İMO Teknik Dergi, 2016 7403-7427, Yazı 451

Doğu Karadeniz Havzası'nın L-Momentlere Dayalı Taşkın Frekans Analizi

Tuğçe ANILAN[1]
Ömer YÜKSEK[2]
Murat KANKAL[3]

ÖZ

Bu çalışmada, Doğu Karadeniz Havzası'na taşkın frekans analizi uygulanmıştır. Bölgenin homojenliği, L-momentler yöntemine dayalı uyumsuzluk ölçüsü (D_i) ve heterojenlik ölçüsü (H_i) ile kontrol edilmiştir. Elde edilen homojen bölgeye uygun dağılımın belirlenmesi için L-momentlere dayalı uygunluk testi kullanılmıştır. Bölge için seçilen uygun dağılım fonksiyonuna göre T= 5, 10, 25, 50, 100 ve 500 yıl tekerrürlü taşkın debileri hesaplanmıştır. Bölgede ölçümü olmayan yerlerde taşkın debisi tahmini için regresyon modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerde bağımsız değişkenler olarak; drenaj alanı, eğim, kot, drenaj yoğunluğu, yıllık ortalama yağış ve yağış şiddeti değerleri kullanılmıştır. Modellerin performansını değerlendirmek için, ortalama rölatif hata, ortalama mutlak hata ve ortalama karesel hatanın karekökü değerleri hesaplanmış ve bölgede taşkın debisi tahmini yapılabilmesini sağlayacak denklemler elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Taşkın frekans analizi**,** l-momentler, Doğu Karadeniz Havzası.

ABSTRACT

Regional Flood Frequency Analysis of Eastern Black Sea Basin Based on L-Moments

In this study, a regional flood frequency analysis (RFFA) is applied to Eastern Black Sea Basin, Turkey. Homogeneity of the region is determined by both inconsistency (D_i) and heterogeneity measures (H_i) based on L-moments. Goodness of fit distribution test based on L-moments is used for the identification of the best distribution for the homogeneous region. Based on the appropriate distribution for the region, flood flows are estimated for the return periods of T=5, 10, 25, 50, 100, and 500 years. Regression models are developed for the estimation of design floods for ungauged catchments in the region. Drainage area, main stream slope, elevation, stream density, mean annual rainfall, and rainfall intensity values are used as independent variables in these models. Mean relative error, root mean square error, and mean absolute error values are applied to the model in order to evaluate

Not: Bu yazı
- Yayın Kurulu'na 13.02.2015 günü ulaşmıştır.
- 30 Haziran 2016 gününe kadar tartışmaya açıktır.

1 Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon - koctugce@gmail.com
2 Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon - yuksek@ktu.edu.tr
3 Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon - mkankal06@gmail.com

the performance of the regression analysis. Best equations are obtained for estimation of flood discharges in the region.

Key Words: Flood frequency analysis, l-moments, Eastern Blacksea Basin.

1. GİRİŞ

Dünyanın pek çok yerinde olduğu gibi, ülkemizde de taşkınlar çok önemli zararlara yol açmaktadır. Geçmişten bugüne yaşanan taşkınlar pek çok insanın ölümüne, yaralanmasına ve çeşitli şekillerde sağlığının bozulmasına neden olmaktadır. Her yıl milyonlarca TL taşkınlardan kaynaklanan zararın azaltılmasına ve yaraların kapatılmasına harcanmaktadır [1]. Çalışma alanının yer aldığı Doğu Karadeniz Havzası topoğrafik yapısı nedeniyle taşkınlara sık sık maruz kalmaktadır. Oluşan taşkınlarda, yerleşimlerin genellikle taşkın alanlarında bulunmasından ötürü birçok can kaybı, yaralanma ve maddi zararlar oluşmaktadır. Doğu Karadeniz Havzası'nda yaşanan bu taşkınların gerek ekonomik, gerek can kaybı açısından boyutu, fiziki ve iklimsel koşulları nedeniyle Türkiye'deki diğer havzalardan daha fazladır [2].

Eldeki akım gözlemleri yardımıyla, ölçümü olmayan noktalarda çeşitli yineleme (tekerrür) süreli taşkın debilerinin tahmin edilmesi çalışmalarına bölgesel taşkın frekans analizi (BTFA) denir. Bu metodun uygulaması esnasında yetersiz veri sayısını arttırmak için bölgede bulunan diğer istasyonlar kullanılır. Hidrolik yapıların tasarımı, taşkın yönetimi, havza ve nehir yönetimi gibi pek çok su kaynakları planlama konularında taşkın frekans analizi oldukça önem taşımaktadır [3]. BTFA genel olarak; söz konusu alandaki homojen bölgelerin belirlenmesi, uygun bölgesel frekans dağılımının seçilmesi ve çeşitli yineleme aralıklarına karşılık gelen debilerin tahminini içerir. Herhangi bir veri dizisine uyduğu varsayılan olasılık dağılımlarının parametre tahminlerinde; momentler, maksimum olabilirlik, olasılık ağırlıklı momentler ve L-momentler gibi birçok parametre tahmin yöntemi kullanılmaktadır. Momentler yöntemi, basit olması nedeniyle hidrolojide sıklıkla kullanılır. Ancak çarpık dağılımlar için özellikle de büyük örneklerde etkin ve tarafsız tahminler vermemektedir. Maksimum olabilirlik yöntemi ise, veri uzunluğunun fazla olduğu örneklerde tarafsız ve etkin tahminler vermektedir. Olasılık ağırlıklı momentler yöntemi ile boyutsuz bölge ortalamaları hesaplanmaktadır [4].

Hosking [5], olasılık ağırlıklı momentlerin doğrusal kombinasyonları olarak tanımladığı L-momentlerin, dağılım fonksiyonlarının yer, şekil ve ölçek parametreleri olarak ifade edilebileceğini ve bu yöntemin dağılımların tahmin ve tanımlanmasında kapsamlı bir temel oluşturduğunu öne sürmüştür. L-momentler, sıralanmış gözlemlerin doğrusal biçimleridir. Bu nedenle, geleneksel yöntemlerde olduğu gibi gözlemlerin kareleri ve küpleri hesaplanmaz. Boyutsuz olarak hesaplanan değişim katsayısı ve çarpıklık katsayısı değerleri tarafsız olup normal dağılıma sahiptir. Diğer moment yöntemleri ise taraflı olup düşük sayıdaki örneklerde bile değişkendir. Birçok hidrolik uygulamalarında, L-momentler basit ve uygun hidrolojik verilerden ve dağılım parametrelerinden tahmin yapılmasını sağlar.

