



## Noktasal taşkın frekans analizi: Göksu Nehri ve Kayraktepe Barajı vaka analizi

Nermin Şarlak<sup>1\*</sup>, Şahnaz Tiğrek<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 70200, Karaman, Türkiye

<sup>2</sup>Batman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 72060, Batman, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Planlama aşamasında olan Kayraktepe Barajının tarihsel süreci
- Baraj tasarım debisi tespitinde parametrik olmayan yaklaşımın uygulaması
- Parametrik olmayan yaklaşımın kullanılabilirliğinin tartışılması

#### Makale Bilgileri

Geliş: 10.11.2015

Kabul: 08.04.2016

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.278465

#### Anahtar Kelimeler:

K en yakın komşu,  
kayraktepe barajı,  
taşkın,  
bölgesel ağırlıklı polinom

#### ÖZET

Göksu Nehrinin mansabı olan Doğu Akdeniz kıyıları geçmiş dönemlerde birçok kez taşkın felaketine maruz kalmıştır. Oluşabilecek zararları önleme ve akarsudan faydalanabilmek için havza üzerinde pek çok çalışma yapılmaktadır. Bunlardan bir tanesi de otuz yılı aşkın süredir planlama aşamasında olan Kayraktepe Barajıdır. Bu çalışmada, Kayraktepe Barajının tarihsel süreci hakkında bilgi verilecek ve barajın amaçlarından biri olan taşkın kontrolüne katkı sağlamak amacıyla taşkın frekans eğrilerinin parametrik olmayan  $K$  en yakın komşu yöntemi (KEYKY) ile elde edilmesi üzerinde durulacaktır. Önerilen yöntem ile bulunan noktasal taşkın frekans eğrileri literatürde yer alan parametrik ve tüm Göksu havzasının keşif ve planlamasını yapan Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından verilen sonuçlar ile karşılaştırılarak, parametrik olmayan yaklaşımın da kullanılabilirliği sorgulanacaktır. Geçmiş fizibilite çalışmalarında 500 yıl görülme sıklığındaki akım değeri  $2363,95 \text{ m}^3/\text{s}$  olarak tahmin edilmiş olmasına rağmen, parametrik olmayan yöntem ile bu değer  $1814,83 \text{ m}^3/\text{s}$  değerine inmektedir. Tasarlanacak barajın boyutlarında oluşacak azalma hem ekonomi hem de çevresel kaygıları azaltma bakımından önem arz etmektedir. Sonuç olarak, bu çalışma barajın tasarım debisi tespitiyle ilgili kullanıcılara detaylı ve geniş bir tartışma sunmuş olacaktır.

## Flood frequency analysis: Case study of Göksu River and Kayraktepe Dam

### H I G H L I G H T S

- Historical process of the Kayraktepe Dam that has been on the planning stage
- Application of the non-parametric approach to determine design discharge of the dam
- Discussion on the applicability of the non-parametric approach

#### Article Info

Received: 10.11.2015

Accepted: 08.04.2016

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.278465

#### Keywords:

K nearest neighbors,  
kayraktepe dam,  
flood,  
regional weighted  
polynomial

#### ABSTRACT

The coast of Eastern Mediterranean located on downstream of the Göksu River has been exposed to flood disaster for several times in the past. Many studies in the basin have been carried out to prevent the developing damage and use advantage of the river. One of them is the Kayraktepe Dam which has been on the planning stage for more than thirty years. In this study, the information about historical process of the Kayraktepe Dam will be given and evaluation the flood frequency curves with nonparametric approach based on  $K$  nearest neighbors (KNN) in order to serve one of the purposes of the dam will be emphasized. While these results are compared with aforementioned parametric approaches as well as the results of Electrical Power Resources Survey and Development Administration which was responsible for performing initial investigation and planning of Göksu Basin, the applicability of the nonparametric approach will be questioned. Although quantile estimates for 500 years return period was  $2363,95 \text{ m}^3/\text{s}$  in past feasibility report, this value descended to  $1814,83 \text{ m}^3/\text{s}$  with nonparametric approach. The decreasing of designing dam dimensions is important to reduction both economical and environmental concern. As a result, the study will offer a detailed and a wide range of discussion on the design discharge of the dam.

\* Sorumlu Yazar/Corresponding author: nsarlak@kmu.edu.tr / Tel: +90 338 226 2214

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kayraktepe Barajı ilk olarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE)'nin Göksu Nehir havzası keşif çalışmaları sırasında tanımlanmıştır. Göksu Nehri 260 km uzunlukta olup yaklaşık 10 000 km<sup>2</sup>'lik bir alanı drenaj ederek, Silifke yakınlarında Akdeniz'e boşalmaktadır. Göksu Deltası bu nehrin taşıdığı alüvyonlar sonucunda oluşmuştur ve halen beslenmektedir. Ermenek ve Gökçay çayları nehrin iki ana koludur. Barajın öncelikli amacı enerji üretmek olsa da zamanla sulama ve taşkın kontrolü gibi yan amaçlar da yüklenmiştir. Son yıllarda Mersin ve Silifke yöresindeki can ve mal kaybına yol açan büyük sellerin oluşması barajın taşkın kontrolü vasfını öne çıkarmış ve bu amaçla barajın yapımının gerçekleştirilmesi yönünde istekler artmıştır. Barajın planlamadan projeye geçişini gerçekleştirmek için mühendislik çalışmaları 1977 yılında uluslararası çağrı sonucunda yerli ve yabancı ortakların olduğu bir konsorsiyuma (EPDC, Su-İş, Su-Yapı ve TMB) ihale edilmiştir. 1980 yılında baraj yer seçimi, fizibilite çalışmaları ve baraj boyutlandırılması tamamlanmış [1], ve 1983 yılında ise kati proje ve finansman planı hazırlanmıştır. Böylece baraj inşaatının başlanabilmesi sağlanmış ve 1986 yılında Devlet Su İşleri (DSİ) baraj inşaatını aynı konsorsiyuma vermiş ve Dünya Bankası kredi desteğiyle finansman sağlanmıştır. Ancak, barajın olası çevresel etkileri incelendikten sonra Dünya Bankası projeden desteğini çekmiştir. Çalışmalar bazı ön işler, şantiye binaları ve servis yollarının yapımından sonra ileri bir tarihe ertelenmiştir. Dünya Bankası projeden desteğini çekmesine sebep olarak barajın yapacağı çevresel etkilerin planlama aşamasında değerlendirilmemiş olmasını göstermiştir. Özellikle Ramsar antlaşmasıyla koruma altına alınan Göksu Deltası üzerinde durularak gerek su miktarının azalacak olması gerekse nehrin taşıdığı alüvyonların barajda tutulmasıyla verimliliğin azalacak olması öne çıkan nedenler olarak gösterilmiştir [2-5]. Baraj tekrar gündeme 1997 yılında alınmış, ancak aradan geçen on yılda bölgenin yoğun göç alması ve turizm faaliyetlerinin artmasıyla proje alanında kayda değer sosyal ve yapısal gelişmeler ve değişimler oluşmuştur. Buna ilaveten gerek barajın mansabında gerekse membasında sulu tarım gelişmiştir. Tüm bunlar arazi istimlak maliyetlerinin artmasına sebep olmuş ve barajın revize edilmesi gündeme gelmiştir. Böylece 1997 yılında Göksu-Kayraktepe Barajı fizibilite revizyon sonuç raporu yayınlanmıştır [6]. Söz konusu çalışmada baraj kret kotu 196 metreden 160 metreye düşürülerek daha önceki baraja göre daha küçük bir baraj önerilmiştir. Bunun sonucunda da kurulu güç 206 MW'dan 149 MW'a düşmüştür. Ancak 2000'li yıllara gelindiğinde gerek Dünya'da gerekse Türkiye'de enerji politikaları artan çevresel kaygılar ve toplumsal baskıyla değişmiş ve büyük barajların finansmanı oldukça güç olmaya başlamıştır. Türkiye, enerji piyasasının özelleştirilmesi amacıyla arda arda yasal düzenlemeler yapmış ve 2008 yılında Kayraktepe barajı özel sektöre verilmiştir. Özel sektör projeyi yeniden revize ederek bir küçük baraj ve beş nehir santrali olarak optime etmiş ancak

