yapay sinir hücresine girdi olarak gönderilir [22].

4 ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada, Konya İli'nde meteorolojik kuraklık incelemesi yapılmıştır. Kuraklığın başladığı, etkisini arttırdığı ve sonlandığı değerleri belirleyen, yağış verilerine bağlı olarak kuraklık hakkında oldukça sağlıklı sonuçlar veren SYİ yöntemi ve modelleme çalışmalarında sıkça kullanılan YSA yöntemi araştırmada kullanılmıştır.

Aylık toplam yağış verileri kullanılarak istasyonların farklı zaman periyotlarında SYİ değerleri hesaplanmıştır. Aylık yağış verilerinin toplanmasıyla elde edilen yıllık toplam yağışlardan istasyonların yıllık SYİ değerleri bulunmuştur. İstasyonlarda kurak ve nemli geçen yıllar bu şekilde tespit edilmiştir.

Her bir istasyonun 3, 6, 9 ve 12 aylık ardışık zaman aralıkları için kuraklık kategorilerinde gözlenen yüzde dağılımları hesaplanmıştır. Kuraklık kategorisinin serideki tekrarlanma sayısı n_k , serinin toplam eleman sayısı n 'e bölünmüş ve sonuç 100 ile çarpılarak kuraklık kategorisinin serideki görülme yüzdesi N hesaplanmıştır.

İstasyonların, her bir dönem için hesaplanan kuraklık kategorileri yüzde dağılımlarının toplamından, istasyonlarda o döneme ait kuraklık görülme yüzde değerleri belirlenmiştir. SYİ değerlerinin takibinin yapılabilmesi ve kuraklığın görsel olarak yorumlanabilmesi için sonuçlar çizelge ve grafiklerle gösterilmiştir.

Tüm istasyonların 3, 6, 9 ve 12 aylık dönemler için hesaplanan SYİ değerlerinin kuraklık kategorilerinde gözlenen olasılıkları Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4 - Kuraklık kategorileri olasılıkları (%)

Kuraklık Kategorisi	3 Aylık	6 Aylık	9 Aylık	12 Aylık
Akşehir				
Hafif	38,65	45,08	43,68	42,05
Orta	13,83	10,80	11,11	12,88
Şiddetli	0,00	1,14	0,77	0,76
Çok Şiddetli	0,00	0,00	0,19	0,00
Beyşehir				
Hafif	37,50	50,19	48,27	46,21
Orta	14,39	9,66	9,96	10,61
Şiddetli	0,00	0,76	0,38	0,00
Çok Şiddetli	0,00	0,00	0,00	0,00
Cihanbeyli				
Hafif	44,69	46,02	41,57	40,90
Orta	11,17	9,85	12,45	14,20
Şiddetli	0,00	0,76	0,77	0,57
Çok Şiddetli	0,00	0,00	0,00	0,00
Yunak				
Hafif	43,56	43,18	41,76	36,17
Orta	11,36	10,80	12,07	15,72
Şiddetli	0,00	0,95	1,53	1,33
Çok Şiddetli	0,00	0,00	0,00	0,00
Ereğli				
Hafif	42,42	47,92	41,95	41,29
Orta	12,12	7,57	12,06	12,5
Şiddetli	0,00	1,52	0,96	1,70
Çok Şiddetli	0,00	0,00	0,00	0,00
İlgin				
Hafif	41,29	47,73	44,06	41,29
Orta	12,50	8,33	10,34	12,50
Şiddetli	0,00	0,76	0,76	0,38
Çok Şiddetli	0,00	0,00	0,19	0,00
Karapınar				
Hafif	43,75	49,05	44,44	39,58
Orta	11,55	7,01	12,07	14,39
Şiddetli	0,00	1,33	0,77	0,95
Çok Şiddetli	0,00	0,00	0,00	0,00
Seydişehir				
Hafif	39,77	53,40	55,75	52,08
Orta	13,26	7,57	6,51	9,66
Şiddetli	0,00	0,38	0,19	0,00
Çok Şiddetli	0,00	0,00	0,00	0,00
Kulu				
Hafif	41,47	51,13	42,15	42,99
Orta	12,50	6,63	14,37	13,45
Şiddetli	0,00	1,70	0,19	0,38
Çok Şiddetli	0,00	0,00	0,00	0,00

Çizelge 4'ü incelediğimizde hafif derecede kuraklığın Seydişehir'de % 39,77-%55,75 ve Yunak'ta % 36,17-% 43,56; orta şiddetli kuraklığın ise Yunak'ta % 10,8-% 15,72 ve Seydişehir'de % 6,51-% 13,26 arasında değerler aldığı görülmüştür. Hafif derecede kuraklık en fazla Seydişehir'de ve en az Yunak'ta hissedilirken orta derecede kuraklık en fazla Yunak'ta ve en az Seydişehir'de hissedilmiştir. Tüm istasyonlarda 3 aylık periyotta şiddetli kuraklık görülmezken 6 aylık periyotta Kulu'da ve 12 aylık periyotta Ereğli'de % 1,70 oranda şiddetli kuraklık tespit edilmiştir. Çok şiddetli kuraklığa ise sadece Akşehir ve Ilgın'da 9 aylık periyotta % 0,19 oranda rastlanmıştır. 3 aylık dönem için kuraklık görülme olasılığı en fazla Cihanbeyli'de % 55,86, en az Beyşehir'de % 51,89; 6 aylık dönem için en fazla Seydişehir'de % 61,35, en az Yunak'ta % 54,93 oranda belirlenmiştir. 9 aylık dönem için kuraklık görülme olasılığı en fazla Seydişehir'de % 62,45, en az Cihanbeyli'de % 54,79; 12 aylık dönem için ise en fazla Seydişehir'de % 61,74 ve en az Yunak'ta % 53,22 oranda hesaplanmıştır.

Akşehir istasyonununun 1971-2014 yılları arası SYİ grafikleri Şekil 4'te verilmiştir. Akşehir istasyonu yıllık toplam yağışlardan elde edilen yıllık SYİ değerlerine baktığımızda 1972, 1973, 1982, 1984, 1989, 1990, 1992, 1994, 2002, 2005, 2007, 2010, 2011, 2012 ve 2014 yıllarının hafif derecede kurak; 1974, 1999 ve 2013 yıllarının orta derecede kurak; 1986, 1993, 2004 ve 2008 yıllarının ise şiddetli kurak kategorisine girdiği tespit edilmiştir. Tüm serinin ortalama ve standart sapması ile elde edilen aylık SYİ değerlerine baktığımızda, Akşehir'de hafif ve orta derecede kuraklığın belirgin bir şekilde hissedildiği, şiddetli ve çok şiddetli kuraklığa ise rastlanmadığı görülmektedir.

Akşehir'de 3 aylık dönem için % 52,48; 6 aylık dönem için % 57,02; 9 aylık dönem için % 55,75 ve 12 aylık dönem için % 55,69 oranında kuraklık görülmüştür. 3 aylık dönemde şiddetli kuraklığa rastlanmazken 6, 9 ve 12 aylık dönemde zaman zaman şiddetli kuraklık tespit edilmiştir. Çok şiddetli kuraklık 9 aylık periyotta % 0,19 oranda hesaplanmıştır.

YSA ile kuraklık modelleri geliştirilirken yağış verileri t ve t-1 zamanlarda olmak üzere girdi olarak, SYİ değerleri ise çıktı olarak kullanılmıştır. Girdi ve çıktı parametreleri 3, 6, 9 ve 12 aylık dönemler için denklem 4'deki bağıntı kullanılarak boyutsuzlaştırılmıştır.

$$X = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (11)$$

Yukarıdaki denklemde "X" boyutsuz değeri; X_i ölçümdeki i. değeri; X_{\max} ve X_{\min} ölçümdeki maksimum ve minimum değerleri göstermektedir. Böylece veriler 0~1 arasına indirgenmiş ve aynı zamanda değişkenler boyutsuz hale getirilerek aralarındaki benzerliğin rastgele seçilmiş olma etkisi de ortadan kaldırılmıştır.

YSA modelleri genelde YSA i, j, k ağ mimarisi ile gösterilmektedir. Bu mimaride i girdi katmanındaki nöron sayısını, j gizli katmandaki nöron sayısını, k ise çıktı katmanındaki nöron sayısını göstermektedir. Bu çalışma için oluşturulan YSA modellerinde, girdi katmanı nöronu i =2, çıktı katmanı nöronu k =1 olarak alınmıştır. Farklı gizli katman nöron sayıları denenmiş ve kuraklığı iyi temsil edebilecek nöron sayıları bulunmuştur [14].

Araştırmaya dâhil 44 yıllık dönemde her bir istasyon için 528 adet verinin, 1971-2006 yılları arası 422 (%80) adedi eğitim seti, 2006-2014 yılları arası 106 (%20) adedi test seti olarak ayrılmıştır.

Araştırma için geliştirilen YSA modelleri, determinasyon katsayısı (R^2) ve ortalama karesel hata (OKH) değerlerine bakılarak belirlenmiştir. R^2 değerinin 1'e ve OKH değerinin 0'a yakınlığı modelin, kuraklık tahmininde performansının yüksek olduğunu göstermektedir. R^2 ve OKH değerleri aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır [14].

$$R^2 = (D_0 - \tilde{D}) / D_0 \quad (12)$$

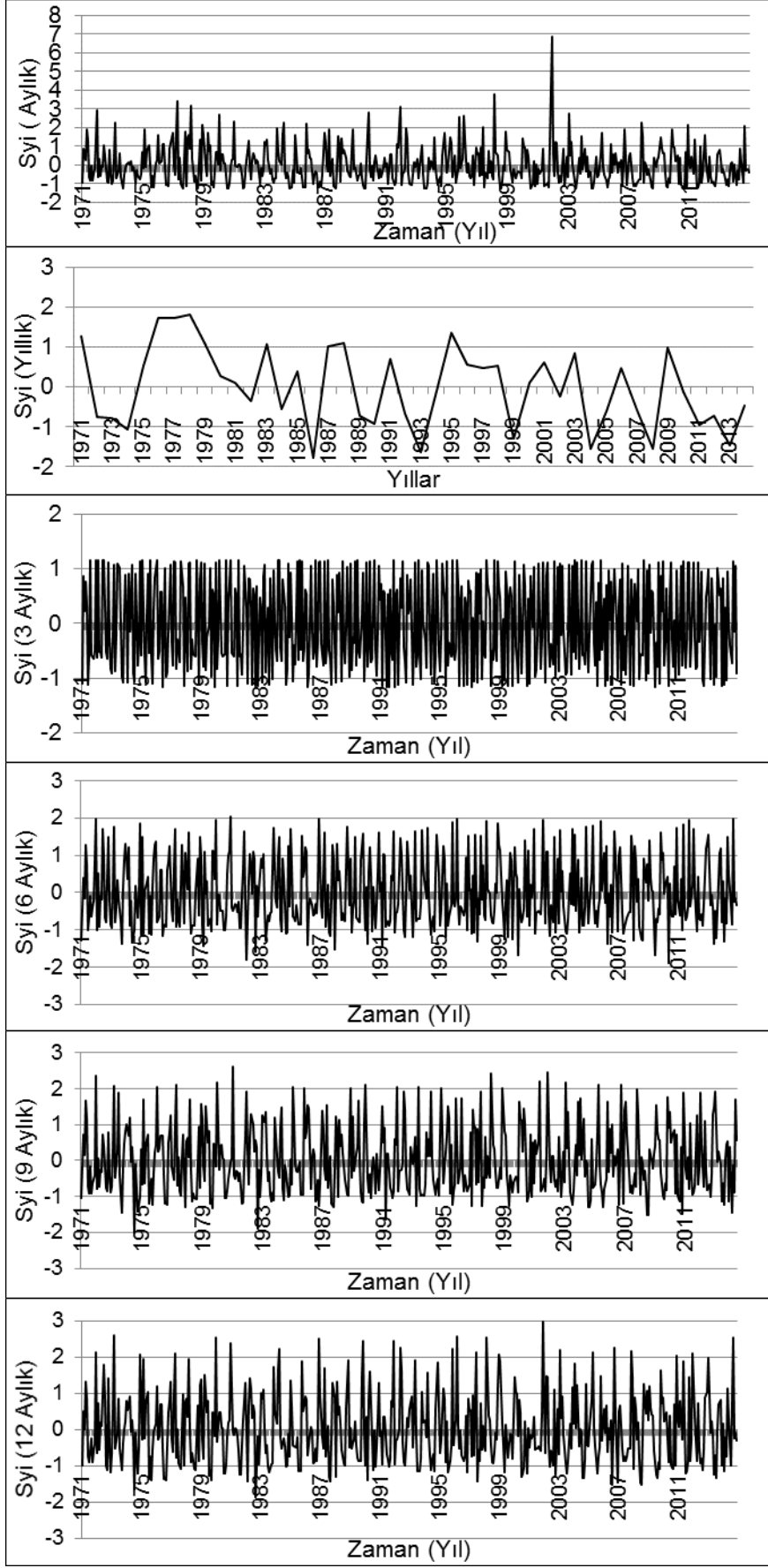
$$D_0 = \sum_{i=1}^n (D_{i(\text{ölçüm})} - D_{\text{ort}})^2 \quad (13)$$

$$\tilde{D} = \sum_{i=1}^n (D_{i(\text{ölçüm})} - D_{i(\text{tahmin})})^2 \quad (14)$$

$$OKH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (D_{i(\text{ölçüm})} - D_{i(\text{tahmin})})^2 \quad (15)$$

Burada, n gözlenmiş verilerin sayısı, $D_{i(\text{ölçüm})}$ SYİ yönteminden hesaplanan kuraklık, $D_{i(\text{tahmin})}$ YSA ile tahmin edilen kuraklık değeri ve D_{ort} SYİ yönteminden elde edilen kuraklık değerlerinin ortalamasıdır.

İstasyonların 1971-2014 yılları arası 44 yıllık kayıt süresince 3, 6, 9 ve 12 aylık ardışık zaman dilimleri için geliştirilen YSA modellerinin R^2 ve OKH değerleri Çizelge 5'te verilmiştir.



Şekil 4. Akşehir istasyonu SYİ değerleri

Çizelge 5 - Geliştirilen YSA modellerinin R² ve OKH değerleri

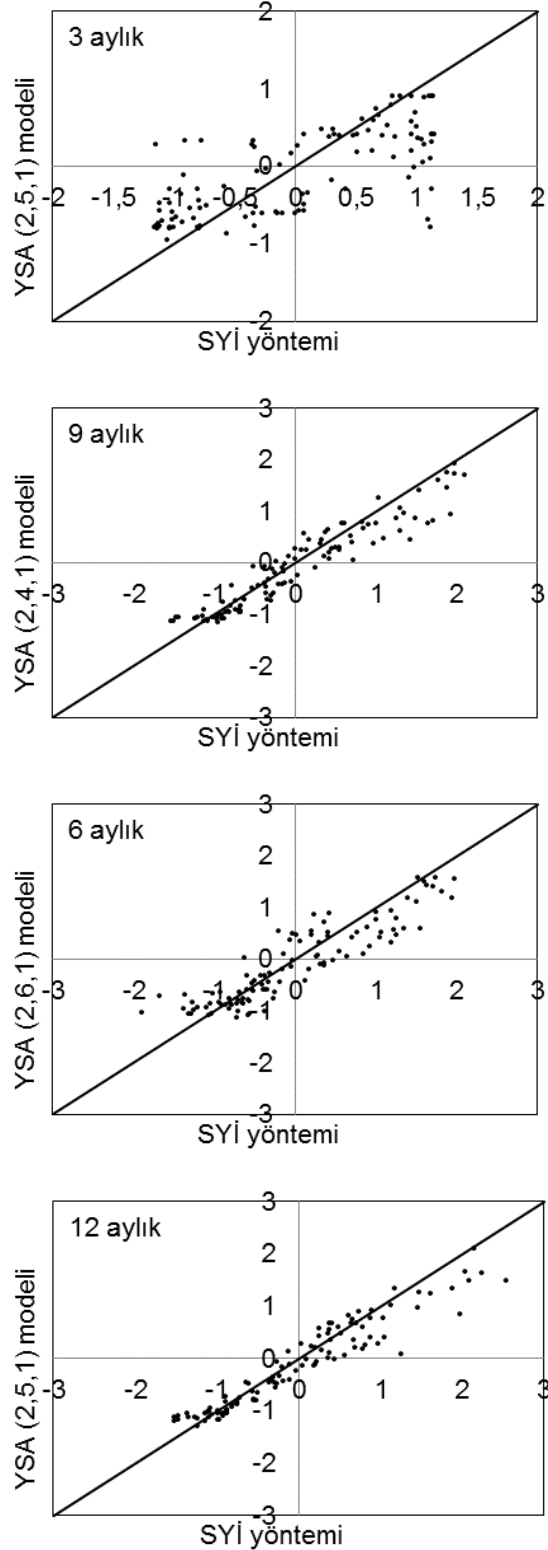
Model	Eğitim Seti		Test Seti	
	R ²	OKH	R ²	OKH
Akşehir				
3 Aylık (2,5,1)	0,51	0,061	0,52	0,062
6 Aylık (2,6,1)	0,80	0,011	0,83	0,010
9 Aylık (2,4,1)	0,85	0,006	0,91	0,005
12 Aylık (2,5,1)	0,91	0,004	0,91	0,004
Beyşehir				
3 Aylık (2,5,1)	0,53	0,059	0,55	0,057
6 Aylık (2,5,1)	0,82	0,010	0,83	0,010
9 Aylık (2,6,1)	0,85	0,007	0,88	0,006
12 Aylık (2,6,1)	0,91	0,004	0,94	0,004
Cihanbeyli				
3 Aylık (2,4,1)	0,48	0,065	0,64	0,047
6 Aylık (2,5,1)	0,78	0,014	0,79	0,013
9 Aylık (2,5,1)	0,86	0,007	0,84	0,008
12 Aylık (2,5,1)	0,89	0,005	0,90	0,004
Yunak				
3 Aylık (2,3,1)	0,47	0,066	0,56	0,055
6 Aylık (2,4,1)	0,76	0,013	0,78	0,013
9 Aylık (2,1,1)	0,83	0,009	0,84	0,008
12 Aylık (2,1,1)	0,89	0,005	0,88	0,006
Ereğli				
3 Aylık (2,6,1)	0,48	0,065	0,54	0,058
6 Aylık (2,5,1)	0,76	0,015	0,80	0,013
9 Aylık (2,4,1)	0,86	0,008	0,87	0,009
12 Aylık (2,5,1)	0,92	0,004	0,93	0,005
Ilgın				
3 Aylık (2,3,1)	0,50	0,062	0,49	0,063
6 Aylık (2,5,1)	0,79	0,013	0,82	0,012
9 Aylık (2,4,1)	0,85	0,007	0,90	0,005
12 Aylık (2,5,1)	0,92	0,004	0,92	0,004
Karapınar				
3 Aylık (2,3,1)	0,50	0,063	0,49	0,063
6 Aylık (2,4,1)	0,78	0,013	0,72	0,017
9 Aylık (2,4,1)	0,89	0,005	0,83	0,008
12 Aylık (2,5,1)	0,93	0,003	0,90	0,005
Seydişehir				
3 Aylık (2,5,1)	0,49	0,064	0,43	0,072
6 Aylık (2,3,1)	0,84	0,009	0,81	0,012
9 Aylık (2,1,1)	0,84	0,008	0,84	0,009
12 Aylık (2,2,1)	0,92	0,004	0,90	0,006
Kulu				
3 Aylık (2,4,1)	0,54	0,058	0,57	0,054
6 Aylık (2,3,1)	0,79	0,011	0,78	0,012
9 Aylık (2,4,1)	0,86	0,008	0,86	0,008
12 Aylık (2,3,1)	0,90	0,005	0,93	0,005