Bölgesel taşkın frekans analizinin en önemli varsayımı, seçilen istasyonlardan homojen bir bölge oluşturmaktır. Bölgesel taşkın frekans analizinde, homojen istasyonların ve dolayısıyla homojen bölgelerin tanımlanması ve havzaya tek bir frekans dağılımının uygulanması gerekmektedir. Bunun yapılabilmesi için çalışma alanının homojen olması ve

istasyonların homojenlik koşulunu sağlaması gerekmektedir. Hosking ve Wallis [6], çalışma alanının homojenlik derecesini belirlemek için, uyumsuzluk (D_i) ve heterojenlik (H_i) testlerini geliştirmişlerdir. Bölgesel frekans analizinde kullanılan üç istatistiği (H_1, H_2 ve H_3) tanımlamışlardır.

Su yapıları, akarsu yatağı düzenleme vb. projelerde, en uygun dağılımın seçimi büyük önem taşımaktadır. Yanlışlıkla küçük değerler üreten dağılım seçilirse ve taşkın meydana gelirse büyük can ve mal kaybına sebep olabilir. Tam tersi durumunda ise inşa edilen yapının maliyeti gereğinden fazla olup, optimizasyon açısından yanlış projelendirilme yapılmış olacaktır. Eldeki gözlem sonuçlarına en iyi uyan olasılık dağılım fonksiyonu istatistik yöntemler kullanarak belirlenebilir [7, 8, 9,10].

L-momentler yöntemi ile taşkın frekans analizi, Türkiye'deki havzalarda da çalışılmış olup yöntem, diğer yöntemlere göre olan avantajları ile günceliğini korumaktadır. Şorman [11], momentler ve maksimum olabilirlik yöntemlerini olasılık ağırlıklı momentler yöntemi ile karşılaştırmış ve uygunluk testlerini uygulamıştır. L-momentler yöntemi ile noktasal dağılım parametrelerini tahmin etmiş ve Batı Karadeniz'deki akım verileri ile örneklemiştir. Atiem ve Harmancıoğlu [12], L-momentler yaklaşımı ile taşkın frekans analizi yapmışlardır. Çalışma alanındaki istasyonlara 5 farklı dağılım modelini noktasal olarak uygulamış ve 4 istasyon için GLO, 2 istasyon için PE3, 2 istasyon için GEV, 1 istasyon için LN, 1 istasyon için GPA, 4 istasyon için WAK dağılımlarını uygun bulmuşlardır. Anlı vd. [13], Göksu havzasının taşkın frekans analizini L-momentler yöntemini kullanarak yapmışlardır. Homojen olarak belirlenen 10 istasyonun yıllık maksimum akımlarına GLO, GEV, LN, PE3, GPA dağılımlarını uygulamış ve en uygun dağılımın GEV dağılımı olduğunu belirlemişlerdir. Şahin [14], Gevaş-Gürpınar Havzası'nda bulunan 12 akarsuya ait yıllık pik akım serilerine en uygun olasılık dağılım modelinin belirlenmesi için, LN, EV1, PE3, LPE3, LB, GLO, GEV dağılımlarını uygulamıştır. Bu dağılımların parametrelerinin tahminlerinde, momentler, maksimum olabilirlik, olasılık ağırlıklı momentler ve L-momentler yöntemleri kullanılmıştır. En uygun dağılımı belirlemek amacıyla Ki-kare ve Kolmogorov-Smirnov testlerini uygulamıştır. Bu testlerin değerlendirmelerine göre EV1 dağılımının diğerlerine göre daha uygun bir model olduğu sonucuna varmıştır. Bayazıt ve Önöz [15], taşkın frekans analizi çalışmalarında dağılımların parametre tahmini için L-mometlerin bir varyansı olan LL-momentler yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntemin, küçük gözlemlere daha yüksek ağırlık verdiğini ve L-momentlerden daha iyi sonuç verdiğini açıklamışlardır. Saf [16], Batı Akdeniz havzasının yıllık maksimum taşkın serilerinin bölgesel taşkın frekans analizi için, L-momentlere dayalı homojenlik testi ile homojen bölgelerin belirlemiş ve sonra akım gözlem istasyonlarına ait çeşitli yineleme aralıklarına sahip tasarım taşkın değerlerini hesaplamıştır. Seçkin [17], dağılım parametrelerini tahmin etmek için L-momentler tekniği kullanarak Türkiye'de bulunan 26 havzadaki 455 istasyona ait su yılı maksimum akım değerlerine bölgesel taşkın frekans analizi uygulamıştır. Elde edilen homojen bölgelere GNO, GEV, GLO, GPA, PE3 ve WAK dağılımları uygulayarak tekerrür değerleri elde etmiştir. Sonuç olarak, Türkiye havzalarına genellikle GLO dağılımının uyduğu belirlemiştir. Yıldız [18] çalışmasında, akım verisi bulunmayan veya yetersiz olan havzalarda debinin tahmin edilebilmesi için, Doğu Karadeniz Havzası debi verilerine L-momentler yöntemini uygulamış ve havzayı en iyi temsil edecek dağılım fonksiyon ve debi tahminlerini elde ettikten sonra, çoklu doğrusal regresyon ile havza özelliklerine ait bağımsız değişkenlerle debiyi ilişkilendirmiştir. Aydoğan vd. [19], L-momentler yöntemiyle Çoruh Havzası'nın

taşkın frekans analizini yapmışlardır. Homojenlik ve heterojenlik ölçüleriyle bölgeyi 4 alt bölgeye ayırmışlar ve dağılım uygunluk testleri sonucunda belirli dönüş periyotlarındaki taşkın debilerini tahmin etmişlerdir.

Regresyon tabanlı metotlar da son yıllarda taşkın frekans analizinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır [20, 21, 22, 23]. Bu çalışma, L-momentler tabanlı taşkın frekans analizine regresyon modeli uygulamakta ve kullanılan bağımsız değişken sayısındaki çeşitlilik ile de Doğu Karadeniz Havzası'nda ölçümü olmayan noktalarda taşkın debisi tahmini için önem taşımaktadır.

2. YÖNTEM

2.1. L-Momentler Yöntemi ile Taşkın Frekans Analizi

L-momentler yöntemi Hosking [5, 24] tarafından geliştirilmiştir. L-momentler; parametre tahmini, bölgeselleştirme ve dağılım tanımlama ile ilgili çeşitli problemleri çözmede yaygın olarak kullanılmaktadır. L-momentler yöntemi olasılık ağırlıklı momentler yönteminin doğrusal bir fonksiyonudur. L-momentler bilinen momentlere benzer olup olasılık ağırlıklı momentleri cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilebilirler [25]:

$$L_{r+1} = (-1)^{r} \sum_{k=0}^{r} (-1)^{r-k} \binom{r}{k} \binom{r+k}{k} M_{1,0,k} \tag{1}$$

L-momentler;

r=0 ise $L_1 = M_{100}$

r=1 ise $L_2 = M_{100}\,(2M)_{101} = 2M_{110} - M_{100}$

r=2 ise $L_3 = M_{100}\,(6M)_{101} + 6M_{102} = 6M_{120} - 6M_{110} + M_{100}$

r=3 ise $L_4 = M_{100} - 12M_{101} + 30M_{102} - 20M_{103} = 20M_{130} - 30M_{120} + 12M_{110} - M_{100}$ (2)

Yüksek mertebeden momentlerde ölçümler birbirinden bağımsızlaştırılırsa L-moment oranları aşağıdaki gibidir [26]:

$$r = 3, 4, \ldots, \text{ise } t_r = \frac{L_r}{L_2}, \quad t = \frac{L_2}{L_1} \tag{3}$$

L-momentler (L_1) ve (L_2), L-moment oranları L-cv(t), çarpıklık katsayısı (t_3), basıklık (kurtosis) katsayısı (t_4), olasılık dağılımını özetlemek için en çok kullanılan parametrelerdir. L_1 dağılımı yer parametresini, L_2 dağılımı ise ölçek parametresini temsil etmektedir [27].