bu çözüm DSİ tarafından Silifke ve yöresinde son yıllarda artan sellerin yarattığı kaygıyla kabul görmemiştir [5, 7]. Tüm bu sebeplerle Göksu Nehri için ama Kayraktepe barajı özelinde taşkın frekans analizlerinin gözden geçirilmesi, projenin gelecekteki revizyonu için faydalı olacağı düşünülerek bu çalışma yapılmıştır. Taşkın frekans analizlerinin (TFA) başlıca amacı, ekstrem olarak akarsular üzerinde gerçekleşen taşkınların, tekrarlar sıklıklarıyla ilişkilerinin kurulmasını sağlamaktır. 100-yıl, 500-yıl tekrarlar sıklıklarına karşılık gelen taşkın debileri baraj, menfez ve köprü gibi hidrolik yapıların tasarımında kullanılmaktadır. Literatürde yer alan parametrik TFA, maksimum taşkın değerlerinin bağımsız ve en önemlisi tek homojen bir olasılık dağılıma (odf) sahip olduğu varsayımlarına dayanır. Uygun odf L- moment oran diyagramı gibi pek çok istatistiksel testler ile seçilebilir dahi veriler için doğru dağılım bazen yaklaşık olarak seçilebilmektedir. ODF'e karar verildikten sonra parametreler momentler, maksimum olasılık, olasılık-ağırlıklı momentler gibi yöntemlerden biri kullanılarak tahmin edilir. Bu sebepten bu yöntemlere parametrik yöntem denilmektedir [8]. Parametrik yaklaşımlarla taşkın frekans tahmini pek çok araştırmacı tarafından yapılmıştır [9-13]. Araştırmacıların verilerinin uyduğunu tahmin ettikleri dağılımlar arasında Logaritmik normal (LN), Gumbel (EV) ve Log-Pearson Tip III (LP3) dağılımları sayılabilir. Ancak, taşkın oluşumunda yağış ve kar erimesi gibi birden fazla fiziksel mekanizmanın etkili olması durumu taşkın veri seti için tek homojen bir dağılım değil iki veya daha fazla dağılım karmasının bir arada düşünülmesini gerekli kılar. Sahip olunan karma topluma (heterojen) neden olarak yıllık maksimum taşkın debisindeki mevsimsel çeşitlilik (taşkınlar ilkbahar ayında kar erimesinden veya sonbaharda şiddetli yağmurdan kaynaklanmış olabilir), El-Nino/La-Nina etkisi, zemin nemi ve zemin kaplamasındaki değişimlerin etkisi gösterilmiştir [14]. Karma dağılımlı yöntemleri öneren araştırmacılar, ilk olarak yıllık taşkın veri serisini oluşma mekanizmalarına göre alt gruplara ayırmakta, daha sonra alt grupların her birine uygun dağılım belirledikten sonra tüm veri setine uydurulmak üzere dağılımları biraraya getirmektedirler. Ancak önerilen bu yaklaşımın gözlem veri setine uygulanmasında iki önemli güçlük vardır: 1- uygun taşkın oluşma mekanizması veya alt grup sayılarının ve 2- her bir alt grup için olasılık dağılım fonksiyonlarının belirlenememesidir [15-18]. Bu kısıtlamaların yanı sıra eldeki örnek büyüklüğü karma toplamları tespit etmek için genelde yeterli olmadığından bu tip yöntemlerin uygulama alanları kısıtlı kalmıştır. Tüm bu sebepler araştırmacıları, veriye dayalı, esnek ve verinin sergilediği herhangi özelliği yakalayabilme kapasitesine sahip yöntemleri tesis etmeye teşvik etmiştir. Bu amaçla, parametrik olmayan yöntemlerle çeşitli tekrarlar sıklıklarına ait akım miktarları tahmin edilmeye çalışılmıştır [19-22]. Parametrik olmayan yöntemlerin gözlem verilerinin herhangi bir dağılıma uydurulmak zorunda olmaması bir avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nitelik ile parametrik olmayan yöntemler veri tarafından sergilenen homojen veya değil herhangi

dağılım özelliklerini yakalayabilmektedir. Çalışmada bu yöntem ile farklı görülme sıklıklarına (50 yıl, 100 yıl ve 500 yıl) ait taşkın debi değerleri literatürde yer alan parametrik ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından sunulan fizibilite raporlarındaki sonuçlar ile kıyaslanmıştır. Sonuç olarak bu çalışma ile seçilen havzadaki taşkın kontrolüne katkı sağlamak amaçlanmıştır.

## 2. YÖNTEM (METHODOLOGY)

Bu çalışmada bölgesel ağırlıklı polinoma dayalı parametrik olmayan uyarlanmış  $K$  en yakın komşu (UKEYKY) yaklaşımı taşkın frekans eğrilerinin elde edilmesinde kullanılmıştır.

