

YIL: 2020

CİLT: 5

SAYI: 2

ISSN: 1308-3228

E-ISSN: 2651-4745

# SU KAYNAKLARI



SU VAKFI

**Yayın sahibi**

Previlage owner

**: Su Vakfı**

: Turkish Water Foundation



**SU VAKFI**

**Kurucu Editör/Foundation Editor**  
**Zekai ŞEN**

**Baş Editör/Editor-in-Chief**  
**İsmail DABANLI**

**Editörler/Editors**

Adem AKPINAR

Ahmet DOĞAN

Ali UYUMAZ

Barış SEVİM

Bülent SELEK

Dilek Eren AKYÜZ

Eyüp ŞİŞMAN

Gökmen TAYFUR

Hatim ELHATİP

İsmail YÜCEL

Kasım YENİGÜN

Mehmet Ali YURDUSEV

Meral BÜYÜKYILDIZ

Mesut ÇİMEN

Muhammet Emin EMİROĞLU

Serdar KORKMAZ

Veysel GÜLDAL

Yavuz Selim GÜÇLÜ

Zekai ŞEN

Zeynel Fuat TOPRAK

**Dizgi/Tasarım Editörü/Designing Editor**

Muhiddin YENİGÜN

**Yazışma Adresi**

Adres

: Su Kaynakları Dergisi, Cumhuriyet Mahallesi Libadiye Caddesi Doğanay Sokak No:6  
Çolak Plaza Kat:4, 34697 Üsküdar/İstanbul

Telefon

: +90-216 412 33 83

Faks

: +90-216-412 33 90

Elektronik posta

: [bilgi@suvakfi.org.tr](mailto:bilgi@suvakfi.org.tr)

Web

: <http://dergipark.gov.tr/su>

ISSN

: 1308-3228

E-ISSN

: 2651-4745

Dergide yayınlanan yazılar izinsiz başka bir yerde yayınlanamaz veya bildiri olarak sunulamaz.

YIL : 2020  
CİLT : 5  
SAYI : 2

## İÇİNDEKİLER

### No Makaleler

1	Ceyhan Havzasının Kuraklık Risk Haritasının SPI ve SPEI Metotları ile Belirlenmesi <b>Mehmet İshak YÜCE, Musa EŞİT</b>	1
2	Antalya İli Aylık ve Yıllık Yağışlarının Zaman Serisi Modellemesi <b>Elif Gülen KIR, Veysel GÜLDAL</b>	9
3	Antalya Bölgesinde Gözlenmiş Yıllık Maksimum Yağışların İstatistiksel Analizi <b>İhtişam Bozkurt Balcı, Mesut Çimen</b>	16
4	Derinöz Baraj Havzasında Şiddetli Erozyon Alanlarının Belirlenmesi ve Rezervuar Sediment Yükünün Hesaplanması <b>Melis Özge PINAR, Suat ŞAHİN Sevinç MADENOĞLU Günay ERPUL</b>	24
5	Şüt Kanalları Üzerine Yerleştirilen Blokların Enerji Sönümlenme Etkilerinin Araştırılması <b>Mahmut AYDOĞDU, Ömerul Faruk DURSUN</b>	34
6	Baraj Emniyeti için Gözlemsel İnceleme ve Değerlendirmelerin Rolü <b>M. Emin EMİROĞLU, Tuncer B. EDİL, Yunus KALKAN, Halil KARADENİZ, Zekai CELEP</b>	40

# Ceyhan Havzasının Kuraklık Risk Haritasının SPI ve SPEI Metotları ile Belirlenmesi

Mehmet İshak YÜCE<sup>1</sup>, Musa EŞİT<sup>1,2</sup>

Yazışma yazarı:  
Musa EŞİT,  
mesit@adiyaman.edu.tr

<sup>1</sup>Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şehitkamil, Gaziantep, Türkiye.  
ORCID: 0000-0003-4509-7283  
<sup>2</sup>Adiyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Altınşehir, Adiyaman, Türkiye.  
ORCID: 0000-0002-6267-9528

Referans:  
Yüce, M., Esit, M., (2020), Ceyhan Havzasının Kuraklık Risk Haritasının SPI ve SPEI Metotları ile Belirlenmesi, Su Kaynakları, 5, (2) 1-8

Makale Gönderimi : 29 NİSAN 2020  
Online Kabul : 24 AĞUSTOS 2020  
Online Basım : 25 EYLÜL 2020

**Özet** SPI (Standartlaştırılmış Yağış İndeksi) ve SPEI (Normalleştirilmiş Yağış-Buharlaşma İndeksi), Ceyhan Havzasının aylık meteorolojik verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Veri kümesinin bütünlüğüne ve uzunluğuna göre, bu çalışmada 1963'ten 2016'ya kadar 8 meteoroloji istasyonunun aylık verileri kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, SPI ve SPEI 1- ve 3-aylık zaman serilerinde  $0.83 < r < 0.96$  aralığında değişen çok güçlü korelasyon elde edilmiştir. 2007-2009 yılları arası yapılan kuraklık sınıfları değerlendirilmesinde, her iki indisin hem kuru dönemde hem de nemli dönemdeki performansı benzerlik göstermektedir. Ancak, SPEI yönteminin SPI'ya göre, kurak dönemlerdeki performansı daha yüksek değerler gösterirken, nemli dönemlerde bu değerler daha az olarak ölçülmüştür. Kuraklık indisleri nispi frekans değerleri ayrıca 1986-1995, 1996-2005 ve 2006-2011 yılları arasında "normal" ve "şiddetli" kuraklık sınıflandırmasına göre karşılaştırılmıştır. Kuraklık sınıflandırmasında en yüksek kuraklık tipinin "normal" olarak en düşük değer %20 oranında SPI, %23 oranında SPEI yöntemi için ölçüldüğü belirlenmiştir. Farklı zaman dilimleri için her iki metodun performansı havza üzerinde alansal değerlendirilmiş olup, SPI ve SPEI normal kuraklık kategorisindeki performansları benzerlik gösterirken, aynı durum şiddetli kuraklık kategorisinde gözlemlenmemiştir. Bu çalışmanın sonuçları, Ceyhan Havzasında yapılacak su temini, su yapıları, vb. projelerinin planlamasına fayda sunması beklenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** SPI, SPEI, Ceyhan Havzası, Korelasyon

## Determination of the Drought Risk Map of Ceyhan Basin by SPI and SPEI Methods

**Abstract** SPI (Standardized Precipitation Index) and SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) were calculated using the monthly meteorological data of Ceyhan Basin. According to the length and integrity of the dataset, this study was performed monthly data from 8 meteorology stations between 1963 to 2016. The results showed that very strong correlations were obtained in the SPI and SPEI 1- and 3-month time series, ranging from  $0.83 < r < 0.96$ . In evaluating the drought classes between 2007-2009, the performance of both indices indicated similar for dry and wet period. However, while the performance of the SPEI method in the dry periods showed higher values compared to the SPI, these values were measured less in the wet periods. Drought indices relative frequency values were also compared between 1986-1995, 1996-2005 and 2006-2011 according to the "normal" and "severe" drought classification. In drought classification, the highest drought type was measured as "normal" for the SPI and SPEI methods with the lowest value of 20% and 23% respectively. The performance of both methods for different time periods was evaluated spatially on the basin, whereas SPI and SPEI were similar in the normal drought category, the same was not observed in the severe drought category. The results of this study are expected to benefit the planning of projects such as water supply, water structures and etc. on Ceyhan Basin.

**Keywords:** SPI, SPEI, Ceyhan Basin, Correlation

## 1. Giriş

Kuraklıklar, tarım, su temini, ekonomik, sosyal ve ekosistem gibi birçok sektörü etkileyen, yaygın ve tekrar eden doğal olaylardır (Heim, 2002). Kuraklıklar, çevresel bir felaket olarak görülmüş olup, çevreciler, ekolojistler, hidroloji uzmanları, meteorologlar, jeologlar ve tarım bilimcilerinin dikkatini çekmiştir (Mishra ve Singh, 2010; Çetin ve ark., 2018). Kuraklıklar, yüksek ve düşük yağış alanları gibi neredeyse tüm iklim bölgelerinde görülmekte olup, çoğu zaman mevsim veya bir yıl gibi uzun bir süre boyunca alınan yağış miktarındaki azalma ile ilgilidir. Kuraklığa sebep olan parametreler genel olarak; sıcaklıklar, kuvvetli rüzgâr, düşük bağıl nem, yağışlı günlerin dağılımı, yağmur yoğunluğu ve süresi, toprağın nem içeriği, bitki su tüketimi, yer altı suyu şeklinde sınıflandırılabilir.

Nüfus artışı, tarım, enerji ve sanayi sektörlerinin genişlemesi nedeniyle su talebi çok artmakla beraber, su kıtlığı dünyanın birçok yerinde neredeyse her yıl görülmektedir. İklim değişikliği ve su kaynaklarının kirlenmesi gibi diğer faktörler, su kıtlığına daha fazla katkıda bulunmaktadır. Son yıllarda seller ve kuraklık, daha yüksek pikler ve şiddet seviyeleri ile yaşanmaktadır. Bu değişimlerin sebebi aşırı hidrolojik olaylar olarak görülmektedir (Lettenmaier ve diğ., 1996; Aswathanarayana, 2001; Eris ve diğ., 2019). Genel bir kuraklık tanımlaması yapmak zordur. Çünkü bölgeden bölgeye kuraklığın karakteristiğini etkileyen parametreler değişiklik göstermektedir. Hidro-meteorolojik değişkenlerdeki farklılıklar ve sosyoekonomik faktörler ile dünyanın farklı bölgelerindeki su taleplerinin stokastik niteliği, kuraklığın kesin bir tanımının yapılmasına engel teşkil etmektedir (Mishra ve Singh, 2010). Gilette (2010) kuraklık, yavaş yavaş ilerleyen bir doğal afet olarak nitelendirmiştir. Yevjevich (1967), kuraklık tanımlarının çok çeşitli görüşlerinin olmasından kaynaklı olarak, kuraklık araştırmalarının başlıca engellerinden biri olduğunu belirtmiştir. Bir kuraklık tanımlanırken kavramsal ve işlemsel tanımları birbirinden ayırmak önemlidir (Wilhite ve Glantz, 1987). Kuraklığın kavramsal tanımında genel ifadeler yer almaktadır. Örneğin Türk Dil Kurumunda yağışsızlık diye ifade edilirken, the American Heritage Dictionary sözlüğünde, kuraklığın "özellikle ekim sezonunda yağmurun olmadığı uzun bir dönem" olarak tanımlanır. Kavramsal tanımlama, insanların kuraklık hakkında genel bir çıkarımda bulunmalarına yardımcı olmaktadır. Dünya meteoroloji örgütü (WMO, 1986), kuraklık için, sürekli ve uzun süreli yağış eksikliği anlamına geldiğini belirtmiştir. Kuraklık ve Çölleşme ile Mücadeleye Yönelik Birleşmiş Milletler Sözleşmesindeki tanımlamada kuraklık, yağışın normal kaydedilen seviyelerin önemli ölçüde altına düştüğü zaman ortaya çıkan ve toprak kaynaklarının üretim sistemlerini olumsuz yönde etkileyen ciddi hidrolojik dengesizliklere neden olan doğal oluşum olayı olarak tanımlanmaktadır (UNCCD, 1994).

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO,1983) kuraklığı, bitkilerin nem eksikliği nedeniyle büyüme başarısız olduğu yıl yüzdesi olarak ifade etmiştir. İklim ve hava ansiklopedisi (Schneider, 1996), bir bölge için istatistiki çok yıllık ortalamayla ilişkili olarak, yağış miktarı az olan, mevsim, yıl veya birkaç yıl- uzun bir süre- olarak tanımlamıştır. McMahon ve Diaz Arenas (1982) kuraklığı, insanın suyun kullanımına göre nem eksikliğinin çağrıştırıldığı ciddi bir hidrolojik dengesizliğe neden olan yağışın olmaması nedeniyle yeterince uzun süre anormal derecede kuru hava dönemi olarak tanımlamışlardır. Beran ve Rodier (1985) kuraklığın başlıca özelliği, belirli bir dönemde ve belirli bir alanda su kullanımının azalması olarak belirtmişlerdir. Palmer (1965) kuraklık üzerine çok kapsamlı çalışmalar yapmış olup, kuraklık bir alanın normal hidrolojik koşullarından belirgin bir sapma olarak tanımlamıştır. Linsely ve diğ., (1959) kuraklığı önemli miktarda yağış olmadan süren zaman dilimi olarak ifade etmiştir.

Kuraklık değerlendirmesi su kaynaklarının planlanması ve yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır. Değerlendirme için, kuraklık önlemlerinin bölgeler arasında ve geçmiş kuraklık olaylarıyla karşılaştırılabilmesi için bazı sayısal standartlara ihtiyaç vardır. Bunun için, son yıllarda çok sayıda kuraklık indeksi geliştirilmiş, kuraklık etkilerini ölçmek için yeni teknolojik ilerlemelere dayanan yeni indeksler oluşturulmuştur. Her bir indeksin kendine özgü avantajları ve sınırlılıkları vardır. Popüler olarak kullanılan indeksler farklılık göstermektedir. Örneğin, meteorolojik kuraklık için kullanılan indeksler; Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi (PDSI), Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI), Normalleştirilmiş Yağış-Buharlaşma İndeksi (SPEI) Deciles İndeksi (DI), Normal Yüzde (PN), Çin-Z İndeksi (CZ), Normal Z İndeksi (ZI), Tarımsal kuraklık için kullanılan indeksler; Kuruluk İndeksi (AI), Nem Yeterlilik İndeksi (MAI), Mahsul Nem İndeksi (CMI), hidrolojik kuraklık için kullanılan indeksler ise; Standartlaştırılmış Su Seviyesi İndeksi (SWLI), Yüzey Su Temini İndeksi (SWSI) vb. gibi sınıflandırılmıştır (Wable ve diğ., 2019).

Bu çalışmada, literatürde yaygın olarak tercih edilen, SPI ve SPEI kuraklık indekslerini kullanarak Ceyhan havzasının kuraklık risk haritasını ortaya çıkarıp, elde edilen sonuçlar ile havza için ışık tutacak değerlendirmeler yapılacaktır.

## 2. Kuraklık İndekslerinin Tanımı

### 2.1 Standartlaştırılmış yağış indeksi (SPI)

Yağış açığının yeraltı suyu, rezervuar depolaması, toprak nemi, kar örtüsü ve akış akışı üzerinde farklı etkileri olduğu gerçeğinin anlaşılması, Standartlaştırılmış Yağış İndeksinin (SPI)

geliştirilmesine yol açmıştır (McKee ve ark., 1993; McKee, 1995). Dünya çapında kabul görmüş ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından meteorolojik kuraklıkları izlemek için birincil meteorolojik indeks olarak önerilmektedir (Hayes ve ark., 2012; Aksoy ve ark., 2018). SPI'nin ana avantajı, farklı zaman ölçeklerinin (1, 3, 6, 9, 12, 24 ve 48 aylık) yanı sıra kuraklıkların şiddetini ve büyüklüğünü değerlendirebilmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda, iklimsel verilere uyan en iyi dağılım gama yoğunluk dağılımı olup (Ganguli ve Reddy, 2014), SPI indeks değerleri bu dağılım ile elde edilmiştir. Ancak, veri uzunluğu en az 30 yıl ve eksiksiz olması gerekmektedir. Teorik olarak, SPI istatistiklerde kullanılan Z-puanına eşdeğer olup, genel formülü aşağıda verilmiştir.

$$SPI = \frac{X_{ij} - X_{im}}{\sigma} \quad (1)$$

Burada,  $X_{ij}$ ,  $X_{im}$  ve  $\sigma$  sırasıyla aylık yağış miktarı, ortalama yağış ve standart sapmayı ifade etmektedir. SPI değerlerine dayanarak kuraklık sınıfı şu şekilde yapılabilir;  $SPI \geq 2$  için "Olağanüstü Nemli", 1.50 ~ 1.99 için "Çok Nemli", 1.00 ~ 1.49 için "Orta Nemli", 0.99 ~ 0 için "Normal", 0 ~ -0.99 için "Normal Kurak", -1.00 ~ -1.49 için "Orta Kurak", -1.50 ~ -1.99 için "Şiddetli Kurak" ve son olarak  $\leq -2$  olması halinde "Olağanüstü Kurak" olarak değerlendirilmektedir.

## 2.2 Normalleştirilmiş yağış-buharlaşma indeksi (SPEI)

Normalleştirilmiş Yağış-Buharlaşma İndeksi (SPEI), Vicente-Serrano ve diğ., (2010) tarafından geliştirilen, PDSI'nin buharlaşma parametresi hassasiyetini ve SPI'nin farklı zaman ölçeklerde hesaplanması avantajlarını birleştirmektedir. Yağışa ek, sıcaklığa bağlı olarak değerlendirilen potansiyel buharlaşmayı içerdiğinden, SPEI'nin hesaplama adımları SPI ile aynıdır. SPEI, küresel ısınmanın kuraklık durumu üzerindeki etkilerini tespit etmek ve izlemek için uygundur. Kümülatif yağış ve potansiyel evapotranspirasyon arasındaki haftalık veya aylık fark olarak hesaplanan basit bir iklimsel su dengesini temsil etmektedir. Matematiksel olarak şu şekilde ifade edilmektedir.

$$D_i = P_i - PET_i \quad (2)$$

İlk olarak, potansiyel evapotranspirasyon (PET) bu çalışmada kullanılan Thornthwaite ve Penman-Monteith yöntemi olmak üzere iki şekilde hesaplanmaktadır. Bir giriş parametresi olarak sadece hava sıcaklığına ihtiyaç duyan Thornthwaite yöntemi, eşitlik 3'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$PET = 16k \left( \frac{10T}{I} \right)^m \quad (3)$$

Burada, T, aylık hava sıcaklığı (° C), k, ölçme istasyonunun enlemine göre değerlendirilen bir faktör, I yıllık ısı indeksi ve m, I ile ilgili bir katsayıdır (Yu ve diğ., 2014). Hesaplanan "D" değerleri, farklı zaman ölçeklerinde şu şekilde toplanır;

$$D_i^k = \sum_{i=0}^{k-1} (P_{n-1} - PET_{n-1}) \quad (4)$$

Burada, k (ay) toplamın zaman ölçeği ve n hesaplama ayıdır.

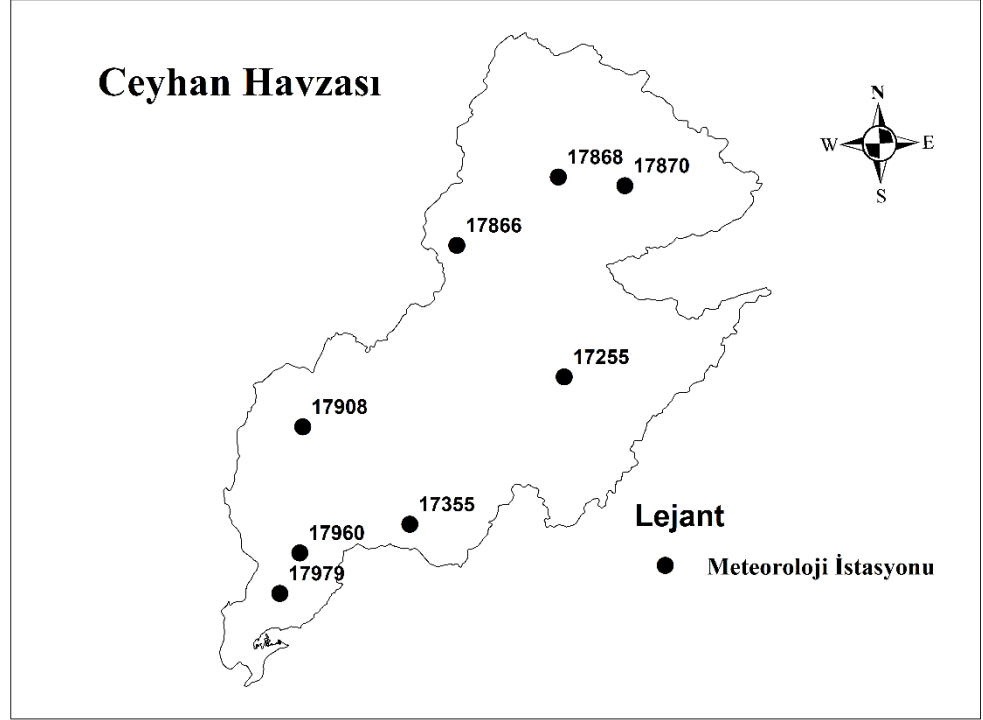
## 3. Çalışma Alanı ve Veri

Ceyhan Havzası Türkiye'nin 26 hidrolojik havzalarından bir tanesi olup, 26.875 km<sup>2</sup> yağış alanı ile Türkiye yüzölçümünün yaklaşık olarak %3.4'ünü kapsamaktadır. Geniş alüvyon tabanlar ve sarp dağlıklardan oluşan Ceyhan Havzası, İç Anadolu'ya İskenderun Körfezinden bağlanmaktadır. Adana ilinin Yumurtalık ve Ceyhan ilçeleri ve Kozan ilçesinin bir bölümü havza içerisinde yer alırken, Osmaniye ve Kahramanmaraş ilinin tamamı havza içerisinde yer almaktadır. Ceyhan Nehri ilk olarak Elbistan ilçesinden akmaktadır. Ceyhan Havzası güneyden Asi, kuzey ve doğudan Fırat ve son olarak batıdan Seyhan havzası ile komşudur (Şekil 1). Ceyhan havzasının iklimsel özelliklerine bakıldığında, karasal iklim ve akdeniz iklimi arasında bir geçiş iklimine sahiptir. Yaz aylarında kuraklık hissedilirken, kış aylarında ise sert geçmesinin yanında, yıllık toplam yağışın çoğunluğu bu aylarda düşmektedir (Yuce ve ark., 2019).

Yıllık yağışlar değerlendirildiği zaman, genel olarak kış aylarında yüksek seviyelere çıktığı, havzada 0 ile 130 mm aralığında değiştiği ve yaz aylarında ise yağışların neredeyse hiç olmadığı görülmüştür. En fazla yağışın aldığı ilçe Kozan olarak saptanmıştır. Buharlaşma, yağışın tersine, genel olarak yaz aylarında pik değerlere çıktığı, 0 ile 325 mm aralığında olduğu, kış aylarında ise çok düşük seviyelere indiği incelenmiştir. İklim değişikliğinin önemli parametrelerinden biri olan sıcaklık ise yıllık ortalama olarak elde edilen bulgulara göre 15 ° C olarak saptanmıştır. Afşin ve Elbistan ilçelerinde ortalama sıcaklık kış aylarında 0° C altındadır

(OSİB, 2018).

Meteoroloji Genel Müdürlüğünden elde edilen 8 istasyonun uzun süreli verilerinden faydalanılmıştır. İstasyonlar genel olarak havza üzerinde farklı kollar üzerinde olmasına dikkat edilmiştir (Şekil 1). Bu sebeple, elde edilen sonuçların havzada homojen olarak dağılmasını sağlayacaktır. Bu veriler uzun süreli yağış ve sıcaklık verilerinden oluşmaktadır. SPI metodu yalnız yağış verilerini kullanırken, SPEI hem yağış hem de sıcaklık verilerini girdi parametresi olarak kullanmaktadır.



Şekil 1. Kullanılan meteorolojik istasyonların Ceyhan Havzası üzerinde gösterimi.

## 4. Sonuç

### 4.1 Kuraklık indekslerinin korelasyon analizi

Ceyhan Havzası için belirlenen istasyonların her biri için; SPI ve SPEI kuraklık indislerinin 1-aylık ve 3-aylık zaman serisine Spearman korelasyon analizi uygulanarak, bu kuraklık indisleri arasındaki ilişki hesaplanmıştır. Yapılan korelasyon analizi sonucunda, kuraklık indeksleri arasında güçlü bir ilişki bulunmuştur. Genel olarak 17255 istasyonu 1 aylık zaman serisi hariç, diğer bütün istasyonlar Spearman korelasyon katsayısı 0.85'ten büyük çıkmıştır. 17908 istasyonu hem 1-aylık hem de 3-aylık zaman serisi için korelasyon katsayısı 0.95'ten büyük bir oranla istasyonlar arasındaki en güçlü bağı göstermiştir. Her iki zaman serisi için hesaplanan korelasyon matrisi Tablo 1'de gösterilmiştir

**Tablo 1.** Kuraklık indislerin her bir istasyon için korelasyon matrisi.

17255						17355					
1 aylık		3 aylık				1 aylık		3 aylık			
	SPI	SPEI	SPI	SPEI	SPI	SPEI	SPI	SPEI	SPI	SPEI	
SPI	1,00	0,83	SPI	1,00	0,85	SPI	1,00	0,94	SPI	1,00	0,95
SPEI	0,83	1,00	SPEI	0,85	1,00	SPEI	0,94	1,00	SPEI	0,95	1,00
17866						17868					
1 aylık		3 aylık				1 aylık		3 aylık			
	SPI	SPEI	SPI	SPEI	SPI	SPEI	SPI	SPEI	SPI	SPEI	
SPI	1,00	0,94	SPI	1,00	0,96	SPI	1,00	0,88	SPI	1,00	0,89
SPEI	0,94	1,00	SPEI	0,96	1,00	SPEI	0,88	1,00	SPEI	0,89	1,00
17870						17908					
1 aylık		3 aylık				1 aylık		3 aylık			
	SPI	SPEI	SPI	SPEI	SPI	SPEI	SPI	SPEI	SPI	SPEI	
SPI	1,00	0,87	SPI	1,00	0,85	SPI	1,00	0,96	SPI	1,00	0,95
SPEI	0,87	1,00	SPEI	0,85	1,00	SPEI	0,96	1,00	SPEI	0,95	1,00

**Tablo 1. Devam**

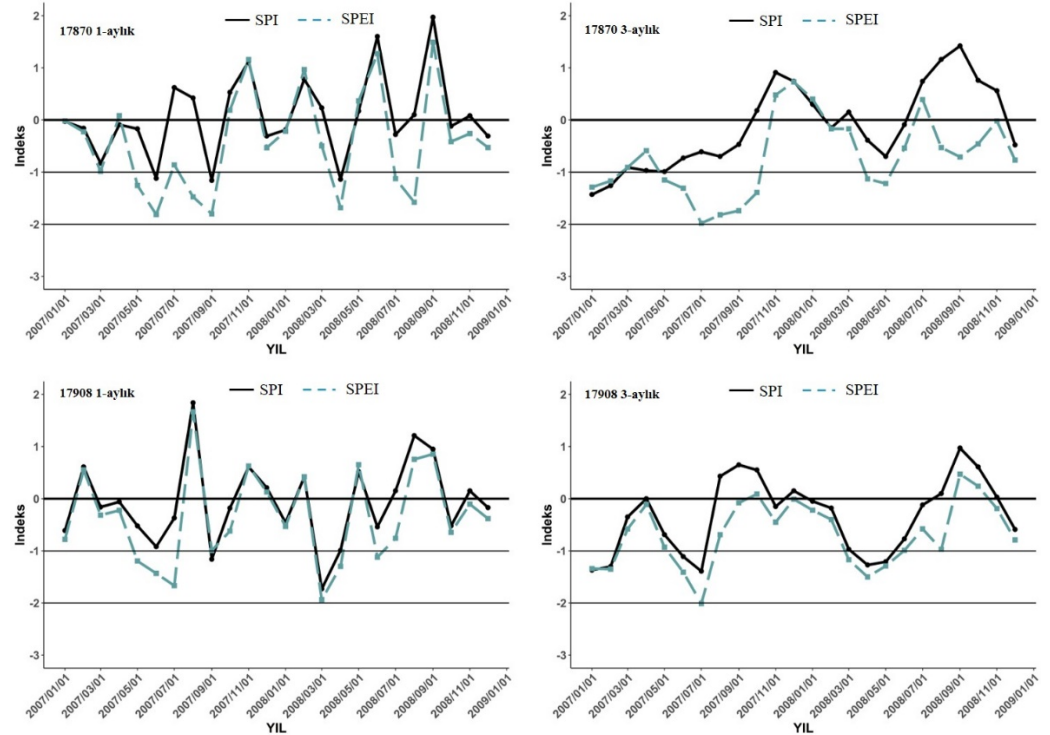
17960	1 aylık		3 aylık		
	SPI	SPEI	SPI	SPEI	
SPI	1,00	0,93	SPI	1,00	0,93
SPEI	0,93	1,00	SPEI	0,93	1,00

17979	1 aylık		3 aylık		
	SPI	SPEI	SPI	SPEI	
SPI	1,00	0,93	SPI	1,00	0,93
SPEI	0,93	1,00	SPEI	0,93	1,00

Bu sonuçla, kullanılan kuraklık indislerin korelasyon sonucuna göre, Ceyhan Havzası için uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Havzaların klimatolojik, hidrolojik ve topoğrafik özellikleri birbirinden farklı olduğundan dolayı bir havza için belirlenen en uygun kuraklık indisi, başka bir havza için uygunluk göstermeyebilir. Bu sebeple tek bir kuraklık indisi uygulamak yerine birden çok indisin uygulanması gerekmektedir.