Çizelge 5'i incelediğimizde en büyük R² ve en küçük OKH değerini veren modelin Beyşehir istasyonu 12 aylık dönem için oluşturulan YSA (2,6,1), en küçük R² ve en büyük OKH değerini veren modelin ise Seydişehir istasyonu 3 aylık dönem için oluşturulan YSA (2,5,1) olduğu

görülmektedir. Tüm istasyonlarda periyot aralığı arttıkça R² değerinin arttığı ve OKH değerinin azaldığı gözlenmiştir. En uygun sonuç, 12 aylık periyot için geliştirilen modellerden elde edilirken en düşük performansı 3 aylık modeller vermiştir. Akşehir istasyonu 3, 6, 9 ve 12 aylık periyotlar test seti için SYİ ve YSA modelleri arasında çizilen saçılma diyagramları Şekil 5'te verilmiştir. 12 aylık periyot için geliştirilen YSA (2,5,1) modelinin saçılma diyagramlarına baktığımızda noktaların uyum içinde olduğu ve 45° açı etrafında toplandığı görülmektedir. 3 aylık periyot için geliştirilen YSA (2,5,1) modelinde ise noktaların 45° açıdan uzaklaşarak düzensiz dağıldığı tespit edilmiştir.

5 TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada kuraklık riski taşıyan Konya İli'nde meteorolojik kuraklık analizi yapılmıştır. Akşehir, Beyşehir, Cihanbeyli, Ilgın, Ereğli, Seydişehir, Kulu, Yunak ve Karapınar istasyonlarının, 1971-2014 yılları arası aylık toplam yağış verileri kullanılarak 3, 6, 9 ve 12 aylık dönemler için SYİ yöntemiyle kuraklık kategorileri belirlenmiştir. İstasyonların hesaplanan SYİ değerlerine bakıldığında kuraklık görülme olasılığı 6 aylık periyot için en fazla Seydişehir'de % 61,35, en az Yunak'ta % 54,93; 9 aylık periyot için en fazla Seydişehir'de % 62,45; 12 aylık periyot için en fazla Seydişehir'de % 61,74 ve en az Yunak'ta % 53,22 oranda hesaplanmıştır. Seydişehir 1971-2014 yılları arasında 44 yıllık dönemde yıllık ortalama 751,86 mm yağış alırken, Yunak yıllık ortalama 443,62 mm yağış almıştır. Seydişehir'in yıllık ortalama 308,24 mm daha fazla yağış almasına rağmen kuraklık görülme yüzdesi daha yüksek bulunmuştur. Bu durum, yağışların dağılımındaki farklılaşmanın Seydişehir'de en yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Seydişehir yıllık toplam yağışların % 47,60'ını kış, % 23,33'ünü ilkbahar, % 6,24'ünü yaz ve % 22,83'ünü sonbahar mevsiminde alırken, Yunak yağışların % 29,01'ini kış, % 34,74'ünü ilkbahar, % 14,56'sını yaz ve % 21,69'unu sonbahar mevsiminde almıştır.



Şekil 5 - Akşehir istasyonunu test seti için YSA modeli saçılma diyagramları

Farklı zaman dilimlerindeki yağış azalmasını belirlemede kullanılan SYİ yöntemiyle yapılan incelemede Konya İli'nin kurak koşullardan önemli ölçüde etkilendiği görülmüştür. 44 yıllık zaman diliminde tüm istasyonlarda kurak dönemlerin yağışlı dönemlerden fazla olduğu, hafif derecede kuraklığın diğer kategorilere oranla daha fazla hissedildiği ve çok şiddetli kuraklığa hemen hemen hiç rastlanmadığı gözlenmiştir.

Kuraklığın modellenmesinde YSA metodu kullanılmıştır. İstasyonların aylık yağış verileri (t) ve (t-1) zamanlarda olmak üzere girdi parametresi olarak alınmıştır. En yüksek R² ve en düşük OKH değerini bulabilmek için gizli tabakadaki nöron sayıları ve transfer fonksiyonları değiştirilerek denemeler yapılmıştır.

3, 6, 9 ve 12 aylık zaman periyotları için yapılan modellemelerde tüm istasyonlarda en yüksek R² ve en düşük OKH değeri 12 aylık periyotta hesaplanmıştır. En kötü performans ise, tüm seriyi temsil etme oranı en düşük olan 3 aylık periyottan elde edilmiştir. Geliştirilen modellerden elde edilen sonuçlara baktığımızda yapay sinir ağları yönteminin kuraklık tahmininde kolaylıkla kullanılabilmesi görülmüştür. SYİ serilerini temsil edebilecek en iyi ağ modellerinin oluşturulması için gizli tabakadaki nöron sayıları değiştirilerek deneme-yanımlar yapılması ise YSA için bir eksiklik olarak görülebilir.

6 KAYNAKLAR

- [1] Yeğnidemir, M.K., 2005. İç Anadolu Bölgesi'nin Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SYİ) Metodu ile Kuraklık Analizi. Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 149s, Kırıkkale
- [2] Tanoğlu, A., 1943. Türkiye'de Kuraklık İndisleri. Türk Coğrafya Dergisi, 1(1), 1943
- [3] Kokkokoğlu, N., 2006. İç Anadolu Bölgesi Kuraklık Sürelerinin Parametrik ve Nonparametrik Yaklaşımla Analizi. Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 104s, Kırıkkale
- [4] Mckee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA, s.179-184, 1993
- [5] Sırdaş, S., 2002. Meteorolojik Kuraklık Modellemesi ve Türkiye Uygulaması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 237s, İstanbul
- [6] İskenderoğlu, E.Ç.,2006. İç Anadolu

- Bölgesinin Aylık Yağış Verilerinin İstatistiksel Analizi. Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 336s, Kırıkkale
- [7] Deniz, D., 2009. Türkiye'deki Kuraklığın Standart Yağış İndeksi (SPI) ile İncelenmesi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 106s, Çanakkale
- [8] Apak, E., 2009. Standart Yağış İndeksi (SPI) Yöntemi İle Ege Bölgesinde Kuraklık Analizi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 51s, İzmir
- [9] Küçükyaman, D., 2010. Kovada Gölü'nün Hidrolojik Ve Meteorolojik Kuraklık Analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 65s, Isparta
- [10] Özer, S., 2010. Kuraklık Riski Ve Ölçümü. Trakya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 175s, Edirne
- [11] Fidan, İ.H., 2011. Doğu Akdeniz Bölgesi'nde Standardize Yağış İndeksi (SYİ) ile Kuraklık Analizi ve Markov Zinciri Yöntemini Kullanarak Kurak Olma Olasılıklarının Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 75s, Adana
- [12] Biberöglü, E., 2011. Küresel İklim Değişikliğinin Türkiye Yağış Ve Sıcaklıkları Üzerindeki Etkilerinin Belirlenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 205s, İzmir
- [13] Topçu, E., 2013. L-Momentler ve Standart Yağış İndeksi (SYİ) Yardımıyla Seyhan Havzası Kuraklık Analizi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 161s, Adana
- [14] Önal, S., 2009. Yapay Sinir Ağları Metodu İle Kızılırmak Nehri'nin Akım Tahmini. Süleyman Demirel Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Isparta
- [15] Oğuztürk, G., 2010. Kızılırmak Havzası'nda SYİ İle Kuraklık Analizi ve YSA Yöntemi İle Kuraklık Tahmini. Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 165s, Kırıkkale
- [16] Terzi, Ö., 2004. Eğirdir Gölü'ne Ait Buharlaşma Modellerinin Geliştirilmesi ve Uygulanması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 124s, Isparta
- [17] Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİGM), 2015. İl ve İlçelerimize Ait İstatistikî Veriler.<http://www.dmi.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx>
- [18] Konya Valiliği, (<http://www.konya.gov.tr/>), Erişim tarihi: 05.03.2015
- [19] Türkiye1.Net, (<http://www.turkiye1.net/>), Erişim tarihi: 29.01.2017
- [20] Thom, H. C. S., 1958. A note on the Gamma Distribution. Monthly Weather Review, 86 (4): 117-122.
- [21] Thom, H. C. S., 1966. Some Methods of Climatological Analysis, W. M. O. Technical Note. No:81 Geneva
- [22] Öztemel E., 2003. Yapay Sinir Ağları. Papatya Yayıncılık, 28-110s, 232s. İstanbul

ÇOK ZAMANLI UYDU GÖRÜNTÜLERİ KULLANILARAK UYDU-KAYNAKLI BATİMETRİ

Mehmet Ali AKGÜL
DSİ 6.Bölge Müd., Havza Yönetimi, İzleme ve Tahsisler Şube Müdürlüğü, ADANA
mali.akgul@dsi.gov.tr

Murat DAĞDEVİREN
DSİ Genel Müdürlüğü, ANKARA
mdagdeviren@dsi.gov.tr

İbrahim BİROĞLU
DSİ Etüt, Planlama ve Tahsisler Dairesi Baş., Erozyon ve Rüşubat Kont. Şube Müd., ANKARA
ibiroglu@dsi.gov.tr

(Makalenin geliş tarihi: 19.06.2018, Makalenin kabul tarihi: 19.07.2018)

ÖZ

Barajlar ve göllerdeki su miktarındaki değişim belirli periyotlarla yapılan batimetrik haritalar ile tespit edilebilmektedir. İp iskandil gibi klasik yöntemlerle ve echo-sounder gibi teknolojik yöntemlerle yapılan batimetrik haritalar günümüzde uzaktan algılama yöntemleri ile de yapılmaktadır. Bu çalışmada, Stumpf vd. [2003] tarafından açıklandığı şekilde Log Ratio Transformation (LRT) yöntemi kullanılarak Seyhan Baraj Gölünün su derinliğinin ve dolayısı ile batimetrik kotların tespit edilmesine çalışılmıştır. Bu yöntem ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) tarafından geliştirilmiş olup su derinliğinin hesaplanmasında en etkili analiz yöntemi olarak görülmektedir. Su derinliğinin kalibrasyonu için 17 adet nokta kullanılmıştır. Bu noktaların derinlikleri 2005 yılında yapılmış Seyhan Baraj Gölü batimetrik haritasından noktalar arası 2 m derinlik farkı olacak şekilde seçilmiştir. Uzaktan algılama verisi olarak Landsat 8 uydusuna ait 2017 yılı içerisinde bulutsuzluk durumu dikkate alınarak 8 adet görüntü seçilmiş ve analiz edilmiştir. Analizler sonucunda ortalama batimetrik kotlar ile gerçek batimetrik kotlar arasındaki regresyonun R^2 'si 0,9359 ve Karesel Ortalama Hatası (KOH) ise 2,78 m olarak bulunmuştur. Bulunan hassasiyetin yeterli görüleceği çalışmalarda üretilen haritalar doğrudan kullanılabilirliği gibi daha hassasiyet istenen çalışmalarda batimetrik harita alımının istikşaf çalışmalarında kullanılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Batimetri, Uzaktan algılama, Landsat 8

SATELLITE-DERIVED BATHYMETRY USING MULTI-TEMPORAL SATELLITE IMAGES

ABSTRACT

The change in the amount of water in dams and lakes can be determined by bathymetric maps made with certain periods. Bathymetric maps constructed with classical methods such as lead-line and technological methods such as echo-sounder are now also made with remote sensing methods. In this study, it was tried to determine the bathymetric elevations of the Seyhan Dam Lake due to the water depth by using Log Ratio Transformation (LRT) method as described by Stumpf et al [2003]. This method was developed by the US National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) and is considered to be the most effective method of analysis of water depth. For the calibration of the depth of water, 17 points were used. The depths of these points were selected from the bathymetric map of the Seyhan Dam Lake in 2005, with a depth difference of 2 m between the points. As remote sensing data, 8 images were selected and analyzed considering the cloudiness in Landsat 8 satellite. As a result of the analyzes, the regression value R^2 , between the average bathymetric levels and the actual bathymetric levels was 0,9359 and Root Mean Square Error (RMSE) was 2,78 m. The generated maps can be used directly when the accuracy is found to be sufficient; Also, it is suggested to use bathymetric map acquisition for exploratory studies when more precise studies are required.

Keywords: Bathymetry, Remote Sensing, Landsat 8

1 GİRİŞ

Küresel iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden ve dünya nüfusunun hızlı artışından dolayı temiz suya olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Su kaynaklarının korunması için yeni baraj ve gölet gibi depolamalı su yapıları planlanmakta, eski planlamalar ise revize edilmektedir. Bu revize sırasında bilinmesi gereken en önemli bilgi depolamalı su yapısında mevcut su miktarıdır. Nehirler tarafından taşınan sediment barajların ve göllerin rezervuarında birikmekte ve su miktarını azaltmaktadır. Su miktarındaki bu değişim belirli periyotlarla yapılan batimetrik haritalar ile tespit edilebilmektedir. İp iskandil ve iskandil latası gibi klasik yöntemlere başlayan batimetrik harita yapımı, gelişen teknolojiye paralel olarak echo- sounder vb. yöntemler ile devam etmiştir. Günümüzde ise uzaktan algılama yöntemleri de batimetrik harita yapımında kullanılmaktadır.

Snyder vd. [2016] Haiti sahillerinde yaptıkları çalışmada süspanse sedimentten kaynaklı olarak su derinliğinin olması gerekenden daha sığ olduğunu tespit etmişlerdir. Bu bölgelerin maskelenmesi gerektiğini ve uydu kaynaklı batimetrik haritalar ile deniz haritalarının karşılaştırılmasında dikkate alınmaması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmamızda gözle yorumlanmasındaki zorluklardan dolayı, mevsimsel ve bölgesel olarak değişiklik gösteren süspanse sedimentin çok zamanlı uydu verileri yardımıyla elemine edilmesine çalışılmıştır.

Wee vd. [2015] Malezya, Langkawi Adası sahil kesimlerinde Landsat 8 uydusunu kullanarak bir çalışma yapmışlar, bu çalışma sonucunda 50 referans noktasından korelasyon katsayısını 0,9054, toplam Karesel Ortalama Hatasını (KOH) ise 1,521 m olarak bulmuşlardır.

Smith vd. [2017] yaptıkları çalışmalarında Log Linear Transformations (LLT) [Lyzenga vd., 1978] ve Log Ratio Transformations (LRT) [Stumpf vd., 2003] yöntemlerini karşılaştırmış, sığ sularda özellikle LRT yönteminin daha başarılı sonuçlar verdiğini bulmuşlardır.

Pacheco vd. [2015] Portekiz'in güneyinde yer alan Ria Formosa kıyı şerinde yaptıkları çalışmada Landsat 8 uydusunu kullanmışlar,

0 m-12 m derinlikleri arasındaki analizler sonucunda KOH'yı 0,89 m olarak bulmuşlardır. Ayrıca çalışmaları sonucunda, pasif optik algılama sistemlerinin doğal bir sınırlaması olarak hassasiyetin derinliğe bağlı olduğunu ve bulanıklığın daha yüksek olabileceği koy gibi alanlarda doğruluğun daha da azalacağını belirtmişlerdir.