2.1.1. Homojenlik Analizi

Bölgesel homojenliği test etmek için L-momentler yöntemine dayalı iki istatistik öne sürülmüştür. Bunlar; uyumsuzluk ve heterojenlik ölçüsüdür.

Uyumsuzluk ölçüsü, verilerin gözden geçirilmesi ve homojen bölge olarak kabul edilen istasyonların birbirleri ile olan uyumlarının saptanması amacı ile kullanılır. İstasyonların L-moment oranları (L-cv, L-çarpıklık, L-basıklık) bir noktanın üç boyutlu koordinatları olarak tanımlanmıştır. Tanımlanan noktaların L-cv ve L-çarpıklık değerleri grafikte karşılıklı olarak noktalandığında bir grup oluşturur ve bu grup bir merkeze yani orta noktaya sahiptir. Uyumsuz olarak tanımlanan herhangi bir nokta, bu merkezden oldukça uzaktır. Uyumsuzluk ölçüsü (D_i) homojen bölge olarak kabul edilen istasyon toplumundaki istasyonların birbirleri ile olan uyumlarının literatürde verilen aralıklarda kalıp kalmadığının saptanmasıdır (Tablo 1). N adet istasyon olan bir grupta L-moment oranlarının vektörel ifadesi aşağıdaki gibidir [27]:

$$u_i = \left[t^i, t_3^i, t_4^i \right]^T \tag{4}$$

T: Vektör ya da matrisin transpozu,

$$\bar{u} = N^{-1} \sum_{i=1}^{N} u_i \tag{5}$$

ū: Ağılıksız grup ortalaması,

$$A = \sum_{i=1}^{N} (u_i - \bar{u})(u_i - \bar{u})^T \tag{6}$$

A: Karelerinin toplamının matrisi ve çapraz çarpımı,

$$D_i = \frac{1}{3} N (u_i - \bar{u})^T A^{-1} (u_i - \bar{u}) \tag{7}$$

Tablo 1. Uyumsuzluk ölçüsü (D_i) için kritik değerler (Hosking ve Wallis, 1997)

Bölge İstasyon Sayısı	Kritik Değer	Bölge İstasyon Sayısı	Kritik Değer
5	1.333	11	2.632
6	1.648	12	2.757
7	1.917	13	2.869
8	2.140	14	2.971
9	2.329	≥15	3.000
10	2.491		

Heterojenlik ölçüsü (H_i) ile istasyon gruplarının heterojenlik ölçüsü belirlenmektedir. Heterojenlik ölçüsü özellikle homojen olması muhtemel bölgelerin istasyonları arasında örnek L-momentlerin varyasyonlarını karşılaştırır. Homojen bir bölgede bulunan tüm istasyonlar, aynı toplum L-moment oranlarına sahiptir. Heterojenlik ölçüsü üç ayrı ölçüde belirlenebilmektedir (V_1, V_2, V_3). Bunlar; i) L-cv (t)' ye bağlı t'nin ağırlıklı standart sapması (V_1); ii) L-cv-L-cs'ye bağlı; istasyon t ve t_3'lerinin grup ağırlıklı ortalamasına olan uzaklığı (V_2); iii) L-çarpıklık ve L-basıklık' a bağlı; istasyonların t_3 ve t_4'lerinin grubun ağırlıklı ortalamasına olan uzaklığıdır (V_3).

Heterojenlik ölçüsünü hesaplamak için bölgeler homojen olarak kabul edilir ve veriler çapraz korelasyona veya dizili korelasyona sahip değildirler. İstasyonların kayıt uzunlukları değiştirilmeden kullanılabilir. Her bir benzeşim yapılmış bölge için, V_i hesaplanır. Benzeşim yapılmış verilerin μ_V (ortalaması), ve σ_V (standart sapması) hesaplanır. Heterojenlik ölçüsü (H_i), aşağıdaki formül ile elde edilir.

$$H_i = \frac{(V_i - \mu_v)}{\sigma_v} \tag{8}$$

$H_i<1$ ise bölgenin kabul edilebilir derecede homojen olduğunu, $1 \le H_i < 2$ ise bölgenin muhtemelen heterojen olduğunu, $H_i \ge 2$ ise bölgenin kesinlikle heterojen olduğunu söylemişlerdir. Eğer bölge yeterince homojen değil ise, bölge daha alt bölgelere ayrılarak homojen hale getirilmeye çalışılır. Hosking ve Wallis [6]'e göre H_1, H_2 ve H_3; V_1, V_2 ve V_3'e göre hesaplanmıştır. H_1'in homojen ve heterojen bölgelerin ayrımında daha güçlü olduğunu öne sürmüşlerdir. Bundan dolayı V_1'e dayalı H_1 istatistiğinin, heterojenlik ölçüsünü hesaplamada kullanılmasını tavsiye etmiş ve bu istatistiğin hesabı için X-test adlı bir yazılım geliştirmişlerdir.

2.1.2. Bölgesel Frekans Dağılımının Seçimi

Bu çalışmada kullanılan dağılımlar, log normal (LN), genelleştirilmiş ekstrem değer (GEV), genelleştirilmiş lojistik (GLO) ve Pearson tip III (PE3) olup bu dağılımlara ait şekil, ölçek, yer parametresi ve diğer formüllerin detayları Hosking ve Wallis [27]'nin çalışmasında bulunmaktadır. Bu dağılımların, taşkın frekans analizlerinde en sık uygulanan dağılımlar olduğu yine Hosking ve Wallis [27] tarafından belirtilmiştir.