### 2.1. Uyarlanmış $K$ En Yakın Komşu Yaklaşımı (UKEYKY) (Modified $K$ Nearest Neighbors Approach)

İstatistiksel tahmin modelleri en genel hali ile aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$Y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_p) + \epsilon \quad (1)$$

Eş. 1'deki  $f$  bağımsız değişkenlere ( $\chi_1, \chi_2, \chi_3, \dots, \chi_p$ ) uydurulan fonksiyonu (veya polinomu),  $Y$  bağımlı değişkeni (bu çalışmada taşkın debisi) ve  $\epsilon$  ise normal dağıldığı varsayılan hata terimlerini ifade eder. Geleneksel yöntemlerde öncelikle fonksiyon doğrusal olarak tüm veri setine uygulanmaktadır. Daha sonra parametre tahmini aşamasına geçilmektedir. Eğer doğrusal ilişki yeterli değil ise daha yüksek dereceli modeller (üçüncü, dördüncü vs.) göz önüne alınabilmektedir. Bu tip modellerde tüm veri seti için tek fonksiyon tanımlandığından olası bölgesel değişkenlikleri yakalamada fonksiyon yetersiz kalabilmektedir. Bölgesel fonksiyon tahmin yöntemleri ise bölgesel olarak fonksiyon tanımlayabilmekte ve verilerin sergilediği özellikleri doğrusal olmasa da yakalayabilmektedir. Literatürde pek çok bölgesel tahmin yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemlerden biri de bölgesel ağırlık polinomunu kullanan UKEYKY yöntemidir [23]. Yöntemin, taşkın debisinin bulunmasında izlediği yol şu şekilde özetlenebilir:

1. Akım gözlem istasyonlarında ölçülmüş maksimum akım değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanır. 2. Weibull yöntemi kullanılarak noktalama pozisyonları ve  $T$  (görülme sıklığı) bulunur. 3.  $T$  ye karşılık maksimum akım değerleri çizilir. 4. Verileri tanımlayabilecek bölgesel fonksiyonu (veya polinomu) oluşturabilmek için polinomun derecesine ve komşu adedine karar verilmesi gerekir. Genellenmiş çapraz validasyon ( $GÇV$ ) amaç kriteri, komşu adedine ( $K$ ) ve polinom derecesine ( $pd$ ) (genelde 1 veya 2) karar vermek için kullanılabilir [24]. Minimum  $GÇV$  değerini sağlayan kombinasyonu tahmin fonksiyonunu belirlemede kullanılan parametreler olarak seçilir.  $GÇV(K, pd)$  aşağıdaki şekli ile formüle edilmektedir:

$$GÇV(K, pd) = \frac{\sum_{i=1}^N \epsilon_i^2}{(1 - \frac{m}{N})^2} \quad (2)$$

Eş. 2'deki  $\epsilon_i$  hata miktarını,  $N$  örnek büyüklüğünü ve  $m$  değişken sayısını ifade etmektedir (iki parametre ( $K$  ve  $pd$ ) söz konusu olduğundan  $m=2$ 'dir).

5.  $K$  adet gözlem çifti bir önceki madde ile belirlenebildiği gibi farklı bir yaklaşımda kullanılabilirliğinden, bu çalışmada literatürde en çok kabul gören gözlem süresinin karekökü yaklaşımı benimsenmiştir.  $K$  adet komşu değerleri bulduktan sonra bu değerleri temsil eden derecesi  $pd$  olan bölgesel polinom her bir gözlem verisi için elde edilir. Bölgesel ağırlıklı polinomun çizilmesinde hazır paket program (LOCFIT gibi) kullanılabilir [25]. Elde edilen bölgesel polinom daha sonra bağımlı değişkenin tahmininde kullanılır. 6.  $K$  adet komşu veri çiftini tanımlamada belirlenen polinom ile veri çiftleri arasındaki hata terimleri ( $\epsilon$ ) hesaplanır. 7. Elde edilmek istenen  $T$  değerine karşılık gelen bağımlı değişken tanımlanan polinomdan elde edilir,  $Y_{yeni}$ . 8.  $K$  adet komşu için bulunan hata terimlerinden, elde edilmek istenen değere en yakın olana daha fazla ağırlık en uzak olana daha az ağırlıkların tanımlandığı ağırlık fonksiyonu kullanılarak rasgele olarak belirlenir ve  $Y_{yeni}$  değerine eklenir. Ağırlık fonksiyonu formülü Eş. 3'de verilmiştir:

$$W_j = \frac{1}{j \sum_{i=1}^K 1/i} \quad (3)$$

$j$  1 den  $K$ ' ya kadar değer alabilmektedir. Her bir komşu değere ağırlık değeri ( $W_j$ ) tayin edildikten sonra üniform dağılım kullanılarak rasgele sayılar türetilir  $u \sim U(0,1)$ . Eğer  $u \geq W_1$  ise  $W_1$  ağırlığının tayin edildiği komşu değerin hata değeri, eğer  $W_1 < u < W_K$  ise  $u$  değerine en yakın olan ağırlığın tayin edildiği komşu değerin hata değeri  $Y_{yeni}$  değerine eklenir. 9. İşlem daha fazla örnekleme ile olasılık yoğunluk fonksiyonu değişmeyecek hale gelinceye kadar belirlenmiş sayıda tekrarlanır (bu çalışmada 100 kere). 10. Elde edilmek istenen her bir değere karşılık yukarıdaki işlemler tekrarlanır [24].

### 2.2. Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) Yöntemi (General Directorate of Electrical Power Resources Survey and Development Administration Approach)

EİE yöntemi uluslararası literatüre girmeyen ve dönemin mühendisleri tarafından özellikle uzun süreli taşkın olaylarının taşkın hidrograflarının elde edilmesi için geliştirilen bir yaklaşım yöntemidir. Gerek Kayraktepe barajının 1982 ve 1997 yıllarında yayınlanan fizibilite raporlarında [6, 26] gerekse Göksu Nehir Havzasındaki diğer barajların taşkın hesaplamalarında bu yöntemin kullanıldığı açıkça görüldüğünden çalışmamızda bu karşılaştırmaya da yer verilmiştir. Yöntemde akım gözlem istasyonunda gözlemlenen günlük ortalama akımlardan saptanan yıllık en çok (maksimum) akım değerleri taşkın hidrograflarının elde edilmesinde kullanılmaktadır. Hidrografın tepe noktasının bulunmasında yıllık maksimum akımlar kullanılmaktadır. Farklı görülme sıklıklarına (100 yıl, 500 yıl, 1000 yıl ve 10 000 yıl) karşılık en yüksek akımlar gözlemlenen ortalama günlük maksimum akım ve

Kolmogrov-Simironov testi kullanılarak hesaplanmaktadır. Kolmogrov-Simironov testi hidrograflar için uygun dağılıma karar vermek için kullanılmaktadır. Hidrografın süresi 1 gün, 3 gün, 7 gün, ....., 25 gün seçilebilmektedir. Yöntemde öncelikle bir günlük akımın tepe noktası maksimum günlük ortalama akımlar kullanılarak bulunmaktadır. Hidrografın süresinin üç gün olması durumunda hidrografın tepe noktasının bulunmasında üç günlük maksimum ortalama günlük akımlar kullanılmaktadır. Gözden kaçırılmaması gereken nokta kullanılan günlük verilerin art arda gelmesi gerekliliğidir. Bunun için yıllık veriler analiz edilir ve her bir yılın üç günlük ortalama akım verileri ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Daha sonra bu değerlerden en yüksek olan akım değeri seçilir.

Üç günlük hidrografın hesaplanma aşamaları şu şekilde özetlenebilir:

1. Yıllık ortalama günlük akım verileri sıralanır.
2. Üç günlük ortalama akım değerleri aritmetik ortalama yöntemi ile hesaplanır. Bu prosedür tüm yıllar için tekrarlanır.

$$\sum_{i=1}^3 \frac{Q_i}{3} = Q_{ort-1}$$

$$\sum_{i=2}^4 \frac{Q_i}{3} = Q_{ort-2} \quad (4)$$

$$\sum_{i=363}^{365} \frac{Q_i}{3} = Q_{ort-363}$$

Eş.4' deki  $Q$ = günlük debi ( $m^3/s$ ),  $i$ = gün sayısı (1-365 (veya 366)) ve  $Q_{ort}$ = üç günlük ortalama debi ( $m^3/s$ ).