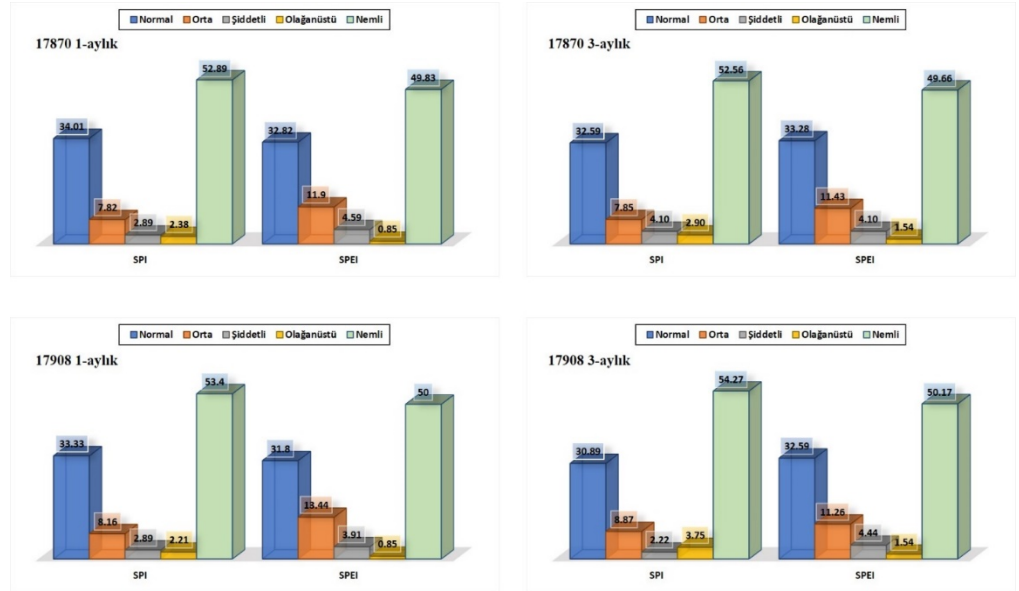
## 4.2 Kuraklık sınıflandırılmasının alansal dağılımı

Seçilen meteorolojik kuraklık indekslerinin (SPI ve SPEI) 1 ve 3 aylık ölçekte performansını değerlendirmek için, tarihsel kuraklıklara göre 2007-2009 dönemi zaman serileri dikkate alınmıştır. Şekil 2'de 17870 ve 17908 istasyonları örnek olarak gösterilmiş olup, kuraklık sınıflandırması genel olarak incelendiğinde, her iki kuraklık indisi benzer bir ilişki göstermektedir. Daha detaylı olarak bakıldığında, SPEI, SPI metoduna göre kurak zamanlarda daha yüksek değerler gösterirken, nemli zamanlarda daha az hassasiyet gösterdiği belirlenmiştir. Bu istasyonların nispi frekansları Şekil 3'te gösterilmektedir. Nispi frekans, dikkate alınan kuraklık olayı sırasında belirli kuraklık şiddet sınıfında kalan kuraklık indeksinin yüzdesini gösterir. İki istasyonu ele aldığımızda, yüzde 50'ye yakın nemli olarak yani kurak geçmediği anlamına gelmektedir. Normal kuraklık %30'dan yüksek bir oranla, orta, şiddetli ve olağanüstü kuraklık sınıflandırmasına göre daha çok gerçekleşmiştir. Hem 1-aylık hem de 3-aylık zaman serilerinde, kurak geçen nispi frekans az bir oranda incelenmiştir.



Şekil 2. Kuraklık indislerin 17870 ve 17908 istasyonlarında 2007-2008 yılları arasındaki 1-aylık ve 3-aylık zaman serisi.

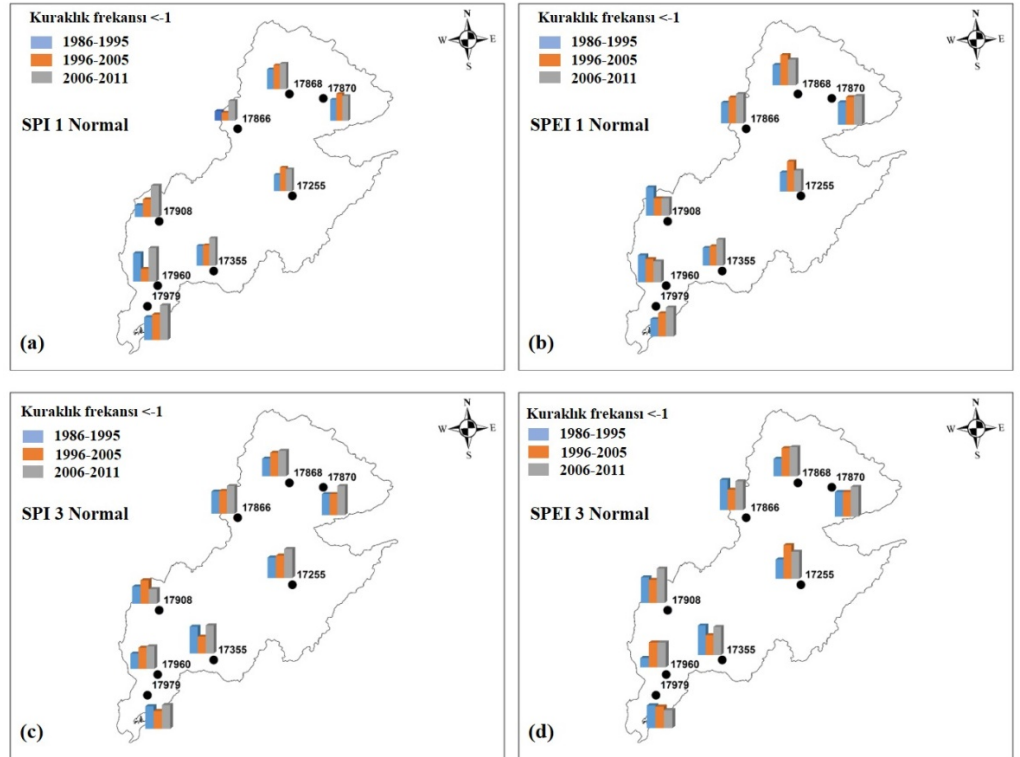




Şekil 3. SPI ve SPEI'ye göre, 17870 ve 17908 istasyonlarının nispi frekans dağılımları.

Kuraklık indislerinin havza üzerindeki etkilerini ve farklılıklarını anlama için 1986-1995, 1996-2005 ve 2006-2011 yılları arasındaki normal ve şiddetli kuraklık sınıfına göre araştırılmıştır. Şekil 4'te (a-d) SPI ve SPEI'nin 1 ve 3-aylık zaman ölçeklerindeki belirlenen zaman aralığındaki normal kuraklık kategorisine göre Şekil 5'te (a-d) ise yine iki kuraklık indisi şiddetli kuraklık kategorisine göre performansları değerlendirilmiştir.

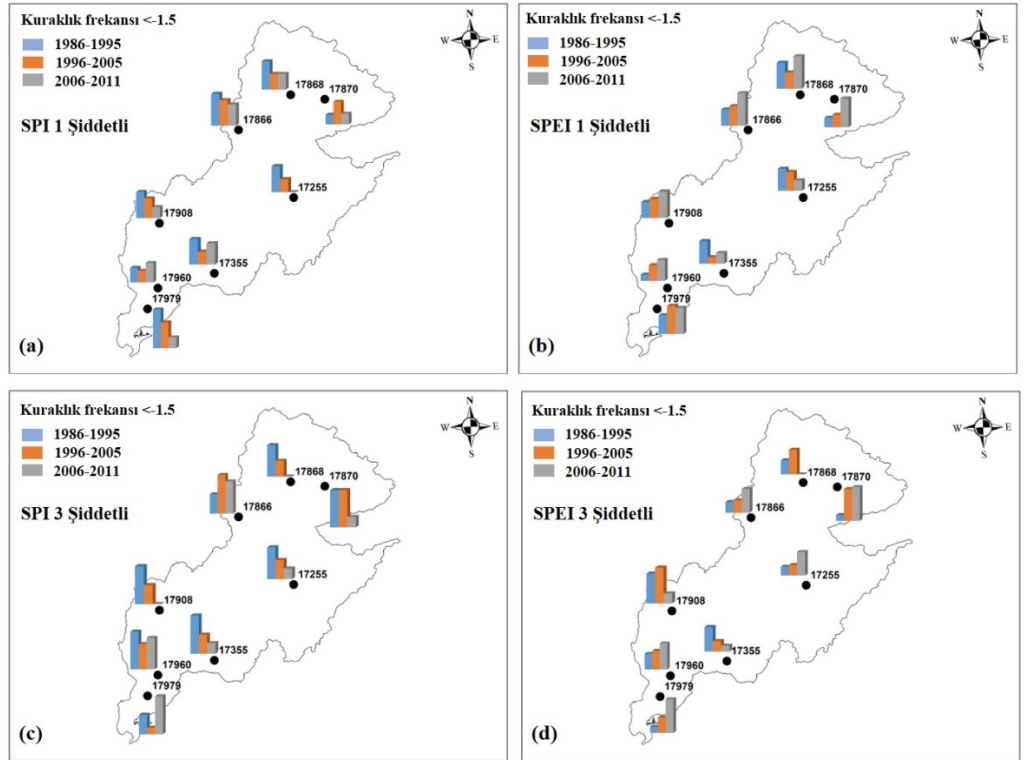
Normal kuraklık kategorisi dikkate alındığında, SPI 1-aylık zaman serisinde tüm istasyonlarda kuraklık eğrisi 1986'dan 2011'e gelindiğinde yükseliş gösterdiği görülmüştür. Sadece 17866 ve 17960 istasyonlarında kuraklık süresinde 1986-1995 yılları arasından 1996-2005 yılları ile kıyasla azaldığı saptanmıştır. Aynı zaman aralığı SPEI 1-aylık zaman serisi için incelendiğinde, 17866, 17868, 17870, 17355, 17979, 17255 istasyonların pozitif bir artış görülürken, 17908 ve 17960 istasyonlarında kuraklık aylarında azalma olduğu belirlenmiştir. SPEI 1-aylık zaman serisi için genelleme yapılırsa, en uzun kuraklık aylarının 2006-2011 yılları arasında gözlemlenmiştir.



Şekil 4. SPI ve SPEI'nin normal kuraklık kategorisine göre havza üzerindeki alansal dağılımı.

3-aylık zaman serisi her iki kuraklık indisi için incelendiğinde, en uzun kuraklık döneminin SPI 1-aylık zaman serisindeki gibi, SPI 3-aylık zaman serisinde de 17908 istasyonu hariç, 2006-2011 yılları arasında olduğu gözlemlenmiştir. 17908 istasyonu en uzun kuraklık dönemi 1996-2005 yılları arasında görülmüştür. SPEI 3-aylık zaman serisinde, 17979 istasyonu hariç diğer

istasyonlarda normal kuraklık pozitif yönde artış göstermiştir. Ancak SPEI 1-aylık zaman serisinde olduğu gibi, 17255 istasyonunda en uzun kuraklık döneminin 1996-2005 yıllarında olduğu, 17979 istasyonu ise, SPEI 1-aylık zaman serisinde farklı olarak, kuraklık eğiliminin negatif yönde ve en yüksek kuraklığın 1986-1995 yılları arasında gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Şekil 4 (a-d)).



Şekil 5. SPI ve SPEI'nın şiddetli kuraklık kategorisine göre havza üzerindeki alansal dağılımı.

Şiddetli kuraklık kategorisi sonucuna göre (Şekil 5.), SPI 1-aylık zaman serisi göz önüne alındığında, 17960 ve 17870 istasyonu hariç, diğer istasyonlarda takip eden yıllarda azalış gösterdiği görülmüştür. Üç dönem için en yüksek şiddetli kuraklığın yaşandığı yıl 1986-2005 yılları arasında olduğu saptanmıştır. 17960 ve 17979 istasyonlarında en uzun şiddetli kuraklığın yaşandığı dönem sırasıyla, 2006-2011 ve 1996-2005 dönemleridir. 17255 istasyonunda 2006-2011 dönemlerinde, SPI-1 aylık sonucuna göre şiddetli kuraklık yaşanmamıştır. SPEI 1-aylık zaman serisi, SPI 1-aylık zaman serisine göre, tam tersi sonuçlar elde edilmiştir. Genel olarak 17255 ve 17355 istasyonları hariç, şiddetli kuraklığın takip eden dönemlerde artış gösterdiği görülmüştür. Ancak diğer kuraklık kategorilerine kıyasla bu artışlar çok küçük değerlere sahiptir. Örneğin en uzun kuraklık şiddeti 17870 istasyonunda 2006-2011 yılları arasında %15.27 dilimlik paya sahip iken, 17255 istasyonunda bu değer %2.77 olarak hesaplanmış olup, diğer kuraklık kategorilerine kıyasla daha az yüzdelerle sahiptir.

SPI 3-aylık zaman serisi sonuçları 1-aylık zaman serisi sonuçları ile paralellik göstermektedir. Ancak, 17979 istasyonu en şiddetli kuraklık dönemini 2006-2011 döneminde gerçekleştirmiş olup aynı dönem SPEI 3-aylık zaman serisinde de saptanmıştır. 17908 istasyonunda ise 2006-2011 döneminde her iki kuraklık indeksi sonucuna göre hiç şiddetli kuraklık yaşanmamıştır. SPEI 3-aylık zaman serisi için genel bir kaniya varılacak olursa, 17355, 17908 ve 17868 istasyonlarında eğilim negatif yönünde iken, şiddetli kuraklık diğer istasyonlarda pozitif yönde artış olduğu gözlemlenmiştir.

## 5. Tartışma

Bu çalışmanın temel amacı, Ceyhan Havzasındaki kuraklıkların izlenmesinde SPI ve SPEI metodlarının performanslarını karşılaştırmaktır. SPI endeksi sadece yağış verilerini dikkate alırken, SPEI yağış verisinin yanında sıcaklık etkisini yansıtmak için Thornthwaite yöntemine göre PET değerini hesaplayarak tahmin etmektedir. Bu iki yöntem arasında farklı zaman ölçeklerinde Spearman korelasyon yöntemi kullanılarak çok güçlü korelasyon değerleri elde edilmiştir. 2007-2008 yılları arasındaki indeks değerleri karşılaştırıldığında, hem nemli dönem hem de kuru dönemler arasındaki eğilimler benzer göstermiştir. Ancak SPEI, SPI yöntemine göre kurak zamanlarda daha yüksek değerler gösterirken, nemli zamanlarda daha az hassasiyet gösterdiği gözlemlenmiştir. Her iki kuraklık indeksinin farklı kuraklık dönemlerindeki nispi frekans değerleri birbirine yakınlık göstermektedir. Kuraklık sınıflandırmasında en yüksek kuraklık tipinin normal olarak en düşük değer %20 oranında SPI, %23 oranında SPEI yöntemi için ölçüldüğü saptanmıştır. Farklı zaman dilimleri için her iki metodun performansı havza üzerinde alansal olarak hesaplanmıştır.

SPI ve SPEI normal kuraklık kategorisindeki performansları benzerlik gösterirken, aynı durum şiddetli kuraklık kategorisinde gözlemlenmemiştir. Sonuç olarak, normal kuraklık sınıfının her iki metoda göre, üç farklı zaman dilim sonucunda artış göstermiş olup, şiddetli kuraklık sınıfı dikkate alındığında SPI yöntemine göre azalış söz konusu iken, SPEI yöntemine göre ise çoğunluğu artış eğiliminde olduğu saptanmıştır.

### 6. Kaynaklar

- Aksoy, H., Onoz, B., Cetin, M., Yuçe, M. I., Eris, E., Selek, B., ... & Cavus, Y., 2018. SPI-based drought severity-duration-frequency analysis. In Proceedings of the 13th International Congress on Advances in Civil Engineering, Izmir, Turkey (pp. 12-14).
- Assembly, U. G., 1994. Elaboration of an International Convention to Combat Desertification in countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa. AC, 241, 27.
- Aswathanarayana, U., 2001. Water resources management and the environment. CRC Press.
- Beran, M. And Rodier, J.A., 1985. Hydrological aspects of drought, Studies and reports in hydrology 39, UNESCO-WMO, Paris, France.
- Çetin, M., Aksoy, H., Önöz, B., Eriş, E., İshak, M., Yüçe, B. S., ... & Orta, S., 2018. Deriving Accumulated Precipitation Deficits from Drought Severity-Duration-Frequency Curves: A Case Study in Adana Province, Turkey. SCIENTIFIC COMMITTEE-BİLİM KURULU, 39.
- Eris, E., Aksoy, H., Onoz, B., Cetin, M., Yuçe, M. I., Selek, B., ... & Karakus, E. U., 2019. Frequency analysis of low flows in intermittent and non-intermittent rivers from hydrological basins in Turkey. Water Supply, 19(1), 30-39.
- Ganguli, P., & Reddy, M. J., 2014. Evaluation of trends and multivariate frequency analysis of droughts in three meteorological subdivisions of western India. International Journal of Climatology, 34(3), 911-928.
- Gillette, H. P., 1950. A creeping drought under way. *Water and sewage works*, 104 (5).
- Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Wardlow, B. D., Anderson, M. C., & Kogan, F., 2012. Drought monitoring: Historical and current perspectives.
- Heim Jr, R. R., 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. Bulletin of the American Meteorological Society, 83(8), 1149-1166.
- Lettenmaier, D. P., McCabe, G., & Stakhiv, E. Z., 1996. Global climate change: effects on hydrologic cycle. Water resources handbook, 29-1.
- Linsely Jr., R.K., Kohler, M.A., Paulhus, J.L.H., 1958. Applied Hydrology. McGraw Hill, New York.
- MacMahon, T. A., Arenas, D. A., 1982. Methods of Computation of Low Streamflow. Studies and Reports in Hydrology, 36-94.
- McKee, T. B., 1995. Drought monitoring with multiple time scales. In Proceedings of 9th Conference on Applied Climatology, Boston, 1995.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J., 1993, January. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183).
- Mishra, A. K., & Singh, V. P., 2010. A review of drought concepts. *Journal of hydrology*, 391(1-2), 202-216.
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı (OSİB), 2018. Ceyhan havzası taşkın yönetim planı. [https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Ta%C5%9Fk%C4%B1n%20Y%C3%B6netim%20Planlar%C4%B1/3\)%20CEYHAN%20%20HAVZASI%20TA%C5%9EKIN%20YONETIM%20PLANI.pdf](https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Ta%C5%9Fk%C4%B1n%20Y%C3%B6netim%20Planlar%C4%B1/3)%20CEYHAN%20%20HAVZASI%20TA%C5%9EKIN%20YONETIM%20PLANI.pdf)
- Palmer, W.C., 1965. Meteorological drought, Research Paper No. 45, US Weather Bureau, Washington, D.C., USA.
- Schneider, S.H. (Ed.), 1996. Encyclopaedia of Climate and Weather. Oxford University Press, New York.
- The Food and Agriculture Organization of the United Nations., 1983. The State of Food and Agriculture, World review: the situation in Sub-Saharan Africa Women in developing agriculture, 1-240.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I., 2010. A multiscale drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of climate*, 23(7), 1696-1718.
- Yevjevich, V. M., 1967. Objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts, An. Hydrology papers (Colorado State University); no. 23.
- Yu, M., Li, Q., Hayes, M. J., Svoboda, M. D., & Heim, R. R., 2014. Are droughts becoming more frequent or severe in China based on the standardized precipitation evapotranspiration index: 1951–2010?. *International Journal of Climatology*, 34(3), 545-558.
- Yuçe, M. I., Esit, M., & Karatas, M. C., 2019. Hydraulic geometry analysis of Ceyhan River, Turkey. SN Applied Sciences, 1(7), 763.
- Wable, P. S., Jha, M. K., & Shekhar, A., 2019. Comparison of drought indices in a semi-Arid River Basin of India. *Water resources management*, 33(1), 75-102.
- Wilhite, D. A., & Glantz, M. H., 1985. Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water international*, 10(3), 111-120.
- World Meteorological Organization., 1986. Report of the international conference on the assessment of the role of carbon dioxide and of other greenhouse gases in climate variations and associated impacts.

#### Öne Çıkan Sonuçlar:

- Stokastik modeller ile yağış tahmini yapılabilir.
- Aylık yağışlar sezonluk değişime maruzdur.
- Yıllık yağışların otokorelasyonları küçüktür.

#### Yazışma yazarı:

Elif Gülen KIR,  
elifgulencimen@gmail.com

#### Referans:

Kır, E.G., Güldal, V., (2020), Antalya İli Aylık ve Yıllık Yağışlarının Zaman Serisi Modellemesi, Su Kaynakları, 5, (2) 9–15

Makale Gönderimi : 21 MAYIS 2020  
Online Kabul : 26 AĞUSTOS 2020  
Online Basım : 25 EYLÜL 2020

## Antalya İli Aylık ve Yıllık Yağışlarının Zaman Serisi Modellemesi

Elif Gülen KIR<sup>1</sup>, Veysel GÜLDAL<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 32260 Isparta, Türkiye. elifgulencimen@gmail.com ORCID: 0000-0002-6787-041X

<sup>2</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32260 Isparta, Türkiye. veyselguldal@sdu.edu.tr ORCID: 0000-0001-8786-9363

**Özet** Antalya ilinde kaydedilen aylık ve yıllık yağış yüksekliği zaman serilerinin stokastik yöntemlerle modellenmesi bu çalışmada ele alınmıştır. 1933 - 2018 tarihleri arasında toplamda 86 yıllık ve 1032 aylık yağış verileri üzerinde çeşitli zaman serisi modelleri geliştirilmiştir. Yıllık yağış serisine ait korelogramların, zaman serisinde önemli korelasyonlara sahip olmadığını ve serinin beyaz gürültü serisine benzer davrandığını göstermiştir. Yıllık yağış serisine ait en iyi stokastik model yapılarının ARIMA(3,0,3) ve ARIMA(1,1,5) modellerinin olduğu düzeltilmiş Akaike Bilgi Kriterine göre belirlenmiştir. Aylık yağış serisinin korelogramlarının ise, beklenildiği gibi zaman serisinde sezonluk bir periyodikliğin olduğunu göstermiş ve sezonluk ARIMA modeli ile aylık yağış yüksekliği serisi simüle edilmiştir. Aylık yağış serisine ait en iyi stokastik model yapısının ise ARIMA(0,0,1)(3,0,3)<sub>s=12</sub> modelinin olduğu belirlenmiştir. Geliştirilen stokastik modeller ile 2030 yılına kadar yağış tahminleri yapılmış ve tahmin sonuçlarının yağış ortalamaları etrafında düzgün salınımlar yaptığı gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Zaman Serisi, Modelleme, Yağış, Antalya

## Time Series Modeling of Monthly and Annual Rainfalls in Antalya Province

**Abstract** Modeling of monthly and annual rainfall time series recorded in Antalya province with stochastic methods is discussed in this study. Various time series models are developed on a total of 86 years and 1032 months of precipitation data between 1933 - 2018. The correlograms of the annual rainfall series have shown that there are no significant correlations in the time series and that the series behaves similarly to the white noise series. The best stochastic model structures of the annual rainfall series have been determined according to the corrected Akaike Information Criteria, which are ARIMA (3,0,3) and ARIMA (1,1,5) models. The correlograms of the monthly rainfall series have shown that there is a seasonal periodicity in the time series as expected and the monthly rainfall series is simulated with the seasonal ARIMA model. ARIMA(0,0,1)(3,0,3)<sub>s=12</sub> model has been determined to be the best stochastic model structure for monthly precipitation series. With the stochastic models developed, rainfall predictions have been performed until 2030 and it is observed that the forecast results make smooth oscillations around the precipitation averages.

**Keywords:** Time Series, Modeling, Rainfall, Antalya

### 1. Giriş

Bir bölgedeki yağış miktarının gelecek dönemlerdeki tahmini için çeşitli sayısal modelleme yöntemleri kullanılmaktadır. Yağış tahminlerinin aylık ve/veya yıllık olarak yapılması olağan bir durumdur. Bunun amacı, iklim değişikliğinin yağış tahmini yapılan bölgede yaptığı ya da gelecekte yapacağı etkiyi ortaya çıkarmaktır. Bu etkinin bir sonucu olarak, o bölgede şimdiki duruma göre gelecekte olabilecek bir yağış fazlalığının ya da eksikliğin tahmin edilebilecek olmasıdır. Yağış fazlalığı o bölgeye ait özellikle drenaj problemlerinin göz önüne alınmasını, eksikliği ise bölgede çevresel bir kuraklığın yaşanabileceğine işaret eder.

Aylık ya da yıllık yağış yüksekliği modellemelerinde ve tahminlerinde kullanılan sayısal yöntemlerden birisi zaman serisi analizidir. Zaman serisi, art arda zamanlarda ölçülen sıralı veri noktalarından oluşan bir veri kümesidir. Bu veri kümesinin elemanları, şayet birbiriyle içsel bağımlı olarak meydana geldiği düşünülürse, bu seriye stokastik (rastlantısal) süreç denir. Serinin anlamlı istatistiklerini ve verilerin

diğer özelliklerini ortaya çıkarmak için bir zaman serisini uygun bir modele uydurmak ve modele ait olan parametreleri tahmin etmek için kullanılan yöntemleri ifade etmeye ise zaman serisi analizi denir. Bir zaman serisi verisini analiz etmekteki amaç, o serinin gelecek tahminini yapmak ve gözlem dizisinin gelecekte nasıl devam edebileceğini öngörmektir. Zaman serisi modelleri, yalnızca tahmin edilecek değişkenle alakalı bilgiyi kullanır, fakat o değişkenin davranışını etkileyen faktörleri göz önüne almaz. Bu nedenle, zaman serisi değişkenine ait, şayet varsa, bir eğilim ya da sezonluk (ya da mevsimsellik) bir desen ortaya çıkarılmaya çalışılır ve daha sonra zaman serisinin lineer bir modeli elde edilmeye çalışılır (Salas vd., 1980; Bayazit, 1981).

Hidroloji alanındaki pek çok problem zaman serileri analizi ile ele alınmıştır. Merzi vd. (1995), Çoruh havzasındaki Oltu nehrinde ölçülen aylık akımları ARMA modelleri ile; Kâhya vd. (1998), Yeşilirmak havzasındaki 4 akım gözlem istasyonunda ölçülmüş yıllık ortalama akımları ARIMA modelleri ile; İçağa (2001), Akarçay havzasında bulunan akım gözlem istasyonlarının aylık akımlarını AR modelleri ile; Yürekli (2001), Çorum Çat deresinde ölçülen yıllık akımları ARMA modelleri ile; Büyükyıldız (2004), Orta Anadolu Kapalı Havzasındaki 3 akım gözlem istasyonunun yıllık ortalama akımlarını ARMA modelleri ile; Baran ve Bacanlı (2006), gözlenmiş yıllık akımlar ile türetilmiş sentetik dizileri kullanarak en uygun model seçiminde kullanılan stokastik yöntemlerin karşılaştırmalarını ARMA modelleri ile; Özçelik (2007), bir homojen alt bölgede aylık akarsu akımlarının periyodik davranışlarının bölgeselleştirilmesi için fonksiyonel olmayan (parametrik olmayan) ve fonksiyonel yaklaşımlar olarak adlandırılan iki kategoride 5 farklı otoregresif yöntem ile; Şarlak ve Şorman (2007), Kızılırmak havzasında yer alan 2 farklı akım gözlem istasyonundaki aylık akım verilerine gamma dağılımı varsayımı altında AR modelleri ile; Taylan (2008), Akdeniz Bölgesi'nde bulunan 7 farklı akım gözlem istasyonu verisi için akım tahminlerini AR modelleri ile; Güldal ve Tongal (2010), Köprüçay nehrine ait akım verilerinin stokastik özelliklerini doğrusal olmayan sınır/eşik otoregresif modelleri (TAR) ile; Güldal ve Tongal (2011), Köprüçay nehrine ait günlük ve yıllık akım serilerinin ortalama davranışlarını ARMA ve GARCH modelleri ile; Tongal (2012), Simav, Büyük Menderes, Köprüçay, Kızılırmak, Göksun ve Çoruh nehirlerine ait günlük, aylık ve yıllık zaman serilerini GARCH modelleri ile; Kurak (2013), İzmir'de bulunan 2 farklı kuyuda kaydedilen aylık yeraltı suyu seviyelerini ARIMA modelleri ile; Keskin vd. (2015), Dalaman çayına ait yıllık akımların tahminini ARMA modelleri ile; Taş (2018), ABD'deki North Fork Stillaguamish havzasındaki taşkın olaylarını araştırmak için günlük akımları ARIMA modelleri ile; Altunkaynak ve Başakın (2018), Amerika'daki Columbia Nehri'nin günlük akım verilerini NAR ve ARIMA modelleri ile; Haktanır vd. (2019), 20 adet aylık akım serisini giriş verisi olarak kullanarak, her bir istasyon için 10 bin yıllık sentetik aylık akım serilerini hesaplamak için ARMA modelleri ile; ve Kır (2020), Antalya ilindeki aylık ve yıllık yağışların tahminini sezonluk ARIMA modelleri ile yapmışlardır.

Bu çalışma, Kır (2020) tarafından yapılan çalışmanın bir özeti sunmakta olup, ulusal literatürde yağış yüksekliğinin tahminine yönelik bir çalışmaya rastlanmamıştır. Literatürde, akarsu akımı gibi sürekliliğe sahip çeşitli hidrolojik değişkenler için stokastik modeller uygulanırken, yağış gibi süresiz ve rastgele hidrolojik bir parametre üzerinde çalışmalara pek rastlanmamaktadır. Dolayısıyla, Antalya iline ait aylık ve yıllık yağış yüksekliklerinin gelecek tahminlerine yönelik olarak gerçekleştirilen bu çalışma, süresiz rastgele hidrolojik bir değişkene ait çalışmalardan birisidir.

## 2. Çalışmada Kullanılan Stokastik Modeller

Literatürde, stokastik süreçlerin ele alındığı pek çok model bulunmaktadır. Bir zaman serisi modellenirken, serinin zamana göre çizilmiş grafiği (gidişatı) önemli bir rol oynar ve böyle bir grafikten, seriye ait bir eğilim, veri dizisinde herhangi bir sıçrama (eşik değer), sezonluk (ve mevsimsellik) değişimler ve seri değerlerinin ortalama etrafındaki salınımları (sapmaları) kolayca görülebilir. Bu özellikler zaman serisi içerisinde mümkün olduğunca giderilmeye çalışılır ya da bir zaman serisi modeli içerisinde uygun bir şekilde konular ve sonuçta, serinin gidişatı farklı bir şekilde (kalıba) sahip olur.