Üç parametreli GEV dağılımının uygun olduğu varsayılırsa, GEV dağılımı ile elde edilen L-basıklık $\left(t_4^{GEV}\right)$ ile bölgesel ortalama L-basıklık $\left(t_4^{R}\right)$ arasındaki fark hesaplanır. $\left(t_4^{R}\right)$ 'lerin standart sapmaları σ_4 ile ifade edilirse, σ_4'ler GEV dağılımının uygun olduğu homojen bölgenin benzeşimi ile elde edilir. GEV dağılımının Z testi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Z_{GEV} = \frac{\left(t_4^{R} - t_4^{GEV}\right)}{\sigma_4} \tag{9}$$

t_4^R 'nin taraflılığı, aşağıdaki formül ile elde edilir.

$$B_4 = N_{sim}^{-1} \sum_{m=1}^{N_{sim}} \left(t_4^m - t_4^R \right) \tag{10}$$

t_4^R 'nin standart sapması;

$$\sigma_4 = \left[\left(N_{sim} - 1 \right)^{-1} \left\{ \sum_{m=1}^{N_{sim}} \left(t_4^m - t_4^R \right)^2 - N_{sim} B_4^2 \right\} \right]^{\frac{1}{2}} \tag{11}$$

Ve her bir dağılım için uygunluk testi ölçüsü aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Z^{Dist} = \frac{\left(\tau_4^{Dist} - t_4^R + B_4 \right)}{\sigma_4} \tag{12}$$

Simülasyon kullanılarak her dağılım için ayrı ayrı hesaplanan dağılımın uygunluğu ölçüsünün mutlak değeri 1.645 den küçük ise $\left(|Z| < 1.645 \right)$, o dağılım bölgesel frekans dağılımı olmaya adaydır. Bu değer %90 güvenilirlik sınırına karşılık gelir.

2.1.3. Taşkın Debilerinin Tahmini

İstatistiksel yöntemlerdeki ana düşünce taşkın verilerinin bir toplum oluşturduğu düşüncesine dayanmaktadır. Taşkın verileri Q ile gösterildiğinde, bu değişkenin herhangi bir zamandaki büyüklüğünü etkileyen sebep sonuç ilişkisi tam olarak belirlenebilirse, teorik olarak bu ilişkinin olasılık dağılım modeli aşağıdaki gibi olur.

$$F(Q(T)) = \left(1 - \frac{1}{T} \right) \tag{13}$$

$$P(Q \geq Q(T)) = \frac{1}{T} = \int_{Q(T)}^{\infty} f(Q) dQ = 1 - F(Q_T) \tag{14}$$

$F(Q(T))$: taşkının aşılmama olasılığı, (T) : dönüş aralığıdır.

Frekans analizinin amacı belirli bir dönüş aralığındaki Q_T'nin doğru tahmin edilmesidir. Bu periyot, bir yapının ekonomik ömrü (ör. T=50 yıl) veya yasal olarak zorunlu tasarım periyodu (ör. T=10 000 yıl bazı baraj güvenlik uygulamalarında) olabilir.

Hesaplanan tekerrür tahminlerinin doğruluğunun kabul edilebilir düzeyde olup olmadığı Monte Carlo benzeşimi ile hesaplanır. Her istasyon için, göreceli taraflılık değerleri (rölatif

bias) ve %5-%95 alt ve üst güvenilirlik bant sınırları elde edilir. Bölge bazında bu değerlere ek olarak, ortalama hata değerleri de hesaplanır. Monte Carlo benzeşimi tekerrür tahminlerinin doğruluğunu değerlendirmek için kullanılır ve olasılık teorisi üzerine kurulu bir sistemdir. Benzeşim yapılmış bölgenin toplum L-moment oranlarındaki istasyonlar arası varyasyon, gerçek verilerin örneklem L-moment oranlarınkinden daima küçük olmalıdır. Çünkü örneklem değişkenliği, örnek L-moment oranlarının uygun popülasyon L-moment oranlarından daha geniş bir alana yayılmasına sebep olur [3, 17].

2.3. Model Geliştirme ve Modellerin Performanslarını Değerlendirme

Çoklu regresyon analizinde kullanılan havza karakteristiklerinden hangileri ile en iyi denklemler elde edileceğine karar vermek amacıyla farklı fonksiyonlar ile modeller oluşturulmuştur. Kullanılan bu fonksiyonların tanımları aşağıdaki gibidir:

Doğrusal Fonksiyon: $y = \beta_0 + \beta_1 * x + \varepsilon$ (15)

Logaritmik Fonksiyon: $y = \beta_0 + \beta_1 * \ln x + \varepsilon$ (16)

Ters Fonksiyon: $y = \beta_0 + \beta_1 / x + \varepsilon$ (17)

Üs Fonksiyonu: $y = \beta_0 x^{\beta_1} + \varepsilon$ (18)

S Fonksiyonu: $y = e^{(\beta_0 + \beta_1 / x)} + \varepsilon$ (19)

Eksponansiyel Fonksiyon: $y = e^{(\beta_0 + \beta_1 * x)} + \varepsilon$ (20)

Tablo 2. Bağımsız değişkenlerin farklı kombinasyonlarından oluşan modeller

Model No	Bağımsız Değişkenler	Model No	Bağımsız Değişkenler
1	X_1, X_6	9	X_1, X_6, X_3, X_4
2	X_1, X_6, X_2	10	X_1, X_6, X_3, X_5
3	X_1, X_6, X_3	11	X_1, X_6, X_4, X_5
4	X_1, X_6, X_4	12	X_1, X_6, X_2, X_3, X_4
5	X_1, X_6, X_5	13	X_1, X_6, X_2, X_3, X_5
6	X_1, X_6, X_2, X_3	14	X_1, X_6, X_2, X_4, X_5
7	X_1, X_6, X_2, X_4	15	X_1, X_6, X_3, X_4, X_5
8	X_1, X_6, X_2, X_5	16	X_1, X_6, X_2, X_3, X_4, X_5

Bağımsız değişkenlerin farklı kombinasyonları için 16 tane model oluşturulmuştur. Drenaj alanı ve yağış şiddeti önceki çalışmalarda taşkın debisini etkileyen en önemli değişkenler oldukları için bu iki değişken 16 modelde de yer almıştır [3, 21]. Drenaj alanı, yağış şiddeti ve diğer dört bağımsız değişkenin diğer kombinasyonlarından oluşan 16 model Tablo 2'de verilmiştir. Tabloda X_1: alan, X_2:drenaj yoğunluğu, X_3:eğim, X_4:kot, X_5:yıllık ortalama yağış ve X_6:yağış şiddetine karşılık gelmektedir.

Her bir modelin farklı regresyon fonksiyonları için determinasyon katsayıları aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır:

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} (P_i - A_i)^2}{\sum_{i=1}^{n} A_i^2} \right) \tag{21}$$

En yüksek R^2 değerini veren fonksiyonlardan oluşan modellerin ortalama rölatif hata (ORH), ortalama mutlak hata (OMH) ve ortalama karesel hatanın karekökü (OKHK) hata değerleri de hesaplanmış olup bu hataların tanımları aşağıdaki gibidir:

$$ORH = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{P_i - A_i}{P_i} \right)}{n} \times 100 \tag{22}$$

$$OMH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left| (P_i - A_i) \right| \tag{23}$$

$$OKHK = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (P_i - A_i)^2} \tag{24}$$

21, 22, 23 ve 24 no.lu denklemlerde; P_i ve A_i, sırasıyla i. gözlemde gözlenen ve hesaplanan değerlere karşılık gelmektedir.

3. ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN VERİLER

Çalışma alanı olan Doğu Karadeniz Havzası 1200 ile 1300 mm arasında değişen ortalama yağış yüksekliği ile Türkiye'de en çok yağış alan bölgedir. Havza 24.077 km^2 olan toplam alanı ile yılda ortalama 14.9 km^3 yüzeysel su potansiyeli sağlamaktadır ve bu miktar Türkiye su potansiyelinin % 7.9'unu karşılamaktadır. [18].

Bu bölgenin çalışma alanı olarak seçilmesinin nedenleri; havzadaki akım gözlem istasyon sayısının yetersiz olması, havzanın sık sık taşkınlara maruz kalması, özellikle de son zamanlarda oldukça fazla inşa edilen HES vb. birçok hidrolik yapının projelendirilmesine fayda sağlamasıdır. Oluşan taşkınlarda, yerleşimlerin genellikle taşkın alanlarında bulunmasından ötürü birçok ölüm ve yaralanma olayı yaşanmıştır. Kaydedilmiş bu taşkınların tamamında can kaybı, yaralanma ve maddi zararlar oluşmaktadır. Doğu Karadeniz Havzası'nda yaşanan taşkınların gerek ekonomik, gerek can kaybı açısından boyutu, fiziki ve iklimsel koşulları nedeniyle Türkiye'deki diğer havzalardan daha fazladır [2].

Tablo 3. Çalışmada Kullanılan AGİ'lere ait Bilgiler

İstasyon No	İstasyon Adı	Drenaj Alanı (km^2)	Kot (m)	Gözlem Süresi (yıl)
2201	KÜRTÜN	2750	480	39
2202	AĞNAS	635.7	78	42
2213	DERELİ	713	248	40
2215	DEREKÖY	445.2	942	39
2218	ŞİMŞİRLİ	834.9	338	38
2228	BAHADIRLI	191.4	17	35
2233	TOZKÖY	223.1	1296	41
22-06	KÖPRÜBAŞI	156	60	36
22-07	ŞERAH	154.7	1114	37
22-09	TORUL	1900.4	925	38
22-13	SÜTTAŞI	124.85	188	25
22-34	FINDIKLI	258.6	100	25
22-40	EYMÜR	3132.8	120	33
22-44	AYTAŞ	421.2	500	24
22-52	ULUCAMİ	576.8	275	32
22-53	ORTAKÖY	173.6	150	21
22-57	ALÇAKKÖPRÜ	242.6	650	30
22-58	CÜCENKÖPRÜ	162.7	300	29
22-59	ÇİFTDERE	121.5	250	25
22-61	ORTAKÖY	261	450	20
22-62	KONAKLAR	496.7	300	29
22-63	MİKRONKÖPRÜ	239.2	325	28
22-64	KOVANLIK	470	550	27
22-66	CEVİZLİK	115.9	300	21
22-68	YENİKÖY	171.6	500	18
22-71	İKİSU	292.7	1050	15
22-72	ARILI	92.15	175	25
22-73	TUĞLACIK	397.9	400	25
22-76	KEMERKÖPRÜ	302	230	10
22-79	ÇAMLICA	89.7	300	12
22-80	SINIRKÖY	296.9	750	25
22-82	KÖMÜRCÜLER	83.32	290	29
22-83	GÜMÜŞKAYA	410.8	1150	14
22-85	KAPTANPAŞA	231.2	400	27
22-87	HASANŞIH	256.8	355	28
22-88	ORMANÜSTÜ-MELİK	168.8	600	19
22-89	KÜÇÜKKÖY	66.37	400	24
22-90	ALANCIK	470.2	750	20

Çalışma alanında 1943-2012 yılları arasında en az 10 yıllık veri ölçümü bulunan akım gözlem istasyonları belirlenmiştir. Havzada bulunan AGİ'lerdeki debi ölçümleri, DSİ tarafından yürütülmektedir. İşletmesi de DSİ'ye ait olan bu 38 adet istasyonun yıllık maksimum akım ölçümleri (m^3/sn) elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan AGİ'lerin yerleri ve drenaj alanlarındaki akarsu kolları Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu AGİ'lere ait bilgiler ise Tablo 3'de verilmiştir [28].



Şekil 1. Doğu Karadeniz Havzası ve çalışmada kullanılan AGİ'ler

Tablo 4. Önceki çalışmalarda kullanılan bağımsız değişkenler

Yazarlar	Yıl	Ülke	Kullanılan Bağımsız Değişkenler
Jingyi ve Hall [29]	2004	Çin	Alan, yıllık toplam yağış, akarsu eğimi, kot, ortalama akarsu uzunluğu
Dawson vd. [30]	2006	İrlanda	Alan, yıllık toplam yağış, akarsu eğimi, kot, taban akışı indeksi, akış yüzdesi
Leclerc vd. [31]	2007	Kanada	Alan, yıllık toplam yağış, AGİ enlem, AGİ boylam, ortalama hava sıcaklığı
Shu ve Ouarda [32]	2007	Kanada	Alan, yıllık toplam yağış, akarsu eğimi, sürtünme katsayısı, ortalama hava sıcaklığı
Palmen ve Weeks [20]	2011	Avustralya	Alan, yıllık toplam yağış, akarsu eğimi, yağış şiddeti, drenaj yoğunluğu, akarsu uzunluğu
Malekinezhad vd. [10]	2011	İran	Yıllık toplam yağış, ortalama akarsu uzunluğu, geçirimsizlik katsayısı, ortalama hava sıcaklığı
Haddad vd. [33]	2012	Avustralya	Alan, yıllık toplam yağış, yağış şiddeti, drenaj yoğunluğu, evapotranspirasyon
Aziz vd. [21]	2013	Avustralya	Alan, yıllık toplam yağış, akarsu eğimi,yağış şiddeti, evapotranspirasyon
Seckin vd. [22]	2013	Türkiye	Alan, kot, AGİ enlem, AGİ boylam, dönüş periyotu
Bu çalışma	2014	Türkiye	Alan, yıllık toplam yağış, akarsu eğimi, kot, drenaj yoğunluğu, yağış şiddeti

Bu çalışmada kullanılan Doğu Karadeniz Havzası'na ait havza özellikleri, topoğrafik ve meteorolojik olarak iki gruba ayrılabilir. Drenaj alanı, dere frekansı, akarsu eğimi ve kot topoğrafik özellikler; yıllık ortalama yağış ve yağış şiddeti verileri ise meteorolojik özellikler olarak sınıflandırılmıştır. Çalışmada kullanılan bağımsız değişkenlerin seçiminde, daha önceki çalışmalarda kullanılan değişkenler araştırılmış ve taşkın debilerinin tahmin edilmesinde etkili oldukları belirlenmiştir. Daha önceki çalışmalarda kullanılan bu bağımsız değişkenler Tablo 4'de verilmiştir.