3. Ortalama debiler bulunduktan sonra göz önüne alınan yıl için maksimum akım değeri belirlenir. Elde edilen maksimum akım değeri frekans analizi çalışmasında kullanılır. 4. Son olarak, farklı görülme sıklıklarına karşılık akım değeri üç günlük maksimum ortalama akım verileri ve uygun dağılıma karar verebilmek için Kolmogrov-Simironov testi kullanılarak elde edilir.

Yukarıda maddeler halinde özetlenen yöntem 5, 7,.....,23 ve 25 günlük hidrograf süreleri için tekrarlanır. Hesaplanan debiler maksimum değerlerin sağına ve soluna simetrik olarak dağıtılır. Hidrografların altında kalan alan taşkın hacmini vermektedir.

Bu yöntemin kısıtlamaları şu şekilde sıralanabilir:

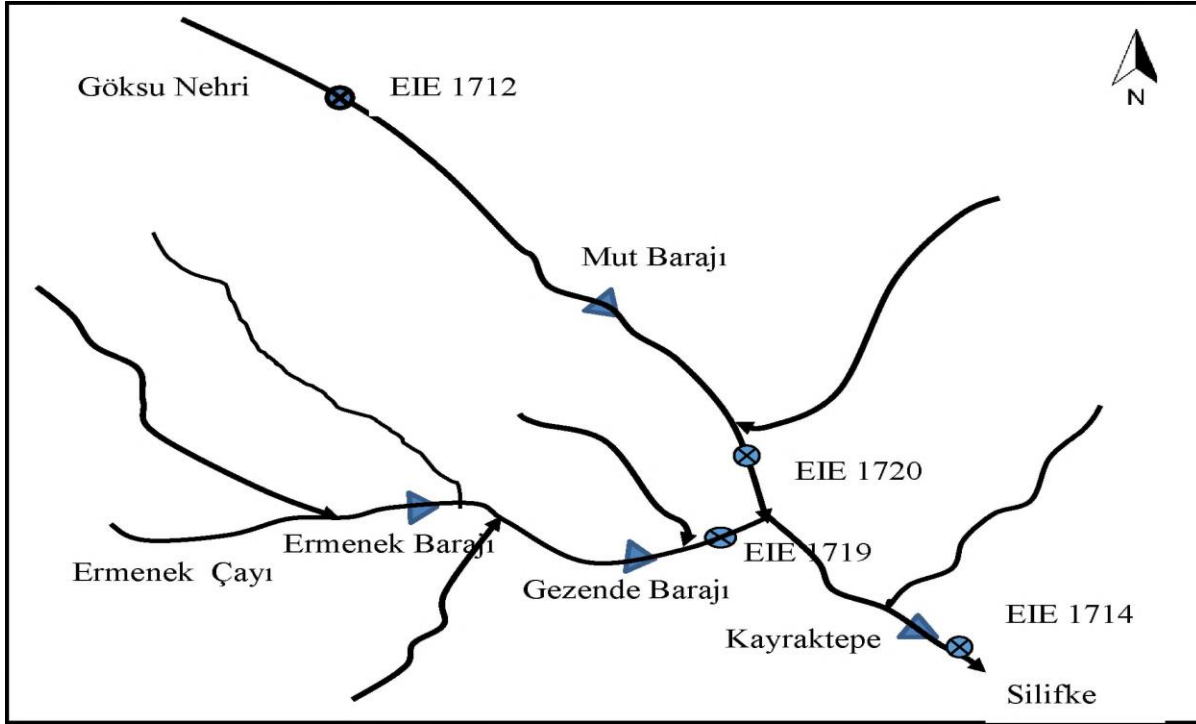
1. Taşkın hidrograflarını elde etmek için kullanılan bu yöntemde akış değerleri kullanılmaktadır. Genel uygulama bunların birim hidrograftan üretilmesidir. 2. Bu yöntemde ardışık günlük debilerin seçilmesi ihtimali vardır ve bu da veriyi bağımlı kılabılır. 3. Frekans analizi 1, 3, ....., 25 güne

karşılık gelen türetilmiş akım verilerine uygulanmaktadır. Kolmogorov-Simironov testiyle elde edilen hidrograftan tek bir olasılık yoğunluk fonksiyonuna karar verilmektedir. Ancak söz konusu günler için farklı olasılık yoğunluk fonksiyonları tanımlamak mümkün olabilmektedir. Ama yinede geçmiş yıllarda bu analizlerin el ile yapıyor olması sebebiyle bazı deneme-yanılma metotlarıyla havza bazında belli kriterlere karar verilmiş olduğu unutulmamalıdır [5].

### 3. ÇALIŞMA ALANI (STUDY AREA)

Göksu havzası Akdeniz ve İç Anadolu bölgesinde, Adana bölümünün batısında yer alır. İki önemli kolu olup bunlar Gökçay ve Ermenek çayıdır. Bu iki akarsu Mut ilçesi civarında "Suçatı" mevkiinde birleşerek Göksu nehrine bağlanır ve Silifke yakınlarında denize dökülür. Yaklaşık 10 000  $km^2$  drenaj alanına sahip olup, havzanın en yüksek yeri 2509 m' lik zirvesi ile Karadağ'dır. Havza hem akdeniz hem de karasal iklimin etkisindedir ve genelde en yüksek akım yüksek yerlere yağın erimesinden dolayı Mart ve Nisan aylarında gözlenmektedir. Havzada mülga EİE ve DSİ tarafından kurulan 18 akım gözlem istasyonu bulunmaktadır. Yöntemlerin performanslarını test edebilmek için Göksu nehri üzerinde EİE tarafından kurulan üç akım gözlem istasyonu verileri kullanılmıştır. Şekil 1'de seçilen gözlem istasyonlarının konumları görülmektedir. EİE 1712 ve EİE 1720 istasyonları Ermenek çayı ve Göksu nehri birleşim noktasının membasında yer almaktadır. Ayrıca EİE 1712 istasyonu planlama aşamasında olan Mut barajının membasında yer alırken, EİE 1720 istasyonu barajın mansabında yer almaktadır. Dolayısıyla iki akım gözlem istasyon verileri de etkilenmemiş akım değerleridir.

