

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



SAYI: 111

DEVLET SU İŞLERİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

DSİ TEKNİK BÜLTENİ

DSİ TEKNİK BÜLTENİ

Sahibi

DEVLET SU İŞLERİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Adına
Akif ÖZKALDI

Sorumlu Müdür

M. Fatih KOCABEYLER

Yayın ve Hakem Kurulu

Yakup DARAMA
Tuncer DİNÇERGÖK
Ali KILIÇ
Ali SARANER
Kemal ŞAHİN

Haberleşme Adresi

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

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

Basıldığı Yer

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

SAYI : 111

YIL : NİSAN 2011

Yayın Türü

Yaygın süreli yayın
Üç ayda bir yayınlanır

ISSN

1012 - 0726 (Baskı)

1308 - 2477 (Online)

İÇİNDEKİLER

YAĞMURLAMA TİPİ SULAMA BAŞLIKLARI İLE HİDROELEKTRİK ENERJİ ELDE EDİLMESİ Tamer BAĞATUR	1
YAPAY SİNİR AĞLARI VE AMPİRİK YÖNTEMLER İLE AYLIK TAVA BUHARLAŞMALARININ TAHMİNİ Umut OKKAN, Zafer Ali SERBEŞ, H. Yıldırım DALKILIÇ	7
KÜRESEL ISINMANIN YAĞIŞLAR VE SEL BASKINLARINA ETKİLERİ Aynur FAYRAP, Ömer DOLU	17
KAVRAMSAL BİR HİDROLOJİK MODELE YAPAY ZEKA ENTEGRASYONU VE MODEL PERFORMANSLARININ GEDİZ NEHRİ HAVZASINDA İRDELENMESİ Ahmet Ali KUMANLIOĞLU, Okan FISTIKOĞLU	25
DOLGU BARAJLARDA MALZEME RİJİTLİĞİ İLE ÇEKİRDEK VE KABUK ŞEV EĞİMİ DEĞİŞİMİNİN GERİLME – DEFORMASYON DAVRANIŞINA ETKİSİ M. Emin EMİROĞLU, Meral KORKMAZ, Seçkin AYDIN	45
LABİRENT YAN SAVAKLARDA SU YÜKÜNÜN DEŞARJ KAPASİTESİNE ETKİSİ M. Emin EMİROĞLU	61

DSİ TEKNİK BÜLTENİ'NİN AMACI

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

DSİ TEKNİK BÜLTENİ BİLDİRİ YAZIM KURALLARI

1. Gönderilen yazılar kolay anlaşılır dilde ve Türkçe kurallarına uygun şekilde yazılmış olmalıdır.
2. Yazıların teknik sorumluluğu yazarına aittir (yazılardaki verilerin kullanılması sonucu oluşabilecek maddi ve manevi problemlerde muhatap yazardır).
3. Yayın Kurulu, bildiriler üzerinde gerekli gördüğü düzeltme ve kısaltmaları yapar.
4. Bildiriler bilgisayarda Microsoft Word olarak bir satır aralıkla yazılmalı ve Arial 10 fontu kullanılmalıdır. Bildiriler A4 normundaki kâğıdın her kenarından 25 mm boşluk bırakılarak yazılmalıdır.
5. Sadece ilk sayfada, yazı alanı başlangıcından sola dayalı olarak, italic 10 fontunda Arial kullanılarak ilk satıra "*DSİ Teknik Bülteni*" yazılmalıdır.
6. Konu başlığı: Yazı alanı ortalanarak, "*DSİ Teknik Bülteni*" yazısından sonra dört satır boş bırakıldıktan sonra Arial 12 fontu kullanılarak büyük harflerle koyu yazılmalıdır.
7. Yazar ile ilgili bilgiler: Adı (küçük harf), soyadı (büyük harf), yazarın unvanı ile bağlı olduğu kuruluş (alt satıra) ve elektronik posta adresi (alt satıra) başlıktan iki boş satır sonra ilk yazardan başlamak üzere Arial 10 fontu ile yazı alanı ortalanarak yazılmalıdır. Diğer yazarlar da ilk yazar gibi bilgileri bir boşluk bırakıldıktan sonra yazılmalıdır.
8. Türkçe özet, elektronik posta adresinden dört boş satır sonra, özetten bir boş satır sonra ise anahtar kelimeler verilmelidir. Aynı şekilde, Türkçe anahtar kelimelerden iki boş satır sonra İngilizce özet, bir boş satır sonra ise İngilizce anahtar kelimeler verilmelidir.
9. Bölüm başlıkları yazı alanı sol kenarına dayandırılarak Arial 10 fontu kullanılarak koyu ve büyük harfle yazılmalı. Bölüm başlığının üzerinde bir boş satır bulunmalıdır.
10. Ara başlıklar satır başında başlamalı, üstlerinde bir boş satır bulunmalıdır. Birinci derecedeki ara başlıktaki bütün kelimelerin sadece ilk harfi büyük olmalı ve koyu harflerle Arial 10 fontunda yazılmalıdır. İkinci ve daha alt başlıklar normal harflerle Arial 10 fontu ile koyu yazılmalıdır.
11. Yazılar kâğıda iki sütün olarak yazılmalı ve sütün aralarındaki boşluk 10 mm olmalıdır.
12. Paragraf sola dayalı olarak başlamalı ve paragraflar arasında bir boş satır bırakılmalıdır.
13. Eşitlikler bilgisayarda yazılmalı ve numaralandırılmalıdır. Eşitlik numaraları sayfanın sağına oturmaları 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 içersinde numaralı veya [Yazarın soyadı, basım yılı] olarak belirtilmelidir. Örneğin: "..... basamaklı dolusavaklar için geometri ve eşitlikler [1]" veya "..... basamaklı dolusavaklar için geometri ve eşitlikler [Aktan, 1999]" gibi.
16. Kaynaklar yazar soyadlarına göre sıralanmalı, listelenirken yazar (veya yazarların) soyadı, adının baş harfi, yayın yılı, kaynağın ismi, yayımlandığı yer ve yararlanılan sayfa numaraları belirtilerek, köşeli parantez içersinde 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 içersine en uygun yere gelecek şekilde yerleştirilmelidir. Fotoğraflar net çekilmiş olmalıdır. Şekil ve grafikler üzerine el yazısı ile ekleme yapılmamalıdır.
18. Bildirinin tamamı 20 sayfayı geçmemeli, şekil, çizelge, grafik ve fotoğraflar yazının 1/3'ünden az olmalıdır.
19. Sayfa numarası, sayfaların karışmaması için sayfa arkalarına kurşun kalem ile hafifçe verilmelidir.
20. Yazım kurallarına uygun olarak basılmış bildirinin 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 kuruluşlarınca ödenecek telif ve işleme ücretleri hakkındaki yönetmelik" hükümleri uygulanır.
22. Bildiriyi gönderen yazarlar yukarıda belirtilenleri kabul etmiş sayılırlar.
23. Yazışma adresi aşağıda verilmiştir:

DSİ TEKNİK BÜLTENİ

DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol (TAKK) Dairesi Başkanlığı

06100 Yüce-tepe ANKARA

Tel (312) 399 2793

Faks (312) 399 2795

E-posta bulten@dsi.gov.tr

Web <http://www.dsi.gov.tr/kutuphane/yayinlar.htm>

YAĞMURLAMA TİPİ SULAMA BAŞLIKLARI İLE HİDROELEKTRİK ENERJİ ELDE EDİLMESİ

Tamer BAĞATUR

Doç. Dr., Dicle Üni., Müh. Fak., İnşaat Müh. Bölümü, 21000, Diyarbakır

(Makalenin geliş tarihi: 08.10.2010, Makalenin kabul tarihi: 12.07.2011)

ÖZET

Yağmurlama tipi sulama sistemi, su tasarrufu sağlayan ileri bir sulama teknolojisidir. Tarımın gelişmesinde büyük bir etkiye sahiptir. Yağmurlama başlıkları dairesel hareket edecek şekilde tasarlanmaktadır. Pratikte, dairesel hareket eden yağmurlama başlıkları üzerine ilave bir jeneratör (dinamo) yerleştirilmesi ile hidroelektrik enerji üretimi sağlanabilir. Böylece, yağmurlama başlıkları bir türbin gibi işlev görecektir. Bu çalışmada, bir yağmurlama sisteminden hidroelektrik güç elde edilmesi basit bir uygulama ile test edilmektedir. Testin sonucu olarak böyle bir sistemden elektrik elde edilebileceği gözlemlenmektedir. Eğer, yağmurlama başlıkları teknolojik olarak hem sulama hem de hidroelektrik güç elde edilmesi için yeniden tasarlanırsa, küçük enerji ihtiyaçlarını karşılamakta kullanılabileceklerdir.

Anahtar Kelimeler: Sulama, yağmurlama sistemi, hidroelektrik güç, enerji

HYDROELECTRIC GENERATION FROM A SPRINKLER IRRIGATION HEADS

ABSTRACT

Sprinkler irrigation is one of the advanced water-saving irrigation technology. It has a huge effect for the development of agriculture. Sprinklers are designed to rotate in a circle. In practice, sprinklers can be also used to generate electric power by attaching a generator (dynamo) to its rotating head. Thus, the sprinklers are to be converted into a turbine. In this study, hydropower generation from a sprinkler system is simply tested with the practical application. In result of test, sprinkler irrigation device is capable for hydropower generation. Electrical energy can be produced using sprinkler devices. Hence, generated energy can be used for energy requirements (e.g., remote-controlled electric sprinkler, lighting of a garden). If sprinkler devices are technological redesigned for both irrigation and power generation, they will generate low-cost electricity for energy requirements.

Keywords: Irrigation, sprinkler system, hydroelectric power, energy

1 GİRİŞ

Yağmurlama tipi sulama, yağmur yağışlarına benzer olarak uygulanan bir sulama metodudur. Yani, bu sulama metodunda hava ortamına su damlacıklarının kontrollü olarak dağıtımı yapılır. Yağmurlama başlıkları su akımının çarpma etkisi ile dairesel olarak döndürülürler. Yağmurlama tipi sulama sistemleri hakkında detaylı bilgilere Kincaid (1996), Keller ve Bliesner (2000) ve ayrıca ASAE Standartları (2001) gibi kaynaklardan ulaşılabilir.

Pratikte, dairesel hareket eden yağmurlama başlıkları üzerine ilave bir jeneratör (dinamo)

yerleştirilmesi ile hidroelektrik enerji üretimi sağlanabilir. Böylece, yağmurlama başlıkları bir türbin gibi işlev görecektir. Türbinler, hidrolik enerjiyi mekanik enerjiye çeviren ünitelerdir. Jeneratörler elde edilen bu mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler.

Yağmurlama başlıklarından hidroelektrik enerji elde etmek akışkanlar mekaniği konuları içerisinde teorik olarak tartışılmaktadır [Kundu, 1990; Fox ve McDonald, 1999; Crowe ve ark., 2001; Munson ve ark., 2002; Cengel ve Cimbala, 2005].

Bu çalışmada, bir yağmurlama başlığından hidroelektrik güç elde edilmesi yapılan bir test düzeneği üzerinde deneysel olarak test edilmektedir.

2 TEORİK DÜŞÜNCELER VE HİDROLİK DENKLEMLER

Yağmurlama sistemindeki su akımının teorik analizi momentum denkleminin uygulamaları olarak incelenebilir. Momentumun momenti denklemi, kuvvetler yerine kuvvetlerin momentinin (veya torkunun) kullanıldığı bazı akım makineleri (yağmurlama başlığı gibi) problemlerinde önem kazanmaktadır [Kırkgöz, 2009]. Bu nedenle, bu inceleme momentum momenti olarak ele alınabilir. Yağmurlama tipi sulama başlıkları sabit bir açısal hız (ω) ile etraflarında dönerler (Şekil 1).

Toplam giriş akımı Q_{toplam} ve sulama başlığının her bir kolu için akım çıkış kesiti alanını A olarak tanımlayalım. Bunun ile birlikte aşağıdaki kabulleri yapabiliriz: a) Akım düzenlidir b) Su atmosfere deşarj olduğundan sulama kolu üzerindeki çıkış lülesindeki (ağızlık) basınç sıfırdır c) Jeneratör (dinamo) kayıpları ve dönen öğelerin hava ile sürtünmesindeki kayıplar ihmal edilebilir d) Moment koluna göre sulama kolu üzerindeki lüle (ağızlık) çapı küçük olduğundan çıkışta ortalama çap ve hız değerleri kullanılabilir.

Hidrolik denklemler bu kabuller ve momentum prensibine göre çıkarılabilir. Sulama başlığındaki her bir sulama kolu için debi Eşitlik (1)'den bulunabilir.

$$Q_{kol} = \frac{Q_{toplam}}{k} \quad (1)$$

Burada, Q_{toplam} toplam giriş debisi (m^3/s), Q_{kol} her bir sulama koluna verilen debi (m^3/s) ve k ise sulama başlığı kol sayısıdır.

Her bir bireysel koldan çıkan su jetinin ortalama hızı Eşitlik 2'den hesaplanır.

$$V_{jet} = \frac{Q_{kol}}{A} = \frac{Q_{kol}}{\pi d^2 / 4} \quad (2)$$

Burada, V_{jet} ortalama su jeti çıkış hızı (m/s), A jet çıkış kesiti alanı (m^2) ve d su jeti çıkış deliğinin çapıdır (m).

Sulama başlığının açısal hızı Eşitlik 3'den hesaplanır.

$$\omega = \frac{2 \pi n}{60} \quad (3)$$

Burada, ω açısal hızı (rad/s) ve n ise dönme sayısını ($devir/dakika$) ifade etmektedir.

Sulama başlığının dönme hızı veya lüle hızı ($V_{lüle}$) açısal hız (ω) ve başlık kolu yarıçapına bağlı olarak Eşitlik 4'den bulunabilir.

$$V_{lüle} = \omega r \quad (4)$$

Burada, $V_{lüle}$ lüle hızı (m/s), ω açısal hızı (rad/s) ve r başlık kolu yarıçapıdır (m).

Yağmurlama tipi sulama başlığı, deşarj olan su jetinin ters yönünde bu lüle (ağızlık) hızıyla dönmeye başlar. Artık su jetinin bir noktaya göre ortalama hızı bağıl bir hızdır. Su jetinin bağıl hızı Eşitlik 5 ile verilebilir.

$$V = V_{jet} - V_{lüle} \quad (5)$$

Burada, V su jetinin bağıl hızı (m/s), V_{jet} su jetinin çıkış hızını (m/s) ve $V_{lüle}$ ise sulama kolu hızını (m/s) belirtmektedir.

Gerekli şaft momentum momenti (veya torku, T) Eşitlik 6 ile hesaplanabilir.

$$T = \rho r k Q_{kol} V \quad \text{veya} \quad T = \rho r Q_{toplam} V \quad (6)$$

Burada, T şaft torku (Nm), ρ suyun yoğunluğu (1000 kg/m^3) ve k ise sulama başlığı kol sayısıdır.

Böylece, T şaft torku ve (ω) açısal hızı bağıl olarak sulama başlığının hidroelektrik gücü Eşitlik 7 ile verilebilir:

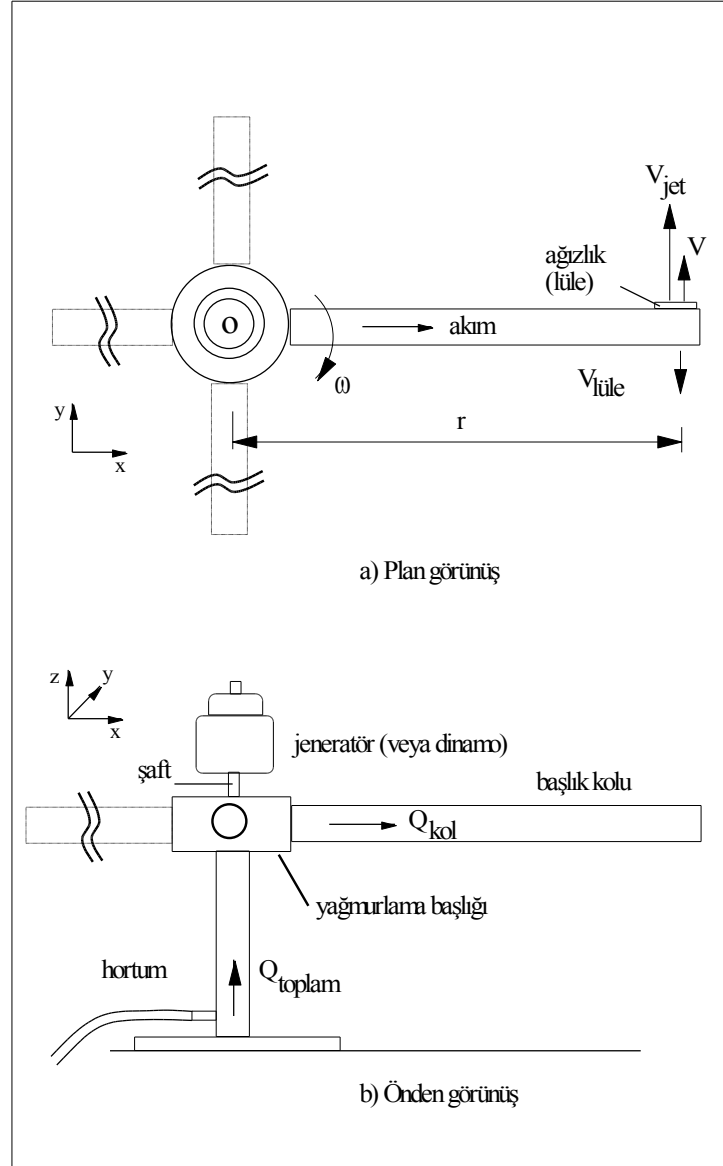
$$P = T \omega \quad (7)$$

Burada, P hidroelektrik güçtür (W).

Maksimum (azami) güç ($P=P_{max}$) için, $\frac{dP}{dV_{lüle}}$

sıfıra eşit olacaktır. Yani, $\frac{dP}{dV_{lüle}} = 0$. Böylece,

sulama başlığı hızı aşağıdaki gibi analiz edilebilir:



Şekil 1. Bir yağmurlama başlığından hidroelektrik güç elde edilmesi

$$\frac{dP}{dV_{lüle}},$$

$$\frac{d}{dV_{lüle}} [-\rho V_{jet} A (V_{jet} - V_{lüle}) V_{lüle}] = 0$$

gibi yazılırsa;

$$\frac{d}{dV_{lüle}} [(V_{jet} - V_{lüle}) V_{lüle}] = 0 \Rightarrow$$

$$(V_{jet} - 2V_{lüle}) = 0 \text{ . Sonuç olarak, } P = P_{max} \text{ için}$$

$V_{lüle}$ Eşitlik 8 ile tanımlanabilir.

$$V_{lüle} = \frac{V_{jet}}{2} \quad (8)$$

Eğer, sulama kolu veya lüle hızı su jeti hızının yarı olarak alınırsa, maksimum güce ulaşılabilir.

3 SULAMA BAŞLIĞI VE BAŞLIĞA YERLEŞTİRİLEN DİNAMONUN TEST EDİLMESİ

Sulama başlığı ve bu başlığa yerleştirilen bir dinamo ile hidroelektrik bir güç ve enerji elde edemeyeceğimizi basit bir test ile anlayabiliriz. Bu çalışmada, böyle bir analiz için bir sulama başlığı seçildi. Başlık; plastik bir

malzemede imal edilen, kol uzunlukları 6 cm, su jeti çıkış çapı 2.25×10^{-3} m ve çıkış kesit alanları 3.97×10^{-6} m² olan dört adet koldan oluşmaktadır (Şekil 2). Bu başlığa 3 W (Watt) çıkış gücünde ve 6 V (Volt) elektrik üreten bir dinamo yerleştirildi. Dinamo çıkışı 6V ve 2.4 W

özellikli bir lamba (veya ampul) sistemine bağlandı. Başlık 120 devir/dakika kapasitesinde ve 0.24 L/s'lik bir giriş debisi ile çalıştırıldı. Bu bilgiler Çizelge 1'de detaylı olarak özetlenmiştir.



Şekil 2. Başlık ve dinamo test düzeneği (dinamo, ampul-kablo sistemi, dört kollu başlık, hortum)

Çizelge 1- Test düzeneğinin özellikleri

Toplam debi, Q_{toplam} , m ³ /s	Kol debisi, Q_{kol} , m ³ /s	Ağızlık çapı, d, m	Çıkış kesit alanı, A, m ²	Kol boyu, r, m	Dönme sayısı, n dev/dak	Dinamo gücü	Ampul
2.4×10^{-4}	6.0×10^{-5}	2.25×10^{-3}	3.97×10^{-6}	0.06	120	3 W 6 V	2.4 W 6 V

Test işlemi üç adımda yürütüldü:

1. Deney düzeneğinin kurulması ve gerekli ayarların yapılması.
2. Deney düzeneğinin çalıştırılması: Su sulama başlığına verildi. Başlık ve dinamunun birlikte çalışması gözlemlendi.
3. Sistem kontrolü ve tam çalışma: Deney düzeneğinin tam verimli çalışması için görülen aksaklıklar giderildi ve sistemin uygun arazi yerleşimi tamamlandı. Sulama başlığına kademeli olarak vana yardımıyla artan oranda debi sağlandı. Kademeli debi artışı esnasında dinamoya bağlı lamba düzeneğinin yanıp yanmadığı kontrol edildi. Debi ve dönme sayısının artışına bağlı olarak ampulün yanma parlaklığı takip edildi. 120 dev/dak'lık dönme ve 0.24 L/s'lik debide tam bir çalışma ve hidroelektrik güç ve enerji elde edildi (Şekil 3).



Şekil 3. Arazide test düzeneğinin çalıştırılması ve üretilen elektrik ile etrafın aydınlatılması

Bu test sonucuna göre dinamo sisteminden en az 6 Voltluk gerilimde 2.4 Watt'lık bir güç ile ampulün yanması temin edilmiş oldu. Bu sonuç yukarıda verilen hidrolik hesap adımları ile de ispatlanabilir. Yapılan hesaplar

sonucunda Eşitlik 1'den Eşitlik 7'ye kadar olan denklemler kullanılmış ve elde edilen veriler Çizelge 2' de özetlenmiştir. Bu hesap sonuçlarına göre sistemden 2.59 W'lık bir güç elde edilmiştir.

Çizelge 2- Teorik hesap sonuçları

Su jeti hızı, V_{jet} , m/s	Açısal hız, ω , rad/s	Kol hızı, $V_{ütle}$, m/s	Bağıl hız, V , m/s	Tork,T, Nm	Güç, P, W
15.11	12.56	0.75	14.36	0.21	2.59

4 SONUÇLAR

Elektrik enerjisi, modern teknoloji toplumlarının temel ihtiyaçlarından birisidir. Bu nedenle, bu ihtiyacı sağlamak için alternatif enerji kaynakları bulmanın önemi büyüktür. Bu çalışmada, alternatif bir enerji kaynağı olarak yağmurlama tipi sulama başlıkları üzerinde durulmaktadır. Başlıkların dönme hareketinden faydalanarak hidroelektrik enerji elde etmek amacıyla yapılan bir test düzeneği üzerinde bunun başarılabilirliği gösterilmektedir. Sonuç olarak, yağmurlama tipi sulama başlıkları teknolojik olarak hem sulama hem de hidroelektrik güç elde edilmesi için yeniden tasarımı yapılırsa, küçük enerji ihtiyaçlarını karşılamakta kullanılabileceklerdir.

5 KAYNAKLAR

- [1] Kincaid, D.C. 1996. Spray drop kinetic energy from irrigation sprinklers. Transactions of the ASAE 39 847-853.
- [2] Keller J, Bliesner, R.D. 2000. Sprinkler and trickle irrigation. The Blackburn Press, Caldwell, NJ.
- [3] ASAE Standards ASAE S398.1. 2001. Procedure for sprinkler testing and performance reporting. American Society of Agricultural Engineers.
- [4] Kundu, P.K. 1990. Fluid mechanics. Academic Press, San Diego, CA
- [5] Fox, R.W and McDonald, A.T. 1999. Introduction to fluid mechanics. Wiley, New York
- [6] Crowe, C.T., Roberson, J. A. and Elger, D. F. 2001. Engineering fluid mechanics. Wiley, New York
- [7] Munson, B.R., Young D.F. and Okiishi, T. 2002. Fundamentals of fluid mechanics. Wiley, New York
- [8] Cengel, Y.A. and Cimbala, J.M. 2005. Fluid mechanics: Fundamentals and applications. McGraw-Hill, New York
- [9] Kırkgöz, MS. 2009. Akışkanlar Mekaniği. Kare Yayınları, İstanbul

YAPAY SINİR AĞLARI VE AMPİRİK YÖNTEMLER İLE AYLIK TAVA BUHARLAŞMALARININ TAHMİNİ

Umut OKKAN

Arş. Gör., İnş. Yük. Müh., Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Çağış Kampüsü, Balıkesir
umutokkan@balikesir.edu.tr

Zafer Ali SERBEŞ

Zir. Yük. Müh., Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü,
Bornova, İzmir
zaferaliserbes@gmail.com

H. Yıldırım DALKILIÇ

Arş. Gör., Dr., Müh. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Tınaztepe Kampüsü, İzmir
yildirim.dalkilic@deu.edu.tr

(Makalenin geliş tarihi: 14.12.2010, Makalenin kabul tarihi: 10.08.2011)

ÖZET

Günümüzde, iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki en önemli etkilerinden biri de sıcaklıktaki artışa bağlı olarak meydana gelen açık su yüzeyi buharlaşmasındaki artışlardır. Ölçüm imkânı bulunmayan havzalarda açık su yüzeyi buharlaşması, geçmiş dönem verilerine bağlı olarak ve uzun dönem istatistikleri kullanılarak tahmin edilmektedir. Buharlaşmanın gerçek değerinin öngörülmesi problemi bu anlamda belirsizlikler içermektedir. En önemli tahminleyicilerinden biri sıcaklık olan buharlaşmanın modellenmesi, özellikle hiç ve/veya yeterli ölçüm yapılmayan bölge ve havzalarda büyük önem taşımaktadır. Sunulan çalışmada, girdileri aylık ortalama sıcaklık, ortalama rölatif nem ve ortalama rüzgar hızı olan ampirik Meyer yöntemi, çoklu doğrusal regresyon ve ileri beslemeli geri yayımlı Levenberg - Marquardt algoritmali yapay sinir ağı modelleri kullanılarak, aylık buharlaşma tahmin modelleri hazırlanmıştır. Modeller kıyaslandığında, YSA modelinin diğer yaklaşımlara göre istatistiksel açıdan daha anlamlı sonuç verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Buharlaşma modelleri, Meyer yöntemi, regresyon analizi, yapay sinir ağları

MONTHLY PAN EVAPORATION PREDICTION BY USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND EMPIRICAL METHODS

ABSTRACT

Nowadays, one of the most important effects on water resources of climate change is increasing of water surface evaporation that depending on increasing of temperature. In the basins where there are no opportunities of observation, water surface evaporation is taken into account depending on historical data and by using long term statistics. The problem of forecasting of real value of evaporation contains uncertainties. The modelling of evaporation, temperature being one of its most prominent estimators, is of crucial importance on the regions and basins where measurements are not sufficient or are not exist. In the study presented, monthly evaporation forecasting models were prepared by using Empirical Meyer Method, Multi Linear Regression and Artificial Neural Network Model with Levenberg - Marquardt Feed Forward Back Propagation Algorithm, where the data of these models are monthly mean temperature, monthly mean relative humidity and monthly mean wind

speed. When the models were compared, it was noticed that the results of ANN model are more statistically meaningful than the other approaches.

Keywords: Evaporation models, Meyer method, regression analysis, artificial neural networks

1 GİRİŞ

IPCC'nin 4. Değerlendirme Raporunda (AR-4) belirtildiği üzere, küresel ortalama yüzey sıcaklığı, son yüzyılda 0.74 °C yükselmiş ve son 50 yılda ekstrem sıcaklıklarda yaygın ölçekli değişiklikler gözlemlenmiştir [1]. Gözlenen değişikliklere paralel olarak 1970' li yıllarla birlikte, Türkiye'ye ait sıcaklık değerlerinde de anlamlı değişimler saptanmıştır [2, 3, 4]. Sözü edilen uzun süreli sıcaklık değişikliklerini ve eğilimlerini ortaya çıkarmak için DMİ tarafından Türkiye ölçeğinde incelemeler yapılmıştır. Bu çalışmalara göre, ortalama sıcaklık değerlerinde, küresel sıcaklık değişimine benzer olarak bir artış eğilimi görülmektedir. Bu durum özellikle Türkiye'nin güney-güney doğusunda ve büyük oranda şehirleşmenin yaşandığı bölgelerde anlamlı düzeydedir. Yıllık maksimum ve minimum sıcaklık dizilerindeki değişimler de genelde artış yönünde olup; eğilimler Güney, Batı, Doğu, Güneydoğu Anadolu'nun batı bölgelerinde oldukça anlamlı düzeydedir [5].

Sıcaklıklarda gözlenen değişimlere paralel olarak anlamlı artış eğilimine sahip diğer bir hidrolojik değişken de açık su yüzeyi buharlaşmaları olup sıcaklık faktörünün su kaynakları üzerine etkilerini doğrudan yansıtmada başrolü üstlenmektedir. Çünkü buharlaşma oranlarındaki bu artışlar, bitki su tüketimini arttırmakta; akarsu akımları da bu rejimlerden etkilenecek sulama, içmesuyu ve enerji maksatlı işletilen hazne performanslarını düşürebilmektedir. Özellikle son yıllarda büyükşehirlerde kendini gösteren içme suyu sıkıntıları, tarımsal havzalarda yaşanan sulama sorunları bu durumu kanıtlar niteliktedir. Bu nedenle, gerek su yapılarının tasarımı, gerek mevcut sistemlerin irdelenerek uyum önlemlerinin alınabilmesi açısından buharlaşma ve dolayısıyla buharlaşma tahmin modelleri önem arz etmektedir. Ayrıca, hazne işletme çalışmalarında buharlaşma kayıpları genelde bir zaman serisi şeklinde ele alınmamakta ve bunun yerine temsili uzun dönem ortalama buharlaşma değerleri kullanılmaktadır. İklim değişikliği etkilerine bağlı olarak önemi gittikçe artan buharlaşma verilerinin bir zaman serisi şeklinde ele alınarak aylık değişimlerin vurgulanması ya da gerçeğe yakın bir modelleme ile tahmin edilmesi de önemlidir.

Bu gerekçelerden hareketle hazırlanan çalışmada, girdileri aylık ortalama sıcaklık, ortalama rölatif nem ve ortalama rüzgar hızı olan ampirik Meyer yöntemi, çoklu doğrusal regresyon ve ileri beslemeli geri yayımlı Levenberg - Marquardt algoritmali yapay sinir ağı kullanılarak, aylık buharlaşma tahmin modelleri hazırlanmıştır. Modellerde kullanılan yöntemler ve detaylar aşağıda verilmektedir.

2 YÖNTEM

2.1 Genel

Buharlaşma, mevcut enerjiye, kütle ve enerji transfer mekanizmasına, su derinliğine ve yüzey alanına bağlı olarak değişen, aynı zamanda, güneş radyasyonunun, sıcaklığın, rüzgâr hızının, rölatif nemin, atmosfer basıncının ve diğer çevresel koşulların bir fonksiyonu ve hidrolojik çevrimin temel bileşenlerinden birisidir [6, 7]. Aylık buharlaşma miktarı doğrudan buharlaşma leğeni ya da tavası (evaporimetre) da denen çeşitli tiplerde metal kaplarla ölçülebilmekte, Bowen oranına bağlı enerji dengesi yöntemleri ile ya da Meyer gibi meteorolojik verilere bağlı olarak belirlenmiş ampirik bağıntılar ile tahminlenebilmektedir [7, 8].

Ancak bu ampirik bağıntılar problemin karmaşıklığı ve belirsizliği yüzünden kendi aralarında da çelişebilmekte ve bazı durumlarda meteorolojik verilerin yetersizliğinden uygulama alanı bulamamaktadır. Bu sebeple istasyon ölçeğinde diğer ölçülmüş hidrolojik değişkenler ile buharlaşma yükseklikleri arasında kurulan korelasyon-regresyon ilişkileri yaygın kullanım alanı bulmuştur. Bunun yanı sıra son dönemlerde çok değişkenli ve doğrusal olmayan hidrolojik süreçlerin modellenmesinde yapay sinir ağları da kullanılmaya başlanmış ve buharlaşma tahmin modellerine başarıyla uygulanmıştır [9-14].

2.2 Ampirik Meyer Yöntemi

Su yüzeyinden buharlaşma miktarını (E) hesaplamakta kullanılan ampirik Meyer formülü aşağıdaki gibidir [7].

$$E (mm / ay) = A \left(1 - \frac{r}{100}\right) p_r \left(1 + \frac{u}{16}\right) \quad (1)$$

Çizelge 1. Sıcaklık - doymun buhar basıncı ilişkisi

T (°C) :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
p _T (mmHg) :	4.9	5.3	5.7	6.1	6.5	7.0	7.5	8.0	8.6	9.2
T (°C) :	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
p _T (mmHg) :	9.8	10.5	11.2	12.0	12.8	13.6	14.5	15.5	16.5	17.5
T (°C) :	21	22	23	24	25	26	28	30	35	40
p _T (mmHg) :	18.7	19.8	21.1	22.4	23.8	25.3	28.3	31.8	42.2	55.3

Burada;

u :Su yüzeyinden 8 m yüksekte rüzgâr hızı (km/saat),

p_T :T sıcaklığındaki havanın doymun buhar basıncı (mmHg),

r :Rölatif (bağıl) nem (%),

A :Su kütlesine bağlı olarak değişen 11-15 arasında bir katsayı olup baraj gölü gibi büyük su kütleleri için 11 alınabilir [7].

Meyer yöntemi için Çizelge 1'de gösterilen sıcaklığa bağlı havanın doymun buhar basıncı (p_T) ilişkisinden faydalanılır [7].

Denklem 1' de görüldüğü üzere Meyer formülü su yüzeyinden 8 m yükseklikteki rüzgâr hızı parametresini bünyesinde taşımaktadır. Formülde belirtilen 8 m yükseklikteki rüzgâr hızını bulmak için istasyonlarda 10 m yükseklikte ölçülen rüzgâr hızı değerleri, Denklem 2'de rüzgâr hızı-yükseklik ilişkisini açıklayan fonksiyon yardımıyla önce 2 m yükseklikteki rüzgâr hızına, daha sonra 8 m yükseklikteki rüzgâr hızına dönüştürülmektedir [15].

$$u_2 = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8z - 5.42)} \quad (2)$$

Burada;

u_2 2 m yükseklikteki rüzgâr hızı, u_z z m yükseklikteki rüzgâr hızı, z rüzgâr hızının hesaplanacağı yükseklik (m) değeridir.

2.3 Doğrusal Regresyon

İki değişken arasındaki doğrusal bağıntının en basit matematiksel ifadesi: $Y = a_0 + a_1x \pm \epsilon$ olarak gösterilir. Bu denkleme dayanarak,

bağımlı değişken y'nin, bağımsız değişken varsayılan x'in belli bir düzeyi için alabileceği ölçümsel sonuç $\pm \epsilon$ kadar bir hata yapmak göze alınarak modellenenir [16].

Bağımsız değişken sayısının birden fazla olduğu durumlarda (x_1, x_2, \dots, x_n) denklemin genel yapısı da;

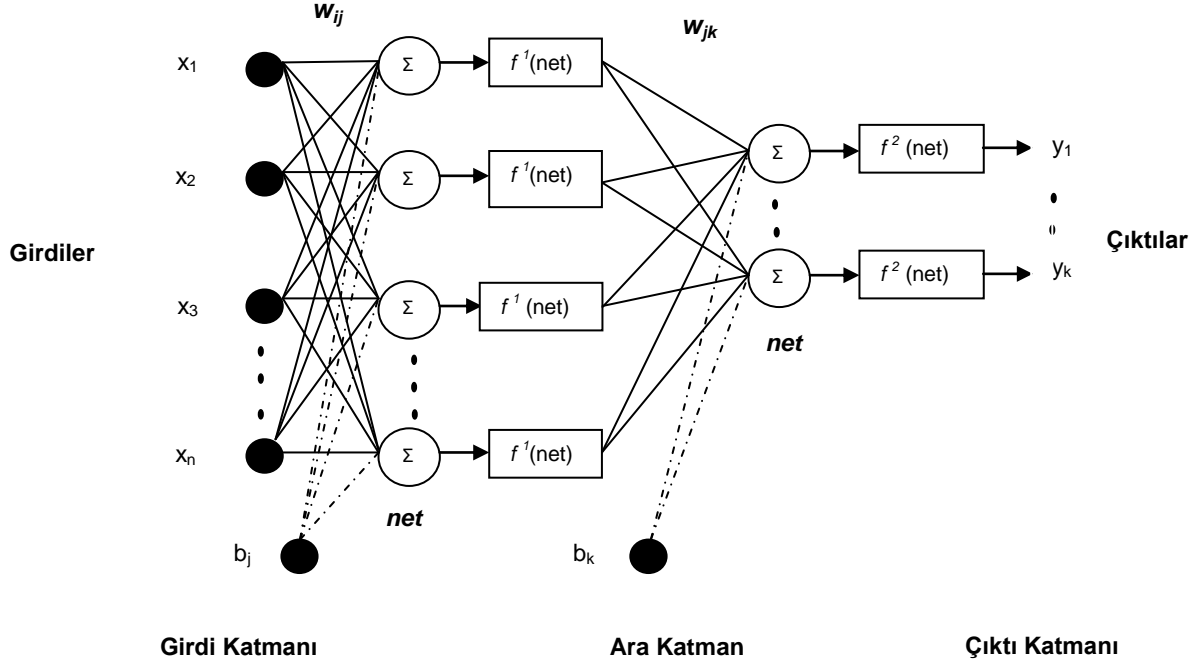
$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \pm \epsilon \quad (3)$$

şeklini almakta ve böyle denklemler çoklu doğrusal regresyon denklemleri olarak adlandırılmaktadır [16, 17]. Denklemlerdeki a_0 (sabit), a_1, a_2, \dots, a_n parametreleri ise en küçük kareler yaklaşımı ile hesaplanabilmektedir. Bu denklemlerde, hazırlanan modelin gerçeğe uygunluğunu yansıtan gösterge ise, tanım aralığı 0-1 arasında olan determinasyon katsayısı (R^2) olarak adlandırılan ölçüttür. Bu katsayı bağımlı değişkenin gözlenen değeri ile modelde tahminlenen değeri arasındaki korelasyon katsayısının karesidir. Değer, bağımlı değişkendeki oynamaların yüzde kaçının bağımsız değişkenlerdeki farklılaşmalardan kaynaklandığını yansıtmakta ve nedensellik hakkında belirgin fikir vermektedir [16, 17].

2.4 Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), sinir sisteminin bilgi türetebilme, tanımlama, tahmin etme gibi özelliklerinden esinlenerek geliştirilen yapay zekâ teknikleridir [18].

Yapay sinir ağları tıpkı biyolojik sinir sistemlerinde olduğu gibi hücrelerin bir araya gelmesiyle oluşturulmaktadır. Bir yapay sinir ağı mimarisinde girdi, ara (gizli) ve çıktı olmak üzere 3 katman bulunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı Yapısı

Ağın girdi ve çıktı katmanlarında probleme ait veriler bulunmakta ve bu katmandaki bilgiler problemin niteliğine göre değişkenlik göstermektedir. Ancak bir yapay sinir ağında kaç tane ara katman kullanılacağı ve her bir ara katmanda kaç hücrenin olması gerektiği ise bugüne kadar belirlenememiş; bu duruma deneme-yanılma yoluyla çözüm getirilebilmektedir [19, 20].