Zaman serilerine ait matematiksel modellerin esas otoregresif yöntem ile hareketli ortalama yöntemine dayanmaktadır. Literatürde ele alınmış bütün yöntemler bu ikisine dayanmaktadır. Otoregresif (iç bağımlı) modeller (AR(p)) aşağıdaki ifade ile tanımlanırlar:

$$Y_t = c + \sum_{L=1}^p \varphi_L Y_{t-L} + \varepsilon_t \quad (1)$$

Bu ifadede  $Y_t$  zaman serisinin  $t$  anındaki yağış yüksekliğini,  $c$  seriye ait (bazen serinin aritmetik ortalaması civarında) bir sabiti,  $L$  serinin  $t$  zamanından önceki zamanına işaret eden değişkeni (gecikme parametresi),  $p$  otoregresif modelin mertebesini ( $L = 1, 2, \dots, p$ ),  $\varphi$  otoregresif model sabitlerini ve  $\varepsilon$  ise modelin kalıntısını (hata değerini ya da beyaz gürültüyü) göstermektedir. Hareketli ortalama modeli (MA(q)) ise, önceki zamanlarda gözlenmiş rastgele değişkenleri göz önüne almaz ve sadece önceki zamanlardaki kalıntıları aşağıdaki gibi modeller:

$$Y_t = \mu + \varepsilon_t + \sum_{L=1}^q \theta_L \varepsilon_{t-L} \quad (2)$$

Bu ifadede  $\mu$  serinin gözlenmiş değerlerinin aritmetik ortalamasını,  $q$  hareketli ortalama polinomunun mertebesini ve  $\theta$  ise hareketli ortalama model sabitlerini göstermektedir. AR(p) ve MA(q) modellerinin birleşimi olan otoregresif hareketli ortalamalar modeli (ARMA(p,q)) ise aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$Y_t = c + \varepsilon_t + \sum_{L=1}^p \varphi_L Y_{t-L} + \sum_{L=1}^q \theta_L \varepsilon_{t-L} \quad (3)$$

Zaman serisi bazen sezonluk (ya da mevsimsel) değişimler gösterdiğinden, bu durumu göz önüne alan modeller sezonluk ARMA(p,q)(P,Q)s modeli olarak bilinir:

$$Y_t = c + \varepsilon_t + \sum_{L=1}^p \varphi_L Y_{t-L} + \sum_{L=1}^q \theta_L \varepsilon_{t-L} + \sum_{L=1}^P \alpha_L Y_{t-sL} + \sum_{L=1}^Q \beta_L \varepsilon_{t-sL} \quad (4)$$

Burada  $P$  ve  $Q$  modelin sezonluk kısmını gösteren otoregresif ve hareketli ortalama model kısmının mertebelerini,  $\alpha$  ve  $\beta$  modelin sezonluk kısmını gösteren otoregresif ve hareketli ortalama model kısmının sabitlerini ve  $s$  ise sezondaki (mevsimdeki) gözlem sayısını (değişimler 1 yılda görülüyorsa  $s = 12$  olur) göstermektedir.

Göz önüne alınan zaman serisinin aritmetik ortalaması, varyansı ve otokovaryansı zamanla değişmiyorsa, bu seri durağan bir seridir. Serinin istatistik özellikleri şayet zamanla değişiyorsa, seri durağan olmayan bir seri olur ve serinin durağanlaştırılması gereklidir. Bir zaman serisinin durağanlaştırılması için çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Zaman serisini durağan hale getirmenin bir yolu, rastgele değişkenin farkını ( $Y'_t = Y_t - Y_{t-1}$ ) almaktır. Dolayısıyla, Denklemler 1 - 4 'de verilen ifadelerde  $Y_t$  yerine  $Y'_t$  'nün kullanılması ile yani bir kez farkın ( $d = 1$ ) alınması ile durağan olmayan modeller elde edilir (ARI(p,d), IMA(d,q), ARIMA(p,d,q), ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)<sub>s</sub>). Bazen, bir kez fark alınmış olan zaman serisi durağan görünmeyebilir ve bu nedenle, durağan bir seri elde etmek için verilerin ikinci kez farkını almak gerekebilir ( $Y''_t = Y'_t - Y'_{t-1}$ ).

## 2.1. Model performanslarının belirlenmesi

Bir tahmin probleminde kullanılan modellerin en uygununu belirlemek için çeşitli ölçütler kullanılmaktadır. Bu ölçütler, çok sayıda parametre kullanılarak yapılan modellemeyi, daha az hata değerine ulaşırsa da uygun görmeyebilir. En uygun model, tahmin probleminde en az parametre ile en az hata değerini veren ve rastgele değişkenin gidişatına (grafiğine) uygun olan modeldir. Bu çalışmada göz önüne alınan ve aşağıdaki eşitlikle ifade edilmiş olan düzeltilmiş Akaike Bilgi Kriteri ( $AIC_c$ ) model performanslarının belirlenmesinde dikkate alınmıştır (Akaike, 1974; Hurvich ve Tsai, 1989).

$$AIC = T \ln \frac{SSE}{T} + 2(p + q + k + 1) \quad (5a)$$

$$SSE = \sum_{t=1}^T \varepsilon_t^2 \quad (5b)$$

$$AIC_c = AIC + \frac{2(p+q+k+1)(p+q+k+2)}{T-p-q-k-2} \quad (5c)$$

Bu eşitliklerde,  $SSE$  karesel hataların toplamını göstermekte olup, Denklemler 1, 3 ve 4 'de  $c \neq 0$  ise  $k=1$  ve  $c=0$  ise  $k=0$  'a eşit alınır. Ayrıca, bu ifadelerdeki 1 sayısı ise varyans parametresini temsil etmektedir. Buradaki fikir,  $SSE$  'e göre metod uygunluğunun tahmin edilmesi gereken parametre sayısı ile cezalandırılmasıdır.

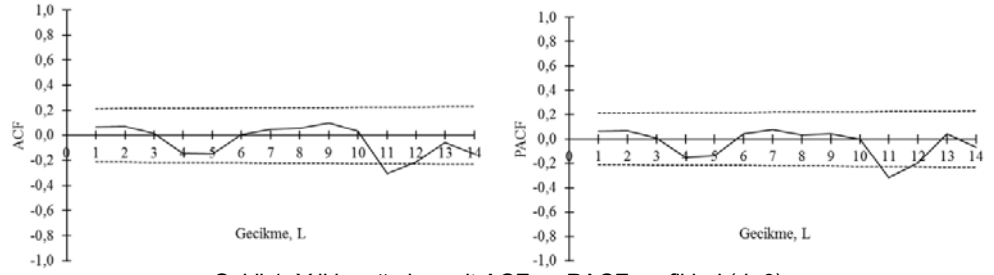
## 3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada kullanılan Antalya iline ait aylık ve yıllık yağış yüksekliği verileri, Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından işletilen 17300 istasyon numaralı Antalya Havalimanı yağışölçerine aittir. Bu istasyona ait yağış değerleri, 1933 yılından itibaren kesintisiz olarak mevcuttur (1930 ve 1931 yıllarına ait yağış kayıtları da bulunmaktadır). Zaman serisi analizleri, aylık ve yıllık yağışları ayrı ayrı ele almak için 2 ayrı alt bölümde uygulanmıştır.

### 3.1. Yıllık yağışlara ait modellerin değerlendirilmesi

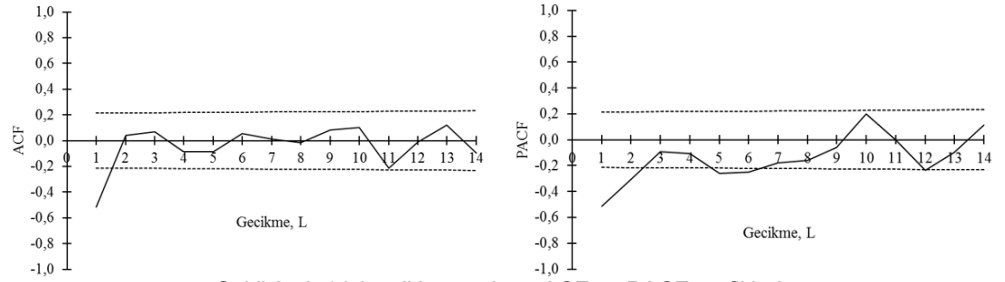
Antalya Havalimanı istasyonunda 1933-2018 tarihleri arasında ( $T_{yıl} = 86$  adet) kaydedilen yıllık yağışların aritmetik ortalaması ( $\mu$ ) 1049.8 mm, varyansı ( $\sigma^2$ ) 102609.6 mm<sup>2</sup>, standart sapması ( $\sigma$ ) 320.3 mm, çarpıklık katsayısı 0.31 ve Kurtosis katsayısı 3.07 'dir. Bu istatistik değerler incelendiğinde, zaman serisinin olasılık dağılım fonksiyonunun normal (simetrik) dağılıma yakın ve sağa çarpık (ortalama değerinden medyandan büyük olduğu) bir dağılım gösterdiği belirtilebilir. Bu istasyonda maksimum uç değerler 1969 ve 2001 tarihlerinde, sırasıyla 1914.3 mm ve 1891.8 mm olarak ölçülmüş, minimum uç değer ise 2008 yılında 283.7 mm olarak kaydedilmiştir.

Yıllık yağış verisine ait otokorelasyon fonksiyonu (ACF) grafiği (korelogram) Şekil 1a 'da, kısmi ACF (PACF) grafiği ise Şekil 1b 'de verilmiştir. Şekillerdeki kesikli çizgiler %95 güvenilirlik sınırlarının alt ve üst ( $\pm 1.96/\sqrt{T_{yıl} - L}$ ) değerlerini göstermektedir. Hem ACF grafiğinde (-0.305) ve hem de PACF grafiğinde (-0.318) güvenilirlik sınırlarının üzerinde çıkan otokorelasyon değerleri  $L=11$  için elde edilmiştir. Bu grafikler ele alındığında,  $L=11$  gecikme değeri için doğrusal ARMA modelinin diğer gecikme değerli ARIMA modellerine göre daha iyi bir korelasyon verebileceği ifade edilebilir.



Şekil 1. Yıllık yağışlara ait ACF ve PACF grafikleri (d=0).

Şekil 1 'deki grafiklere benzer bir şekilde, d=1 için farkı alınmış yıllık yağış yüksekliği zaman serisine ait ACF ve PACF grafikleri ise Şekil 2 'de verilmiştir. ACF grafiğinde %95 güvenirlilik sınırının üstüne çıkan korelasyonlar L=1 için (-0.516) elde edilirken, PACF grafiğinde ise L=1 ve L=2 'de (sırasıyla, -0.516 ve -0.306) bulunmuştur. Bu grafikler ele alındığında, L=1 gecikme değeri için doğrusal ARIMA modelinin diğer gecikme değerli ARIMA modellerine göre daha iyi bir korelasyon verebileceği ifade edilebilir.

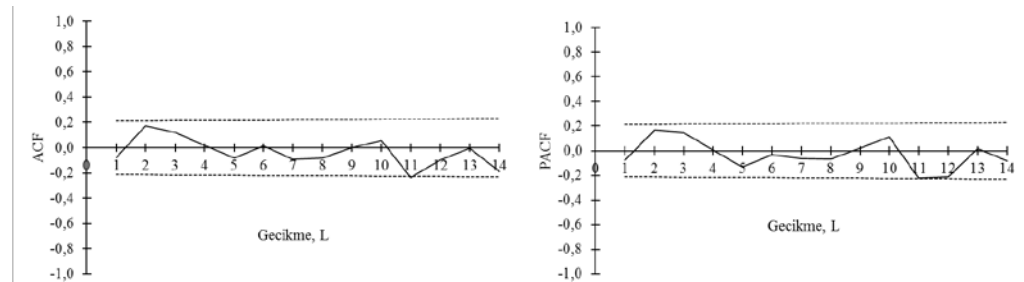


Şekil 2. d=1 için yıllık yağışların ACF ve PACF grafikleri.

Yıllık yağış verisi üzerinde Denklemler 1 - 4 ile ifade edilen stokastik modeller kurulmuş ve modellerin uygunluğu Denklem 5 'de verilen düzeltilmiş Akaike Bilgi Kriterine ( $AIC_c$ ) göre belirlenmiştir. Tablo 1, ARIMA modellerinden elde edilen  $AIC_c$  sonuçlarını toplu halde göstermektedir. Tablo içerisindeki ARIMA(p,0,0), AR(p) modellerine işaret ederken; ARIMA(0,0,q) ise MA(q) modellerini göstermektedir. Benzer şekilde, ARIMA(p,1,0), ARI(p,1) modellerine işaret ederken; ARIMA(0,0,q) ise IMA(1,q) modellerini göstermektedir. Tabloya genel olarak bakıldığında, otopregresif parametreyi gösteren p 'nin ve hareketli ortalama parametresini gösteren q 'nun korelasyon oluşturmada etkisinin çok az olduğu söylenebilir. Bu tabloda, d=0 için en uygun modelin (en düşük  $AIC_c$  değeri için) ARIMA(3,0,3) olarak elde edilirken, d=1 için en uygun model ARIMA(1,1,5) bulunmuştur.

ARIMA(3,0,3) ve ARIMA(1,1,5) modellerine ait kalıntıların ACF ve PACF grafikleri Şekil 3 ve 4 'de çizilmiştir. Şekil 1 'de L=11 için küçükte olsa bir korelasyon görülürken, Şekil 3 'teki korelasyonlar %95 güvenirlilik sınırları içerisinde kalmıştır. Şekil 2 'de L=1 ve L=2 için büyük korelasyonlar görülürken, Şekil 4 'te L=11 için daha az da olsa korelasyonlar bulunmuştur. Bu grafikler bir bütün olarak incelendiğinde, ARIMA(3,0,3) modelinin yıllık yağışları daha iyi temsil ettiği belirtilebilir.

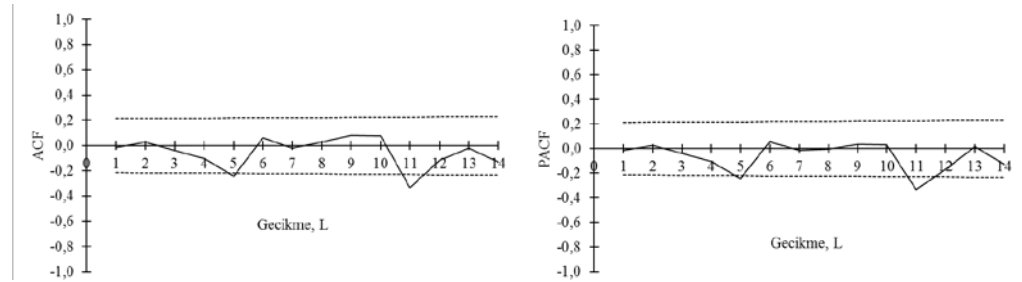
2030 tarihine kadar bu iki modelden hesaplanmış tahmini yağış miktarları Şekil 5 'te çizilmiştir. 2019-2030 tarihleri arasında tahmin edilen yağışların bir güvenirlilik sınırının olduğu ( $\hat{Y}_{t+h} \pm 1.96\hat{\sigma}$ ) belirtilmelidir. Bu tarihe kadar, ARIMA(3,0,3) modeline ait yıllık yağışların ortalaması 1049.0 mm (<1049.8 mm) elde edilirken, ARIMA(1,1,5) modeline ait yıllık yağışların ortalaması 1045.0 mm (<1049.8 mm) olarak hesaplanmıştır. Şekil 5 ve 2030 'a kadar hesaplanmış ortalama yağış yüksekliği değerleri, ARIMA(3,0,3) modelinin yağış yüksekliği tahminlerinde güvenirlilik sınırları içerisinde kullanılabileceğini göstermektedir.



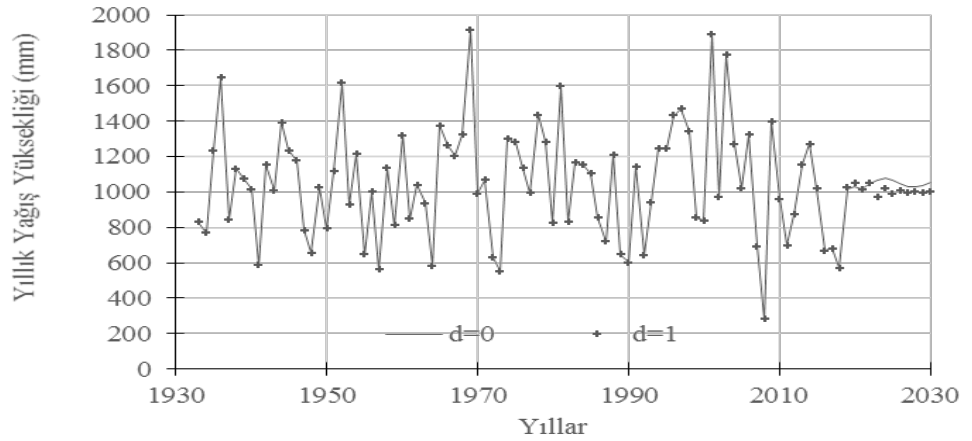
Şekil 3. ARIMA(3,0,3) modeline ait kalıntıların ACF ve PACF grafikleri.

**Tablo 1.** Yıllık yağış verisine ait ARIMA modellerinin AICc değerleri (Kır, 2020).

ARIMA(p,d,q)	1	2	3	4	5
ARIMA(p,0,0)	997.8	998.8	1000.6	997.0	996.5
ARIMA(0,0,q)	1028.4	1064.0	997.1	995.0	995.3
ARIMA(1,0,q)	999.7	1000.4	1001.6	998.8	984.7
ARIMA(2,0,q)	1001.0	965.2	1006.3	1000.4	982.6
<b>ARIMA(3,0,q)</b>	1001.2	972.7	<b>964.2</b>	973.1	979.0
ARIMA(4,0,q)	999.4	999.9	966.7	973.0	972.6
ARIMA(5,0,q)	999.1	978.2	976.8	977.3	1040.3
ARIMA(p,1,0)	1014.3	1007.1	1004.4	1004.8	1001.1
ARIMA(0,1,q)	1079.1	1036.7	1335.4	1006.2	985.1
<b>ARIMA(1,1,q)</b>	998.6	962.3	999.0	976.2	<b>961.3</b>
ARIMA(2,1,q)	964.9	982.2	970.9	979.0	963.9
ARIMA(3,1,q)	1006.0	1001.6	1060.0	969.6	966.1
ARIMA(4,1,q)	995.8	993.0	980.6	971.0	982.6
ARIMA(5,1,q)	968.2	975.6	977.1	981.2	982.9



Şekil 4. ARIMA(1,1,5) modeline ait kalıntıların ACF ve PACF grafikleri.



Şekil 5. ARIMA(3,0,3) ve ARIMA(1,1,5) modellerine ait yıllık yağış yüksekliği tahminleri.

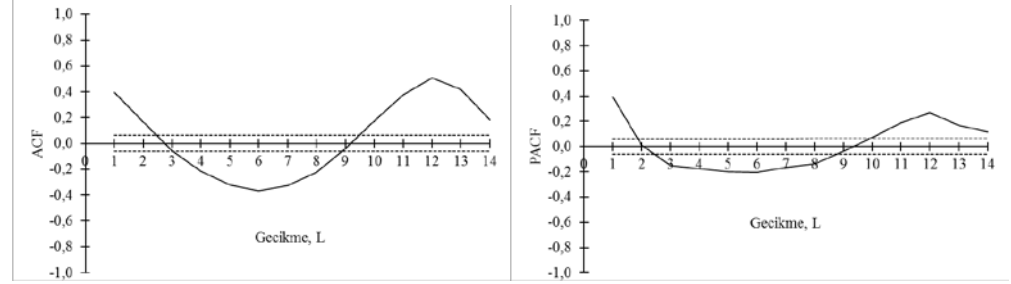
### 3.2. Aylık yağışlara ait modellerin değerlendirilmesi

Antalya Havalimanı istasyonunda 1933-2018 tarihleri arasında ( $T_{ay} = 1032$  adet) kaydedilen aylık yağışların aritmetik ortalaması ( $\mu$ ) 87.5 mm, varyansı ( $\sigma^2$ ) 15368.5 mm<sup>2</sup>, standart sapması ( $\sigma$ ) 124.0 mm, çarpıklık katsayısı 2.35 ve Kurtosis katsayısı 9.76 'dır. Bu istatistik değerler incelendiğinde, zaman serisinin olasılık dağılım fonksiyonunun normal dağılımdan çok uzak olduğu ve sağa çarpık bir dağılım gösterdiği belirtilebilir. Bu istasyonda maksimum uç değerler 1969 yılı Ocak ayında 797.8 mm ve 2001 yılı Kasım ayında 907.2 mm olarak kaydedilirken, Mart, Kasım ve Aralık ayları hariç tüm ayların bazı tarihlerinde yağışın olmadığı (0.0) belirlenmiştir.

Aylık yağış verisine ait Şekil 6 'da çizilmiş olan ACF ve PACF grafiklerinden, zaman serisinin L=12 için periyodik bir sezonluk değişime sahip olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, s=12 için sezonluk ARIMA modellerinin bu zaman serisine uygulanması gerekmektedir. Tablo 2, ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)<sub>s=12</sub> modellerinden elde edilen AICc sonuçlarını göstermektedir. Tablo içerisindeki ilk satır otoregressif parametreleri (p,d,q), ilk sütun ise s=12 için sezonluk bileşenleri (P,D,Q) göstermektedir. Hesaplamalar, d=0 ve D=0 için gerçekleştirilmiştir. Tabloya genel olarak bakıldığında, hem P ve hem de Q değeri artarken daha düşük AICc değerleri (daha güçlü korelasyonlar) elde edilirken, p ve q 'nun değişmesi korelasyonları önemli değişikliğe yol açmamıştır. Sonuç olarak, Antalya Havalimanı'nda kaydedilen aylık yağışları en iyi temsil eden modelin ARIMA(0,0,1)(3,0,3)<sub>s=12</sub> olduğu belirlenmiştir.



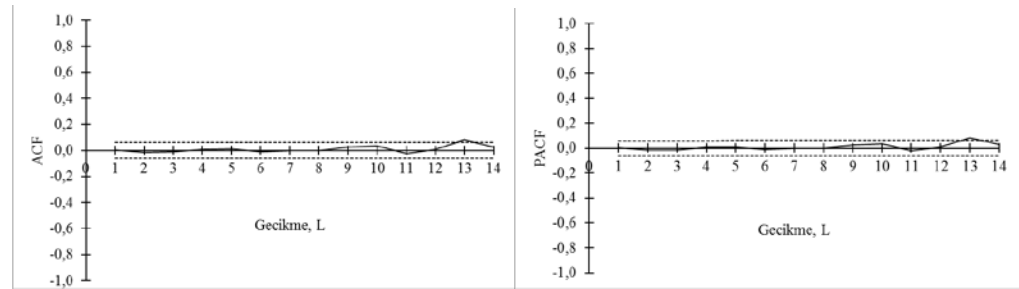
ARIMA(0,0,1)(3,0,3)<sub>s=12</sub> modeline ait kalıntıların ACF ve PACF grafikleri Şekil 7 'de görülmektedir. Şekil 7 'ye göre, kalıntı değerleri arasındaki korelasyonlar %95 güvenirlilik sınırları içerisinde kalmıştır. 2030 tarihine kadar hesaplanmış tahmini aylık yağış miktarları Şekil 8 'de çizilmiştir. 2019-2030 tarihleri arasında tahmin edilen aylık yağışların bir güvenirlilik sınırının olduğu ( $\hat{Y}_{t+h} \pm 1.96\hat{\sigma}$ ) belirtilmelidir. Bu tarihe kadar, ARIMA(0,0,1)(3,0,3)<sub>s=12</sub> modeline ait aylık yağışların ortalaması 87.3 mm (~87.5 mm) olarak hesaplanmıştır. Şekil 8 ve 2030 'a kadar hesaplanmış ortalama aylık yağış yüksekliği değeri, ARIMA(0,0,1)(3,0,3)<sub>s=12</sub> modelinin aylık yağış yüksekliği tahminlerinde güvenirlilik sınırları içerisinde kullanılabileceğini göstermektedir.



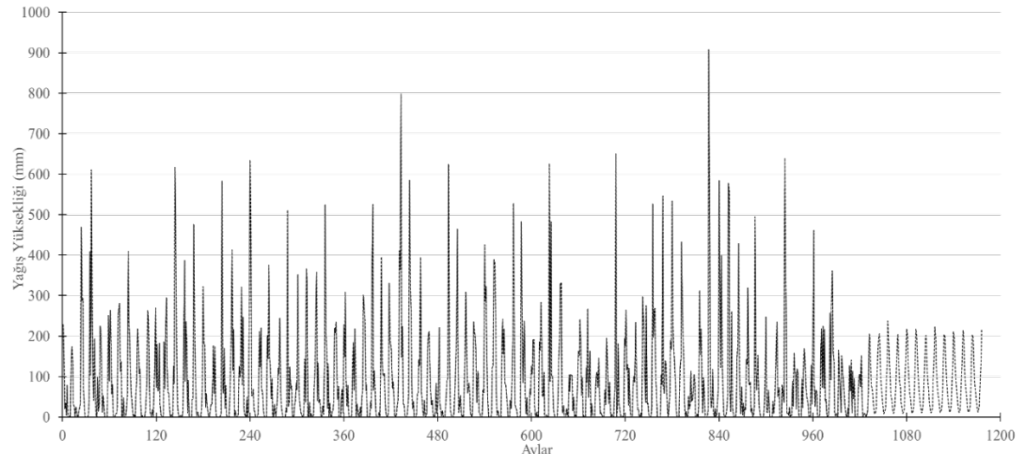
Şekil 6. Aylık yağışlara ait ACF ve PACF grafikleri.

**Tablo 2.** Aylık yağış verisine ait sezonluk ARIMA modellerinin AICc değerleri (Kır, 2020).

(p,d,q) (P,D,Q) <sub>12</sub>	(0,0,0)	(0,0,1)	(0,0,2)	(1,0,0)	(1,0,1)	(1,0,2)	(2,0,0)	(2,0,1)	(2,0,2)
(0,0,1) <sub>12</sub>	9753.1	9725.6	9712.8	9683.2	9664.4	9663.7	9683.9	9641.0	9421.9
(0,0,2) <sub>12</sub>	9687.4	9671.9	9667.9	9636.1	9604.1	9603.8	9636.4	9589.7	9556.0
(0,0,3) <sub>12</sub>	9609.9	9605.5	9607.1	9575.9	9533.7	9532.6	9575.1	9524.5	9517.8
(1,0,0) <sub>12</sub>	9647.5	9630.2	9626.1	9580.1	9564.8	9566.4	9582.1	9546.8	9522.6
(1,0,1) <sub>12</sub>	9355.2	9347.9	9345.4	9352.0	9346.4	9345.3	9345.8	9346.8	9345.2
(1,0,2) <sub>12</sub>	9391.0	9385.2	9385.1	9375.7	9371.4	9370.8	9367.8	9367.6	9366.9
(1,0,3) <sub>12</sub>	9377.0	9376.8	9378.5	9359.5	9359.1	9362.9	9349.4	9347.4	9345.9
(2,0,0) <sub>12</sub>	9569.9	9561.3	9561.5	9516.1	9498.2	9500.1	9518.2	9485.0	9460.3
(2,0,1) <sub>12</sub>	9398.6	9391.3	9390.3	9382.4	9378.1	9376.9	9374.6	9375.1	9373.4
(2,0,2) <sub>12</sub>	9343.6	9332.3	9331.5	9334.9	9325.5	9324.5	9329.8	9324.3	9322.1
(2,0,3) <sub>12</sub>	9332.4	9331.4	9333.3	9328.2	9326.6	9330.6	9320.6	9323.2	9324.0
(3,0,0) <sub>12</sub>	9486.5	9481.4	9483.4	9450.3	9437.2	9440.3	9450.2	9430.6	9422.4
(3,0,1) <sub>12</sub>	9371.8	9369.8	9371.2	9355.0	9356.3	9358.0	9347.9	9346.2	9343.8
(3,0,2) <sub>12</sub>	9331.2	9329.3	9331.2	9326.0	9326.1	9328.1	9320.2	9321.1	9321.8
(3,0,3) <sub>12</sub>	9305.3	<b>9294.0</b>	<b>9295.8</b>	9301.2	<b>9295.4</b>	9297.0	9298.7	9297.2	9299.0



Şekil 7. ARIMA(0,0,1)(3,0,3)<sub>s=12</sub> modeline ait kalıntıların ACF ve PACF grafikleri.



Şekil 8. ARIMA(0,0,1)(3,0,3)<sub>s=12</sub> modeline ait aylık yağış yüksekliği tahminleri.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Antalya iline ait aylık ve yıllık yağışların zaman serilerinin modellenmesi ele alınmıştır. 1933-2018 tarihleri arasındaki yağışlar için uygulanan stokastik yöntemlere göre, yıllık yağış kayıtlarının önemli bir korelasyona sahip olmadığı (beyaz gürültü serisi gösterdiği)  $d=0$  ve  $d=1$  için çizilen ACF ve PACF grafiklerinden görülmüştür. Yıllık yağışlar için belirlenen uygun modelin ARIMA(3,0,3) modeli olduğu ve kalıntılara ait ACF ve PACF grafiklerinde ise korelasyonların iyice azaldığı ve %95 güvenilirlik sınırları içerisinde kaldığı belirlenmiştir. Bu modelin 2030 tarihine kadar yapılan tahmin sonuçlarına göre aritmetik ortalama değer (1049.0 mm), kaydedilmiş değere (1049.8 mm) yakın elde edilmiştir. Aylık yağışlar göz önüne alındığında ise, zaman serisinin  $s=12$  olan sezonluk bir değişim gösterdiği ACF ve PACF grafiklerinden gözlenmiştir. Modelleme çalışmaları neticesinde, aylık yağışları en iyi temsil eden modelin ARIMA(0,0,1)(3,0,3)<sub>s=12</sub> olduğu belirlenmiştir. Bu modelin 2030 tarihine kadar yapılan tahmin sonuçlarına göre hesaplanan aritmetik ortalama değeri (87.3 mm), kaydedilmiş değere (87.5 mm) oldukça yakın elde edilmiştir. Antalya ili aylık ve yıllık yağış yüksekliği tahminlerinin, geliştirilen bu modeller yardımı ile güvenilirlik sınırları içerisinde yapılabileceği belirtilebilir.