İklim özellikleri açısından, toplam yağış değerlerinin akarsu akımları üzerinde etkili olduğu düşünülerek AGİ'lere ait yıllık ortalama toplam yağış değerleri hesaplanmıştır. Meteoroloji istasyonlarının yağış verileri, AGİ'lerin sahip olduğu drenaj alanlarına göre hesaplanmış ve her bir istasyona ait ortalama yıllık toplam yağış değerleri elde edilmiştir.

Yağış şiddetinin taşkın debisi üzerindeki etkisi büyük olmakla birlikte, bu bağımsız değişken oldukça az çalışmada kullanılmıştır [21, 33]. Bu çalışmada, yağış şiddeti de bağımsız değişken olarak dikkate alınmıştır. Seçilen meteoroloji istasyonları için, 25 nolu eşitlikten [21, 33, 34, 35] elde edilen konsantrasyon süresine karşılık gelen zamanlara ait standart zamanlarda gözlenen en büyük yağış değerleri kullanılmıştır.

$$t_c=0.76\ A^{0.38} \tag{25}$$

Burada, A: havza alanı (km^2), t_c: konsantrasyon süresidir (saat). Çalışmada kullanılan 10 adet meteoroloji istasyonuna ait, konsantrasyon süresine (t_c) bağlı olarak seçilen standart zamanlardaki en büyük yağış değerleri, Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir [36]. Karşılık geldiği konsantrasyon süresine göre hesaplanan yağış şiddetlerine, alan dağılımı yapılmıştır. Easy Fit paket programı ile her bir istasyona karşılık gelen en uygun dağılım belirlenmiş ve buna göre T=5, 10, 25, 50, 100 ve 500 yıl tekerrür süreleri için yağış şiddetleri hesaplanmıştır.

Drenaj yoğunluğu, birim alana ait toplam akarsu uzunluğunu ifade etmektedir ve alansal kanal gelişimini ifade eden bir değerdir. 1/25.000 ölçekli haritalar kullanılarak her bir AGİ'nin drenaj alanları ve toplam akarsu uzunlukları belirlenmiştir. Daha sonra bu değerler kullanılarak drenaj yoğunluğu değerleri aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır [37]:

$$Y_d = \frac{L_{top}}{A} \tag{26}$$

Burada, Y_d: Drenaj yoğunluğunu, m/km^2, L_{top}: Toplam akarsu uzunluğunu (m), A: Drenaj alanını (km^2) göstermektedir.

Drenaj yoğunluğu havzanın drenaj etkinliğini ifade etmektedir. Drenaj yoğunluğunun yüksek değerlerde olması, etkili taşkınlara sebep olan şiddetli akışa geçen drenaj özelliğini göstermektedir. Bu değerin düşük olması ise, ılımlı bir akışı ve yüksek permeabiliteye sahip alanları ifade etmektedir [37]. Drenaj alanının ortalama eğiminin belirlenmesi için, bütün akarsu kollarından, belli mesafelerde kot değerleri okunarak akarsu kollarının eğimleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu kolların eğimlerinin harmonik ortalaması alınarak, drenaj alanının ortalama eğimi belirlenmiştir [37].

4. BULGULAR

4.1. L-Momentler

Olasılık ağırlıklı momentlerin yardımıyla L-momentler bulunmuştur. L-momentler vasıtasıyla L-moment oranları ve uyumsuzluk ölçüsü (D_i) değerleri elde edilmiştir. Hesapların sonuçları Tablo 5'de verilmiştir. Uyumsuzluk ölçüsü hesabında 4, 5, 6 ve 7 no.lu eşitlikler kullanılmış olup hesaplar Xtest programı ile yapılmıştır. Her bir istasyon için elde edilen D_i değerleri Tablo 1'deki değerler ile karşılaştırılarak istasyonların homojenliği test edilmiştir. 38 adet istasyondan 22-66 no.lu istasyonun 3.62 olan D_i değerinin 3'ten küçük kaldığı için Tablo 1'deki kritik değer şartını sağlamadığı görülmüştür (Tablo 5).

Tablo 5. İstasyonların L-moment oranları ve D_i değerleri

İst no	t	t_3	t_4	t_5	D_i
2201	0.2643	0.2385	0.2240	0.1484	0.56
2202	0.2521	0.2564	0.2443	0.0717	0.41
2213	0.2792	0.3216	0.2718	0.1551	0.19
2215	0.1691	0.1600	0.1549	0.1385	1.03
2218	0.2512	0.4264	0.2806	0.1328	2.00
2228	0.3797	0.3866	0.3152	0.2147	2.41
2233	0.1298	0.2054	0.1616	0.0473	1.19
22-06	0.2041	0.3021	0.3487	0.2719	1.38
22-07	0.2258	0.1950	0.1415	0.0423	0.36
22-09	0.2740	0.3689	0.3681	0.2460	1.21
22-13	0.2341	0.3276	0.3305	0.1766	0.69
22-34	0.2938	0.3821	0.3277	0.1930	0.50
22-40	0.2196	0.1185	0.0399	-0.0402	1.29
22-44	0.1955	0.4346	0.3972	0.2396	2.13
22-52	0.1732	0.1922	0.1457	0.0648	1.25
22-53	0.3232	0.3104	0.1765	0.0970	0.39
22-57	0.3038	0.3330	0.1955	0.1450	0.36
22-58	0.3015	0.3829	0.2269	0.0981	0.79
22-59	0.3538	0.5186	0.3619	0.2756	1.65
22-61	0.2615	0.4776	0.4358	0.2719	1.57
22-62	0.2094	0.2941	0.2089	0.1179	0.96
22-63	0.2821	0.3678	0.2489	0.1051	0.37
22-64	0.2189	0.2491	0.1701	0.0152	0.57
22-66	0.4536	0.6383	0.4395	0.2578	3.62
22-68	0.3894	0.3879	0.1976	0.1366	1.49
22-71	0.1602	0.0176	0.0857	-0.0305	2.85
22-72	0.3148	0.2381	0.1562	0.0421	0.63

Tablo 5. İstasyonların L-moment oranları ve D_i değerleri (devam)

İst no	t	t_3	t_4	t_5	D_i
22-73	0.2981	0.2581	0.1825	0.1647	0.27
22-76	0.3130	0.2149	0.0310	-0.0155	1.79
22-79	0.3562	0.2409	0.0877	0.0554	1.38
22-80	0.3577	0.2631	0.1064	0.0476	1.24
22-82	0.2744	0.3644	0.2955	0.2333	0.19
22-83	0.2379	0.2332	0.1779	0.0373	0.14
22-85	0.2556	0.1938	0.1716	0.1222	0.54
22-87	0.4201	0.4506	0.2211	0.0875	1.36
22-88	0.2173	0.1875	0.1689	0.1123	0.42
22-89	0.1693	0.0267	0.1808	0.0514	1.32
22-90	0.2010	0.1153	0.2464	0.1271	0.71