Birçok benzer çalışmada pasif optik sistemlerin derinlik ve bulanıklık ile sınırlandırılmış olduğu belirtilse de tek bir uydu görüntüsü üzerinde çalışılmasından dolayı oluşan hataların, çok zamanlı uydu görüntüleri yardımıyla minimize edilebileceği bu çalışmamızda gösterilmiştir.

2 MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyal

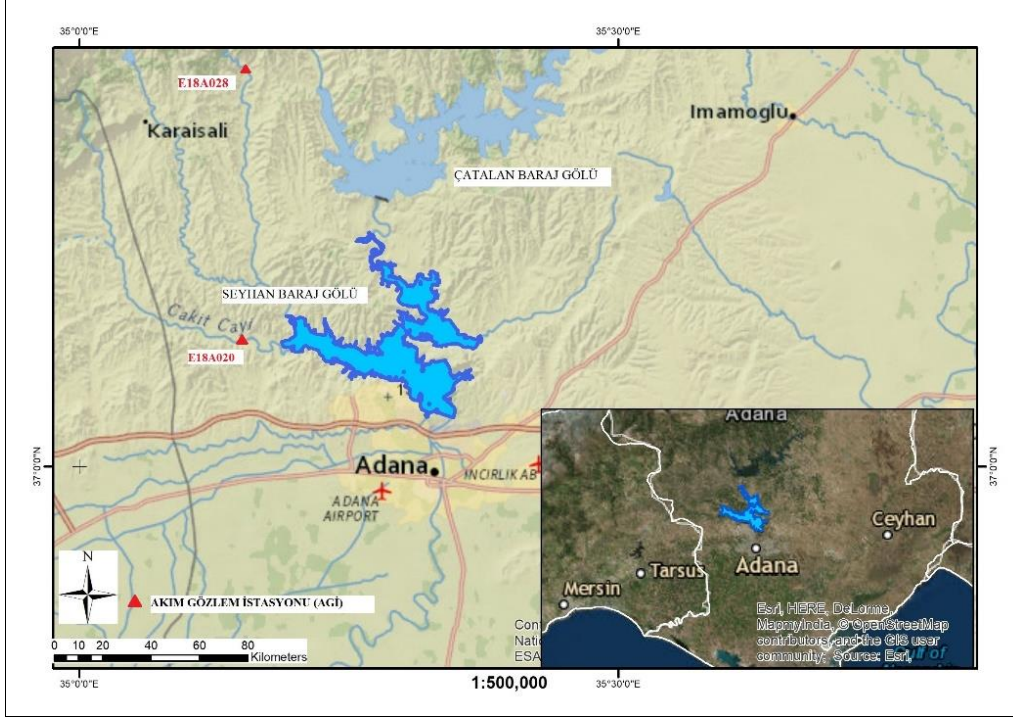
Çalışma alanı olarak seçilen Seyhan Baraj Gölü, Aşağı Seyhan Ovası sulamasının en önemli su kaynağı olarak 1956 yılında hizmeti açılmış olup 1966-2005 yılları arasında 7 defa batimetrik haritası yapılmıştır. (Şekil 1). Sulama, enerji ve taşkın koruma amaçlı yapılan barajın normal su kotu 67,50 m olup bu kottaki göl hacmi 1200 hm³'dür [DSİ, 2014].

LDCM (Landsat Data Continuity Mission) programının bir parçası olan Landsat 8 uydusu, 11.02.2013 tarihinde fırlatılmış ve Landsat 7 uydusunun yörüngesine girmiştir. Çalışmada kullanılan "L1T düzeyi" uydu görüntüleri, radyometrik kalibrasyonu ve yer kontrol noktaları yardımıyla ortorektifikasyonu yapılmış, sayısal arazi modelleri kullanılarak topoğrafyadan kaynaklanan hataları düzeltilmiş görüntü formatındadır [USGS, 2016].

UTM (Universal Transverse Mercator) koordinat sisteminde, WGS84 (World Geodetic System 84) datumunda ve 12 bit radyometrik çözünürlüğe sahip Landsat 8 uydusunun bant özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çalışmada kullanılan Log Ratio Transformation (LRT) yöntemi mavi ve yeşil bantları kullanmakta olup bu bantlar, Landsat 8 uydusunun 2 ve 3 numaralı bantlarına karşılık gelmektedir.

Çalışma alanının bulutsuzluk durumu göz önüne alarak arşiv taraması yapılmış uygun bulunan 8 adet görüntü Çizelge 2'de verilmiştir.



Şekil 1 - Çalışma alanının genel görünüşü

Çizelge 1 - Landsat 8 uydusu bant özellikleri [USGS, 2016]

Bant Num.	Bant Gen. (µm)	Çöz. (m)	Açıklama
Bant 1	0,43-0,45	30	Kıyı Aerosol
Bant 2	0,45-0,51	30	Mavi
Bant 3	0,53-0,59	30	Yeşil
Bant 4	0,64-0,67	30	Kırmızı
Bant 5	0,85-0,88	30	Yakın Kızılötesi.- NIR
Bant 6	1,57-1,65	30	Orta Kızılötesi-SWIR 1
Bant 7	2,11-2,29	30	Orta Kızılötesi – SWIR 2
Bant 8	0,50-0,68	15	Pankromatik
Bant 9	1,36-1,38	30	Cirrus
Bant 10	10,60–11,19	100 (30)	Termal Kızılötesi – TIRS 1
Bant 11	11,50-12,51	100 (30)	Termal Kızılötesi – TIRS 2

Çizelge 2 - Çalışmada kullanılan görüntülerin adı ve tarihi

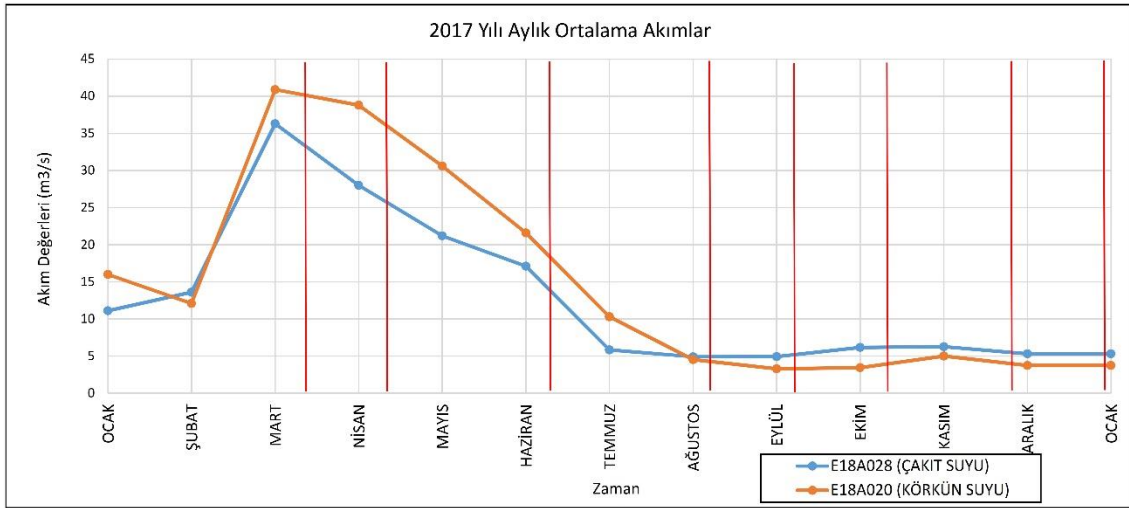
Tarih	Görüntü Adı
16.03.2017	LC81750342017075LGN00
17.04.2017	LC81750342017107LGN00
04.06.2017	LC81750342017155LGN00
07.08.2017	LC81750342017219LGN00
08.09.2017	LC81750342017251LGN00
10.10.2017	LC81750342017283LGN00
27.11.2017	LC81750342017331LGN00
29.12.2017	LC81750342017363LGN00

Analiz sonuçlarının yorumlanmasında kullanılan sediment getiren Körkün Çayı üzerinde bulunan E18A020 ve Çakıt Çayı üzerinde bulunan E18A028 numaralı Akım Gözlem İstasyonlarına (AGİ) ait 2017 yılı aylık ortalama akımlara ait değerler Çizelge 3'de, grafiği ise Şekil 2'de verilmiştir. E18A028 numaralı AGİ baraj gövdesine yaklaşık 20 km ve E18A020 numaralı AGİ ise yaklaşık 35 km mesafededir. Bu mesafelerden dolayı günlük debi değerleri veya süspansediment miktarları yerine 2017 yılı aylık ortalama

değerlerine bakılarak değerlendirme yapılmıştır.

Çizelge 3 - AGİ'lere ait 2017 yılı aylık ortalama akımlar [DSİ, 2018]

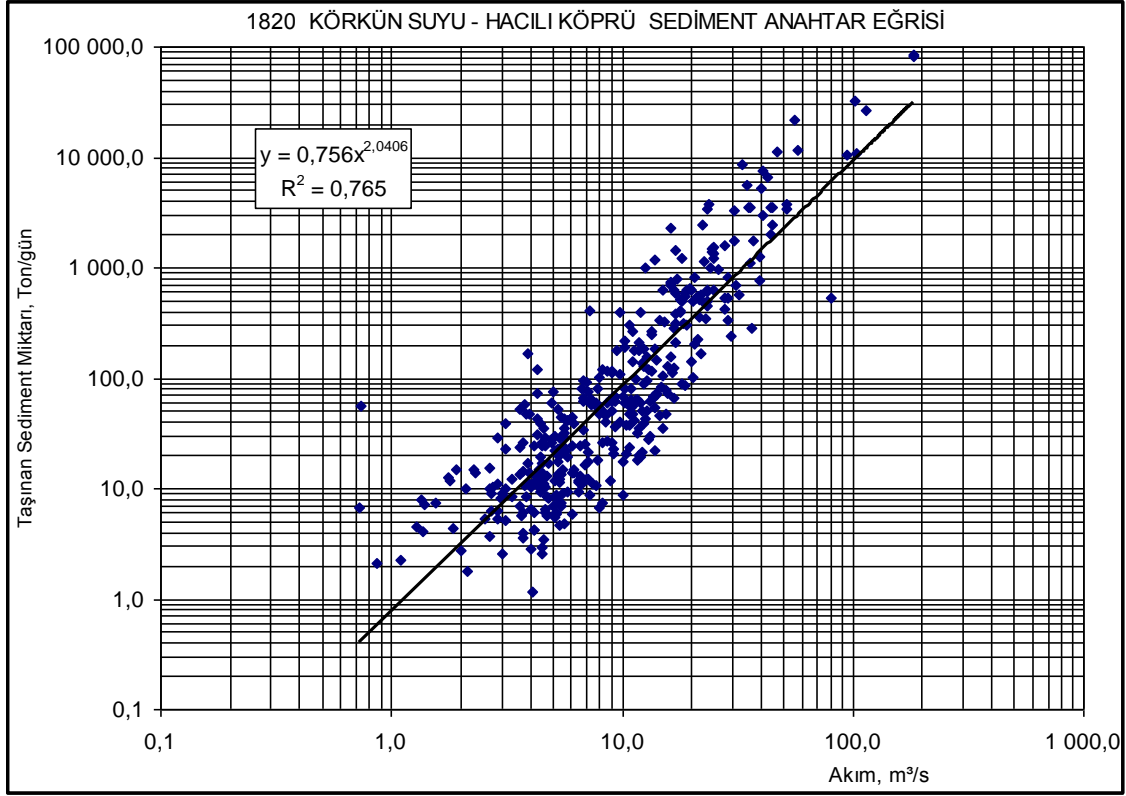
Tarih	E18A020 (m ³ /s)	E18A028 (m ³ /s)
Ocak	16,00	11,10
Şubat	12,10	13,60
Mart	40,90	36,30
Nisan	38,80	28,00
Mayıs	30,60	21,20
Haziran	21,60	17,10
Temmuz	10,30	5,83
Ağustos	4,52	4,92
Eylül	3,30	4,94
Ekim	3,45	6,17
Kasım	5,01	6,27
Aralık	3,76	5,30



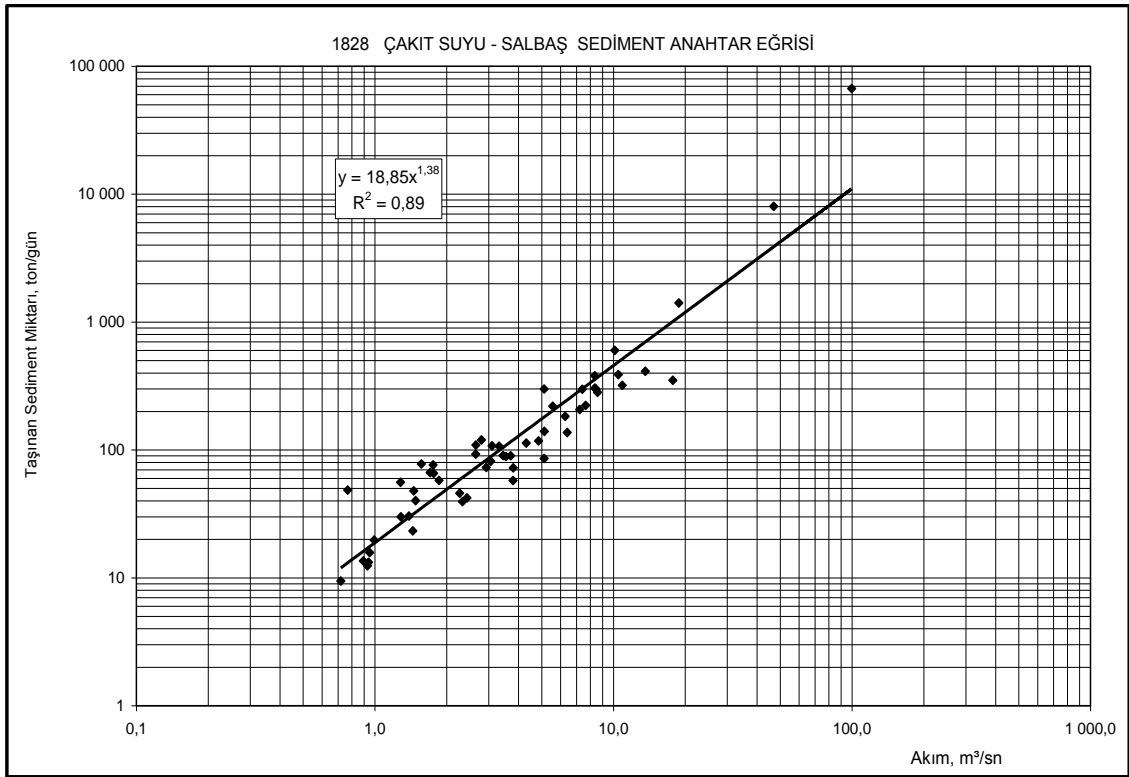
Şekil 2 - AGİ'lere ait 2017 yılı aylık ortalama akımlar grafiği

E18A020 ve E18A028 numaralı AGİ'lere ait sediment anahtar eğrileri Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir. Bu anahtar eğrilerine göre, 2017 yılı aylık ortalama akım değerleri kullanılarak

taşınan süspansediment miktarları hesaplanmış, değerleri Çizelge 4'te, grafiği ise Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 3 – E18A020 sediment anahtar eğrisi [DSİ, 2014]



Şekil 4 – E18A028 sediment anahtar eğrisi [DSİ, 2014]

Çizelge 4 – AGİ'lere ait 2017 yılı aylık ortalama süspanse sediment miktarı

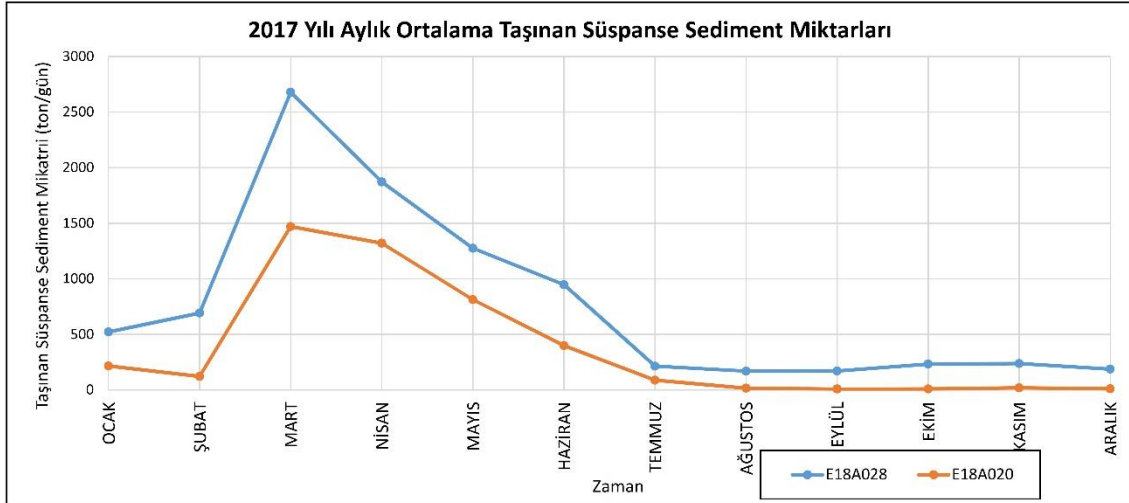
Tarih	E18A020 (ton/gün)	E18A028 (ton/gün)
Ocak	216,60	522,22
Şubat	122,48	691,19
Mart	1470,29	2679,06
Nisan	1320,36	1872,36
Mayıs	813,36	1275,42
Haziran	399,58	948,08
Temmuz	88,17	214,75
Ağustos	16,42	169,91
Eylül	8,64	170,87
Ekim	9,46	232,22
Kasım	20,26	237,43
Aralık	11,28	188,28

E18A020 ile E18A028 numaralı AGİ'lerine ait akım değerleri birbirine yakın olmasına rağmen yıllık toplam taşınan süspanse sediment miktarı bakımından Çakıt havzasını temsil eden E18A028 numaralı AGİ'de ölçülen miktar, Körkün havzasını temsil eden E18A020 numaralı AGİ'de ölçülen miktarın yaklaşık iki katı kadardır.