Seçilen diğer istasyon olan EİE 1714 Göksu nehri üzerinde olup planlama aşamasında olan Kayraktepe barajının mansabında yer almaktadır. Söz konusu istasyon mevcut barajların mansabında yer aldığından dolayı müdahale edilen akım değerleri baraj yapılmadan önceki doğal akımlar kullanılarak doğal rejimli hale getirilmeye çalışılmıştır. Göksu nehri üzerinde 1990 yılında tamamlanan ilk baraj Gezende barajıdır. Bu sebepten elimizde mevcut olan EİE 1719 ve EİE 1720 istasyonları için 1966-1990 dönemine ait akım değerleri toplamı ile EİE 1714 istasyonu akım verileri arasında lineer ilişki aranmıştır. Elde edilen lineer denklemin EİE 1714 istasyonu akım verilerini yakalamadaki hata oranı %10 olarak bulunmuştur. Lineer denklem kullanılarak 1990 yılı sonrası akım verileri doğal hale getirilmeye çalışılmıştır. Ancak, EİE 1719 istasyonu Gezende barajının mansabında yer almaktadır. Bu sebepten barajın membasında yer alan EİE 1723 akım verileri (1990 öncesi) kullanılarak aynı yöntemle EİE 1719 istasyonu verileri düzeltildikten sonra EİE 1714 istasyonu verilerinin düzeltilmesi için elde edilen denkleme girdi verisi olarak girilmiştir. Dolayısı ile model sonuçlarının yorumlanmasında söz konusu istasyonun doğal akım verilerinin bulunmasında olası bilgi kaybı göz ardı edilmemelidir. Seçilen istasyonların gözlem süreleri 42 ila 46 yıl arasında değişmektedir ve Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Seçilen akım gözlem istasyonlarının konumları (The locations of selected streamflow gaging stations)

Tablo 1. Seçilen istasyonların gözlem süreleri ve örnek büyüklükleri  
(Observation duration and sample size of selected stations)

İstasyon no	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Yükseklik (m)	Gözlem süresi	Örnek büyüklüğü
EİE 1712	36°38'	33°01'	397	1962-2007	46
EİE 1714	36°24'	33°48'	24	1961-2005	44
EİE 1720	36°38'	33°22'	127	1966-2007	42

Tablo 2. EİE 1714 istasyonu model sonuçlarının gözlem debi değerlerine oranları  
(Ratio of the results of each approach to historical discharge values for EİE 1714)

Oran	Görülme Sıklığı, $T$ (yıl)				
	1	2	9	23	45
UKEYKY/Gözlemlenen veri	1,58	1,01	1,00	1,00	0,99
Parametrik LN/Gözlemlenen veri	1,71	0,93	1,06	1,02	1,12
Parametrik EV1/Gözlemlenen veri	2,10	0,87	1,06	1,14	1,37
Parametrik LP3/Gözlemlenen veri	1,64	0,98	1,02	0,92	0,95

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Önerilen yöntemin performansını test etmek için öncelikle gözlem değerleri veri setinden tek tek çıkarılarak gözlem süresince maksimum akım verileri görülme sıklıklarına göre UKEYKY yöntemi ile yeniden elde edilmeye çalışılmıştır. Daha sonra verilerin LN, EV1 ve LP3 dağılımlarına uyduğu varsayımı ile maksimum akım verileri her bir istasyon için hesaplanmıştır. Görülme sıklıklarına karşılık modellerden tahmin edilen debi değerlerinin gözlemlenen debi değerlerini yakalamadaki

başarısı, Kayraktepe barajının inşa edilmesi düşünülen bölgede yer alan EİE 1714 istasyonu özelinde incelenmiştir. Bu amaçla, dört farklı yöntem sonuçlarının gözlem debi değerlerine oranları hesaplanmış ve Tablo 2' de sunulmuştur. Her bir yöntemden elde edilen sonuçlar ile gözlem verisi arasındaki farklılıklar görülme sıklığının bir yıl olması durumunda en fazladır. Tablo 2'den görüleceği gibi modeller gözlem verisinden daha büyük değerler tahmin etmiş ve en yakın tahmin parametrik olmayan yöntemden elde edilmiştir. Diğer  $T$  değerleri için ise UKEYKY yöntemi neredeyse 100% başarı sergilemiştir. Parametrik modelleri kendi içinde değerlendirdiğimizde ise,

LP3 dağılımı varsayımı altında hesaplanan tahminlerin gözlem değerlerine daha yakın olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç literatürü destekler niteliktedir. Özcan (1990) 23 havzada 112 istasyonun yıllık taşkın verisine altı farklı dağılım uygulayarak noktasal taşkın frekans analizi yapmış ve istasyon verilerine LP3 dağılımın en iyi uyum gösterdiğini tespit etmiştir [27]. Benzer şekilde Haktanır (1991) çalışmasında yine 23 havzada 112 istasyonun yıllık taşkın verilerine yedi farklı dağılım uygulamış ve bu dağılımların parametrelerini momentler, maksimum olasılık ve olasılık-ağırlıklı momentler yöntemleri ile belirlemiştir. Ki kare ( $\chi^2$ ) ve Kolmogorov-Simironov uygunluk testleri sonucunda LP3 dağılımının Türkiye akarsuları için diğerlerine göre daha uygun olduğunu belirtmiştir [9]. Çalışmada bahsedilen yöntemlerden tahmin edilen verilerin gözlem verileri ile benzer özellik gösterip göstermediği  $\chi^2$  homojenlik testi ile test edilmiştir. Sıfır hipotezi, gözlenmiş verilerin kategorilerdeki miktarları yöntemlerden tahmin edilenler ile benzerdir olarak belirlenmiştir ( $p_{gözlenmiş}=p_{UKEYKY}=p_{LN}=p_{EVI}=p_{LN}$ ).

Alternatif hipotez ise en az birinde sıfır hipotezinin sağlanamamasıdır. Hesaplanan  $\chi^2$  homojenlik testi değerleri Tablo 3'te verilmiştir. EİE 1712 istasyonu için 20 serbestlik derecesinde 0,05 önem seviyesinde  $\chi^2$  istatistik değerinin 10,84 değerinden daha büyük olabilme ihtimali 0,95 ( $p(\chi^2 > 10,84) = 0,95$ ) olduğundan ve hiçbir  $p$  değeri 0,05'ten küçük olmadığından sıfır hipotezi geçerlidir. Yani  $\chi^2$  dağılımı her biri için geçerlidir ve veri setleri arasında fark yoktur.