Heterojenlik ölçüsü hesabında V_1, V_2 ve V_3'e bağlı H_i değerleri belirlenmiştir. 8 no.lu eşitlikteki H_i değerinin sınır şartları değerlendirilerek bölgenin heterojenlik analizi yapılmıştır. Heterojenlik ölçüsü için kullanılan Xtest programının sonucunda elde edilen V_1, V_2 ve V_3'e göre hesaplanan H_1, H_2 ve H_3 değerlerinden, homojen ve heterojen bölgelerin ayrımında daha güçlü olmasından dolayı H_1 dikkate alınmıştır. 38 istasyon için uygulanan heterojenlik testi sonucunda, H_1, 2'nin üzerinde çıkarak "$H_i \geq 2$ ise bölge heterojendir" kapsamına girmiş ve bölge heterojen çıkmıştır. Bölgenin homojen olduğu kabul edilebilecek H_1 değeri, 5 adet istasyonun çıkartılmasıyla elde edilmiştir. 2233, 22-66, 22-87, 22-89 ve 22-90 no.lu bu istasyonlar, kendi aralarında da homojen bir alt bölge temsil etmemişlerdir. Çarpıklık katsayıları nispeten daha yüksek olan bu istasyonların çıkartılması halinde, H_1=1.69 değerinin $1 \leq H_i < 2$ aralığında kalarak bölgenin muhtemelen homojen olma koşulu sağlanmıştır. Elde edilen H_i değerleri, Tablo 6'da görülmektedir.

Tablo 6. Havzanın heterojenlik ölçüsü

Heterojenlik Ölçüsü (Benzeşim Sayısı=500)		
H_1	Gözlenen değerlerin Grup L-Cv lerinin standart sapması	0.0571
	Grup L-Cv lerinin standart sapmasının benzeşim ortalamaları	0.0456
	Grup L-Cv lerinin standart sapmasının benzeşimlerinin standart sapması	0.0068
	Standartlaştırılmış H_1değerleri	1.69
H_2	Gözlenmiş ortalamanın L-Cv/L-Cs mesafesi	0.1010
	Ortalama L-Cv/L-Cs mesafesinin benzeşim ortalaması	0.1065
	Ortalama L-Cv/L-Cs mesafesinin benzeşim standart sapması	0.0133
	Standartlaştırılmış H_2 değerleri	-0.41
H_3	Gözlenmiş ortalamanın L-Cs/L-Ck mesafesi	0.1202
	Ortalama L-Cs/L-Ck mesafesinin benzeşim ortalaması	0.1360
	Ortalama L-Cs/L-Ck mesafesinin benzeşim standart sapması	0.0164
	Standartlaştırılmış H_3 değerleri	-0.96

Homojen bölge için kullanılacak en uygun dağılım Z uygunluk ölçüsü değeri ile hesaplanmıştır. $\left|Z^{DIST}\right| \leq 1.64$ şartını sağlayan dağılımlar o bölge için uygun olarak kabul edilir. Bunlar arasında ise 0 değerine en yakın olan Z değeri seçilir. Xtest programı ile hesaplanan Z uygunluk ölçüsü değeri, LN dağılımı için $\left|Z^{DIST}\right| \leq 1.64$ koşulunu sağlamış ve diğer dağılımlar içinde 0 değerine en yakın sonucu vermiştir. Tablo 7'de görüleceği üzere Ln dağılımı için Z değeri -0.33 değeri ile bölge için en uygun dağılım olarak kabul edilmiştir.

Tablo 7. Doğu Karadeniz Havzası uygunluk ölçüsü değerleri

Dağlımlar	τ_4^{DIST}	Z^{DIST}
Log Normal (LN)	0.239	-0.33
Gen. Ekstrem Değer (GEV)	0.212	-1.72
Gen. Lojistik (GLO)	0.191	-2.78
Pearson Tip III (PE3)	0.156	-4.59

Z Testine göre bölge için en uygun dağılım olarak belirlenen LN dağılım için çeşitli yineleme aralıklarına karşılık gelen karakteristik değerler Xtest programından hesaplanmıştır. LN dağılım için elde edilen bölgesel parametreler ve yineleme aralıklarına göre karakteristik değerler Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. LN dağılımına göre bölgesel parametreler ve çeşitli yineleme aralıklarına göre bölgesel karakteristik değerler

Bölgesel parametreler				
ζ		**α**		**K**
0.933		0.192		-0.203
Yineleme Aralıklarına Karşılık Gelen Karakteristik Değerler				
5	**10**	**25**	**50**	**100**
1.305	1.644	2.122	2.514	2.935

Homojen bölge içerisinde bulunan her bir istasyon için çeşitli yineleme aralıklarına karşılık gelen karakteristik değerlerin hesabı için Xsim benzeşim yapılmıştır. Burada, her bir istasyonun değişim katsayıları programa yazılmıştır. Benzeşim için kullanılan dağılım LN dağılımdır. Xsim programı çalıştırılarak elde edilen dağılım parametreleri ve T=5, 10, 25, 50, 100 ve 500 yıl süreli yineleme aralıklarına karşılık gelen karakteristik değerler Tablo 9'da gösterilmiştir. Her bir istasyon için çeşitli yineleme aralıklarına göre hesaplanan karakteristik değerler ile o istasyonun aritmetik ortalaması çarpımıyla debi değerleri elde edilmiştir. Bu değerler ise Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 9. LN dağılımına göre istasyonlar için çeşitli yineleme aralıklarına karşılık gelen karakteristik değerler