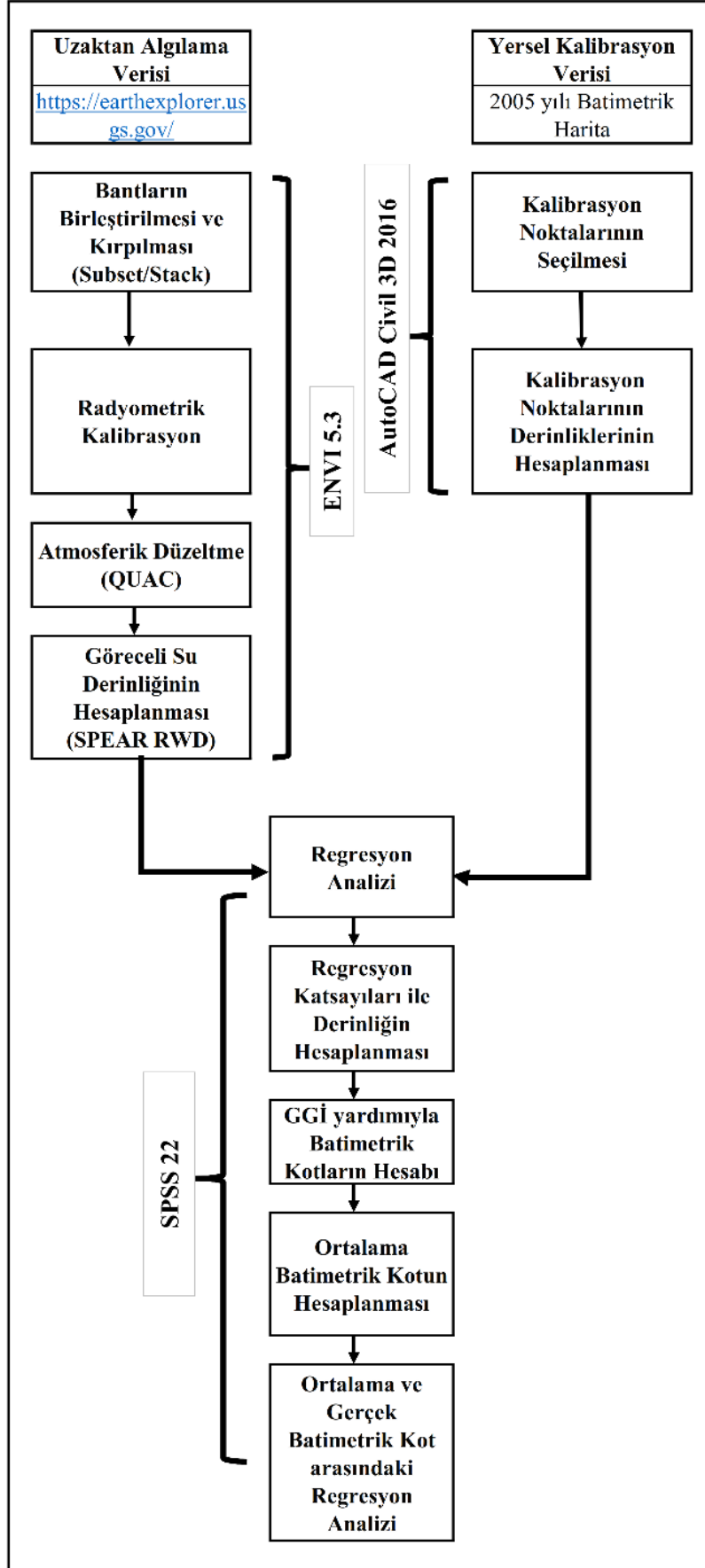
2.2 Yöntem

Çalışma Şekil 6'de verilen akış diyagramına göre yapılmıştır.

Landsat 8 uydu görüntüsünün kullanılması için gerekli olan radyometrik düzeltmeleri ENVI 5.3 uzaktan algılama yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır [Canty, 2014]. Radyometrik düzeltmeleri yapılmış olan uydu görüntülerinin atmosferik düzeltmeleri için aynı yazılım içerisinde bulunan Quick Atmospheric Correction (QUAC) modülü kullanılmıştır (Bernstein vd., 2005).



Şekil 5 - AGİ'lere ait 2017 yılı aylık ortalama süspanse sediment miktarı grafiği



Şekil 6 – Akış diyagramı

Aynı yazılım içerisinde bulunan SPEAR Relative Water Depth (RWD) modülü kullanılarak göreceli derinlik haritaları üretilmiştir. Bu modülün kullandığı Log Ratio Transformation (LRT) yöntemi ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) tarafından geliştirilmiş olup su derinliğini taban albedodan bağımsız olarak ampirik bir formülle hesaplamaktadır (1), (Stumpf vd., 2003).

$$z = m_1 \left(\frac{\ln(nL(\lambda_i))}{\ln(nL(\lambda_j))} \right) - m_0 \quad (1)$$

n , m_1 , m_0 değerleri sabit katsayılar, $L(\lambda_i)$ ve $L(\lambda_j)$ bantların radyans değerleridir.

Bu yöntem, her bandın farklı bir su kütlesi emilimine sahip olduğu temel ilkesine dayanır. Farklı emilim seviyesi kavramsal olarak bantlar arasında bir oranı meydana getirecektir, bu oran derinlik değiştiğinde sürekli olarak değişecektir. Teorik olarak, oran arttığında derinlik de artacaktır (Stumpf vd., 2003).

LRT yönteminin, özellikle düşük yansımaya oranına sahip sığ sularda diğer benzeri modellere göre daha doğru derinlik tahmini yaptığı görülmüştür (Said vd., 2017).

3 BULGULAR VE TARTIŞMA

SPEAR RWD modülü kullanılarak 8 ayrı tarihlili Landsat 8 uydu görüntüsünden göreceli su derinliği haritaları elde edilmiştir (Şekil 7).

Su derinliğinin kalibrasyonu için baraj gölünün Çakıt Çayı ve Körkün Çayının döküldüğü batı kolundan 17 adet nokta kullanılmıştır. Bu noktaların derinlikleri, Autocad Civil 3D programı yardımıyla [Autodesk, 2016] 2005 yılında yapılmış Seyhan Baraj Gölü batimetrik haritasından, noktalar arası 2 m derinlik farkı olacak şekilde seçilmiştir (Şekil 8).

Kalibrasyon için her bir noktaya ait göreceli derinliğe karşılık gelen gerçek derinlik değerleri grafiklendirilmiştir (Şekil 9).

Debilerin yüksek geldiği aylarda Çakıt ve Körkün çayının baraj gölü rezervuarına giriş yaptığı sığ noktaların regresyon modelinden uzaklaştığı görülmektedir. Bunun sebebi süspanse sedimentin miktarının yüksek olmasından kaynaklandığı tahmin edilmekte, süspanse sedimentin baraj gölü rezervuarına yayılıp konsantrasyonunun azalmasıyla noktaların modele yaklaştığı gözlenmektedir. Debilerin azalmasıyla sığ noktalarında regresyon modeline yaklaştığı fakat bu sefer derin noktaların modelden uzaklaştığı görülmüştür. Bunun sebebi olarak;

- Ölçümü olmayan yan kollardan gelen akım ve sediment,
- Baraj gölü rezervuarına giren tüm akımlarla birlikte gelen sedimentin baraj gövdesinde birikmesi veya
- Uydu bantlarının görüntüleme derinlik limitinden dolayı olabileceği düşünülmektedir.

Her bir grafikte ayrı ayrı olmak üzere Huizingh [2007]'e göre SPSS programı yardımıyla regresyon analizi yapılmış, en uygun regresyon modeli, belirginlik katsayılarına bakılarak seçilmiştir.

Bu katsayılara bakarak en uygun uydu görüntülerinin, süspanse sediment miktarlarının en düşük olduğu aylar olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 5).

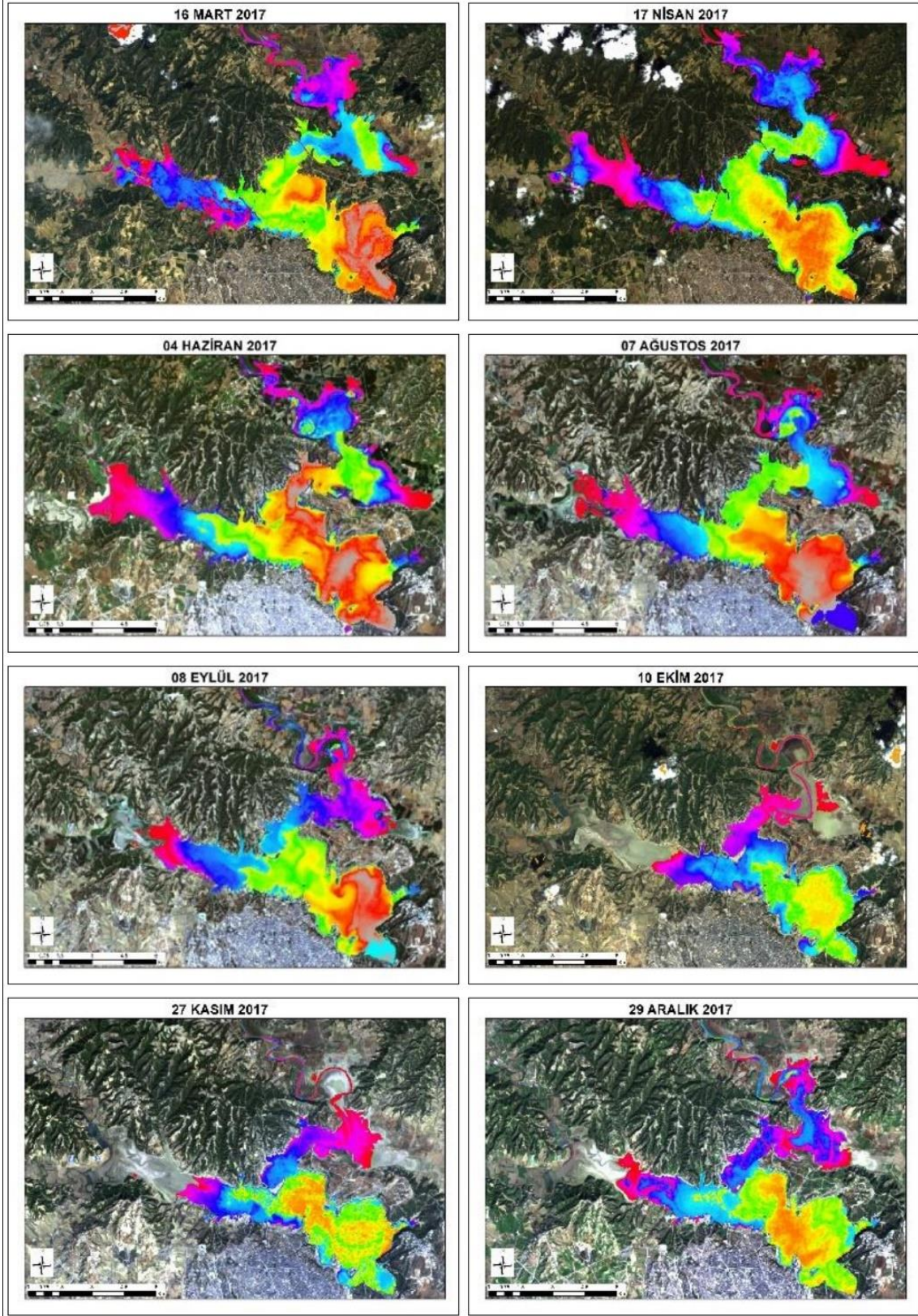
Çizelge 5 - Regresyon ve belirginlik katsayıları

Tarih	Katsayılar	R ²
16.03.2017	$y = 103,17 * x - 6,3722$	0,7226
17.04.2017	$y = 132,62 * x - 59,194$	0,8280
04.06.2017	$y = 39,727 * x^{1,9151}$	0,9226
07.08.2017	$y = e^{(3,823 + (-0,235/x))}$	0,9290
08.09.2017	$y = 37,364 + (-2,857/x)$	0,9590
10.10.2017	$y = 0,016e^{20,335 * x}$	0,9224
27.11.2017	$y = 1344,6 * x^{5,0736}$	0,7886
29.12.2017	$y = 282,85 * x^{3,9397}$	0,9548

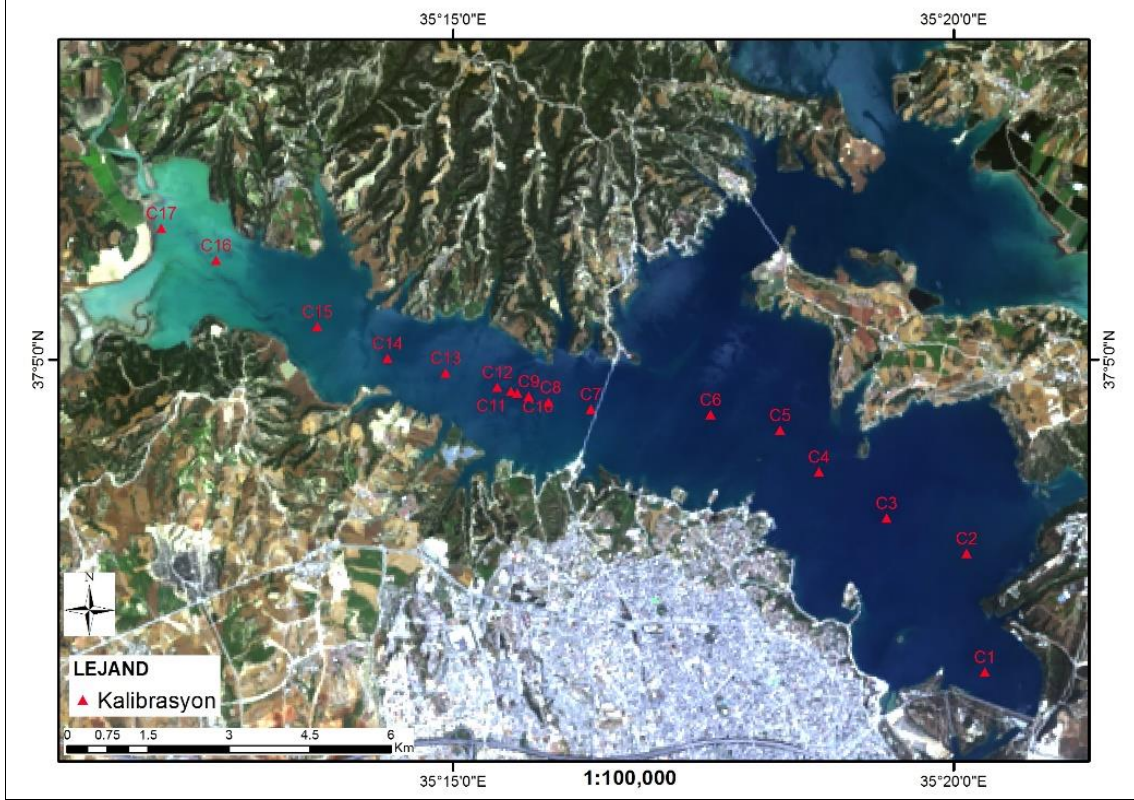
y: Gerçek Derinlik, x: Göreceli Derinlik

Regresyon katsayıları kullanılarak göreceli su derinlikleri birim değerden metre cinsi su derinliklerine dönüştürülmüştür. Hesaplanan bu derinlikler ile gerçek derinlikler arasındaki farkların Karesel Ortalama Hataları (KOH) hesaplanmıştır (Çizelge 6). Süspanse sediment miktarlarının yüksek olduğu mart, nisan ve haziran aylarına ait KOH'ların, Süspanse sediment miktarlarının düşük olduğu ağustos, eylül ve ekim aylarından daha yüksek olduğu görülmüştür. Kurak geçen 2017 kasım ve aralık aylarında akım ve dolayısı ile süspanse sediment miktarının artmamasına rağmen KOH'larının arttığı tespit edilmiştir. Bunun sebebi olarak Şekil 9'da görüleceği üzere baraj gölünün en derin noktalarının