Şekil 1 incelendiğinde yapay sinir ağı modelinin katmanlı yapısının yanı sıra; girdiler, ağırlıklar, net fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktılar olmak üzere 5 temel elemanın varlığı göze çarpmaktadır. Girdi ve çıktı değerleri problemde tanımlanan bilgilere bağlı değişkenlik göstermektedir. Girdilerin sistem içindeki etkinlikleri ise ağırlıklarla sağlanmakta ağın performansı ağırlıkların doğru belirlenmesine bağlı olmaktadır. Ağırlıklı girdilerin toplamı olarak bulunan net fonksiyonu ile ise girdilerin hücreler üzerindeki etkileri ifade edilmektedir. Hücrelere gelen bu net girdiler hesaplandıktan sonra, belirlenen bir *aktivasyon (transfer) fonksiyonu* yardımıyla çıktılara dönüştürülmekte ya da diğer ara hücrelere bağlanmaktadır. Uygulamalarda genellikle *sigmoid* adı verilen aktivasyon fonksiyonu kullanılmasıyla beraber, hiperbolik tanjant, lineer, step gibi farklı fonksiyonlar da kullanılabilir [19, 21, 22, 23]. Sigmoid fonksiyonunun kullanılması halinde herhangi bir hücre çıktısı Denklem 4'te gösterildiği gibi hesaplanabilmektedir.

$$f(net) = \frac{1}{1 + e^{-net}} \quad (4)$$

Yapay sinir ağlarının mimarisi kadar ağın eğitilmesinde, yani ağın öğrenmesinde kullanılacak yöntem de çok önemli olmakta ve bu aşamada ağın girdilere karşılık beklenen çıktıları (gözlenen değerleri) öğrenmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda birçok yapay sinir ağı algoritması geliştirilmesine karşın uygulamalarda sıklıkla kullanılan algoritmalar *ileri beslemeli geri yayımlı* yapay sinir ağı algoritmalarıdır. Algoritmanın bu ismi almasının temel sebebi ise algoritmanın işleyişinin ileriye doğru hesaplama ve geriye doğru hesaplama olmak üzere iki aşamada gerçekleşmesidir. İleri doğru hesaplama aşamasına, yukarıda özetlendiği gibi girdi katmanındaki girdilerin ağına sunulması ile başlanmaktadır. Gizli katmandaki her hücre girdi katmanından gelen girdileri bağlantı ağırlıkları ile almakta ve gizli katmandaki hücrelere gelen net girdiler hesaplanmaktadır. Bu net girdi değerlerinin belirlenen bir aktivasyon fonksiyonundan geçirilmesiyle gizli katman elemanlarının çıktıları belirlenmektedir. Bu benzer işlemler tüm katmanlarda tekrarlanmakta; çıktı katmanının tüm çıktıları belirlendiğinde ise ileri hesaplama aşaması tamamlanmaktadır. İleri doğru hesaplama aşamasında, bir yapay sinir ağının girdileri Denklem 5 yardımıyla çıktılara dönüştürülmektedir.

$$y_k = f_2 \left[\sum_{j=1}^k \left\{ f_1 \left(\sum_{i=1}^n x_i w_{ij} + b_j \right) \right\} w_{jk} + b_k \right] \quad (5)$$

Burada;

x_i : ağı'n girdilerini ($i=1,2, \dots, n$), w_{ij} : girdi katmanı ile gizli katman arasındaki ağırlıkları, b_j : girdi katmanı ile gizli katman arasındaki eşik (sabit) terimleri, f_1 : girdi katmanı ile gizli katman arasındaki aktivasyon fonksiyonunu, f_2 : çıktı katmanı ile gizli katman arasındaki aktivasyon fonksiyonunu, j : gizli katmana ait hücre sayısını, n : girdi katmanındaki hücre sayısını, k : çıktı katmanındaki hücre sayısını, w_{jk} : çıktı katmanı ile gizli katman arasındaki ağırlıkları, b_k : çıktı katmanı ile gizli katman arasındaki eşik (sabit) terimleri göstermektedir.

Geriye doğru hesaplama aşamasında ise ağı'n ürettiği çıktı değerleri, beklenen çıktı değerleri ile karşılaştırılmaktadır. Çıktı ile beklenen değerler arasındaki fark yapay sinir ağı terminolojisinde hata olup ve geriye yayılım aşamasında bu hatanın azaltılması sağlanmaktadır. Bu da ağı'n ağırlık ve eşik (sabit) değerlerinin iteratif olarak değiştirilmesi ile mümkün olmaktadır. Bu çok katmanlı yapay sinir ağı modellerinde genellikle en küçük kareler yöntemine (Denklem 6) dayalı performans fonksiyonu yardımıyla gerçekleştirilmektedir [24].

$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^P e_i^2(w), P = kQ \quad (6)$$

Burada; $E(w)$ performans (amaç) fonksiyonunu, w ağı'n ağırlıklarını, k çıktı katmanındaki hücre sayısını, Q ağı'n kurulumunda (eğitiminde) kullanılan örneklem büyüklüğünü, $e(w)$ ise çıktı ile beklenen değerler arasındaki farkı göstermektedir.

Bu kapsamda, model hatasını en aza indirgeyecek ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağı algoritmaları geliştirilmiştir. Öğrenme oranına bağlı geriye yayılım algoritması, Momentum terimli geriye yayılım algoritması gibi ağlar bunlardan sadece bazılarıdır. Bu klasik algoritmaların yanı sıra sayısal optimizasyon yöntemlerini kullanarak modellemede hızlı yakınsama olanağı sağlayan Newton ve Levenberg-Marquardt algoritmaları [14, 25, 26, 27] ve geriye yayılım algoritmalarına alternatif olarak geliştirilen Radyal tabanlı ve Genelleştirilmiş regresyon sinir ağları da sıklıkla tercih edilir hale gelmiştir.

Hazırlanan çalışmada, yukarda sözü edilen ileri beslemeli geri yayımlı ağ algoritmalarının gelişmiş bir türü olan Levenberg-Marquardt algoritmasından yararlanılmıştır. Levenberg – Marquardt algoritmasında, Hessian matrisi adı verilerin çözümlenmesi karışık bir matrisin yaklaşık değeri kullanılmaktadır. Bu çözüm Denklem 7 yardımıyla gerçekleştirilebilmektedir [21, 25].

$$H(w) \approx J^T(w)J(w) + \mu I \quad (7)$$

Denklem 7'de; μ , Marquardt parametresini, I ise birim matrisi simgelemektedir. J ise, Jakobien matris olarak adlandırılmakta ve ağ hatalarının ağırlıklara göre birinci derece türevlerinden elde edilmektedir (Denklem 8).

$$J(w) = \frac{\partial e(w)}{\partial w} \quad (8)$$

Ağı'n geri yayılması aşamasında, öncelikle bu matrisin transpozu ve ağa ait hata değerleri kullanılarak ağı'n gradyeni hesaplanmaktadır (Denklem 9).

$$\nabla E(w) = J^T(w)e(w) \quad (9)$$

Ağı'n gradyeni hesaplandıktan sonra, ağı'n ağırlıklarındaki vektörel değişim Denklem 7'de tanımlanan Hessian matrisinin tersi ile ağı'n gradyeni kullanılarak belirlenmekte (Denklem 10) ve ağı'n ağırlıkları güncellenmektedir (Denklem 11).

$$\Delta w = -[H(w)]^{-1} \nabla E(w) \quad (10)$$

$$w_{yeni} = w_{eski} + \Delta w \quad (11)$$

Levenberg-Marquardt algoritmasındaki μ parametresi skaler bir sayı olarak tanımlanmakta ve deneme-yanılma yöntemiyle belirlenebilmektedir. Eğer μ sifıra yakınsarsa, yöntem Newton algoritması gibi işleyişini sürdürmekte; μ büyük bir sayıyı temsil ettiğinde ise yöntem küçük adımlı gradyen azalması yöntemi haline gelmektedir [21, 28].

Bununla birlikte yapay sinir ağı modellerinde ağı'n genelleyebilme yeteneğinin değerlendirilebilmesi açısından ağı'n girdi ve çıktı değerlerinin hepsi kullanılmamakta, belli bir kısmı eğitim, belli bir kısmı ise (%20 ~ %50) test safhalarında değerlendirilmektedir [19, 20, 21]. Böylece hazırlanan yapay sinir ağı modelinin başarısı sınanabilmektedir.

3 UYGULAMA

Hazırlanan çalışmada, Devlet Meteoroloji İşleri (DMI) tarafından işletilen, Gediz Havzası'nda, Manisa ili sınırlarında bulunan 93 m rakımındaki Akhisar istasyonu (17184) tava buharlaşmaları kullanılmıştır. Akhisar istasyonu, Gediz Havzası'ndaki DMI istasyonları içerisinde uzun dönemli ve eksiksiz buharlaşma gözlemine sahip ve coğrafi konum itibarıyla de Gördes ve Çağlayan baraj göllerini ve Marmara Gölü'nü temsil edebilecek tek istasyon niteliğindedir. Gediz Havzasına ait diğer buharlaşma ölçümü olan DMI istasyonları ise Gediz (17750) ve Demirci (17746) istasyonlarıdır.

Modelleme çalışmalarında Akhisar istasyonunun 1958-2006 yıllarına ait ölçülmüş aylık ortalama sıcaklık, rüzgâr hızı, rölatif nem ve aylık toplam buharlaşma verileri kullanılmıştır. Meyer ve Regresyon modellerinin, YSA modeli ile de kıyaslanabilmesi açısından, her üç model de ayrı ayrı verilerin %70'i ile hazırlanmış, %30'u ile test edilmiştir.

Tüm modellerde aynı tahminleyici değişkenler (aylık ortalama rölatif nem, aylık ortalama sıcaklık, aylık ortalama rüzgâr hızı) kullanılmıştır.

Çalışmada öncelikle Yöntem bölümünde detayları anlatılan Meyer yöntemi uygulanmıştır. Yöntemde belirtilen A katsayısı 11 olarak alınmıştır [7]. Kurulum ve test periyotlarına ait Meyer tahminleri ve ölçülmüş değerler arasındaki korelasyon analizi sonucu, determinasyon katsayıları (R^2) sırasıyla **0.8428** ve **0.8917** olarak belirlenmiş, Şekil 2a ve 2b'de grafiksel olarak sunulmuştur.

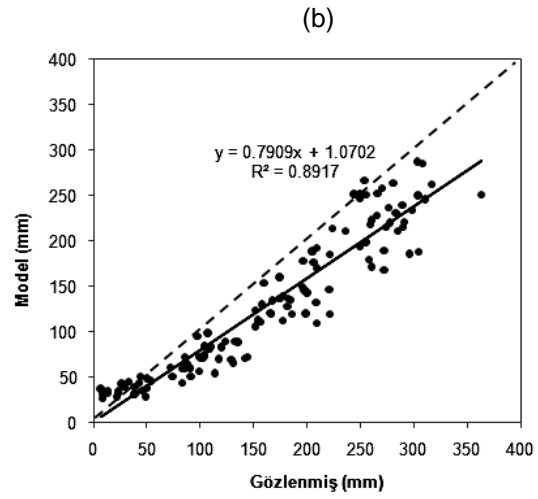
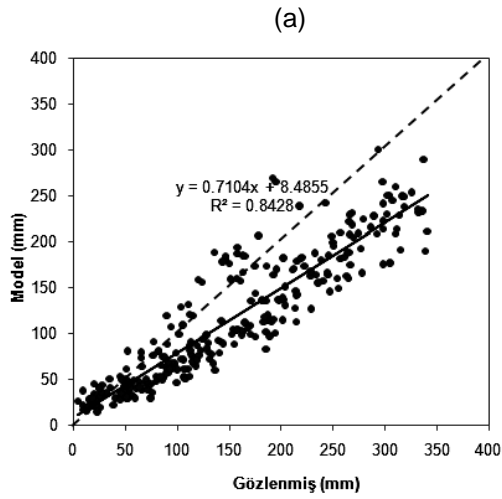
Yapılan çoklu regresyon analizinde ise kurulum döneminde **-99.05 - 0.24R + 9.36T_{ort}** denklem yapısı elde edilmiş olup, determinasyon katsayısı **0.8826**, test döneminde ise **0.9275** olarak hesaplanmıştır ve sonuçlar Şekil 3a ve 3b'de gösterilmiştir.

Çalışmada son olarak, yapay sinir ağı modeli uygulanmış ve bu aşamada MATLAB ortamında hazırlanan kod kullanılmıştır. Modelde aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu seçilmiş ve veriler sigmoid fonksiyonunun özelliğinden ötürü, $(x-x_{min})/(x_{max}-x_{min})$ bağıntısıyla 0 ile 1 arasında ölçeklendirilerek ağa sunulmuştur. Kurulum işlemi tamamlandıktan sonra ölçeklendirilen veriler ters işlem ile orijinal ölçeklerine dönüştürülmüştür.

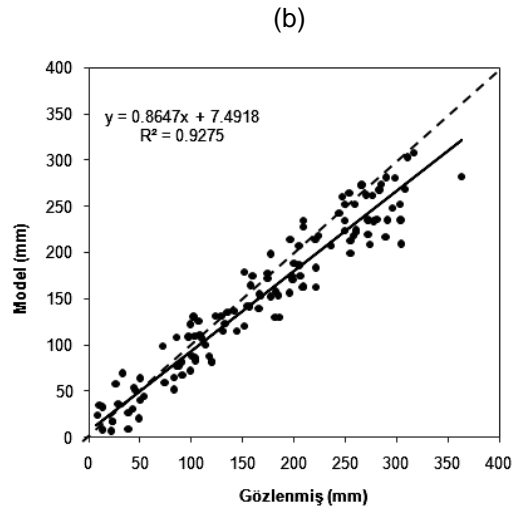
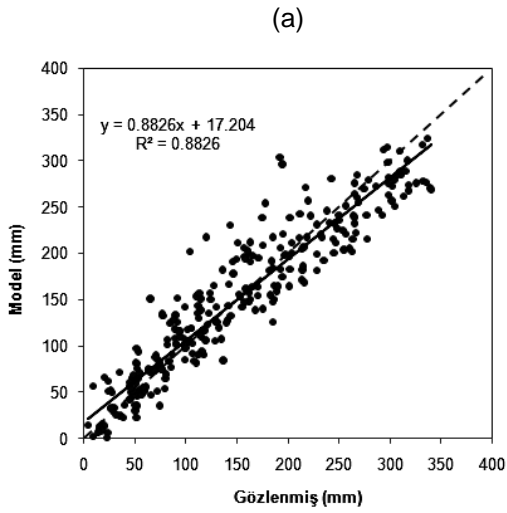
Ağın eğitiminde, gizli tabakadaki katman sayısı, gizli tabakalardaki hücre sayısı, Marquardt parametresi ve ağın iterasyon sayısı deneme yanılma yoluyla, performans fonksiyonu Denklem 6'da belirtilen hata kareler toplamı minimum ve determinasyon katsayısı maksimum olacak şekilde belirlenmiştir.

Çeşitli denemelerden sonra eğitim ve test seti performansını en yüksek yapan gizli katmandaki hücre sayısı "5", Marquardt parametresi " μ " ise 0.01 olarak belirlenmiştir. Ağın eğitimi aşamasında modelin genelleme yeteneğini kaybetmemesi için, yaptırılan 50 adet iterasyon yeterli görülmüştür.

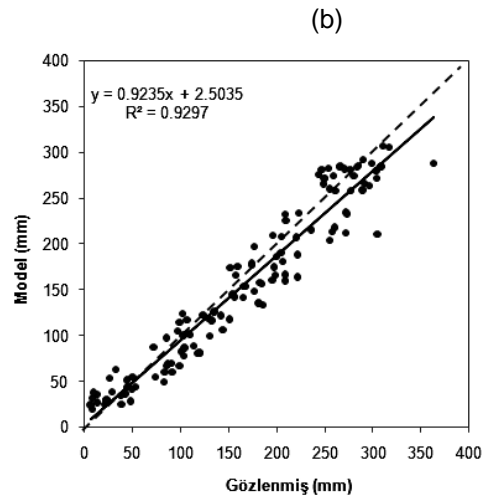
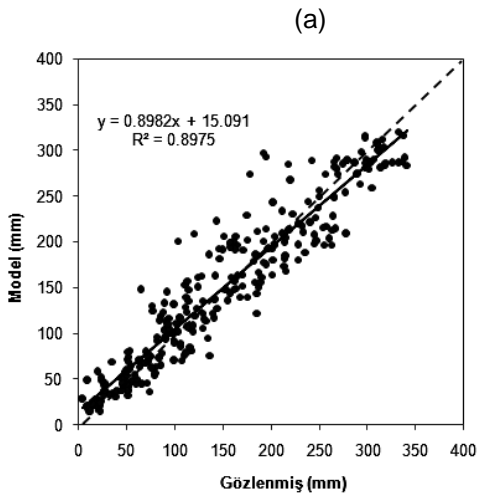
Kurulum (eğitim) ve test aşamalarında yapay sinir ağı tahminleri ve ölçülmüş değerler arasındaki determinasyon katsayıları ise (R^2) sırasıyla **0.8975** ve **0.9297** olarak belirlenmiş, Şekil 4a ve 4b'de grafiksel olarak sunulmuştur. Hazırlanan modellerin temel istatistikleri ve performansları ise Çizelge 2 ve Çizelge 3'te özetlenmiştir.



Şekil 2. Kurulum (a) aşamasında ve Test (b) aşamasında Meyer Tahminleri – Gözlenen değerler ilişkisi (mm/ay)



Şekil 3. Kurulum (a) aşamasında ve Test (b) aşamasında Doğrusal Regresyon Tahminleri – Gözlenen değerler ilişkisi (mm/ay)



Şekil 4. Kurulum (a) aşamasında ve Test (b) aşamasında Yapay Sinir Ağları Tahminleri – Gözlenen değerler ilişkisi (mm/ay)

Çizelge 2. Modellere ait kurulum (a) ve test (b) dönemi tanımlayıcı istatistikleri

	(a)			
	Ortalama mm/ay	S. Sapma mm/ay	Çarpıklık -	Basıklık -
Gözlenmiş	146.48	92.02	0.37	-0.98
Meyer	112.54	71.2	0.52	-0.88
Regresyon	146.48	86.44	0.04	-0.95
YSA	146.66	87.24	0.28	-1.09

	(b)			
	Ortalama mm/ay	S. Sapma mm/ay	Çarpıklık -	Basıklık -
Gözlenmiş	165.95	91.96	-0.05	-1.11
Meyer	132.31	77.02	0.33	-1.22
Regresyon	150.98	82.57	-0.09	-1.05
YSA	155.75	88.08	0.11	-1.30

Çizelge 3. Model performanslarının karşılaştırılması

MODEL	R ²		Hata Kareler Ortalaması (mm ²)		Mutlak Hata (%)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
Meyer	0.8428	0.8917	2654.05	2135.11	14	13
Regresyon	0.8826	0.9275	990.89	867.65	9	8
YSA	0.8975	0.9297	864.49	694.09	8	7

4 SONUÇLAR

Çalışmada, aylık tava buharlaşmaları modellenmiştir. Modeller, eğitim ve test aşamalarındaki performanslarına göre sınanmıştır. Meyer yöntemi ile ölçülmüş değerler ilişkisi incelendiğinde, saçılımdaki sapmalardan da anlaşılacağı üzere diğer iki modele kıyasla Meyer yöntemi daha düşük bir performans göstermiştir. Çoklu regresyon modeli ise Çizelge 3'te de görüldüğü gibi Meyer yöntemine kıyasla daha iyi bir performans göstermiştir. Yapay sinir ağı modeli ise her iki aşamada da diğer iki modele kıyasla daha başarılı bulunmuştur. Model performansları incelendiğinde (Çizelge 3) determinasyon katsayıları, hata kareler ortalaması ve mutlak hata kriterlerinin tümünde yapay sinir ağı modelinin daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Bunun yanı sıra

kurulum ve test aşamalarındaki temel istatistikler (Çizelge 2a-2b) incelendiğinde de yapay sinir ağı (YSA) modelinin daha tutarlı olduğu göze çarpmaktadır. Çalışmada modellerin kıyaslanması dışında vurgulanabilecek diğer çıkarımlar ise şunlardır:

- Çalışmada son dönemlerde çok değişkenli ve doğrusal olmayan doğa olaylarının modellenmesinde kullanılan yapay sinir ağı modellerinin de bir uygulamasının yapılması ve modelin başarısını kanıtlanması önem arz etmektedir.
- Model, istasyona ait eksik verilerin (özellikle kış aylarına ait değerlerin) tamamlanması aşamasında

kullanılabilecektir. Böylece civar baraj haznelerine (Gördes ve Çağlayan barajları) ait hazne işletme çalışmalarında zaman serisi şeklinde eksikleri tamamlanmış buharlaşma değerleri değerlendirilebilecektir.

- Eksiği tamamlanmış buharlaşma değerleri parametrik aylık su bütçesi modellerinin girdileri olarak da kullanılabilecek, istasyona yakın akarsu veya baraj havzalarında da uygulanabilecektir.
- İklim değişikliği öngörülere doğrultusunda, sıcaklıktaki artış ve yağıştaki azalmaya bağlı olarak özellikle buharlaşma ölçümünün olmadığı ya da eksik olduğu bölgelerde; bu öngörülere göre buharlaşmanın bilinen parametrelere bağlı olarak hesaplanabilmesi, iklim değişikliği etkilerinin senaryo bazlı irdelenebilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Yapılan çalışmanın bu amaca yönelik bir katkı sağlayacağı, ampirik yöntemlerin gerektirdiği tahminleyiciler esas alındığında daha sağlıklı bir modelleme yapılabileceği kanıtlanmıştır.

6 KAYNAKLAR

- [1] I.P.C.C., *Climate Change 2007: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Summary for Policy Makers*, 2007.
- [2] Türkeş, M., "Türkiye'de yıllık ortalama hava sıcaklıklarındaki değişimlerin ve eğilimlerin iklim değişikliği açısından analizi." *Çevre ve Mühendis*, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası yayın organı, 9, 9-15, 1995.
- [3] Türkeş, M., "Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey." *Int. J. Climatol.*, 16, 1057-1076, 1996a.
- [4] Türkeş, M., "Meteorological drought in Turkey: A historical perspective, 1930-1993", *Drought Network News*, University of Nebraska, 8, 17-21, 1996b.
- [5] Çevre ve Orman Bakanlığı, İklim Değişikliği ve Yapılan Çalışmalar, 9-100, 2008.
- [6] Abtew, W., "Evaporation Estimation for Lake Okeechobee in South Florida", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 127(3), 140-147, 2001.
- [7] Bayazıt, M., Avcı, İ., Şen, Z., *Hidroloji Uygulamaları*, ITU İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 36-37, 2001.
- [8] Hanson, C.L., "Prediction of Class A pan evaporation in Southwest Idaho", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 115(2), 166-171, 1989.
- [9] Terzi, Ö., Keskin, M.E., "Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı Kullanılarak Günlük Tava Buharlaşması Tahmini", *Teknik Dergi*, 16(4), 3683-3693, 2005.
- [10] Keskin, M.E., Terzi, Ö., "Artificial Neural Network Models of Daily Pan Evaporation", *Journal of Hydrologic Engineering*, 11(1), 65-70, 2006.
- [11] Doğan, E., ve Işık, S., "Sapanca Gölü Günlük Buharlaşma miktarının Radyal Temelli Yapay Sinir Ağı Modeli Kullanılarak Tahmin Edilmesi", *Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu*, BMYS 2005, 807-814, Kasım 16-18, Kocaeli, 2005.
- [12] Kişi, Ö., "Yapay Sinir Ağları ile Meteorolojik Verileri Kullanarak Buharlaşmanın Modellenmesi", *Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu*, BMYS 2005, 790-797, Kasım 16-18, Kocaeli, 2005.
- [13] Sudheer, P. K., A. K. Gosain, R. D. Mohana and S. M. Saheb, "Modeling Evaporation Using an Artificial Neural Network Algorithm", *Hydrological Process*, 16, 3189-3202, 2002.
- [14] Okkan, U. ve Dalkılıç, H. Y." Demirköprü barajı aylık buharlaşma yüksekliklerinin yapay sinir ağları ile tahmin edilmesi" *DSİ Teknik Bülten*. 108, 30-36, 2010.
- [15] F.A.O., Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements), Irrigation and Drainage Paper, 56, 1998.
- [16] Lindley, D.V., "Regression and correlation analysis". *New Palgrave: A Dictionary of Economics*, 4, 120-23 1987.
- [17] Hocking, R. R., "The Analysis and Selection of Variables in Linear Regression", *Biometrics*, 1976.
- [18] Skapura, D. M., *Building Neural Networks*, Addison-Wesley, New York, 1996.
- [19] Haykin, S., *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, MacMillan. New York, 1994.
- [20] Öztemel, E., *Yapay Sinir Ağları*, Papatya Yayıncılık, İstanbul, 2003.

- [21] Ham, F. and Kostanic, I., *Principles of Neurocomputing for Science and Engineering*, Macgraw-Hill. USA, 2001.
- [22] Alp, M. ve Cıgızoğlu, H. K., "Yapay Sinir Ağı Metodları ve Regresyon Analizi ile Akım Tahmini", *II. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu*, 589-598. Gümöldür, İzmir, 2005.
- [23] Cıgızoğlu, H.K., "Yapay sinir ağları ve zaman serileri analizinde kullanımı", *III. Ulusal Hidroloji Kongresi*, 579-586, Dokuz Eylöl Üniversitesi, İzmir, 2001.
- [24] Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J., "Learning representations by backpropagation errors", *Nature*, 323, 533-536, 1986.
- [25] Hagan, M. T. and Menhaj, M. B., "Training feed forward network with the Marquardt algorithm", *IEEE Trans. on Neural Net.*, 5(6), 989-993, 1994.
- [26] Kisi, O., "Multi-layer perceptrons with Levenberg–Marquardt training algorithm for suspended sediment concentration prediction and estimation", *Hydrological Sciences Journal* 49 (6), 1025–1040, 2004.
- [27] Cigizoglu, H.K., and Kisi, O., "Flow prediction by three back propagation techniques using k-fold partitioning of neural network training data", *Nordic Hydrology* 36 (1), 49–64, 2005.
- [28] Cong Chen T., Jian Han, D., Au, F., T., K., Than, L., G., "Acceleration of Levenberg-Marquardt training of neural networks with variable decay rate", *IEEE Trans. on Neural Net.*, 3(6), 1873-1878, 2003.

KÜRESEL ISINMANIN YAĞIŞLAR VE SEL BASKINLARINA ETKİLERİ

Aynur FAYRAP
Dr., DSİ Etüd ve Plan Dairesi Başkanlığı,
Uluslararası Hidrolojik Faaliyetler Şube Müdürlüğü 06100 Yücetepe ANKARA
aynurf@dsi.gov.tr

Ömer DOLU
Yüksek İktisatçı,
Kuzeydoğu Anadolu Kalkınma Ajansı, Destek Hizmetleri Birimi, ERZURUM
doluomer@gmail.com

(Makalenin geliş tarihi: 21.02.2011, Makalenin kabul tarihi: 24.08.2011)

ÖZET

Küresel ısınmanın bir sonucu olarak ortaya çıkan iklim değişikliği çeşitli alanlarda önemli etkiler yaratmaktadır. İklim değişikliği sonucunda; dünya ölçeğinde ekolojik sistemleri ve insan yaşamını doğrudan etkileyecek önemli değişikliklerin oluşacağı beklenmektedir. İklim değişikliğinin en önemli etkileri yağış sistemleri ve sıcaklık artışları üzerinedir. İklim değişikliğine bağlı olarak dünyanın bazı yerlerinde aşırı yağışlar ve kasırgalar görülürken, bazı yerlerinde ise aşırı kuraklık ve sıcaklıklar görülmektedir. Aşırı yağışların ve kasırgaların görüldüğü bölgelerde seller ve su taşkınları ekosistemleri tehdit ederken, aşırı sıcaklığa bağlı kuraklıkların yaşandığı bölgelerde ise, su kıtlığı canlı yaşamı tehdit etmektedir. Yağış sistemlerindeki değişikliğe bağlı olarak ortaya çıkan kurak veya aşırı yağışlı hava olayları homojen bir dağılım göstermemektedir. Örneğin, Kuzey Yarımküre'nin orta ve yüksek enlemlerinde yağışlar ve aşırı hava olaylarının görülme oranı özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısında %2 ila %4 arasında artış göstermiştir. Buna karşılık yine aynı dönemde Kuzey Yarımküre'nin alt enlemlerinde yağışlarda azalmalar görülmüştür. Avrupa Çevre Ajansı'nın hazırladığı bir rapora göre; 1980 yılından beri yaşanan doğal felaketlerin %64'ünden doğrudan, aşırı kuraklık, aşırı sıcaklar, seller ve fırtınalar gibi hava ve iklim koşulları sorumludur. Yağışlarda meydana gelen ani ve aşırı artışlar nedeniyle ırmaklar taşmakta, sel baskınları yaşanmakta fiziksel altyapı ve üstyapı zarar görmekte, önemli ekonomik kayıplar ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada; küresel ısınmanın yağışlar ve seller üzerine etkileri tüm dünya coğrafyasından örnekler verilerek değerlendirilecektir.

Anahtar Kelimeler: Küresel ısınma, yağış, sel baskını

THE EFFECTS OF GLOBAL WARMING ON RAINFALLS AND FLOODS

ABSTRACT

As a result of the global warming, the climate change creates important effects on various fields. In concern with the climate changes, it is estimated that the important changes directly affecting the human life and the ecological systems in the world scale will happen. The most important effect of the climate change is on the rainfall regimes and the heat increases. Concerning climate changes heavy rain and whirlwind are seen in some regions while heavy drought and heat are seen in the others. The dry weather and heavy rain weather conditions which is result of the changes in the rain regimes don't show a homogenous spread. For example, the rate of the rains, weather events has increased between %2 and %4 especially in the second half of the twentieth century. On the other hand, in the same period on the low altitude of the Northern Hemisphere, the decreases in the rain events are seen. According to the report presented by the European Environment Agency, weather and climate conditions such as heavy droughts, floods, heats, storms are directly responsible for 64 percent of the nature disasters experienced since 1980. As a result of the sudden and heavy increases in the rainfall regime, the rivers overflow, the floods occur, the physical substructure and superstructure are damaged, the great losses happen. In this study, the global warming effects on the rainfall regimes and floods will be evaluated by giving examples from the regions all over the world.

Keywords: Global warming, rainfall, flood

1 GİRİŞ

Günümüzün en önemli sorunlarından biri çevre kirliliğidir ve bu sorun dünyayı ciddi anlamda tehdit etmektedir. Çevre kirliliğinin en önemli nedeni ise, insanoğlunun sınırsız ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik faaliyetleri ve bu faaliyetler sonucu çevreye saldırdığı atıklardır. İnsanoğlu, sınırsız ihtiyaçlarını karşılamak üzere üretim-tüketim ilişkileri kurmakta, bu ilişkiler sonucu çevreyi kirletmekte ve kendisi de bu kirlenmeden etkilenmektedir. İnsan temelli bu kirlenme, küresel ısınmaya ve buna bağlı olarak da iklim değişikliğine neden olmaktadır.

İklim değişikliği, günümüzde hemen hemen tüm bilim adamları tarafından kabul gören bir olgu olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak son yıllarda iklim değişikliğinin üzerinde yoğun olarak durulmaya başlanmasının nedeni, tüm ekolojik sistemi etkilemeye başlayan bir hal almasından kaynaklanmaktadır. İklim değişikliği genel olarak, küresel ısınma sonucu iklim sistemi üzerinde meydana gelen değişiklikleri ifade etmektedir. Küresel bir sorundur ancak etkileri itibariyle yerel nitelikler kazanabilmektedir.

İklim değişikliğinin tanımlanması konusunda iki farklı yaklaşım mevcuttur. Bu ayrım temelde pratik nedenlere dayanmaktadır. İklim değişikliğini tanımlamaya yönelik birinci yaklaşım, çeşitli insan faaliyetleri sonucunda atmosferdeki birikimleri giderek artan sera gazı emisyonlarını azaltmaya ve bu gazların doğal sera etkisinde oluşturduğu kuvvetlenmeyi en aza indirmeyi amaçlayan uluslararası girişimlerde yansımaları bulmaktadır. İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nde; "karşılaştırılabilir bir zaman periyodunda gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, doğrudan ya da dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan etkinlikleri sonucunda, iklimde oluşan değişiklik" biçiminde tanımlanmaktadır.

İkinci yaklaşımda iklim değişikliği, "fiziksel nedeni ya da istatistiksel niteliği göz önünde bulundurulmaksızın aynı anda farklı periyotlar için hesaplanan uzun süreli iklim istatistikleri arasındaki farkları ve iklimdeki tüm öteki süreksizlik tiplerini kapsayan değişiklikler" şeklinde tanımlanmaktadır [15].

Küresel ısınmanın bir sonucu olarak ortaya çıkan iklim değişikliği çeşitli alanlarda önemli etkiler yaratmaktadır. İklim değişikliği sonucunda; hidrolojik döngünün değişmesi, kara ve deniz buzullarının erimesi, kar ve buz örtüsünün alansal daralması, deniz seviyesinin yükselmesi, iklim kuşaklarının yer değiştirmesi

ve yüksek sıcaklıklara bağlı salgın hastalıkların ve zararlı canlıların artması gibi dünya ölçeğinde sosyo-ekonomik yapıları, ekolojik sistemleri ve insan yaşamını doğrudan etkileyecek önemli değişikliklerin oluşacağı beklenmektedir [1].

İklim değişikliğinin en önemli etkileri yağış sistemleri ve sıcaklık artışları üzerinedir. İklim değişikliğine bağlı olarak dünyanın birçok bölgesinde mevsimsel anlamda değişiklikler gözlenmektedir. Kışlar artık daha yağışlı ve ılık, yazlar ise daha sıcak ve kurak geçmektedir. Ancak iklimde ve ona bağlı olarak mevsimlerde meydana gelen bu değişiklikler çoğu zaman yerel nitelik taşımaktadır. İklim değişikliğine bağlı olarak dünyanın bazı yerlerinde aşırı yağışlar ve kasırgalar görülürken, bazı yerlerinde ise aşırı kuraklık ve sıcaklıklar görülmektedir. Aşırı yağışların ve kasırgaların görüldüğü bölgelerde seller ve su taşkınları ekosistemleri tehdit ederken, aşırı sıcaklığa bağlı kuraklıkların yaşandığı bölgelerde ise, su kıtlığı canlı yaşamı tehdit etmektedir.

İklim değişikliği sonucunda, ekstrem yağışların dağılımı, şiddeti ve süresinde de değişiklikler meydana gelmektedir. Yapılan araştırmalar, iklim değişimleri sonucunda, taşkına en çok neden olan sağanak yağışların daha kısa süre içinde ancak daha şiddetli gerçekleştiğini ortaya çıkarmıştır. Yağışlar, mekan ve zaman içinde, su dengesindeki değişkenliğin belli başlı kaynağıdır. Yağışlarda meydana gelen değişimler, hidroloji ve su kaynakları için çok önemli sonuçlar doğurabilir. Belli bir su havzasında zaman içinde meydana gelen hidrolojik değişkenlik, günlük, mevsimsel, yıllık ve on yıllık zaman zarfları içinde yağışlarda baş gösteren değişkenlik tarafından etkilenmektedir. Sel sıklığı, yıllar arasında (yıldan yıla) yağışlarda gözlenen değişkenlikle kısa vadeli yağış miktarlarında meydana gelen değişimler (sağanak yağış gibi) tarafından etkilenmektedir. Bu çalışmada; ilk olarak küresel ısınma ve iklim değişikliğine değinildikten sonra, bu çevresel sorunun boyutları ve küresel ısınmanın yağışlar ve sel baskınları üzerine etkileri tüm dünya coğrafyasından örnekler verilerek değerlendirilecektir.

2 ARAŞTIRMANIN KAYNAKLARI, YÖNTEM VE TEKNİKLERİ

Çalışmada yerli ve yabancı olmak üzere birçok kaynağa başvurulmuştur. Çalışmada bilimsel yöntemlerden biri olan tümdengelim (dedüksiyon) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemdeki amaç; düşünceden yola çıkılarak,

doğru kavramlara dayanılarak kavramlar arasında geçiş yaparak ilerlemek, yani sonuçlama yapmaktır. Önce genel olarak küresel ısınma ve iklim değişikliğinden bahsedilmiş, daha sonra küresel ısınmanın yağışlar ve sel baskınları üzerine etkileri örneklerle açıklanmıştır.

Çalışmada araştırma tekniklerinden literatür taraması yöntemi kullanılmıştır.

3 ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1 Küresel Isınma

Yeryüzünü çevreleyen atmosfer tabakası, dünyanın canlı yaşamına ev sahipliği yapmasını sağlayan temel yapıtaşlarından birisidir. Doğal sera etkisi olarak adlandırılan süreç; atmosferde bulunan su buharı, karbondioksit ve diğer gazların, güneşten gelen ışınımın yeryüzüne ulaşmasına izin vermesi, ancak yer yüzeyinden geri salınan uzun dalgalı yer ışınımını emerek ya da tutarak yerkürenin ısı dengesinin düzenlenmesi olarak tanımlanmaktadır [1].

Atmosferde bulunan su buharı, karbondioksit ve diğer gazlar dünyayı bir sera örtüsü gibi sarmakta ve güneş ışınlarını tutarak sera etkisini oluşturmaktadır.

Atmosferde yer alan sera gazlarının en önemli görevi; ısıyı tutarak dünyaya makul bir sıcaklık seviyesi kazandırmaktır. Atmosferde bulunan sera gazlarının, bu görevi yerine getirebilmesi için, doğal konsantrasyonlarının değişmemesi gerekmektedir. Atmosferi oluşturan ana gazların doğal konsantrasyonu; azot (%78.08), oksijen (% 20.95) ve argon (0.93) şeklindedir. Karbondioksit; azot, oksijen ve argon'a kıyasla daha az bir miktara sahip olmakla birlikte, dördüncü önemli gazdır (% 0.03) [16]. Bu gazların konsantrasyonunun değişmesi doğal sera etkisinin kuvvetlenmesine neden olmaktadır. Bu ise, dünya ısısının normal ısı değerlerinin üzerine çıkması ile sonuçlanmaktadır.

Küresel ısınmaya yol açan insan kaynaklı (antropojenik) sera gazları; esas olarak, fosil yakıtların yakılması, sanayileşme, ulaştırma, arazi kullanımı değişikliği, katı atık yönetimi ve tarımsal etkinliklerden kaynaklanmaktadır [2], Küresel ısınmaya neden olan sera gazları içinde en önemli paya sahip olan karbondioksit, toplam sera gazlarının %80'ini oluşturmaktadır [9]. İnsanoğlunun ortaya koyduğu ilerlemenin sanayileşme ile başladığından bu yana hayati bir bileşeni olan; kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtların aşgözlü kullanımı maalesef bu gazın

emisyonunu hızla artırmıştır. Güç ve üretim amaçlı enerji ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla yakılan fosil yakıtlar nedeniyle yılda yaklaşık yedi milyar ton karbon atmosfere bırakılmaktadır [4].