#### 5. Kaynaklar

- Akaike, H., 1974. A New Look at the Statistical Model Identification. IEEE Transactions on Automatic Control, 19 (6): 716–723.
- Altunkaynak, A., Başakın, E.E., 2018. Zaman Serileri Kullanılarak Nehir Akım Tahmini ve Farklı Yöntemlerle Karşılaştırılması. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(1), 92-101.
- Baran, T., Bacanlı, Ü.G., 2006. Uygun Stokastik Model Seçim Ölçütlerinin Değerlendirilmesi. İMO Teknik Dergi, 3987-4002.
- Bayazit, M., 1981. Hidrolojide İstatistiksel Yöntemler. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, 166s., İstanbul.
- Büyükyıldız, M., 2004. Orta Anadolu Kapalı Havzasının Yıllık Ortalama Akımlarının Stokastik Modellemesi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 19(1), 13-28.
- Haktanır, T., Kara, M.B., Açıkanal, N., 2019. Sentetik Aylık Akarsu Akımları İçin Çok Serili Ar(0)+Arma(1,1) Modeli. 10. Ulusal Hidroloji Kongresi, 149-162, Muğla.
- Hurvich, C.M., Tsai, C.-L. 1989. Regression and Time Series Model Selection in Small Samples. Biometrika, 76 (2): 297–307
- Güldal, V., Tongal, H., 2010. Sınır Otoregresif (TAR) Modelleriyle Akım Serilerinin Analizi. VI. Ulusal Hidroloji Kongresi, 731-744, Denizli.
- Güldal, V., Tongal, H., 2011. Akarsu Akımlarında Volatilitenin Non-Lineer Varyans Modelleri ile İncelenmesi: Köprüçay Nehri Örneği. İMO Teknik Dergi, 353, 5471-5485.
- İçağa, Y., 2001. Akarçay Aylık Akımlarının Modellenmesi. III. Ulusal Hidroloji Kongresi, 637–640, İzmir.
- Kâhya, E., Karabörk, Ç., Kalaycı, S., 1998. Yeşilirmak Havzasında ARIMA ve Çok Değişkenli Stokastik Modelleme Uygulamaları. II. Ulusal Hidrometeoroloji Sempozyumu, 195-203, Ankara.
- Keskin, M.E., Taylan, E.D., Aydın, T., 2015. Dalaman Çayı Akımlarının Yıllık Zaman Serileri ile Modellenmesi. VIII. Ulusal Hidroloji Kongresi, 573-581, Şanlıurfa.
- Kır, E.G., 2020. Antalya İlindeki Yağışların Otoregresif Yöntemlerle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 84 s.
- Kurak, M., 2013. İzmir'e Su Sağlayan Kuyularda Yeraltı Suyu Seviye Salınımlarının Stokastik Analizi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 143s, İzmir.
- Merzi, N., Usul, N., Usul, G., 1995. Çoruh Havzası'nda Oltu Nehri'nin (2323 numaralı istasyonun) Aylık Akımlarının Stokastik Modellemesi. İMO Teknik Dergi, 6(4), 1049-1058.
- Özçelik, C., 2007. Aylık Akışlar İçin Genelleştirilmiş Periyodik Bileşen Modelleri. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 223s, İzmir.
- Salas, J.D., Delleur, J.W., Yevjevich, V., Lane, W.L., 1980. Applied Modeling of Hydrologic Time Series. Water Resources Publications, 484p, Colorado.
- Şarлак, N., Şorman, A.Ü., 2007. Gamma Otoregresif Modeller ve Kızılırmak Havzasına Uygulama. İMO Teknik Dergi, 18(90), 4219 -4227.
- Taş, E., 2018. Günlük Akımların Stokastik Modellemesi Üzerine Bir Uygulama. Uluslararası V. Baraj Güvenliği Sempozyumu, İstanbul.
- Taylan, E.D., 2008. Akdeniz Bölgesindeki Akımların Tahmini İçin Akıllı Sistemlerin Uygulanması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 181s, Isparta.
- Tongal, H., 2012. Akarsu Akımlarının Nonlineerlik, Stokastik ve Belirsizlik Özelliklerinin Matematiksel Tabanlı Metotlarda İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 231s, Isparta.
- Yürekli, K., 2001. Çorum Çat Deresi Yıllık Akım Serisinin Stokastik Analizi. Tarım Bilimleri Dergisi, 9(1), 1-8.

### Öne Çıkan Sonuçlar:

- Antalya bölgesindeki yağışölçerlere ait yağışların olasılık dağılım fonksiyonları birbirinden farklıdır.
- Bir yağışölçerin uzun ve kısa süreli yıllık yağışlarına ait olasılık dağılım fonksiyonlarının birbirinden farklı olma ihtimali yüksektir.
- Yağış kayıtlarının son zamanlarındaki gidişatı, proje yağışı hesaplarının değerlendirilmesinde dikkate alınmalıdır.

### Yazışma yazarı:

İhtişam Bozkurt BALCI,  
bihtisam@gmail.com.tr

### Referans:

Balci, İ.B., Çimen, M., (2020), Antalya Bölgesinde Gözlenmiş Yıllık Maksimum Yağışların İstatistiksel Analizi, Su Kaynakları, 5, (2) 16–23

Makale Gönderimi : 28 MAYIS 2020  
Online Kabul : 24 AĞUSTOS 2020  
Online Basım : 25 EYLÜL 2020

İhtişam Bozkurt Balcı<sup>1</sup>, Mesut Çimen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 32260 Isparta, Türkiye. ORCID: 0000-0003-4791-7898

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32260 Isparta, Türkiye. ORCID: 0000-0003-4564-2384

**Özet** Akdeniz iklim kuşağında bulunan ve tarımsal üretimde en yüksek paya sahip olan Antalya ili yağışlarında meydana gelen düzensizlikler başta seralar ve meyve bahçeleri olmak üzere milyonlarca lira hasara ve hatta can ve mal kayıplarına sebep olmaktadır. Yağışlardaki bu düzensizlikler, tarımsal faaliyetlerin yanı sıra, planlanan su yapıları, şehir drenaj şebekeleri ile çeşitli yol ve hidrolik yapılar üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Muhtemel taşkınların büyüklüğü ve onun kontrolü açısından ekstrem yağışların değerlendirilmesi ve taşkınların büyüklükleri ile meydana gelme frekanslarının güvenilir bir biçimde tahmin edilmesi gerekmektedir. Çalışmada, çeşitli yinelenme sürelerindeki yağış yüksekliklerinin tahmininde hidroloji alanında sıklıkla kullanılan 6 olasılık dağılım fonksiyonu (Normal, 2 ve 3 parametrelili Log-normal, Gumbel, Pearson Tip-3 ve Log-Pearson Tip-3) kullanılmış ve bu dağılımların sonuçlarının uygunluğu, uyum doğruluğu yöntemlerinden biri olan Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi ile kontrol edilmiştir. Böylece, Antalya ili ve bölgesindeki her bir meteoroloji istasyonuna ait çeşitli tekerrür sürelerindeki yağış miktarları belirlenmiş ve bölgeye ait genel bir değerlendirme yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yağış, Şiddet, Süre, Frekans, Antalya

## Statistical Analysis of Annual Maximum Precipitations in Antalya Region

**Abstract** Irregularities occurring in the precipitation of Antalya, which is in the Mediterranean climate zone and has the highest share in agricultural production, cause millions of lira damage and even loss of life and property, especially greenhouses and orchards. These irregularities in precipitation cause negative effects on agricultural activities as well as planned water structures, city drainage networks and various road and hydraulic structures. In terms of the size and control of the possible floods, extreme precipitations should be evaluated and the magnitude and frequency of the floods should be reliably estimated. In the study, 6 probability distribution functions (Normal, 2 and 3 parameters Log-normal, Gumbel, Pearson Type-3 and Log-Pearson Type-3) which are frequently conducted in the field of hydrology are used to estimate precipitation heights at various recurrence times and the appropriateness of the results of these distributions is checked with the Kolmogorov-Smirnov (KS) test which is one of the goodness-of-fit methods. Thus, precipitation amounts in various recurrence periods of each station in the region of Antalya are determined and a general evaluation is done for the region.

**Keywords:** Rainfall, Intensity, Duration, Frequency, Antalya

### 1. Giriş

Küresel ısınmanın bir sonucu olarak meydana gelen ekosistemdeki bozulma, günümüz dünyanın neredeyse en önemli sorunlarından biri haline gelmiştir. Küresel çapta bir ısı artışı, buzulların erimesi, deniz suyu seviyesinde yükselme ve yağışlardaki düzensizlikler bu problemlerin varlığını gözler önüne sermektedir. Son yıllarda, dünyadaki iklim değişikliğine ilişkin bulgular artarken, ülkeler iklim değişikliğinin olası olumsuz etkilerinin önlenmesi konusunda bilimsel çalışmalara ağırlık vermişlerdir. Yapılan bu çalışmalarda, yağışlarda gözlenen değişimlerden yola çıkarak iklimin hangi yönde değişmekte olduğuna ilişkin önemli bulgular elde edilmesine imkân sağlamaktadır.

Su kaynaklarının doğru kullanılabilmesi ve yapılacak olan su yapılarının doğru projelendirilip doğru yürütülebilmesi için birçok parametrenin (yağış, akış, sızma, yeraltı suyu, buharlaşma, bitki örtüsü, vb)

doğru analiz edilip etkisinin iyi bir şekilde irdelenmesi gerekmektedir. Yağış ta bu parametrelerin en önemlilerinden bir tanesidir (Saplıoğlu ve Çimen, 2010). Yağış rastgele karakterde olan bir hidrolojik olay olduğu için, yağışın boyutu ile olasılığı arasındaki ilişki frekans analizi ile tahmin edilebilmektedir (Yavuz, 2018). Frekans analizinin öncelikli amacı olasılık dağılımlarını kullanarak ekstrem olayların büyüklükleri ile ortaya çıkma sıklıklarını ilişkilendirmektir (Chow ve diğ., 1988). Sağanaklar ve bunların sonucu olan taşkınlar gibi ekstrem olaylar, binlerce insanın ölümüne sebep olabileceği gibi, milyonlarca liralık ta maddi hasara sebep olabilmektedir. Ekstrem kurak akımlar ve kirlenmeler de ekonomik, sosyal ve çevresel etkilere yol açabilirler. Hidrolojik çalışmalar ile bu tip olayların ortaya çıkma olasılığı veya yinelenme durumu araştırılmalıdır (Aşıkoğlu, 2017). Hidrolojik olaylar, birçok faktörün etkisi altında meydana geldiği için rastgele bir özellik göstermektedir. Bu nedenle, yağış sistemlerinde herhangi bir değişikliğe bağlı olarak ortaya çıkan kurak veya aşırı yağışlı hava olayları küresel ya da bölgesel ölçekte homojen bir dağılım göstermemektedir (Okman, 1994).

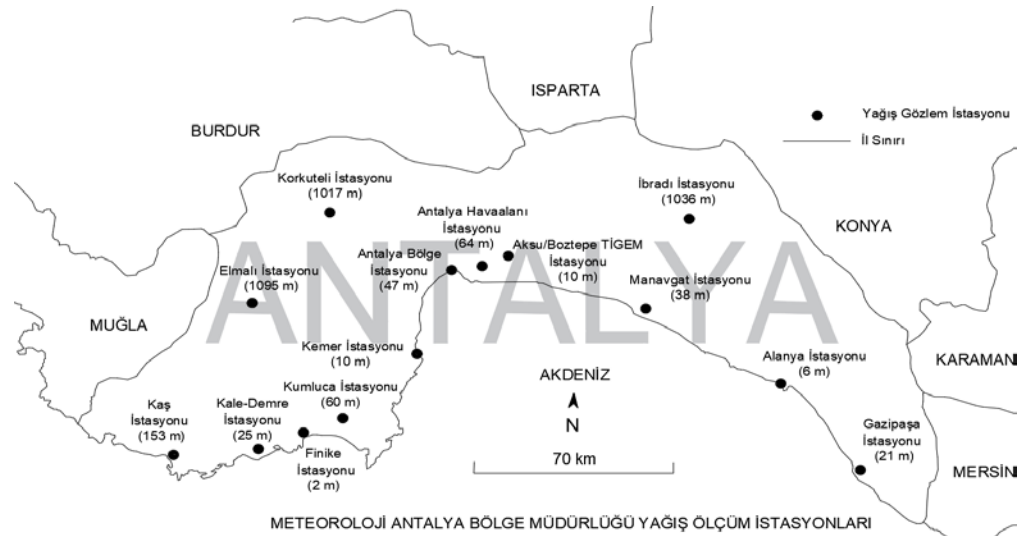
Hidrolojik verilerin hesaplanmasında, değişkenler arasındaki matematiksel bağıntıların kurulduğu deterministik yöntemlerle ya da değişkenlerin istatistik yöntemlerle analizi kullanılır (Albostan ve Önsöz, 2015). Ancak ekstrem olaylar birçok etkene bağlı olarak meydana geldiğinden, bu olayların gelecekteki miktarlarının tahmini zor olmaktadır. Bu nedenle, hidrolojik olayların gelecekteki miktarlarının tahmininde istatistiksel analizlerden yararlanılmaktadır (Anlı ve diğ., 2009). Hidroloji bilim alanında kullanılan istatistiksel analizler, verinin özetlenerek anlamlı bir şekilde ifade edilmesi ve gözlenen olayların temelini oluşturan karakteristiklerin saptanması ile bunların gelecekteki davranışları hakkında tahminler yapmak için uygulanır (Anlı, 2009).

Bu çalışmada, Antalya bölgesindeki yağış gözlem istasyonlarında kaydedilmiş yıllık maksimum yağışlar ele alınarak, bölgedeki yağışların genel özellikleri ile yağışların istatistiksel dağılımları ve bu dağılımlardan elde edilen çeşitli yinelenme sürelerine ait yağış büyüklükleri araştırılmış ve sonuçta, bölgesel bir analiz yapılmaya çalışılmıştır.

## 2. Çalışma Alanı ve Metod

Antalya İli Türkiye'nin güneybatısında 29°20'-32°35' doğu boylamları ile 36°07'-37°29' kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Güneyinde Akdeniz ve kuzeyinde denize paralel uzanan Toroslar ile çevrili olup, doğusunda İçel, Konya ve Karaman, kuzeyinde Isparta ve Burdur, batısında ise Muğla illeri ile komşudur. İlin yüzölçümü 20,815 km<sup>2</sup> kadardır. Bu miktar, Türkiye yüzölçümünün %2,6'sı kadarına karşılık gelmektedir. Akdeniz Bölgesi'nin batısında bulunan Antalya ili, bölge yüzölçümünün ise %17,6'sını oluşturmaktadır (Sarı, 2010).

Bu çalışmada Antalya ve bölgesinde bulunan ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından işletilen 14 adet yağış gözlem istasyonundan 2018 tarihine kadar elde edilen ve kayıt süresi 14 ile 90 yıl arasında değişen yıllık maksimum yağış dizileri kullanılmıştır. Çalışmada göz önüne alınan istasyonların çoğu deniz seviyesine yakın olup sadece 3 tanesi deniz seviyesinden yaklaşık olarak 1000 metre yüksekliktedir (Şekil 1). İstasyonlara ait coğrafik bilgiler ile yıllık ortalama yağış yüksekliğine dair bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı ve yağış istasyonlarının yerleşimi.

Tablo 1. Antalya ili yağış gözlem istasyonları ve özellikleri.

İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem (K)	Boylam (D)	Rakım (m)	Gözlem Süresi (yıl)	Ortalama Yıllık Yağış Yüksekliği (mm)
17895	Aksu/Boztepe TİGEM	36°56'22"	30°53'53"	10	14	743,7
17310	Alanya	36°33'03"	31°58'49"	6	78	946,9
17302	Antalya Bölge	36°53'06"	30°40'58"	47	14	848,6
17300	Antalya Havaalanı	36°54'23"	30°47'56"	64	90	1062,7
17952	Elmalı	36°44'14"	29°54'44"	1095	61	484,8
17375	Finike	36°18'09"	30°08'45"	2	59	945,7
17974	Gazipaşa	36°16'18"	32°18'16"	21	49	806,4
17927	İbradı	37°05'49"	31°35'43"	1036	14	1769,1
17970	Kale-Demre	36°14'32"	29°58'44"	25	37	763,6
17380	Kaş	36°12'01"	29°39'01"	153	55	651,2
17953	Kemer	36°35'39"	30°34'02"	10	14	816,5
17926	Korkuteli	37°03'23"	30°11'28"	1017	51	382,6
17951	Kumluca	36°21'53"	30°17'52"	60	14	741,4
17954	Manavgat	36°47'22"	31°26'28"	38	60	1099,0

## 2.1 Yağışların olasılık dağılım fonksiyonları

Rastgele değişkenlere ait gözlenmiş örneklerden elde edilen frekans dağılımlarındaki mevcut bilgiyi ortaya çıkarmak için bu dağılımlara analitik ifadeleri belli olan olasılık dağılım fonksiyonları uydurmak gerekir. Hidroloji alanında sıklıkla kullanılan ve yine bu çalışmada da olduğu gibi, Antalya bölgesi yağışlarının çeşitli frekanslarındaki yağış miktarlarını elde etmek için Normal, Log-normal, Gumbel, Gamma, Pearson Tip-3 ve Log-Pearson Tip-3 olasılık dağılım fonksiyonları kullanılmıştır (Benjamin ve Cornell, 1970; Şen, 2002; Bayazit, 2005).

Normal (N) dağılım, Gauss dağılımı olarak da bilinir ve hidrolojik değişkenlerin istatistiksel analizinde en çok kullanılan dağılımlardan birisidir. Bu dağılımı ifade eden olasılık dağılım fonksiyonu Denklem 1'de verilmiştir.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

Burada  $\mu$  ve  $\sigma$  normal dağılımın ( $x$  rastgele değişkenin) ortalamasını ve standart sapmasını göstermektedir.

Log-normal (LN) dağılım, bir tarafa doğru çarpık bir dağılımdır ve dağılımın sağ tarafı sonsuza gider. Log-normal dağılım hidrolojide sıklıkla kullanılmakta olup, dönüşüme ait normal dağılımın ortalaması ve standart sapması gibi yine sadece iki parametresi olduğu için faydalı bir dağılımdır.  $x$  değişkeninin sıfır olmayan bir alt sınırı varsa ve bu alt sınır yeni bir parametre olarak buna 3 parametrelili Log-normal dağılım denir. Bu dağılımı ifade eden fonksiyon Denklem 2'de verilmiştir.

$$f(x) = \frac{1}{(x-a)\sigma_y\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x-a)-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}}, \quad x>0 \quad (2)$$

Burada  $a$  rastgele değişkenin pozitif minimum (eşik) değeri,  $\mu_y$  ve  $\sigma_y$  ise  $\ln(x-a)$  değişkeninin ortalaması ve standart sapmasıdır.

Gumbel (G) dağılımı, tekrarlanan değişkenlerdeki en küçük veya en büyük değerlerin dağılımlarını göz önüne alarak uç (ekstrem) değerler teorisini ifade eder. Gumbel dağılımının (Genelleştirilmiş Ekstrem Değer dağılımı Tip-I) olasılık dağılım fonksiyonu Denklem 3'teki gibi yazılabilir.

$$f(x) = \frac{1}{\beta} e^{-(z+e^{-z})} \quad (3)$$

Burada  $\beta$  sabit bir sayı olmak üzere,  $Z = \frac{x-\mu}{\beta}$  dir.

Gamma (GA) dağılımı, hidrolojide çok kullanılan çarpık dağılımlardan birisidir. Genellikle 2 ya da 3 parametrelili Gamma dağılımları göz önüne alınır. 2 parametrelili Gamma dağılımına ait olasılık dağılım fonksiyonu Denklem 4'te verilmiştir.

$$f(x) = \frac{x^{b-1}}{a^b \Gamma(b)} e^{-\frac{x}{a}} \quad (4)$$

Burada  $a > 0$  ve  $b > 0$  sırasıyla ölçek ve şekil parametreleri olup, Gamma fonksiyonu  $\Gamma(b) = (b - 1)!$ 'dir.

Pearson Tip-3 (P3) dağılımı, daima pozitif çarpıklığa sahip 3 parametrelili bir dağılımdır. Şekil parametresi  $+\infty$ 'a giderken, dağılımın çarpıklığı simetrik olur ve normal dağılıma dönüşür. Dağılıma ait olasılık dağılım fonksiyonu Denklem 5'te verilmiştir.

$$f(x) = \frac{1}{a \Gamma(b)} \left(\frac{x-c}{a}\right)^{b-1} e^{-\frac{x-c}{a}} \quad (5)$$

Burada  $a > 0$ ,  $b > 0$  ve  $0 < c < x$  sırasıyla ölçek, şekil ve konum parametreleridir.

Log-Pearson Tip-3 (LP3) dağılımı, sol tarafından sınırlı çarpık bir dağılımdır. Çarpıklık katsayısı uç olaylara hassas olduğu için, bu dağılımın küçük örneklemelerde kullanılması uygun değildir. Çarpıklık katsayısı sıfır olduğunda Log-normal dağılıma dönüşür. Bu dağılımı ifade eden olasılık dağılım fonksiyonu Denklem 6'da gösterilmiştir.

$$f(x) = \frac{1}{ax \Gamma(b)} \left(\frac{\ln x - c}{a}\right)^{b-1} e^{-\frac{\ln x - c}{a}} \quad (6)$$

Burada  $a > 0$ ,  $b > 0$  ve  $0 < c < \ln x$  sırasıyla ölçek, şekil ve konum parametreleridir.

## 2.2 Uygunluk Testi

Dağılımların gözlemlere uygunluğunu kontrol etmek için, bu çalışmada Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi uygulanmıştır. Bu test, gözlenen bir verinin istatistiksel bir metot ile bulunan dağılım sonucunun uygunluğunu kontrol etmek için uygulanır. Kolmogorov-Smirnov testinde, öncelikle gözlenen  $N$  adet veriden oluşan serinin elemanları küçükten büyüğe doğru sıralanır. Sonra, verinin her bir  $x_i$  elemanına ait örnek (ampirik) dağılım fonksiyonunun değeri  $F(x_i)$  hesaplanır.  $H_0$  hipotezinde göz önüne alınan teorik olasılık dağılım fonksiyonundaki beklenen olasılıklar ( $F_0(x_i)$ ), her bir  $x_i$  değerleri için bulunur. Ampirik dağılım fonksiyonu ile teorik dağılım fonksiyonu arasındaki mutlak farklar ( $\Delta$ ) hesaplanarak en büyüğü bulunur. Kolmogorov-Smirnov testi için tablo halinde düzenlenmiş olan ve örnek sayısı ( $N$ ) ile çeşitli önem (anlamlılık) düzeylerine ( $\alpha$ ) göre belirlenmiş değerden ( $\Delta_{K-S}$ ) küçükse seçilen olasılık dağılım modeli kabul edilir. Bu yöntemin matematiksel ifadesi Denklemler 7 ve 8'de verilmiştir.

$$F(x_i) = \frac{i}{N} \quad (7)$$

$$\text{Max } \Delta = |F(x_i) - F_0(x_i)| \quad (8)$$

## 3. Bulgular

Antalya bölgesindeki 14 adet yağış gözlem istasyonunda kaydedilmiş minimum ve maksimum yağış verileri ile bu istasyonların kaydedilmiş yıllık yağış dizilerine ait bazı istatistiksel parametreleri Tablo 2'de verilmiştir. Çalışma alanındaki 9 istasyona ait veri uzunluğunun 30 yılın üzerinde olduğu (Alanya 78 yıl, Antalya Havaalanı 90 yıl, Elmalı 61 yıl, Finike 59 yıl, Gazipaşa 49 yıl, Kale-Demre 37 yıl, Kaş 55 yıl, Korkuteli 51 yıl, Manavgat 60 yıl) ve diğer 5 istasyonda ise (Aksu/Boztepe TİGEM, Antalya Bölge, İbradı, Kemer, Kumluca) sadece 14 yıl olduğu belirtilmelidir.

Tablo 2'de belirtilen istasyonlarda kaydedilmiş minimum ve maksimum yıllık toplam yağış değerlerine bakıldığında en az yağışın Korkuteli istasyonunda (188,2 mm), en fazla yağışın ise İbradı (2681,6 mm) istasyonunda ölçüldüğü görülmektedir. Yıllık ortalama yağış değerleri incelendiğinde ise, en az yağış ortalamasına Korkuteli'nin (382,6 mm) olduğu, buna karşın en çok yağış ortalamasına ise İbradı'nın (1769,1 mm) olduğu belirtilmelidir. Her bir istasyondaki minimum ve maksimum yağış değerleri arasındaki farklara bakıldığında ise, en az yağış farkının 516,6 mm ile Kumluca

istasyonunda, en fazla yağış farkının ise 1691,4 mm ile İbradı istasyonunda hesaplanmıştır. İstasyonlardaki yağış farklarının, istasyonların yağış ortalamalarına göre hesaplanmış yüzdelik değişimlerinde ise, en az değişimin %69,7 ile Kumluca istasyonunda olurken, en çok değişimin %165,4 ile Korkuteli istasyonunda olduğu bulunmuştur. Antalya bölgesi istasyonlarının yağış dizilerine ait en küçük lineer standart sapmanın 107,8 mm ile Korkuteli istasyonunda, en büyük lineer sapmanın ise 492,4 mm ile İbradı istasyonunda olduğu belirlenmiştir. Logaritmik sapma miktarlarına bakıldığında ise, en küçük logaritmik sapmanın 0,10 ile Kumluca istasyonunda, en büyük logaritmik sapmanın ise 0,19 ile Aksu/Boztepe TİGEM istasyonunda olduğu görülmektedir. Lineer çarpıklık katsayıları incelendiğinde ise, Antalya Bölge ve Kumluca istasyonlarında lineer çarpıklık katsayısı -0,01 (sola çarpık) iken, diğer istasyonlar sağa çarpık olup en büyük lineer çarpıklık 1,26 ile Korkuteli istasyonunda hesaplanmıştır. Gazipaşa istasyonunda ise logaritmik çarpıklık katsayısı 0,15 olarak belirlenirken, diğer istasyonlarda logaritmik çarpıklık değerleri negatif elde edilmiştir.

Uzun süreli kaydı bulunan bu 9 istasyonun son 14 yılına ait (2005-2018) yağış ortalamaları ile Tablo 2 'de verilen uzun süreli yağış ortalamaları kıyaslandığında, Alanya istasyonundaki yağış ortalamasında %4,9 'luk bir artış belirlenirken, diğer istasyonlarda (Antalya Havaalanı %11,3, Elmalı %4,8, Finike %1,5, Gazipaşa %6,8, Kale-Demre %0,7, Kaş %2,1, Korkuteli %1,2 ve Manavgat %2,6) bir azalmanın olduğu bulunmuştur. Bu oranlar, özellikle Alanya istasyonundaki yıllık yağış miktarının yaklaşık 46 mm artmasını, buna karşın Antalya Havaalanı'nda 120 mm ve Gazipaşa'da 55 mm olmak üzere yıllık yağış yüksekliğindeki azalışları göstermektedir. Bu rakamlar, son yıllarda Antalya bölgesindeki yağış değişiminin önemli düzeylerde olduğuna işaret etmektedir.