**Tablo 3.**  $\chi^2$  ve Olasılık (p) Değerleri ( $\chi^2$  ve Probability Values)

Yöntem/ İstasyon	$\chi^2$	p
EİE 1712	10,84	0,950
EİE 1714	8,49	0,988
EİE 1720	7,47	0,995

Parametrik ve parametrik olmayan yöntemler ve EİE yöntemi ile 50-, 100-, ve 500- yıl görülme sıklığındaki en yüksek akım değerleri de hesaplanmış ve Tablo 4'de sunulmuştur. EİE yönteminden elde edilen sonuçlar Sever (2010) çalışmasından alınmıştır. Ayrıca EİE 1714 istasyonu için tahmin edilen taşkın değerinin ( $T=500$  yıl) bölgesel taşkın analizi ve taşkın öteleme yapılarak hesaplandığı vurgulanmalıdır [5]. Sever (2010) tarafından elde edilen değerlerin logaritmik dağılım varsayımı ile elde edilen taşkın değerlerine yakın olduğu görülmektedir. Tablo 4'de sunulan değerlere bakıldığında Tablo 2'ye benzer şekilde UKEYKY yöntemi ile tahmin edilen değerlerin parametrik LP3 dağılımı varsayımı altında tahmin edilen değerlere yakın olduğu görülmektedir. UKEYKY yönteminin gözlenmiş veri setindeki başarısı ve LP3 dağılımından tahmin edilen değerlere yakın olması göz önüne alındığında, önerilen yöntemin gözlem veri süresinden daha büyük görülme sıklıklarında (50-, 100-, ve 500 yıl) da

başarılı olduğu sonucu çıkarılabilir. Gözlem süresi boyunca ve 50-, 100-, ve 500 yıl görülme sıklıkları için herbir yaklaşımdan tahmin edilen taşkın debi değerleri Şekil 2, 3 ve 4'de görsel olarak sunulmuştur. UKEYKY yaklaşımı ile tahmin edilen taşkın değerleri her ne kadar 100 yıl görülme sıklığından sonra sabit bir seyir izliyor gibi görünse de LP3 dağılımı varsayımı altında tahmin edilen değerlerden farklılık arz etmemektedir. Sunulan yaklaşımların geçerliliğini test etmek için yaptığımız çalışmada da gözlem verilerine en yakın tahminlerin UKEYKY yaklaşımından sonra LP3 dağılımı varsayımı altında bulunduğu dikkatten kaçmaması gereken bir durumdur.

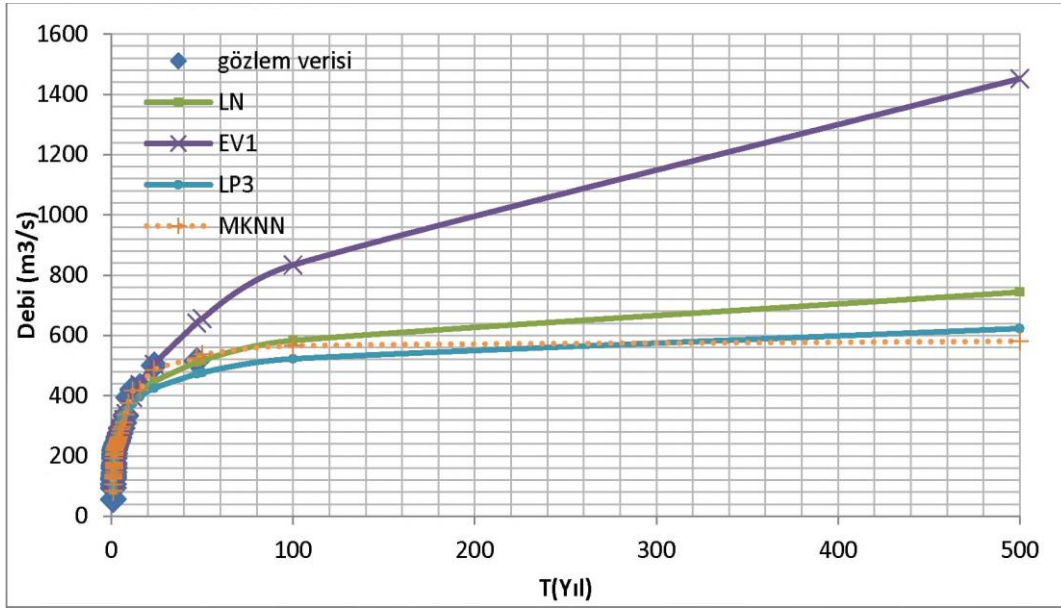
Pek çok parametrenin göz önüne alınması gereken fiziksel problemlerin çözümü için geliştirilen modeller kısıtlamaları ile sunulmaktadır [28-30]. Parametrik modellerde mevcut olan kısıtlamalar parametrik olmayan yöntemlerde giderilmeye çalışılsa dahi parametrik olmayan yöntemlerin veri sayısı ile ilişkili olması yadsınamaz. Bu bakımdan, "Parametrik olmayan yöntemlerden 50, 100 ve 500 yıl görülme sıklığında güvenilir sonuçlar elde edilip edilemeyeceği?" akla gelebilecek bir sorudur. Apipattanavis ve diğ., (2010) çalışmasında bu sorunun cevabını araştırmışlar ve dağılımı bilinen veri setleri kullanıldığında parametrik olmayan yöntem tahminlerinin varyansının  $T$  (tekrarlama sıklığı) arttıkça parametrik yöntemlerdeki varyansa oranla daha fazla olduğunu ve %90 güven aralığında doğru sonuçlar verdiğini göstermişlerdir [14]. Bu sebepten yüksek tekrarlama sıklığında veri setinin dağılımı biliniyorsa parametrik yöntemlerin kullanılması daha doğru olacaktır. Ancak verilerin dağılımının bilinen dağılımlara uymadığı göz önüne alınırsa parametrik olmayan yöntemlerin kullanılması doğrudur.

Fizibilite çalışmalarında kullanılan EİE yönteminden 500 yıl görülme sıklığındaki akım değeri 2363,95 m<sup>3</sup>/s iken UKEYKY yöntemi ile bu değer 1814,83 m<sup>3</sup>/s'ye inmektedir. UKEYKY değeri kullanılarak tasarlanan barajın boyutlarında oluşacak azalma hem ekonomi hem de çevresel kaygıları azaltma bakımından önem arz etmektedir.

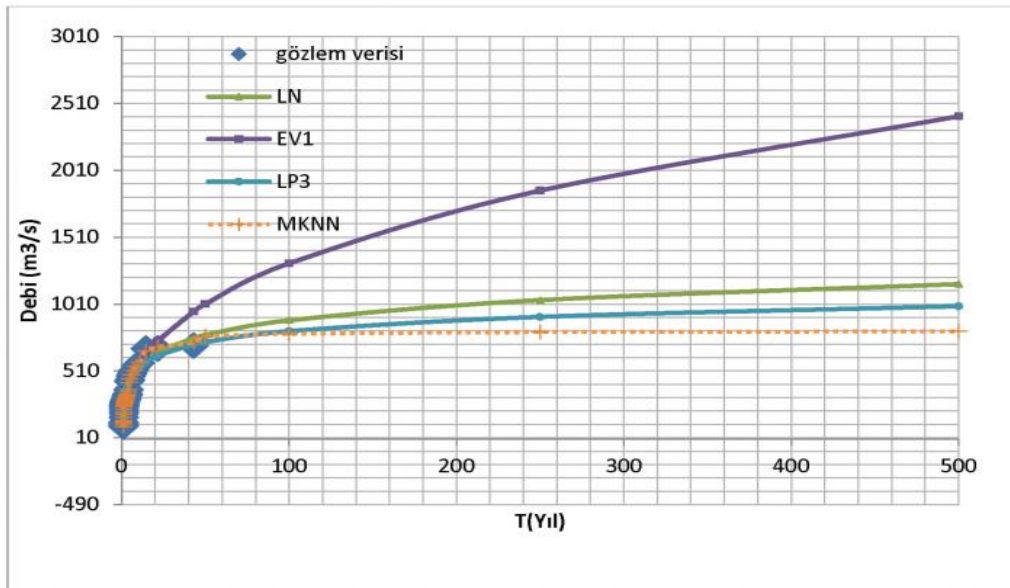
Gül ve diğ. (2013) taşkın frekans analizlerinde kullanılan istatistiksel yöntemlerin aşırı uç taşkın istatistiklerinin durağan olduğu kabulüne dayandığını, bu sebeple gözlemlenen taşkın verilerinde saptanan artış veya azalış eğilimlerini hesaba katan durağan olmayan hidrolojik zaman serilerinin frekans analizi için GEV-CDN adı verilen modeli önermişlerdir [31]. Çalışmamızda kullanılan maksimum akım verilerinde istatistiksel olarak anlamlı eğilimlerin olup olmadığını tespit edebilmek için parametrik olmayan Mann-Kendall yöntemi kullanılmıştır. Her bir istasyonda gözlemlenen maksimum akım verilerinde %10 önem seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı her hangi bir eğilim tespit edilememiştir. Bu sonuç bize söz konusu istasyonlar için geleneksel yöntemlerin kullanılabilirliği ifade etmesi açısından önemlidir.