Yenilenemez doğal kaynaklar sınıflandırmasına tabi olan; kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlar tüm enerji kaynakları içinde en fazla karbondioksit (CO₂) salımı yapan kaynaklardır [11], Bu kaynakların yoğun olarak kullanılması, atmosferdeki karbondioksit yoğunluğunu artırmaktadır. Karbondioksit yoğunluğunun artmasında önemli olan bir diğer etken ise, karbon yutakları olarak kabul edilen ormanların hızla yok edilmeye başlanmasıdır. Ormanlar, gerek atmosfere salınan sera gazı emisyonlarının azaltılmasında, gerekse atmosferden sera gazı emme yoluyla karbon yutağı oluşturmada önemli rol oynamaktadır. Tüm dünyada bitki örtüsü tarafından tutulan karbonun yaklaşık %75'i ormanlar tarafından tutulmaktadır [2]. Ancak son zamanlarda ormanlar çeşitli nedenlerle bilinçsizce yok edilmeye başlanmıştır. İnsanoğlu, yeni tarım ve yerleşim alanları elde etmek, sanayide ağaçları hammadde ve girdi olarak kullanmak gibi amaçlarla ormanları hızla yok etmektedir. Ormanların bu ve benzeri nedenlerle yok edilmesi, atmosferdeki karbon miktarını iki şekilde etkilemektedir.

Birinci etki; ormanların yakılması yoluyla yok edilmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Ormanların yakılması sonucunda, atmosfere bu yanma ile ek bir karbon emisyonu yapılmış olacaktır. Bu durum ise, atmosferdeki karbon miktarının artmasına neden olur. İkinci etki ise; orman alanlarının yok edilmesi sonucunda, bu alanların yutak olarak karbon emme performansını düşürmesi ile ortaya çıkmaktadır. Ormanların insan eliyle yok edilmesinin küresel ısınmayı tetikleyeceği gerçeğinin yanında, önemli olan bir gerçekte, küresel ısınma sonucu dünyanın ısısının normal ısı değerlerinin üstüne çıkmasıyla ormanlardaki tahribatın artacağıdır. Çünkü aşırı ısınma sonucu orman yangınlarında artışların ortaya çıkması kaçınılmazdır. Ayrıca ısınma sonucu ortaya çıkacak kuraklık nedeniyle de önemli miktarda orman alanının olumsuz etkilenmesi beklenmektedir.

Karbon kadar önemli miktarda olmamakla birlikte, küresel ısınmaya neden olan diğer bazı gazlarda vardır. Bunlar; metan, kloroflorokarbonlar(CFC) ve diazotmonoksittir. Metan gazı, katı atıkların ayrıştırılması, siğir yetiştiriciliği ve pirinç üretimi sonucu ortaya

çıkılmaktadır. Su anda karbon kadar önemli bir miktara sahip olmayan metan gazının, küresel ısınma nedeniyle buzulların erimesi söz konusu olması halinde çok ciddi oranlara ulaşması beklenmektedir. Çünkü buzulların erimesiyle, buzulların altında kalan bitki örtüsü çürümeye başlayacak, bu çürüme ise metan gazının açığa çıkmasıyla sonuçlanacaktır. Kloroflorokarbonlar ise, ilk olarak otuzlu yıllarda üretilmeye başlanmıştır. Buzdolaplarında ve bazı sprelerde yaygın olarak kullanılan bu gazdan son yıllarda vazgeçilmeye başlandığı görülmektedir. Diazotmonoksit ise, kimyasal gübrelere tarımda yoğun olarak kullanılması sonucunda ortaya çıkmaktadır. Karbondan daha etkili olan ve daha uzun bir ömre sahip olan bu gaz küresel ısınma açısından oldukça önemli bir etkiye sahiptir.

3.2 Küresel Isınmanın İklim Değişikliği Üzerine Etkileri

İklim değişikliği, günümüzde hemen hemen tüm bilim adamları tarafından kabul gören bir olgu olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak son yıllarda iklim değişikliğinin üzerinde yoğun olarak durulmaya başlanmasının nedeni, tüm ekolojik sistemi etkilemeye başlayan bir hal almasından kaynaklanmaktadır. İklim değişikliği genel olarak, küresel ısınma sonucu iklim sistemi üzerinde meydana gelen değişiklikleri ifade etmektedir. Küresel bir sorundur ancak etkileri itibarıyla yerel nitelikler kazanabilmektedir.

İklim değişikliğine neden olan faktörlere bakıldığında ise, sera gazı etkisi yaratan fosil yakıtların yoğun olarak kullanılmasının ilk sırada yer aldığı görülmektedir. Özellikle kömür, petrol ve doğalgazın daha önce sayılan amaçlarla yoğun olarak kullanılması, küresel anlamda ısınmaya neden olmakta, bu ise yerel boyutlarda iklimde değişiklikler meydana getirmektedir. Ekosistemin doğal işleyiş sürecinde meydana gelen bazı gelişmeler de iklim değişikliği üzerinde etkili olabilmektedir. Fakat bu etkiler insan kaynaklı etkilerin yanında önemsiz kalmaktadır. Yanardağlardaki volkanik patlamalar esnasında, bazı sera gazlarının ve toz bulutunun açığa çıkmasını bu duruma örnek olarak vermek mümkündür. Ancak, tüm dünyadaki yanardağların harekete geçme potansiyeli göz önüne alındığında, bu etkinin insan temelli etkinin yanında ne kadar önemsiz kalacağını görmek pek de zor olmayacaktır.

İklim değişikliği çeşitli alanlarda önemli etkiler yaratmaktadır. Şöyle ki; iklim değişikliği sonucunda; dünya ölçeğinde sosyo-ekonomik

yapıları, ekolojik sistemleri ve insan yaşamını doğrudan etkileyecek önemli değişikliklerin oluşacağı beklenmektedir. Ancak iklim değişikliğinin tam olarak etkilerini belirlemek oldukça zordur. Çünkü; ekolojik sistem, dünya iklimi ve bunlar arasındaki ilişki oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu durumdan dolayı, iklim değişikliğinin belirgin yansımaları taşıyan, iyi tanımlanmış ve ölçülebilir öğelerdeki değişiklikler üzerinde durmak daha gerçekçi olacaktır [3].

Küresel iklim değişikliği ve/veya artan nüfusa bağlı olarak havza kullanımındaki değişimlerin, hem taşkınları hem de kuraklıkları tetiklediğinin farklı yöntemler kullanılarak ortaya konduğunu bildirilmektedir [14].

Bu kapsamda izleyen bölümde, küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliğinin yağış sistemleri ve seller üzerindeki etkileri ele alınacaktır. Fakat bu etkilerin yerel anlamda farklılıklar gösterebileceği, bir başka deyişle her coğrafi alanı aynı oranda ve aynı şekilde etkileyebileceği unutulmamalıdır.

3.3 Küresel İklim Değişikliğinin Yağışlar ve Sel Baskınları Üzerine Etkileri

İklim değişikliğinin en önemli etkileri yağış sistemleri ve sıcaklık artışları üzerinedir. İklim değişikliğine bağlı olarak dünyanın birçok bölgesinde mevsimsel anlamda değişiklikler gözlenmektedir. Kışlar artık daha yağışlı ve ılık, yazlar ise daha sıcak ve kurak geçmektedir. Ancak iklimde ve ona bağlı olarak mevsimlerde meydana gelen bu değişiklikler çoğu zaman yerel nitelik taşımaktadır. Son yıllarda ise, yerkürenin bazı bölgelerinde kuraklık ağır basarken, diğer bazı bölgelerinde de önemli iklimsel değişkenliklerin yaşandığı; bunların sonucunda da taşkın olaylarının daha sık ve daha etkin biçimde oluştuğu izlenmektedir. Aşırı yağışların ve kasırgaların görüldüğü bölgelerde seller ve su taşkınları ekosistemleri tehdit ederken, aşırı sıcaklığa bağlı kuraklıkların yaşandığı bölgelerde ise, su kıtlığı canlı yaşamı tehdit etmektedir.

Yağış sistemlerindeki değişikliğe bağlı olarak ortaya çıkan kurak veya aşırı yağışlı hava olayları homojen bir dağılım göstermemektedir. Örneğin Kuzey Yarımküre'de farklı hava olayları görülürken Güney Yarımküre'de farklı hava olayları görülebilmektedir. Yahut Kuzey veya Güney Yarımküre'de yer alan herhangi bir kıtada aşırı yağışlar görülürken bir diğerinde sıcaklık ve kuraklık görülebilmektedir. Hatta aynı kıtada yer alan farklı ülkelerde farklı hava olayları, bazen aynı ülkenin farklı bölgelerinde farklı hava olayları görülebilmektedir. Ya da bir

sene aşırı yağışlar ve kasırgalarla karşı karşıya kalan bir bölge, diğer bir sene aşırı sıcaklara ve kuraklığa maruz kalabilmektedir.

Bu konuda geçmiş eğilimler göz önüne alındığında bu farklılıkları daha iyi görmek mümkün olacaktır. Örneğin, Kuzey Yarımküre'nin orta ve yüksek enlemlerinde yağışlar ve aşırı hava olaylarının görülme oranı özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısında %2 ila %4 arasında artış göstermiştir. Buna karşılık yine aynı dönemde Kuzey Yarımküre'nin alt enlemlerinde yağışlarda azalmalar görülmüştür [5]. Genel olarak 20. yüzyıl boyunca Kuzey Yarımküre'nin orta ve yüksek enlemlerinde yağışlar %5-10 artış göstermiştir. Ancak kar yağışlarında %10 azalma gözlenmiştir. Aynı dönemde subtropikal bölgelerdeki yağışlarda önemli düşüşler görülmüştür. Bu dönemde subtropikal bölgelerde yağışlar ortalama %3 azalmıştır [6]. Asya ve Afrika'da, aşırı sıcaklar ve bunlara bağlı olarak ortaya çıkan kuraklıkta yoğun olarak bir artış görülmüştür. Özellikle son birkaç 10 yılda bu durum Asya ve Afrika için daha belirgin bir hal almıştır. Geleceğe yönelik olarak da Afrika Kitası için aşırı sıcaklar ve kuraklık tehlike oluşturmaktadır.

İklimdeki değişikliğe bağlı olarak ortaya çıkan aşırı ve beklenmedik hava olayları Avrupa için de sorun teşkil etmektedir. Bölgeler arasında yağış sistemleri açısından önemli farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Orta ve Kuzey Avrupa geçmiş dönemlere oranla mevsim normallerinin üzerinde yağış alırken, Güney ve Güneydoğu Avrupa mevsim normallerinin altında yağış almakta ve kuraklıkla karşı karşıya kalmaktadır. Avrupa'da genel olarak; su baskınları, aşırı sıcak günlerin sayısı ve kuraklık gibi aşırı hava olaylarının sayısı artarken; don olaylarının yaşandığı soğuk gün sayısı azalmaktadır.

Avrupa'da son 20 yılda ortaya çıkan 5 aşırı hava olayından 4'ü 1997 yılından sonra ortaya çıkmıştır. Avrupa'da hava ve iklim koşullarından kaynaklanan ve felaket getiren olayların yıllık ortalama sayısı 1990'lı yıllarda, bir önceki 10 yıla oranla yaklaşık iki kat artmıştır. Avrupa Çevre Ajansı'nın hazırladığı bir rapora göre; 1980 yılından beri yaşanan doğal felaketlerin %64'ünden doğrudan, aşırı kuraklık, aşırı sıcaklar, seller ve fırtınalar gibi hava ve iklim koşulları sorumludur. Afetlerin sebep olduğu ekonomik kayıpların ise, %79'undan aşırı hava olayları sorumludur.

Sadece 2003 yılında meydana gelen aşırı sıcaklar nedeniyle Batı ve Güney Avrupa'da 20.000'den fazla insan hayatını kaybetmiştir[3].

Yağışlarda meydana gelen ani ve aşırı artışlar önemli sorunlara neden olmaktadır. Bu artışlar nedeniyle ırmaklar taşmakta, sel baskınları yaşanmakta fiziksel altyapı ve üstyapı zarar görmekte, önemli ekonomik kayıplar ortaya çıkmaktadır. Bu denli önemli zarar ve kayıplara neden olan seller maalesef iklim değişikliğinin bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır. Üstelik insanoğlu aşırı yağışlar nedeniyle ortaya çıkan seller nedeniyle çaresiz kalmaktadır. Ayrıca iklim değişikliği ve etkilerinin gelecekteki boyutlarını ortaya koymak amacıyla yapılan projeksiyonlar özellikle son 20 yıldır daha sık yaşanan sellerin gelecekte de önemli bir sorun olarak önemini koruyacağını göstermektedir.

Dünyanın hemen hemen her yerinde seller son dönemlerde sıkça görülmektedir. Örneğin, 1998 yılında Doğu Afrika'da ve 2000 yılında Mozambik'te meydana gelen seller nedeniyle binlerce insan hayatını kaybetmiş ve binlerce insan da evsiz kalmıştır. Bu seller sonucunda bölgede kara ve demir yolları önemli hasar görmüştür. Kenya, Uganda, Ruanda ve Tanzanya'da iletişim hatları hasar görmüştür. Somali'de ise, bu sellerin sebep olduğu açlık ve sağlık sorunları nedeniyle çok sayıda insan etkilenmiştir [5].

Asya'nın belli bölgelerinde de son yıllarda sellerde önemli bir artış gözlenmektedir. Bu seller dünyanın diğer bölgelerinde olduğu gibi bu bölgelerde de önemli kayıplara neden olmaktadır. Örneğin, 1998 yılında Yangtze nehrinin taşması sonucu Çin, tarihinin en büyük sel felaketiyle karşı karşıya kalmıştır. Çin Ulusal Çevre Merkezi'nin verilerine göre 1998 yılında meydana gelen sellerden dolayı 200 milyon insan etkilenmiş, 3000'den fazla insan ölmüş ve 4 milyon ev zarar görmüştür. Bu sellerin direk ekonomik kaybı ise 20 milyar dolardır [5]. Gelecekte de Asya'daki sellerden özellikle, Nepal, Hindistan, Japonya ve Bangladeş'in etkileneceği düşünülmektedir.

İklim değişikliğine bağlı olarak yaygınlaşan aşırı yağışlar, seller ile aşırı sıcaklık artışları ve kuraklık, örneklerden de anlaşılabileceği üzere tüm dünya coğrafyası için önemli sorun teşkil etmektedir. Bu olaylara bağlı olarak ortaya çıkan gelişmeler nedeniyle dünyanın bir çok yerinde sosyal ve ekonomik sistemler zarar görmekte ve bunun sonucunda insan sağlığı ve yaşamı, çevresel ekosistemler, tarımsal faaliyetler ve daha bir çok alan yoğun bir şekilde etkilenmektedir. 1998 ile 2004 yılları arasında Avrupa'da yüzden fazla taşkın meydana gelmiştir. Bu taşkınlarda 700 kişi ölmüştür [12]. Son olarak Amerika'da Ağustos

2005'te Katrina kasırgası ve neden olduğu sel taşkın olayları ilgili 1833 kişinin öldüğü kaydedilmiştir. Bu ölümlerin 1577'si Louisiana'da, 238'i Mississippi'de, 14'ü Florida'da, 2'si Georgia'da ve 2'si de Alabama'dadır [8].

Pakistan'da Ağustos 2010 da son 80 yılın en şiddetli yağışları meydana geldi ve toplam nüfusun %12'sini oluşturan yaklaşık 20 milyon insan bu yağışlardan direk etkilendi [17].

Ülkemizde meydana gelen doğal afetler, oluşturduğu kayıplar açısından değerlendirildiğinde, taşkınlar depremden sonra ikinci sırada yer almaktadır. Türkiye'de son otuz beş yılda gerçekleşen taşkın olaylarında 630 vatandaşımızın yaşamını kaybetmesi ile birlikte, milli ekonomimiz büyük zarara uğramıştır. Özellikle son on yılda yaşanan taşkın olayları, geçmiş yıllarla mukayese edildiğinde olayın meydana gelme sıklığı ve şiddetinde artan bir ivme olduğu görülmektedir. Bu duruma etkisini artarak hissettiren küresel iklim değişikliğinin sebep olduğu düşünülmektedir [7].

4 DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Dünya üzerindeki canlı yaşamını tehdit eden birçok sorun bulunmakta ve çevresel problemler bu alanda en önemli yeri işgal etmektedir. Küresel ısınma ve buna bağlı olarak ortaya çıkan iklim değişikliği ise, son dönemlerde giderek artan bir ilgi gören çevresel sorunların basında gelmektedir. Bu soruna neden olan en önemli etken ise, atmosferin yapısında doğal olarak bulunan ve sera gazı olarak adlandırılan gazların konsantrasyonunun değişmesidir. Bu sera gazları içerisinde ise, en önemli pay karbondioksit aittir. Tüm sera gazlarının yaklaşık %88'ini oluşturan karbondioksitin atmosferdeki konsantrasyonunun artmasının temel nedeni, insanoğlunun ihtiyaçlarını karşılamak üzere yürüttüğü faaliyetler çerçevesinde fosil kaynaklı yakıtların yoğun olarak kullanılmasıdır. Özellikle sanayi devrimi ile birlikte giderek artan enerji ihtiyaçlarının karşılanması için, çok fazla yakıt ihtiyacı ortaya çıkmış ve bu ihtiyaç kömür ve petrol gibi fosil yakıtlarla karşılanmıştır.

Yapılan çalışmalar sanayi devriminden günümüze değin ortalama küresel sıcaklığın 0.5 ila 0,7°C arasında yükselmiş olduğunu göstermektedir. Sıcaklığın en fazla yükseldiği dönem ise, son 20 yıllık dönemdir. Ağaç halkaları, buz örnekleri, mercanlar ve okyanus tabanlarından alınan örneklerle yapılan araştırmalar çok daha çarpıcı sonuçlar

vermektedir. Bu araştırmalardan elde edilen sonuçlara göre, 1998 yılı son 1200 yıllık dönem içindeki en sıcak yıl olmuştur. Ayrıca küresel ısınma her 10 yılda ortalama 0,05 ila 0,17°C arasında bir artış göstermiştir. Bu artış muhtemelen son 1000 yıl içerisindeki diğer tüm yüzyıllık ısınma oranlarının üzerine çıkmıştır. Tüm bu sonuçlar iklim değişikliğinin boyutlarını gösterir niteliktedir.

Önemli boyutlara ulaşan iklim değişikliği birçok alanda önemli etkiler yaratmaktadır. İklim değişikliği sonucunda; kara ve deniz buzullarının erimesi, deniz seviyesinin yükselmesi, yüksek sıcaklıklara ve aşırı hava olaylarına bağlı salgın hastalıkların ve zararlı canlıların artması gibi dünya ölçeğinde sosyo-ekonomik sektörleri, ekolojik sistemleri ve insan yaşamını doğrudan etkileyecek önemli değişikliklerin oluşacağı beklenmektedir.

Küresel ısınma ve buna bağlı olarak ortaya çıkan iklim değişikliğinin önemli boyutlara ulaşması ve canlı yaşamı için ciddi tehlikeler oluşturmaya başlaması, küresel bir sorun olan bu tehdide karşı küresel çözümler üretilmesi gerektiği fikrini de ortaya çıkarmıştır. Küresel iklim değişikliğine karşı yapılması gereken ilk husus su kaynaklarının planlı ve verimli bir şekilde kullanılmasıdır.

Böylece dünyadaki su dengesini korunur ve de ekolojik dengenin korunmasıyla iklim değişikliğini ya büyük oranda engelleriz ya da etkilerini geciktirebiliriz. Bunu yapmak için ilk önce insanların bilinçlendirilmesi gerekir. Bu çerçevede eğitimin temelini ilköğretimde atıldığı için yetiştirilecek yani neslin çevreye duyarlı olması için politikalar izlenmelidir.

Sera gazı emisyonunda ise; atmosferde belli miktarda sera gazı mevcut olduğu için ilk etapta kontrol altına alınmalıdır. Yani sabit tutulmalıdır. Daha sonra ise; yavaş düşürülerek istenen seviyeye düşürülmesi için düzenlenmeler yapılmalıdır.

Yağmur suları yeryüzündeki sularla birleşerek uygun koşullar oluştuğunda yüzeysel akışa geçmektedir. Bir kısmı zemine sızarak yeraltı suyuna karışan bu suların bir kısmı da buharlaşma ile tekrar atmosfere geçmektedir. Bu aşamaların her birinde küresel ısınma ve bunun sonucunda oluşan sıcaklık artışlarının etkisi bulunmaktadır [18]. Akışlarda meydana gelebilecek değişiklikler yağış ve buharlaşmadaki değişimlerin doğrudan bir sonucudur [13].

Küresel iklim değişikliği ve bunların sonucunda ülkemizin de bulunduğu alanda artması beklenen ani sel ve su baskınlarına karşı yapılacak tüm planlamalarda ekstrem yağışların dikkate alınması, oluşabilecek zararların en aza indirilmesi açısından önem taşımaktadır.

Taşkınların önlenmesi, sulama ve içme suyu ihtiyacının giderilmesi gibi faydalarının yanı sıra enerji üretimini sera gazı salımlarına neden olmaksızın çevreye en az zararlar gerçekleştirilen depolama tesislerine daha çok önem verilmesi gerekmektedir. Ancak bu tesislerin planlanması ve işletilmesinde iklim değişiminin söz konusu etkilerinin de göz önünde bulundurulması ülke çıkarlarımız açısından yararlı olacaktır [10].

5 KAYNAKLAR

- [1] ÇOB, 2005, "Sürdürülebilir Kalkınma Sürecinde Çevre Yönetimi", Çevre ve Orman Bakanlığı, İklim Değişikliği Alt Komisyon Raporu, Ankara, 2005.
- [2] DPT, 2000. Sekizinci Bes Yıllık Kalkınma Planı, İklim Değişikliği Özel İhtisas Komisyonu Raporu, DPT:2532, ÖİK:548, Ankara s:116.
- [3] EEA; 2004, Impacts of Europe's Changing Climate, An Indicator-Based Assessment, Report No:2/2004, EEA, 101 p, Copenhagen, Denmark.
- [4] GODREJ; Dinyar, 2003, Küresel İklim Değişimi, Çev: Ohannes Kılıçdağı, Metis Yayınları, İstanbul, s:143.
- [5] IPCC; 2001, Third Assessment Report Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- [6] IPCC, 2002, 'Climate Change and Biodiversity', Technical Paper V, IPCC Working Group II Technical Support Unit , 86 p.
- [7] Kasalak, A.F., Aksu, S., Şeren, A. ve Eroğlu, H. 2010, 'Taşkın Maksatlı Barajlarda Maksimum İşletme Eğrisinin İstatistiksel Analiz Yöntemi İle Yeniden Belirlenmesi', II. Ulusal Taşkın Sempozyumu, 22-24 Mart 2010, Afyonkarahisar ,s:117-125.
- [8] Knabb, R.D., Rhome, J.R., Brown, D.P., 2005, Tropical Cyclone Report Hurricane Katrina, 23-30 August.
- [9] NCESD, 2003. Environment Signals, A Report on Sustainability Indicators, National Center for The Environment and Sustainable Development Greece.
- [10] Özgüler, H., 2002, 'Küresel İklim Değişimi ve Su Kaynaklarımız Üzerindeki Olası Etkileri', DSG Bülteni, Sayı: 491-492 (Mayıs - Haziran 2002).
- [11] ÖZÇAG, Mustafa; 2004, Sürdürülebilir Kalkınma Sürecinde İklim Değişikliği ve Türkiye Analizi, Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Aydın, s:104.
- [12] Sümer, V., 2010. 'GAP Bölgesi'nde Sele Maruz Kalan Alanlarda Sel Riskinin Azaltılması Projesi', Sel Afet Yönetimi ve Deneyim Paylaşımı Konferansı Oturum I "Avrupa Birliği Taşkın Direktifi: Uygulamalar ve Süreçler", ODTÜ ve Selçuk Üniversitesi, 25 Kasım 2010
- [13] Şen, Z. 2003. Su Bilimi ve Yöntemleri. Su Vakfı Yayınları. İstanbul, s:243.
- [14] Tonkaz, T., Çetin, M., Kızıloğlu, F. ve Fayrap, A., 2010, 'Müteferrik Doğu Karadeniz Suları Havzası Yıllık Anlık Maksimum Akımlarının Olasılık Analizi', II. Ulusal Taşkın Sempozyumu. 22-24 Mart 2010, s:315-323, Afyonkarahisar.
- [15] Türkeş, M. 1997, 'Hava ve İklim Kavramları Üzerine' TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, Sayı.355, Ankara, s:36-37.
- [16] Türkes, M. 2001. 'Hava, İklim, Şiddetli Hava Olayları ve Küresel Isınma', Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü 2000 Yılı Seminerleri, Teknik Sunumlar, Seminerler Dizisi:1, Ankara, s:187-205.
- [17] UNESCO, 2010. 'UNESCO Steps in to Help Pakistan. A World of Science. Natural Sciences Quarterly Newsletter, Vol.8, No.4, October-December-2010, 11 p.
- [18] Varınca, K.B. 2008. 'İklim Değişikliği Özelinde Su Kaynakları Üzerindeki Baskılar', Su ve Enerji Konferansı Bildiriler Kitabı, 25-26 Eylül 2008, Artvin, s:28-35.

KAVRAMSAL BİR HİDROLOJİK MODELE YAPAY ZEKA ENTEGRASYONU VE MODEL PERFORMANSLARININ GEDİZ NEHRİ HAVZASINDA İRDELENMESİ

Ahmet Ali KUMANLIOĞLU

Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35160 Buca, İzmir
ahmet.kumanlioglu@deu.edu.tr

Okan FISTIKOĞLU

Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35160 Buca, İzmir
okan.fistikoglu@deu.edu.tr

(Makalenin geliş tarihi: 27.07.2011, Makalenin kabul tarihi: 29.09.2011)

ÖZET

Çalışmada, kavramsal bir hidrolojik modele yapay zeka tekniklerinden yapay sinir ağları ve genetik algoritmalar entegre edilerek, daha az parametreye sahip yeni bir günlük yağış akış modeli geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen yapay zeka entegrasyonu, deterministik, ortalanmış, sürekli bir parametrik model olan GR4J (Génie Rural à 4 paramètres Journalier) günlük yağış akış modeli üzerinde gerçekleştirilmiştir. GR4J günlük yağış akış modeli yapısında biriktirme ve öteleme elemanları bulunduran ve X_1 , X_2 , X_3 ve X_4 olmak üzere 4 model parametresine sahip günlük yağış akış modelidir.

Çalışmada GR4J parametrik yağış akış modeline ilk olarak yapay sinir ağlarının (YSA) entegrasyonu gerçekleştirilmiştir. Yapay sinir ağı entegrasyonunda, GR4J modelinin parametre sayısı 4'ten 1'e indirilmiş ve model içersindeki doğrusal olmayan akım öteleme süreci yapay sinir ağları ile modellenmiştir. Modele genetik algoritmalar (GA) da entegre edilerek model parametrelerinin otomatik olarak GA sayesinde kalibre edilmesi sağlanmıştır. Son derece az parametreye sahip ve parametrelerini otomatik olarak kalibre edebilen GR4J-YSA-GA entegre modeli Gediz havzasının Murat, Medar ve Yiğitler alt havzalarında uygulanarak model performansları incelenmiştir. Uygulama sonuçları, GR4J modeline YSA ve GA entegrasyonunun model performanslarını önemli ölçüde arttırdığı göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kavramsal hidrolojik model, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar, Gediz havzası

INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO A CONCEPTUAL HYDROLOGIC MODEL AND SEMTINIZING OF MODEL PERFORMANCES ON GEDİZ RIVER BASIN

ABSTRACT

In the presented study, a daily rainfall-runoff model with fewer parameters was developed through the integration of artificial neural network and genetic algorithms available from various artificial intelligence techniques onto a conceptual hydrologic model. The integration of artificial intelligence within the context of the study was achieved on the daily rainfall-runoff model, GR4J (Génie Rural à 4 paramètres Journalier) that is known to be a deterministic, lumped and continuous parametric model. GR4J is a daily rainfall-runoff model which consists of storage and routing elements in its structure while having 4 model parameters as X_1 , X_2 , X_3 and X_4 .

The study started with the integration of Artificial Neural Networks (ANN) onto the parametric rainfall-runoff model. With the help of this integration, the parameter number of GR4J model was decreased

from 4 to 1 and the nonlinear flow routing scheme in the model was modelled with artificial neural networks. Through such integration, a higher model performance was achieved while substantially limiting the number of model parameters. Besides, the automatic calibration of the model parameters by means of genetic algorithms (GA) was performed in the study by integrating these GAs onto the model. The resulting GR4J-ANN-GA integrated model including quite few model parameters and having the capability of automatic calibration for its parameters was implemented in the Murat, Medar and Yiğitler sub-basins of the Gediz River basin for exploring the modelling performances. The results indicated that there is considerable increase in the modelling performance as an outcome of the ANN and GA integration with the GR4J model.

Keywords: Conceptual hydrologic model, artificial neural networks, genetic algorithms, Gediz River Basin

1 GİRİŞ

Su kaynaklarının planlanması ve yönetilmesi çalışmalarında akım tahmin çalışmaları önemli bir yer tutmaktadır. Havzada meydana gelebilecek taşkınların veya taşkın risklerinin önceden saptanması ve geleceğe yönelik akarsu su potansiyellerinin belirlenmesi amacıyla, havzalara düşen yağışın akışa dönüşümünün belirlenmesi sürdürülebilir su yönetimi araştırmalarının büyük bir bölümünü oluşturmaktadır [Liden ve Harlin 2000, Rico ve diğ., 2001, Najafi 2003, Moore ve diğ., 2005, Boughton, 2005, Kerh ve diğ. 2006, Dorum ve diğ., 2010]. Söz konusu araştırmalar kapsamında, havzaya düşen yağışın akışa dönüşümünde rol oynayan buharlaşma, terleme, sızma, zemin depolaması gibi hidrolojik süreçlerin tamamını veya birkaçını dikkate alarak, yağış akış ilişkisinin ortaya konduğu kavramsal modeller geliştirilmektedir [Lee ve diğ., 2005].

Akış ve akışı oluşturan yağış, sıcaklık vb. girdiler arasındaki nicelleyici ilişkilere dayanan istatistiksel yağış-akış modellerinin aksine, parametrik yağış-akış modeller, yağışın akışa dönüşüm sürecinde yer alan sızma, evapotranspirasyon, yüzey, yüzeyaltı ve yeraltı suyu akımı gibi bileşenleri de dikkate almaktadır. Parametrik modellerde havza sistemi ne kadar çok alt bileşene ayrılırsa, geliştirilen model, yağış-akış dönüşümünü o derecede iyi temsil etmektedir. Ancak, havza sisteminin çok sayıda alt bileşene ayrılması, model içindeki parametre sayısının artmasına; bu da modelin kalibrasyonunun güçleşmesine, neden olmaktadır [Beven, 1993; Lindström, ve diğ. 1997, Refsgaard J C, 1997, Uhlenbrook, ve diğ. 1999]. Bu nedenle, uygulamada parametre yoğun modeller yerine az sayıda parametreyle yeter doğrulukta akım tahminleri yapan, tutumlu modeller tercih edilmektedir [Aubert ve diğ. 2003, Bayazit 1998; Beven, 1989; Manujat 2009, Mroczkowski ve diğ., 1997, Post ve Jakeman 1999].

Sunulan çalışmada, kavramsal bir günlük yağış akış modeline yapay zeka tekniklerinden yapay

sinir ağları ve genetik algoritmalar entegre edilerek; parametrik model yapısındaki parametre sayısının azaltılarak az sayıdaki model parametrelerinin otomatik kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen entegre modelin performansı Gediz Havzası günlük akımlarında irdelenmiştir.

2 KAVRAMSAL HİDROLOJİK MODELLER

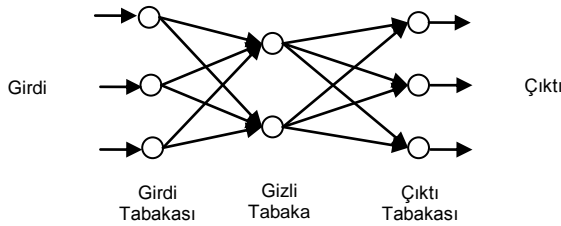
Kavramsal yağış akış modeller, havzaya düşen yağışın akışa dönüşümünde gerçekleşen hidrolojik süreçleri ve bunların akışa olan etkisini parametrelere bağlı matematiksel ifadelerle tanımlayan modellerdir [Lee ve Moon, 2007]. Parametrik, çok bileşenli, gri kutu modellerde denilen kavramsal modeller, yağışın akışa dönüşüm sürecinde havzayı biriktirme elemanlarına bölerek, biriktirme elemanlarında gerçekleşen hidrolojik süreçleri ve bunlar arasındaki ilişkileri süreklilik denklemleriyle tanımlayan modellerdir. Kavramsal modeller, kullanım amacına göre farklı zamansal (günlük, aylık, yıllık) ve alansal çözünürlüklerde (ortalanmış, yayılı) geliştirilmektedirler [Fıstıkoğlu, 1999]. Ortalanmış (toplu) kavramsal modellerde, havza sistemindeki bitki örtüsü, toprak yapısı, havzanın topografyası gibi alansal değişim gösteren hidrolojik unsurlar model yapısında ortalama bir değerle temsil edilirken, yayılı kavramsal modellerde, havza sisteminde alansal değişim gösteren bu tür unsurlar model içerisinde alansal değişkenlikleriyle tanımlanmaktadır. Kavramsal modellerde havza sistemi, ne kadar çok alt elemana ayrılıp, havza özelliklerindeki değişimler ne kadar ayrıntılı ele alınırsa havzadaki yağış-akış dönüşümü o kadar detaylı bir biçimde tanımlanmış olmaktadır [Gan ve diğ., 1997]. Ancak geliştirilen bu tür kavramsal modellerin yapısında kalibre edilmesi gereken parametrelerin sayısı da oldukça fazla olmaktadır [Kokkonen ve Jakeman, 2001]. Bu ise, çok parametrelili modellerin kullanım güçlüğünü ön plana çıkarmaktadır [Perrin ve diğ., 2001].

Model parametrelerinin kalibrasyonunda ise, girdi değerlerine karşılık modelin ürettiği çıktı

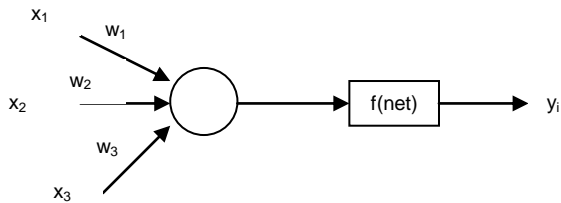
değerleri ile havza sisteminde gözlenen çıktı değerleri arasındaki farkı minimum yapacak parametre değerleri (en uygun parametre seti) aranmaktadır [Madsen, 2000, Waganer ve diğ., 2004]. Model parametrelerinin kalibrasyon işleminde dikkat edilmesi gereken önemli unsurlardan biri ise, bulunan parametrelerin, fiziksel olarak anlamlı parametreler olmalarıdır. Bu açıdan, kavramsal modellerde parametre kalibrasyonunun doğru yapılabilmesi için çeşitli kalibrasyon yöntemleri geliştirilmiştir [Duan ve diğ., 1992, Madsen ve diğ., 2002, Duan, 2003]. Bu yöntemlerin en önemli sorunu ise kalibrasyonun lokal minimum veya maksimum noktalarda takılmasıdır [Cooper ve diğ., 2007]. Bu amaçla uygulamada global optimizasyon yöntemleri tercih edilmektedir [Wang, 1997, Agrawal ve Singh, 2003, Cheng ve diğ., 2006, Ndiritu ve Daniell, 2001, Lin ve Wang, 2007, Lim ve diğ., 2010]. Bu sayede kavramsal hidrolojik modellerin kalibrasyonu sırasında lokal minimum veya maksimum çözüm noktalarına takılma ihtimali en aza indirilmektedir [Duan, 2003].

3 YAPAY SİNİR AĞLARI

Yapay sinir ağları ile ilgili ilk çalışmalar 1940'larda başlamıştır. McCulloch ve Pitts 1943'te ilk yapay sinir ağını tasarlamıştır. Bunu takiben McGill üniversitesinde psikolog olan Hebb ilk öğrenme kuralını geliştirmiştir. 1960'larda bazı araştırmacılar iteratif düzeltme/öğrenme kuralına dayanan "perceptron"u tasarlamışlardır. 1986'da günümüz çalışmalarında da sıkça kullanılan geri yayılım algoritması geliştirilmiştir [Dawson



Şekil 1. Yapay sinir ağı yapısı



Şekil 2. Yapay sinir hücre yapısı

ve ark., 2006]. Yapay sinir ağları insan beyninin deneyimlerden öğrenme ve bilgi depolama gibi özelliklerini taklit ederek çalışan bir yöntemdir. Bir başka deyişle, örneklerden elde ettikleri bilgiler doğrultusunda eğitilirler ve daha sonra benzer koşullar altında benzer kararları verirler.

3.1 Yapay Sinir Ağları Yapısı ve Çalışma Sistemi

YSA, girdi tabakası, gizli tabaka ve çıktı tabakası olmak üzere üç kısımdan oluşur. Bu tabakalar Şekil 1'de gösterilmiştir.

Şekil 1'de görüldüğü gibi YSA, girdi – gizli – çıktı tabakaları birbirine paralel olarak bağlı çalışan yapay hücrelerden (nöronlardan) meydana gelmektedir ve nöronlar hiçbir zaman birbirine dikey doğrultuda bağlanmazlar. Girdi ve çıktı tabakasında olaya veya probleme ait veriler bulunmaktadır. Bu nedenle girdi ve çıktı tabakalarındaki nöron sayıları problemde tanımlanan bilgilere bağlıdır. Gizli tabakadaki nöron sayısına, ağı eğitimi sırasında deneme yanılma yoluyla karar verilir. Girdi tabakasındaki bilgiler sistem içindeki etkinlikleri farklı ağırlıklarla tanımlanmaktadır (Şekil 2).

Ağırlıklı girdilerin toplamı, minimumu, maksimumu veya çarpımları olarak bulunan net fonksiyonu ile girdilerin bütünü bu hücre üzerindeki etkileri ifade edilmektedir. Yapılan modelleme çalışmalarının genelinde ağırlıklı girdilerin toplamı olarak bulunan toplam net fonksiyonu kullanılmaktadır [Cigizoglu, 2002b]. Toplam net fonksiyonu Denklem 1'de gösterilmiştir.

$$net_j = \sum_{i=1}^n x_i w_{ij} \quad (1)$$

Burada x_i girdileri, w_{ij} ağırlık katsayılarını, n girdi sayısını ifade etmektedir. Toplam net fonksiyonundan elde edilen net girdi ise aktivasyon fonksiyonu (transfer fonksiyonu) yardımı ile hücre çıktısına çevrilmiştir. Aktivasyon fonksiyonu doğrusal (lineer) ve doğrusal olmayan (non-lineer) şekilde olabilmektedir. Lineer aktivasyon fonksiyonları olarak lineer fonksiyon, adım (step) fonksiyonu, rampage fonksiyonu kullanılabilir. Non-lineer aktivasyon fonksiyonları ise sigmoid fonksiyonu, gaussian fonksiyonu ve hiperbolik tanjant fonksiyonları olarak verilebilir. Yapılan modelleme çalışmalarının genelinde non-lineer aktivasyon fonksiyonu olan sigmoid transfer fonksiyonu kullanılmaktadır. Sigmoid transfer fonksiyonu 0 ile 1 arasında çalışmaktadır ve hiçbir zaman 0 ve 1 değerlerini alamamaktadır. Sigmoid transfer fonksiyonunun matematiksel

ifadesi Denklem 2 de ve grafiksel gösterimi Şekil 3 te verilmektedir.

$$y_i = f(\text{net}) = \frac{1}{1 + e^{-\text{net}_j}} \quad (2)$$

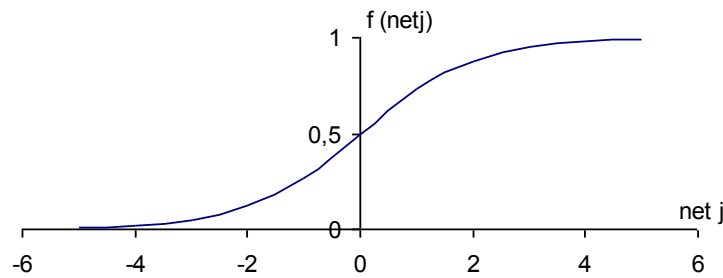
3.2 Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi ve Test Edilmesi

Ağın eğitiminde girdi setinde verilen bilgilere göre çıktı setindeki bilgilere ulaşması hedeflenmektedir. Ağın eğitiminde eğitim algoritmaları kullanılmaktadır. Bu algoritmalar kullanıcı tarafından yönetilmeyen (unsupervised) ve yönetilen (supervised) olmak üzere ikiye ayrılır. Yönetilmeyen eğitim algoritmasında sadece girdi değerleri ağa verilmekte ağ ağırlık katsayılarını, eğitim parametrelerini kendi kendine seçmektedir. Yönetilen eğitim algoritmasında ise kullanıcı eğitim setine, eğitim algoritmasına, öğrenme oranı gibi eğitim parametrelerinin hepsine kendisi karar vermektedir.