**Tablo 2. Antalya bölgesindeki istasyonlarda kaydedilmiş yağış dizilerinin bazı istatistiksel özellikleri.**

Yağış İstasyonu	Min. Yağış (mm)	Maks. Yağış (mm)	Lin. Ort.	Lin. Stand. Sapma	Lin. Çarpık. Katsay.	Log. Ort.	Log. Stand. Sapma	Log. Çarpık. Katsay.
Aksu/Boztepe TİGEM	327,0	1367,8	743,7	306,8	0,50	2,84	0,19	-0,31
Alanya	538,3	1770,4	946,9	437,0	0,47	3,01	0,12	-0,11
Antalya Bölge	308,0	1239,2	848,6	244,3	-0,01	2,92	0,13	-0,45
Antalya Havaalanı	552,9	1914,3	1062,7	311,0	0,40	3,01	0,13	-0,24
Elmalı	245,7	777,2	484,8	113,1	0,11	2,67	0,11	-0,63
Finike	362,4	1682,9	945,7	287,9	0,47	2,95	0,14	-0,55
Gazipaşa	408,2	1357,1	806,4	212,1	0,73	2,89	0,11	0,15
İbradı	990,2	2681,6	1769,1	492,4	0,28	3,23	0,13	-0,35
Kale-Demre	409,9	1223,4	763,6	285,4	0,39	2,89	0,13	-0,32
Kaş	428,9	1319,3	651,2	358,2	0,41	2,89	0,12	-0,62
Kemer	450,9	1313,7	816,5	283,2	0,17	2,89	0,16	-0,19
Korkuteli	188,2	820,9	382,6	107,8	1,26	2,57	0,12	-0,16
Kumluca	479,8	996,4	741,4	152,4	-0,01	2,86	0,10	-0,52
Manavgat	447,8	1844,9	1099,0	285,3	0,24	3,03	0,12	-0,73

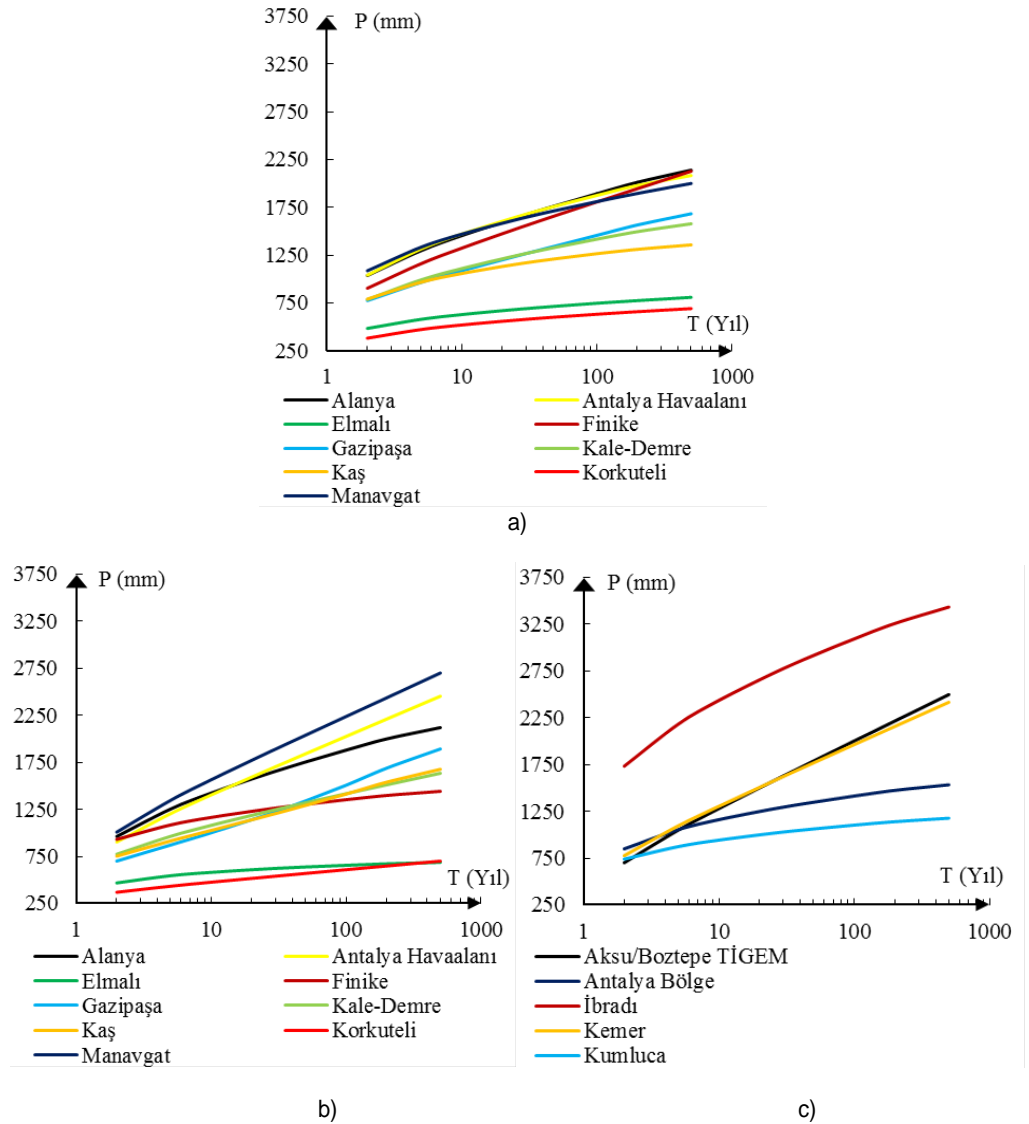
Antalya ilinde bulunan yağış ölçüm istasyonlarına ait yağış dizileri için 6 adet olasılık dağılım fonksiyonu tatbik edilmiş ve bu dağılımların uygunlukları Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi ile belirlenmiştir. Tablo 3, her bir istasyona ait uygun olasılık dağılım fonksiyonları ile bu dağılımların çeşitli tekerrür süreleri (T, yıl) için elde edilmiş olan ekstrem yağış miktarlarının (P, mm) değerlerini göstermektedir. Bu tabloda, kayıt süresi 14 yıl olan 5 istasyona ait T-P değerlerinin olduğunu not etmek gereklidir. Çeşitli yinelenme sürelerine ait yıllık yağış yüksekliği değerlerinin gidişatını daha iyi görebilmek için, tablodaki sonuçlar Şekil 2 'de çizilmiştir.

Tablo 3. Antalya ili yağış gözlem istasyonlarının ekstrem dağılım sonuçları.

İstasyonlar	Dağıl. Tipi	Yinelenme Süresi, T (Yıl)							
		2	5	10	25	50	100	200	500
Aksu/Boztepe TİGEM	G	700	1049	1280	1571	1788	2003	2217	2499
Alanya	LP3	1038	1298	1455	1640	1770	1893	2013	2141
Antalya Bölge	P3	849	1054	1161	1275	1348	1414	1474	1534
Antalya Havaalanı	P3	1042	1316	1472	1647	1766	1876	1980	2084
Elmalı	N	484	580	629	682	717	748	776	810
Finike	LN2	904	1162	1324	1523	1667	1808	1947	2129
Gazipaşa	LP3	775	966	1088	1238	1348	1458	1567	1684
İbradı	LP3	1733	2181	2436	2724	2917	3094	3260	3434
Kale-Demre	LP3	788	993	1110	1244	1334	1418	1496	1579
Kaş	LP3	791	967	1059	1154	1214	1266	1312	1359
Kemer	G	776	1094	1304	1570	1768	1964	2159	2416
Korkuteli	N	382	473	520	571	603	633	660	692
Kumluca	LP3	739	873	942	1016	1062	1103	1139	1177
Manavgat	LN3	1088	1335	1470	1620	1719	1811	1896	2001
N	: Normal				G				: Gumbel
LN2	: İki Parametrel Log-normal				P3				: Pearson Tip-3
LN3	: Üç Parametrel Log-norma				LP3				: Log-Pearson Tip-3

Şekil 2a incelendiğinde, çeşitli tekerrür sürelerindeki yağış miktarlarının en fazla değiştiği yerin Finike istasyonu olduğu ve sonrasında Gazipaşa istasyonu gelirken, en az değiştiği istasyon ise Elmalı ve sonrasında Kaş istasyonu gelmektedir. 2005-2018 dönemi ele alındığında ise; Şekil 2b 'ye göre yağış miktarlarının en fazla değiştiği yerin Manavgat istasyonu olduğu ve sonrasında Antalya Havaalanı istasyonu gelirken, en az değiştiği istasyon ise Elmalı ve sonrasında Finike istasyonu gelmektedir. Şekil 2a ile Şekil 2b (yani uzun süre kayıtları ile son 14 yıllık kayıtlar) çeşitli dönemeleme süreleri için karşılaştırıldığında, uzun yıllara göre yıllık yağışlarda en fazla artış eğilimi Finike istasyonunda iken son 14 yılda en az artış eğilimi yine Finike istasyonunda hesaplanmıştır. Bu değişimlerin istasyonların olasılık dağılım fonksiyonlarındaki değişimlerin bir sonucu olduğu belirtilebilir. Söyle ki; Alanya, Elmalı ve Finike istasyonları Pearson Tip-3, Antalya Havaalanı ve Korkuteli istasyonları Gumbel, Kale-Demre ve Manavgat istasyonları ise 2 Parametrel Log-normal dağılım fonksiyonları şeklinde değişmiştir. Gazipaşa ve Kaş istasyonlarının olasılık dağılım fonksiyonlarında ise değişiklik olmamıştır. Şekil 2b ile Şekil 2c incelendiğinde ise, tüm istasyonlara göre İbradı istasyonunda en yüksek yağış miktarının oluşacağı, İbradı ile birlikte Aksu/Boztepe TİGEM istasyonu ve Kemer istasyonlarında yağış artış oranlarının yüksek olduğu belirtilebilir.





Şekil 2. Antalya bölgesindeki istasyonlara ait T-P eğrileri a) Uzun süreli istasyonlar, b) Uzun süreli istasyonların 2005-2018 dönemi, c) 2005'te işletmeye açılan istasyonlar.

## 5. Sonuç

Antalya bölgesindeki istasyonların yıllık toplam yağış miktarları incelendiğinde, en az kaydedilmiş yıllık yağışın Korkuteli istasyonunda (188,2 mm), en fazla yıllık yağışın ise İbradı (2681,6 mm) istasyonunda ölçüldüğü bulunmuştur. Yıllık ortalama yağış miktarları incelendiğinde, en az yıllık ortalama Korkuteli istasyonunda 382,6 mm olarak ve en çok yıllık ortalama İbradı istasyonunda 1769,1 mm olarak gözlenmiştir. Minimum ve maksimum yıllık yağış değerleri arasındaki farklar incelendiğinde, en az yağış farkı 516,6 mm ile Kumluca istasyonunda, en fazla yağış farkı ise 1691,4 mm ile İbradı istasyonunda hesaplanmıştır. İstasyonların yıllık yağış ortalamalarına göre minimum ve maksimum yıllık yağış farklarının oranı incelendiğinde, en az değişimin %69,7 ile Kumluca istasyonunda, en çok değişimin ise %165,4 ile Korkuteli istasyonunda olduğu hesaplanmıştır. Buna karşın, Antalya bölgesindeki yağış dizilerine ait en küçük standart sapma 107,8 mm ile Korkuteli istasyonunda, en büyük standart sapma ise 492,4 mm ile İbradı istasyonunda olduğu belirlenmiştir. Yağış dizilerindeki çarpıklık katsayıları incelendiğinde, Antalya Bölge ve Kumluca istasyonları (-0.01) hariç diğer istasyonların yıllık yağış dağılımlarının sağa doğru çarpık oldukları (en büyük çarpıklık 1,26 ile Korkuteli istasyonu) belirlenmiştir. Uzun süreli kaydı bulunan bu 9 istasyonun son 14 yılına ait yağış ortalamaları ile uzun süreli yağış ortalamaları kıyaslandığında, Alanya istasyonundaki yağış ortalamasında %4,9 'luk bir artışın (46 mm), diğer istasyonlarda ise bir azalmanın (en az Antalya Havaalanında %11,3, 120 mm) olduğu hesaplanmıştır.

Bölgedeki yağış gözlem istasyonlarına ait olasılık dağılım fonksiyonları, Kolmogorov-Smirnov (K-S) uygunluk testine göre belirlenmiş ve çeşitli yinelenme sürelerine ait yağışların büyüklükleri tablo halinde verilmiştir. Çeşitli tekerrür sürelerindeki yağış miktarlarının en fazla değiştiği yer Finike istasyonu olduğu, en az değiştiği yer ise Elmalı istasyonudur. Yağış kaydı uzun süreli olan 9 istasyona ait yıllık yağışlar son 14 yıl (2005-2018) için de göz önüne alınmış ve bu süre için yeniden olasılık dağılım fonksiyonları elde edilmiştir. Buna göre, yağış miktarlarının en fazla değiştiği yer Manavgat istasyonu olduğu, en az değiştiği yer ise Elmalı istasyonu olmuştur. Bölgedeki toplam 9 istasyonun son 14 yıldaki yağışları ele alındığında, uzun yıllara göre yıllık yağışlarda en fazla artış eğilimi Finike istasyonunda iken, son 14 yılda en az artış eğiliminin yine Finike istasyonunda olduğu hesaplanmıştır.

Dolayısıyla, bu istasyonların uzun yıllar ile son 14 yıldaki olasılık dağılım fonksiyonları (Gazipaşa ve Kaş istasyonları hariç) değişmiştir. Bölgedeki tüm 14 istasyondaki yağışlar incelendiğinde ise, çeşitli yinelenme sürelerinde de İbradı istasyonunda en yüksek yağışın oluşacağı, İbradı ile birlikte Aksu/Boztepe TİGEM istasyonu ve Kemer istasyonlarında ise yağış artış oranlarının ise yüksek olduğu hesaplanmıştır.

Tüm istasyonlar göz önüne alındığında Finike, Manavgat, İbradı, Aksu/Boztepe TİGEM ve Kemer istasyonlarındaki yağış miktarlarındaki kritik değişimler göze çarpmıştır. Bu bağlamda, özellikle bu istasyonlarda beklenecek ekstrem yağışların gerek tarımsal faaliyetler, ulaşım ve turizm, gerekse planlanacak su yapıları, şehir drenaj şebekeleri ile çeşitli yol ve sanat yapıları gibi tesislerde oluşturacağı etkiler olumsuz manada önemli olabilecektir. Bu sebeple, yağışlar incelenirken hem uzun yıllar boyunca ve hem de son yıllarda kaydedilmiş yağışların ayrı ayrı incelenmesi büyük önem taşımaktadır.

### 6. Kaynaklar

- Albostan, A., & Onoz, B. (2015). Wavelet application approach on the chaotic analysis of daily river discharge. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 30(1), 39-48.
- Anli, A. S., Apaydin, H., & Öztürk, F. (2009). Regional frequency analysis of the annual maximum precipitation observed in Trabzon Province. Tarım Bilimleri Dergisi, 15(3), 240-248.
- ANLI, A. S. Y., & ÖZTÜRK, F. T. D. Ankara'da meydana gelen yağmurların L moment yöntemleri ile bölgesel frekans analizi (Doctoral dissertation, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı).
- AŞIKOĞLU, Ö. L. (2017). Frekans analizinde alternatif bir parametre tahmin metodu. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5(4), 445-459.
- Bayazit, M., & Oğuz, B. (2005). Mühendisler İçin İstatistik, Birsen Yayınevi. İstanbul, 198ss.
- Benjamin, J. R., & Cornell, C. A. Probability, Statistics, and Decision for Civil Engineers. McGraw-Hill, New York, 1970.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). Applied Hydrology McGraw-Hill Book Company. New York.
- Okman, C. (1994). Hidroloji.
- SAPLIOĞLU, K., & ÇİMEN, M. (2010). YAPAY SINIR AĞLARINI KULLANARAK GÜNLÜK YAĞIŞ MİKTARININ TAHMİNİ. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 1(1), 14-21.
- Sarı, C., & Koçak, İ. (2010). Antalya'nın Genel Coğrafya Özellikleri. Atılğan AK, editör. Dünden Bugüne Antalya. Antalya: TC Antalya Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü Yayınları, 45-64.
- Şen, Z. (2002). İstatistik veri işleme yöntemleri:(hidroloji ve meteoroloji). Su Vakfı Yayınları.
- Yavuz, K. (2018). Türkiye'deki Standart Süreli Yağışlar İçin Şiddet-Süre-Tekerrür Periyodu İlişkisinin Uygun Olasılık Dağılım Fonksiyonunun Belirlenmesi Ve Formülüle Edilmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 58s, Kayseri.



Yazışma yazarı:

Melis Özge PINAR,

melisozge.pinar@tarimorman.gov.tr

Referans:

Pınar, M.Ö., Şahin, S., Madenoğlu S., Erpul G. (2020), Derinöz Baraj Havzasında Şiddetli Erozyon Alanlarının Belirlenmesi ve Rezervuar Sediment Yükünün Hesaplanması, Su Kaynakları, 5, (2) 24–33

Makale Gönderimi : 26 AĞUSTOS 2020

Online Kabul : 25 EYLÜL 2020

Online Basım : 25 EYLÜL 2020

## Derinöz Baraj Havzasında Şiddetli Erozyon Alanlarının Belirlenmesi ve Rezervuar Sediment Yükünün Hesaplanması

Melis Özge PINAR<sup>1</sup>, Suat ŞAHİN<sup>2</sup> Sevinç MADENOĞLU<sup>3</sup> Günay ERPUL<sup>4</sup><sup>1</sup> T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, TAGEM-GKTAEM Eskişehir, Türkiye. ORCID: 0000-0002-4348-5541<sup>2</sup> T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Devlet Su İşleri Gen. Müd. Ankara, Türkiye. ORCID:0000-0002-9620-8265<sup>3</sup> T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, TAGEM Ankara, Türkiye. ORCID:0000-0002-5012-2773<sup>4</sup> Ankara Üniversitesi Zir. Fakültesi Top. Bil. ve Bit. Bes. A.B.D Ankara, Türkiye. ORCID:0000-0002-3797-6969

**Özet** Barajlardaki sediment birikimi, baraj kullanım ömrünün yani sedimentasyon ile barajların ekonomik sürdürülebilirliğinin azalma nedenidir. Dünya'nın birçok barajında sediment birikme eğilimi görüldüğünden, barajları azami süre ile kullanmak amacıyla rezervuara gelen sediment miktarı tahmin edilerek, baraj rezervuarı yeterli bir hacimde ve belirlenen ekonomik bir ömrü olacak şekilde tasarlanmaktadır. Dolayısıyla, hem sediment mühendislik hesaplamalarının güncel, test edilmiş model ve yöntemlerle yapılması, hem de baraj su toplama havzasında sürdürülebilir arazi ve toprak yönetiminin uygun teknolojik ama hesaplı yaklaşımlarının uygulanması ihtiyacı doğmuştur. Türkiye'de ulusal ölçekte YETKE (Yenilenmiş Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği) teknolojisi kullanımıyla gerçekleştirilen çalışmalardan biri de bu çalışma olup Samsun İl sınırları içerisinde bulunan Derinöz Baraj Havzası'nda gerçekleştirilmiştir. Çalışma, 4.816,5 ha'lık havza alanı içerisinde, tarım, orman, mera ve diğer alanlar olmak üzere dört temel arazi kullanım türleri altında değerlendirilmiştir. İlk aşamada havzanın potansiyel ve mevcut toprak kayıpları Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) uyumlu YETKE yöntemiyle belirlenmiştir. Model faktör, alt-faktörlerin hesaplamalarında 1/25000'lik Sayısal Yükseklik Modelinden (SYM) yararlanılmıştır. Havzada 205,91 ha tarım, 2218,07 ha mera 2331,06 ha orman ve 61,42 ha diğer arazi kullanım türleri bulunmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, çok şiddetli erozyona maruz kalan alanlar tarım (38 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup>) ve mera (70,6 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup>) arazi kullanım türlerine aittir. İkinci aşamada, Sediment İletim Oranı (SiO) dikkate alınarak yapılan değerlendirmede ise sırasıyla tarım ve mera arazilerinden 27 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> ve 31,5 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> sediment miktarının havza akarsu deseni tarafından rezervuara taşındığı belirlenmiştir. Dolayısıyla, öncelikle tarım ve mera arazilerinde için gerekli önlemlerin alınıp bu tür toplama havzası arazilerinde, Sürdürülebilir Arazi Yönetimi (SAY), Sürdürülebilir toprak Yönetimi (STY) ve Ekonomik Sürdürülebilir Havza Yönetimi' nin uygulanması gerekmektedir. Bu da, koruma yöntemleriyle hem baraj ekonomik ömür kayıplarının karşılaştırmalı olarak analiz edilmesi hem de baraj havzalarının ekonomik analizlerinin yapılması gibi ciddi süreçleri beraberinde getirmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Erozyon, Sediment, YETKE, Sürdürülebilir Havza Yönetimi, Baraj Güvenliği

## Determining Severe Erosion Affected Areas and Estimation Reservoir Sediment Load in Derinöz Dam Basin

**Abstract** Reservoir sedimentation decreases economic sustainability of dams affecting their lifetime. As sediment accumulation occurs in many dams in the world, they are designed by estimating sedimentation rates to provide sufficient volume and to get a specified economic design time. Hence, not only doing calculations of sediment engineering by tested models and methods, but also implementing sustainable land and soil management by appropriate technologies and economic approaches at the dam basins are crucial. This research is conducted with the use of RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) technology in Derinöz Dam Basin in Samsun Province to estimate soil loss and transport. Study area of 4.816,5 ha was evaluated within four different land uses of agriculture, forest, grassland and others. At the first step, potential and actual soil losses of the watershed were quantified by the RUSLE compatible with GIS and RS. According to the results, the study areas exposed to very severe erosion reside in the land uses of agriculture (38 t ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>) and grasslands (70,6 t ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>). At the later step, integrated with the RUSLE was Sediment Delivery Ratio (SDR) to determine the amount of sediment transported from agricultural and grassland areas to the reservoir by river system pattern, which turned out to be 31,5 t ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> and 27 t ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>, respectively. Thus, depending upon the comparison of dam fill time with its economic life span, economically sustainable watershed management

should be implemented in such watershed areas by taking measures through sustainable land/soil management for agricultural and grassland areas initially. This study concludes that dam safety from the perspective of economics necessitates a feasibility analysis be done for attaining economical counterbalance of both loss of dam life and the cost of fulfilling mitigation measures in the watershed.

**Keywords:** Erosion, Sediment, RUSLE, Sustainable Watershed Management, Dam safety.

## 1. Giriş

Nehirler, tarımı, kamu ihtiyacını, güç üretimini, ulaşım ve rekreasyonu destekleyecek su gereksinimini sağlayarak insan hayatında vazgeçilmez bir rol oynamaktadırlar. İnsanların taleplerini karşılayabilmek için Dünya'nın birçok yerinde nehirleri barajlarla kontrol altında tutulmaktadır. Bu tür yapıların çevreye olan negatif etkilerinden biri de nehir sistemlerinin hidrolik yapılarının değişmesi ve bundan dolayı da oluşan sediment birikimidir (Wang vd., 2018). Baraj rezervuarlarında sediment birikimi, rezervuara taşınan sedimentin aşınması, sürüklenmesi, taşınması, birikmesi ve sıkışması işlemidir. Bu tip yapıların olmadığı havzalarda olgun, dengeli nehirlerde birikme süreçleri de daha dengeli bir halde ilerlemektedir. Baraj inşaatı, akış hızını azaltmakta, sediment ise başlatmakta ve hızlandırmaktadır. Bu durum ise ince materyalin birikmesi ile sonuçlanmaktadır (Schellenberg vd., 2017).

Dünyadaki rezervuarlarda depolanan 6800 km<sup>3</sup> suyun yaklaşık olarak toplam hacmin yıllık % 0,5-1,0'i sedimantasyon sonucunda kaybolmaktadır (Morris vd., 2008). Rezervuar hacim kaybı, üretimde esnekliği azaltmaktadır. Bunun yanı sıra, bulanık su oluşumuna neden olan sedimantasyon yüzünden belirli bir alan içerisinde öfotik bölge oluşmasına sebep olarak su tedariki açısından güvenilirliği etkilemektedir.

Şiddetli toprak kaybının olduğu alanlar sürdürülebilir toprak yönetimi ve su kaynaklarının korunumu açısından tehlike arz etmektedir (García-Orenes vd., 2009; Cerdà vd. 2009, Collins vd., 2001, Mukundan vd., 2010). İklim değişikliği ve yoğun insan aktivitesi geçtiğimiz birkaç on yıl süresince toprak kayıplarının artmasına sebep olduğu da belirtilmiştir (Guzman, 2013). Bu yüzden, geçerli ve güvenilir yöntemlerle toprak kaybı oranı ve sediment miktarını tahmin etmek su erozyonu etmenleri ile birinci dereceden mücadelede süreçlerin anlaşılabilmesi açısından önemli olmuştur. Böylelikle, kullanışlı kaynaklar ile arazi kullanım ve koruma yöntemleri desteklenmiş olur (Zhao vd., 2016).

Yanlış arazi kullanımdan dolayı oluşan toprak kayıpları, sediment yükünü arttırması ve insan etkilerinin daha önce bozulmamış alanlara yayılması sediment sorunlarıyla ilgili en yaygın söylemlerdendir (Walling, 1999). İnsan etkisi sebebiyle yanlış arazi kullanım ve arazi yönetimi, mera ve ormanların bozulması tarımsal faaliyetlerin uygulanacağı alanlara dönüştürülmesi ve iklim değişikliğinin ise bu sorunların daha da büyümesine neden olacağı kaçınılmaz olduğu sürekli vurgulanmaktadır. (Xiong vd. 2013; Borrelli vd., 2017) Sediment verimini en aza indiren tarım uygulamalarının tercih edilmesi sürdürülebilir toprak yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır. Yine toprak kayıplarının en aza indirebilmek adına zaman yönetiminin planlanması, örneğin arazi kullanım türünün orman olduğu alanlarda doğru zamanda kereste hasatlarının yapılması, erozyonun etkilerini azaltıcı yönde olmaktadır (McGraw-Hill, 1998). Yapılan çok sayıda çalışmaya göre, nehirlerdeki sediment yükü, rezervuarların yapımı ile birlikte arazi kullanım türlerindeki değişiklikler, çiftlik barajları, taşkın kontrol göletleri, çevirme kanalları, kontrol bentleri ve diğer su yapıları ile nehirlerdeki sediment yükünü önemli ölçüde azalttığı belirtilmiştir. (Syvitski vd., 2005; Kondolf vd., 2014; Yue vd., 2014; Zhao vd., 2014). Ülkemizde de ETKE/YETKE teknolojisinin kullanıldığı, özellikle arazi bozulma probleminin önemli derecede sorun olduğu yarı-kurak alanlarda toprak kayıplarının ve toprak erozyon duyarlılıklarının belirlendiği (Madenoglu vd.,2020; Saygın vd., 2011; Pınar, 2011; Pınar ve Erpul, 2012), YETKE/CBS-UA teknolojisi ile akarsuların taşıdığı sediment oranlarının belirlendiği (Özcan vd., 2007; Yılman, 2009; Saygın vd., 2010-2013) ve arazi kullanımındaki değişikliklerin toprak erozyonu üzerine etkilerinin (Başaran vd., 2007-2008; Bayramın vd., 2006-2008) incelendiği çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların yanı sıra, Tarım ve Orman Bakanlığı bünyesinde, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü tarafından erozyonun modellenmesi ve izlenmesi ile ilgili çalışmalar da gerçekleştirilmektedir (Erpul vd., 2018; Erpul vd., 2016; ÇEM, 2016; Akgöz vd., 2020; Akgöz vd., 2020; İnce vd., 2019). Bu yüzden, tarımsal uygulamalardan ve arazi kullanım planlamasından kaynaklanan değişimlerin modellenerek toprak erozyonunun arazi üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi sürdürülebilir toprak yönetimi için vazgeçilmezdir.

Bu çalışmada, Derinöz Baraj Havzası içerisinde meydana gelen toprak kayıplarının ve sediment iletim oranının belirlenmesinde Dünya'daki en güvenilir modellerden olan ETKE/YETKE metodolojisi (Wischmeier ve Smith, 1978; Renard vd., 1997) ve SIO (USDA-SCS, 1972) eşitliği kullanılmıştır.

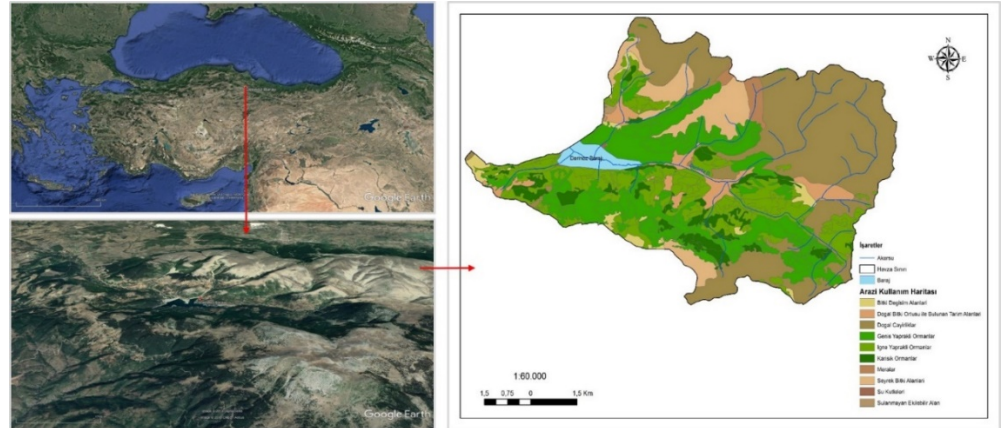
## 2. Veri ve Çalışma alanı

### 2.1 Çalışma alanı

Çalışma alanı, Samsun İl sınırları içerisinde bulunan Derinöz Baraj Havzası'dır. Derinöz Barajı 1925 m yükseklikte Akdağ eteklerinden doğan Tersakan Çayı'nın önemli kollarından biri olan Derinöz çayı üzerine bulunmaktadır. Yıllık ortalama yağışı 559 mm'dir. Kaya gövde dolgu tipi olan barajın gövde hacmi 3.250.000 m<sup>3</sup>, normal su kotunda göl hacmi 18,9 ha olan baraj, Samsun-Lâdik-Derinöz Ovası Sulama projesi kapsamında 2002 yılında faaliyete geçmiştir ve bu baraj ile 6500 ha alanın sulama ihtiyacı karşılanmaktadır (Anonim, 2015). Derinöz Barajı Drenaj alanı 4816,5 ha' dır. Göl yüzey alanı ise 100 ha' dır. Yapılan hesaplamalar drenaj alanından baraj göl yüzeyi çıkartılarak elde edilmiştir. Yüksekliği ise 77 m'dir (talvegden itibaren). Derinöz baraj havzasına ait jeomorfolojik özellikleri Tablo 1'de; arazi kullanım haritası Şekil 1' de ve arazi kullanım türlerine ait CORINE kodları Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 1. Derinöz Baraj Havzası jeomorfolojik özellikleri

Hipseometrik integral değeri	0,434
Drenaj yoğunluğu (km/km <sup>2</sup> )	0,910
Tekstür oranı	0,610
Uzama oranı	0,739
Dairesel oran	0,441
Ana suyolu uzunluğu (km)	8,008
Ana suyolu eğimi (%)	8,190
Birleşik topografik indeks (Compound Topographic Index, CTI)	6,736
Isı yükü indeksi (Heat Load Index, HLI)	0,971
Yüzey alanı/ Hacim (Surface area/Volume, SRR)	0,496



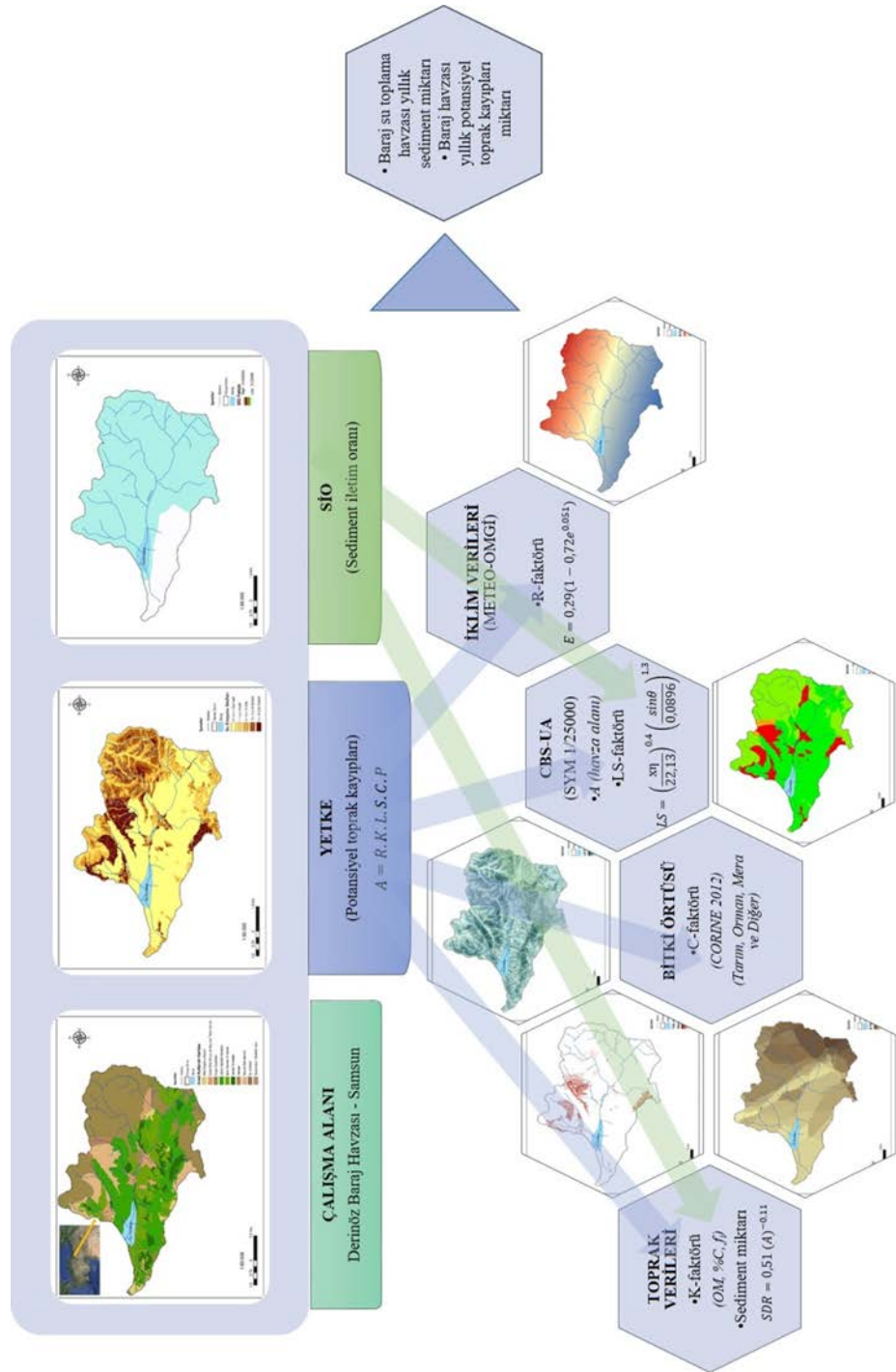
Şekil 1. Derinöz Baraj Havzası yer belirteci (Google Earth, 2018) ve Arazi kullanım haritası (CORINE 2012).