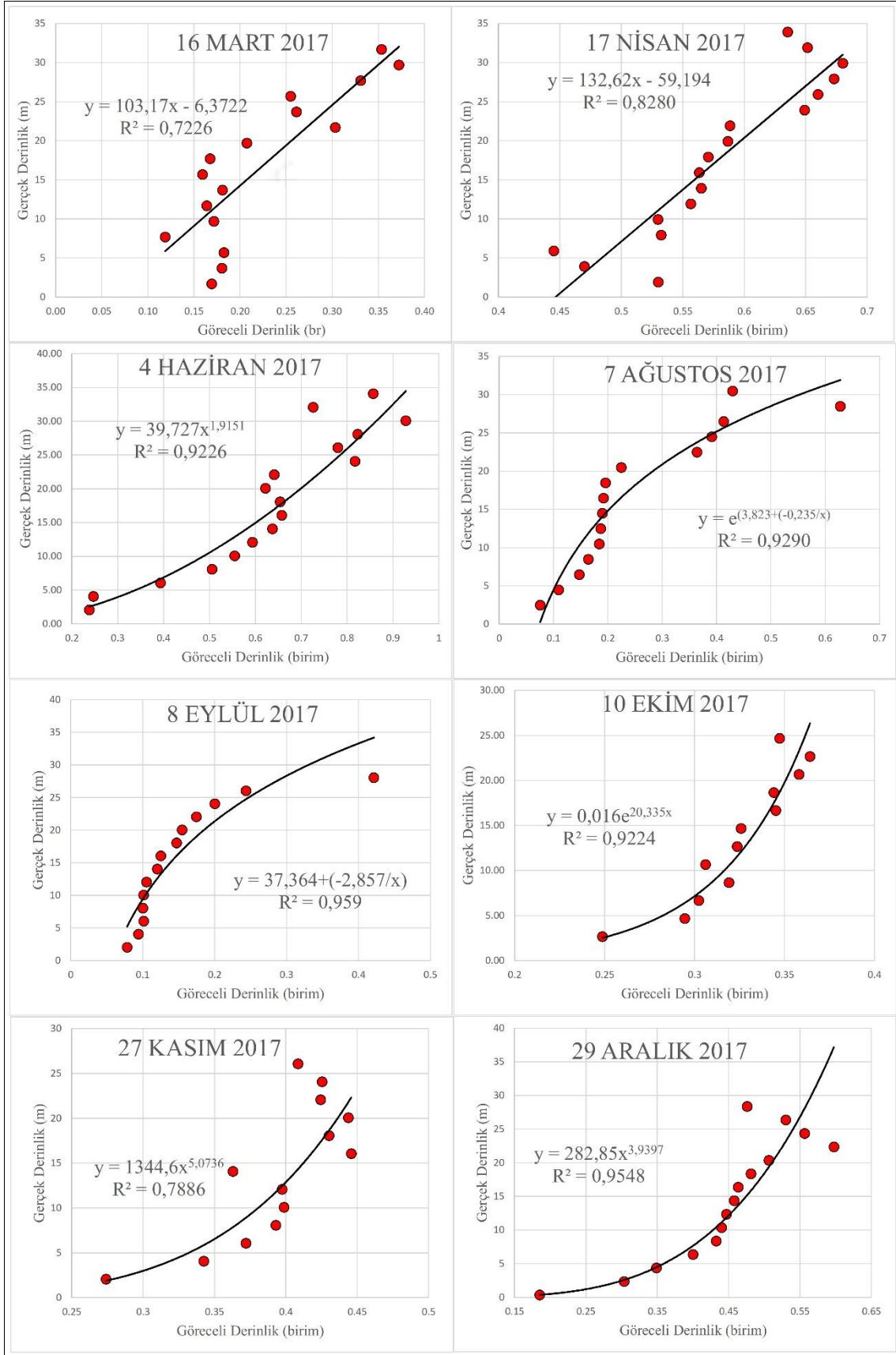
regresyon modelinden uzaklaşmış olması sebep olmuştur.



Şekil 7 - Göreceli su derinliği haritaları



Şekil 8 - Kalibrasyon noktaları



Şekil 9 - Gerçek ve göreceli su derinliği arasındaki regresyon grafiği

Çizelge 6 - Kalibrasyona ait farkların KOH'ları

Tarih	KOH (m)
16.03.2017	4,86
17.04.2017	4,06
04.06.2017	3,75
07.08.2017	2,59
08.09.2017	1,63
10.10.2017	2,59
27.11.2017	4,92
29.12.2017	5,42

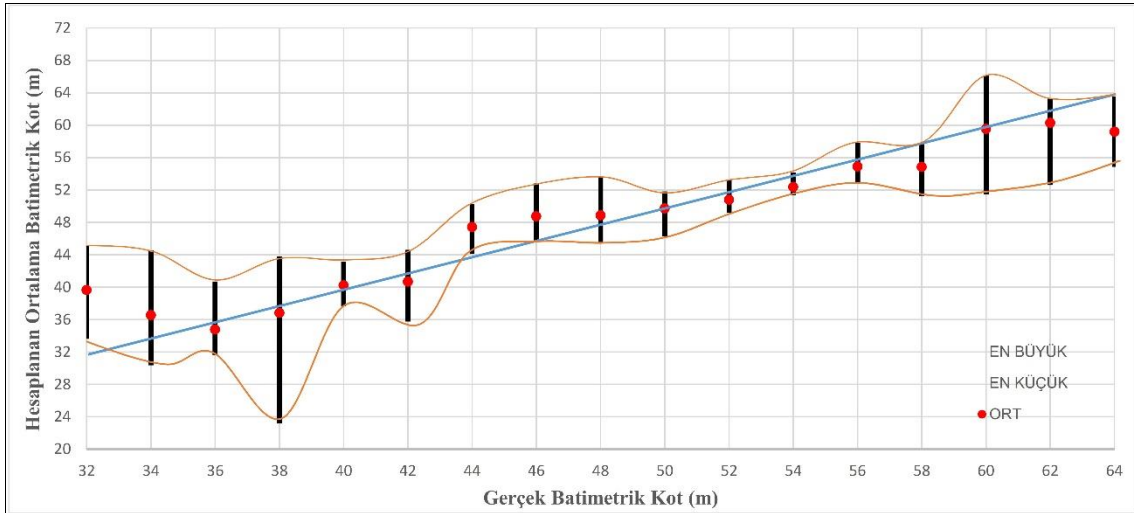
Uydu görüntüleri ile batimetrik harita yapımında, görüntü seçilirken baraj gölüne giren akımların ve dolayısıyla süspansediment miktarlarının en küçük olduğu tarihlerin kullanılmasının uygun olacağı tespit edilmiştir.

Her bir analiz sonucunda bulunan regresyon katsayıları ile noktaların derinlikleri hesaplanmış, bu değerler Çizelge 7'de verilen Göl Gözlem istasyonundan (GGİ) okunan değerler yardımıyla batimetrik kot değerine çevrilmiştir.

Çizelge 7 – Seyhan Barajı Gölü GGİ değerleri

Tarih	Seyhan Barajı GGİ (m)
16.03.2017	63,70
17.04.2017	65,93
04.06.2017	66,08
07.08.2017	64,48
08.09.2017	62,06
10.10.2017	56,67
27.11.2017	58,07
29.12.2017	60,36

Her bir noktada su derinliğine bağlı olarak 2 ile 8 adet arası batimetrik kot hesaplanmıştır. Hesaplanan bu batimetrik kotların ortalaması, en büyük değeri ve en küçük değeri ile gerçek batimetrik kotlar arasındaki ilişki grafiklendirilmiştir (Şekil 10). Bu grafikten görüleceği üzere en büyük, en küçük ve ortalama değerler göz önüne alındığında, çok zamanlı uydu görüntülerinin kullanılması ile süspansedimentten kaynaklı batimetrik kotlardaki hataları, batimetrik kotların ortalamasını alarak azaltmak mümkün olmaktadır.



Şekil 10 - Gerçek ve hesaplanan ortalama batimetrik kot grafiği

Hesaplanan ortalama batimetrik kotlar ile gerçek batimetrik kotlar arasındaki regresyon sonucunda belirginlik katsayısı 0,9359 olarak bulunmuştur (Çizelge 8). Bu değer, kalibrasyona ait Çizelge 5'te verilen belirginlik katsayıları incelendiği zaman en iyi üçüncü değer olduğu görülmüştür.

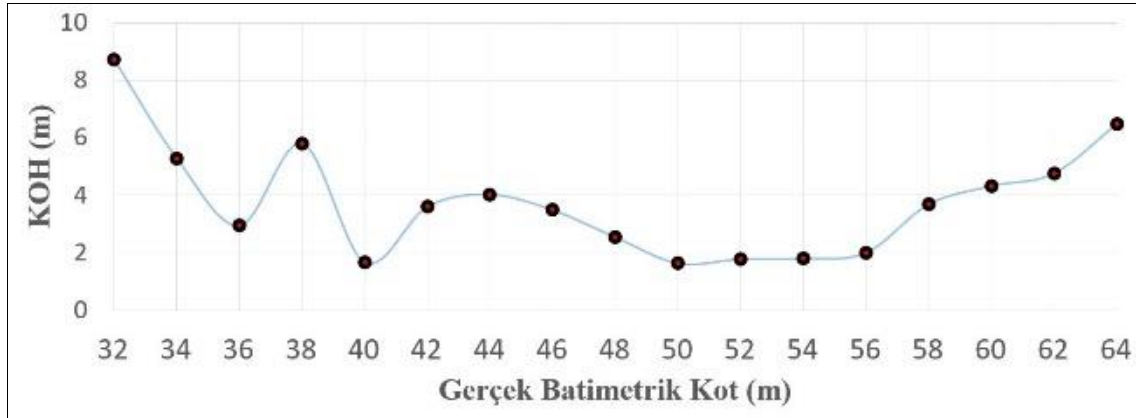
Hesaplanan ortalama batimetrik kotlar ile gerçek batimetrik kotlar arasındaki farkların KOH'sı 2,78 m olarak bulunmuş olup (Çizelge 8), bu değer de Çizelge 6'da gösterilen kalibrasyona ait farkların KOH değerleri incelendiğinde en iyi dördüncü değer olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 8 - Regresyon ve belirginlik katsayısı

Katsayı	R ²	KOH (m)
$y = 0,8121 \cdot x - 8,9903$	0,9359	2,78

y: Gerçek Batimetrik Kot, x: Ortalama Batimetrik Kot

32 m-38 m arası batimetrik kotlarda KOH'nın ortalaması 5,69 m, 40 m-56 m arası batimetrik kotlarda KOH'nın ortalaması 2,51 m, 58 m-64 m arası batimetrik kotlarda ise KOH'nın ortalaması 4,82 m olarak bulunmuştur (Şekil 11). Düşük batimetrik kotlardaki KOH'nın



Şekil 11 - Gerçek batimetrik kotların KOH'sı

4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Su derinliği, ip iskandil, iskandil latası gibi klasik yöntemlerle ile üretilirken gelişen teknoloji ile birlikte echo-sounder vb. yöntemlerle ölçülmeye başlanmıştır. Bu çalışmada ise uzaktan algılama yöntemleriyle su derinliğinin tahmin edilmesine çalışılmıştır. Diğer yöntemlere göre daha hızlı, ekonomik ve

büyük olmasının sebebi nehirlerin baraj gölü rezervuarına ilk giriş noktalarındaki süspanse sediment konsantrasyonunun yüksek olmasından, derin kotlarda ise uydu bantlarının dalgaboylarının suya nüfuz etme derinliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çalışma boyunca Seyhan Baraj Gölü'nün en derin noktasındaki ortalama derinlik yaklaşık 30 m bulunmuş olup Uluslararası Hidrografi Organizasyonu'nun (IHO), 4 ayrı kullanım için yaptığı sınıflandırmada, 30 m derinliğe karşılık gelen yatay ve derinlik doğrulukları hesaplanmış ve Çizelge 9'da verilmiştir.

Çizelge 9 - Hidrografik ölçmeler için asgari Standartlar [IHO,2008]

Sınıf	Özel	1a	1b	2
Yatay Doğr.	2,00 m	6,50 m	6,50 m	23,00 m
Derinlik Doğr.	0,34 m	0,63 m	0,67 m	1,21 m

Çalışmanın doğruluğu IHO'nun standartlarını karşılamamasına rağmen, kullanılan uydu verisinden daha hassas radyometrik ve yersel çözünürlüğe sahip uydu verilerinin kullanılması ile IHO'nun standartlarına daha yakın sonuçların elde edilebileceği düşünülmektedir.

çalışmaların istikşafında veya planlanması aşamasında kullanılabilir.

Açık ve temiz sularda kullanılan bu yöntemin, sediment getiren nehirler üzerinde bulunan baraj, gölet vb. depolamalı su yapılarında da kullanılabileceği fakat;

- 1) Çalışılacak su yapısının rezervuarına giren akımlar biliniyorsa, görüntü seçilirken debilerin düşük olduğu tarihlerin kullanılmasının daha sağlıklı olacağı,
- 2) Rezervuara giren akımlar bilinmiyorsa, su derinliğini doğrudan etkileyen süspanse sedimentten kaynaklı hataların çok zamanlı uydu verileri yardımıyla elemine edilmesi gerektiği sonuçlarına varılmıştır.

5 KAYNAKLAR

- [1] Autodesk Inc. (2016). Autodesk Autocad Civil 3D 2016 Help, <http://help.autodesk.com/view/CIV3D/2016/ENU>
- [2] Bernstein, L.S., Adler-Golden, S.M., Sundberg, R.L., Levine, R.Y., Perkins, T.C., Berk, A. (2005). Validation of the QUick Atmospheric Correction (QUAC) algorithm for VNIR-SWIR multi- and hyperspectral imagery. SPIE, Proceedings, Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XI. Vol. 5806, pp. 668-678
- [3] Canty, J.M. (2014). Image Analysis, Classification and Change Detection in Remote Sensing, with Algorithms for ENVI/IDL and Python., Third Edition. CRC Press
- [4] DSİ (2014). Seyhan Havzası Master Plan Raporu., 6.Bölge Müdürlüğü, Adana
- [5] DSİ. (2018). Akım Yıllığı
- [6] Huizingh, E. (2007). Applied Statistics with SPSS. SAGE Publications Ltd, London. doi:10.4135/9781446249390
- [7] IHO (2008). IHO Standards for Hydrographic Surveys (5th Edition). Monaco: IHO Publication S-44
- [8] Lyzenga, D.R. (1978). Passive Remote Sensing Techniques for Mapping Water Depth and Bottom Features. Applied Optics, 17(3), pp.379-383
- [9] Pacheco, A., Horta, J., Loureiro, C., Ferreira, O. (2015). Retrieval of nearshore bathymetry from Landsat 8 images: A tool for coastal monitoring in shallow waters. Remote Sensing of Environment. <http://doi.org/10.1016/j.rse.2014.12.004>
- [10] Said, N.M., Mahmud, M.R., Hasan, R.C. (2017). Satellite-Derived Bathymetry: Accuracy Assessment on Depths Derivation Algorithm for Shallow Water Area, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-4/W5, 159-164, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W5-159-2017>
- [11] Smith, F.G.F., Hess, M.L. (2017). Optimization of Multi-date Strategies for Calculating Bathymetry Using Multispectral Imagery. Imaging and Geospatial Technology Forum (IGTF 2017). Baltimore, Maryland, USA.12 - 16 March 2017
- [12] Snyder, L.P., Nyberg, J., Smith, S.M., Pe'eri, S., Madore, B., Rogers, J., Lowell, J., DeAngelis, R. (2016). Chart Adequacy Evaluation of the Coastal Water of Haiti Using Satellite-Derived Bathymetry. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), National Ocean Survey (NOS), Silver Spring, MD
- [13] Stumpf, R.P., Holderied, K., Sinclair, M. (2003). Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. Limnology and Oceanography, volume. 48(1, part 2), pages. 547-556
- [14] USGS (2016). LANDSAT 8 (L8) Data Users Handbook. Department of the Interior US Geological Survey, L8SDS-1574 Version 2.0, page:98
- [15] Wee, K.K., Pradhan, B. (2015). Converting Digital Number into Bathymetric Depth: A Case Study over Coastal and Shallow Water of Langkawi Island, Malaysia. FIG Working Week 2015, (May 2015), 14

BARAJ YIKILMASI SONUCU OLUŞAN BASINÇ YÜKLERİNİN SAYISAL OLARAK MODELLENMESİ

M. Deniz İTİBAR
Su / Yapı Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş. 06510 Çankaya ANKARA
deniz.itibar@suyapi.com.tr

(Makalenin geliş tarihi: 04.07.2018, Makalenin kabul tarihi: 12.09.2018)

ÖZ

Çalışma kapsamında, baraj yıkılması sonucu oluşan yüklerin tahmini için Düzgün Parçacık Hidrodinamiği yaklaşımı kullanılmıştır. Söz konusu sayısal modelin etkinliğinin belirlenebilmesi amacıyla yakın tarihli bir deneysel çalışmanın çıktıları esas alınmıştır. Çok yüksek işlem gücü gerektiren problemin çözümü için, tek fazlı ve paralel hesap kabiliyetine sahip bir bilgisayar kodu kullanılmıştır. Matematiksel hesaplamalar grafik kartı üzerinde yapılarak, paralel işlem gücünden en etkin şekilde yararlanılmıştır. Fiziksel ve sayısal model sonuçları karşılaştırıldığında, sayısal modelin güvenilir, etkin ve güçlü olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Baraj Yıkılması, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, Basınç, Düzgün Parçacık Hidrodinamiği

NUMERICAL INVESTIGATION OF DAM-BREAK INDUCED PRESSURE LOADS

ABSTRACT

In this study, the Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) method with δ -SPH scheme is applied to investigate the dam-break induced impact pressure loads. This work is carried out by simulating a recent physical experiment on dam-break event with δ -SPH scheme. A single-phase SPH code were used to investigate the impact of a dam-break wave. The parallel computing capability of Graphics Processing Units (GPUs) is also used to enable a convergence study with a large number of particles. Predicted impact pressures are compared with physical test results. The δ -SPH scheme has been shown to be robust, efficient and reliable.