Çeşitli eğitim algoritması bulunmaktadır. İleri Beslemeli Geri Yayılımlı eğitim algoritması, Radyal Tabanlı eğitim algoritması, Birleşik Eğimli eğitim algoritması, Kademeli Korelasyon eğitim algoritması, Genelleştirilmiş Regresyon algoritması bunlardan bir kaçını oluşturmaktadır. Modelleme çalışmalarında genellikle İleri Beslemeli Geri Yayılımlı (İBGY) eğitim algoritması kullanılmaktadır [Vos., ve Rientjes, 2005, Minns ve Hall, 1996]. İBGY eğitim algoritması ileri besleme ve geri yayılma olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. İleri beslemede girdi değerleri bir önceki bölümde belirtildiği gibi kullanılacak aktivasyon

fonksiyonuna göre standardize edilerek, kullanılan net fonksiyonuna göre net değeri elde edilir ve aktivasyon fonksiyonu ile net değeri ağın çıktı değerine dönüştürülür. Ağın çıktı değeri elde edilen çıktı değeri ile karşılaştırıldığında istenen hata sınırları içerisinde kalmıyor ise ağ geri yayılma safhasına geçer. Geri yayılma safhasında hata tabaka tabaka geri yayılarak (çıkıtı-gizli-girdi) baştan belirlenen ağırlık katsayı değerleri değiştirilmiş olur. Hatanın geri yayılımında genelleştirilmiş delta kuralı kullanılır. Geri yayılımın sonucunda bütün ağırlık katsayıları değiştirilmiş ve ağın eğitiminde bir iterasyon tamamlanmış olur. Yapılan iterasyonlar sonucunda ağın çıktı değerleri ile elde edilen çıktı değerleri arasındaki hata istenilen sınıra ulaşılınca ağın eğitilmesi tamamlanmış olmaktadır. Eğitimi tamamlanan ağın test aşamasında ise ağa daha önce tanıtmadığımız girdi ve çıktı değerleri kullanılır. Bu safhada sadece girdi değerleri verilerek ağa ileri besleme yaptırılır ve ağdan çıkan sonuçlar ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılır. Karşılaştırılma sonucunda hedeflenen değerlere erişilmiş ise ağın eğitimi ve test aşaması bitmiş olmaktadır.

Ağın eğitimi sırasında dikkat edilecek kısımlar ise ağa çok fazla sayıda iterasyon yaptırılmamasıdır. Eğer çok sayıda iterasyon yaptırılırsa ağ verilen değerleri çok iyi derecede öğrenir ve eğitim sırasında çıkan sonuçlar ile karşılaştırıldığında çok düşük hata seviyeleri görülmektedir. Fakat ağın test aşamasında ağa daha önce tanıtmadığımız değerleri verdiğimizde çok büyük hatalar ortaya çıkmaktadır. Bu durumda ağda "aşırı öğrenme" denilen durum meydana gelmektedir.



Şekil 3. Sigmoid transfer fonksiyonu

4 GENETİK ALGORİTMALAR

Darwin'in evrim teorisinden etkilenilerek geliştirilen evrimsel hesaplama Rechenberg (1973), "Evrimsel stratejileri" adlı çalışmasında tanıtılmış ve algoritmalar Holland (1975) tarafından geliştirilmiştir.

Genetik algoritma, evrimsel süreçleri kullanarak probleme ait en iyi çözümü bulan bir yapay zeka tekniğidir. Genetik algoritma yöntemi genellikle mühendislik uygulamalarında optimizasyon problemlerinde kullanılmaktadır. Genetik algoritmalar, diğer optimizasyon yöntemlerindeki gibi tek bir çözüm üretmek yerine farklı çözümlerden oluşan bir çözüm kümesi üretirler. Çözüm kümelerindeki bireyler birbirleri ile eşleştirilerek en iyi çözümü, kalıtım yoluyla yeni nesillere aktararak performansı daha yüksek yeni çözüm kümeleri oluşturulur ve problemin optimal çözümü bu küme içerisinde aranır. Çözüm kümelerinin oluşturulmasıyla, çözüm uzayında aynı anda birçok nokta değerlendirilmekte ve yerel minimuma takılma olasılığı düşmektedir. Bir başka ifadeyle, genetik algoritmalar en iyi sonucu birbirinden bağımsız çözüm kümeleri üreterek ve bu kümelerdeki en iyi bireyleri kalıtım yolu ile daha başarılı yeni çözüm kümelerine aktaran ve çözüm kümeleriyle çözüm uzayında aynı anda bir çok noktayı değerlendirip problemin optimal sonucunu bulan yapay zeka tekniğidir.

4.1 Genetik Algoritmanın Yapısı

Oldukça karmaşık fonksiyonların optimizasyonunda en uygun çözümü en kısa zamanda, evrimsel süreçlerle çözümleyen genetik algoritmanın elemanları ve çalışma mekanizması Şekil 4'te sunulmaktadır.

Amaç Fonksiyonun Belirlenmesi: Çözümü aranan problemde bulunan parametrelerin uygunluğunu belirlemek için kullanıcı tarafından bir amaç fonksiyonu tanımlanmaktadır. Parametreler, tanımlanan amaç fonksiyonunu minimize veya maksimize ederek bulunmaktadır.

Toplumun Oluşturulması: Amaç fonksiyonunun belirlenmesinden sonra, genetik algoritma ile çözüm yapılabilmesi için toplumun (çözüm kümelerinin) oluşturulması gerekmektedir. Toplumdaki bireyler (kromozomlar), genetik algoritmanın çözmesi istenen problemin her bir çözümünü, yani çözümü yapılacak parametreleri temsil etmektedirler. İlk toplumdaki bireyler rastgele belirlenir. Belirlenen bireyler genetik algoritma ile, belirli kurallar dahilinde amaç fonksiyonunu optimum hale getirecek şekilde değiştirilir.

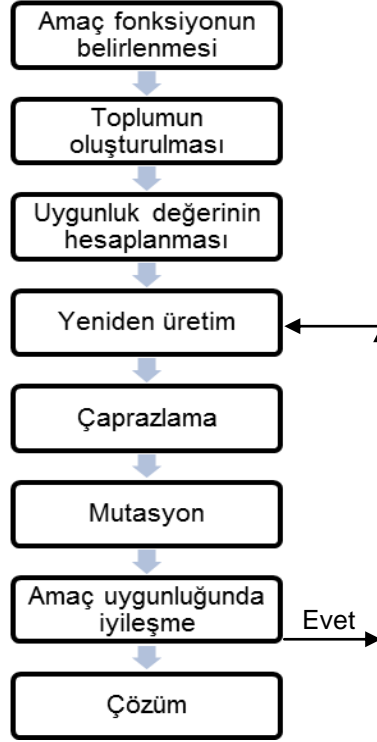
Bir kromozomu oluşturmak için sıralanmış her bir değişkene gen adı verilmektedir. Gen başka bir ifadeyle, kendi başına anlamlı genetik bilgiyi taşıyan en küçük genetik yapıdır. Her gen ait olduğu kromozomu temsil eden dizi içerisine yerleştirilmiştir. Burada kromozomu temsil eden diziler kodlamalar ile tanımlanmaktadır. Kurulan genetik modelin hızlı ve güvenilir çalışması için verilerin uygun bir şekilde kodlanması gerekmektedir. Kodlama için kullanılan yöntemler ise ikili kodlama, permütasyonlu kodlama, değer kodlama ağaç kodlama yöntemleridir.

Uygunluk Değerinin Hesaplanması: Toplumdan gelecek nesillere hangi bireylerin aktarılacağına belirlenmesi için kromozomların uygunluk değerleri hesaplanmaktadır. Kromozomların ne kadar iyi olduğunu hesaplayan fonksiyona uygunluk fonksiyonu denilmektedir. Uygunluk fonksiyonu bir sonraki nesile aktarılacak en iyi bireyleri belirlediğinden genetik algoritmanın başarısını da önemli ölçüde etkilemektedir.

Yeniden Üretim: Genetik algoritmanın üç temel operatörlerinden biri olan yeniden üretimde, seçim operatörleri kullanılarak toplumdan hangi bireylerin çaprazlama ve mutasyona tabi tutulacağı belirlenmektedir. Bireylerin seçimi, her bir kromozom için hesaplanan uygunluk değerleriyle yapılmaktadır. Uygunluk değeri yüksek olan iyi bireyler eşleme havuzuna atılarak yeni neslin üretiminde kullanılır, geriye kalan zayıf bireyler ölüme terk edilir. Yeniden üretim için çeşitli seçim operatörleri bulunmaktadır. Bu operatörlerden bazıları rulet tekeri, sıralı seçim, sabit durum seçimi, turnuva seçimi ve elitizmdir.

Çaprazlama: Çaprazlama operatöründe, yeni neslin oluşturulması için seçilmiş bireyler çaprazlama oranına göre çaprazlanarak yeni bireyler oluşturulmaktadır. Çaprazlama, iki bireyin birbirleri arasında gen alışverişinde bulunup iki yeni birey oluşturmasıdır.

Çaprazlama operatöründeki amaç, yüksek uygunluk değerine sahip iki bireyi birleştirerek daha iyi yeni çocuk bireyler elde etmektir. Yalnız çaprazlama rastgele yapıldığından en kötü genlerin toplandığı bir çocuk bireyin oluşma ihtimali de vardır ve bu durumda çocuk birey elenecektir. Çaprazlama, tek noktalı, iki noktalı, çok noktalı, pozisyona dayalı, sıraya dayalı çaprazlama yöntemleriyle yapılmaktadır.



Şekil 4. Genetik algoritmanın elemanları ve çalışma yapısı.

Mutasyon: Genetik algoritmanın temel operatörü olan mutasyon operatöründe çaprazlama sonucunda meydana gelen yeni nesildeki bireylerin bir önceki nesilden değişmeden gelmesini engellemek ve çaprazlamada oluşması güç olan bireylerin oluşmasını sağlamak için bireyler mutasyona tabi tutulur [Goldberg, 1989]. Mutasyon işlemi, bireylerin çeşitliliğini sağlamak için bireydeki bir genin veya genlerin değiştirilmesiyle yapılmaktadır. Mutasyon işlemi komşu iki geni, keyfi iki geni değiştirerek veya yer değişim ve sınır mutasyon yöntemleri kullanılarak yapılmaktadır.

Amaca Uygunluk: Genetik algoritma operatörlerindeki işlemlerin tamamlanmasıyla, oluşturulan çözüm kümelerindeki bireylerin, arama uzayında problemin çözümünü ne kadar temsil ettiği amaç fonksiyonu ile bulunur. Çözüm kümelerindeki bireylerin amaç fonksiyonları değerleri karşılaştırılır. Eğer amaç fonksiyonu değerlerinde yeni çözüm kümesi ile bir iyileşme gözleniyorsa bireylerin yeniden üretimi ile genetik algoritmada aramaya devam edilir. Amaç fonksiyon değerinde bir iyileşme gözlenmiyorsa genetik algoritma ile yapılan arama tamamlanmış olur ve o çözüm kümesindeki en iyi bireyler problemin çözümünü göstermektedir. Amaç fonksiyonu çözümü aranan probleme dayalı olarak kullanıcı tarafından belirlenmektedir.

5 KAVRAMSAL HİDROLOJİK MODEL VE YAPAY ZEKA ENTEGRASYONU

Kavramsal hidrolojik modeller, yağışın akışa dönüşümü sürecinde meydana gelen sızma, buharlaşma, terleme, yüzey, yüzeyaltı, yeraltısuyu ve zemin depolaması gibi hidrolojik süreçleri parametrelere bağlı olarak matematiksel ifadelerle tanımlamaktadır. Havzada gerçekleşen bu süreçlerin model yapısında detaylı olarak yer alması, model yapısını karmaşıktırmakta ve kalibre edilmesi gereken parametrelerin sayısını arttırarak, modelin kalibrasyonunu güçleştirmektedir [Beven, 1993; Lindström, ve diğ. 1997].

Kavramsal modellerdeki parametrelerin kalibrasyon güçlüklerinin ve hatalarının en aza indirilerek modelin daha iyi akım tahminleri yapılabilmesi açısından, modele yapay zeka teknikleri entegre edilerek; parametreleri otomatik kalibre edilen hibrid bir model geliştirilmiştir. Çalışmada, kavramsal model olarak GR4J (Génie Rural à 4 paramètres Journalier) [Perrin, 2000] günlük yağış akış modeli seçilmiş ve modelin doğrusal olmayan akım öteleme süreçleri YSA ile entegre edilerek öteleme parametreleri ortadan kaldırılmıştır. Entegre modelin az sayıdaki parametrelerinin kalibrasyonu için en iyi parametre değerlerini çözüm uzayında arayan genetik algoritmalarından yararlanılmış ve model, kendi parametrelerini otomatik olarak

kalibre edebilen hibrid bir model haline dönüştürülmüştür.

Geliştirilen entegre modelin, GR4J modelinin performansında sağladığı artışları ortaya koymak amacıyla modelleme çalışmaları öncelikle GR4J modeli ile başlamış ardından YSA ve GA entegrasyonlarıyla devam ettirilerek model sonuçları birbirleriyle kıyaslanmıştır.

5.1 GR4J (Génie Rural à 4 paramètres Journalier) Günlük Yağış Akış Modeli

Basit bir yapıya sahip olan GR4J yağış-akış modeli Perrin (2000) tarafından geliştirilen kavramsal, deterministik, toplu ve sürekli bir modeldir [Perrin ve diğ., 2001, Perrin ve diğ., 2003, Vos ve Rientjes, 2005]. Model, tüm kavramsal modellerde olduğu gibi temelde biriktirme ve öteleme elemanlarından oluşmaktadır. Modelin şematik yapısı Şekil 5'te sunulmaktadır.

Modelde günlük akımları tahmin edebilmek için X_1 , X_2 , X_3 ve X_4 olmak üzere dört parametre bulunmaktadır. Bu parametrelerden X_1 (mm) biriktirme elemanının depolama kapasitesini, X_2 (mm) yeraltısuyu değişimini, X_3 (mm) öteleme elemanının depolama kapasitesini, X_4 (gün) ise öteleme elemanı birim hidrografının taban genişliğini ifade eden model parametreleridir.

Havzaya düşen ortalama alansal yağış (P , mm/gün) ve havzanın potansiyel evapotranspirasyon değerleri (E , mm/gün) modelin girdilerini oluşturmaktadır. Potansiyel evapotranspirasyon, Penman-Monteith [Monteith, 1965] gibi bilinen herhangi bir evapotranspirasyon metodu ile tahmin edilebileceği gibi, sunulan çalışmada ortalama hava sıcaklığının bir fonksiyonu olarak dikkate alınmıştır. (Denklem 4.1).

$$E = aT^b \quad (3)$$

Burada, E (mm/gün) potansiyel evapotranspirasyon yüksekliğini, T ($^{\circ}\text{C}$) havzanın ortalama günlük sıcaklığı, a ve b ise evapotranspirasyon parametrelerini ifade etmektedir. Evapotranspirasyonu, günlük hava sıcaklığının üstel bir fonksiyonu olarak ifade

edilmesiyle GR4J modelinin parametre sayısı 4'ten 6'ya çıkmıştır. Model, ilk olarak yağış ile potansiyel evapotranspirasyonu karşılaştırarak yüzeyde kalan net yağışı (P_n , mm/gün) ve net evapotranspirasyon açığını (E_n , mm/gün) hesaplamaktadır (Denklem 4).

$$\begin{aligned} P > E & \quad \text{ise} \quad P_n = P - E \\ & \quad \quad \quad E_n = 0 \\ P < E & \quad \text{ise} \quad P_n = 0 \\ & \quad \quad \quad E_n = E - P \end{aligned} \quad (4)$$

Yüzeyde kalan net yağış miktarının sifıra eşit olmaması durumunda, bu miktarın P_s (mm/gün) kadarı, biriktirme elemanına gönderilmektedir. P_s , biriktirme elemanının depolama kapasitesinin bir fonksiyonu olarak Denklem 5'te tanımlanmaktadır.

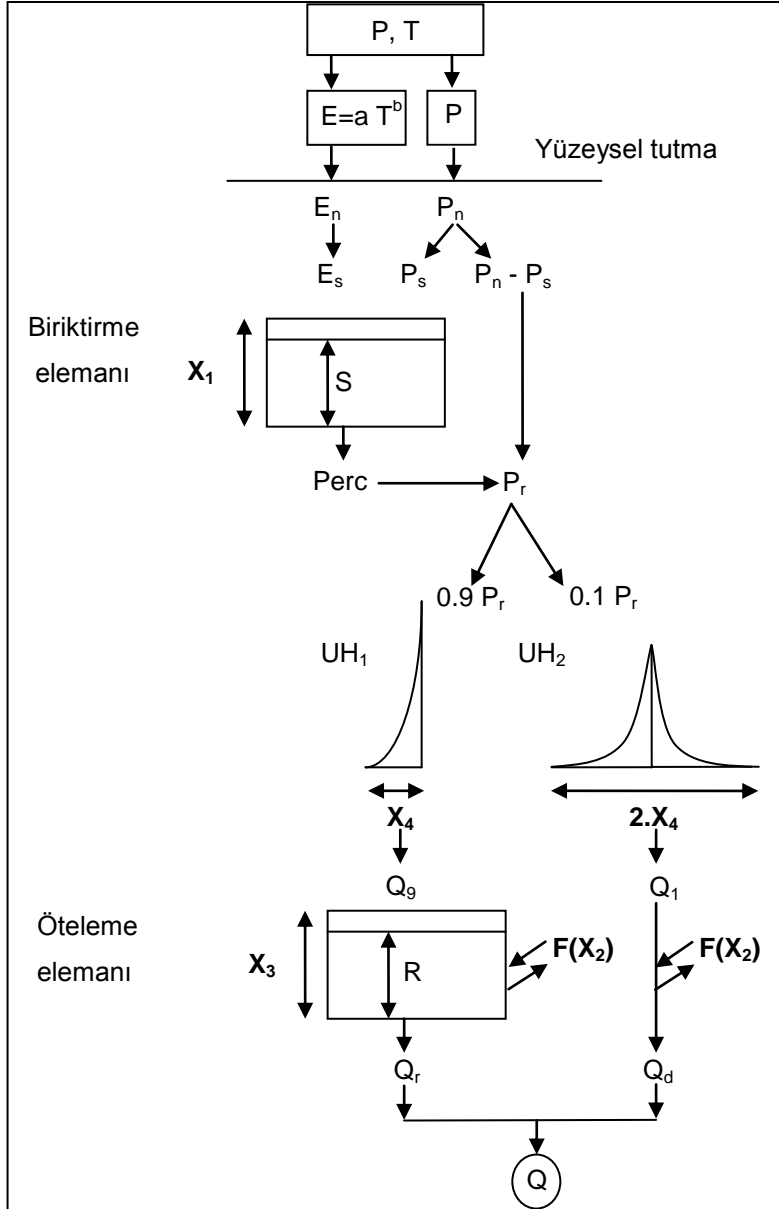
$$P_s = \frac{X_1 \left(1 - \left(\frac{S_{t-1}}{X_1} \right)^2 \right) \tanh \left(\frac{P_n}{X_1} \right)}{1 + \frac{S_{t-1}}{X_1} \tanh \left(\frac{P_n}{X_1} \right)} \quad (5)$$

Burada P_s , biriktirme elemanına geçen yağış yüksekliğini (mm/gün), S bir gün önceki biriktirme elemanı depolamasını (mm), P_n yüzeyde kalan net yağışı (mm/gün), X_1 ise biriktirme elemanı depolama kapasitesini (mm) tanımlamaktadır.

Net evapotranspirasyon açığının (E_n) sifıra eşit olmaması durumunda ise, biriktirme elemanından E_s (mm/gün) kadar evapotranspirasyon kaybı gerçekleşmektedir (Denklem 5).

$$E_s = \frac{S_{t-1} \left(2 - \frac{S_{t-1}}{X_1} \right) \tanh \left(\frac{E_n}{X_1} \right)}{1 + \left(1 - \frac{S_{t-1}}{X_1} \right) \tanh \left(\frac{E_n}{X_1} \right)} \quad (6)$$

Denklem 6'da yer alan E_s , biriktirme elemanından çekilen evapotranspirasyonu (mm/gün), E_n ise net evapotranspirasyon açığını (mm/gün) tanımlamaktadır.



Şekil 5. GR4J günlük yağış akış modeli yapısı [Perrin, 2003]

Biriktirme elemanına giren (P_s) ve çıkan (E_s) su yüksekliklerinin belirlenmesiyle süreklilik denklemleri yazılacak olursa, biriktirme elemanında güncellenen su yüksekliği Denklem 7 ile hesaplanmaktadır.

$$S_t = S_{t-1} + P_{s,t} - E_{s,t} \quad (7)$$

Burada, S , biriktirme elemanında depolanan su yüksekliğini (mm/gün) ifade etmektedir.

Modelde, biriktirme elemanından perkolasyon yoluyla çıkan akım yüksekliği ($Perc$, mm/gün) ise Denklem 8 ile hesaplanmaktadır.

$$Perc_t = S_t \left[1 - \left[1 + \left(\frac{4 S_t}{9 X_1} \right)^4 \right]^{-1/4} \right] \quad (8)$$

Bu durumda, biriktirme elemanında su bütçesi tekrar yazılarak, depolanan su miktarı Denklem 9 ile güncellenmektedir.

$$S_t = S_{t-1} - Perc_t \quad (9)$$

Ötelenme elemanına giden su yüksekliği, net yağıştan kalan su yüksekliği ($P_n - P_s$) ile perkolasyonla gelen su yüksekliklerinin toplamı şeklinde ifade edilmektedir (Denklem 10).

$$P_{r,t} = Perc_t + (P_n - P_s)_t \quad (10)$$

Burada P_r , öteleme elemanına gönderilen su yüksekliğini (mm/gün) ifade etmektedir.

Modelde öteleme elemanına gönderilen su miktarı (P_r), iki bileşene ayrılmaktadır. Birinci bileşen, P_r 'nin %90'ını oluşturmaktadır. Bu su yüksekliği, taban genişliği X_4 gün olan birim hidrograf ile akıma dönüştürülerek öteleme elemanının girdi akımını (Q_{90}) oluşturmaktadır. İkinci bileşen, P_r 'nin kalan %10'luk kısmından meydana gelmektedir. İkinci bileşen ise taban genişliği $2.X_4$ gün olan birim hidrograf ile akıma dönüştürülerek Q_{10} akım değeri hesaplanmaktadır.

X_4 ve $2.X_4$ taban genişlikli birim hidrograflar Denklem 11'de verilen SH hidrografları kullanılarak elde edilmektedir.

S hidrografları bulunduktan sonra UH1 ve UH2 birim hidrograflarının ordinatları Denklem 12 ile hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} t \leq 0 \quad SH1(t) = 0; \quad SH2(t) = 0 \\ 0 < t \leq X_4, \quad SH1(t) = \left(\frac{t}{X_4}\right)^{5/2} \\ SH2(t) = \frac{1}{2} \left(\frac{t}{X_4}\right)^{5/2} \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} X_4 < t \leq 2X_4, \quad SH1(t) = 1 \\ SH2(t) = 1 - \frac{1}{2} \left(2 - \frac{t}{X_4}\right)^{5/2} \\ t > 2X_4 \quad SH1(t) = 1; \quad SH2(t) = 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} UH1(j) = SH1(j) - SH1(j-1) \\ UH2(j) = SH2(j) - SH2(j-1) \end{aligned} \quad (12)$$

X_4 ve $2.X_4$ günlük birim hidrografları kullanılarak Q_{10} ve Q_{90} akım yükseklikleri Denklem 13'ten hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} Q_{10} = 0.1 \sum_{k=1}^l UH1(k) P_r (i-k+1) \\ Q_{90} = 0.9 \sum_{k=1}^m UH1(k) P_r (i-k+1) \end{aligned} \quad (13)$$

Denklem 13'te l, X_4 günden büyük en küçük tamsayıyı, m ise $2.X_4$ günden büyük en küçük tamsayıyı ifade etmektedir.

Modelde yeraltısuyu yüksekliğindeki değişimler ise, öteleme elemanı depolamasında ve Q_{10} akım yüksekliğinde değişimlere neden

olmaktadır. Yeraltısuyu yüksekliğindeki bu değişimler, öteleme elemanı depolamasının bir fonksiyonu olarak Denklem 14 ile hesaplanmaktadır.

$$F_t = X_2 \left(\frac{R_t}{X_3}\right)^{7/2} \quad (14)$$

Denklem 14'te, F yeraltısuyu yüksekliğindeki değişimleri (mm), R öteleme elemanı depolama yüksekliğini (mm), X_2 yeraltısuyu yüksekliği değişim katsayısını (mm), X_3 ise öteleme depolaması kapasitesini (mm) ifade etmektedir.

X_2 model parametresi pozitif ve negatif değerler alabilmektedir. X_2 değerinin pozitif olması öteleme elemanına yeraltısuyundan su girişi olduğunu, negatif değer alması da öteleme depolamasından yeraltısuyuna doğru su çıkışı olduğunu göstermektedir.

Öteleme elemanına giren ve çıkan akım yüksekliklerinin hesaplanmasıyla bu eleman için güncellenen su yüksekliği Denklem 15'ten hesaplanmaktadır.

$$R_t = R_{t-1} + Q_{90,t} \mp F_t \quad (15)$$

Öteleme elemanından çıkan akım yüksekliği (Q_r) ise Denklem 16'da verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$Q_{r,t} = R_t \left\{ 1 - \left[1 + \left(\frac{R_t}{X_3}\right)^4 \right]^{-1/4} \right\} \quad (16)$$

Öteleme elemanından çıkan akım yüksekliğinin hesaplanmasıyla bu tabakada depolanan su yüksekliği Denklem 17 ile güncellenmektedir.

$$R_t = R_{t-1} - Q_{r,t} \quad (17)$$

UH2 birim hidrografi ile hesaplanan Q_{10} akım yüksekliğinin yeraltısuyu yüksekliği ile etkileşimi Denklem 18'de verilmiştir.

$$Q_{d,t} = Q_{10,t} \mp F_t \quad (18)$$

Modelin çıktısını oluşturan toplam akım yüksekliği (Q_m), öteleme elemanından çıkan akım yüksekliği (Q_r) ile Q_d akım yüksekliklerinin toplamı ile (Denklem 19) bulunmaktadır.

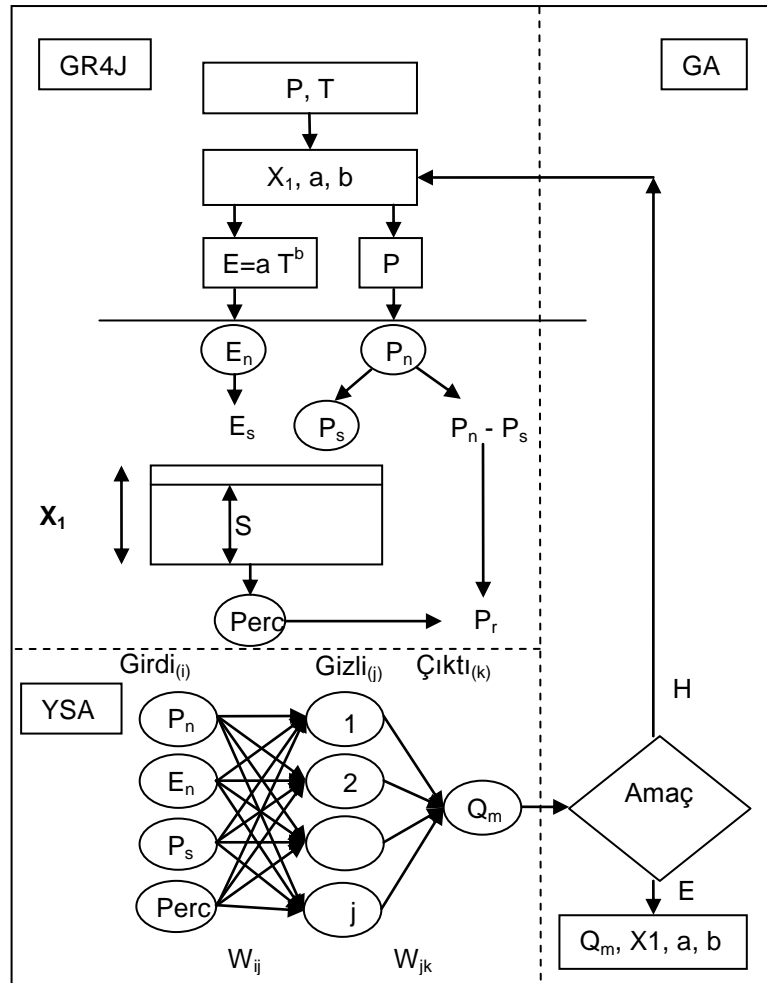
$$Q_{m,t} = Q_{r,t} + Q_{d,t} \quad (19)$$

5.2 GR4J-YSA-GA Entegre Günlük Yağış Akış Modeli

GR4J kavramsal günlük yağış akış modeline ilk olarak yapay sinir ağlarının entegrasyonu gerçekleştirilmiştir. Net yağış (P_n) ve biriktirme elemanına giren yağış (P_s), net evapotranspirasyon açığı (E_n) ve biriktirme elemanından çıkan akım (Perc), YSA'nın temel girdilerini oluşturmakta ve GR4J modelinin öteleme elemanı yerine öteleme işlemini YSA'nın gerçekleştirmesi sağlanmıştır.

Modelde kullanılan yapay sinir ağları 1 gizli tabakadan oluşmakta ve gizli tabakadaki nöron sayıları 1'den 10'a kadar değişmektedir. GR4J-YSA-GA entegre modelinde kullanılan ağlarda sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve eğitim algoritması Levenberg – Marquardt algoritması kullanılmıştır. GR4J modeline YSA'nın entegrasyonu sayesinde GR4J modelinin X_2 , X_3 ve X_4 model parametreleri ortadan kaldırılmıştır.

Böylece model X_1 , a ve b olmak üzere 3 parametrelili hale dönüştürülmüştür. Modele genetik algoritmanın da entegre edilmesi sonucunda, GR4J modelinden gelen biriktirme elemanı depolama kapasitesini tanımlayan X_1 ve evapotranspirasyon parametreleri olan a ve b parametreleri GA ile kalibre edilmektedir. GR4J-YSA-GA entegre modelinin girdi verileri günlük yağış ve günlük potansiyel evapotranspirasyon değerleridir. Model genetik algoritma ile nihai parametreler olan X_1 , a ve b'yi tanımlayıp yapay sinir ağlarının girdilerini oluşturan P_n , E_n , P_s ve Perc değerleri kullanılarak model akım yüksekliklerini hesaplanmaktadır. Model, ağın ürettiği sonuçlar ile ölçülen akımlar arasında tanımlanan amaç fonksiyonlarının uygunluğunu kontrol ederek GA ile model parametrelerinin en uygun değerlerini aramaktadır.



Şekil 6. GR4J-YSA-GA entegre günlük yağış akış modeli

5.3 Modellerin Performans Kriterleri

GR4J-YSA-GA modelinde ve GR4J modellerin kalibrasyon ve verifikasyon performansları belirlenirken model sonuçları ile gözlenen akımlar arasındaki hataların minimum olması amaçlanmıştır. Çalışmada, Nash– Sutcliffe (NS) (1970) kriteri (Denklem 20), determinasyon katsayısı (R^2) (Denklem 21), karesel hataların toplamını (KH) (Denklem 22) ve ortalama karesel hataların karekökü (OKHK) (Denklem 23) performans kriterleri olarak belirlenmiştir. NS ve R^2 değerlerinin maksimum ve KH ve OKHK değerlerinin de minimum olduğu model parametreleri araştırılmıştır.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{t=1}^N (Q_{g,t} - Q_{m,t})^2}{\sum_{t=1}^N (Q_{g,t} - \overline{Q_g})^2} \quad (20)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^N (Q_{g,t} - Q_{m,t})^2}{\sum_{t=1}^N Q_{g,t}^2} \quad (21)$$

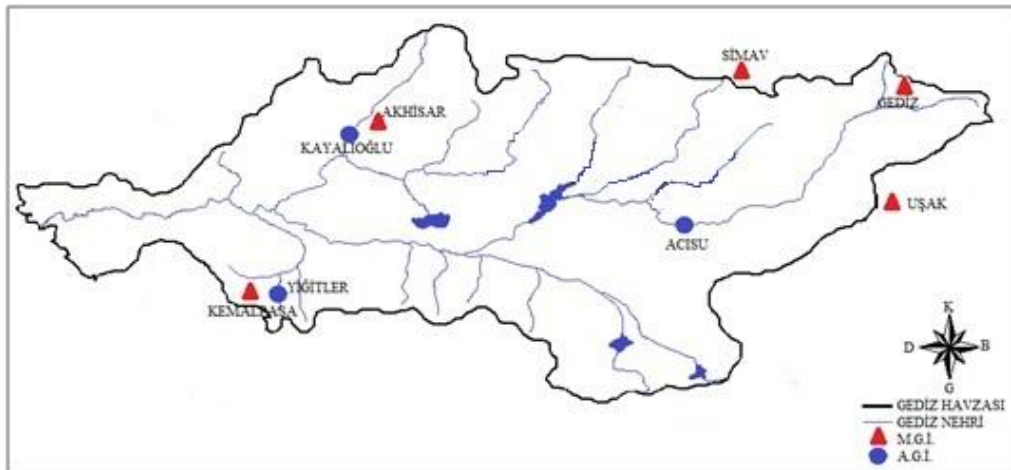
$$KH = \sum_{t=1}^N (Q_{g,t} - Q_{m,t})^2 \quad (22)$$

$$OKHK = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (Q_{g,t} - Q_{m,t})^2} \quad (23)$$

Denklemlerde, Q_g , gözlenen günlük akım yüksekliğini, Q_m , modelden elde edilen günlük akım yüksekliğini, $\overline{Q_g}$, gözlenen günlük akım yüksekliklerinin ortalamasını, N veri sayısını ifade etmektedir.

6 GR4J ve GR4J-YSA-GA GÜNLÜK YAĞIŞ AKIŞ MODELLERİNİN GEDİZ HAVZASINDA UYGULANMASI

Gediz Havzası'nda üzerinde herhangi bir akarsu yapısı (baraj, bağlama) bulunmayan Murat (Acısu AGİ), Medar (Kayalıoğlu AGİ) ve Yiğitler (Yiğitler AGİ) althavzalarına ait günlük akımlar, GR4J ve GR4J-YSA-GA günlük yağış akış modelleri kullanılarak modellenmiştir. Günlük akımların modellenmesinde kullanılan yağış ve sıcaklık değerleri althavzaları temsil eden Uşak, Gediz, Simav, Akhisar ve Kemalpaşa meteoroloji gözlem istasyonlarından alınmıştır. Gediz Havzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan akım gözlem istasyonları (AGİ) ve meteoroloji istasyonlarının (MGİ) konum ve isimleri Şekil 7'de ve akım istasyonlarının, koordinatları, drenaj alanları ve istasyonlarda ölçülen uzun dönem ortalama, minimum ve maksimum akımlar Çizelge 1'de verilmektedir. Çizelge 5.2'de ise Gediz Havzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan meteoroloji gözlem istasyonları, istasyonların konumları ve istasyonlarda ölçülen günlük ortalama, minimum ve maksimum sıcaklıklar ve istasyonlarda gözlenen yıllık ortalama yağış yükseklikleri ve maksimum yağış yükseklikleri Çizelge 2'de özetlenmiştir.



Şekil 7. Gediz Havzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan akım gözlem istasyonları ve meteoroloji gözlem istasyonları.

Çizelge 1. Gediz Havzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan akım gözlem istasyonları, istasyonların konumları, drenaj alanları ve istasyonda ölçülen uzun dönem ortalama, minimum ve maksimum akımlar.

Althavza	İstasyon adı ve numarası	Coğrafi konumu	Drenaj alanı (km ²)	Ortalama günlük akım (m ³ /s)	Minimum akım (m ³ /s)	Maksimum akım (m ³ /s)
Murat	Acısu (EİE 523)	28° 43' D 38° 38' K	3272	9,36	0,006	1290
Medar	Kayalıoğlu (EİE 509)	27° 46' D 38° 53' K	901,6	2,86	KURU	433
Yiğitler	Yiğitler (EİE 525)	27° 36' D 38° 24' K	64	0,68	KURU	153

Çizelge 2. Gediz Havzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan MGİ'ler

İstasyon	Coğrafi konumu	Kot (m)	Ortalama günlük sıcaklık (°C)	Minimum günlük sıcaklık (°C)	Maksimum günlük sıcaklık (°C)	Ortalama yıllık yağış (mm)	Maksimum yağış (mm)
Uşak (17188)	29° 24' D 38° 41' K	919	12,5	-15,4	40,2	528,9	64,3
Gediz (17750)	29° 25' D 39° 03' K	736	12,5	-22,0	42,4	564,9	75
Simav (17748)	28° 59' D 39° 05' K	809	11,7	-19,0	38,8	783,4	165
Akhisar (17184)	27° 51' D 38° 54' K	93	16,1	-13,2	44,6	559,5	123
Kemalpaşa (5785)	27° 41' D 38° 43' K	200	16,0	-2,2	34,9	820,1	185,3

6.1 Murat althavzası günlük akımlarının GR4J ve GR4J-YSA-GA entegre yağış akış modeli ile modellenmesi

Murat althavzası günlük akımlarının modellenmesinde Acısu (EİE 523) AGİ'nde ölçülen akımlar kullanılmıştır (Şekil 6.1). Günlük akımların modellenmesi çalışmalarında, model parametrelerinin kalibrasyonunda 2003-2004 su yılları, verifikasyonunda ise 2005-2006 su yılları kullanılmıştır. Modellerde kullanılan alansal yağış ve alansal ortalama sıcaklık değerleri, havzayı temsil eden Uşak (17188), Gediz (17750) ve Simav (17748) MGİ'leri kullanılarak hesaplanmıştır (Şekil 7).