**Tablo 4.** 50-, 100-, ve 500 yıl görülme sıklığında akım tahmini (m<sup>3</sup>/s)  
(Quantile estimates for 50-, 100- and 500 years return period (m<sup>3</sup>/s))

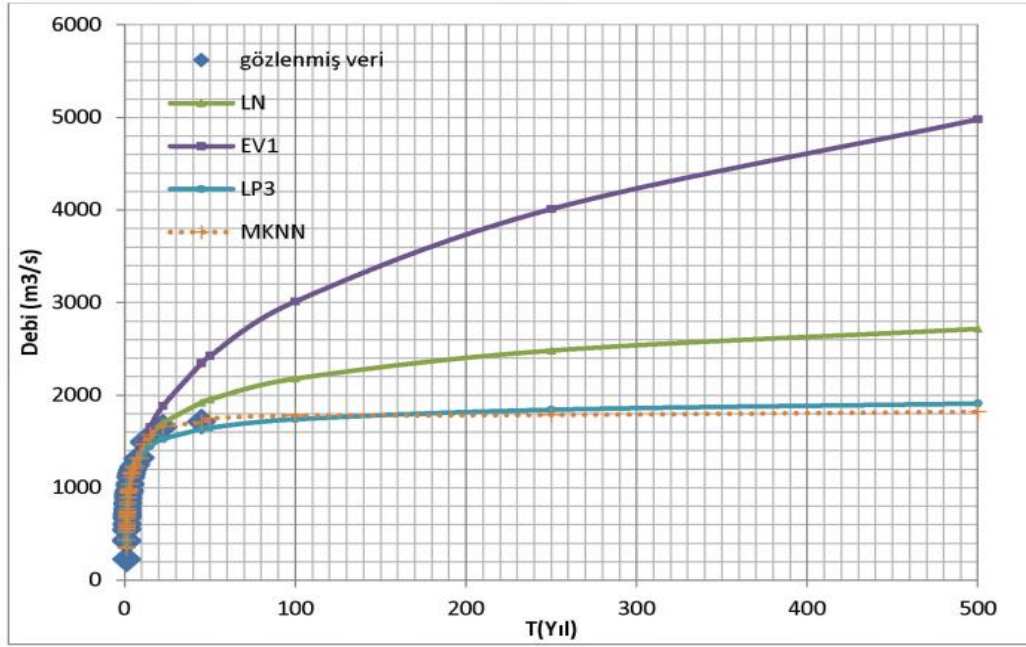
İstasyon / Yöntemler			UKEYKY	EİE	LN	LP3	EV1
EİE 1712	T	50	535,92	519,28	516,66	476,27	655,31
		100	565,33	579,75	582,70	522,04	833,26
		500	580,39	781,23	743,37	622,49	1451,73
EİE 1720	T	50	722,35	731,07	777,31	724,64	1008,73
		100	743,34	826,50	886,89	806,44	1312,65
		500	890,78	1057,95	1158,25	992,67	2412,44
EİE 1714	T	50	1721,49		1951,80	1646,68	2420,93
		100	1782,05		2176,57	1737,78	3009,67
		500	1814,83	2363,95	2713,93	1907,69	4977,11



Şekil 2. EİE 1712 istasyonu taşkın frekans eğrileri (Flood frequency curves for EIE 1712)



Şekil 3. EİE 1720 istasyonu taşkın frekans eğrileri (Flood frequency curves for EIE 1720)



Şekil 4. EİE 1714 istasyonu taşkın frekans eğrileri (Flood frequency curves for EIE 1714)

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada taşkın frekans analizlerinde alışılmış parametrik metotlar dışında bir metot olan ve  $K$  en yakın komşu yöntemi diye adlandırılan ve parametrik olmayan metodun uygulanmasının sonuçları bir vaka analizi olarak Kayraktepe Barajı için sunulmuştur. Yöre halkının 30 yılı aşkın bir süredir canlarını ve mallarını koruyabilmek ve en önemlisi 2001, 2004 ve 2006 yıllarında yaşamış oldukları felaketleri veya daha fazlasını yaşamak istemedikleri bilinmektedir. Ayrıca, barajın uzun yıllardır planlama ve projelendirme aşamasında olması ve değişik yıllarda tekrar revize edilmesi ve halen inşa edilmemiş olması sebebiyle çalışma sonuçlarının kullanılabilmesi öngörülmüştür. Barajlarda tasarım debisini belirlemek en önemli aşamalardan biridir. Olması muhtemel taşkın felaketine dayanamayacak şekilde barajı projelendirmek barajın yıkılması gibi çok büyük felaketlere neden olabilmektedir. Ancak, güvenli alanda kalmak adına projelendirmede çok büyük tasarım debisi kullanmak barajın boyutlarını etkilemekte ve ekonomik, çevresel ve sosyal problemlere neden olmaktadır. Çalışmamızda, parametrik olmayan yöntem öncelikle mevcut yöntemlerle kıyaslanmış ve geçerliliği sorgulandıktan sonra 500 yıllık taşkın tahmini için kullanılmıştır. Geçmiş fizibilite çalışmalarında kullanılan EİE yönteminden 500 yıl görülme sıklığındaki akım değeri  $2363,95 \text{ m}^3/\text{s}$  iken UKEYKY yöntemi ile bu değer  $1814,83 \text{ m}^3/\text{s}$ 'ye inmektedir. UKEYKY değeri kullanılarak tasarlanan barajın boyutlarında oluşacak azalma hem ekonomi hem de çevresel kaygıları azaltma bakımından önem arz etmektedir. Sonuç olarak yöntemin, Kayraktepe barajı tasarım debisinin tespit edilmesinde bir seçenek olarak uygulanabilir cazip bir alternatif olduğu vurgulanabilir.