Keywords: Dam-Break, Computational Fluid Dynamics, Pressure, Smoothed Particle Hydrodynamics

1 GİRİŞ

Baraj yıkılması çok sık karşılaşılan bir problem olmamasına karşın, meydana geldiğinde oldukça yıkıcı ve ölümcül sonuçlar doğurabilmektedir. Baraj yıkılmasının en sık karşılaşılan nedeni; çok kısa bir zaman aralığında büyük yağış yüksekliklerinin gözlenmesidir. Bu göz önünde olan gerçeğin yanında, arazi kullanımındaki değişimler, iklim değişikliği, geçerliliğini yitirmiş tasarım kriterleri ve bakım eksikliği gizli nedenler olarak sayılabilirler. Baraj yıkılması sonucu gözlenecek büyük ve güçlü akış, mansapta yer alan yapılar üzerinde yıkıcı etkiye sahip olacaktır. Baraj mansabında yer alan yapıların

yıkılması ise büyük sayıda insan kaybı ile sonuçlanabilir.

Bahsi geçen taşkın dalgası nedeniyle oluşacak etkinin doğru bir şekilde tahmin edilebilmesi ile yapısal zararların azaltılmasına yönelik tasarım kriterleri belirlenebilecektir.

Literatür incelendiğinde, baraj yıkılması probleminin analitik, sayısal ve deneysel olarak üç ana başlıkta incelendiği görülmüştür. Teorik çalışmaların geçmişi, Ritter'in ani baraj yıkılması akışını analitik olarak ifade etmeyi denediği döneme kadar dayanır [1]. Söz konusu analitik ifade, Stoker tarafından ıslak-mansap şartı eklenerek geliştirilmiştir [2].

Hunt'ın 1984 tarihli çalışmasında, sonlu uzunluktaki bir rezervuar kullanılarak baraj yıkılması akışına ait analitik ifade elde edilmeye çalışılmıştır [3].

Daha güncel bir çalışmada Chanson, sürtünmesiz bir yatak üzerinde akışı analitik olarak ifade etmiş ve Ritter'ın yaklaşımını geliştirmiştir [4].

DeneySEL model çalışmaları incelendiğinde, günümüze kadar oldukça fazla sayıda oldukları kolayca görülmektedir. 1960'lı yıllarda özellikle Amerikan Ordu Mühendisleri (US Army Corps of Engineers) çok sayıda deneysel çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmalar baraj yıkılması probleminin deneysel olarak incelenmesinde temel teşkil etmişlerdir [5,6]. Günümüze daha yakın tarihli olan çalışmalara göz atmak gerekirse; Lee 2002 tarihli çalışmasında bir baraj mansabında yeralan dik bir duvar üzerine etkiyen yükleri incelemiştir [7]. Kleefsman 2005 tarihli deneysel çalışmasında, baraj yıkılması problemini 3 boyutlu olarak tasvir edecek bir model üzerinde durmuştur [8]. Lugni 2006 tarihli deneysel çalışmasında parçacık görüntüleme tekniği kullanarak dalga kırılmasını analiz etmiştir [9]. Bukreev ve Zykov 2008 tarihli çalışmalarında, baraj yıkılması sonucu oluşan dalganın mansapta yeralan bir yapı üzerindeki etkisini incelemiştir [10]. Aleixo 2011 tarihli çalışmasında, parçacık görüntüleme tekniği kullanarak baraj yıkılması sonucu oluşan dalganın hız profilini çıkarmıştır [11]. Bu çalışmaya da altlık olan deneysel çalışma 2014 yılında Lobovsky tarafından gerçekleştirilmiş olup, Lee tarafından 2002 tarihinde yapılan çalışmanın detaylandırılmış versiyonudur.

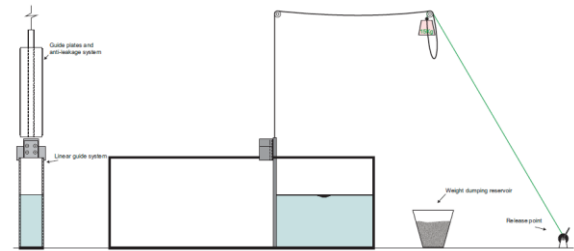
Konu ile ilgili olan sayısal model çalışmaları incelendiğinde, genellikle 1 ve 2 boyutlu sığ su denklemlerine dayandıkları görülmektedir. Sığ su denklemlerine dayanan modeller, sonlu elemanlar ve sonlu hacim şemaları ile çözümü elde etmeye çalışırlar. Bahsi geçen denklemlerin çözümü, 3 boyutlu Navier-Stokes denklemlerinin çözümü ile kıyaslandıklarında, oldukça az işlem gücü gerektirdikleri görülür. Buna karşın, baraj yıkılması sonucu oluşan yıkıcı dalganın tariflenmesinde çok başarılı değildirler. Sun tarafından 2011 yılında gerçekleştirilen çalışmada, yöntemin gücü artırılmaya çalışılmıştır [12]. Sıklıkla kullanılan bu yöntemlerde hesap hücreleri tanımlanması gerekmekte olup, büyük deformasyonların söz konusu olduğu problemlerde zorluklarla karşılaşılabilir. Özellikle astrofizik problemlerin çözümü için geliştirilmiş olan ağdan bağımsız yöntemler ise, klasik yöntemlere güçlü bir alternatif olarak ön plana

çıkılmaktadırlar. Bu çalışmanın da ana konusunu oluşturan ağdan bağımsız yöntemler çeşitli çözüm şemaları kullanmakta olup, çalışmamızda "Düzensiz Parçacık Hidrodinamiği" tercih edilmiştir.

Ele alınan yöntem, birçok farklı deneysel çalışma ile sınırlanmış ve oldukça başarılı sonuçlar alınmıştır [13,14]. Yöntemin uygulanmasındaki en büyük zorluk, problemin parçacıklar ile tariflenirken çok büyük işlem gücüne ihtiyaç duyulması ve özellikle basınç alanında meydana gelen sayısal kirliliktir. Çalışmamızda, yüksek işlem gücü ihtiyacı CUDA (Compute Unified Device Architecture) mimarisinin kullanımı ile; basınç alanındaki kirlilik ise Antuono tarafından 2010 yılındaki çalışmada önerilmiş δ -SPH eklentisinin kullanımı ile giderilmiştir [15].

2 DENEYSEL ÇALIŞMA

Sayısal model doğrulama çalışmasında yararlanılan deneyler, Madrid Teknik Üniversitesi'nde (UPM) gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 1610x600x150 mm boyutlarında prizmatik bir tank kullanılmıştır. Tank çeperleri hidroelastik etkinin gözlenmeyeceği kadar rijit bir malzemeden (Polymethyl Methacrylate, PMMA) seçilmiştir.



Şekil 1 – Deney düzeneği şematik gösterimi

Deney düzeneğinde yeralan kapak, sadece dikey konumda hareket edebilen tek serbestlik dereceli olarak seçilmiştir. Şekilde görülen 15 kg'lık ağırlığın aşağı yönde ani hareketi ile kapak yukarı yönlü hareket etmektedir.

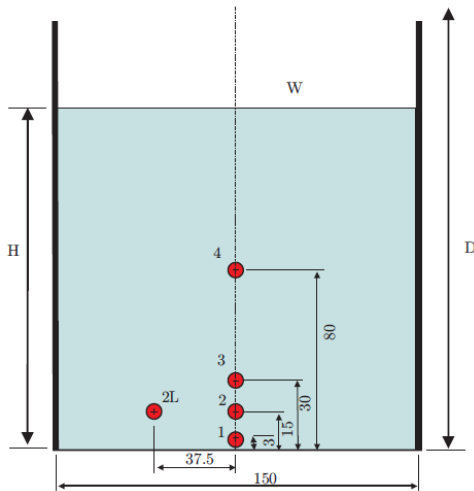


Şekil 2 – Kapak mekanizması



Şekil 3 – Veri kayıt düzeneği

Veri kayıt için piezo basınç ölçerlerden yararlanılmıştır (KULITE XTL-190 serisi). Basınç ölçümleri ile eş zamanlı olarak görüntü de kaydedilmiştir. Görüntü kayıt için saniyede 300 kare çekim yapabilen ve 512x384 çözünürlükte kameradan (Casio EXILIM F1) faydalanılmıştır. Bu sayede, oluşan dalganın ön yüzü, kırılması ve saçılması hakkında detaylı bilgi toplanmıştır. Deneyler 300 m ve 600 m yükseklikteki iki farklı su sütunu için gerçekleştirilmiş olup tankın karşı çeperindeki basınç ölçerlerde değerler okunmuştur.



Şekil 4 – Basınç sensörü konumları

3 SAYISAL MODEL

3.1 DPH Teorisi

Söz konusu yöntem, iki farklı araştırmacı tarafından eş zamanlı olarak ortaya atılmıştır [16,17]. Yöntemde çözüm alanı sonlu sayıda hareketli parçacık ile tariflenmektedir. Kernel yakınsaması olarak adlandırılan interpolasyon tekniği ile bir noktadaki değer, o noktaya yakın olan parçacıkların ağırlıklı değerleri kullanılarak elde edilmektedir. Yöntem ile ilgili detaylı bilgi Liu'nun 2003 tarihli kitabında bulunabilir [18].

Yöntemin temel özelliği, hesap alanı içerisinde yeralan herhangi bir büyüklüğe ait $A(r)$ fonksiyonunun integral interpolasyonudur.

$$A(r) = \int A_j(r')W(r - r', h)dr' \quad (1)$$

Denklemden yeralan h ağırlık fonksiyonu, $W(r - r', h)$ ise kernel olarak adlandırılmaktadır. Herhangi bir i parçacığı için denklem aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$A_i(r) = \sum_j A_j \left(\frac{m_j}{\rho_j} \right) W_{ij} \Rightarrow$$

$$\nabla A_i = \sum_j A_j \left(\frac{m_j}{\rho_j} \right) \nabla_i W_{ij} \quad (2)$$

Denklemden yeralan m_j ve ρ_j herhangi bir j parçacığının kütle ve yoğunluğunu ifade eder. Denklemdenki toplam işlemi, bir i parçacığına ait büyüklüğün, hesap bölgesinde yeralan tüm diğer parçacıkların etkisi ile hesaplandığını göstermektedir [19]. Sayısal modelin başarısı temel olarak uygun ağırlık fonksiyonunun seçimine bağlıdır. Bu çalışma kapsamında diğerlerine oranla daha yüksek stabilite sağlayan Wendland Kernel Fonksiyonu tercih edilmiştir [20].

$$W(r_{ij} h) = \alpha_D \begin{cases} \left(1 - \frac{q}{2}\right)^4 (1 + 2q) & 0 \leq q \leq 2 \\ 0 & q > 2 \end{cases} \quad (3)$$

Denklemden yeralan r_{ij} i ve j parçacıkları arasındaki mesafeyi tanımlamaktadır. Parçacık notasyonunda süreklilik ve momentum denklemleri aşağıdaki şekilde tariflenmektedir.

$$\frac{d\rho_i}{dt} = \sum_j m_j (u_i - u_j) \cdot \nabla_i W_{ij} \quad (4)$$

$$\frac{du_i}{dt} = - \sum_j m_j \left(\frac{P_i}{\rho_i^2} + \frac{P_j}{\rho_j^2} \right) \cdot \nabla_i W_{ij} + g + \sum_j m_j \left(\frac{4\nu r_{ij} \nabla_i W_{ij}}{(\rho_i + \rho_j) |r_{ij}|^2} \right) u_{ij} \quad (5)$$

Denklemden yeralan u_i , i parçacığının hızını, P_i ve P_j ise sırası ile i ve j parçacıklarının basınç değerlerini ifade eder. Denklemden yeralan diğer terimler olan m_i ve ρ_i i parçacığının kütle ve yoğunluğunu ifade eder. Diğer terimler yerçekimi ivmesi $g = (0, 0, 9.81)$ ve kinematik viskozite terimi ν 'dir.

Her bir parçacık yaklaşık olarak komşu parçacıkların ortalama hızları ile hareket ederler. Bu sayede aynı t zamanında uzayda aynı yeri işgal etmemiş olurlar. Bu yaklaşım XSPH düzeltmesi olarak isimlendirilmekte olup aşağıdaki denklem yardımı ile tariflenmektedir [21].

$$\frac{dr_i}{dt} = u_i + \varepsilon_\varepsilon \sum_j m_j \left(\frac{u_i - u_j}{\bar{\rho}_i} \right) W_{ij} \quad (6)$$

Fatehi ve Manzeri tarafından gerçekleştirilmiş 2011 tarihli çalışmada söz konusu düzeltmenin basınç alanında fiziksel olarak uygun olmayan salınımlara neden olduğu ortaya konmuştur [22]. Bu çalışmada da kullanılmış olan düzeltme terimlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Kullanım kolaylığı ve basitliği nedeniyle özellikle akışkan problemlerinin çözümü için yapay viskozite terimi kullanılmaktadır. Söz konusu terim yardımı ile tekrar kurulan (5) nolu denklem aşağıdaki şekilde tariflenir [23].

$$\frac{du_i}{dt} = - \sum_j m_j \left(\frac{P_i}{\rho_i^2} + \frac{P_j}{\rho_j^2} + \Pi_{ij} \right) \nabla_i W_{ij} + g \quad (7)$$

Denklemden yeralan yapay viskozite terimi Π_{ij} aşağıdaki özelliklere sahiptir.

$$\Pi_{ij} = \begin{cases} \frac{-\alpha \bar{C}_{ij} \mu_{ij}}{\bar{\rho}_{ij}} & v_{ij} \cdot r_{ij} < 0 \\ 0 & v_{ij} \cdot r_{ij} > 0 \end{cases} \quad (8)$$

Denklemden yeralan r ve v terimleri sırası ile parçacık konumunu ve hızını ifade eder. Herbir M adımda yoğunluk alanının da düzeltilmesi gerekmektedir. Söz konusu düzeltme aşağıda

verilmekte olan Shepard Filtresi yardımı ile yapılır.

$$\rho_i^{yeni} = \sum_j \rho_j \bar{W}_{ij} \frac{m_j}{\rho_j} = \sum_j m_j \bar{W}_{ij} \quad (9)$$

Bu çalışma kapsamında δ -SPH şemasından yararlanıldığı için modelde Shepard Filtresi kullanılmamıştır. Modelin stabilitesinin korunabilmesi için hesap adım zamanlarının da uygun seçilmesi gerekir.

$$\Delta t = C \left(\min(\Delta t_f, \Delta t_{cv}) \right) \quad (10)$$

Denklemden yeralan C Courant-Friedrichs-Lewy (CFL) sayısıdır. Δt_f değeri ise her bir kütle parçası için aşağıdaki denklem ile tariflenir.

$$\Delta t_f = \min \left(\sqrt{\frac{h}{|f_i|}} \right) \quad (11)$$

Δt_{cv} değeri ise ses hızı değerine ve viskozite şemasına bağlı olarak aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

$$\Delta t_{cv} = \min_i \left(\frac{h}{\max(C_s)_j + \left| \frac{h v_{ij} \cdot r_{ij}}{r_{ij}^2} \right|} \right) \quad (12)$$

Bu çalışmada çözüm şeması olarak 2. mertebe Simplektik Algoritmasından yararlanılmıştır [24]. Sınır koşullarını tariflemek için Dinamik Sınır Koşulu kullanılmıştır. Söz konusu yaklaşım kompleks geometrilerin tanımlanmasında başarılıdır [25]. Çalışmanın önceki kısımlarında üzerinde durulmuş olan δ -SPH yaklaşımı ile yoğunluk/basınç alanı düzeltilmesi yapılmıştır [26]. Söz konusu şema kullanılarak elde edilen denklem takımları aşağıda verilmektedir.

$$\frac{D\rho_i}{Dt} = -\rho_i \sum_j (u_j - u_i) \cdot \nabla_i W_{ij} V_j + \delta h c_0 D_i \quad (13)$$

$$\frac{Du_i}{Dt} = -\frac{1}{\rho_i} \sum_j (p_j + p_i) \nabla_i W_{ij} V_j + f_i + \delta h c_0 \frac{\rho_0}{\rho_i} \sum_j \pi_{ij} \nabla_i W_{ij} V_j \quad (14)$$

$$\frac{D\eta_i}{Dt} = u_i, \quad p_i = c_0^2(\rho_i - \rho_0) \quad (15)$$

Denklemlerde yeralan ρ_i, V_i ve p_i sırası ile yoğunluk, hacim ve basıncı ifade eder. Denklemlerde yeralan difüzyon terimi D_i aşağıdaki denklem ile tariflenir.

$$D_i = 2 \sum_j \psi_{ji} \frac{\eta_{ji} \cdot \nabla_i W_{ij}}{\|\eta_{ji}\|^2} \quad (16)$$

Denklemlerde yeralan η_{ji} ve ψ_{ji} terimleri ise aşağıdaki şekilde ifade edilirler.

$$\eta_{ji} = \eta_j - \eta_i \quad (17)$$

$$\psi_{ji} = \left\{ (\rho_j - \rho_i) - \frac{1}{2} ((\nabla \rho)_j^2 + (\nabla \rho)_i^2) \cdot \eta_{ji} \right\} \quad (18)$$

Çalışma kapsamında δ değeri 0.15 olarak kabul edilmiştir.