GR4J günlük yağış akış modelinin girdisini oluşturan alansal potansiyel evapotranspirasyon yükseklikleri (mm), alansal ortalama sıcaklığın fonksiyonu olarak Denklem 3 ile hesaplanmıştır. Modelde althavzanın biriktirme elemanı doygunluk oranı başlangıçta %30 olarak kabul edilmiştir. 2003 ve 2004 su yılları kullanılarak kurulan modelin kalibrasyonu sonucunda, GR4J modeline ait X_1 , X_2 , X_3 ve X_4 parametreleri ile alansal potansiyel evapotranspirasyon hesaplanmasında kullanılan a ve b parametreleri Çizelge 3'te verilmektedir. Kalibrasyon sonucunda parametrelerin uygululuk göstergesi olan NS değeri 0,822; determinasyon katsayısı (R^2) değeri

0,836 verifikasyon sürecinde ise NS değeri 0.819 ve R^2 değeri 0,846 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3. Murat althavzasında kurulan GR4J modelinin kalibrasyonu sonucunda hesaplanan model parametreleri

X_1 (mm)	184,28
X_2 (mm)	-25,20
X_3 (mm)	91,21
X_4 (gün)	0,99
a	0,0869
b	0,1694

GR4J- modeline YSA ve GA'nın entegrasyonu ile geliştirilen GR4J-YSA-GA günlük akım modelinde, kalibre edilmesi gereken parametreler, GR4J modelinin biriktirme elemanı depolaması (X_1 , mm) ve potansiyel evapotranspirasyon parametreleri olan a ve b katsayılarıdır. Parametrelerin kalibrasyonunda, parametrelerin değişim aralığı tanımlanırken, GR4J modelinde bulunan değerler ve parametrelerin fiziksel sınırları dikkate alınmıştır. Buna bağlı olarak, GR4J -YSA-GA günlük akım modelinde X_1 parametresinin değişim aralığının alt sınırı 160 mm, üst sınırı 200 mm olarak modele verilmiştir. a parametresinin alt sınırı 0,07 üst sınırı 0,09 ve b parametresinin alt sınırı 0,15 üst sınırı 0,18 olarak modele tanıtılmıştır. Modelin genetik

algoritma operatöründe, popülasyon genişliği 20 ve popülasyonun yeniden üretimi sıralı seçim yöntemiyle yapılmıştır. Pozisyona dayalı çaprazlama yöntemi ile yapılan çaprazlamada, çaprazlama oranı 0,5 olarak alınmıştır. Keyfi üç geni yer değiştirmeye dayanan mutasyon işleminde ise mutasyon oranı 0,1 olarak seçilmiştir. GR4J-YSA-GA akış modelindeki YSA operatöründe ise GR4J-YSA modelinde en iyi sonuç veren YSA yapısı kullanılmıştır. GR4J-YSA günlük akım modelinde en iyi model sonucu, geçmiş 3 güne ait P_n , E_n , P_s , Perc parametreleri kullanarak elde edilmiştir. Bu ağır eğitimi, gizli tabakasında 4 hücre, öğrenme oranı 0,12 alınarak 55 iterasyon sonucunda gerçekleştirilmiştir. Murat althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA-GA günlük akım modelinin kalibrasyonu 11 jenerasyon sonucunda tamamlanmıştır. GR4J-YSA-GA kalibrasyonunda bulunan model parametreleri Çizelge 4'te sunulmaktadır.

Çizelge 4. Murat althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA modelinin kalibrasyonunda hesaplanan model parametreleri

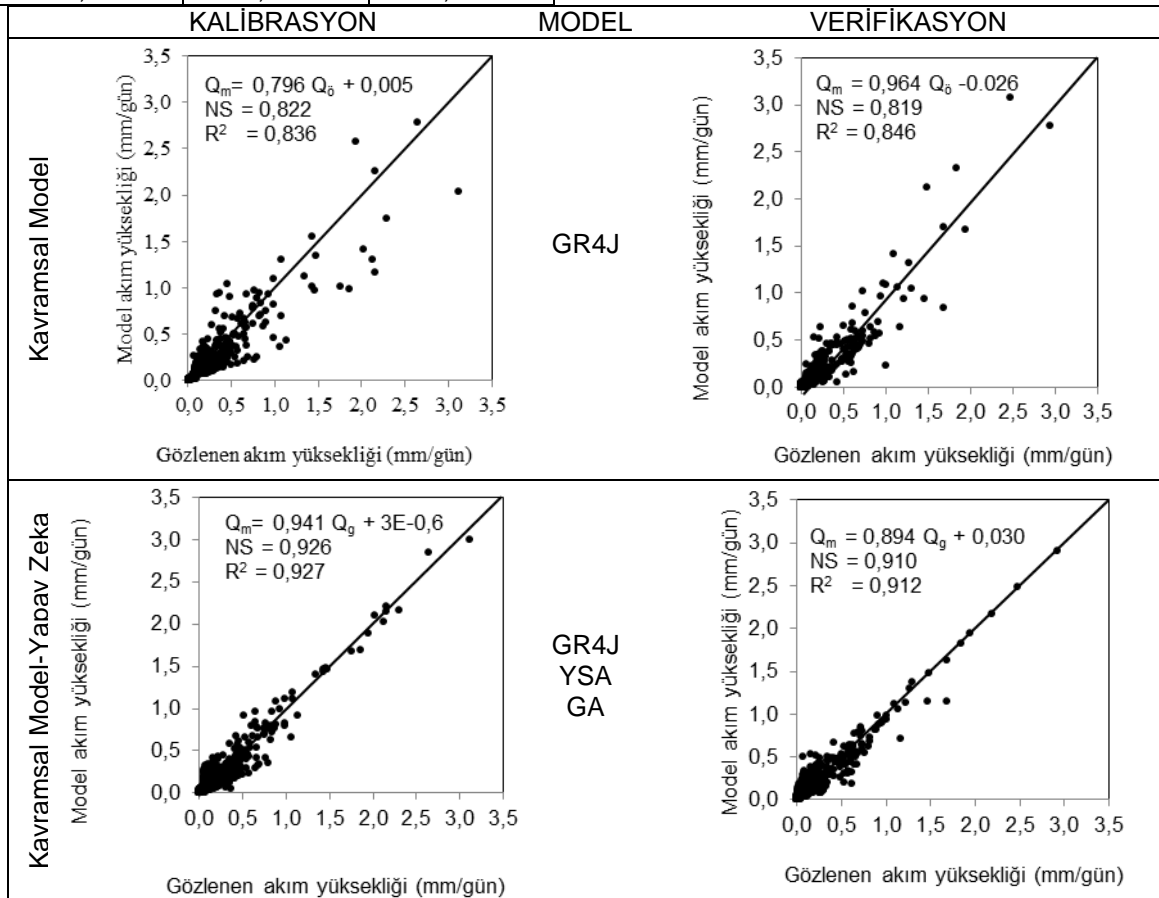
X_1 (mm)	a	b
179,486	0,081	0,161

Model kalibrasyonunda bulunan model akım yüksekliği ile gözlenen akım arasındaki NS değeri 0,926 ve R^2 0,927, verifikasyonunda ise NS değeri 0.910 ve R^2 değeri 0.912 olarak hesaplanmıştır.

GR4J modeli ve GR4J-YSA-GA entegre modelinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramları Şekil 8'de model sonuçlarının temel istatistikleri ile performans kriterleri de Çizelge 5'te sunulmaktadır.

6.2 Medar althavzası günlük akımlarının GR4J ve GR4J-YSA-GA entegre yağış akış modeli ile modellenmesi

Medar althavzası günlük akımlarının modellenmesinde Kayalıoğlu (EİE 509) AGİ'nde gözlenen akımlar kullanılmıştır. Medar althavzası günlük akımlarının modellenmesi çalışmalarında, model parametrelerinin kalibrasyonunda 2005 su yılı ve verifikasyonunda ise 2006 su yılı kullanılmıştır.



Şekil 8. Murat althavzası günlük akımları için kurulan GR4J ve GR4J-YSA-GA modellerinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramları

Çizelge 5. Murat althavzası günlük akım yüksekliklerinin GR4J ve GR4J-YSA-GA modellerinde hesaplanan kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerine ait istatistikler ve model performans kriterleri

İstatistikler	Kalibrasyon			Verifikasyon		
	Gözlenen	GR4J	GR4J-YSA-GA	Gözlenen	GR4J	GR4J-YSA-GA
Ortalama (mm/gün)	0,199	0,163	0,187	0,168	0,136	0,181
Standart Sapma (mm/gün)	0,328	0,285	0,321	0,292	0,306	0,274
Çarpıklık	4,206	4,315	4,492	4,266	6,340	4,621
NS		0,822	0,926		0,819	0,910
R ²		0,836	0,927		0,846	0,912
KH		13,986	5,845		11,379	5,636
OKHK		0,195	0,127		0,176	0,124

Modellerde kullanılan alansal yağış ve alansal ortalama sıcaklık değerleri, havzayı temsil eden Akhisar MGİ'ndeki rasatlardan yararlanılmıştır. Medar althavzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan Kayalıoğlu (EİE 509) AGİ ile Akhisar (17184) MGİ Şekil 7'de gösterilmektedir.

GR4J günlük yağış akış modelinin girdisini oluşturan alansal potansiyel evapotranspirasyon yükseklikleri (mm), alansal ortalama sıcaklığın fonksiyonu olarak Denklem 3 ile hesaplanmıştır. Model kalibrasyonunun başlangıcında, Medar Çayı'nda akım gözlenmediği için modelin biriktirme elemanında mevcut bir depolama olmadığı kabul edilmiştir. 2005 su yılı kullanılarak kurulan modelin kalibrasyonu sonucunda bulunan, GR4J modeline ait parametreler Çizelge 6'da verilmektedir. Kalibrasyon sonucunda parametrelerin performans uygunluk kriterleri olan NS değeri 0,822 ve R² değeri 0,845, 2006 su yılı ile kullanılarak gerçekleştirilen verifikasyonunda ise NS değeri 0,811 ve R² değeri ise 0,831 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6. Medar althavzasında kurulan GR4J günlük akım modelinin kalibrasyonun bulunan model parametreleri

X ₁ (mm)	285,11
X ₂ (mm)	-9,93
X ₃ (mm)	55,2
X ₄ (gün)	0,51
a	0,0688
b	0,1722

Medar althavzasının günlük akımlarının GR4J-YSA-GA entegre günlük yağış akış modeliyle modellenirken parametrelerin kalibrasyonunda, parametrelerin değişim aralığı tanımlanırken GR4J modelinde bulunan değerler ve parametrelerin fiziksel sınırları dikkate alınmıştır. GR4J modelinde, X₁ parametresi 288,11 mm, a parametresi 0,0688 ve b parametresi 0,1722 olarak bulunmuştur. Buna bağlı olarak, GR4J-YSA-GA günlük akım modelinde X₁ parametresinin değişim aralığının

alt sınırı 260 mm, üst sınırı 310 mm, a parametresinin alt sınırı 0,05 üst sınırı 0,07 ve b parametresinin alt sınırı 0,153 üst sınırı 0,19 olarak modele tanıtılmıştır. Modelin genetik algoritma operatöründe popülasyonun yeniden üretimi, sıralı seçim yöntemiyle yapılmış ve popülasyon genişliği 30 olarak alınmıştır. Pozisyona dayalı çaprazlama yöntemi ile yapılan çaprazlamada, çaprazlama oranı 0,3 olarak alınmıştır. Keyfi üç geni yer değiştirmeye dayanan mutasyon işleminde mutasyon olasılığı ise 0,05 olarak seçilmiştir.

GR4J-YSA-GA akış modelindeki YSA operatöründe ise GR4J-YSA modelinde en iyi sonuç veren YSA yapısı kullanılmıştır. GR4J-YSA günlük akım modelinde en iyi model sonucu, geçmiş 3 güne ait P_n, E_n, P_s ve Perc girdileri kullanılarak elde edilmiştir. YSA operatöründe ağın eğitimi, gizli tabakasında 8 hücre kullanıldığında, öğrenme oranı 0,1 alınarak 30 iterasyon sonucunda gerçekleştirilmiştir.

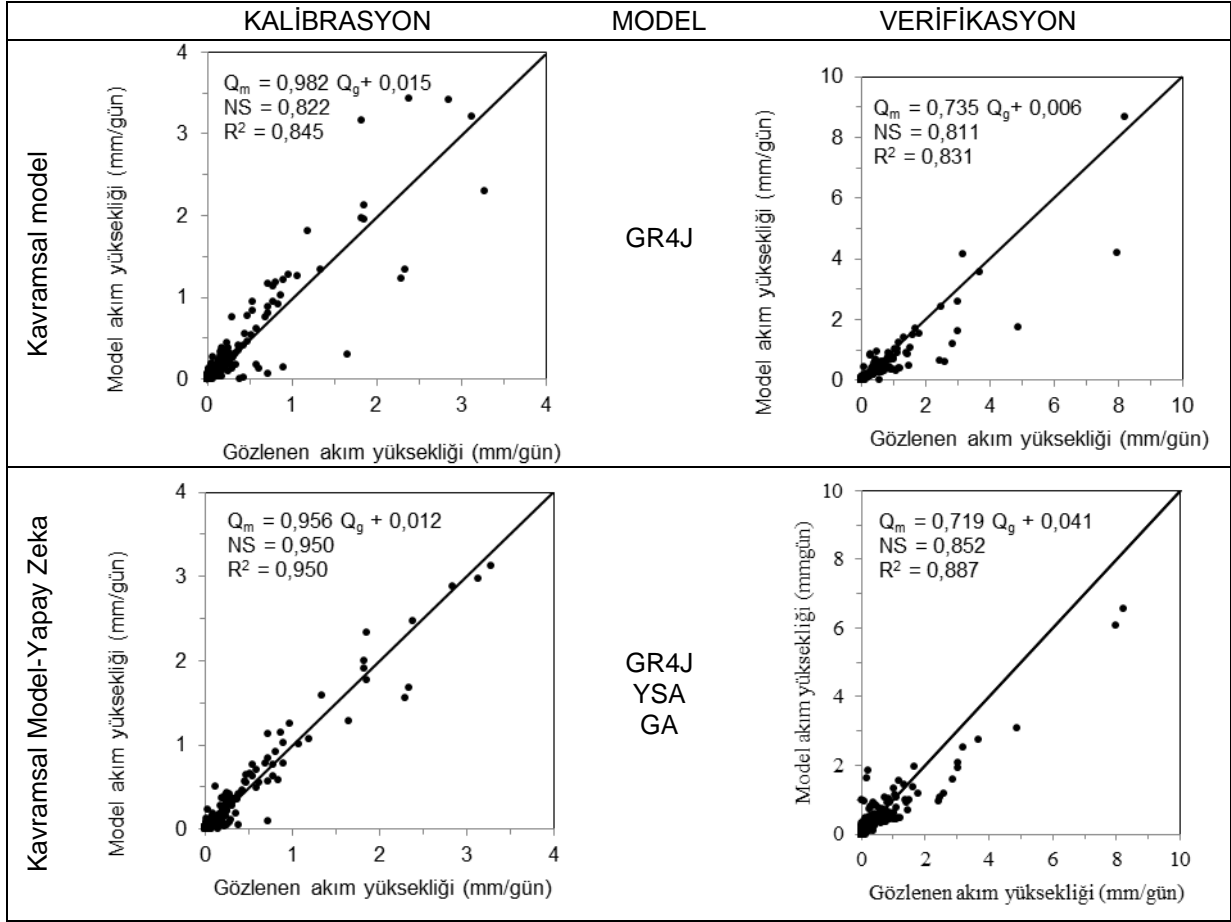
Medar althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA-GA günlük yağış akış modelinin 42 jenerasyon sonucunda bulunan parametreleri değerleri Çizelge 7'de sunulmaktadır.

Çizelge 7. Medar althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA entegre modelin parametre değerleri

X ₁ (mm)	a	b
290,219	0,072	0,153

Model kalibrasyonunda bulunan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yükseklikleri arasında NS ve R² değerleri 0,950 ve verifikasyonunda ise değeri 0,852 ve R² değeri 0,887 olarak hesaplanmıştır.

GR4J ve GR4J-YSA-GA modellerinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki akım yükseklikleri ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramları Şekil 9'da, model sonuçlarının temel istatistikleri ile performans kriterleri de Çizelge 8'de sunulmaktadır



Şekil 9. Medar althavzası günlük akımları için kurulan GR4J ve GR4J-YSA-GA modellerinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramları

Çizelge 8. Medar althavzası günlük akım yüksekliklerinin GR4J ve GR4J-YSA-GA modellerinde hesaplanan kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerine ait istatistikler ve model performans kriterleri

İstatistikler	Kalibrasyon			Verifikasyon		
	Gözlenen	GR4J	GR4J-YSA-GA	Gözlenen	GR4J	GR4J-YSA-GA
Ortalama (mm/gün)	0,172	0,184	0,177	0,312	0,235	0,265
Standart Sapma (mm/gün)	0,437	0,467	0,429	0,812	0,654	0,620
Çarpıklık	4,407	4,546	4,240	6,192	7,922	6,124
NS		0,822	0,950		0,811	0,852
R ²		0,845	0,950		0,831	0,887
KH		12,405	3,526		45,444	35,626
OKHK		0,130	0,098		0,249	0,312

6.2 Yiğitler althavzası günlük akımlarının GR4J ve GR4J-YSA-GA entegre yağış akış modeli ile modellenmesi

Yiğitler althavzası günlük akımlarının modellenmesinde Yiğitler (EİE 525) AGİ'nde gözlenen akımlar kullanılmıştır. Günlük akımlarının modellenmesi çalışmalarında model parametrelerinin kalibrasyonunda 1995 su yılı ve verifikasyonunda ise 1996 su yılı kullanılmıştır. Modellerde kullanılan alansal yağış ve alansal ortalama sıcaklık değerleri, havzayı temsil eden Kemalpaşa MGİ'ndeki

rasatlar kullanılmıştır. Yiğitler althavzası günlük akımlarının modellenmesinde kullanılan Yiğitler (EİE 525) AGİ ile Kemalpaşa (5785) MGİ Şekil 7'de gösterilmektedir.

GR4J yağış akış modelinin girdisini oluşturan alansal potansiyel evapotranspirasyon yükseklikleri (mm), alansal ortalama sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Denklem 3 ile hesaplanmıştır. Model kalibrasyonunun başlangıcında, Yiğitler Çayı'nda akım gözlenmediği için modelin biriktirme

elemanında mevcut bir depolama olmadığı kabul edilmiştir. 1995 su yılı kullanılarak kurulan modelin kalibrasyonu sonucunda, GR4J modeline ait X_1 , X_2 , X_3 ve X_4 parametreleri ile alansal potansiyel evapotranspirasyon hesaplanmasında kullanılan a ve b parametreleri Çizelge 9'da verilmektedir. Kalibrasyon sonucunda parametre uygunluk göstergeleri olan NS değeri 0,843 ve R^2 değeri ise 0,841 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 9. Yiğitler althavzasında kurulan GR4J modelinin kalibrasyonunda bulunan model parametreleri

X_1 (mm)	175,33
X_2 (mm)	-35,20
X_3 (mm)	325,11
X_4 (gün)	0,47
a	0,0010
b	0,3023

GR4J-YSA-GA günlük akım modelinin kalibrasyonunda, parametrelerin değişim aralığı tanımlanırken, GR4J modelinde bulunan değerler ve parametrelerin fiziksel sınırları dikkate alınmıştır. GR4J modeli ile Yiğitler althavzası günlük akımlarının modellenmesinde, X_1 parametresi 175,33 mm, a parametresi 0,0010 ve b parametresi 0,3023 olarak bulunmuştur. Buna bağlı olarak, GR4J-YSA-GA günlük akım modelinde X_1 parametresinin değişim aralığının alt sınırı 150 mm, üst sınırı 200 mm, a parametresinin alt sınırı 0,0008 üst sınırı 0,0012 ve b parametresinin ise alt sınırı 0,28 üst sınırı 0,32 olarak modele tanıtılmıştır. Modelin genetik algoritma operatöründe popülasyonun yeniden üretimi, sıralı seçim yöntemiyle yapılmış ve popülasyon genişliği 25 olarak alınmıştır. Pozisyona dayalı çaprazlama yöntemi ile

Çizelge 11. Yiğitler althavzası günlük akım yüksekliklerinin GR4J ve GR4J-YSA-GA modellerinde hesaplanan kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerine ait istatistikler ve model performans kriterleri

İstatistikler	Kalibrasyon			Verifikasyon		
	Gözlenen	GR4J	GR4J-YSA-GA	Gözlenen	GR4J	GR4J-YSA-GA
Ortalama (mm/gün)	1,065	0,998	1,058	0,771	0,687	0,792
Standart Sapma (mm/gün)	1,488	1,693	1,496	1,311	1,121	1,115
Çarpıklık	2,057	2,827	2,392	5,002	3,457	3,432
NS		0,843	0,872		0,791	0,861
R^2		0,841	0,875		0,756	0,866
KH		169,09	104,375		156,708	88,232
OKHK		0,481	0,535		0,463	0,492

yapılan çaprazlamada, çaprazlama oranı 0,5 olarak alınmıştır. Keyfi üç geni yer değiştirmeye dayanan mutasyon işleminde mutasyon olasılığı ise 0,1 olarak seçilmiştir.

GR4J-YSA-GA akış modelindeki YSA operatöründe ise GR4J-YSA modelinde en iyi sonuç veren YSA yapısı kullanılmıştır. GR4J-YSA günlük akım modelinde en iyi model sonucu, bugünkü P_n , E_n , P_s ve Perc girdileri ile elde edilmiştir. YSA operatöründe ağın eğitimi, gizli tabakada 8 hücre kullanıldığında, öğrenme oranı 0,04 alınarak 45 iterasyon sonucunda gerçekleştirilmiştir.

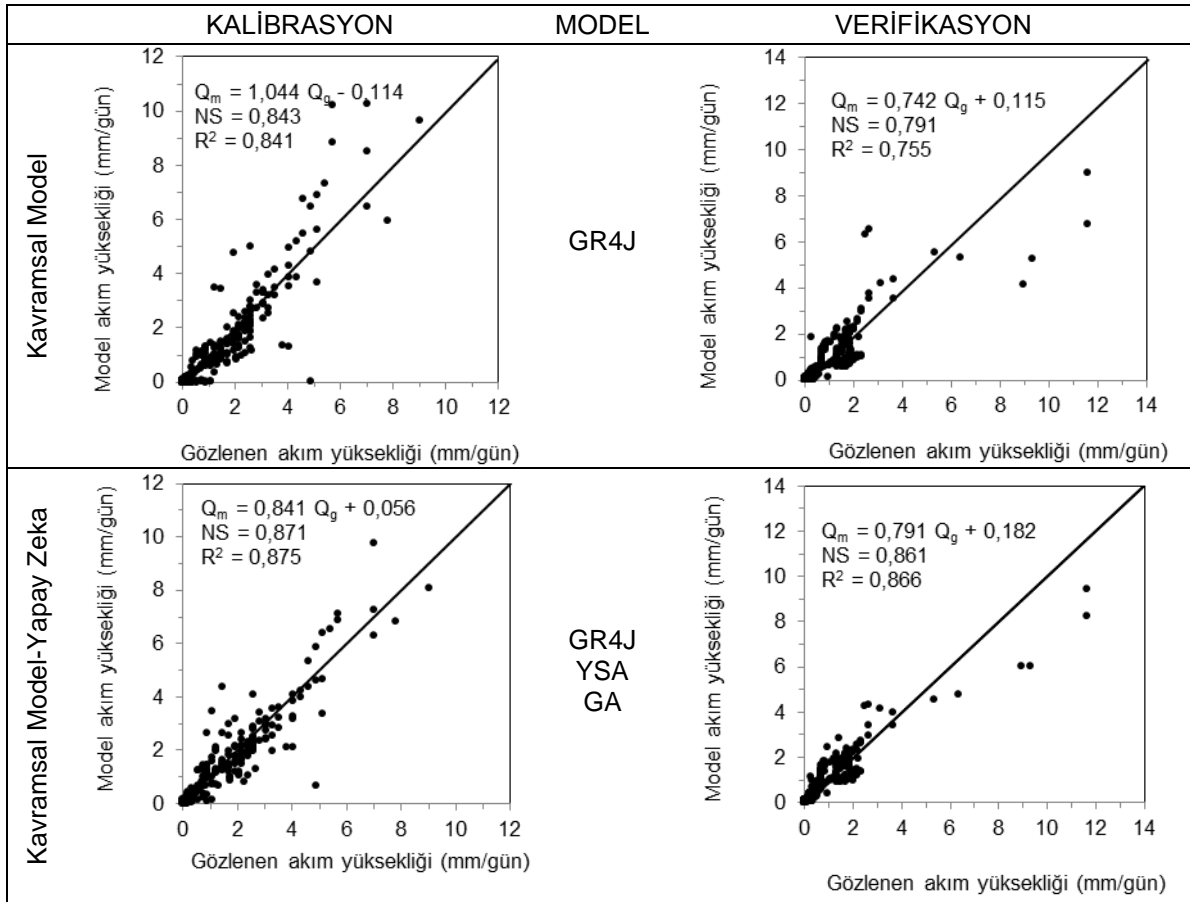
Yiğitler althavzası günlük akımları için kurulan GR4J-YSA-GA günlük yağış akış modelinin 84 jenerasyon sonucunda bulunan model parametre değerleri Çizelge 10'da sunulmaktadır.

Çizelge 10. Yiğitler althavzasında kurulan GR4J-YSA-GA entegre modeli parametre değerleri

X_1 (mm)	a	b
180,684	0,001	0,284

Entegre modelin kalibrasyonunda bulunan akım yükseklikleri ile gözlenen akım yükseklikleri arasındaki NS değeri 0,871 ve R^2 değeri ise 0,875; verifikasyonunda ise NS değeri 0,861 ve R^2 değeri ise 0,866 olarak hesaplanmıştır.

GR4J ve GR4J-YSA-GA modellerinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki model sonuçlarının temel istatistikleri ile performans kriterleri de Çizelge 11'de, model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramları Şekil 10'da sunulmaktadır.



Şekil 10. Yiğitler althavzası günlük akımları için kurulan GR4J ve GR4J-YSA-GA modellerinin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki model sonuçları ile gözlenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramları

7 SONUÇLAR

Kavramsal GR4J modeli, YSA modelleri ve tez çalışmasında geliştirilen GR4J-YSA, GR4J-YSA-GA entegre günlük yağış akış modellerinin havza genelindeki performansları incelendiğinde, YSA ve GA entegrasyonunun model performanslarını hissedilir ölçüde arttırdığı belirlenmiştir.

İlgili şekillerde ve çizelgelerde verilen, Gediz havzası günlük akımlarının tahmininde kullanılan modellerin kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerindeki Nash-Stucliffe (NS) ile modellerin karesel hataları (KH) incelendiğinde, en düşük Nash-Stucliffe performansları ile en yüksek karesel hatalar YSA'lar ile kurulan günlük yağış-akış modellerinde gözlenmiştir. Kavramsal GR4J modelinin Nash-Stucliffe performansları ise modele yapay sinir ağlarının entegrasyonu ile önemli ölçüde artarken karesel hataları önemli ölçüde azalmaktadır. GR4J modeline YSA ve GA'nın entegrasyonu ile geliştirilen GR4J-YSA-GA entegre günlük yağış akış modelinde ise GR4J modelinden göre daha yüksek Nash-

Stucliffe model performansları ve daha düşük model hataları elde edilmiştir.

Sonuç olarak çalışma kapsamında geliştirilen kavramsal yağış akış modeli ve yapay zeka entegrasyonunun, kavramsal modelinin performanslarını önemli ölçüde arttırdığı; söz konusu entegrasyonun kavramsal modellerdeki parametre sayısını azaltarak, model kalibrasyonunu kolaylaştırdığı ve kalibrasyon sürecini hızlandırdığı belirlenmiştir.

8 KAYNAKLAR

- [1] Agarwal, A., & Singh, R.D. "Runoff modeling through back propagation artificial neural networks with variable rainfall – runoff data" Water Resources Management, 18, 285–300, 2004.
- [2] Bayazıt, M. "Hidrolojik Modeller". 1. Baskı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1998.
- [3] Beven, K. "Changing ideas in hydrology – The case of physically – based models" Journal of Hydrology, 105, 157-172, 1989.
- [4] Beven, K. "Prophecy, reality and uncertainty in distributed hydrological

- modeling" *Advances in Water Resources*, 16(1), 41-51, 1993.
- [5] Boughton, W.C. "Catchment water balance modelling in Australia 1960-2004". *Agricultural Water Management*, 71, 91-116. 2005.
- [6] Cheng, C. T., Zhao, M. Y., Chau, K. W., Wu, X. Y. "Using genetic algorithm and TOPSIS for Xinanjiang model calibration with a single procedure" *Journal of Hydrology*, 316 (1-4), 129-140, 2006.
- [6] Cigizoglu, H. K. "Intermittent river flow forecasting by artificial neural networks. In: XIV. Int. Conf. On Computational Methods in Water Resources (ed. by S. M. Hassanizadeh, R. J. Schotting, W. G. Gray & G. F. Pinder) (Proc. Delft, The Netherlands, 23-28 June 2002), 1653-1660. Elsevier Publ. no. 47, Amsterdam, The Netherlands, 2002b
- [7] Cooper, V. A., Nguyen, V.-T.-V., Nicell, J. A. "Calibration of conceptual rainfall-runoff models using global optimization methods with hydrologic process-based parameter constraints. *Journal of Hydrology*, 334, 455-466, 2007.
- [8] Dawson, C.W., Abrahart, R.J., Shamseldin, A.Y., Wilby, R.L. "Flood estimation at ungauged sites using artificial neural networks" *Journal of Hydrology*, 319 (1-4), pp. 391-409, 2006.
- [9] Dorum, A., Yazar, A., Sevimli, M.F. ve Onüçyıldız, M. (2010). Modelling the rainfall-runoff data of susurluk basin. *Expert Systems with Applications*, 37, 6587-6593.
- [10] Duan, Q. "Global optimization for watershed model calibration" Duan, Q., Gupta, H.V., Sorooshian, S., Rousseau, A.N. Turcotte, R. (Ed.), *Calibration of Watershed Models Water Science and Applications 6 içinde (89-104)*, Washington, DC: American Geophysical Union, 2003.
- [11] Duan, Q., Sorooshian, S. and Gupta, V. K. "Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models. *Water Resources Research*, 24 (7), 1163-1173, 1992.
- [12] Fıstıkoğlu, O. "Hidrolojik Modeller" *Türkiye İnşaat Mühendisliği 15. Teknik Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı içinde (799-809)*. Ankara, 1999.
- [13] Gan, T. Y., Dlamini, E. M., Biftu, G. F. "Effects of model complexity and structure, data quality and objective function on hydrologic modeling. *Journal of Hydrology*, 32, 3513-3524, 1997.
- [14] Goldberg, D.E. (1989). *Genetic algorithm in search optimization and machine learning*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. Boston, MA, USA.
- [15] Holland, J. H. "Adaptation in Natural and Artificial Systems" University of Michigan Press: Ann Arbor, MI, 1975.
- [16] Kerh, T. ve Lee C.S. "Neural Networks forecasting of flood discharge at an unmeasured station using river upstream information" *Advances in Engineering Software*, 37, 533-543, 2006.
- [17] Kokkonen, T. S., Jakeman, A. J. "A comparison of metric and conceptual approaches in rainfall-runoff modeling and its implications" *Water Resources Research*, 37 (9), 2345-2352, 2001.
- [18] Lee, H., McIntyre, N., Wheeler, H., Young, A. "Selection of conceptual models for regionalization of the rainfall-runoff relationship" *Journal of Hydrology*, 312, 125-147, 2005.
- [19] Lee, H., Moon, Y. "Analysis and development of conceptual rainfall-runoff model structures for regionalization purpose" *KSCE Journal of Civil Engineering*, 11 (1), 57-64, 2007.
- [20] Liden, R. ve Harlin, J. "Analysis of conceptual rainfall-runoff modeling performance in different climates" *Journal of Hydrology*, 238 (3-4, 5), 231-247, 2000.
- [21] Liden, R. ve Harlin, J. Analysis of conceptual rainfall-runoff modeling performance in different climates. *Journal of Hydrology*, 238 (3-4, 5), 231-247, 2000.
- [22] Lim, K. Y., Park, Y. S., Kim, J., Shin, Y. C., Kim, N. W., Kim, S. J., Jeon, J. H., Engel, B. A. "Development of genetic algorithm based optimization model in WHAT system for hydrograph analysis and model application" *Computer and Geosciences*, 36 (7), 936-944, 2010.
- [23] Madsen, H. "Automatic calibration of a conceptual rainfall-runoff model using multiple objectives" *Journal of Hydrology*, 235, 276-288, 2000.
- [24] Manujat C. M., Harlan D., Wangsadipura M. "Rainfall-runoff modelling using Gr4j on the case of Citarum Hulu River Basin. International Conference on Sustainable Infrastructure and Built Environment in Developing Countries, Bandung, West Java, Indonesia, 2009.
- [25] Minns, A. W. & Hall, M. J.. "Artificial neural networks as rainfall-runoff models" *Hydrol. Sci. J.* 41(3), 399-417, 1996.
- [26] Monteith, J.L. "Evaporation and environment: the state and movement of water in living organisms" *Symp. Soc. Exp. Biol.* 19, 205-234, 1965.

- [27] Moore, R. J., Victoria, A. B., Jones, D. A. "Forecasting for flood warning. C. R. Geoscience, 337, 203-217, 2005.
- [28] Mroczkowski, M., Raper P. G., Kuczera, G. "The quest for more powerful validation of conceptual catchment models" *Water Resources Research*, 33 (10), 2325-2335, 1997.
- [29] Najafi, M.R. "Watershed modeling of rainfall excess transformation into runoff" *Journal of Hydrology*, 270, 273-281, 2003.
- [30] Perrin C., Michel C., Andreassian V. "Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation" *Journal of Hydrology*, 279, 275-289, 2003.
- [31] Perrin, C. "Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers d'une approche comparative" INPG (Grenoble) / Cemagref (Antony), 530 p, 2000.
- [32] Perrin, C., Michel, C., Andreassian, V. "Does a large number of parameters enhance model performance? Comparative assessment of common catchment model structures on 429 catchments" *Journal of Hydrology*, 242, 275-301. 2001.
- [33] Post D A., Jakeman A J. "Predicting the daily streamflow of ungauged catchments in S.E. Australia by regionalising the parameters of a lumped conceptual rainfall-runoff model" *Ecological Modeling*, 123 (2-3), 91-104, 1999.
- [34] Rechenberg, I. "Evolutionsstrategie – Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution" (PhD thesis). Reprinted by Fromman-Holzboog (1973), 1971.
- [35] Refsgaard, J. C. Parameterization, calibration and validation of distributed hydrological models. *Journal of Hydrology*, 198, 69-97, 1997.
- [36] Rico, M., Benito, G., Barnolas, A. "Combined paleoflood and rainfall-runoff assessment of mountain floods (Spanish Pyrenees)". *Journal of Hydrology*, 245, 59-72, 2001.
- [37] Uhlenbrook S., Seibert J., Leibundgut C., Rodhe A. "Prediction uncertainty of conceptual rainfall-runoff models caused by problems in identifying model parameters and structure" *Hydrological Sciences-Journal-des Hydrologiques*, 44 (5), 779-797, 1999.
- [38] Vos, N.J. ve Rientjes, T.H.M. "Constraints of artificial neural networks for rainfall-runoff modelling: trade-offs in hydrological state representation and model evaluation" *Hydrology and Earth System Sciences Discussions.*, 2, 365 – 415, 2005.
- [39] Waganer, T., Gupta, H. V., Sorooshian, S. "Stochastic formulation of a conceptual hydrological model" *Hydrology: Science & Practice for the 21st Century*, 1, 398-405, 2004.
- [40] Wang, Q. J. "Using genetic algorithms to optimize model parameters" *Environmental Modelling & Software*, 12 (1), 27-34, 1997.

DOLGU BARAJLARDA MALZEME RİJİTLİĞİ İLE ÇEKİRDEK VE KABUK ŞEV EĞİMİ DEĞİŞİMİNİN GERİLME – DEFORMASYON DAVRANIŞINA ETKİSİ

M. Emin EMİROĞLU
Doç. Dr., Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü, ELAZIĞ

Meral KORKMAZ
Arş. Gör. İnş. Yük. Müh., Tunceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü, TUNCELİ

Seçkin AYDIN
İnş. Yük. Müh., DSİ 21. Bölge Müdürlüğü
Proje Şube Müdürlüğü, AYDIN

(Makalenin geliş tarihi: 21.02.2011, Makalenin kabul tarihi: 05.07.2011)

ÖZET

Bu çalışmada merkezi kil çekirdekli kum çakıl dolgu barajlar ve merkezi kil çekirdekli kaya dolgu barajlarda gerilme-deformasyon analizleri yapılmıştır. Toplam gerilmelerin ve yer değiştirmelerin belirlenmesi amacıyla iki boyutlu düzlem şekil değiştirme prensibi kullanılarak, sonlu elemanlar metodu ile analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler Plaxis yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Bu yazılım günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Baraj temelinin rijitlik modülü oldukça yüksek alınarak temelin etkisi minimize edilmiştir. Dolgu malzemesi değiştirilerek, farklı malzemeler için bir dizi analizler yapılmıştır. Etek malzemesi kum-çakıl ve kaya malzeme olarak alınmıştır. Ayrıca, hem kil çekirdeğin ve hem de etek dolgunun şev eğimleri değiştirilerek analizler yapılmıştır. Analizler inşa sonu durumu için gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde elde edilen gerilme-deformasyon değerlerine ait grafikler çizilmiş ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dolgu baraj, gerilme – deformasyon, analiz, sonlu elemanlar metodu, Plaxis

EFFECT OF MATERIAL STIFNESS AND VARIATION OF SLOPES CORE AND SHELL ON STRESSES AND DEFORMATION IN EMBANKMENT DAMS

ABSTRACT

In this study, stress and deformation analyses for the central clay core rockfill and earthfill dams are investigated. The analyses are performed by using the principle of two-dimensional plane strain, in order to determine total stresses and substitutions. The analyses are carried out by using Plaxis 8.x software based on finite element method. This software is widely used nowadays and the software has a considerable interest for engineers. Stiffness module of embankment dam foundation is selected as extremely high in order to minimize the effect of the foundation. The analyses are performed for different fill materials. Both sand-gravel and rock material are chosen as shell material for embankment dam. Moreover, the analyses are performed for different shell slopes and also for different core slopes. The analyses are performed for the situation after construction. The figures are plotted for stress and deformation values obtained and the results are interpreted.

Keywords: Embankment dam, stress-deformation, analysis, finite element method, Plaxis

1 GİRİŞ

Ülkemizde son yüzyılda hızlı nüfus artışı, kaydedilen teknolojik gelişmeler, insanların artan ihtiyaçları beraberinde doğal kaynaklardan daha fazla yararlanma çabalarını getirmiştir. Doğal kaynaklarımızdan en önemli olanı sudur. Suyun, gezegenimizin dörtte üçünü meydana getirdiğini düşünürsek su kaynaklarının yaşamımızdaki önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Bu kaynakların başında da yeraltı ve yer üstü su kaynakları gelmektedir. Su rezervuarından değişik amaçlarla, sürekli ve verimli bir şekilde yararlanmak ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bunu sağlayabilmek için birçok uygulama yapılmıştır. Günümüzde de bu kaynaklardan daha fazla yararlanabilmek için en çok başvurulan yol barajların yapılmasıdır. En iyi hizmetin alınabileceği, en ekonomik ve uygun barajların yapılabilmesi için yapılan çalışmalar ve alternatif arayışları gün geçtikçe hız ve önem kazanmaktadır. Ancak bunun da çok kolay olmadığı açıktır. Baraj sözü konusu olduğunda bunun birçok boyutu bulunduğu, çok sayıda parametrenin dikkate alınması gerektiği ve uzun bir zamana yayılan değişik çalışmaları kapsadığı bir gerçektir. Plan, proje, etüt çalışmaları için jeoloji, hidroloji, malzeme durumu, topoğrafya, çevre koşulları gibi çalışmaların çok titizlikle yapılması gerekmektedir [Ağırlioğlu, 2005]. Herhangi bir aşamada yapılacak bir eksiklik veya hatanın telafisi çok zor ve maliyeti yüksek olmaktadır. Bununla beraber tüm parametreler dikkate alınarak en uygun baraj tipinin seçilmesi oldukça önemlidir [Emiroğlu, 1991]. Baraj inşaatı alanında, kil çekirdekli dolgu barajlar dünyanın her yerinde en çok tercih edilen baraj tipi olmuştur. Dünyanın değişik yerlerinde bunun birçok uygulamaları bulunmaktadır [Emiroğlu, 2008]. Bu tip barajlar tasarım aşamasında birçok analizin yapılmasını gerektirmektedir [USBR, 1986]. Dolgu barajlarda gerilme-deformasyon analizi ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Aşağıda bunlardan birkaçı özetlenmiştir.