Tablo 2. Arazi kullanıma ait CORINE kodları ve alansal dağılımı

CORINE kodu	Açıklama	Alan (ha)
231	Meralar	62,90
243	Doğal bitki örtüsü ile bulunan tarım alanları	198,97
311	Geniş yapraklı ormanlar	1179,09
312	İğne yapraklı ormanlar	874,01
313	Karışık ormanlar	274,47
321	Doğal çayırlıklar	1651,98
324	Bitki değişim alanları	100,94
333	Seyrek bitki alanları	365,68
512	Su kütleleri	100,00
2111	Sulanmayan alanlar	7,95
<b>Toplam</b>		<b>4815,97</b>

## 3. Yöntem

Potansiyel toprak kayıpları ve Sediment iletim oranı hesaplama parametreleri diyagramında (Şekil 2), model faktör ve alt-faktör hesaplamaları ve bu hesaplamalarda kullanılan parametreler verilmiştir. Çalışma alanının toprak kayıplarının belirlenmesinde Coğrafi Bilgi Sistemlerinden (CBS) yararlanılmıştır. YETKE modeline göre tahmin edilen toprak kayıpları (A) ile sediment iletim oranının (SİO) hesaplanmasına ait denklemlerin açıklamaları aşağıda detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 2. Potansiyel toprak kayıpları (YETKE) ve Sediment iletim oranı (SİO) hesaplama parametreleri diyagramı.

Burada A, yıllık toprak kaybı ( $\text{ton ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ ); R, yağış aşındırma enerjisi ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1} \times \text{mm h}^{-1}$ ); K, toprağın erozyon duyarlılığı faktörü ( $\text{ton ha}^{-1} \times \text{ha MJ}^{-1} \times \text{h mm}^{-1}$ ), L, eğim uzunluğu; S, eğim dikliği; C, bitkisel örtü ve ürün yönetimi ve P, toprak koruma önlemleri faktörlerini oluşturmaktadırlar (Wischmeier ve Smith, 1978; Renard vd., 1997).

R-faktörü, yağışın enerjisi (E) ile 30 dakikalık en yüksek şiddetinin ( $I_{30}$ ) çarpımına eşittir. 329 dakikalık Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyon (OMGİ) verileri kullanılmıştır.

K-faktörü, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü (ÇEM) bünyesinde oluşturulan ve Toprak Bilgi Sistemi'nde yer alan verilerden 0-30 cm' de alınan 23.000 profil verisi kullanılmıştır. Torri vd. (1997, 2002) tarafından önerilen yöntemle göre toprakların organik madde içerikleri ve kil kapsamlarına göre toprakların erozyon duyarlılıkları tahmin edilmektedir (Eşitlik 1 ve 2).

$$K_T = 0,0293(0,65 - D_G + D_G^2) \times \exp \left[ -0,0021 \frac{OM}{C} - 0,00037 \left( \frac{OM}{C} \right)^2 - 4,02C + 1,72 C^2 \right] \quad (1)$$

Bu eşitlikte, KT, toprak erozyon duyarlılığı; DG, ortalama geometrik tanecik çapıdır. OM, organik madde ve C: Kil %'si ve  $f_i$ : temel tanecik büyüklük fraksiyonlarının %'sidir (Shirazi ve Boersma, 1984).

$$D_G = \sum f_i \log_{10} (\sqrt{d_i d_{i-1}}) \quad (2)$$

LS-faktörü, eğim dikliğinin ve uzunluğunun bir bağıntısıdır. Bu çalışmada, 1/25.000'lik Sayısal Yükselti Modeli (SYM) kullanılmıştır.

C-faktörü, Orman Genel Müdürlüğü tarafından üretilen orman meşçere haritaları ve CORINE 2012'ye göre belirlenmiş dört farklı arazi kullanım sınıfından (tarım, orman, mera ve diğer) elde edilen veri setleri birlikte kullanımı ile elde edilmiştir. Elde edilen poligonlara C değerleri atanmıştır (Panagos vd., 2015).

P-faktörü, erozyon koruma önlemlerinin etkisini ifade etmektedir. Erozyon koruması olmayan tüm uygulamalar 1 değerini almaktadır. Çalışma alanı için bu değer 1 olarak alınmıştır.

Sediment İletim Oranı (SİO) hesaplamalarında, Sediment Gözlem İstasyonu verileri ve RUSLE eşitliği sonuçları kullanılarak havza benzerlik testi yapılmıştır ve USDA-SCS (United States Department of Agriculture – Soil Conservation Service, 1972) eşitliği kullanılmıştır.

Baraj rezervuarına gelen toplam sediment miktarı ise Eşitlik 3 ve 4'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$Q_T = \left\{ \sum_{i=1}^n ESA_i \times A_i \right\} \times SİO \quad (3)$$

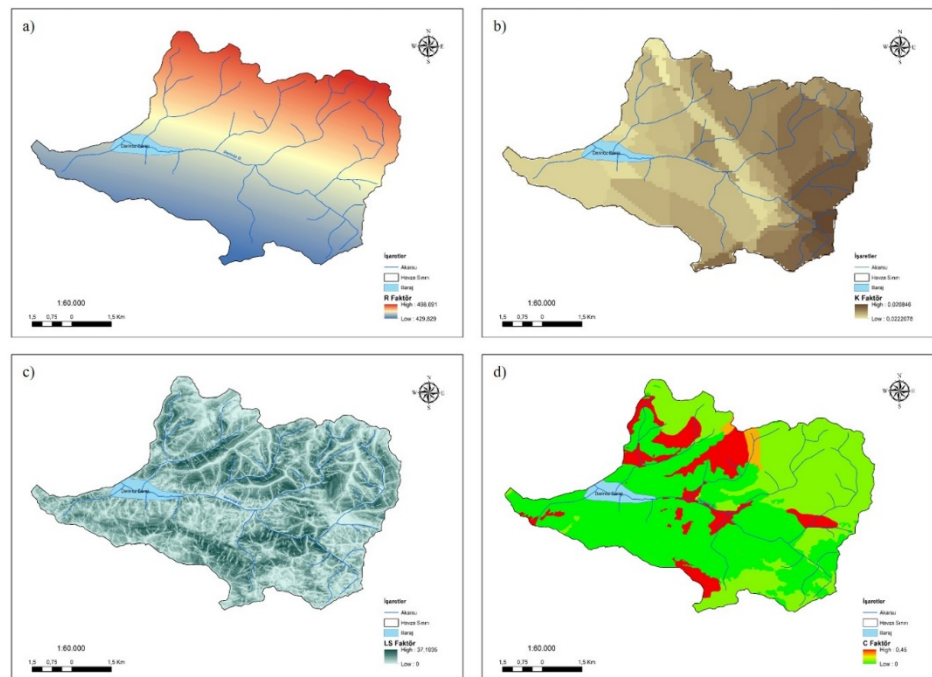
$$Q_T = \left\{ \sum_{i=1}^n ESA_i \times (R.K.L.S.C.P)_i \right\} \times SİO \quad (4)$$

QT, Baraj rezervuarına ulaşan toplam sediment (ton yıl<sup>-1</sup>); ESA, Erozyon Sınıfı Alanı (ha); Ai [(R.K.L.S.C.P)i], Toprak kaybı (ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup>), SİO, sediment iletim oranıdır (%).

## 4. Bulgular ve Tartışma

### 4.1 Potansiyel toprak kaybı (YETKE)

Çalışmada, toprak kayıplarının hesaplanmasında deneysel bir erozyon tahmin yöntemi olan ETKE/YETKE teknolojisi (Wischmeier ve Smith, 1978; Renard vd., 1997) kullanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, Derinöz Baraj Havzası'nda R-faktörü, 498,691 ve 429,829 MJ ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> × mm h<sup>-1</sup> arasında; K-faktörü, 0,022 ve 0,0268 ton ha<sup>-1</sup> × ha MJ<sup>-1</sup> × h mm<sup>-1</sup> arasında; birimsiz olan LS-faktörü, 0 ve 37,194 arasında ve C-faktörü ise, 0 ve 0,45 arasında değişim göstermektedir. P faktörü hiçbir toprak koruma önleminin alınmadığı koşul olarak 1 değeri alınmıştır. YETKE yöntemine göre model faktörlerine ait haritalar Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. YETKE a) R-faktörü b) K-faktörü c) LS-faktörü ve d) C-faktörü haritaları.

Derinöz Barajı drenaj alanında yılda 50.970,4 ton toprak su erozyonu sonucu yer değiştirmektedir. Bu da birim alanda 10,8 ton yıl<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> toprağın suyun aşındırma gücü etkisi ile yer değiştirdiği anlamına

gelmektedir. Havzada, tahmin edilen toprak kayıpları miktarı ve alansal dağılımları Tablo 3'deki verilmiştir.

Tablo 3. Derinöz Baraj Havzası alansal toprak kaybı miktarı

Derinöz	Sınıflar	Hücre sayısı (10m×10m)	Alan (ha)	Toprak Kaybı (ton yıl <sup>-1</sup> )
1	1	260.290	2.602,9	2.602,9
2	2	11.349	113,5	227,0
3	4	27.448	274,5	1.097,90
4	8	52.566	525,7	4.205,30
5	16	62.775	627,8	10.044,0
6	30	29.875	298,8	8.962,5
7	60	15.015	150,2	9.009,0
8	120	12.089	120,9	14.506,8
9	150	210	2,1	315,0
TOPLAM			4.716,2	50.970,40

Çalışma alanının, % 55,2'sinde çok hafif, % 11,3'ünde hafif, % 12,4'ünde orta, % 12,4'ünde şiddetli ve % 8,7'sinde çok şiddetli erozyon görülmektedir. Havzada erozyon miktarının 20 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> in üzerinde olan alanların 411,14 ha olduğu belirlenmiştir (Tablo 4). Çok şiddetli erozyona maruz kalan alanları 32,8 ha tarım alanı 375,6 ha mera ve 2,74 ha orman ve diğer alanlar oluşturmaktadır. Baraj ömrünün uzatabilmek ve ölü hacmin geç dolması sağlamak için toprak kayıplarının tarım ve mera alanlarında azaltmak sürdürülebilir havza yönetimi için çok daha elverişli ve pratik olmaktadır.

Tablo 4. Derinöz Baraj Havzası su erozyonu sınıflarına göre alan dağılımı ve oranları

Erozyon sınıfları	Çok Hafif	Hafif	Orta	Şiddetli	Çok Şiddetli	TOPLAM
Toprak kaybı (ton ha <sup>-1</sup> yıl <sup>-1</sup> )	0-1	1-5	5-10	10-20	≥ 20	
Alan (ha)	2602,90	531,62	583,55	586,96	411,14	4.716,20
Alan %	55,2	11,3	12,4	12,4	8,7	100,00

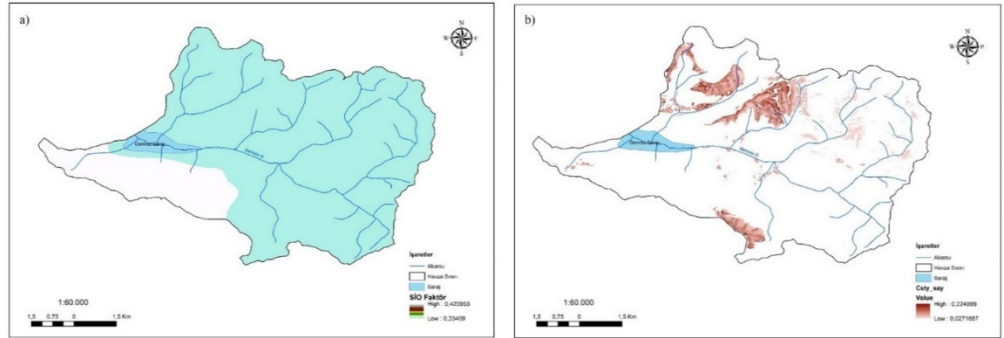
## 4.2 Sediment iletim oranı (SİO)

Havzadan hesaplanan sediment iletim oranı en az 0,334 ve en fazla 0,421 olarak bulunmuştur ve SİO faktörüne ait harita Şekil 4-a'da ve akarsular tarafından taşınan toprak kaybı haritası Şekil 4-b' de verilmiştir. Ülkemizde barajlar minimum 50 yıllık işletme kıstaslarına göre planlanmakta ve projelendirilmektedir. Dolayısıyla mühendislik hesaplarının baraj ekonomik ömrü için önemi çok büyüktür. Özellikle barajlarda ölü hacim olarak nitelendirilen, üzerine inşa edilen akarsu tarafından taşınan sediment miktarının doğru tahmin edilmesi ve hesaplanması sürdürülebilir toprak yönetimi ve Ekonomik Sürdürülebilir Havza Yönetimi açısından baraj ömrü noktasında önem arz etmektedir. Çalışma alanında yapılan hesaplamalarda, Sediment İletim Oranı dikkate alınarak yapılan değerlendirmede yılda 18.527,4 ton (14.474,53 m<sup>3</sup>) toprağın akarsular tarafından taşındığı hesaplanmıştır. Bu da, birim alanda 4 ton yıl<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> toprağın akarsular tarafından taşınması anlamına gelmektedir. Akarsularla taşınan sediment miktarının alansal dağılımı Tablo 5'de verilmiştir. 50 yıllık bir planlamaya göre en az 926.370 ton' luk ölü bir hacme ihtiyaç duyulmaktadır (18.527,4 ton × 50 yıl). DSİ Genel Müdürlüğü tarafından 2013 yılında çıkartılan Türkiye Akarsularında Süspansediment Gözlemleri (2006-2012) yıllığında Derinöz barajının bulunduğu Yeşilirmak Havzasında gerçekleştirilen ölçümlere göre yapılan hesaplamalar neticesinde, bu havza için uzun yıllar hacim ağırlığı ortalaması 1,28 ton/m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir. Buna göre, Derinöz Barajı için 723.727 m<sup>3</sup> ölü hacim gerekmektedir. Ancak, DSİ Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan Lâdik-Derinöz Projesi Revize Planlama (II) Raporu'na (DSİ, 2005) göre belirlenen Derinöz Barajı ölü hacmi 0,5 hm<sup>3</sup> tür. Yani, akarsular tarafından taşınan sediment miktarı ile 50 yıl olarak belirlenen baraj ekonomik ömrü 35 yılda tamamlanacağı görülmektedir (500.000 m<sup>3</sup>/14.474,53 m<sup>3</sup>).



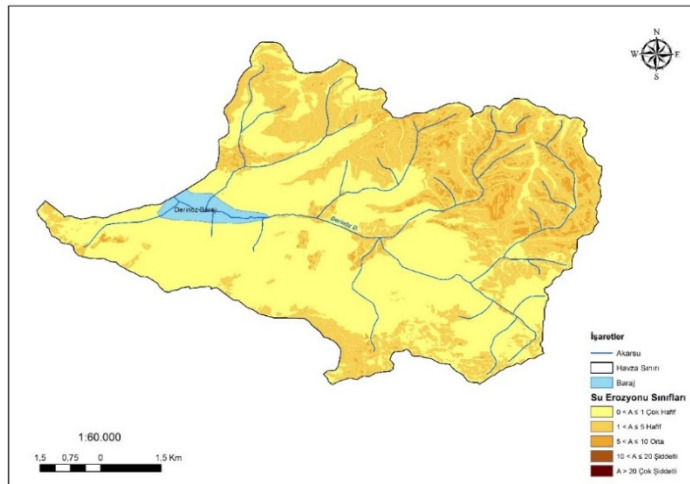
Tablo 5. Derinöz Baraj Havzası erozyon dağılımından akarsularla taşınan toplam sediment miktarının hesaplanması ve alansal dağılımı

Derinöz	Sınıflar	Hücre sayısı (10m×10m)	Alan (ha)	Toprak Kaybı (ton yıl <sup>-1</sup> )
1	1	284.268	2.842,7	2.842,7
2	2	41.957	419,6	839,1
3	4	61.940	618,9	2.475,6
4	8	50.200	502,0	4.016,0
5	16	15.940	159,4	2.550,4
6	30	14.529	145,3	4.358,7
7	51	2.833	28,3	1.444,8
TOPLAM			4.716,2	18.527,4



Şekil 4 a) Sediment İletim Oranı (SİO) faktörü haritası ve b) Akarsular tarafından taşınan toprak kayıpları haritası

Diğer yandan, erozyon şiddetinin en fazla olduğu (20 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> üzeri) alanların tarım ve mera alanları olduğu görülmektedir. Baraj drenaj alanından 20 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> üzerinde toprağın harekete geçtiği tarım alanlarında 1.248,7 ton yıl<sup>-1</sup>, birim alandan ise 38 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> toprak su erozyonu sonucu harekete geçmektedir. Bu oran, su erozyonu sonucu akarsular tarafından taşınan oran ise 885,3 ton yıl<sup>-1</sup> ve birim alandan ise 27 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup>'dir. Çok şiddetli erozyona (20 ton yıl<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> üzeri) maruz kalan mera alanlarından ise 26.508,3 ton yıl<sup>-1</sup> toprak, su erozyonu sonucu birim alandan ise 70,6 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> toprak yer değiştirmektedir. Bu alanlardan akarsular tarafından taşınan toprak miktarı 11.827,2 ton yıl<sup>-1</sup> ve birim alandan ise 31,5 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5. Tarım ve mera alanlarında yapılan iyileştirmeler sonrası akarsular tarafından taşınan toprak kayıpları haritası

Yapılan hesaplamalar sonucunda, tarım ve mera alanlarındaki çok şiddetli erozyon sınıfına giren (20 ton yıl<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> üzeri) toprak kayıplarının oranı azaltıldığında 50 yıllık bir plan sonucu gerekli olan 723.727 m<sup>3</sup> (926.370 ton) ölü hacim çok daha uzun bir sürede dolarak baraj ömrünün uzaması

sağlanabilmektedir (Şekil 5). Sediment yönetimi yapabilmek için, üst akım sediment kaynaklarını kontrol edebilmek önemlidir (Fox vd., 2016). Akım toplanması, LS-faktörü hesaplamaları ile oyuntu erozyonunu belirli bir oranda YETKE hesaplarına yansıtıldığı düşünülmektedir. Oyuntu erozyonu gözlemlenirse bile oyuntu erozyonundan kaynaklı sedimentin miktarı ve bunun taşınması üzerine etkisi göz ardı edilmemelidir. LS-Faktörüne ait eşitlik aşağıdaki gibidir (Eş. 5).

$$LS = \left( \frac{x\eta}{22,13} \right)^{0,4} \left( \frac{\sin \theta}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (5)$$

Eşitlikte, L, eğim uzunluğu ve S, eğim dikliği faktörleridir. x, SYM' den CBS-toplanma algoritması kullanılarak elde edilmiş akım toplanma değeri (Lee, 2004); η, hücre büyüklüğü ve θ eğim dikliği açısıdır. Akış yolu uzunluğu arttıkça LS değeri de yükselmektedir. Böylelikle kanal erozyonu sisteme dâhil edilmiş olmaktadır.

Toprak kayıplarını önleyebilmek adına yapılan birçok koruma yöntemleri bulunmaktadır ki bu koruma yöntemleri P-faktörü ile ifade edilmektedir. Kontrol bentleri gibi o bölgedeki iri taşların oluşturduğu basit yapılar yalnızca akış hızını hafifletmemekte aynı zamanda oyuntu erozyonunu kontrol edebilmek ve yüksek eğimli nehri stabilize etmek için faydalı olmaktadır (Lenzi, 2002). Diğer yandan, özellikle kıvrımlı nehirlerin/akarsuların iç kesimlerinde sedimentasyon bölgelerinin oluşması, kum barlarının karşısına denk gelen dış yakalarda ise erozyonun meydana gelmesi, yine akış içerisindeki sediment oranını etkileyecektir. Bu yüzden, eğim stabilizasyon yöntemleri, erozyona dirençli bitki örtüsü, rip-rap ve eğim dikliğinin azaltılması gibi yöntemler nehir kıyılarının da erozyondan korunmasını sağlayacaktır. Böylelikle, bu tür koruma yöntemleri uygulandığında taşınan toprak miktarı azalacağı için barajların da ömrü planlanan süreden daha fazla kullanılabilir ve sediment yönetimi gerçekleştirilmiş olacaktır.

### 5. Sonuç

Bu çalışmanın amacı, Derinöz baraj havzasında şiddetli erozyon alanlarının belirlenmesi ve rezervuar sediment yükünün hesaplanmasıdır. Hesaplama sonuçlarına göre, toprak ve su koruma önlemleri olmaksızın toprak kayıplarının en fazla olduğu arazi kullanım türlerinin tarım alanları ve meralar olduğu görülmüştür. Özellikle havza içerisinde birim alanda yer değiştiren toprak miktarı tarım alanlarında daha fazlaysa, akarsular ile birim alandan taşınan topraklar, mera alanlarına nazaran daha fazla olmuştur. Daha önce hesaplanmış ve elde edilmiş baraj verilerine göre 0,5 hm<sup>3</sup>lük ölü hacim planlaması ile baraj ekonomik ömrü 50 yılda tamamlanacağı öngörüldükçe YETKE/SİO teknolojisinin kullanımıyla gerçekleştirilen hesaplamalarda baraj ekonomik ömrünün akarsularla taşınan sediment miktarı (14.474,53 m<sup>3</sup>) ile yalnızca 35 yılda dolacağı tahmin edilmiş; 50 yıllık baraj ekonomik ömrü için 926.370 ton'luk baraj ölü hacmi gerektiği hesaplanmıştır. Bu tür planlamalarda sorunlarla karşılaşmamak adına, hem sürdürülebilir toprak/arazi yönetimi için hem ekonomik sürdürülebilir havza yönetimi için sediment iletim oranı hesaplamalarının genel yaklaşımlar yerine deneysel ve daha özellikli yöntemlerle yapılması gerektiği düşünülmektedir. Baraj havzalarının ekonomik analizlerinin yapılması aşamasında, oyuntu erozyonu yaklaşımlarının kullanılması ve sediment iletim oranlarının belirlenmesi gibi havzaya özgü çalışmaların gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Buna ilaveten erozyon oranı ve sediment miktarı artışının arazi yönetimi uygulamaları, arazi kullanım ve iklim değişikliği etkisi altında olduğu Ekonomik Sürdürülebilir Havza Yönetimi açısından göz ardı edilmemelidir.

### 6. Kaynaklar

- AEG, Association of Environmental and Engineering Geologist. <https://aegweb.org/page/Erosion> (02/09/2018).
- Akgöz, R , İnce, K , Erpul, G . (2020). Ulusal Dinamik Rüzgâr Erozyonu Modeli ve İzleme Sistemi Pürüzlülük Parametresinin Belirlenmesi . *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi* , 35 (1) , 124-132 . DOI: 10.7161/omuanajas.632156.
- Akgöz, R, İnce, K , Erpul, G . (2020). Ulusal Dinamik Rüzgâr Erozyonu Modeli Ve İzleme Sistemi Bitki Örtüsü Parametresinin Belirlenmesi *Toprak Su Dergisi*, 9 (1) , 37-44 . DOI: 10.21657/topraksu.628988.
- Anonim, 2015. <http://www.amasya.bel.tr/icerik/240/1557/barajlar.aspx> (06/09/2018).
- Basaran M, Erpul G, Tercan AE, Canga MR (2007) The effects of land use changes on some soil properties in Indagi MountainPass, Cankiri, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*. Volume 136, Issue 1–3, pp 101–119.
- Basaran, M., Erpul, G., & Ozcan, A. U. (2008). Variation of macro-aggregate stability and organic matter fractions in the basin of Saraykoy-II Irrigation Dam, Cankiri, Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 17, 224–239.
- Bayramin I, Erpul G, Erdogan HE (2006) Use of CORINE methodology to assess soil erosion risk in the semi-arid area of Beypazari, Ankara. *Turk J Agric For* 30:81–100.