## 6. SİMGELER (SYMBOLS)

$F$	Fonksiyon
$K$	Komşu adedi
$M$	Değişken sayısı
$N$	Örnek büyüklüğü
$P$	Olasılık
$Pd$	Polinom derecesi
$Q$	Günlük debi
$T$	Tekrarlama veya görülme sıklığı
$U$	Uniform rastgele sayı
$X$	Bağımsız değişken
$W$	Ağırlık değeri
$Y$	Bağımlı değişken
$\varepsilon$	Hata terimleri
$\chi$	Homojenlik test değeri
DSİ	Devlet Su İşleri
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EV	Gumbel dağılımı
GÇV	Genellenmiş çapraz validasyon
LN	Logaritmik normal dağılım
LOCFIT	Bölgesel ağırlıklı polinom
LP3	Log-Pearson tip 3 dağılımı
UKEYKY	Uyarlanmış $K$ en yakın komşu
ODF	Olasılık dağılım fonksiyonu
TFA	Taşkın frekans analizi

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Hayashi S. (project manager), Göksu–Kayraktepe Dam and Hydroelectric Power Plant Feasibility Report, prepared by Electric Power Development Co. Ltd., Japan and Suiş Proje Mühendislik Müşavirlik Ltd. Şti., Turkey, 1982.



2. Matthews G.V.T., *The Ramsar Convention on Wetlands: Its History and Development*, Ramsar Convention Bureau, Gland, Switzerland, 1993.
3. Biro Y.E.K., *Valuation of the Environmental Impacts of the Kayraktepe Dam/Hydroelectric Project, Turkey: An Exercise in Contingent Valuation*, *Ambio*, 27 (3), 224-230, 1998.
4. Öztürk A., *Sustainability assessment of a hydropower project: A case study of Kayraktepe Dam and HEPP*, Master Tezi, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2011.
5. Sever Ö., *Kayraktepe Dam and HEPP, environmentally acceptable alternative solution*, Master Tezi, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010.
6. EPDC, Suiş, TMB ve Su-Yapı, Göksu – Kayraktepe Baraj ve Hidroelektrik Santral Projesi Yapılabilirlik Raporu, Electric Power Development Co. Ltd., Japan, Suiş Proje Mühendislik Müşavirlik Ltd. Şti., Turkey, TMB Terzibaşoğlu Müşavir Mühendislik Ltd. Şti., ve Su – Yapı Müşavir Mühendisler Koll. Şti., 1997.
7. Sever Ö., Tiğrek Ş., Şarlak N., *Balancing Energy and Environmental Concerns: The Case of The Kayraktepe Dam, Turkey*, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 11769-11789, 2012, DOI: 10.5194/hessd-9-11769-2012.
8. Eslamian S., *Handbook of Engineering Hydrology, Modeling, Climate Change and Variability*. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, FL., 2016.
9. Haktanır T., *Statistical Modeling of Annual Maximum Flows in Turkish Rivers*, *Hydrological Sciences Journal*, 36 (4), 367-389, 1991.
10. Ahn J., Cho W., Kim T., Shin H., Heo J., *Flood Frequency Analysis for the Annual Peak Flows Simulated by an Event-Based Rainfall-Runoff Model in an Urban Drainage Basin*, *Water*, 6, 3841-3863, 2014. doi:10.3390/w6123841.
11. Topaloglu F., *Modeling Turkish Streamflows by using Probability Distributions*, *Fresenius Environmental Bulletin*, 15 (5), 385-392, 2006.
12. Yerdelen C., Karimi Y., ve Kahya E., *Frequency Analysis of Mean Monthly Streamflow in Coruh Basin, Turkey*, *Fresenius Environmental Bulletin*, 19 (7), 1300-1311, 2010.
13. Castellarin A., Kohnová S., Gaál L., Fleig A., Salinas J.L., Toumazis A., Kjeldsen T.R., Macdonald N., (eds), *Review of Applied-Statistical Methods For Flood-Frequency Analysis in Europe*, Published by the Centre for Ecology & Hydrology on behalf of COST, 2012.
14. Apipattanavis S., Rajagopalan B., Lall U., *Local Polynomial based Flood Frequency Estimator for Mixed Population*, *Journal of Hydrological Engineering*, ASCE, 15 (9), 1-12, 2010.
15. Woo M.K., Waylen P.R., *Areal Prediction of Annual Floods Generated by two Distinct Process*, *Hydrological Sciences Journal*, 29 (1), 75-88, 1984.
16. Singh K.P., *A Versatile Flood Frequency Methodology*, *Water Int.*, 12 (3), 139-145, 1987.
17. Singh V.P., Wang S.X., Zhang L., *Frequency Analysis of Nonidentically Distributed Hydrologic Flood Data*, *Journal of Hydrology*, 307, 175-195, 2005.
18. Webb R.H., Betancourt J.L., *Climatic Variability and Flood Frequency of the Santa Cruz River, Pima County, Arizona, U.S.* Geol. Surv. Water Supply Pap., 2379, 1992.
19. Adamowski K., *Nonparametric Kernels Estimation of Flood Frequencies*, *Water Resour. Res.*, 21 (11), 1585-1590, 1985.
20. Adamowski K., *A Monte Carlo Comparison of Parametric and Nonparametric Estimation of Flood Frequencies*, *Journal of Hydrology*, 108, 295-308, 1989.
21. Lall U., Moon Y.I., Bosworth K., *Kernel Flood Frequency Estimators: Bandwidth Selection and Kernel Choice*, *Water Resour. Res.*, 29 (4), 1003-1015, 1993.
22. Şarlak N., *Flood Frequency Estimator with Nonparametric Approaches in Turkey*, *Fresenius Environmental Bulletin*, 21 (5), 1083-1089, 2012.
23. Prairie J.R., *Long-term salinity prediction with uncertainty analysis: application for Colorado River above Glenwood Springs, CO*, Master tezi, University of Colorado, 2002.
24. Grantz K., Rajagopalan B., Clark M., Zagana E., *A Technique for Incorporating Large-scale Climate Information in Basin-scale Ensemble Streamflow Forecasts*, *Water Resour. Res.*, 41 (10), 2005.
25. Loader C., *Local Regression and Likelihood*, Springer, New York, 1999.
26. EİE, *Mut Barajı ve Hidroelektrik Santralı Yapılabilirlik Raporu*, Elektrik İşleri Etüt İdaresi, Ankara, 1995.
27. Özcan Z., *Türkiye Akarsularının Taşkın Pikleri Frekans Analizi*, Master Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 1990.
28. Hınıs M.A., *Hydrometeorological Drought Analysis in Aksaray by Aggregate Drought Index*, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28 (4), 711-721, 2013.
29. İnan A., Balas L., *A Finite Difference Approach for Extended Mild Slope Equation*, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28 (2), 401-408, 2013.
30. Albostan A., Önöz B., *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, 2015.
31. Gül G.O., Gül A., Yaşoğlu F.G., *Seyhan ve İyidere Havzalarında Modern Taşkın Frekans Analizi*, III. Ulusal Taşkın Sempozyumu, İstanbul-Türkiye, 2013.