Güler ve Edinçler (1993) dolgu barajların stabilite problemlerini sonlu elemanlar metodu ile incelemişlerdir. Analizlerini CRIPS adı verilen ve kritik hal teorisi esaslarına göre hazırlanmış bir sonlu elemanlar programı yardımı ile yapmışlardır. Araştırmacılar, dolgu baraj inşaatının safhalar halinde yapılması ve konsolidasyona zaman tanınması sonucunda, zeminin taşıma gücü ve mukavemeti artırılarak dolgu yükünün inşaat safhasında ve dolgu baraja su basıncı uygulandığında güvenle taşındığını ifade etmişlerdir. Bu tür analizlerde basit stabilite analizleri yerine sonlu elemanlar analizinin tercih edilmesi gerektiğini

vurgulamışlardır. Barajın safhalar halinde inşa edilmesi durumunda; suya doygun zeminde bulunan boşluk suyunun zemini terk etmesi ile artan deformasyon miktarı zeminin taşıma gücüne olumsuz olarak etkimemekte, aksine akma durumuna gelen elemanlarda dahi, pekleşme dolayısı ile iyileşme yaratıldığını belirtmişlerdir.

Durgunoğlu ve Yazıcıoğlu (1993) kaya dolgu barajlarda gerilme deformasyon analizine ait bir uygulama yapmışlardır. Çalışmalarında kaya ve toprak dolgu barajların davranışlarını incelemişlerdir. Örnek olarak Altinkaya barajını almışlardır. Analizlerde sonlu elemanlar yöntemi kullanılmış ve malzemenin izotropik ve düzlem şekil değiştirme yaptığı kabul edilmiştir. Malzemenin lineer olmayan davranışı dikkate alınmıştır. Araştırmacılar, maksimum oturmanın 7 ft'ten az olduğu ve kil çekirdek içinde dolgu tabanından yüksekliğin üçte biri mesafede meydana geldiğini bulmuşlardır. Maksimum yatay deplasmanın mansap tarafına doğru ve 1 ft'ten daha az olduğunu belirtmişlerdir.

Dolgu barajların inşa safhalarında oluşacak deformasyon ve çökmelere karşı stabilite analizi, sonlu elemanlar metodu ile hazırlanan nümerik model, efektif gerilme esasına göre hazırlanarak deformasyonlar ve çökmeler yönünden incelenebilmektedir [Kohgo ve Yamahita 1988]. Dolgu barajların tasarım ve inşasındaki güvenli sonuçlar elde etmek gerekir. Dolgu barajların içinde ve altındaki gerilmelerin hesaplanmasında en sağlıklı yöntem sonlu elemanlar yöntemidir. Bu metotla, dolgu barajın kendi ağırlığından dolayı zemine gelecek yükler kademeli olarak aktarılabilen ve baraj suyla doldurulduktan sonraki gerilmeler de hesaba katılabilmektedir [Mirata, 1985]. Sonlu elemanlar metodu, dolgu baraj altındaki boşluk suyu basıncı değişimlerini, düşey ve yatay yer değiştirmeleri ve inşaatın her safhasındaki oturmaları verebilmektedir [Intraratna, 1992]. Dolgu inşasının sonlu elemanlar metodu ile incelenmesinde, normal şartlarda dört veya altı tabakanın dolgu inşası analizi için yeterli olduğu gözlenmiştir [Naylor ve Mattar, 1988].

Bu çalışmada merkezi kil çekirdekli kum çakıl dolgu barajlar ve merkezi kil çekirdekli kaya dolgu barajlarda gerilme-deformasyon analizleri yapılmıştır. Dolgu malzemesi değiştirilerek, farklı malzemeler için bir dizi analizler yapılmıştır. Etek malzemesi kum-çakıl ve kaya malzeme olarak alınacaktır. Ayrıca, hem kil çekirdeğin ve hem de etek dolgunun şev eğimleri değiştirilerek analizler yapılmıştır.

Bu analizlerde elde edilen gerilme-deformasyon değerlerine ait grafikler çizilmiştir ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

2 DOLGU BARAJLARDA DEFORMASYON DAVRANIŞI VE ÇATLAK SİSTEMLERİ

İnşaat makinelerindeki teknolojik gelişmeler dolayısıyla, özellikle nehir yatağının geniş olduğu ve gövde dolgu malzemesinin baraja yakın bir yerden temin edilebilmesi halinde toprak ve kaya dolgu tipi barajlar tüm dünyada ekonomik ve davranış yönünden tercih nedeni olmaktadır. Dolayısıyla, bu tip barajlarda kullanılan malzemenin modellenmesi ve baraj gövdesinde inşaatın çeşitli aşamalarında meydana gelen gerilme ve deformasyonların hesaplanması, bu tip yapıların davranışlarının belirlenmesi yönünden büyük önem taşımaktadır. Justo (1973) ve Thomas (1976), toprak dolgu barajlarda ve kaya dolgu barajların çekirdeğinde inşaat sırasında ve sonrasında meydana gelen çatlakları dört grupta toplamışlardır. Baraj eksenine dik doğrultudaki çatlaklara Şekil 1(A)'da görüldüğü gibi baraj gövdesi üst seviyesinde rastlanır. Bu çatlaklar, gövdenin üniform olmayan düşey deformasyonundan dolayı çekme çatlağı olarak Şekil 1 (B), gövde altında bırakılan kayaç yüzey üzerinde Şekil 1 (C), veya gövdenin dayandığı dik yamaç üzerinde kayma çatlağı olarak (A-A) görülebilir [Durgunoğlu ve Yazıcıoğlu, 1993]. İkinci tip çatlaklar Şekil.1(B)'de görüldüğü gibi baraj eksenine paralel olarak ve kil çekirdeğin her iki tarafında ve geçiş bölgesinde meydana gelmektedir. Bu çatlaklar kil çekirdek ile kaya dolgu arasında meydana gelen farklı düşey deformasyon sonucu oluşurlar. Baraj eksenine göre simetrik olmayan durumlarda baraj üst seviyesinde çekmeden dolayı eksende belirli bir açı yapan çatlak sistemleri meydana gelebilir (Şekil 1a-b). Dördüncü gruba giren yatay çatlaklar baraj kil çekirdeğinin doymun hale gelmesini müteakip, çekirdek ile kaya dolgu arasındaki farklı oturmadan oluşurlar.

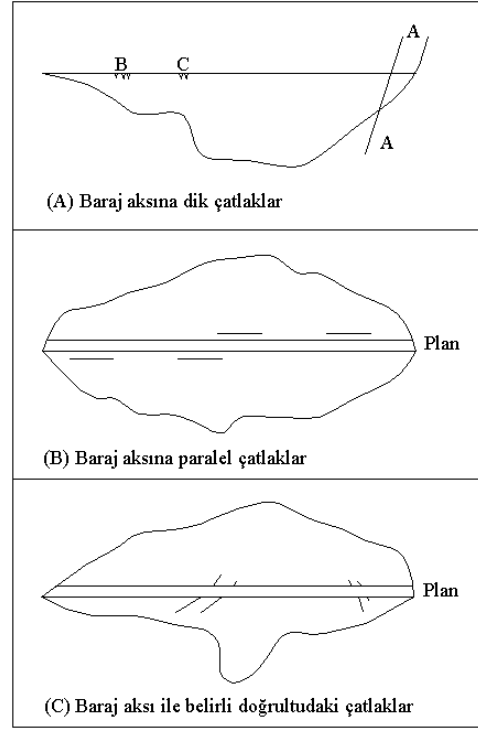
Bu arada kil çekirdek ile kaya dolgu arasındaki farklı deplasmanlardan dolayı bir bölgeden diğer bölgeye yük aktarımı meydana gelir. Bu tarz yük aktarımı için Şekil 1 (b)'de görüldüğü gibi dört alternatif mevcuttur, Squier (1970):

1. Çekirdeğin kaya dolguya nazaran daha fazla düşey deplasmanı halinde, yük kil çekirdekten kaya dolguya aktarılır.
2. Çekirdeğin katı kil olması halinde, kaya dolgu çekirdeğe nazaran daha fazla

düşey deplasman gösterebilir; bu taktirde yük, kaya dolgudan kil çekirdeğe aktarılır.

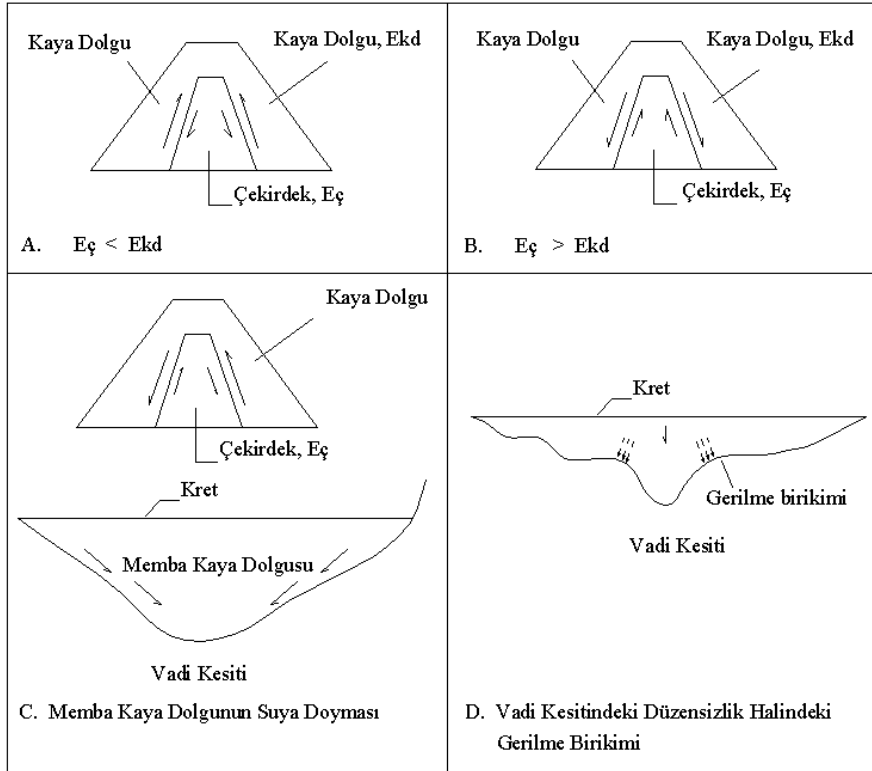
3. Baraj gölünün teşkili müteakip kaya dolgu memba tarafı şevi doymun hale gelerek, kil çekirdeğe nazaran daha fazla düşey deplasman gösterir.

4. Nehir yatağı profilindeki ani değişmelerden dolayı kil çekirdekte meydana gelen farklı düşey deplasmanlar sonucu oluşan gerilme konsantrasyonlardır.



Şekil 1 (a) Kaya dolgu barajlardaki çatlak sistemleri (Justo 1973 ve Thomas 1976)

Toprak ve kaya dolgu barajlarda, gerek çatlak sistemlerinin oluşu ve gerekse yük transferi, gövdede oluşan gerilme ve deformasyonlara bağlı olmakta, dolayısıyla gövde davranışını kontrol etmektedir. Dolayısıyla, baraj gövdesinin davranışı ancak inşaat esnasında ve baraj gölünün teşkilinde gövdede meydana gelen gerilme ve deformasyonların doğru hesaplanması sonucu belirlenebilmektedir. Gerçeğe yakın gerilme ve deformasyonlar, ancak çeşitli zonlardaki baraj gövdesi malzemesinin lineer olmayan, gerilme bağımlı davranışının simülasyonu ile gerçekleştirilebilir.



Şekil 1 (b) Kaya dolgu barajlarda değişik yük aktarım şekilleri [Squire, 1970].

3 GÖVDE MALZEMESİNİN MODELLENMESİ

Toprak ve kaya dolgu barajlarda sonlu elemanlar metodu uygulanmak suretiyle kompleks geometri iki ve üç boyutlu gerilme-şekil değiştirme problemlerini, malzemenin gerçek davranışını modellemek suretiyle çözmek mümkün olabilmektedir [Chanrupatla ve Belegundu, 1991].

Sonlu elemanlar metodunda, malzeme için *Hooke kanununun* geçerli olduğu kabul edilerek gerilme artışı, birim deformasyon dağılımı iki boyutlu; düzlem şekil değiştirme hali için,

$$\begin{pmatrix} \Delta\sigma_x \\ \Delta\sigma_y \\ \Delta\tau_{xy} \end{pmatrix} = \frac{E_t}{(1+\nu_t)(1-\nu_t)} \begin{bmatrix} (1-\nu_t) & \nu_t & 0 \\ \nu_t & (1-\nu_t) & 0 \\ 0 & 0 & \frac{(1-2\nu_t)}{2} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \Delta\varepsilon_x \\ \Delta\varepsilon_y \\ \Delta\gamma_{xy} \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

bağıntısı ile verilmektedir. 3.1 bağıntısında,

$$\Delta\sigma_x, \Delta\sigma_y, \Delta\tau_{xy} = \text{Gerilme artışlarını}$$

$$\Delta\varepsilon_x, \Delta\varepsilon_y, \Delta\gamma_{xy} = \text{Birim deformasyon artışlarını}$$

$$E_t = \text{Tanjant deformasyon modülünü}$$

$$\nu_t = \text{Tanjant Poisson oranını}$$

göstermektedir.

Gerçekte olduğu gibi gövde inşaatı kademeli bir şekilde simüle edilmek suretiyle, her kademe için her bir elemandaki gerilmeler hesap edilmekte, bu gerilmelere bağlı olarak yukarıdaki denklemde görülen *deformasyon modülü* ve *Poisson oranı* tanjant değerleri seçil-

mektedir. Böylece malzemenin lineer olmayan ve gerilme dağılımlı davranışı modellenmektedir.

Kondner (1963), zeminin gerilme birim deformasyon bağıntısının bir hiperbol ile temsil edilebileceğini önermiştir.

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{\varepsilon}{\frac{1}{E_f} + \frac{\varepsilon}{(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}}} \quad (3.2)$$

3.2 bağıntısında,

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \text{Asal gerilmeler}$$

$$\varepsilon = \text{Boyuna birim deformasyon}$$

$$E_f = \text{Deformasyon modülü başlangıç değeri}$$

$$(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult} = \text{Asal gerilme farkı asimtotik değeridir.}$$

3.2 bağıntısı

$$\frac{\varepsilon}{\sigma_1 - \sigma_3} = a + b_3 \quad (3.3)$$

şeklinde yazılabilir. Bu takdirde

$$a = \frac{1}{E_f} \text{ ve } b = \frac{1}{(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}} \quad (3.4)$$

eşitlikleri yazılabilir.

Zeminlerde, çevre basıncının artışı sonucu deformasyon modülü ve kayma mukavemeti arttığından, E_f , ve $(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}$ değerleri de artmaktadır.

$$E_f = K \cdot p_a \cdot \left(\frac{\sigma_3}{p_a}\right)^n \quad (3.5)$$

Deformasyon modülü başlangıç değeri, E_f 3.5 bağıntısı ile verilmektedir. Bu bağıntıda K deformasyon modülü sayısı, p_a atmosfer basıncı, σ_3 çevre basıncı ve n deformasyon modülü üssü olarak tanımlanmaktadır.

Gerilme farkı asimtotik değeri ile, kırılma anındaki gerilme farkı arasında ise 3.6 bağıntısı yazılabilir.

$$(\sigma_1 - \sigma_3)_f = R_f \cdot (\sigma_1 - \sigma_3)_{ult} \quad (3.6)$$

3.6 bağıntısında da R_f kırılma oranı olarak tanımlanmaktadır. *Mohr Coulomb* kırılma teorisine göre kırılma anındaki gerilme farkı $(c - \Phi)$ tipi zeminler için 3.7 bağıntısı ile verilmektedir.

$$(\sigma_1 - \sigma_3)_f = \frac{2c \cos \Phi + 2\sigma_3 \sin \Phi}{1 - \sin \Phi} \quad (3.7)$$

Bu bağıntılardan yararlanmak suretiyle deformasyon modülü tanjant değeri için Kulhawy (1969)

$$E_t = \left[1 - \frac{R_f (1 - \sin \Phi) (\sigma_1 - \sigma_3)}{2c \cos \Phi + 2\sigma_3 \sin \Phi} \right]^2 \cdot K \cdot p_a \left(\frac{\sigma_3}{p_a} \right)^n \quad (3.8)$$

bağıntısını vermiştir.

4 ÇALIŞILAN MODEL

4.1 Barajın Geometrisi

Bu çalışmada merkezi kil çekirdekli dolgu barajının karakteristikleri alınarak bu barajın gerilme ve deformasyonları Plaxis programı yardımı ile analiz edilmiştir.

Plaxis yazılımında analizler; merkezi kil çekirdekli kaya ve merkezi kil çekirdekli kum-çakıl dolgu baraj tipleri için yapılmıştır. Barajın temel yüksekliği 50 metre, baraj yüksekliği 100 metre olarak sabit tutulmuştur. Barajın memba ve mansap yüzeyi eğimi değiştirilerek, toplam on iki farklı geometri oluşturulmuş ve bu enkesit tipleri üzerinde analizler yapılmıştır. Barajın gövdesinde; kabuk malzemesi olarak kaya ya da kum-çakıl ve çekirdek malzemesi olarak da kil malzeme seçilmiştir. Ayrıca farklı malzeme özellikleri için de analizler yapılmıştır. Analizi yapılacak barajın geometri modeli Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Şekil 2'de 1 kil çekirdeği, 2 kabuk dolgusunu ve 3 ise temel kayasını göstermektedir.

Barajın geometri modelindeki n , m , t değerleri değiştirilerek analizler yapılacaktır. n , m , ve t simgeleri Şekil 2 üzerinde gösterilmiştir. Analiz sonuçlarını yorumlarken kolaylık olması açısından seçilen n , m , t değerlerine ve malzeme tipine göre her bir baraj enkesit tipi aşağıdaki gibi numaralandırılmıştır;

İncelenen alternatifler ve malzeme grupları;

Tip 1: $n = t = 0,25$ iken $m = 1,8$ (1. grup)

Tip 2: $n = t = 0,25$ iken $m = 2,0$ (1. grup)

Tip 3: $n = t = 0,25$ iken $m = 2,5$ (1. grup)

Tip 4: $n = t = 0,25$ iken $m = 2,75$ (1. grup)

Tip 5: $m = 2$ iken $t = n = 0,5$ (1. grup)

Tip 6: $m = 2$ iken $t = n = 0,4$ (1. grup)

Tip 7: $m = 2$ iken $t = n = 0,3$ (1. grup)

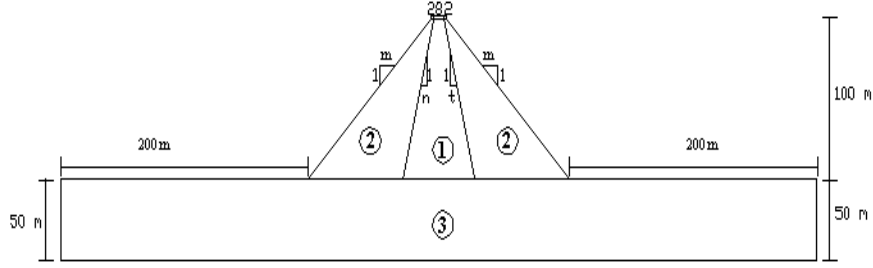
Tip 8: $m = 2$ iken $t = n = 0,2$ (1. grup)

Tip 9: $m = 2$ iken $t = n = 0,2$ (2. grup)

Tip 10: $m = 2$ iken $t = n = 0,2$ (3. grup)

Tip 11: $m = 2$ iken $t = n = 0,2$ (4. grup)

Tip 12: $m = 2$ iken $t = 0,05$ $n = 0,35$ değerleri için 1. grup malzemeye göre analiz yapılmıştır.



Şekil 2 Analizi yapılacak barajın geometri modeli

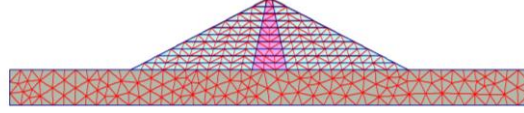
4.2 Barajın Malzeme Özellikleri ve Sonlu Eleman Modeli

Kabuk dolgusu ve kil çekirdekte kullanılacak malzemeyi incelemek için dört grup malzeme değeri seçilmiştir. Bu malzeme değerlerinden; 1. grup malzeme kil çekirdek ile kabuk dolgusunun yaklaşık aynı rijitliğe sahip olduğu kaya dolgu barajı temsil etmektedir. 2. grup malzeme kabuk dolgusunun kil çekirdekten daha rijit olduğu kaya dolgu barajı temsil etmektedir. 3. grup malzeme

yine kil çekirdek ile kabuk dolgusunun yaklaşık aynı rijitliğe sahip olduğu kum-çakıl dolgu barajı temsil etmektedir. 4. grup malzeme ise kabuk dolgusunun kil çekirdekten daha rijit olduğu kum-çakıl dolgu barajı temsil etmektedir. Çizelge 1'deki malzeme numaraları; 1 kil çekirdeği, 2 kabuk dolgusunu ve 3 ise temel kayasını göstermektedir.

Çizelge 1 Malzeme değerleri

1. grup malzeme için seçilen değerler							
Malzeme No	γ_{unsat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ²)	E_{ref} (kN/m ²)	ϕ (°)	ψ (°)	ν (-)	C_{ref} (kN/m ²)
1	18	19	80 000	20	0	0,45	60
2	19	20	60 000	45	15	0,35	0
3	15	16	$1 \cdot 10^6$	40	10	0,25	30
2. grup malzeme için seçilen değerler							
Malzeme No	γ_{unsat} kN/m ³	γ_{sat} kN/m ²	E_{ref} kN/m ²	ϕ	ψ	ν	C_{ref} kN/m ²
1	18	19	80 000	20	0	0,22	60
2	19	20	120 000	45	15	0,30	0
3	15	16	$1 \cdot 10^6$	40	10	0,25	30
3. grup malzeme için seçilen değerler							
Malzeme No	γ_{unsat} kN/m ³	γ_{sat} kN/m ²	E_{ref} kN/m ²	ϕ	ψ	ν	C_{ref} kN/m ²
1	18	19	120 000	20	0	0,45	60
2	18	19	150 000	34	0	0,30	0
3	15	16	$1 \cdot 10^6$	40	10	0,25	30
4. grup malzeme için seçilen değerler							
Malzeme No	γ_{unsat} kN/m ³	γ_{sat} kN/m ²	E_{ref} kN/m ²	ϕ	ψ	ν	C_{ref} kN/m ²
1	18	19	80 000	20	0	0,22	60
2	19	20	270 000	34	0	0,30	0
3	15	16	$1 \cdot 10^6$	40	10	0,25	30



Şekil 3 Sonlu eleman modeli

Baraj Plaxis'te düzlem gerilme (*plain strain*) olarak modellenmiştir. Analizler için Plaxis'te 15 düğüm noktalı (nod'lu) sonlu elemanlar kullanılmış. Yüklemeler (*Loads*) seçeneğinden Standart sabitlemeler (*Standart fixities*) sınır koşullarından tanımlanmıştır. Temel sınırları otomatik olarak atılmaktadır. Barajın Plaxis'teki modeli ve sonlu elemanlara ayrılmış modeli Şekil 3'de görülmektedir. Analizlerde inşaat sonu için, gövde malzemesi kuru ve tam drenajlı kabul edilmiştir. Malzeme modeli için Mohr-Coulomb seçilmiştir. Analizler yapılmıştır.

5 BARAJ GÖVDESİNDEKİ DÜŞEY GERİLME ORANI DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

Zemin mekaniğinde H derinliğinde bir noktadan ele alınan bir zemin elemanın düşey gerilmesi $G_{vertical}$ 5.1 eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

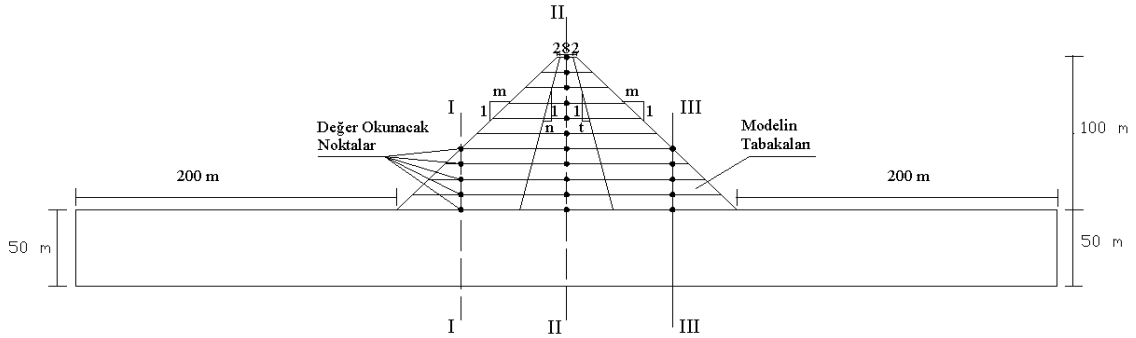
$$G_v = k \cdot \gamma \cdot H \quad (5.1)$$

Burada k zemin cinsine göre değişen bir katsayıdır. Düşey gerilme oranı olarak adlandırılır. 5.1 eşitliğinden k değeri çekilirse,

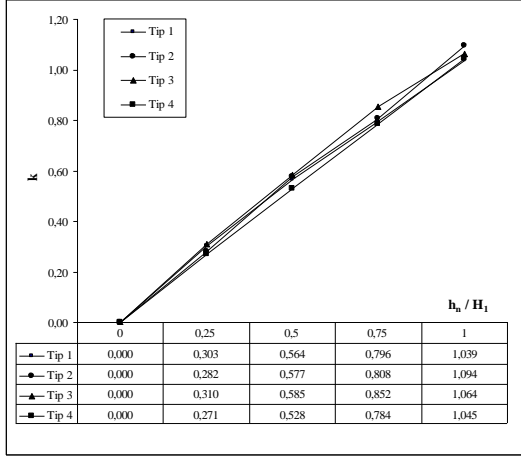
$$k = \frac{G_v}{\gamma H_1} \quad (5.2)$$

Aynı düşünce ile baraj dolgusu içerisinde herhangi bir nokta üzerindeki G_v düşey gerilme değeri bilinirse k değerleri elde edilerek genel bir değişimi inceleyebiliriz.

Analizler 12 farklı baraj enkesiti için gerçekleştirilmiştir. Her bir enkesit tipi üzerinde I-I, II-II, III-III kesitleri çizilmiştir. Sonra her kesit üzerindeki noktadaki düşey gerilme (*vertical stress*) değerleri Plaxis analizlerinden okunmuştur (Şekil 4). Düşey gerilme değerleri okunurken o notadaki h/H değerleri de dikkate alınmıştır. Burada H : ölçüm alınan eksenin toplam yüksekliği (m) h : ölçüm alınan noktanın şev yüzeyinden itibaren derinliğidir.

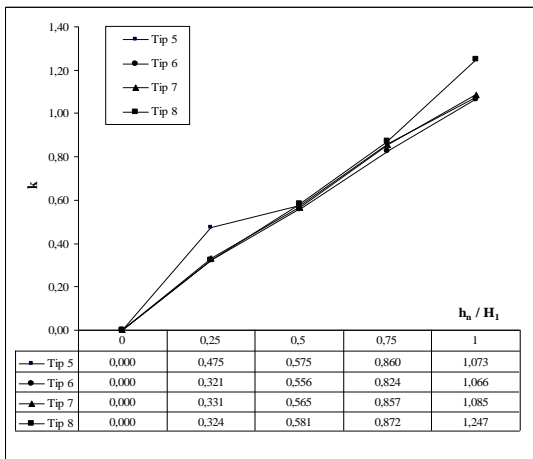


Şekil 4 Analizi yapılan baraj üzerinden G_v değerlerinin okunduğu noktalar

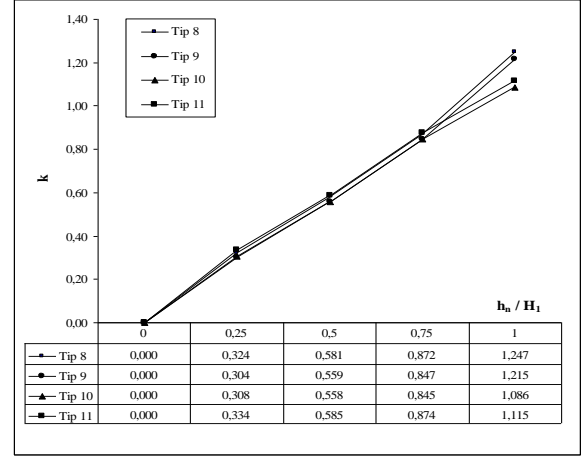


Şekil 5 Tip 1- Tip 2- Tip 3- Tip 4 analizleri için I-I kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi

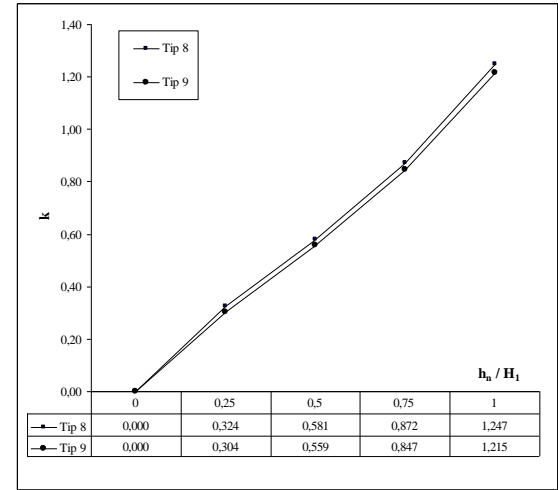
Gövde üzerinde alınan I-I ve III-III kesitlerinde 10 metre'de bir yapılan düşey gerilme değerlerine ait okumalarla gövde kabuk dolgusu şevlerinin gerilme dağılımı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. 1. grup malzeme kabuk dolgusu ile yaklaşık olarak aynı rijitlik değerine sahip bir dolgu baraj üzerinde, Tip 1 ($n = t = 0,25$ iken $m = 1,8$), Tip 2 ($n = t = 0,25$ iken $m = 2,0$), Tip 3 ($n = t = 0,25$ iken $m = 2,5$), Tip 4 ($n = t = 0,25$ iken $m = 2,75$) analizlerinde yatay ve düşey gerilme ve deplasman dağılımlarında kabuk dolgusu şevinin önemli bir parametre olmadığı görülmüştür. Bu durum gövde üzerinden alınan I-I kesitinden elde edilen düşey gerilme oranı değişiminin değişik kabuk şevleri için birbirine çok yakın olduğu Şekil 5'te görülmektedir.



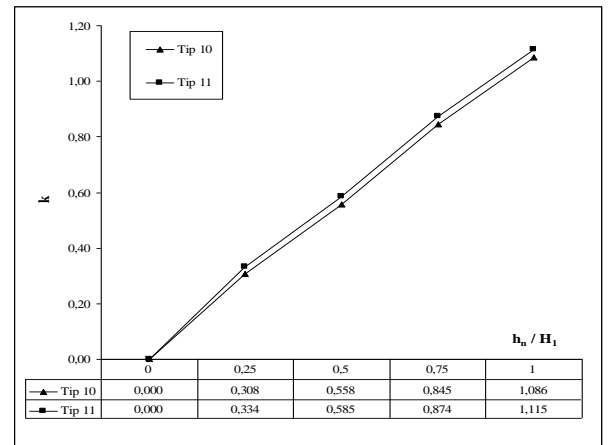
Şekil 6 Tip 5- Tip 6- Tip 7- Tip 8 analizleri için I-I kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi



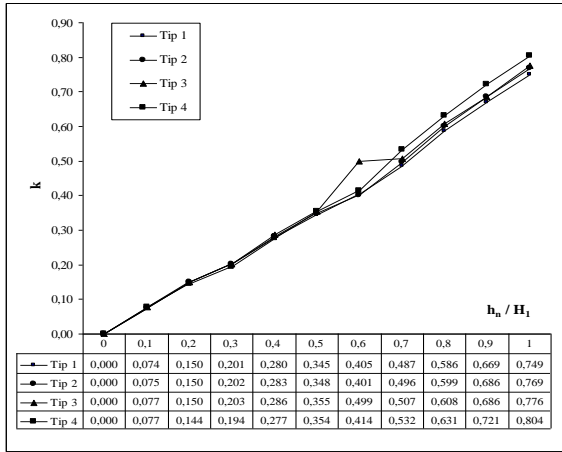
Şekil 7 Tip 8- Tip 9- Tip 10- Tip 11 analizleri için I-I kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi



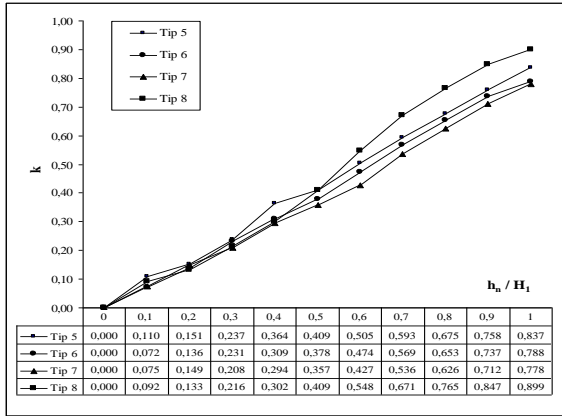
Şekil 8 Tip 8- Tip 9 analizleri için I-I kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi



Şekil 9 Tip 10 - Tip 11 analizleri için I-I kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi

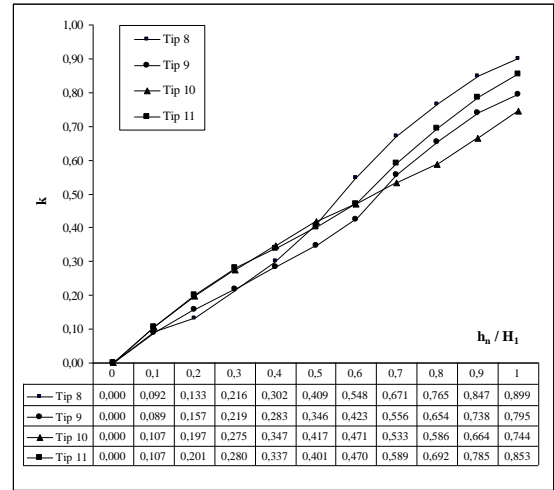


Şekil 10 Tip1- Tip 2- Tip 3- Tip 4 analizleri için II-II kesiti üzerindeki k değerinin değişimi

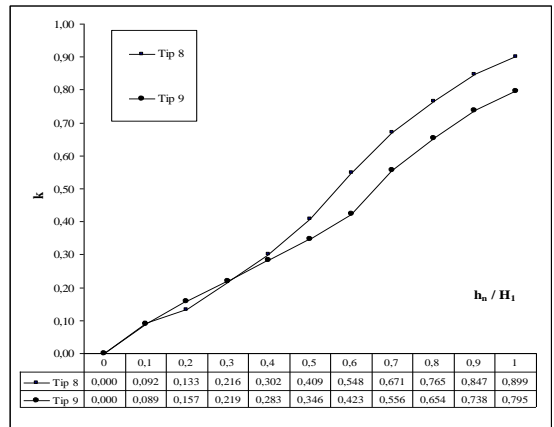


Şekil 11 Tip 5- Tip 6- Tip 7- Tip 8 analizleri için II-II kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi

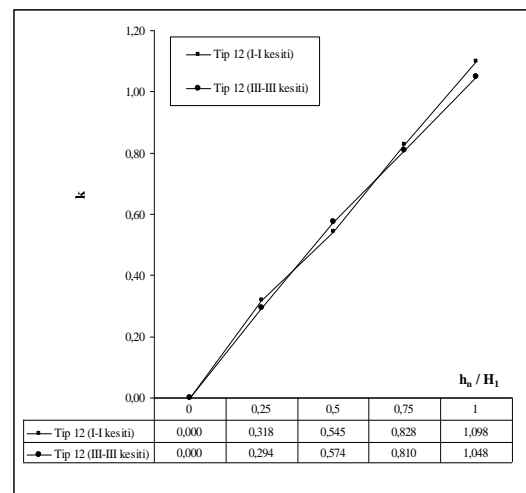
1. grup malzeme ile Tip 5 ($m = 2$ iken $t = n = 0,5$), Tip 6 ($m = 2$ iken $t = n = 0,4$), Tip 7 ($m = 2$ iken $t = n = 0,3$), Tip 8 ($m = 2$ iken $t = n = 0,2$) değerleri için II-II kesiti üzerinden okunan değerler ile çizilen Şekil 11 ve incelendiğinde kil çekirdek eğiminin oldukça önemli bir yere sahip olduğu söylenebilir. Ancak kabuk şev eğimlerinin değişiminin çekirdekteki gerilme dağılımı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülecektir.



Şekil 12 Tip 8- Tip 9- Tip 10- Tip 11 analizleri için II-II kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi



Şekil 13 Tip 8- Tip 9 analizleri için II-II kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi

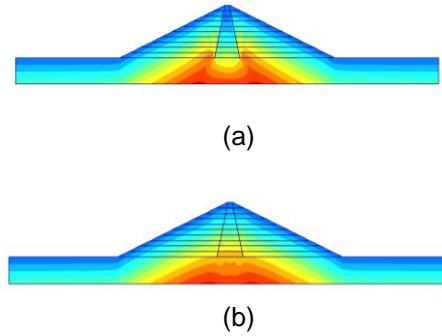


Şekil 14 Tip 12 için I-I ve III-III kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi

1. grup malzeme değeri ile çizilen Tip 8 ($m = 2$ iken $t = n = 0,2$), 2. grup malzeme değeri ile çizilen Tip 9 ($m = 2$ iken $t = n = 0,2$), 3. grup malzeme değeri ile çizilen Tip 10 ($m = 2$ iken $t = n = 0,2$) ve 4. grup malzeme değeri ile çizilen Tip 11 ($m = 2$ iken $t = n = 0,2$) enkesitleri üzerinden okunan değerler ile çizilen şekil 12 incelendiğinde ise aynı geometriye sahip gövde üzerinde farklı malzeme grupları kullanılarak yapılan analizler sonucunda II-II kesitinde düşey gerilme oranının değişimi görülmektedir. Değişimin daha iyi görünmesi için şekil 13 incelendiğinde 1. grup malzeme

ve 2. grup malzeme arasındaki rijitlik farkı Tip 8 ve Tip 9 eğrilerinden kolayca görülmektedir.

Tip 12 ($m = 2$ iken $t = 0,05$ $n = 0,35$) değerleri için 1. grup malzemeye göre I-I ve III-III kesiti üzerinden okunan değerler ile çizilen grafik ile kil çekirdeğin memba ve mansap şevlerinin değişiminin kabuk dolgusu üzerindeki gerilme dağılımı üzerinde önemli bir etkisi olmadığı şekil 14'te görülmektedir.