- Bayramin, I., Basaran, M., Erpul, G., & Canga, M. R. (2008). Assessing the effects of land use changes on soil sensitivity to erosion in a highland ecosystem of semi-arid Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 140, 249–265.
- Borrelli P., Robinson D.A., Fleischer L.R., Lugato E., Ballabio C., Alewell C., Meusburger K., Modugno S., Schütt B., Ferro V., Bagarello V., Van Oost K., Montanarella L., Panagos P (2017). An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nat. Commun.*
- Cerdà, A., Giménez-Morera, A., Bodí, M.B., (2009). Soil and water losses from new citrus orchards growing on sloped soils in the western Mediterranean Basin. *Earth Surf. Process. Landf.* 34, 1822–1830. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.1889>.
- Collins, A.L., Walling, D.E., Sickingabula, H.M., (2001). Suspended sediment source fingerprinting in a small tropical catchment and some management implications. *Appl. Geogr.* 21, 387–412.
- ÇEM., 2016. Ulusal Ölçekte Rüzgâr Erozyonu Risk Haritasının Hazırlanması Projesi, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
- DSİ, (2005). Ladik-Derinöz Projesi Revize Planlama (II) Raporu.
- DSİ, (2013). Türkiye Akarsularında Süspansed Sediment Gözlemleri [2006-2012], Ankara.
- Erpul G., Şahin S., Akgöz R., İnce K., Güden A., Çetin E., 2016. Türkiye Yağışlarının Özellikleri ve Yenilenmiş Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği (YETKE) R Faktörü. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları. s:10-22, Ankara.
- Erpul, G., Şahin, S., İnce, K., Küçümen, A., Akdağ, M.A., Demirtaş, İ., Çetin, E., 2018. Türkiye Su Erozyonu Atlası. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları. Ankara.
- Fox, G. A., Sheshukov, A., Cruse, R., Kolar, R. L., Guertault, L., Gesch, K. R. and Dutnell, R. C. (2016). Reservoir Sedimentation and Upstream Sediment Sources: Perspectives and Future Research Needs on Streambank and Gully Erosion. *Environmental Management*. 57:945–955 DOI 10.1007/s00267-016-0671-9.
- García-Orenes, F., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Guerrero, C., Bodí, M. B., Arcenegui, V., Sempere, J. G. (2009). Effects of agricultural management on surface soil properties and soil-water losses in eastern Spain. *Soil and Tillage Research*, 106(1), 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.still.2009.06.002>.
- Guzman, C. D., Tilahun, S. A., Zegeye, A. D., & Steenhuis, T. S. (2013). Suspended sediment concentration-discharge relationships in the (sub-) humid Ethiopian highlands. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(3), 1067–1077. <https://doi.org/10.5194/hess-17-1067-2013>.
- İnce, K., Çelik, S., Erpul, G. 2019. Determination and Mapping of Wind Erosion Soil Susceptibility Variables at the National Scale in Turkey, *Ege Univ. Ziraat Fak. Derg.*, 56 (1):109-120, DOI:10.20289/zfdergi.455581
- Kondolf, G. M., Gao, Y., Annandale, G. W., Morris, G. L., Jiang, E., Zhang, J., ... Yang, C. T. (2014). Sustainable sediment management in reservoirs and regulated rivers: Experiences from five continents. *Earth's Future*, 2(5), 256–280. <https://doi.org/10.1002/2013EF000184>.
- Lee, S. (2004) Soil erosion assessment and its verification using the Universal Soil Loss Equation and geographic information system: a case study at Boun. *Korea Environ Geol* 45:457–465.
- Lenzi, M.A. (2002). Stream bed stabilization using boulder check dams that mimic step-pool morphology features in Northern Italy. *Geomorphology* 45 (2002) 243–260.
- Madenoğlu, S., Atalay, F., Erpul, G., 2020. Uncertainty assessment of soil erodibility by direct sequential Gaussian simulation (DSIM) in semiarid land uses. *Soil & Tillage Research Volume 204* (2020) <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104731>
- McGraw-Hill, (1998). Reservoir Sedimentation Manual, New York.
- Morris, G., G. Annandale and R. Hotchkiss, (2008). "Reservoir Sedimentation," in *Sedimentation Engineering: Processes, Measurements, Modeling, and Practice*, American Society of Civil Engineers, Va., U.S.
- Mukundan, R., Radcliffe, D.E., Ritchie, J.C., Risse, L.M., McKinley, R.A., (2010). Sediment fingerprinting to determine the source of suspended sediment in a southern Piedmont stream. *J. Environ. Qual.* 39, 1328–1337.
- Ozcan, A.U., Erpul, G., Basaran, M. and Erdogan, H.E. (2007). Use of USLE/GIS technology integrated with geostatistics to assess soil erosion risk in different land uses of Indagi Mountain Pass-Çankırı, Turkey. *Environ Geol* (2008) 53:1731–1741. DOI 10.1007/s00254-007-0779-6.
- Panagos, P. et al. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environ. Sci. Policy* 54, 438–447.
- Pınar, M.Ö. (2011) Sıçrama erozyonu duyarlılığı, agregat dayanımı ve organik madde içerikleri arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi. Y. Lisans tezi (Tez no: 299711) Ankara Üniversitesi – Türkiye.
- Pınar, M.Ö., Erpul, G. (2012). Soil Erodibility Evaluation by Splash Cups under the Simulated Rainfalls. *Eurasian Journal of Soil Science* 2 (2012) 92 – 97.
- Renard, K., Foster, G., Weesies, G., McCool, D. & Yoder, D. (1997). *Predicting Soil Erosion by Water: a Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)* (USDA-ARS, Washington).
- Saygın, S.D., Basaran, M., Ozcan, A.U., Dolarslan, M., Timur O.B., Yilman, F.E., Erpul, G., (2011). Land degradation assessment by geo-spatially modeling different soil erodibility equations in a semi-arid catchment. *Environ Monit Assess.* Volume 180, Issue 1–4, pp 201–215.

- Saygın, S.D., Ozcan, A.U., Basaran, M., Timur O.B., Dolarslan, M., Yilman, F.E., Erpul, G., (2013). The combined RUSLE/SDR approach integrated with GIS and geostatistics to estimate annual sediment flux rates in the semi-arid catchment, Turkey. *Environ Earth Sci.* DOI 10.1007/s12665-013-2565-y.
- Schellenberg, B. G., & Holder, C. (2018). *Dealing with Sediment : Effects on Dams and Hydropower Generation*, 1–10.
- Shirazi, M. A., & Boersma, L. (1984). A unifying quantitative analysis of soil texture. *Soil Science Society America of Journal*, 48, 142–147.
- Syvitski, J. P. M., C. J. Vörösmarty, A. J. Kettner, and P. Green (2005), Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean, *Science*, 308, 376–380
- Torri, D., Poesen, J., & Borselli, L. (1997). Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset. *Catena*, 31, 1–22.
- Torri, D., Poesen, J., & Borselli, L. (2002). Corrigendum to “Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset” [*Catena* 31 (1997) 1–22] and to “Erratum to Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset. [*Catena* 32 (1998) 307–308]”. *Catena*, 46, 309–310.
- USDA, 1972. Sediment sources, yields, and delivery ratios. *National Engineering Handbook, Section 3 Sedimentation*.
- Walling, D. E. (1999), Linking land use, erosion and sediment yields in river basins, *Hydrobiologia*, 410, 223–240.
- Wang, Y., Rhoads, B. L., Wang, D., Wu, J., & Zhang, X. (2018). Impacts of large dams on the complexity of suspended sediment dynamics in the Yangtze River. *Journal of Hydrology*, 558, 184–195. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.027>.
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses (No. 537). *USDA Agricultural Service Handbook*. Washington, D.C.
- Xiong, Y., Wang, G., Teng, Y., and Otsuki, K. (2013). Modeling the Impacts of Land Use Changes on Soil Erosion at the River Basin Scale. *J. Fac. Agr., Kyushu Univ.*, 58 (2), 377–387.
- Yilman, F.E. 2009. Eldivan Sarayköy-II Göleti (Çankırı) Su Toplama Havzasında YETKE Yöntemi İle Toprak Kayıplarının Tahmin Edilmesi. Y. Lisans Tezi (Tez no: 256278) Ankara Üniversitesi - Türkiye.
- Yue, X.L., Mu, X.M., Zhao, G.J., Shao, H.B., Gao, P., (2014). Dynamic changes of sediment load in the middle reaches of the Yellow River basin, China and implications for eco-restoration. *Ecol. Eng.* 73, 64–72.
- Zhao, G.J., Kondolf, G.M., Mu, X.M., Han, M.W., He, Z., Rubin, Z., Wang, F., Gao, P., Sun, W.Y. (2016). Sediment yield reduction associated with land use changes and check dams in a catchment of the Loess Plateau, China. *Catena* <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.05.010>.
- Zhao, G.J., Tian, P., Mu, X.M., Jiao, J.Y., Wang, F., Gao, P. (2014). Quantifying the impact of climate variability and human activities on streamflow in the middle reaches of the Yellow River basin, China. *J. Hydrol.* 519, 387–398.



## ARAŞTIRMA MAKALESİ

## Şüt Kanalları Üzerine Yerleştirilen Blokların Enerji Sönümlenme Etkilerinin Araştırılması

## Öne Çıkan Sonuçlar:

- Blok dizilim şekli akım hızını azaltır.
- 2 nolu dizilim 1 nolu dizilimden daha fazla enerji sönümlenmiştir.
- Düşük debilerde blok dizilim şekli daha fazla etkindir.

## Yazışma yazarı:

Mahmut AYDOĞDU,  
mahmut.aydogdu@ozal.edu.tr

## Referans:

Aydoğdu, M., ve Dursun, Ö.F., (2020), Şüt Kanalları Üzerine Yerleştirilen Blokların Enerji Sönümlenme Etkilerinin Araştırılması, Su Kaynakları, 5, (2) 34-39

Makale Gönderimi : 27 AĞUSTOS 2020

Online Kabul : 25 EYLÜL 2020

Online Basım : 25 EYLÜL 2020

Mahmut AYDOĞDU<sup>1</sup>, Ömerul Faruk DURSUN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Darende Bekir Ilıcak Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Darende Malatya, Türkiye. ORCID:0000-0002-7339-2442

<sup>2</sup>İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Battalgazi, Malatya, Türkiye. ORCID:0000-0003-3923-5205

**Özet** Açık kanal akımlarında, akımın sahip olduğu fazla miktardaki enerjiyi sönümlenmek için enerji kırıcı yapılar inşa edilir. Bazen de akım, enerji kırıcı yapıya ulaşmadan enerjisini azaltacak engel bloklarına maruz bırakılır. Bu suretle akımın fazla hızlanması engellendiği gibi enerji kırıcı yapının boyutları da azaltılır. Kaskatlarda veya yüksek eğimli bir şüt kanalında enerji kırıcı bloklar kullanılarak hızların azaltılması, barajların ve benzer hidrolik yapıların güvenliği açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada, enerji kırıcı blokların enerji sönümlenme oranları araştırılmıştır. Açık kanal içerisine dizilmiş olan küp blokların iki farklı dizilim şekli için enerji sönümlenme oranındaki değişimler gözlenmiştir. Yapılan bu deneylerde; 2 nolu blok diziliminin 1 nolu dizilim şekline göre daha fazla enerji kıldığı ortaya çıkmıştır. Debi miktarı arttıkça, kırılan enerji miktarının blok diziliminden daha az etkilendiği belirlenmiştir. Bu çalışmada sonuç olarak, aynı özelliklere sahip blokların kanal içerisinde dizilim şeklini değiştirerek daha fazla enerji kırılabileceği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji kırıcı yapılar, şüt kanalı, enerji kırıcı blok, açık kanal

## Investigation of Energy Dissipation Effects of Blocks Placed on Chute Channels

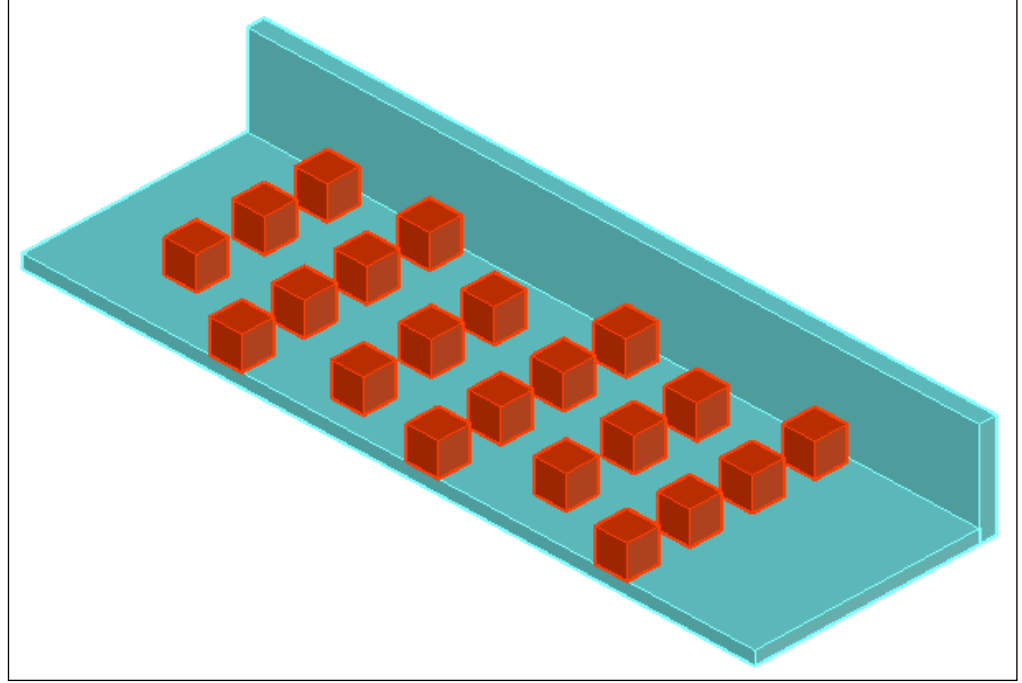
**Abstract** Energy dissipating structures are built to reduce the excessive amount of energy of the flow in open channels. Sometimes, the flow is exposed to blocks that will reduce the energy of the flow before it reaches energy dissipating structure. By this way, excessive acceleration of the flow is prevented. Also, the size of energy dissipating structure is decreased. It is extremely important for the safety of dams and similar hydraulic constructions to reduce the speed of flow over the cascades or highly inclined chute channels by using baffle blocks. In this study, the rates of energy dissipating of baffle blocks are investigated. The rates of energy reducing of cube blocks in open channels are observed for two different arrangements of blocks. In the experiments, it has been revealed that Number 2 block lines dissipated more energy than Number 1 block lines. As flow rate increases, it is seen that the amount of dissipated energy has been effected less from block lines. As a result of this study; it has been observed that the blocks with similar feature can dissipate much more energy by changing their set of lines in channels.

**Keywords:** Energy dissipating structures, chute channel, baffle block, open channel

### 1. Giriş

Kullanım amacı farklı olan su yapılarında, birikmiş halde olan su çok yüksek miktarda enerjiye sahiptir. Suyun sahip olduğu bu enerji mabdan mansap kısımlarına geçişte çok büyük hıza sahip olur ve yüksek basınçla içinde bulunduğu ortamda hareket eder. Sudaki bu durum birikmiş olan potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşümüdür. Yüksek hız ve basınç suyun mansaba geçişinde su yapısının hasar görme veya tamamen yıkılmasına sebep olur. Özellikle baraj gibi çok büyük su kütlelerinin biriktiği yapıların deşarj elemanları olan dolusavak ile dipsavaklarında oyulma ve aşınmalara sebep olur. Suyun bu etkisini ortadan kaldırmak için enerji kırıcı yapıların inşa edilmesi gerekir. Bu konu ile ilgili literatürde yapılmış birçok çalışma mevcuttur. "Chamani ve Rajaratnam (1994), basamaklı dolusavaklar üzerine yaptıkları çalışmada enerjiyi sönümlenmede kritik akım derinliğinin ve basamak yüksekliklerinin etkili olduğunu vurgulamışlar ve bu ikisi arasındaki değişimi incelemişlerdir. Alhamid (1994), yaptığı çalışmada farklı yoğunluğa sahip ahşap bloklar kullanarak sabit uzunluktaki bir kanal içerisinde deneyler yaparak enerji sönümlenme etkilerini incelemiştir. Izadjoo ve Shafai-Bejestan (2007), de yaptıkları çalışmanın sonucuna göre trapez şeklindeki bloklu ve pürüzlü bir kanaldaki hidrolik sıçrama değerlerinin düz bir kanala göre on kat daha iyi çıktığını ispatlamışlardır. Kaya ve

Emiroğlu (2010), tarafından yapılan çalışmada enerji kırıcı blokların, şut kanalı içerisinde kullanıldıklarında enerjiyi dağıtma sorununa ekonomik bir çözüm sunduklarını belirtmişlerdir. Peterka (1984), yaptığı çalışmada özellikle, şut kanalının içerisine şaşırtmalı olarak yerleştirilen enerji kırıcı blokların akım hızının değişken olmasını engellediğini bildirmiştir. Yaptığımız bu çalışmada da şut kanalı içerisine enerji kırıcı blokların yerleştirme düzenleri değiştirilerek enerji kırma etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, farklı debi değerlerinde mansap su hızları ölçülerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Böylece blok dizilim şeklinin değişmesi sonucu meydana gelen enerji kaybının nasıl değiştiği gözlenmiştir. şekil 1'de bir şut kanalına yerleştirilmiş enerji kırıcı blokların genel bir görüntüsü yer almaktadır.



şekil 1. şut kanalı üzerine yerleştirilmiş enerji kırıcı bloklar.

Literatürde enerjiyi sönümlemek için kullanılan bu blokların dizilimi ile ilgili bazı araştırmacılar birtakım kurallar belirlemişlerdir (Peterka, 1984; Blasidell, 1947 ve El-Masry AA, 2001). Bu kurallar blok şekilleri, bloklar arası mesafeler, kanal içerisinde blok diziliminde dikkat edilmesi gereken sınır şartları şeklinde sıralanabilir.

## 2. Metod ve Deneysel alışma

### 2.1 Enerji kırıcı blok tasarımı dikkat edilmesi gereken kurallar

Enerji kırıcı bloklar hakkında geçmişten günümüze literatürde birçok çalışma yer almıştır. Bunlardan Blasidell (1947), yaptığı deneysel çalışmalarda akım taban genişliğinin belirli bir oranda bloklarla kaplandığında su akımına karşı en uygun enerji kırma işleminin gerçekleşeceğini belirtmiştir. Blok yüzey alanının kanal genişliğine oranı %40-55 arasında bir değer olması gerektiğini yaptığı deneylerle ispatlamaya çalışmıştır. Ayrıca blokları gerçek sahada inşa ederken, bakımının kolay ve herhangi bir tıkanma olmayacak şekilde kendi kendini temizleyebilme özelliğine sahip olması gerektiğini de söylemiştir.

Yine Peterka (1984), bu konu ile ilgili kapsamlı bir çalışma yapmış bu konu ile ilgili bir tasarım notu yayınlamıştır (şekil 2). Bunlar aşağıda verilmiştir;

•Kullanılacak blokların ön yüzünün akıma dik olması gerekir.

•Tek sıra blok dizilimi yapılarak bloklar kullanılmalıdır. Çünkü ikinci sıranın etkisi birinci sıraya göre düşüktür.

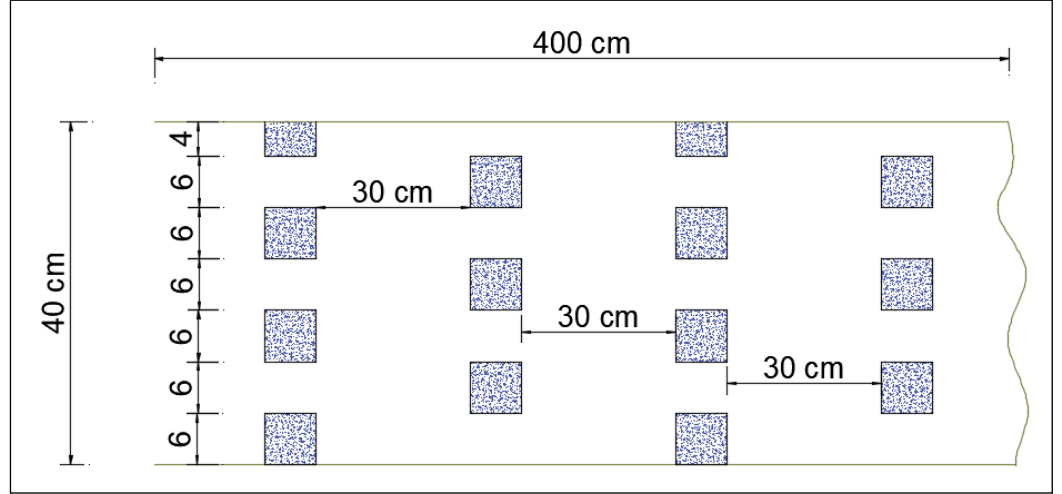
•Yaklaşım kanalı tabanı ile şut kanalı arasındaki kret yüksekliği, sakinleştirici havuz ya da seçilebilir bir hız değerini oluşturabilmek için kullanılır.

•Enerji kırıcı blokların yüksekliği, H, dikdörtgen kanaldaki kritik derinliğin %80'i kadar olmalıdır.

•Enerji kırıcı bloklar, maksimum debi değerine göre tasarlanmalıdır. Birim tasarım debisi en fazla 1.70 m<sup>3</sup>/s.m'ye kadar olmalıdır.

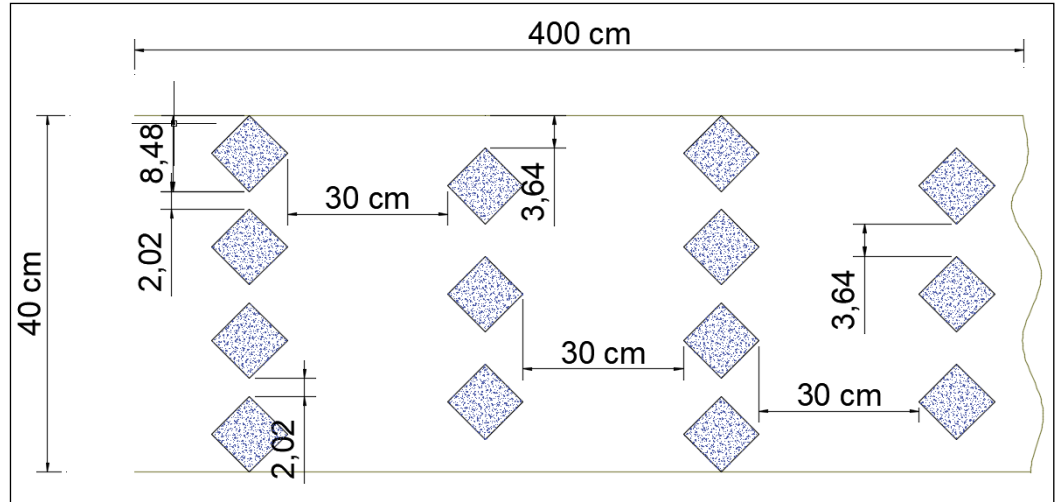
•Enerji kırıcı blokları genişliği ile her iki blok arasındaki genişliğin birbirine eşit olmakla birlikte blok boyunun 1.50 katı kadar tasarlanabilirken blok boyundan küçük olmamalıdır. Kenarlardaki parça blokların genişliği 1/3 H ile 2/3 H aralığında olabilir. Bu parça bloklar 1.-3.-5. sıralara ya da 2.-4.-6. sıralara yerleştirilebilir.





Şekil 3. 1 nolu blok diziliminin şüt kanalı içerisinde üstten görünüşü.

Yaptığımız bu çalışmada blok dizilim şekillerinin enerji kırma etkisi araştırıldığı için Şekil 4'de 2 nolu blok dizilim hali yer almaktadır.



Şekil 4. 2 nolu blok diziliminin şüt kanalı içerisinde üstten görünüşü.

Buradaki amacımız, aynı sayıda blok ile farklı dizilim sağlayarak şüt kanalının mansabındaki hızları karşılaştırmaktır. Bundan dolayı 2 nolu dizilim şeklinde bloklar arası mesafeler değişmiş ancak iki blok sırası arası mesafe 1 nolu dizilim şekli ile aynı alınmıştır.

### 3. Deneysel Verilerinin Değerlendirilmesi

Deney düzeneği hazırlandıktan sonra öncelikle 1 nolu dizilim şekli ile ilgili ölçümler yapılmıştır. Bunun için 50° sabit açığa sahip şüt kanalında farklı debi değerleri ile sisteme su temini sağlanmıştır. 5, 10, 15, 20 l/s 'lik dört farklı debi değeri ile çalışılmıştır. Her bir debi değeri için şüt kanalı mansabındaki su hızı mikro muline yardımıyla ölçülmüştür. Aşağıda Tablo 1'de farklı debi değerlerinde şüt kanalı mansabında ölçülen hızlar görülmektedir.



Tablo 1. 1 Nolu Dizilime Şeklinin Debi ve Hız Değerleri.

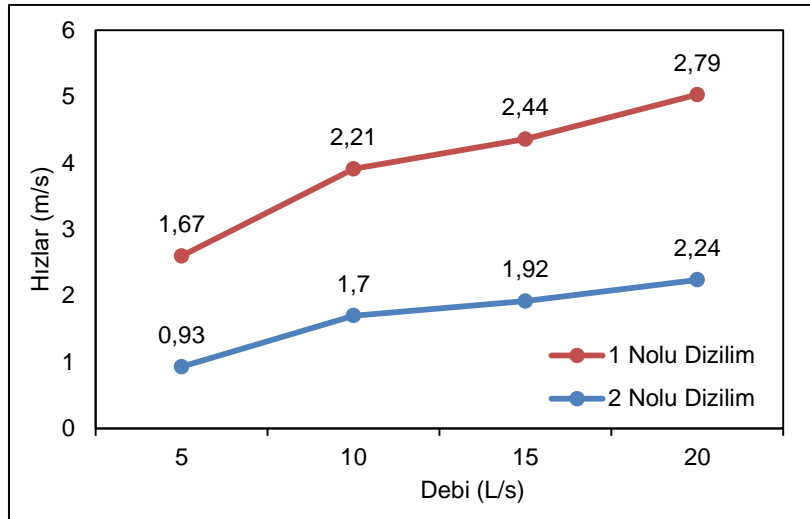
Debi(l/s)	Hızlar (m/s)
5	1.67
10	2.21
15	2.44
20	2.79

Yukarıdaki tablodan da görüleceği üzere farklı debi değerlerine karşılık gelen hız değerleri okunurken şüt kanalı 50° sabit açıda kaldığı için mulinenin de suyun akım yönüne ve kanala dik bir şekilde konumlanmasına ve bu şekilde ölçüm yapılmasına ayrıca dikkat edilmiştir. 1 nolu blok dizilimi ile ilgili deneyler bittikten sonra 2 Nolu dizilim şekline göre bloklar şüt kanalına dizilmiş ve deneyler yapılmaya başlanmıştır. Bulunan değerler Tablo 2' de görüldüğü gibidir.

Tablo 2. 2 Nolu Dizilime Şeklinin Debi ve Hız Değerleri

Debi(l/s)	Hızlar (m/s)
5	0.93
10	1.70
15	1.92
20	2.24

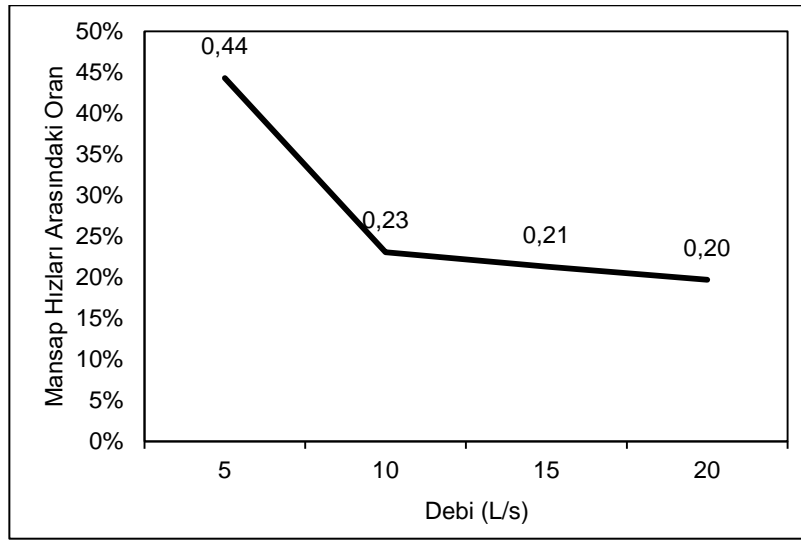
Tablo 2'den de görüldüğü üzere, aynı taban açısı için eşit debi değerleri ile sisteme su verilmesine rağmen sadece blok dizilim şeklinin değişmesiyle ciddi anlamda mansap su hızlarında bir düşüş olduğu görülmüştür. 2 nolu dizilim şeklinin 1 nolu dizilim şekline göre 5 l/s' lik debi değerinde oluşturduğu hız farkı %44 oranında olmuştur. Diğer debi değerlerine baktığımızda %20' den az olmayacak şekilde bir hız farkının 2 nolu dizilimle elde edildiği görülmüştür. Ayrıca Şekil 5'te her iki dizilim şekline göre debi-hız dağılımları verilmiştir.



Şekil 5. 1 ve 2 nolu Blok Dizilimine Göre Hızların Değişimi.

Şekil 5'te debi değerleri arttıkça her iki blok dizilim şekline göre de hızların arttığı görülmektedir. Ancak kıyaslama yapıldığında 2 nolu dizilim şekli ile oluşan hızlarının 1 nolu dizilime göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bu da 2 nolu dizilimde daha fazla enerjinin kırıldığını göstermektedir. Şekil 6'da aynı sayıdaki enerji kırıcı blokların farklı dizilimleri sonucunda mansap hızları arasındaki fark, yüzdeler olarak verilmiştir. Böylece, enerji kırıcı blokların 2 nolu diziliminin 1 nolu dizilime kıyasla, mansap hızının düşürülmesi üzerinde, daha etkili olduğu, bu sebepten ötürü enerji sönmüleme oranının daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca debi değeri azaldıkça enerji kırıcı blokların mansap hızları üzerinde etkisi daha fazla olduğu, dolayısı ile enerji sönmüleme üzerinde daha etkili olduğu görülmektedir.

Şekil 6'da 5 l/s' lik debi değeri için mansap su hızları arasındaki yüzdeler 2 nolu blok dizilimi değerinin 1 nolu blok dizilim değerine oranı %44 olarak elde edilirken, 20 l/s lik debi için bu değer %20 olarak bulunmuştur. Böylece blok sayıları şüt kanalı içerisinde aynı sayıda olmasına karşın, dizilim şeklinin değiştirilmesiyle daha fazla enerjinin kırılacağı sonucu elde edilmiştir.



Şekil 6. Mansap Hızları Arasındaki Oranların Debi Değerleri ile Değişimi.

#### 4. Sonuç ve Tartışma

Yapılan bu çalışmada, şüt kanalı içerisindeki enerji kırıcı blokların dizilim şekli değiştirilerek enerji kırılma oranlarının nasıl etkileneceği araştırılmıştır. Buna göre 2 nolu dizilim şekli 1 nolu dizilim şekline göre akım hızını daha fazla azaltmış ve dolayısıyla daha çok enerji sönmülemiştir. Blok sayısı ve şüt kanalı açısı aynı olmasına rağmen daha fazla enerjinin sönmülmesi, daha az sayıda blokla 1 nolu dizilim halinin kırabileceği enerjiyi kırmaya ve bu sayede blok maliyetini azaltmaya yarayacaktır. 5 l/s' lik debi değeri için mansap su hızları arasındaki yüzdelik fark, 2 nolu blok dizilimi değerinin 1 nolu blok dizilim değerine oranı %44 olarak elde edilirken, 20 l/s debi değeri için bu değer %20 olarak bulunmuştur. Bu da düşük debi değerlerinde dizilim şeklinin enerji kırma üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Enerji kırıcı blokların bu şekilde kullanımı şüt kanalı veya yapılacak olan enerji kırıcı havuz boyutlarını küçültür ve daha az bir maliyetle inşa edilmesine olanak sağlar. Bu çalışma ileride bu konu ile ilgili yapılacak olan çalışmalara bir altlık oluşturacak olup farklı tipteki bloklar, farklı şüt kanalı açısı değerleri ve farklı debi değerleri kullanılarak blokların enerji kırma oranı dizilim şekillerine bağlı olarak ölçülebilir. Bu şekilde su yapıları arasında önemli bir yere sahip olan enerji kırıcı yapıların maliyeti azalacak ve sahaya uygulanabilir çalışmaları ülke ekonomisine önemli oranda katkı sağlanmış olacaktır.