3.2 Model Kurulumu

Önceki bölümlerde detayları verilmekte olan ve Lobovsky tarafından Madrid Teknik Üniversitesi'nde gerçekleştirilmiş deneyin sonuçları sayısal modeli doğrulamak için kullanılmıştır [27]. Söz konusu deneyde kaydedilen su seviyesi ve basınç değerleri sayısal model sonuçları ile kıyaslanmıştır. Sayısal model çalışması iki farklı su sütunu için (300 mm ve 600 mm) gerçekleştirilmiştir. Her iki doluluk için yapılan çalışmada da 14,000,000 parçacık sayısı ile hesap yapılmıştır. Bu sayı, çalışmada kullanılan bilgisayar donanımı ile ulaşabildiğimiz en büyük değer olmuştur (Intel i7 extreme işlemci, 32 gb sistem hafızası, 2xGTX580 grafik kartı, sıvı soğutma sistemi). Sayısal modele ait detaylar Çizelge 1'de verilmiştir.

4 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.2 Serbest yüzey profili

Deneyde yeralan kapağın açılması sonrasında meydana gelen sıvı-yapı etkileşimi ve baraj yıkılması sonrası oluşan dalganın tankın diğer tarafına ulaştığında oluşan etki 300 mm su sütunu için Şekil 5'de; 600 mm su sütunu için Şekil 6'da gösterilmiştir.

Çizelge 1 - Sayısal model parametreleri

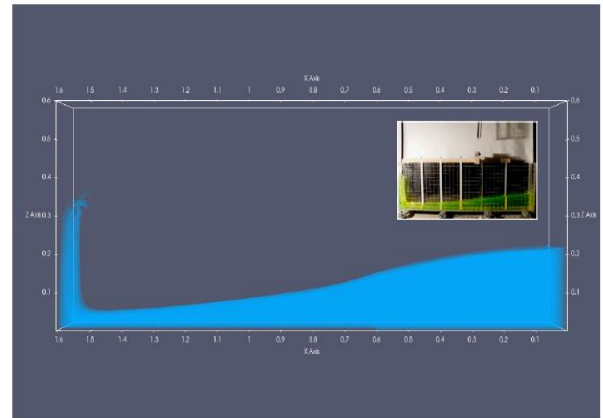
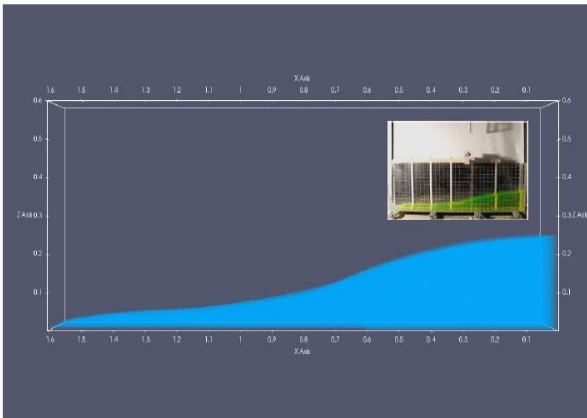
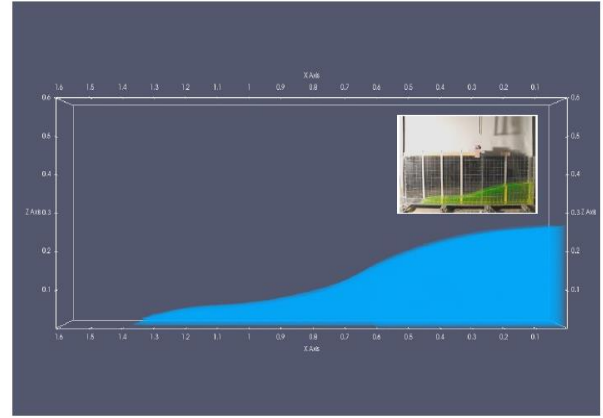
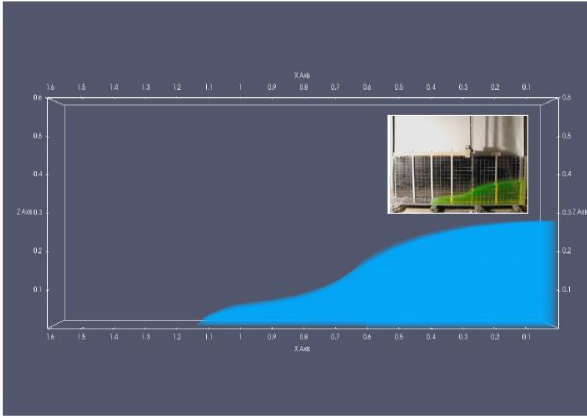
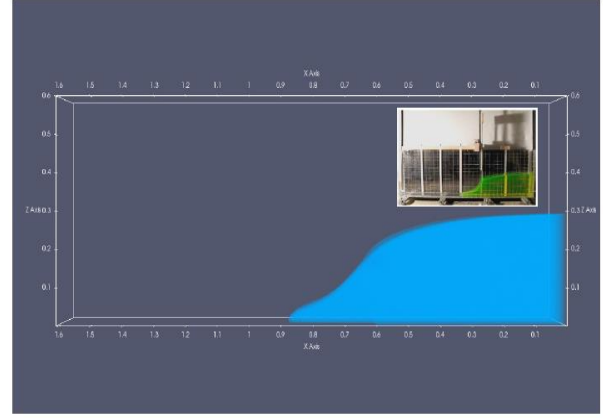
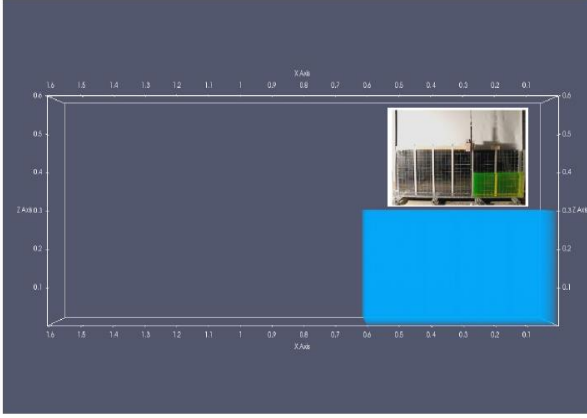
Parçacık büyüklüğü d_p (m)	0.0013 / 0.0016*
Düzeltilme mesafesi h (m)	0.00293 / 0.00360*
Parçacık sayısı N_p	14,000,000
Cidar parçacık sayısı N_{cidar}	1,400,000 / 1,050,000*
Akışkan parçacık sayısı $N_{\text{akışkan}}$	12,600,000 / 12,950,000*
Yapay viskozite α	0.15
Ses hızı C_0	20.V _{max}
CFL sayısı	0.20
Difüzyon katsayısı δ	0.15
Polytropik sabit γ	7
Kernel tipi	Wendland
Hesap algoritması	Simplektik
Sınır koşulu	Dinamik koşul (DBC)
Fiziksel zaman	2 saniye / 1.2 saniye*
Simülasyon süresi	5 gün 16 saat / 4 gün 14 saat*

* 600 mm su sütunu için

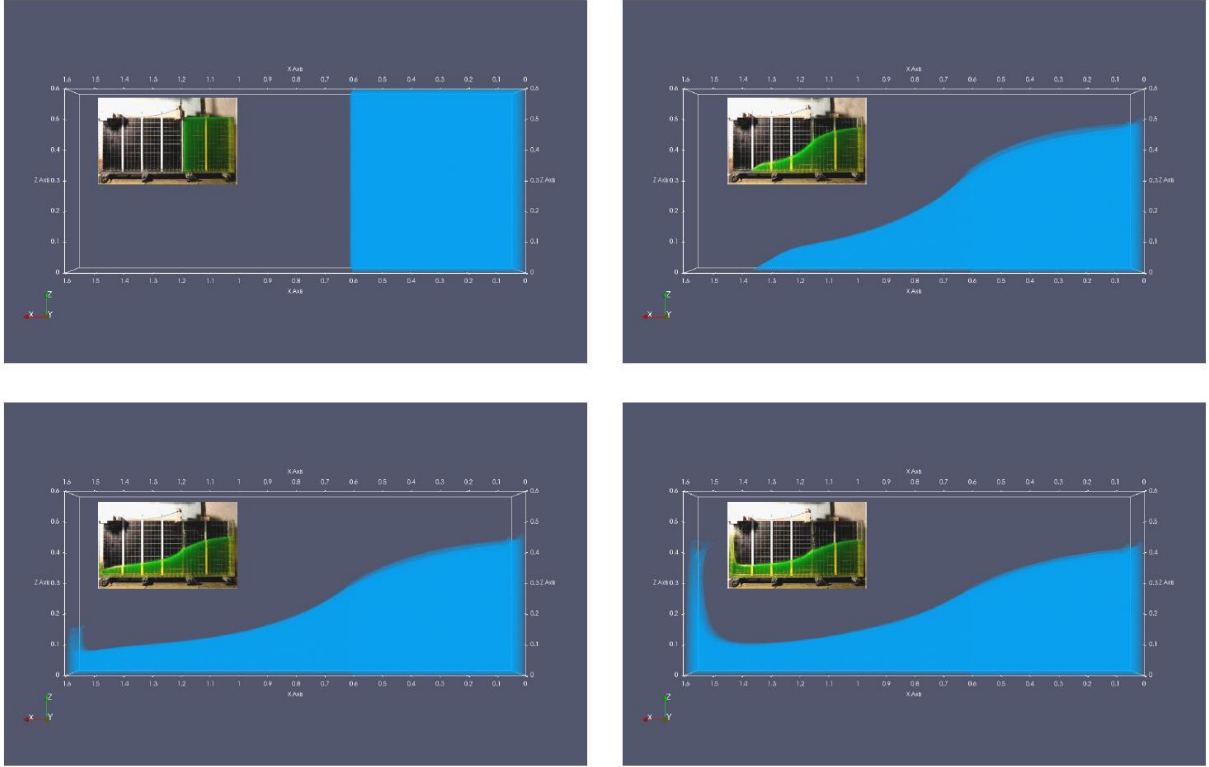
Yukarıda bahsi geçen model bileşenleri, hazırlanan bir XML dosyası yardımı ile tanımlanmaktadır. Deney esnasında ölçüm yapılan ve Şekil 4'de gösterilmiş olan sensör yerlerinde, sayısal hesap noktaları tariflenmiş ve model sonuçları zamana bağlı olarak CSV dosya formatında kaydedilmiştir. Bilgisayar donanımında yeralan 2 adet grafik kartının herbiri 512 adet CUDA çekirdeğine sahiptir. Bu sayede hesap adımları çok sayıda pakete bölünerek paralel işlem gücünden yararlanılabilmektedir. Sayısal model yardımı ile 300 mm su sütununa ait deneyin ilk 2 saniyesi; 600 mm su sütununa sahip deneyin ise ilk 1.2 saniyesi simüle edilmiştir. Modelin tamamlanması yaklaşık 5 gün sürmüş olup, sistemin sıcaklık yükselmesinden dolayı kapanmasının önüne geçmek için sıvı soğutma sistemi zorunlu olarak kullanılmıştır. Deneylerde yüksek hızlı kameralar yardımı ile kayıt yapıldığı için su yüzü profili, su seviyesi değişimi sayısal model ile kıyaslanabilmiştir. Yapılan incelemede oluşan dalganın tankın diğer çeperine ulaştığı süre 300 mm su sütunu için 450 milisaniye; 600 mm su sütunu için ise 413 milisaniye olarak hesaplanmıştır. Sayısal model yardımı ile elde edilen değerler boyutsuzlaştırıldıklarında ise 300 mm su sütunu için 2.57 ; 600 mm su sütunu için 1.67 değerleri elde edilmiştir. Lobovsky tarafından gerçekleştirilmiş deneyde yüksek hızlı kameralarla kaydedilen görüntüler, sayısal

modelde anlık olarak elde edilen sonuçların görselleri ile kıyaslanmıştır. Sayısal modelin

görselleştirilmesi aşamasında açık kaynak kodlu Paraview yazılımından yararlanılmıştır



Şekil 5 – Deney ve sayısal model serbest yüzey karşılaştırması (300 mm su sütunu için)



Şekil 6 – Deneysel ve sayısal model serbest yüzey karşılaştırması (600 mm su sütunu için)

4.2 Seviye değişimi

Deneysel çalışmalar kapsamında su seviyesi değişimleri de dört farklı prob yardımı ile ölçülmüştür. Deneyde elde edilmiş su seviyeleri, sayısal modelde aynı noktalar için hesaplanarak sonuçlar mukayese edilmiştir. Şekil 7’de söz konusu dört ölçüm noktasında elde edilmiş deneysel ve sayısal sonuçlar birarada gösterilmektedir. Grafikten de görülebileceği üzere değerler arasında farklar vardır. Söz konusu farkların ne mertebede olduğunu belirleyebilmek için iki farklı istatistiksel parametreden faydalanılmıştır. Bu parametreler A_F ile tariflenen genlik ve P_F ile tariflenen faz’dır.

$$A_F = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (F_i^{SAYISAL})^2}{\sum_{i=1}^N (F_i^{DENEYSEL})^2}} \quad (19)$$

$$P_F = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (F_i^{SAYISAL} - F_i^{DENEYSEL})^2}{\sum_{i=1}^N (F_i^{DENEYSEL})^2}} \quad (20)$$

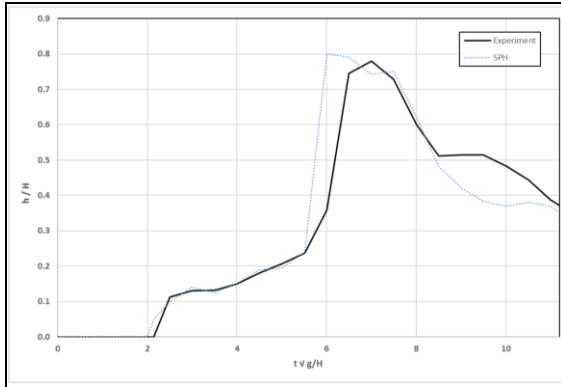
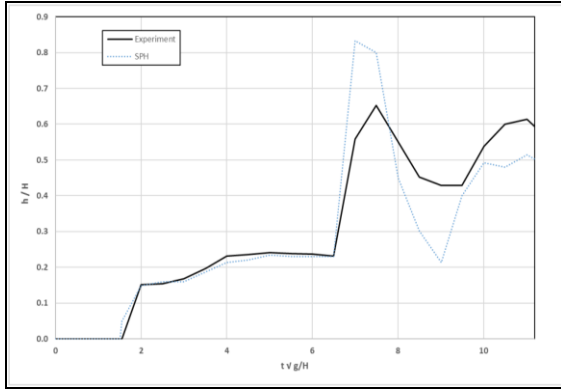
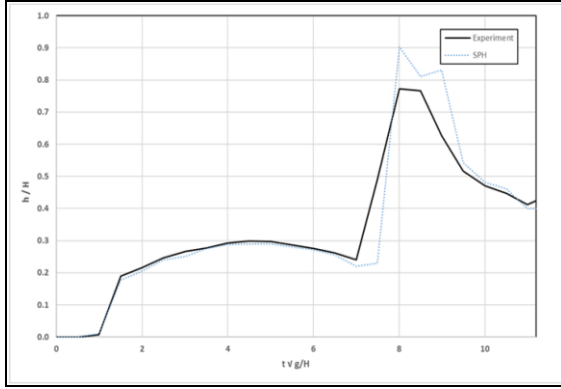
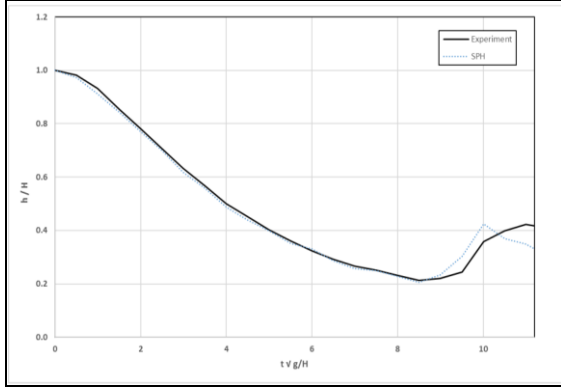
Denklemlerde yer alan F_i incelenen parametreye ait değerler, N ise örnekteki eleman sayısıdır. Deney verileri ile sayısal model yardımı ile elde edilen değerler arasındaki mükemmel uyum için A_F değerinin 1’e ; P_F değerinin ise 0’a yakın olması

beklenmektedir. Çalışmada elde edilen değerler Çizelge 2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2 - İstatistiksel karşılaştırma (seviye için)

Sensör	Genlik	Faz
H1	0.984	0.288
H2	1.048	0.365
H3	1.012	0.404
H4	1.024	0.417

Yukarıdaki çizelgeden de görülebileceği üzere herbir sensör için oldukça uyumlu kabul edilebilecek değerler elde edilmiştir. Bu sonuç bize modelin gerçek fiziksel olayı oldukça güçlü bir şekilde tekrarlayabildiğini göstermektedir.