Şekil 15 Kil Çekirdekte Kemerlenme Etkisi

Yapılan analizlerdeki şekil 7 ve şekil 12 incelenirse malzemenin rijitlik değerlerinin baraj gövdesi üzerinde olabilecek etkilerde diğer parametrelere göre daha çok etkili olduğu görülmektedir. Kil çekirdek ile kabuk malzemesinin rijitliklerinin farklı olması durumunda eğer kil çekirdeğin rijitliği kabuk malzemesine göre düşükse yani çekirdek fazla deformasyon yapabilme özelliğine sahipse çekirdek malzemesi kabuğa göre fazla deformasyon yaparak filtreler üzerinden kabuk dolguya asılmaktadır. Tip 11 enkesiti ve 4. grup malzeme ile yapılan analizdeki şekil 15.(a) incelendiğinde oldukça önemli olan bu durum görülmektedir. Bu durum Kemerleşme olayıdır. Şekil 15.(b) çıktısında çekirdek altında tabanda yaklaşık 700 kN/m^2 'lik bir basınç vardır. Oysaki aynı geometrik özelliklere sahip Tip 10 ve 4. grup malzeme ile yapılan şekil 15.(b) deki efektif gerilmeler çıktısı incelendiğinde aynı çekirdek ve kabuk şev eğimine sahip barajın çekirdek tabanında 1300 kN/m^2 'lik gerilme oluşmuştur. Neredeyse yarı yarıya çekirdek tabanında fark yaratan bu kemerleşme hadisesi baraj mühendisliğinde oldukça dikkat edilmesi gereken ve istenmeyen bir olaydır. Çünkü taban üzerinde kemerleşme etkisi ile gerilmenin düştüğü bu noktada hidrostatik yük taban gerilmesinden büyük olursa bu noktada "Hydraulic Fracturing" adı verilen hidrolik kırılma olayı meydana gelecektir.

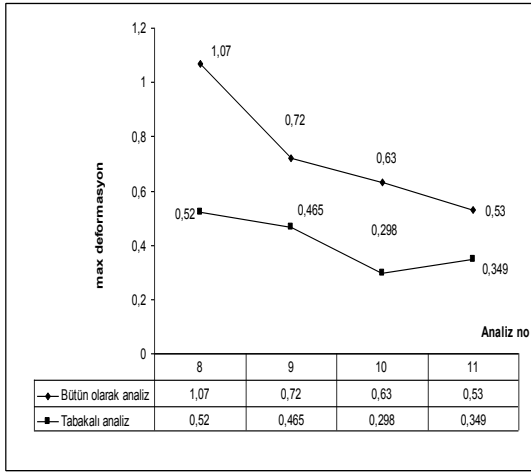
6 TABAKALAR HALİNDE GÖVDE İNŞAASININ ANALİZE YANSITILMASI

Eğer baraj gövdesini gerçekte olduğu şekilde tabakalar halinde inşa edildiği gibi değil de sanki toptan bitmiş gibi düşünülerek analizi yapılırsa maksimum deplasman krette oluşmaktadır. Ancak bu gerçekte böyle değildir. Gerçek deplasman davranışını yakalamak için barajın tabakalar halinde inşa edildiği göz önünde bulundurularak modellenmiştir. Baraj gövdesi on metre yüksekliğinde on tabakaya ayrılmıştır. Barajın Plaxis 8.x de modellenmesinden sonra her bir inşaat aşaması için program koşturulmuş ve her bir aşama için aşağıdaki deformasyon durumları elde edilmiştir.

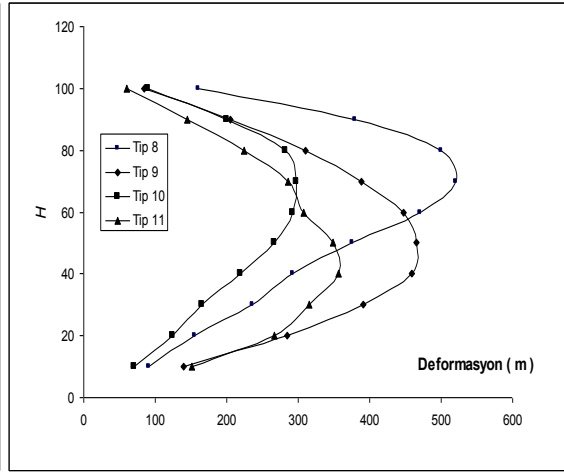
Plaxis yazılımında baraj gövdesi tabakalı olarak modelledikten sonra inşaat sırasına göre önce 1. tabaka sadece aktif konuma getirilerek 1. tabakanın inşaat sonundaki deformasyon değeri okunmaktadır. Daha sonra 1.ve 2. tabaka aktif yapılarak 2. tabakanın inşaat sonundaki deformasyon değeri okunmaktadır. Bu şekilde tüm tabakaların inşaat sonundaki deformasyon değeri okunarak aynı tabakanın üzerine inşa edilen diğer her bir tabakanın söz konusu incelenen tabaka üzerindeki deformasyon payı Plaxis'te bulunarak toplam deformasyonlar elde edilmektedir. Bu değerler Şekil 16'da verilmektedir.

Çizelge 2 Maksimum oturma yeri

Analiz No	Maksimum oturma yeri ve miktarı	
	Bütün olarak analiz (Maksimum oturma krette) (m)	Tabakalar halinde analiz (Max. oturma yüksekliğin %50- 70'inde) (m)
8	1,07	0,520
9	0,72	0,465
10	0,63	0,298
11	0,53	0,349



(a)



(b)

Şekil 16 Analizlerin tabakalı ve bütün olarak yapılması durumunda maksimum deformasyonlar.

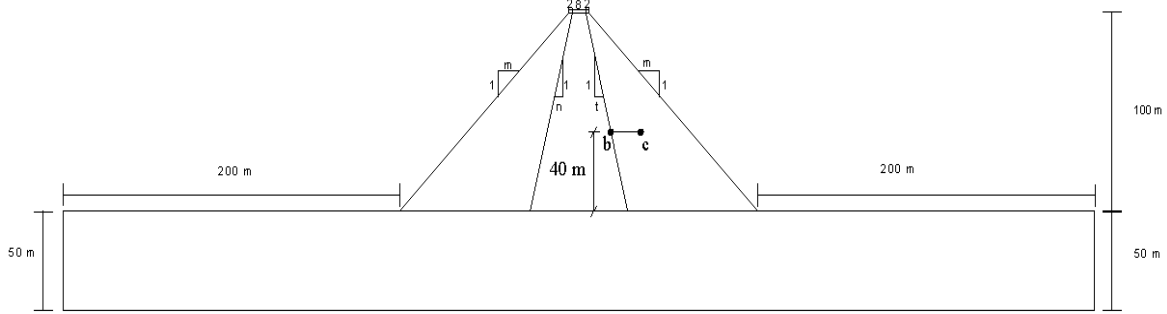
Şekil 16.(a)'dan görüleceği üzere analizler gövdenin bir bütün olarak analizinin yapılması halinde maksimum oturma barajın kretinde oluşmakta ve olması gereken değerden yaklaşık 1,5-2 kat fazla elde edilmektedir. Gövdenin tabakalar halinde inşa edildiği düşünülerek analiz tabakalar halinde kademeli olarak yapıldığında ise pratikteki gözlemlerle uyumlu olarak maksimum oturma baraj yüksekliğinin %50-70 civarında gerçekleşmektedir (Çizelge 2).

Aynı şekilde şekil 16.(b) eğrileri incelendiği zaman 1, 2 ve 4 numaralı malzeme grubu ile yapılan Tip 8, Tip 9 ve Tip 11 nolu analizlerde kil rijitlikleri aynı olmasına rağmen maksimum oturma kabuk rijitlikleri ile değişmektedir. Eşit kil rijitlikleri halinde en fazla kabuk rijitliğine sahip 4. grup malzemede minimum düşey deformasyon elde edilmiştir. Ayrıca Tip 10 analizindeki kabuk rijitliğinden ziyade kil çekirdek diğer malzemeye göre daha rijit olduğu için en düşük deformasyon bu malzeme grubunda elde edilmiştir.

6 YATAY DEFORMASYONLARIN İNCELENMESİ

Gövde üzerindeki yatay deformasyonların incelenmesi için çekirdek – kabuk sınırında “b”

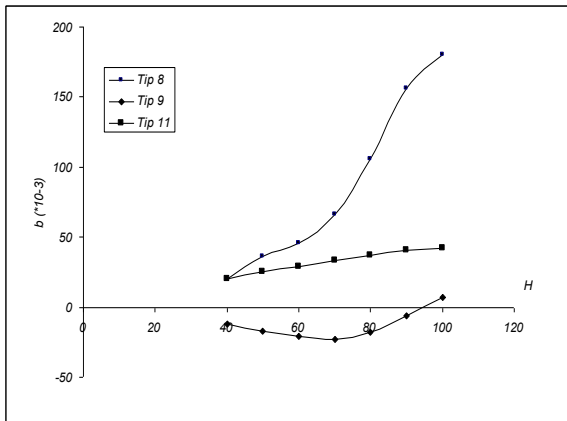
noktası kabuk dolgu ortasında ise “c” noktası seçilerek incelenmiştir.



Şekil 17 Yatay deformasyonların hesaplandığı noktalar

Çizelge 3 Tip 8 (1. grup), Tip 9 (2. grup), Tip11 (4. grup) enkesiti üzerindeki b noktalarından okunan yanal ötelenmeler

Baraj inşasında ulaşılan yükseklik (m)	Tip 8 b noktası yanal ötelenmesi ($\times 10^{-3}$ m)	Tip 9 b noktası yanal ötelenmesi ($\times 10^{-3}$ m)	Tip 11 b noktası yanal ötelenmesi ($\times 10^{-3}$ m)
40	20	-12	20
50	36	-17	25
60	46	-21	29
70	66	-23	33
80	106	-18	37
90	156	-6	41
100	180	7	42



Şekil 18 Tip 8 (1. grup), Tip 9 (2. grup), Tip11 (4. grup) enkesiti b noktasının yatay yöndeki deformasyonu

Çizelge 3 ve Şekil 18'de tabakalar halinde inşa edilen barajda b noktasındaki her tabaka inşası halinde üç malzeme grubu için “b” noktasındaki yatay deplasman değişimi

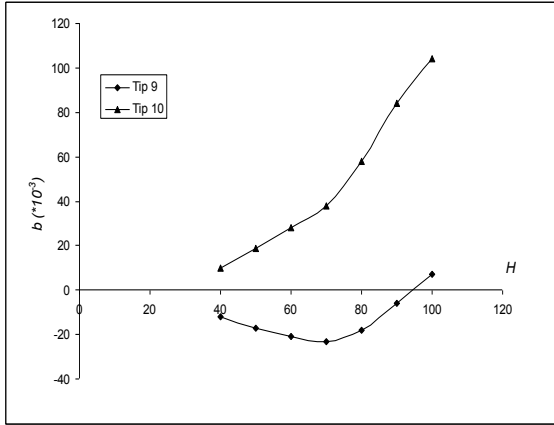
görülmektedir. Burada dikey eksen b noktasının yatay yöndeki deformasyonu ($\times 10^{-3}$ m) yatay eksen ise baraj yüksekliğini göstermektedir.

Burada kolayca görülmektedir ki 4. grup malzemede en rijit kabuk dolgusu vardır ve bu malzemede b noktası en düşük yanal ötelenmeyi yapmaktadır. Gene aynı şekilde 1. grup malzeme en düşük rijitliğe sahip kabuk dolgusunu temsil eder ve en fazla yanal ötelenme bu malzeme grubunda elde edilmiştir. Bu grafikten söylenebilir ki kabuk dolgusu rijitliği arttıkça gövde içerisindeki yanal ötelenmeler azalacaktır.

Şekil 8.2'deki Tip 9 2. grup malzeme ise çekirdeğin düşük rijitliği ve yüksek kabuk rijitliği nedeniyle baraj inşaatı esnasında 40 m ile 60 m arasında rölatif olarak gittikçe azalan +X istikametinin tersine -X istikametinde ötelenmeler olmuştur.

Çizelge 4 Tip 9 (2. grup), Tip 10 (3. grup) enkesiti üzerindeki b noktalarından okunan yanal ötelenmeler

Baraj inşasında ulaşılan yükseklik. (m)	Tip 9 b noktası yanal ötelenmesi ($\cdot 10^{-3}m$)	Tip 10 b noktası yanal ötelenmesi ($\cdot 10^{-3}m$)
40	-12	10
50	-17	19
60	-21	28
70	-23	38
80	-18	58
90	-6	84
100	7	104

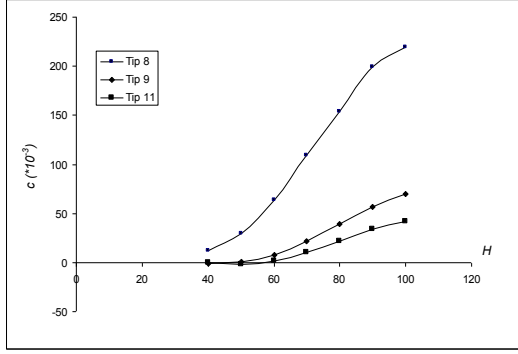


Şekil 19 Tip 9 (2. grup), Tip10 (3. grup) enkesiti b noktasının yatay yöndeki deformasyonu

Şekil 19 ve Çizelge 4'te kabuk rijitliği birbirine çok yakın iki dolguda çekirdek rijitliğinin "b" noktasındaki yanal deformasyona etkisi görülmektedir. Çekirdek rijitliği düşük olduğu zaman şekil 19 Tip 9' da görüldüğü gibi +X istikametinin tersine deformasyonların olmaktadır. Ancak şekil 19 Tip 10' da ise yüksek rijitlikli çekirdekte bu davranışın oluşmadığı görülmektedir. Bu durumda şunları söyleyebiliriz; çekirdeğe yakın bölgelerde inşaat esnasında, düşük rijitliğe sahip çekirdeklerde dolgunun belli bir yüksekliğine kadar ters istikamette deformasyonlar oluşmakta dolgu bittiğinde ise +X yönünde daha az ötelenmektedir.

Çizelge 5 Tip 8 (1. grup), Tip 9 (2. grup), Tip11 (4. grup) enkesiti üzerindeki c noktası üzerindeki noktalarından okunan yanal ötelenmeler

Baraj inşasında ulaşılan yükseklik (m)	Tip 8 c noktası yanal ötelenmesi ($\cdot 10^{-3}m$)	Tip 9 c noktası yanal ötelenmesi ($\cdot 10^{-3}m$)	Tip 11 c noktası yanal ötelenmesi ($\cdot 10^{-3}m$)
40	12	-1	0
50	30	1	-2
60	64	7,5	2
70	109	21,5	10
80	154	39,5	22
90	199	56,5	34
100	219	69,5	42



Şekil 20 Tip 8 (1. grup), Tip 9 (2. grup), Tip11 (4. grup) enkesiti c noktasının yatay yöndeki deformasyonu

Şekil 20'de 4. grup malzeme en rijit kabuk dolguya sahiptir dolayısıyla en düşük yatay deformasyonu yapmaktadır. Aynı şekilde en düşük rijitliğe sahip kabuk dolgusu Tip 8 1. grup malzemedir. Bu dolgudaki c noktasının daha fazla deformasyon yaptığı görülmektedir. Şekil 20'ye göre söylenilebilir ki kabuk dolgunun rijitliği arttıkça dolgu eteğinin yanal ötelenmesi azalacaktır. Baraj gövdesinde meydana gelen oturmaları incelemek ve karşılaştırmak için Tip 8 (1. grup), Tip 9 (2. grup), Tip 10 (3. grup) ve Tip 11 (4. grup) numaralı modeller tabakalar halinde inşaat esasına göre çözülmüştür. Şekil 20 ve Çizelge 5'te çekirdek rijitlikleri aynı olan kabuk rijitlikleri farklı olan 3 modelde kabuk içerisinde bulunan "c" noktasının yatay deformasyon değişimleri görülmektedir.

7 SONUÇ

Bu çalışmada baraj temelinin rijitlik modülü oldukça yüksek alınarak temel etkisi minimize edilmiştir. Bir başka değişle, temel sağlam kaya temel olarak alınmıştır. Kabuk dolgusu ve kil çekirdek değerleri de değiştirilerek dört grup malzeme oluşturulmuştur. Bu malzeme değerlerinden; 1. grup malzeme kil çekirdek ile kabuk dolgunun yaklaşık aynı rijitliğe sahip olduğu kaya dolgu barajı temsil etmektedir. 2. grup malzeme kabuk dolgunun kil çekirdekten daha rijit olduğu kaya dolgu barajı temsil etmektedir. 3. grup malzeme yine kil çekirdek ile kabuk dolgunun yaklaşık aynı rijitliğe sahip olduğu kum-çakıl dolgu barajı temsil etmektedir. 4. grup malzeme ise kabuk dolgunun kil çekirdekten daha rijit olduğu kum-çakıl dolgu barajı temsil etmektedir. Ayrıca farklı şev eğimleri ve farklı grup malzemelerle toplam oniki tip baraj modeli oluşturulmuştur. Gerilme hesaplamalarında Plaxis yazılımında baraj enkesiti bir bütün olarak inşa edilmiş gibi düşünülüp analizler yapılmıştır. Analizler üzerinden düşey gerilme değerleri okunmuştur.

Yapılan analiz sonuçlarına göre; 1. grup malzeme kabuk dolgusu ile yaklaşık olarak aynı rijitlik değerine sahip bir dolgu baraj üzerinde yatay ve düşey gerilme dağılımlarında kabuk dolgusu şevinin önemli bir parametre olmadığı görülmüştür. Değişik kabuk şevleri için birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde kabuk şev eğimlerinin değişiminin çekirdek üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir.

Kil çekirdeğin memba ve mansap şevlerinin değişiminin kabuk dolgusu üzerindeki gerilme dağılımı üzerinde önemli bir etkisi olmadığı görülmektedir. Çekirdek eğiminin çekirdek içerisindeki gerilme dağılımına rijitlik kadar olmasa da ihmal edilemeyecek oranda etki ettiği düşey gerilme oranındaki değişimle görülmektedir.

Aynı geometriye sahip gövde üzerinde farklı malzeme grupları kullanılarak yapılan analizler sonucunda rijitlik farkı daha çok olduğu kolayca görülmektedir.

Sonuç olarak; yapılan analizlerdeki Plaxis çıktılarında görüldüğü üzere çekirdeğin eğimi, kayma dairelerinin oluşabileceği bölgelere 1. derecede etki etmektedir. Geniş bir çekirdek daha düşük içsel sürtünme açısı olan bölge anlamına geldiği için bu bölgeler analizlerde daha fazla plastik noktalar barındırmaktadır.

Yapılan analizlerde malzemenin rijitlik değerlerinin baraj gövdesi üzerinde olabilecek etkilerde diğer parametrelere göre daha çok etkili olduğu görülmektedir. Kil çekirdek ile kabuk malzemesinin rijitliklerinin farklı olması durumunda eğer kil çekirdeğin rijitliği kabuk malzemesine göre düşükse yani çekirdek fazla deformasyon yapabilme özelliğine sahipse çekirdek malzemesi kabuğa göre fazla deformasyon yaparak filtreler üzerinden kabuk dolguya asılmaktadır. Bu durum Kemerleşme olayıdır. Plaxis çıktısında çekirdek altında tabanda yaklaşık 700 kN/m²'lik bir basınç vardır. Oysaki aynı geometrik özelliklere sahip Tip 10 analizinde (3. grup malzeme ile yapılan analiz) efektif gerilmeler çıktısı incelendiğinde aynı çekirdek ve kabuk şev eğimine sahip barajın çekirdek tabanında 1300 kN/m²'lik gerilme oluşmuştur. Neredeyse yarı yarıya çekirdek tabanında fark yaratan bu kemerleşme hadisesi baraj mühendisliğinde oldukça dikkat edilmesi gereken ve istenmeyen bir olaydır. Çünkü taban üzerinde kemerleşme etkisi ile gerilmenin düştüğü bu noktada hidrostatik yük kemerleşme gerilmesinden büyük olursa bu noktada "Hydraulic Fracturing" adı verilen hidrolik kırılma olayı meydana

gelecektir. Bu durum ABD de 1976 Temmuzunda hidrolik kırılmanın tetiklediğine inanılan borulanma hadisesi ile yıkılan Teton Barajı'nda olduğu gibi riskli bir durum oluşturacaktır. Bu nedenle çekirdek dolguları her zaman kabuklardan daha iyi sıkıştırılmalıdır. Böylelikle hem kayma mukavemeti artırılır hem geçirimsizliğe faydası olur hem de rijitliği artırılır.

Eğer dolgu gerçekte olduğu şekilde tabakalar halinde inşa edildiği gibi değil de sanki toptan bitmiş gibi düşünülerek analizi yapılırsa maksimum deplasman krette oluşmaktadır. Ancak bu gerçekte böyle değildir. Gövde gerçek deplasman davranışını yakalamak için barajın tabakalar halinde inşa edildiği göz önünde bulundurularak modellenmiştir. Baraj gövdesi on metre yüksekliğinde on tabakaya ayrılmıştır. Barajın Plaxis 8.x de modellenmesinden sonra her bir inşaat aşaması için program oluşturulmuş ve her bir aşama için aşağıdaki gerilme deformasyon durumları incelenmiştir.

4. grup malzemede en rijit kabuk dolgusu vardır ve bu malzemede *b* noktası en düşük yanıl ötelemeyi yapmaktadır. Gene aynı şekilde 1. grup malzeme en düşük rijitliğe sahip kabuk dolgusunu temsil eder ve en fazla yanıl ötelenme bu malzeme grubunda elde edilmiştir. Söylenebilir ki kabuk dolgusu rijitliği arttıkça gövde içerisindeki yanıl ötelenmeler azalacaktır.

2. grup malzeme ise çekirdeğin düşük rijitliği ve yüksek kabuk rijitliği nedeniyle baraj inşaatı esnasında 40 m ile 60 m arasında rölatif olarak gittikçe azalan +X istikametinin tersine -X istikametinde ötelenmeler olmuştur.

Kabuk rijitliği birbirine çok yakın iki dolguda çekirdek rijitliğinin "b" noktasındaki yanıl deformasyona etkisi görülmektedir. Çekirdek rijitliği düşük olduğu zaman +X istikametinin tersine deformasyonların olmaktadır. Ancak yüksek rijitlikli çekirdekte bu davranışın oluşmadığı görülmektedir. Bu durumda şunları söyleyebiliriz; çekirdeğe yakın bölgelerde inşaat esnasında, düşük rijitliğe sahip çekirdeklerde dolgunun belli bir yüksekliğine kadar ters istikamette deformasyonlar oluşmakta dolgu bittiğinde ise +X yönünde daha az ötelenmektedir.

Çekirdek rijitlikleri aynı olan kabuk rijitlikleri farklı olan üç modelde kabuk içerisinde bulunan "c" noktasının yatay deformasyon değişimleri; 4. grup malzeme en rijit kabuk dolguya sahiptir dolayısıyla en düşük yatay

deformasyonu yapmaktadır. Aynı şekilde en düşük rijitliğe sahip kabuk dolgusu 1. grup malzemedir. Bu dolgudaki *c* noktasının daha fazla deformasyon yaptığı görülmektedir. Söylenebilir ki kabuk dolgusunun rijitliği arttıkça dolgu eteğinin yanıl ötelenmesi azalacaktır.

8 KAYNAKLAR

- [1] Intraratnai, B. (1992). Performance of Test Embankment Constructed to Failure on Soft Marine, Journal of Geotechnical Engineering, 118-1, 12-33.
- [2] Justo, J.L. (1973), The Cracking of Earth And Rockfill Dams, 11th ICOLD Congresses, Madrid, 1973, Comm. C II, IV.
- [3] Kohgo, Y., Yamahhita, T. (1988). Finite Element Analysis of Fill Type Dams Stability During Construction by Using Effective Stress Concept . Numerical Methods in Geomechanics, 1315-1322.
- [4] Kondner, R.L. (1963), Hyperbolic Stress-Strain Response: Cohesive Soils, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol 89, No.SM1.
- [5] Kulhawy H.F. (1969), Finite Element Analysis of Behavior of Embankment, Ph.D.Thesis, University of California, Berkeley,1969.
- [6] Naylor, D., Mattar, D. (1988). Layered Analysis of Embankment Dams, Numerical Methods in Geomechanics, 119, Rotterdam, Balkema.
- [7] Mirata, T. (1985). Dolgu Barajların İçinde ve Altındaki Gerilme Dağılımlarının Bulunması, Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mekaniği Semineri, 28.1, 28.32, Adana, Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı.
- [8] Squier, L.R. (1970), Load Transfer in Earth and Rockfill Dams, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol 96, No.SM1.
- [9] Thomas, H.H. (1976), The Engineering of Large Dams, Part II, John Wiley and Sons, London.
- [10] Ağırlioğlu, N., 2005. Baraj Planlama ve Tasarımı Cilt 1-2, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 2005.
- [11] Chanrupatla, T.R., Belegundu, A.D. 1991. Introduction to Finite Elements in Engineering, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- [12] Durgunoğlu, T. ve Yazicioğlu, A., (1993). Kaya Dolgu Barajlarda Gerilme ve Deformasyon Hesabına Ait Bir Uygulama, Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mekaniği Problemleri Sempozyumu, 20-25 Eylül 1993, İzmir, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, s. 123-138.

- [13] Emiroglu, M.E. (1991) Baraj Tip Seçiminin Belirlenmesinde Uzman Sistem Kullanımı. Doktora tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye.
- [14] Emiroglu, M.E. (2008) Influences on Selection of the Type of Dam, International Journal of Science & Technology Volume 3, No 2, 173-189, 2008.
- [15] USBR, 1986. "Design of Small Dams", A Water Resources Technical Publication, Third Edition, United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, USA.

LABİRENT YAN SAVAKLARDA SU YÜKÜNÜN DEŞARJ KAPASİTESİNE ETKİSİ

M. Emin EMİROĞLU
Doç. Dr., Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü, ELAZIĞ

(Makalenin geliş tarihi: 21.02.2011, Makalenin kabul tarihi: 05.07.2011)

ÖZET

Yan savaklar, herhangi bir kanaldan ihtiyaç duyulan debinin temin edilmesi veya fazla suyun uzaklaştırılması için taşkın, sulama, arazi drenajı, birleşik sistem kanalizasyon tesislerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada labirent yan savaklarda su yükünün (nap yükünün) artması ile deşarj kapasitesinin değişimi incelenmiştir. Bir labirent savak planda düz olmayan bir savak krete sahiptir. Labirent yan savakların debi deşarj kapasiteleri, klasik yan savaklara göre oldukça fazla olmaktadır. 45°'lik savak kıvrım açısına sahip labirent yan savak, en büyük debi katsayısı değerlerine sahip olmuştur. Fakat, su yükünün artması ile deşarj kapasitesindeki azalma eğilimi, küçük kıvrım açılarında sahip labirent yan savaklarda en fazla olduğu görülmüştür. Böylece, bu çalışmada savak üzerindeki su yükünün değişiminin etkisi detaylı bir şekilde tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yan savak, yanal akım, debi katsayısı, labirent savak, savak üzerindeki su yükü

EFFECT OF HEAD OF WATER OVER WEIR AT LABYRINTH SIDE WEIRS ON DISCHARGE CAPACITY

ABSTRACT

The side weirs are widely used in flood channels, irrigation channels, land drainage, and urban sewerage systems by flow diversion or intake devices. In this study, the effect of head of water over weir at the labyrinth side weirs on discharge capacity is studied experimentally. A labyrinth weir is defined as a weir crest that is not straight in plan form. The values of discharge capacity of the labyrinth side weirs are significantly higher than those of conventional side weirs (rectangular side weir). The highest values of discharge coefficient are obtained at 45° included angle of labyrinth side weir. However, discharge capacity decreases as the head of water over weir increases, especially at the labyrinth side weir with small weir included angle. Thus, the effect of variation of the head of water over weir is discussed in this study in detail.

Keywords: Side weir, lateral flow, discharge coefficient, labyrinth weir, head of water over weir

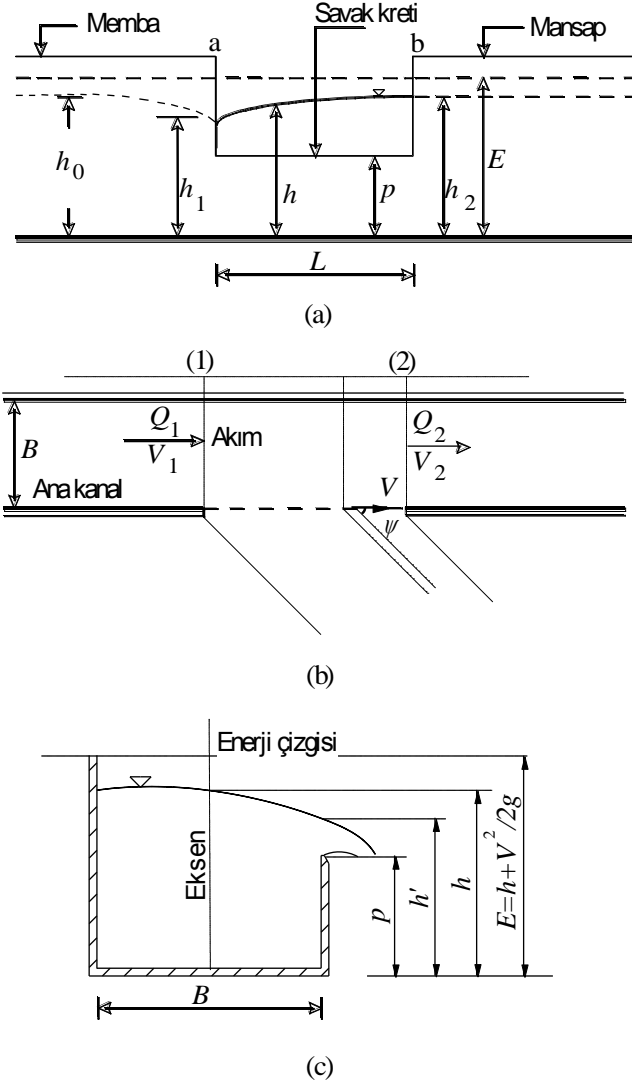
1 GİRİŞ

Savaklar; hidrolik mühendisleri tarafından debi ölçümü ve taşkın kontrolü vb. amaçlar için yüzyıllardır kullanılan en eski ve kullanım açısından en basit hidrolik yapılarıdır. Farklı savak tiplerinin her birinin hidrolik davranışı birbirinden çok farklıdır.

Yan savaklar; bir kanaldaki fazla debinin azaltılması veya herhangi bir kanaldan ihtiyaç olan debinin alınması için kullanılan bir hidrolik yapıdır. Bu savaklar kanalların yan duvarlarına akıma paralel olarak inşa edildiklerinden bu ismi almışlardır.

Yan savaklar birçok mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır. Yan savaklar herhangi bir kanaldan ihtiyaç duyulan debinin temin edilmesi veya fazla suyun uzaklaştırılması için sulama, arazi drenajı ve kanalizasyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Birleşik sistemlerde ana kolektördeki temiz olarak kabul edilen fazla yağmur suları, yan savaklar yardımıyla alıcı ortama direkt olarak verilmektedir. Böylece arıtma tesisinin yükü ve devam eden hattın boyutları azaltılmaktadır. Ayrıca, vadi yamaçlarından geçirilen kanallarda yüzeysel akış etkisiyle meydana gelecek fazla debi de yan savaklar yardımıyla uzaklaştırılmaktadır. Yine, sulamada dağılım ve kayıpların kontrolü yapılırken

de yan savaklardan faydalanılır. Düşük randımanla yapılan sulama işlemi sonucu ortaya çıkan su kayıplarının önüne geçmek için yan savak kullanılarak bu kayıpları en düşük seviyeye indirmek mümkün olmaktadır.



Şekil 1. Nehir akım rejimi durumu için yan savağın boykesit, plan ve enkesiti

Yan savakların farklı enkesit tipleri mevcuttur. Yan savaklar dikdörtgen, trapez veya dairesel kanalların yan duvarlarına farklı enkesitler de inşa edilirler. Bu enkesitleri; dikdörtgen, üçgen, trapez ve dairesel olarak saymak mümkündür. Yan savaklar ana kanalın yanına inşa edilirken; ana kanal eksenini ile belirli bir açı yapacak şekilde inşa edilebileceği gibi, ana kanala paralel olarak da inşa edilebilmektedir. Şekil 1'de nehir rejimindeki akım durumu için bir dikdörtgen yan savağın boykesit, plan ve enkesiti verilmiştir. Yan savak üzerinde su yüzü profili nehir rejiminde tedrici olarak artarken, sel rejiminde azalma meydana gelmektedir. Bu durum, Koch parabolü çizilerek görülebilir. Şekil 1 nehir rejimi için

çizildiğinden savak üzerindeki su tedrici olarak artmıştır.

Klasik yan savaklar konusunda literatürde çok sayıda çalışma vardır. Yapılan çalışmaların büyük bir kısmı dikdörtgen yan savaklar üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır: Ackers (1957), Collings (1957), Frazer (1957), Subramanya ve Awasthy (1972), El-Khashab ve Smith (1976), Uyumaz ve Muslu (1985), Hager (1987), Helweg (1991), Hager (1994), Singh vd. (1994), Agaçcioglu ve Yüksel (1998), Venutelli (2008), Durga Rao ve Pillai (2008). Borghei vd. (1999) nehir rejimi için dikdörtgen yan

savakların debi katsayısını belirlemek için deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu araştırmacılar, C_d için bir eşitlik sunmuşlardır. Kanal eğiminin ihmal edilebileceğini belirtmişlerdir.

Swamee vd. (1994) yan savakların hidroliği ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Dikdörtgenden farklı yan savakların hidrolik davranışını belirlemek için de Nandesomorthy ve Thomson (1972), Singh vd. (1994), Yu-tech (1972), Cheong (1991). Ranga Raju vd. (1979) araştırmalar yürütmüşlerdir. Kumar ve Pathak (1987) ince ve kalın kenarlı üçgen yan savakların debi katsayısını çalışmışlardır. Ghodsian (2003) sel rejiminde dikdörtgen yan savakları incelemişlerdir. Aghayari vd. (2009) kalın kenarlı eğimli yan savakların debi katsayısını incelemişlerdir.

Labirent yan savaklar ise yeni çalışılan bir konudur. Emiroğlu vd. (2007) ilk kez labirent yan savakların hidrolik karakteristiklerini ve su alma bölgesinde oluşan yerel oyulmayı detaylı bir şekilde incelemişlerdir. Emiroğlu vd. (2010) üçgen labirent yan savaklarda debi katsayısını elde ettikleri boyutsuz parametrelere göre deneysel olarak araştırmışlardır. Kaya vd. (2011) yarı eliptik labirent yan savağın hidrolik karakteristiklerini çalışmışlardır. Ayrıca, Emiroğlu ve Kaya (2011) trapez labirent yan savaklar konusunda detaylı bir araştırma yapmışlardır.

2 DENEYSEL ÇALIŞMA

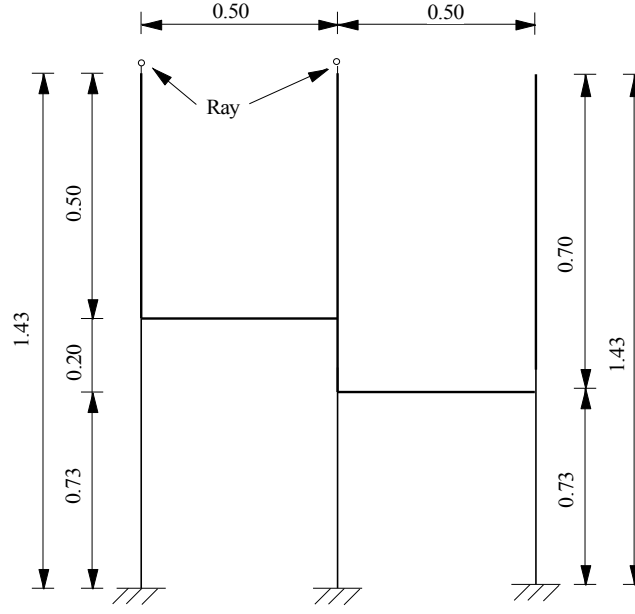
Bu çalışmayı yürütmek için Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik laboratuvarındaki deney sistemi kullanılmıştır. Bu deney seti, bir ana kanal ve bir adet toplama kanalından oluşmaktadır (Şekil 2). Ana kanal 0.50 m genişliğinde ve 0.50 m yüksekliğindedir. Toplama kanalı 0.50 m genişliğinde 0.70 m yüksekliğindedir. Yan savakların yerleştirileceği kısımların karşısındaki toplama kanalı genişliği 1.30 m

yarıçapında daire şeklinde inşa edilmiştir. Bunun nedeni labirent yan savaktan su savaklanırken serbest naplı ve akıma herhangi bir müdahale olmaması içindir. Şekil 2'de deney düzeneğinin plan ve kesitleri verilmiştir.

Deney setinin tüm yan duvarları cam ve fleksiglas malzemeden inşa edilmiştir. İki kanalı birbirinden ayıran kısım ise sac malzemeden yapılmıştır. Bir titreşimin olmaması açısından deney seti; yeterli ağırlıktadır. Set, uygun bir püskürtme boyama işlemi ile boyanmıştır. Set üzerine gerekli yerlere sakinleştiriciler yerleştirilmiştir. Deneyler yapılırken bu mevcut sakinleştiriciler yeterli gelmediği zaman su yüzüne paralel 6 inçlik demirden küçük karelere sahip bir sakinleştirici imal edilmiş, gerektiğinde kullanılmıştır. Bu şekilde limnimetre ile alınan okumalar hassas alınmaya çalışılmıştır.

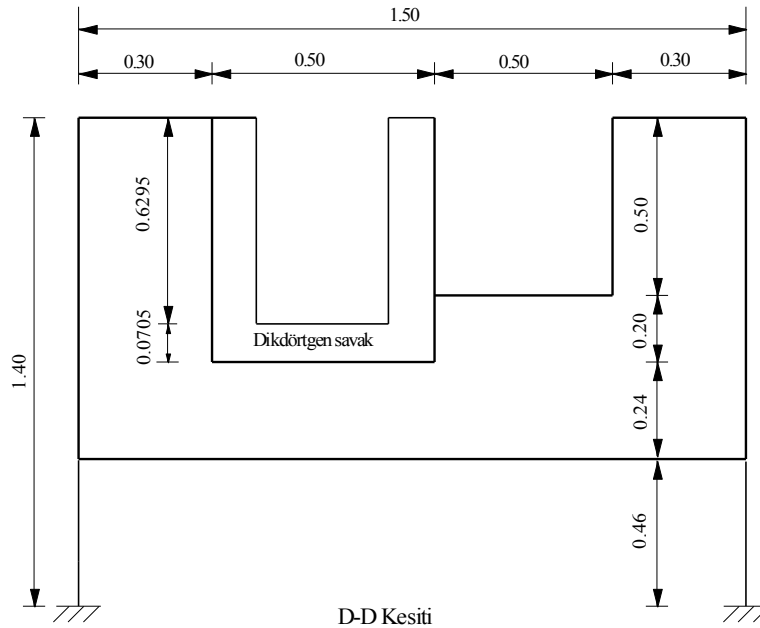
Seviye ölçümleri Mitutoyo marka dijital bir limnimetre ile yapılmıştır. Bu limnimetre ile 0.01 mm hassasiyetle okumalar yapılabilmektedir. Debi ölçümü elektromanyetik bir debimetre yardımı ile yapılmıştır. Ayrıca, ince kenarlı bir üçgen savak ile ölçülen sonuçlarla karşılaştırılmıştır (Şekil 2). Toplama kanalındaki debi ince kenarlı dikdörtgen savak yardımı ile ölçülmüştür. Bu savak için bir anahtar eğrisi çizilmiş ve yan savak üzerinden savaklanan debi doğru bir şekilde belirlenmeye çalışılmıştır. Bu anahtar eğrisi çizilirken hacim hesabından ve elektromanyetik debiden yararlanılmıştır.