#### 5. Teşekkür

Bu çalışma, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FDK-2018-1394 kod numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

**NOT:** Bu çalışma 27-31 Ekim 2018 tarihlerinde 5th International Symposium On Dam Safety 2018 adlı sempozyumda sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

#### 6. Kaynaklar

- Alhamid, A.A., 1994. Effective roughness on horizontal rectangular stilling basins. Trans. Ecol. Environ., 8: 39-46.
- Blaisdell FW. "Development Hydraulic design of St. Anthony Falls Stilling Basin" Proc J Hydraulic Eng, ASCE;1947.
- Chamani M. R. and Rajaratnam N., 1994, "Jet flow on stepped spillways", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 120, No. 2, February, pp. 254-259.
- El-Masry AA, Sarhan TE. "Minimization of scour downstream heading-up structure using a single line of angle baffles", Eng Res J Helwan Univ., 2000:69.
- El-Masry AA, "Minimization of scour downstream heading-up structure using double line of angle baffles", In. Proc of sixth international water technology conference (IWTC). Alexandria, Egypt; 2001.
- Izadjoor, F. and M. Shafai-Bejestan, 2007. Corrugated bed hydraulic jump stilling basin. J. Applied Sci., 7: 1164-1169.
- Kaya, N., and Emiroglu, M. E. (2010, October). Study of oxygen transfer efficiency at baffled chutes. In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management (Vol. 163, No. 9, pp. 447-456). Thomas Telford Ltd.
- Peterka AJ (1984) Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators. United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, USA. A Water Resources Technical Publication, Engineering Monograph, No. 25, Denver, Colorado.



## Baraj Emniyeti için Gözlemsel İnceleme ve Değerlendirmelerin Rolü

Yazışma yazarı:

M. Emin EMİROĞLU,  
memiroglu@firat.edu.tr

Referans:

Emiroğlu, M.E., Edil, T.B., Kalkan, Y., Karadeniz H., Celep Z., (2020), Baraj Emniyeti için Gözlemsel İnceleme ve Değerlendirmelerin Rolü, Su Kaynakları, 5, (2) 40-47

M. Emin EMİROĞLU<sup>1</sup>, Tuncer B. EDİL<sup>2</sup>, Yunus KALKAN<sup>3</sup>, Halil KARADENİZ<sup>4</sup>, Zekai CELEP<sup>5</sup>

<sup>1</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye ORCID: 0000-0002-3603-0274

<sup>2</sup>İnşaat ve Çevre Mühendisliği Bölümü, Wisconsin-Madison Üniversitesi, ABD ORCID: 0000-0002-9911-8329

<sup>3</sup>Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye ORCID: 0000-0002-2520-8604

<sup>4</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Esenyurt Üniversitesi, İstanbul, Türkiye ORCID: 0000-0002-1435-4999

<sup>5</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, İstanbul, Türkiye ORCID: 0000-0002-5246-9818

Makale Gönderimi : 28 AĞUSTOS 2020

Online Kabul : 25 EYLÜL 2020

Online Basım : 25 EYLÜL 2020

**Özet** Bu çalışmada, baraj emniyeti için periyodik olarak yapılan gözlemsel incelemelerin ve değerlendirmelerin rolü tartışılmıştır. Çeşitli ölçüm aletlerinin etkili kullanımı, sürekli ve güvenilir verilerin temini ve verilerin kayıt altına alınması ve değerlendirilmeleri ele alınmıştır. Barajların emniyeti; sosyal, ekonomik ve çevresel faktörler bakımından oldukça önemlidir. Baraj emniyeti için yapılan detaylı gözlemsel inceleme ve değerlendirmeler, barajların önemine, karmaşık tasarımına ve barajın hasar görme seviyesine göre değişiklik göstermektedir. Barajların emniyeti için barajlarda yapılan ölçüm sonuçlarının kayıt altına alınması ve gerekli durumlarda arazi ve laboratuvar deneylerinin yapılması önem taşımaktadır. Baraj emniyeti değerlendirmelerinde, farklı disiplinlerdeki uzmanların birlikte çalışmaları önemlidir. Barajların ve ilave yapılarının emniyetinin incelenmesinde sadece nicel veriler değil aynı zamanda sözel ifadelerin de bilgisayar ortamında kayıt altına alınması oldukça önemlidir.

**Anahtar Kelimeler:** Baraj güvenliği, Gözlemsel inceleme ve değerlendirme, Baraj ölçüm aletleri

## The Role of Observatory Investigation and Assessment for Dam Safety

**Abstract** In this study, the role of periodic observational inspection and evaluation for dam safety are discussed. Also effective operation of the various measurement facilities, supply of continuous and reliable data, and recording and evaluation of data are evaluated. The safety of dams is important in terms of social, economic, and environmental factors. The level of detailed observational inspection and evaluations that can be made for dam safety is assessed according to the importance, complexity and damage level of the dam. For dam safety, it is especially useful to compile the records of measurements made on the dams, to carry out field and laboratory investigations if necessary. For dam safety assessments, it is important for experts from different disciplines to work together. Not only quantitative data but also verbal and expert opinions regarding the dam body and auxiliary structures must be recorded and maintained in computer files.

**Keywords:** Dam safety, observational inspection and evaluation, dam measurement devices.

### 1. Giriş

Barajlar önemli mühendislik yapılarındandır. Baraj, su biriktirmek amacı ile hazne oluşturmak üzere bir akarsu vadisini kapatarak akışı engelleyen bir yapıdır. Barajın su biriktirme yanında, su seviyesini yükseltme ve geniş su yüzeyi meydana getirme gibi önemli iki fonksiyonu daha vardır. Barajların mansabında büyük nüfuslu yerleşim yerleri olabilmektedir. Bir barajın hasar görmesi veya yıkılması durumunda önemli can ve mal kayıpları yaşanmaktadır (Linsley vd., 1992).

Barajlar inşa edilirken baraj gövdesine, ilave yapılarına ve çevresine çok sayıda ölçüm cihazı yerleştirilmektedir. Bu cihazların yerleştirilme amaçları; barajın, ilave yapılarının ve çevresinin emniyet açısından izlenmesi, gerektiğinde müdahale edilmesi ve tasarım ve inşaat açısından geri beslenme temin edilmesi şeklinde açıklanabilir (Penman, 2017). Barajlara yerleştirilen cihazların maliyeti, barajın toplam maliyeti yanında kayda değer bir orana sahiptir. Bu nedenle barajlara yerleştirilen cihazlardan yeteri düzeyde yararlanmak önemlidir.

Bu çalışma bildiri kapsamında barajların gözlemsel incelemelerinin gerekliliği vurgulanmış, örnekler

sunulmuş ve ölçüm cihazlarından alınan verilerin değerlendirilmeleri tartışılmıştır. Ayrıca baraj emniyetinin temin edilebilmesi için tecrübelerden edinilen bilgilerden yola çıkılarak ilgili kurum ve kuruluşlara yönelik önerilerde bulunulmuştur.

## 2. Gözlemsel İnceleme ve Değerlendirmenin Önemi

Barajların belirli periyotlarda uzman elemanlar tarafından gözlemsel incelemelerinin yapılması önem taşımaktadır. Gözlemsel inceleme aşamasında baraj gövdesi ve ilave yapılarının (dolusavak, dipsavak, derivasyon tüneli, kapaklar ve mekanik teçhizatları, sualma yapıları, kuyruksuyu kanalı, düşüm havuzu ve enerji kırıcı yapılar, dolusavak yaklaşım kanalı, batardo kapakları, HES binası ve teçhizatları) titizlikle incelenmesi fotoğraflarla belgelenmesi önem taşımaktadır. İnceleme tarihine kadar mevcut ölçüm cihazlarından alınan verilerin anlamlı olup olmadıklarının ve cihazların çalışıp çalışmadıklarının tespiti de yarar sağlamaktadır. Temin edilen verilere ait anlamlı grafiklerin çizilmesi ve yorumlanması gerekmektedir.

Aşağıda barajların gözlemsel incelemelerinden birkaç örnek verilmiştir. Şekil 1(a)'da da baraj kretinde su birikintilerinin olduğu görülmektedir. Şekil 1(b)'de ise kretin tamamen su ile dolduğu görülmektedir. Bu durumun, baraj stabilitesi açısından istenmeyen bir durum olması nedeniyle gerekli tesviye işlemlerinin yapılması uygun olacaktır.



(a)



(b)

Şekil 1. Baraj kretinde su birikintisi

Şekil 2'de baraj şevlerinde aşırı bitkilenmenin olduğu ve özellikle yağmurlama sisteminin kurularak sulandığı gözlenmiştir. Baraj şevlerinde bitkilenme nedeniyle vahşi hayvanların yuva yapmalarına neden olacağından ve şev malzemesinin ayrışmasına neden olacağından baraj kretinde ve şevlerinde bitkilenmeye müsaade edilmemesi gerekmektedir.



(a)



(b)



(c)



(d)

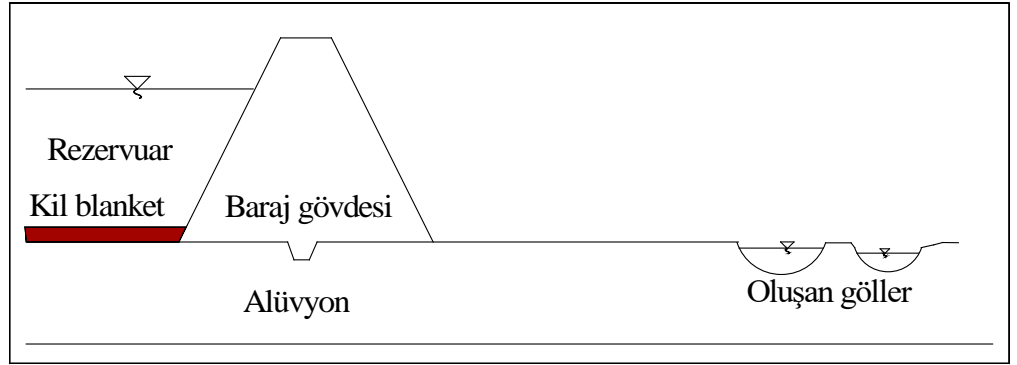
Şekil 2. Farklı baraj şevlerinde oluşan bitkilenme

Şekil 3'te bir barajın memba şevinde oluşan oturmalar görülmektedir. Barajda oluşan oturma ve kabarmaların zamana bağlı olarak izlenmesi önemlidir.



Şekil 3. Mamba şevinin bozulmuş yüzey şekline ait bir görünüm

Şekil 4'te baraj temeli alüvyondur. Temelden kaçan su miktarını azaltmak için mamba blanketi yapılmıştır. Yine de barajın mansap topuğunda yaklaşık 250 m sonra iki adet küçük göl oluşmuştur. Bu kaçak sularının zamana bağlı olarak izlenmesi barajın emniyeti açısından önemlidir.



Şekil 4. Baraj temelinden kaçan suların oluşturduğu su birikintileri

Şekil 5'te galeri içerisinde mevcut boru tesisatının görev yapamaz olduğu görülmektedir. Bu durumda gerekli bakım ve onarımın yapılması, çalışmayan ölçüm cihazlarının gerekli görülmesi durumunda yenilenmesi uygun olacaktır.



Şekil 5. Galeri içerisinde bakımsız durumda tesisat



Şekil 6. Parapet duvarlarında oluşan çatlaklar

Şekil 6(a)'da bir ön yüzü beton kaplı kaya dolgu baraj (ÖYBK) barajın parapet duvarındaki açılma görülmektedir. Bu açılmada su tutucu malzemenin yeterli kota kadar da çıkarılmadığı da görülmüştür. Bu açılmanın zamana bağlı olarak izlenmesi önemlidir. Şekil 6(b)'de ise beton gövde üzerine yerleştirilen sualma yapısının parapet duvarında bir açılma görülmektedir. Bunun da izlenmesi önem taşımaktadır.

Şekil 7'de dolusavakların bakım ve onarımı için baraj yakınında bulundurulmuş batardo kapakları görülmektedir. Bu kapaklar barajın radyal kapaklarının ön kısmında bulunan genellikle düz emniyet kapaklarıdır. Bu kapakların bakım ve onarımlarının periyodik olarak yapılması, vinç sisteminin çalışır durumda olması ve aralarında bitkilenmenin oluşumunun engellenmesi önem taşımaktadır.



Şekil 7. Batardo kapaklarından görünüm



Şekil 8. Farklı barajlara ait dolusavaklardan görünüm

Şekil 8(a)'da dolusavak boşaltım kanalı içerisinde büyük oranda kaya malzemenin aktığı görülmektedir. Sağ sahil tarafındaki yamaçta yeraltı suyunun yükselmesi ve drenaj edilememesi neticesinde yamaçta akma meydana gelmiştir. Boşaltım kanalından malzemelerin kaldırılmaması durumunda ve ani bir taşkın neticesinde maksimum taşkın debisinin deşarj edilmesi gerekliliği durumunda baraj emniyetinin büyük risk altında olacağı ifade edilebilir. Şekil 8(b)'de dolusavakın sağ sahil tarafındaki yan duvarın arkasında inşa esnasında bırakılan yaklaşık 0.50 m'lik kısmın dolduğu ve boşaltım kanalı içerisine malzeme aktığı görülmektedir. Şekil 8(c) ise dolusavak yaklaşım kanalı kaya malzemeler ile kaplanmıştır. Bu malzemelerin büyük debilerin deşarjı esnasında yerinden kopacağı ve eşik yapısının önünü tıkayarak akım yapısını bozacağı açıktır. Bu nedenle bu kısmın püskürtme beton ile kaplanması yararlı olacaktır. Şekil 8(d)'de dolusavaklarda su kaçakları ve uzun süre açılmamaları nedeniyle ogee kretinde, havalandırma kanallarında ve boşaltım kanalında beton derz aralarında bitkilenmeler oluşabilmektedir. Bunlar betonun zarar görmesine neden olacağı gibi havalandırma kanallarının dolması ile dolusavakta kavitezyon riskini arttıracığı söylenebilir.

Şekil 9'da bir barajın sol sahilde gevşek malzeme görülmektedir. Baraj rezervuarı çok küçük olması nedeni ile ani alçalma ve yükselme oluşacağı tahmin edilmektedir. Yamaçtaki malzemenin rezervuara akma riski nedeni ile yamaçın kaplanması yararlı olacaktır.



Şekil 9. Baraj gövdesine yakın sol sahilden görünüm

Şekil 10'da bir barajın cebri boruları görülmektedir. Cebri boruların ek yerlerindeki sızdırmazlıkların belirli periyotlarda kontrol edilmesi ve bakım ve onarımların yapılması gerekmektedir. Ayrıca, cebri boruların boya işlemlerinin yapılması ve tabanında oluşan bitkilenmelerin de engellenmesi önem taşımaktadır.



Şekil 10. Cebri borulardan görünüm

Şekil 11(a)'da kaçak suların debisini belirlemek için bir açık kanala büzülmesiz bir savak yerleştirilmiştir. Nap yükünü belirlemek için kanal içerisine elektronik bir seviye ölçer monte edilmiştir. Bu tür ölçüm sistemlerinde doğru sonuçlar alınabilmesi savak önüne biriken katı maddelerin temizlenmesi ve oluşan bitkilenmesinin oluşumunun engellenmesi gerekmektedir. Şekil 11(b)'de kil çekirdekli bir kaya dolgu barajın kretime yerleştirilen ivmeölçer görülmektedir. İvmeölçerin koruma altına alınması, düz bir zemin oluşturulup üzerine yerleştirilmesi, yağış sularından etkilenmemesi için önlem alınması gerekmektedir.



(a)



(b)

Şekil 11. Ölçüm cihazları: (a) Elektronik su seviyesi ölçer, (b) İvmeölçer

### 3. Ölçüm Cihazlarından Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesi

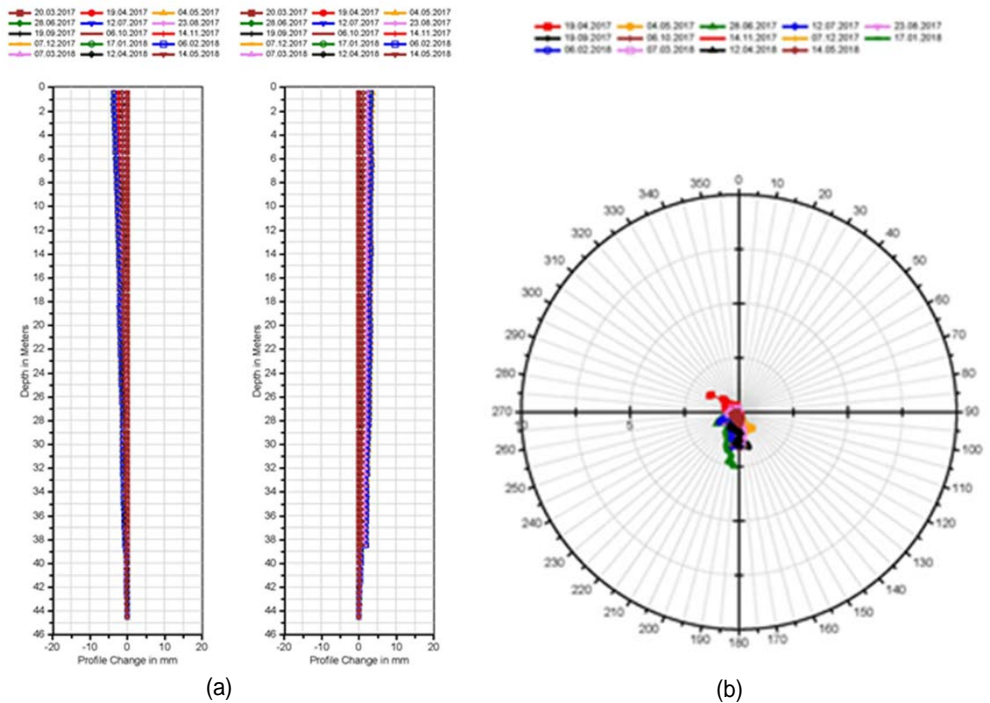
Barajların gövdesi içerisine, gövde üzerine ve ilave yapılarına çeşitli ölçüm cihazları yerleştirilmektedir. Bu şekilde barajların emniyeti kontrol edilebilmekte ve buradan öğrenilen tecrübeler, ileriki baraj inşaatlarında daha iyi tasarımların yapılabilmesine olanak sağlamaktadır.

Ölçüm cihazlarından sağlanan veriler kullanılarak aşağıda verilen grafiklerin çizilmesi mümkündür.

- Çökme ölçerden elde edilen veriler kullanılarak çizilen grafikler
- Eğimölçerden elde edilen veriler kullanılarak çizilen grafikler
- Piyezometre okumalarından elde edilen veriler kullanılarak çizilen grafikler
- Ters sarkaç ölçümlerinden elde edilen veriler kullanılarak çizilen grafikler

- Rockmetre cihazı ölçümlerinden elde edilen veriler kullanılarak çizilen grafikler
- Zamana bağlı galerilerden, baraj gövdesinden ve tabandan kaçak sularının debilerine ait grafikler
- Sıcaklık ve iletkenlik ölçümlerinden elde edilen veriler kullanılarak çizilen grafikler
- Zamana bağlı rezervuar su seviyesi değişimi grafiği
- Jeodezik okumalardan elde edilen veriler kullanılarak çizilen baraj kret oturmaları grafiği
- Jeodezik okumalardan elde edilen veriler kullanılarak çizilen baraj memba ve mansap şevlerinin zamana bağlı oturma/kabarma grafikleri

Bu grafiklerin sayısı arttırılabilir. Zamana bağlı olarak bu grafiklerden elde edilen bulgular tartışılabilir ve yorumlanabilir. Aşağıda, (Şekil 12 ve 13'de) örnek olarak iki adet farklı ölçme grafiklerinden söz edilmiştir. Şekil 12'de, Atatürk baraj gövdesinde tesis edilmiş inklinometre cihazlarından birisinde yapılan ölçüm sonuçlarına ait grafikler verilmiştir. Bilindiği gibi, inklinometre ölçümleriyle, baraj gövdesinde açılan düşey sondaj kuyularında, farklı kottardaki yatay hareketlerin zaman içindeki değişimleri izlenmektedir. Genel olarak kret eksenini doğrultusu B eksenine, buna dik doğrultu ise A eksenine olarak seçilir ve düşey doğrultuya göre bu doğrultulardaki değişimler belirlenmeye çalışılır. Aşağıdaki ilk iki grafikte düşey eksen, kuyu derinliği olarak, yatay eksen ise sırasıyla A ve B eksenleri olarak seçilmiştir (Şekil 12a). Üçüncü grafik ise, A ve B eksenleri doğrultusundaki değişimlerin bileşkesini ve doğrultusunu göstermektedir (Şekil 12b). Beklenmeye uygun olarak, üst kottarda daha fazla hareket geliştiği ve bunun da genelde memba-mansap doğrultusuna yakın ve mansaba doğru olduğu, grafiklerin incelenmesinden görülmektedir.

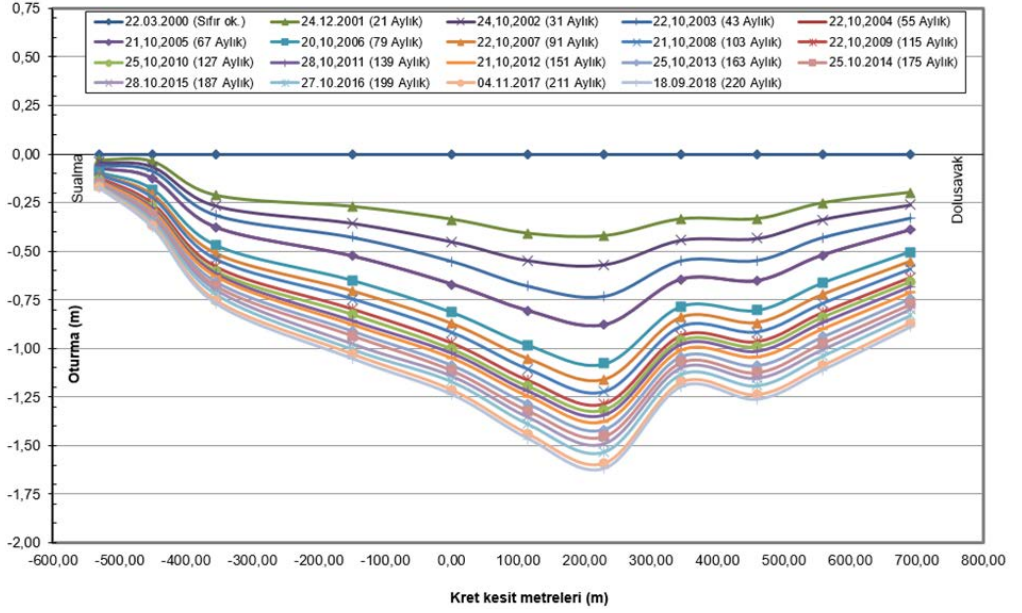


Şekil 12. İnklinometre kuyusu: (a) Profil değişimi grafiği, (b) Üst görünüm grafiği

Şekil 13'te ise, Atatürk Barajı kret eksenini boyunca, kretteki oturumları izlemek üzere yapılmakta olan prezisyonlu nivelman ölçme sonuçlarına ait bir grafik verilmiştir.



## 12 AYLIK PERİYOTLAR İÇİN KRET OTURMA GRAFİĞİ 18.09.2018



Şekil 13. Merkez kret oturmalarının aylık periyotlara göre değişimi

Söz konusu barajda, kil üst kotundaki değişimleri izlemek için kret merkezinde tesis edilmiş 12 adet nivelman noktası mevcuttur. Bu noktalar üzerinde periyodik olarak yapılan ölçmelerden, 2000 ve 2018 yılları arasındaki ve 12 aylık periyotlardaki ölçüleri değerlendirilerek değişimler belirlenmeye çalışılmıştır. Grafiğin incelenmesinden görülebileceği gibi, 18 yıllık süre içinde en büyük oturmanın yaklaşık 1.65 m ile +230 m kesit noktasında olduğu anlaşılmaktadır. Beklenmeye uygun olarak kret ortalarında ve akarsu yatağı civarında en fazla oturmanın gerçekleştiği görülmekte ve ayrıca, kret oturma hızının da giderek azaldığı anlaşılmaktadır.

Özet olarak, baraj gövdesi ve yakın çevresinde yapılan ölçmelerle, özellikle baraj gövdesindeki geometrik ve fiziksel değişimlerin belirlenmesi ve bunların proje öngörülerini uyumlu olup olmadığının irdelenmesi, baraj emniyeti ve baraj verimliliği bakımından önemli olmalıdır.

### 4. Baraj Emniyeti Ve Gözlemler İçin Genel Öneriler

- 1) Yapılacak minimum bakım ve onarımlarla, daha sonra ortaya çıkabilecek masraflı tamiratlar önlenmelidir.
- 2) Eski barajlarda ölçüm aletlerinin pahalı bir şekilde yenilenmesi yerine, mevcutların çalışır duruma getirilmesinin tercih edilmesi tavsiye edilir.
- 3) Ölçümleri yapacak teknik elemana sorumluluğunun anlatılması, faydalı olacağı için tavsiye edilir.
- 4) Barajlarda bulunan mevcut çökme röper noktalarının ve piyezometre yerlerinin tahrip olmaması ve kaybolmaması için temizlenmesi ve işaretlenmesi tavsiye edilir.
- 5) Yeni projelendirilen ve inşaatı yapılan barajlarda ölçüm aletlerinin sayısı ve veri alma türü günümüz şartlarına uygun ve ayrıntılı değerlendirmeleri yapabilecek seviyededir. Bu durumda en önemli husus baraj inşaatının tamamlanmasından sonra, bu verilerin düzenli okunması ve değerlendirilmesi ve değişimlerin sayısal ve grafik olarak sunulmasıdır. Bu işlem de yeterli sayıda ve belirli bilgi seviyesinde olan personelle mümkün olacaktır. Bu konuda gerekli tedbirlerin gözden geçirilmesi tavsiye edilir.
- 6) Birçok barajda eleman eksikliği veya sürekli eleman olmaması ve yetersiz imkânlar gibi sebeplerle ölçme işlerinin devam ettirilmesi ve iyileştirilmesi bazı barajlarda sağlanamamaktadır. Bu imkânların genişletilmesi, elde edilecek sonuçların daha ayrıntılı ve kullanılabilir olmasını sağlayacaktır. Özellikle, görevlilerden emekliye ayrılacak personelin yerine genç elemanların yetiştirilmesine önem verilmesi tavsiye edilir.
- 7) Barajlarda bitkilenmesinin önlenmesi ve temizliğin sağlanması bakımından, periyodik olarak baraj ve çevresinin bakım ve temizliğinin yapılması tavsiye edilir.
- 8) Barajlarda gözlemsel, jeoteknik ve jeodezik inceleme raporlarının belirli periyotlarda hazırlanması, bu raporlara göre yapılan iyileştirmelerin performansının takip edilmesi önem arz etmektedir. Aynı şekilde ölçme ve izleme alt yapısının bakımlı ve güncel tutulması tavsiye edilir.
- 9) Barajlardaki ölçme ve değerlendirme çalışmalarında özel sektörden de hizmet alımı yapılması faydalı olabilir.

- 10) Her bir baraj için bir baraj bilgi sistemi oluşturularak şimdiye kadar toplanan tüm bilgilerin uygun bir format içerisinde bu sistem içerisinde depolanması tavsiye edilir.
- 11) Yurdumuzdaki tüm barajlara ait toplanan ölçme verilerini, her bir baraj için değerlendirecek bir ortak yazılım sisteminin geliştirilmesi tavsiye edilir.
- 12) Barajların bakımı, ölçme verilerinin toplanması ve değerlendirilmesi konusunda teknik elemanların idare içinde yıllık eğitimlere alınması tavsiye edilir.
- 13) Barajın yapısal emniyetinde tehlike olması durumunda kullanılması gereken dipsavak vanaların tüm barajlarda bakımlarının yapılması tavsiye edilir.
- 14) İnşa aşamasındaki barajlarda çalışmalar sırasında ölçüm alet kablolarının itina ile korunması ve belirli kotlardan alınacak ölçüm verilerinin raporlanması önerilir. Ayrıca, baraj bitiminde ölçüm aletlerinden ölçüm verileri alacak ve raporlayacak personelin inşaat aşamasından itibaren yetiştirilmesi uygun olur.
- 15) Yeni yapılmakta olan barajlarda oluşturulacak aletsel ölçüm sisteminin otomatik ve uzaktan erişimli olması önerilir.
- 16) Deformasyon ölçmeleri kapsamında, üç ayda bir kret nivelman ölçmelerinin yapılması ve yıllık periyotlarda da diğer obje noktalarında jeodezik ölçmeler yapılması ve baraj geometrisindeki değişimlerin izlenmesi oldukça önemlidir.
- 17) Her baraj için bir acil durum tahliye planı geliştirilmesi çok önemlidir.

### 5. Katkı Bildirme

Yazarlar, Tarım Bakanlığı Baraj Emniyeti İhtisas Komisyonu üyeleridirler. Tarım Bakanlığı'na, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'ne ve Bölge Müdürlükleri'nde destek veren personeline katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

### 6. Kaynaklar

- Linsley R. K., Franzini, J. B., Freyberg, D.L., Tchobanoglous, G. (1992). Water Resources Engineering, McGraw-Hill, Inc., New York.
- Penman, A. D. (2017). Instrumentation, monitoring and surveillance: Embankment dams. Routledge.