Şekil 7 – Seviye değişim karşılaştırması

4.3 Basınç değişimi

Bir yapı üzerine etkimekte olan dalga yükleri hidrostatik ve hidrodinamik yükler olarak sınıflandırılabilir. Bu çalışma kapsamında incelenen ana yük hidrodinamik kuvvet tarafından oluşturulan dalga ön yüzünün çarpma etkisidir. 300 ve 600 mm su sütunları için elde edilmiş olan basınç alanları Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmektedir. Kullanılan hesap şeması ile oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir. Deneyde elde edilen basınç okumaları ile sayısal modelde elde edilen basınçların medyan değerleri Çizelge 3 ve 4'de gösterilmiştir. Bir önceki kısımdakine benzer şekilde istatistiksel parametreler hesaplanmış ve sonuçlar mukayese edilmiştir. Söz konusu mukayese Çizelge 5 ve 6'da gösterilmiştir.

**Çizelge 3 - Basınç karşılaştırması
(300mm, Birim kPa)**

Sensör	z (mm)	Deney pik değeri	Model pik değeri
1	3	8.96	8.25
2	15	5.74	5.31
3	30	4.54	4.13
4	80	2.48	2.59

Çizelge 5 ve 6'da yeralan sonuçlar incelendiğinde serbest yüzeye yakın konumda yeralan P3 ve P4 sensörlerinde elde edilen sonuçların daha kötü olduğu görülmektedir. Bu bölgede dalga saçılması gözlemlendiğinden tek fazlı çözümün yetersiz kaldığı düşünülmektedir. Gaz+sıvı faz için çözüme olanak veren 2 fazlı bir model ile daha iyi sonuçlar elde edilebileceği öngörülmektedir. Mertebelere bakıldığında ise sayısal model sonuçlarının kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu söylenebilir.

**Çizelge 4 - Basınç karşılaştırması
(600mm, Birim kPa)**

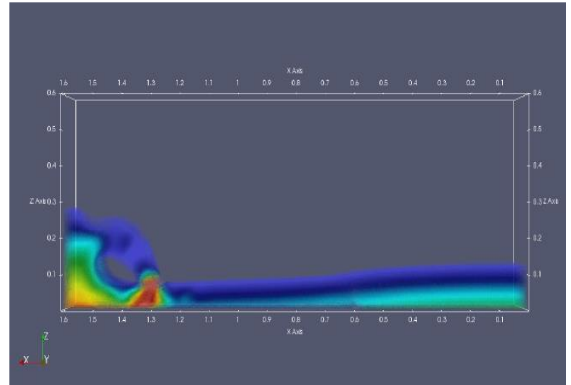
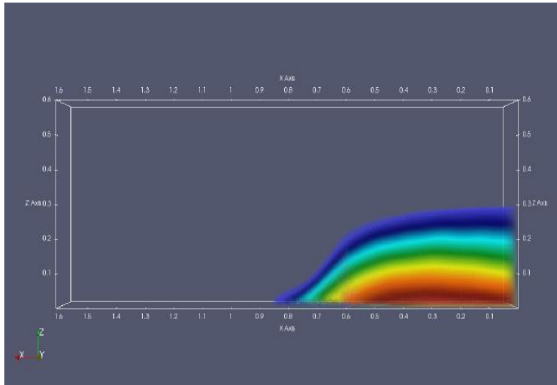
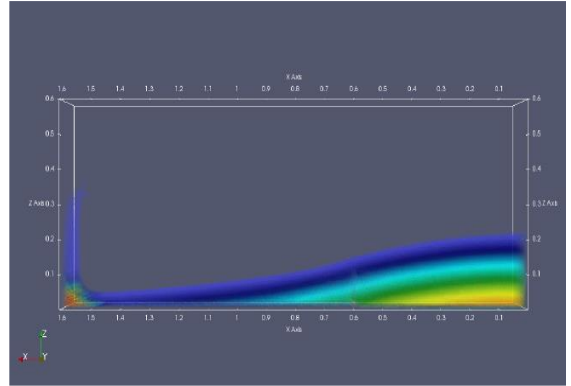
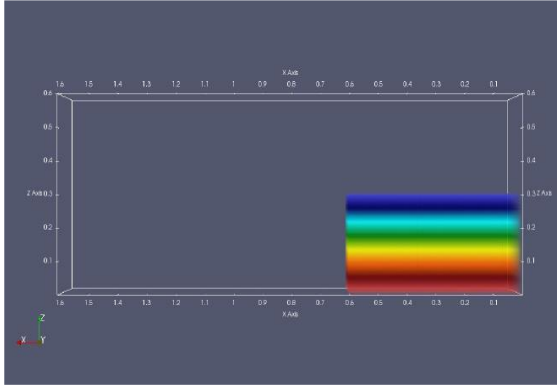
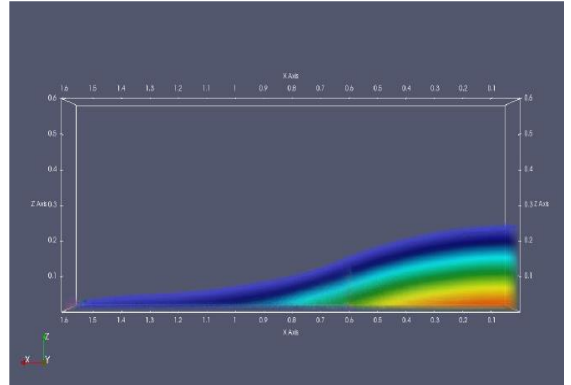
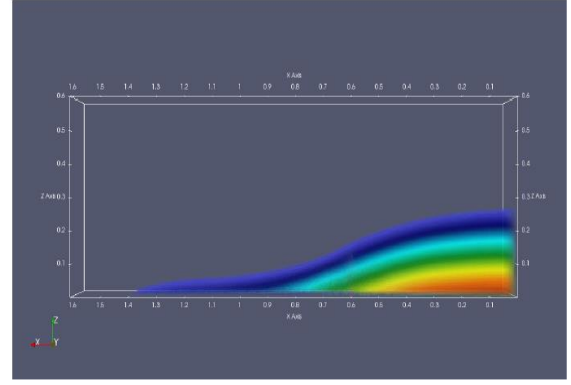
Sensör	z (mm)	Deney pik değeri	Model pik değeri
1	3	17.69	16.29
2	15	16.72	15.32
3	30	14.34	13.13
4	80	8.73	7.93

**Çizelge 5 - İstatistiksel karşılaştırma
(basınç için;300 mm su sütunu)**

Sensör	Genlik	Faz
1	0.967	0.301
2	1.030	0.366
3	0.933	0.464
4	0.919	0.501

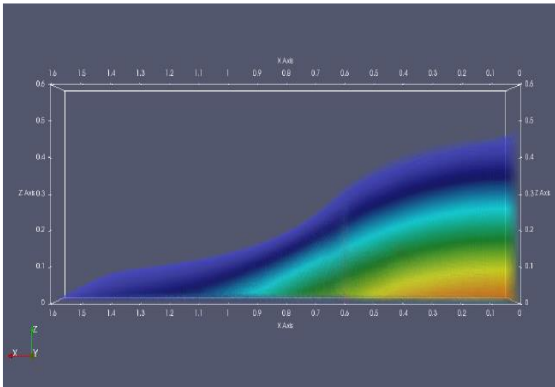
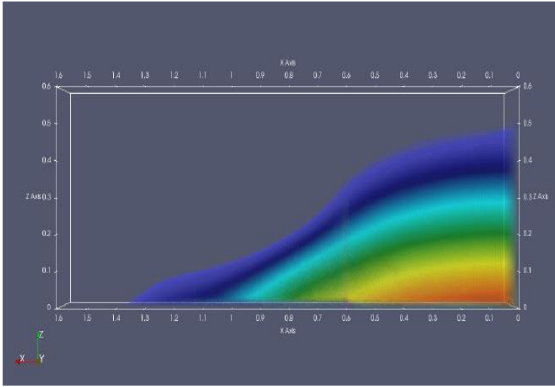
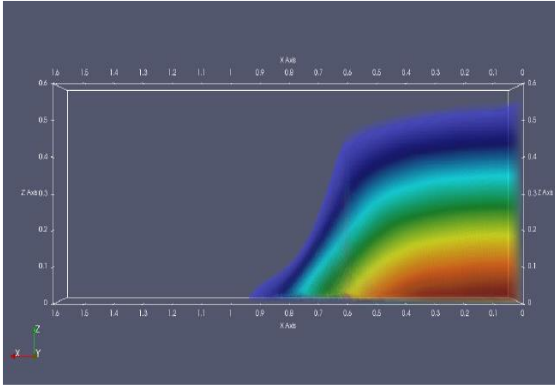
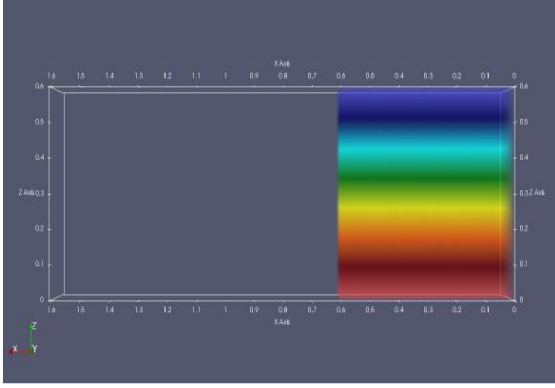
**Çizelge 6 - İstatistiksel karşılaştırma
(basınç için;600 mm su sütunu)**

Sensör	Genlik	Faz
1	0.941	0.366
2	0.921	0.403
3	0.901	0.503
4	0.892	0.549

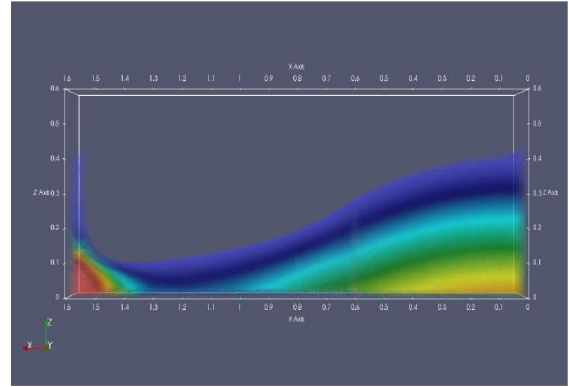
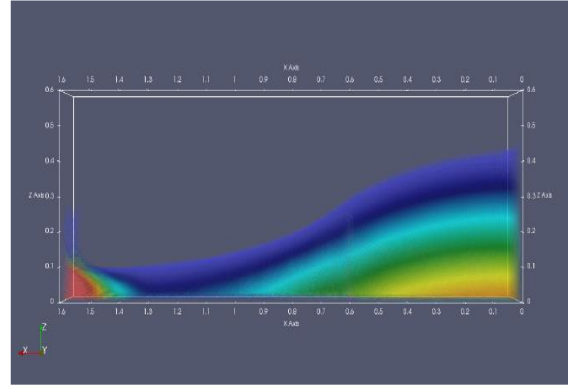


Şekil 8 – Basınç alanı (300 mm su sütunu)

Şekil 8 – Devamı



Şekil 9 – Basınç alanı (600 mm su sütunu)



Şekil 9 – Devamı

Gerçekleştirilen çalışma kapsamında 300 mm ve 600 mm su sütuna sahip deney, sayısal olarak modellenmiş ve çözüm kapasitesi sınanmıştır. Baraj yıkılmasına ait deneysel çalışma oldukça güncel olup çok detaylı veri seti içermektedir. Sayısal model 3 boyutlu olarak kurulmuş olup, matematiksel hesaplar grafik kartı üzerinde yaptırılmıştır. Grafik kartının paralel işlem gücü sayesinde benzerlerinin süper bilgisayarlarda elde edildiği çözüme, kişisel bilgisayarda ulaşılabilmektedir. Sonuçlarda gözlenen 10% mertebesindeki farklar problemin karmaşıklığı dikkate alındığında oldukça kabul edilebilir sınırlardadır. Basınç değerleri özellikle serbest yüzeye yakın kısımlarda, derinde olanlara nazaran daha kötü tariflenebilmiştir. Bu durumun nedeni olarak tek fazlı çözümün kullanılmış olması ön plana çıkmaktadır. Çarpma sonucu oluşan dalga saçılması ve cidarda yükselmesi esnasında gaz ceplerinin oluşması beklenen bir durumdur.

Gaz+sıvının beraber modellenebileceği şekilde 2 fazlı çözüm şeması geliştirildiğinde, daha iyi sonuçlar alınacağı beklenmektedir. Deneysel çalışmaların oldukça maliyetli ve zaman alıcı olduğu düşünülürse, sunulan çözüm iyi bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır.

5 KAYNAKLAR

- [1] Ritter,A.,1892. Die Fortpflanzung de Wasserwellen. Zeitschrift Verein Deutscher Ingenieure 36(33), 947–954
- [2] Stoker, J.J., 1957. Water waves: the mathematical theory with applications. John Wiley & Sons Inc., New York, USA
- [3] Hunt, B., 1984. Dam-break solution. Journal of Hydraulic Engineering 110 (6), 675–685
- [4] Chanson, H., 2006. Analytical solutions of laminar and turbulent dam break wave. River Flow 2006
- [5] Miller, S., Chaudhry, H., 1989. Dam-break flows in curved channel. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 115 (11), 1465-1478
- [6] Schmidgall, T., Strange,J., 1960a. Floods resulting from suddenly breached dams. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 2–374
- [7] Lee, T., Zhou,Z., Cao, Y., 2002. Numerical Simulations of Hydraulic Jumps in Water Sloshing and Water Impacting. Journal of Fluids Engineering 124 (1), 215–226
- [8] Kleefsman, K.M.T., Fekken, G., Veldman, A.E.P., Iwanowski, B., Buchner, B., 2005. A volume-of-fluid based simulation method for wave impact problems. J Comput. Phys.; 206(1):363–393
- [9] Lugni, C., Brocchini,M., Faltinsen, O.M., 2006. Wave impact loads: the role of the flip-through. Phys Fluids 2006;18(12):122101
- [10] Bukreev, V., Zykov, V., 2008. Bore impact on a vertical plate. Journal of Applied Mechanics and Technical Physics 49, 926–933
- [11] Aleixo, R., Soares-Frazao, S., Zech, Y., 2011. Velocity-field measurements in a dam-break flow using a PTV voronoi imaging technique. Experiments in Fluids 50 (6), 1633–1649
- [12] Sun, W.Y., Sun, O.M.T., 2011. A modified leapfrog scheme for shallow water equations. Computers and Fluids 52:69-72
- [13] Crespo,A.J.C., Dominguez,J.M., Barreiro,A., Gomez Gesteira,M., and Rogers,B.D.,2011. A new tool of acceleration in cfd: Efficiency and reliability on smoothed particle hydrodynamics methods. PLoS ONE, 6(6):e20685
- [14] Hérault, A., Bilotta, G., Dalrymple, R.A., 2010. SPH on GPU with CUDA. J. Hydraul. Res. ;48(Extra Issue):74–9
- [15] Antuono,M., Colagrossi,A., Marrone,S., Molteni, D., 2010. Free-surface flows solved by means of SPH schemes with numerical diffusive terms, Computer Physics Communications 181 (3), 532 – 549, ISSN 0010-4655
- [16] Gingold, R.A., Monaghan, J.J., 1977. Smoothed particle hydrodynamics: theory and application to non-spherical stars. Monthly notices of the royal astronomical society; 181:375-389
- [17] Lucy,L.B.,1977. A numerical approach to the testing of the fission hypothesis. Astronomical Journal, 82:1013–1024
- [18] Liu, G.R., 2003. Mesh Free Methods: Moving beyond the Finite Element Method. CRC Press, pp. 692
- [19] Gómez-Gesteira,M.,Rogers,B.D., Dalrymple, R.A., Crespo, A.J.C., 2010. State-of-the-art of classical SPH for free surface flows. J.Hydrol.Res. 48,6–27 Extra Issue
- [20] [20] Colagrossi, A., Colicchio, G., Lugni, C., Brocchini, M., 2010. A study of violent sloshing wave impacts using an improved SPH method. J. Hydraul. Res. ;48(Suppl.1):94–104.
- [21] Monaghan,J.J.,1989.On the problem of penetration in particle methods. J.Comput.Phys. 82,1–15
- [22] Fatehi,R.,Manzari,M.T., 2011. A remedy for numerical oscillations in weakly compressible smoothed particle hydrodynamics. Int.J.Numer. Methods Fluids 67,1100–1114
- [23] Monaghan, J.J., 1992. Smoothed particle hydrodynamics. Annual review of astronomy and astrophysics, 30(1)543-574
- [24] Leimkuhler, B.J., Reich, S., Skeel, R.D., 1996. Integration Methods for Molecular dynamic IMA Volume in Mathematics and its application. Springer
- [25] Crespo, A.J.C., Gomez-Gesteira, M., Dalrymple,R.A.,2007. Boundary conditions generated by dynamic particles in SPH methods. Comput. Mater. Continua ;5(3):173–84
- [26] Hughes,J., Graham,D.,2010. Comparison of incompressible and weakly-compressible SPH models for free-surface water flows. J. Hyd. Res.;48(1):105–17
- [27] Lobovsky, L., Botia-Vera, E., Castellena, F., Mas-Soler, J., Souto-Iglesias, A., 2014. Experimental investigation of dynamic pressure loads during dam break. Journal of Fluids and Structures, 48 407-434