Deney düzeneğinin eğimi 0.001'dir. Kanal eğiminin, nehir rejimi akım durumu için, ihmal edilecek bir parametre olduğu Borghei vd. (1999) tarafından ifade edilmiştir. Bu nedenle bu çalışmada kanal eğimi sabit olarak alınmıştır.



Bütün ölçüler metre cinsindedir

C-C Kesiti

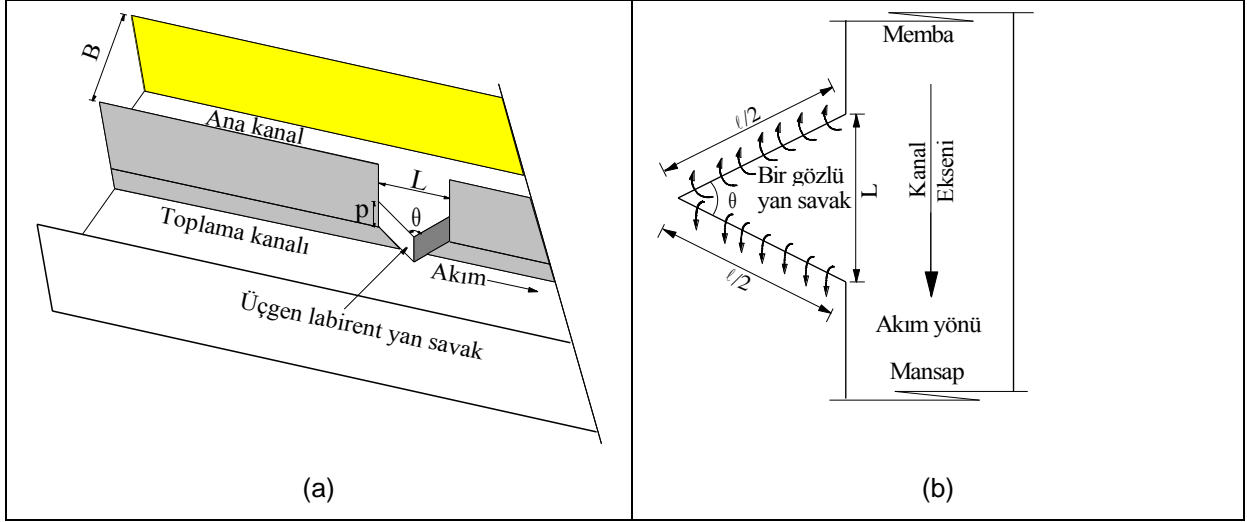


D-D Kesiti

Şekil 2. Deney seti plan ve kesitleri (tüm ölçüler metre cinsindedir) (Devam)

Şekil 3'te üçgen labirent savağın şematik görünümü ve plan görünümü verilmiştir. Burada, p kret yüksekliğini, L savak uzunluğunu, l ($=l/2+l/2$) bir göze ait toplam kret uzunluğunu, B ana kanal genişliğini ve θ ise labirent savak kıvrım açısını ifade etmektedir. Bu çalışmada Şekil 3'te gösterildiği gibi bir göz için çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen bulgular da bir göz için geçerlidir. Karşıdan alışı labirent savaklarda laboratuvar

ortamında veya nümerik olarak bir göz için çalışmalar yürütmek uygun olabilir. Fakat labirent yan savaklarda iki gözlü için ayrı bir çalışma, üç gözlü için ayrı bir çalışma vb. yürütmek sıhhatli sonuçlar almak için gereklidir. Çünkü yan savaklarda debi, savak memba ucundan itibaren sürekli olarak azalmasına karşın, karşıdan alışı labirent savaklarda sabit bir su yükü söz konusudur.



Şekil 3. Üçgen labirent yan savak; (a) Şematik görünüm, (b) Plan görünümü

3 DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Şekil 4'te su yükü oranı $(h_1-p)/p$ ile debi katsayısı C_d arasındaki değişim görülmektedir. Bu şekil, L/B oranı 0.5 (yani $L=25$ cm) ve $p=12$, 16 ve 20 cm için yapılan deney sonuçlarına göre çizilmiştir. $(h_1-p)/p$ oranının artması ile C_d değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bu azalma eğilimi küçük labirent yan savak kıvrım açılarındaki (θ) daha fazla olmuştur. θ açısının artması ile bu azalma miktarı daha az olmaktadır. Klasik yan savaklarda (ince kenarlı dikdörtgen yan savak) nap yükünün artması ile debi katsayısı değerlerindeki azalma miktarı, labirent savaklara göre daha az olduğu Şekil 4'te açıkça görülmektedir.

Şekil 5'te boyutsuz nap yükü ile debi katsayısı arasında değişim görülmektedir. Bu şekil, L/B oranı 1.0 ve $p=12$, 16 ve 20 cm için yapılan deney sonuçlarına göre çizilmiştir. $L=25$ cm için elde edilen deney sonuçlarına benzer olarak, $(h_1-p)/p$ oranının artması ile C_d değerlerinin azaldığı görülmüştür.

Şekil 6'da $(h_1-p)/p$ ile C_d arasındaki değişim görülmektedir. $\theta=45^\circ$ için uydurulan doğrunun eğimi 1.016 iken, $\theta=150^\circ$ için 0.075 olmuştur. Böylece, küçük açılı labirent yan savakların deşarj kapasiteleri, büyük kıvrım açılı labirent yan savaklara göre oldukça fazla olduğu görülmektedir. Bu durum, Emiroğlu vd. (2010) tarafından detaylı bir şekilde incelenmiştir. Küçük açılı labirent yan savaklarda nap yükünün artması bir dezavantaj olmaktadır. Bu, nap yükünün seçiminde dikkatli olunması anlamına gelmektedir. Klasik dikdörtgen yan savaklarda $(h_1-p)/p$ ile C_d arasında değişimde, $(h_1-p)/p$ değerlerinin artması ile C_d değerlerindeki azalma eğilimi labirent yan

savaklara göre oldukça azdır. Fakat bu, klasik yan savakların labirent yan savaklardan daha avantajlı olduğu anlamına kesinlikle gelmemektedir. Çünkü labirent yan savaklar, klasik yan savaklardan 1.5~4.5 kat daha fazla deşarj kapasitesine sahiptirler. Yine şunu açıkça ifade etmek gerekir ki, labirent yan savak kıvrım açısının küçülmesi ile deşarj kapasitesi önemli ölçüde artmaktadır. Fakat önemle dikkat etmek gerekir ki küçük kıvrım açılı labirent yan savakların deşarj performansı, büyük su yüklerinde iyi değildir (Şekil 5 ve 6).

Boyutsuz savak uzunluğunun (L/B) artması ile, $(h_1-p)/p$ ile C_d arasındaki azalma eğilimi daha fazla olmaktadır. $L/B=0.5$, $\theta=45^\circ$ için uydurulan doğrunun eğimi 0.3431; $L/B=1.0$, $\theta=45^\circ$ için uydurulan doğrunun eğimi 0.9253; $L/B=1.5$, $\theta=45^\circ$ için uydurulan doğrunun eğimi 1.016 olduğu Şekil 4, 5 ve 6'dan görülmektedir. L/B oranı arttıkça azalma eğilimi de artmıştır. Yine $L/B=0.5$, $\theta=60^\circ$ için uydurulan doğrunun eğimi 0.1363; $L/B=1.0$, $\theta=60^\circ$ için uydurulan doğrunun eğimi 0.3985; $L/B=1.5$, $\theta=60^\circ$ için uydurulan doğrunun eğimi 0.4833 olmuştur. Diğer θ açıları için de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Buradan şu sonuç çıkartılabilir: L/B oranı arttıkça su yükünün artması ile, özellikle küçük θ açılarındaki, debi katsayısı değerlerinde daha fazla azalma eğilimi olmaktadır. Bunun sebebi, L/B oranı arttıkça yanal akım nedeni ile sekonder akımın şiddetinin daha da artmasıdır.

Ana kanaldan üçgen labirent yan savağa yönelen su, labirent yan savak teknesi üzerinde vorteks oluşturabilmektedir. Bu durum büyük Froude sayılarında ve büyük L/B oranlarında daha çok gözlenebilmektedir. Bu

vorteksin önlenmesi, savak genişliği (L) dikkate alınarak 5~10 cm genişliğinde ve kret uzunluğu kadar yükseklikteki bir levha düşey olarak savak teknesi üzerine yerleştirilebilir. Bu levha savak ortasına sabitlenebilir. Bu konuda henüz yeterli bir çalışma mevcut değildir. Fakat laboratuvar ortamında yapılan ön çalışmalar, böyle bir levhanın vorteks oluşumunu azalttığı tespit edilmiştir. İkinci bir husus, savak titreşimlerinin oluşumudur. Bu durum, barajlarda büyük kret yükseklikli, karşıdan alırlı labirent savaklarda oluşabilmektedir. Bu problem, nap ayırıcıların kullanımı ile giderilmektedir. Fakat, labirent yan savaklar üzerindeki akımın yanal akım olması, göz adedinin bir~üç adet olması gibi nedenlerden dolayı böyle bir titreşimin oluşumu yapılan deneylerde gözlenmemiştir. Uygulamada da labirent yan savaklarda bu durum ile karşılaşılması küçük bir ihtimaldir. Böyle bir durum ile karşılaşılması durumunda nap yarıcılarının kullanımı düşünülebilir. Nap yarıcı kullanmak deşarj edilen debiyi çok az bir miktar azalttığı dikkate alınmalıdır.

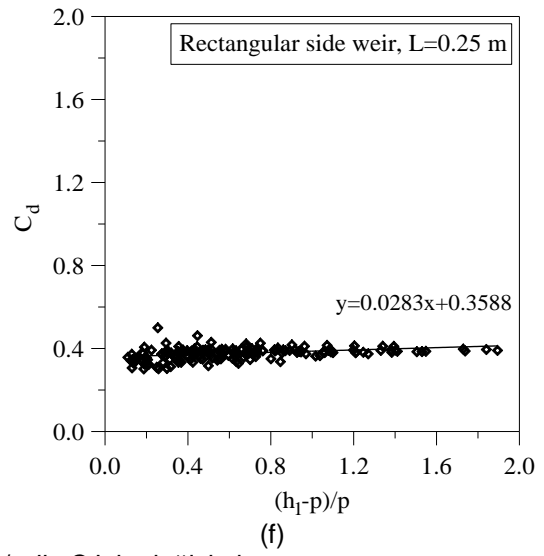
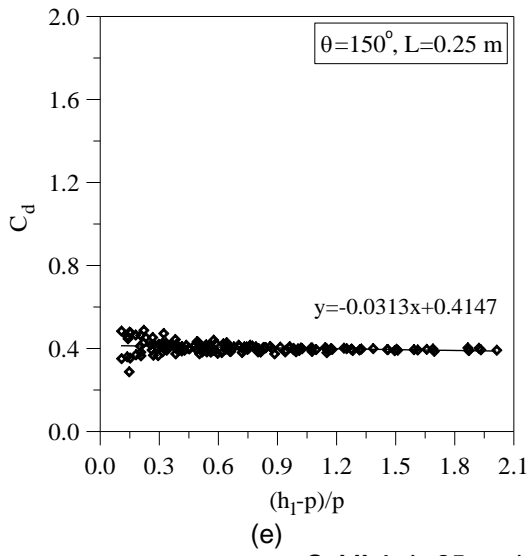
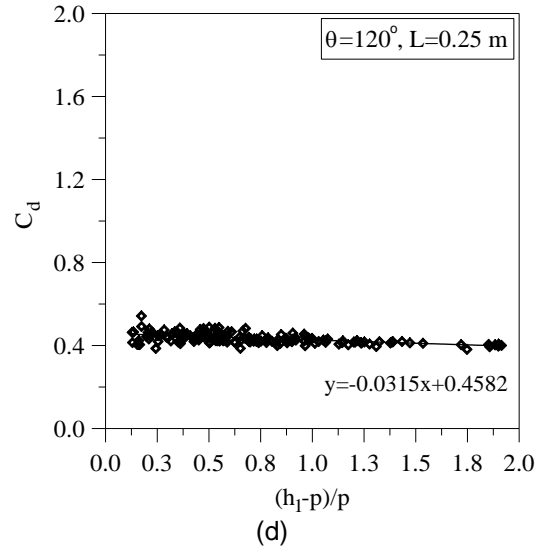
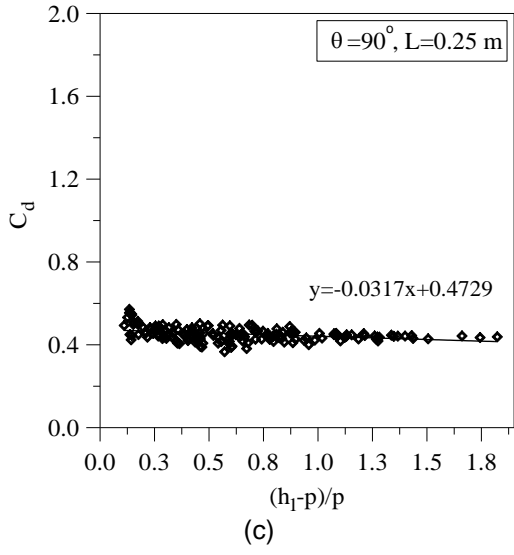
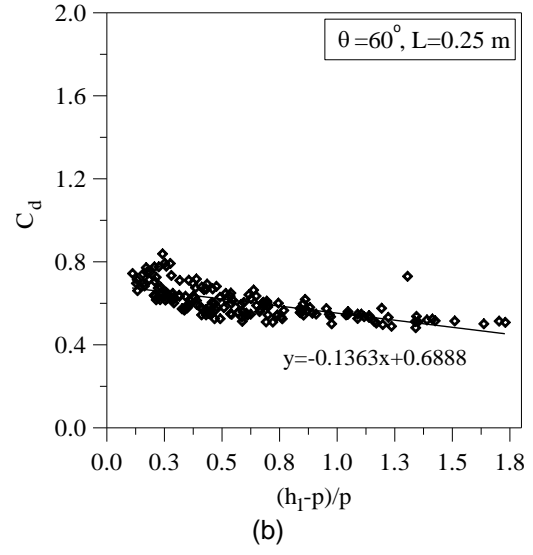
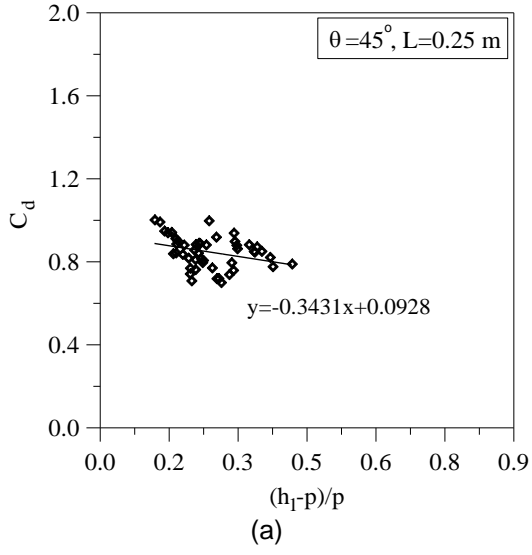
Barajlarda kullanılan labirent yan savakların kenar duvar açıları çok küçüktür. Bir başka değişle karşıdan alırlı labirent yan savaklarda kenar duvar açıları çoğunlukla 5 ile 25 derece arasında seçilmektedir. 6 ~ 8 derece gibi küçük açılar da tercih edilmektedir. Amaç, kret boyunu artırmak ve böylece deşarj kapasitesini artırmaktır. Fakat, labirent yan savaklarda böyle küçük açıları seçmek birkaç nedenden dolayı uygun olmamaktadır: (1) Karşıdan alırlı labirent dolusavaklar bir gövde üzerine oturtulurlar. Labirent yan savaklar ise bir gövde üzerinde değillerdir. Küçük açılı labirent yan savakların inşa edilmeleri, büyük açılara göre daha güçtür. (2) Labirent yan savak kıvrım açısı küçüldükçe, nap yükünün artması ile deşarj kapasitesi azalmaktadır. Büyük nap yüklerinde çok avantajlı olmamaktadırlar.

(3) Labirent yan savakların deşarj kapasiteleri, klasik yan savaklara göre oldukça fazladır. Bu nedenle çok küçük açılı labirent savaklara gereksinim olmamaktadır.

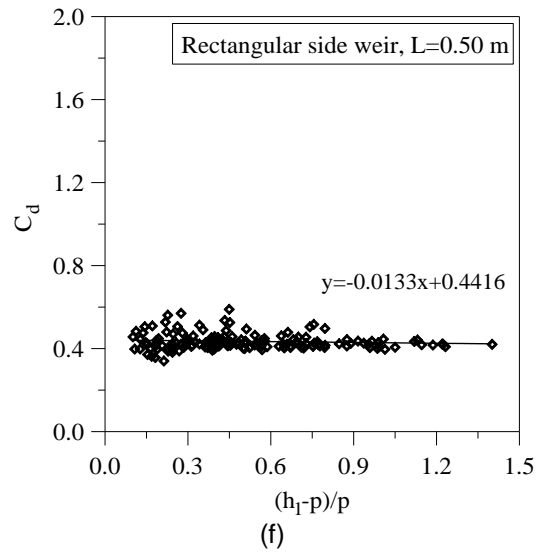
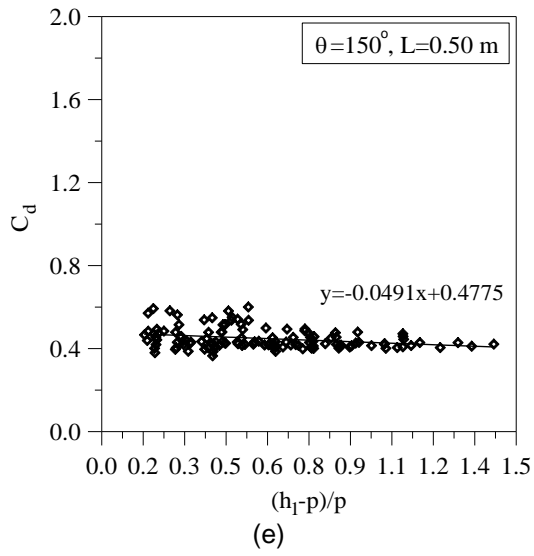
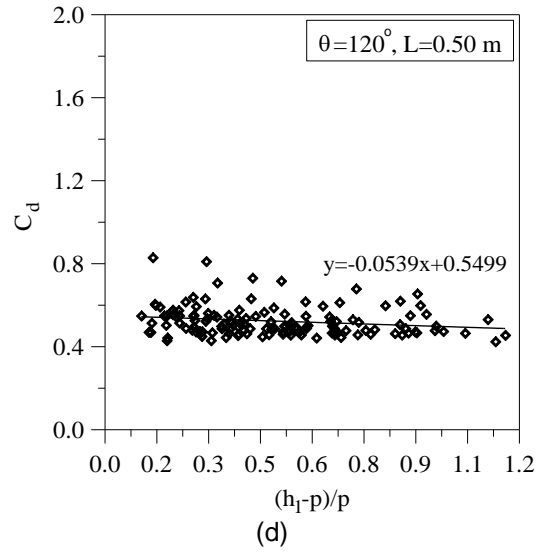
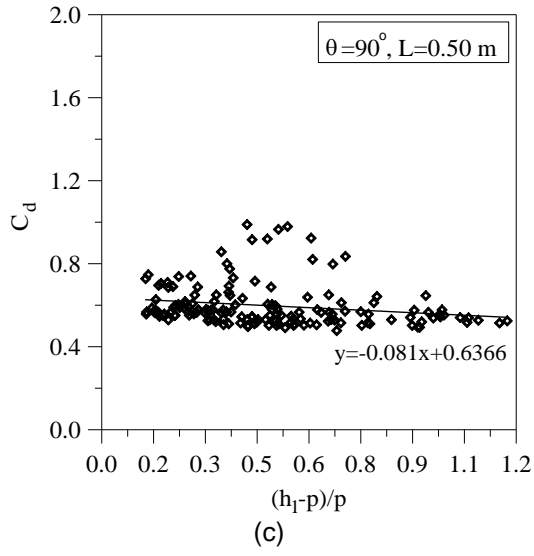
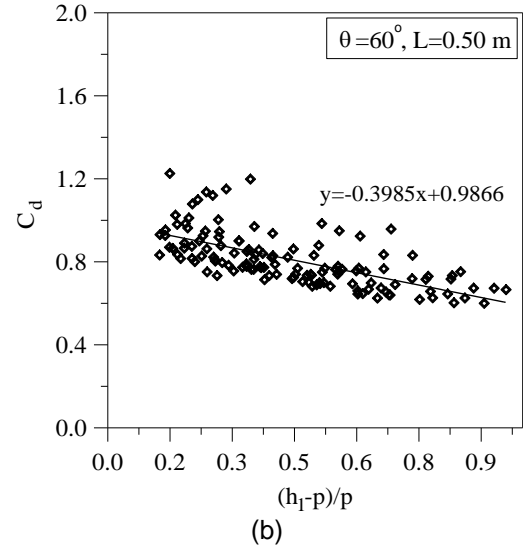
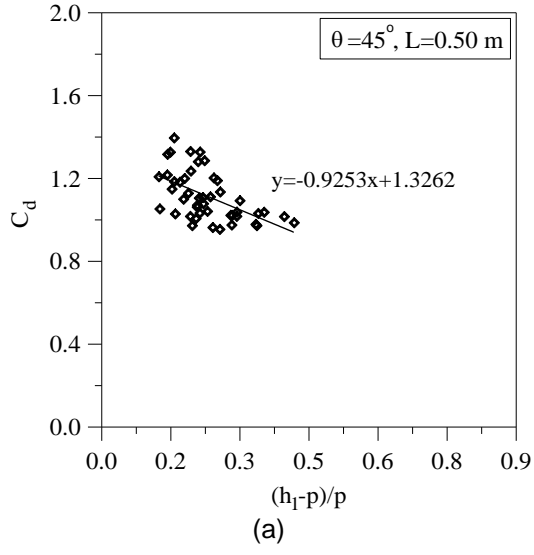
Novak ve Cabelka (1981) minimum nap yükünün 3 cm olarak alınması durumunda, yüzeysel gerilme etkilerinin ortadan kaldırılacağını ifade etmişlerdir. Bu durumu da dikkate alarak minimum ve maksimum nap yükü seçiminin özenle yapılması, uygun bir tasarım için gereklidir. Maksimum su yüküne karar verirken Şekil 4, 5 ve 6 kullanılabilir.

Sabit bir debi için nap yükünü azaltmak amacıyla labirent yan savak göz sayısı artırılabilir. Bir gözlü bir üçgen labirent yan savak üzerindeki akım Şekil 7'de ve çok gözlü bir labirent yan savak görünümü Şekil 8'de verilmiştir. Labirent yan savakların deşarj kapasiteleri, klasik yan savaklara göre çok yüksek olduğu için çoğu durumda bir veya iki göz yeterli olacaktır. Bir başka değişle, yan savaklar için, barajlarda kullanılan karşıdan alırlı labirent savaklardaki gibi çok göze ihtiyaç olmamaktadır.

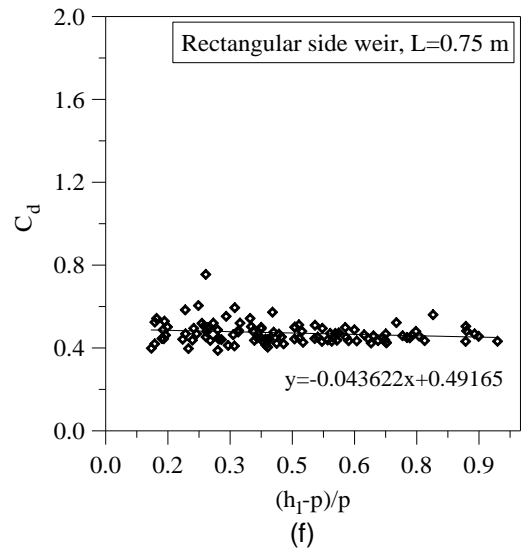
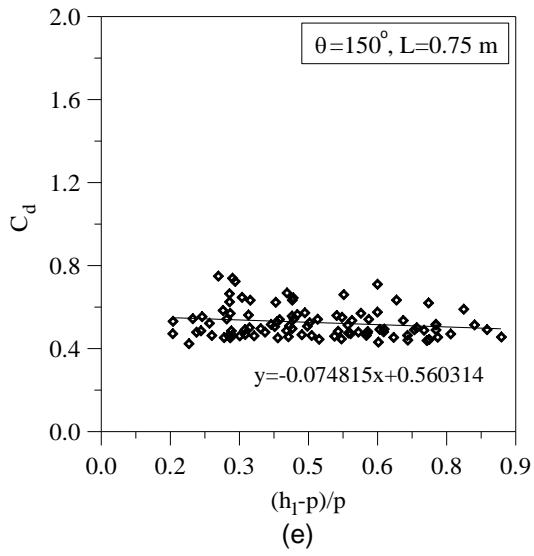
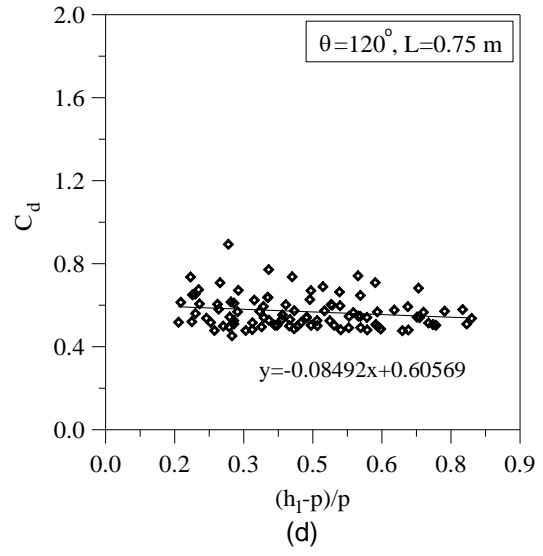
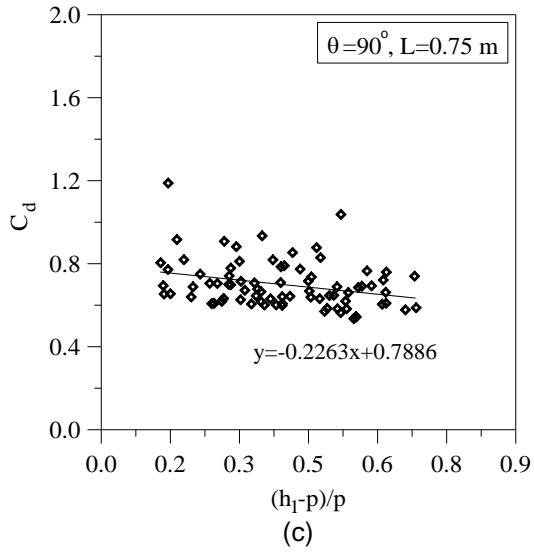
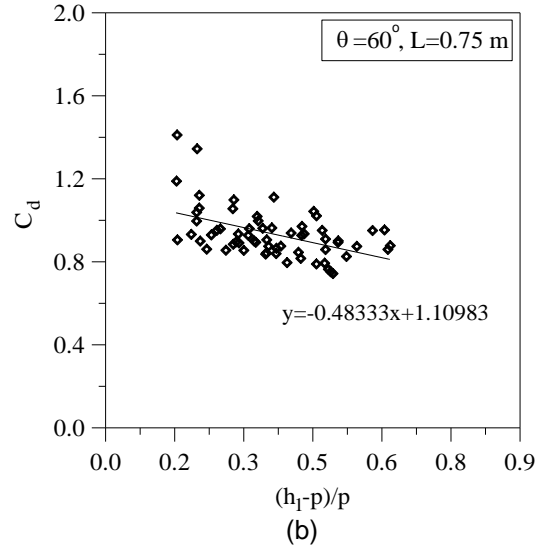
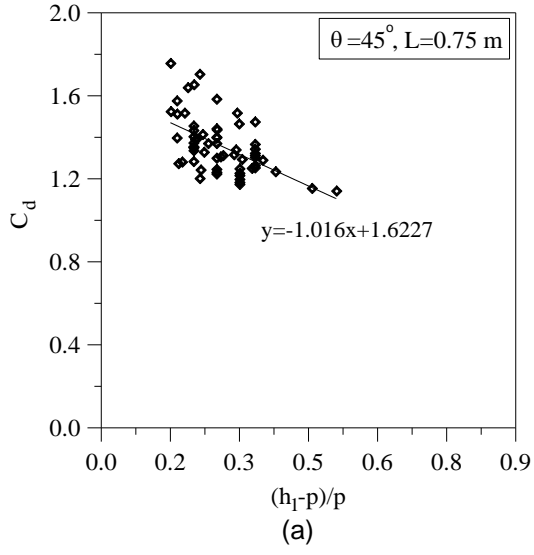
Nap yükünün azalması ile debi katsayısı değerinin azalması durumu, karşıdan alırlı labirent savaklarda çok iyi bilinen bir özelliktir. Örneğin; Falvey (2003) ve Tullis vd. (1995) labirent savaklar üzerinde nap yükünün artışının, deşarj kapasitesinin azalmasına neden olduğunu ifade etmişlerdir. Bu nedenle karşıdan alırlı labirent savaklarda $(h_1-p)/p$ oranı, 0.1 ile 0.7 arasında seçilir. Benzer şekilde labirent yan savaklarda da $(h_1-p)/p$ oranı seçiminde sınırlama olduğu unutulmamalıdır. Bu çalışmada verilen Şekil 4, 5 ve 6 kullanılarak bu orana karar verilebilir.



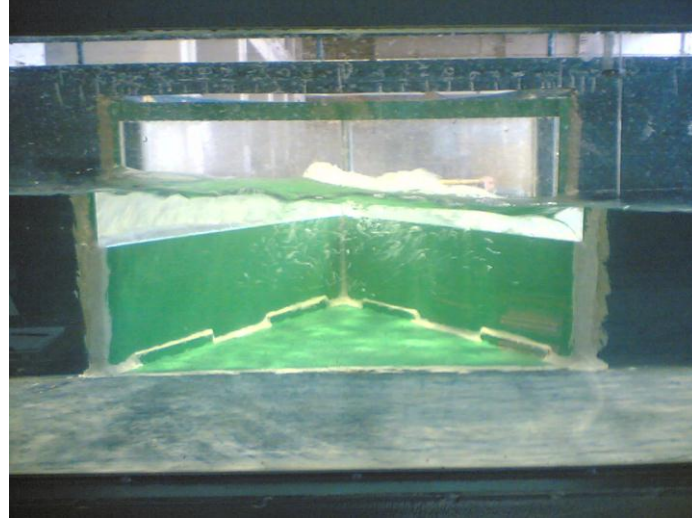
Şekil 4. $L = 25 \text{ cm}$ için $h_1 - p/p$ ile C_d 'nin değişimi



Şekil 5. $L=50 \text{ cm}$ için h_1-p/p ile C_d 'nin değişimi

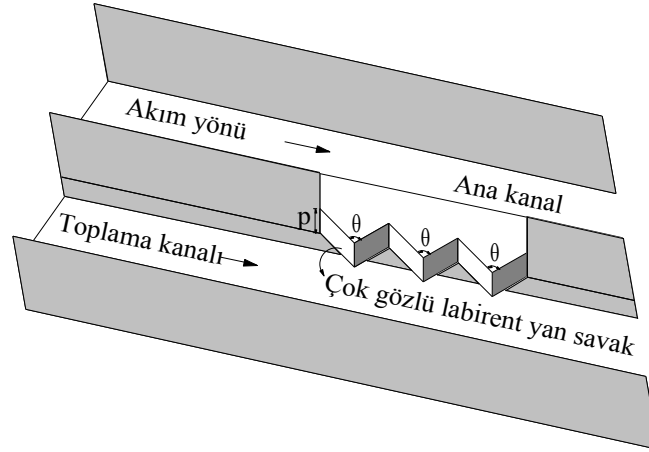


Şekil 6. $L=75 \text{ cm}$ için h_1-p/p ile C_d 'nin değişimi



Akım yönü ←

Şekil 7. Labirent yansavak üzerindeki akım ve su yüzü profilinin görünümü



Şekil 8. Çok gözlü labirent yan savak görünümü

6 SONUÇLAR

Doğrusal kanalda nehir rejimi durumunda su yükü ile labirent yan savak debi katsayısı arasındaki ilişki deneysel olarak incelenmiştir. Labirent yan savakların debi katsayısı klasik yan savakların debi katsayısından çok yüksek (1.5~4.5 kat) olduğu görülmüştür. Labirent yan savak kıvrım açısının küçülmesiyle kret boyu artmakta ve böylece debi katsayıları da artmaktadır. Fakat, labirent yan savaklarda nap yükünün artması ile debi katsayısı azalmaktadır. Bu azalma eğilimi küçük kıvrım açılarında daha fazla olmaktadır. Tasarımcının bu durumu dikkate alması oldukça önemlidir. Nap yükünü düşürmek için çok gözlü labirent yan savak tercih edilebilir. Labirent yan savakların deşarj kapasiteleri, klasik yan savaklara göre çok yüksek olması nedeni ile iki veya üç gözden daha fazla göze gereksinim olmamaktadır. Böylece, klasik yan savakların yerine daha büyük debi katsayısı değerlerine

sahip labirent yan savakların kullanımı avantajlar sağlayacaktır.

7 KATKI BELİRTME

Bu çalışma TÜBİTAK 104M394 no'lu proje ile desteklenmiştir. TÜBİTAK'a desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Ayrıca, deneylerin yapılmasındaki yardımlarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Nihat Kaya'ya teşekkür ederim.

8 SEMBOLLER

B	Ana kanal genişliği (m)
C_d	Yan savak debi katsayısı (-)
E	Herhangi bir kesitteki özgül enerji yüksekliği (m)
g	Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
h	Herhangi bir kesitteki akım derinliği (m)
h_1	Yan savak membasında ana kanal eksenindeki su derinliği (m)
h_2	Yan savak mansabında ana kanal eksenindeki su derinliği (m)

L	Yan savak uzunluğu (m)
p	Yan savak kret yüksekliği (m)
Q_1	Ana kanal debisi (m^3/s)
Q_2	Yan savaktan sonraki ana kanal debisi (m^3/s)
V_1	Yan savak membasında ana kanal eksenindeki ortalama akım hızı (m/s)
θ	Labirent yan savak kıvrım açısı ($^\circ$)
ψ	Yan savağa doğru sapma açısı ($^\circ$)

9 KAYNAKLAR

- [1] Ackers P. 1957. A theoretical consideration of side weirs as storm water overflows. Proc. of the Ice, London, 6: 250-269.
- [2] Agacçioğlu H., Yüksel Y. 1998. Side weir flow in curved channels, Journal of Irrigation Drainage Engineering, 124(3),163-175.
- [3] Aghayari F., Honar T., Keshavarzi A. 2009. A Study of spatial variation of discharge efficient in broad-crested inclined side weirs, Irrigation and Drainage, 58, 246-254.
- [4] Borghei M., Jalili M. R., Ghodsian M. 1999. Discharge coefficient for sharp-crested side weir in subcritical flow, Journal of Hydraulic Engineering, 125(10), 1051-1056.
- [5] Cheong H. F. 1991. Discharge coefficient of lateral diversion from trapezoidal channel, Journal of Irrigation Drainage Engineering, Proc., ASCE, 117(4), 321-333.
- [6] Collings V. K. 1957. Discharge capacity of side weirs. Proc. Inst. of Civ. Engrs., 6, London, England, 288-304.
- [7] Durga Rao K. H. V., Pillai, C. R. S. 2008. Study of flow over side weirs under supercritical conditions, Water Resources Management 22, 131-143.
- [8] El-Khashab A. M. M., Smith K. V. H., 1976. Experimental investigation of flow over side weirs, Journal of Hydraulics Division, Proc., ASCE, 102(HY9), 1255-1268.
- [9] Emiroğlu M. E., Kaya, N., Agaccioğlu, H. 2010. Discharge capacity of labyrinth side weir located on a straight channel, J Irrig Drainage Eng ASCE 136 (1), 37-46.
- [10] Emiroğlu, M. E. and Kaya, N. 2011. Discharge coefficient for trapezoidal labyrinth side weir in subcritical flow, *Water Resources Management*, 25, 1037-1058.
- [11] Emiroğlu, M. E., Kaya, N. Öztürk, M. 2007. Labirent yan savaklardaki akımın ve su alma bölgesindeki oyulmanın kıvrımlı bir kanal boyunca incelenmesi", TÜBİTAK, Proje No: 104M394.
- [12] Falvey, H. T. 2003. Hydraulic design of labyrinth weirs, American Society of Civil Engineers, Virginia, 161p.
- [13] Frazer, W. 1957. The behavior of side weirs in prismatic rectangular channels, Proc. Inst. of Civ. Engrs. 6, London, England, 305-327.
- [14] Ghodsian, M. 2003. Supercritical flow over rectangular side weir, Canadian J. of Civil Eng. 30(3), 596-600.
- [15] Hager, W. H. 1987. Lateral outflow over side weirs. J Irrig Drainage Eng ASCE 113(4), 491-504.
- [16] Hager, W. H. 1994. Supercritical flow in circular-shaped side weirs, J Irrig Drainage Eng ASCE 120(1), 1-12.
- [17] Helweg, O. J. 1991. Microcomputer applications in water resources, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- [18] Kaya, N., Emiroğlu, M. E., Agaccioğlu, H. 2011. Discharge coefficient of semi-elliptical side weir in subcritical flow, *Flow Measurement and Instrumentation*, 22, 25-32.
- [19] Kumar, C. P., Pathak, S. K. 1987. Triangular side weirs, J Irrig Drainage Eng ASCE 113(1), 98-105.
- [20] Kumcu, Ş. Y. 1997. Hydraulic Characteristics of Sharp-Crested Weirs with Application to Labyrinth Spillways. Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- [21] Nandesamoorthy, T., Thomson, A., 1972. Discussion of spatially varied flow over side weir, J. Hydraulic Engineering, ASCE, 98(12), 2234-2235.
- [22] Novak, P., Cabelka, J. 1981. Models in Hydraulic Engineering, Pitman Publishing Limited, London.
- [23] Ranga Raju, K. G., Prasad, B. Grupta, S. K. 1979. Side weir in rectangular channels, Journal of Hydraulics Division, Proc., ASCE, 105(HY5), 547-554.
- [24] Singh, R., Manivannan, D., Satyanarayana, T. 1994. Discharge coefficient of rectangular side weirs, Journal of Irrigation Drainage Engineering, Proc., ASCE, 120(4), 814-819.
- [25] Subramanya, K., Awasthy, S. C. 1972. Spatially varied flow over side weirs, Journal of Hydraulics Division, Proc, ASCE, 98(HY1), 1-10.
- [26] Swamee, P. K., Santosh, K. P., Masoud, S. A. 1994. Side weir analysis using elementary discharge coefficient, J Irrig Drainage Eng ASCE 120(4), 742-755.

- [27] Tullis, J. P., Amanian, N., Waldron, D. 1995. Design of labyrinth spillways, J Hydraulic Eng ASCE 121(3): 247-255.
- [28] Uyumaz, A., Muslu, Y. 1985 Flow over side weir in circular channels, J Hydraulic Eng ASCE 111(1), 144-160.
- [29] Venutelli, M. 2008. Method of solution of nonuniform flow with the presence of rectangular side weir, J Irrig Drainage Eng ASCE 134(6), 840-846.
- [30] Yu-Tech, L. 1972. Discussion of spatially varied flow over side weir, Journal Hydraulic Engineering, ASCE, 98(11), 2046-2048.