İstasyon adı	Yineleme Aralıkları					
	5	10	25	50	100	500
	Karakteristik Değerler					
2201	1.305	1.645	2.124	2.516	2.938	4.042
2202	1.291	1.615	2.072	2.446	2.848	3.902
2213	1.322	1.681	2.187	2.602	3.047	4.213
2215	1.195	1.412	1.719	1.970	2.240	2.946
2218	1.290	1.613	2.068	2.441	2.842	3.891
2228	1.438	1.926	2.615	3.179	3.784	5.370
22-06	1.236	1.498	1.868	2.171	2.496	3.349
22-07	1.261	1.551	1.960	2.296	2.656	3.599
22-09	1.316	1.668	2.166	2.573	3.010	4.155
22-13	1.270	1.571	1.996	2.343	2.716	3.694
22-34	1.339	1.717	2.250	2.686	3.155	4.383
22-40	1.254	1.536	1.934	2.261	2.611	3.529
22-44	1.226	1.477	1.831	2.122	2.433	3.250
22-52	1.200	1.423	1.737	1.994	2.271	2.995
22-53	1.373	1.788	2.375	2.855	3.370	4.721
22-57	1.351	1.741	2.293	2.744	3.228	4.498
22-58	1.348	1.736	2.283	2.730	3.211	4.471
22-59	1.408	1.863	2.505	3.030	3.595	5.073
22-61	1.302	1.638	2.112	2.500	2.917	4.010
22-62	1.242	1.511	1.891	2.202	2.536	3.411
22-63	1.326	1.688	2.200	2.619	3.068	4.247
22-64	1.253	1.534	1.931	2.256	2.605	3.519
22-68	1.449	1.950	2.656	3.234	3.855	5.482
22-71	1.363	1.768	2.339	2.807	3.309	4.624
22-72	1.344	1.727	2.268	2.710	3.186	4.431
22-73	1.361	1.763	2.331	2.796	3.295	4.602
22-76	1.411	1.869	2.515	3.044	3.612	5.100
22-79	1.413	1.873	2.222	3.053	3.623	5.118
22-80	1.317	1.669	2.167	2.575	3.013	4.159
22-82	1.275	1.580	2.012	2.366	2.745	3.739
22-83	1.295	1.623	2.087	2.466	2.874	3.942
22-85	1.251	1.530	1.924	2.247	2.593	3.501
22-88	1.185	1.391	1.682	1.920	2.175	2.845

Tablo 10. İstasyonların T=5, 10, 25, 50, 100 ve 500 yıl yineleme süreli taşkın debileri

İstasyon	Q_{ort}	Q_5	Q_{10}	Q_{25}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{500}
2201	257.45	335.97	423.51	546.82	647.74	756.39	1040.61
2202	97.864	126.34	158.05	202.77	239.38	278.72	381.87
2213	123.58	163.37	207.74	270.27	321.56	376.55	520.64
2215	82.26	98.30	116.15	141.40	162.05	184.26	242.34
2218	170.8	220.33	275.50	353.21	416.92	485.41	664.58
2228	83.22	119.67	160.28	217.62	264.56	314.90	446.89
22-06	101.68	125.68	152.32	189.94	220.75	253.79	340.53
22-07	28.86	36.39	44.76	56.57	66.26	76.65	103.87
22-09	146.71	193.07	244.71	317.77	377.48	441.60	609.58
22-13	28.184	35.79	44.28	56.26	66.04	76.55	104.11
22-34	52.32	70.06	89.83	117.72	140.53	165.07	229.32
22-40	347.56	435.84	533.85	672.18	785.83	907.48	1226.54
22-44	62.49	76.61	92.30	114.42	132.60	152.04	203.09
22-52	94.2	113.04	134.05	163.63	187.83	213.93	282.13
22-53	77.08	105.83	137.82	183.07	220.06	259.76	363.89
22-57	41.87	56.57	72.90	96.01	114.89	135.16	188.33
22-58	93.06	125.44	161.55	212.46	254.05	298.82	416.07
22-59	26.82	37.76	49.97	67.18	81.26	96.42	136.06
22-61	41.13	53.55	67.37	86.87	102.83	119.98	164.93
22-62	114.8	142.58	173.46	217.09	252.79	291.13	391.58
22-63	115.56	153.23	195.07	254.23	302.65	354.54	490.78
22-64	90.55	113.46	138.90	174.85	204.28	235.88	318.65
22-68	49.43	71.62	96.39	131.29	159.86	190.55	270.98
22-71	43.93	59.88	77.67	102.75	123.31	145.36	203.13
22-72	158.42	212.92	273.59	359.30	429.32	504.73	701.96
22-73	71.47	97.27	126.00	166.60	199.83	235.49	328.90
22-76	177.9	251.02	332.50	447.42	541.53	642.57	907.29
22-79	77.75	109.86	145.63	196.09	237.37	281.69	397.92
22-80	81.93	107.90	136.74	177.54	210.97	246.86	340.75
22-82	121.11	154.42	191.35	243.67	286.55	332.45	452.83
22-83	58.09	75.23	94.28	121.23	143.25	166.95	228.99
22-85	74.85	93.64	114.52	144.01	168.19	194.09	262.05
22-88	18.91	22.41	26.30	31.81	36.31	41.13	53.80

Tablo 9'daki karakteristik değerlerin doğruluğu Monte Carlo benzeşimi ile kontrol edilmiştir. Bu değerlerin doğruluğunun tespiti için her bir istasyonun taraflılık (BIAS) ve ortalama en küçük hata (RMSE) parametreleri hesaplanmıştır. Güvenilirlik aralığının alt ve üst sınır değerleri (%5 ve %95), bulunan bölgesel gelişim eğrisi değerinin %5 ve %95 aşılmama olasılığına karşılık gelen değere bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Buna göre; yineleme aralıklarına göre bölgesel mutlak değer taraflılık (ABSBIAS), taraflılık, ortalama en küçük hata değeri ve güvenilirlik aralığı sınır değerleri Tablo 11'de; ve bölgesel büyüme eğrisinin doğruluk ölçütleri Tablo 12'de gösterilmiştir.

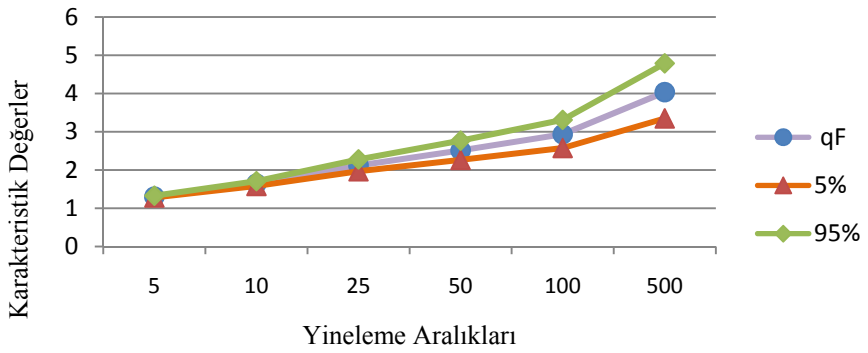
Tablo 11. Doğu Karadeniz Havzası, LN dağılım için çeşitli yineleme aralıklarına göre bölgesel mutlak değer taraflılık (ABSBIAS), taraflılık (BIAS), ortalama en küçük hata değeri (RMSE) ve güvenilirlik aralığı sınır değerleri

	Yineleme Süresi					
T	5	10	25	50	100	500
	Tüm İstasyonlar İçin Ortalama					
ABS.BIAS	0.042	0.071	0.097	0.110	0.121	0.139
BIAS	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004
RMSE	0.122	0.142	0.167	0.183	0.199	0.233
0.050 P.T.	0.895	0.884	0.866	0.852	0.834	0.797
0.950 P.T	1.113	1.131	1.167	1.185	1.208	1.255
	Bölgesel Büyüme Eğrisi					
ABS.BIAS	0.043	0.072	0.097	0.111	0.122	0.140
BIAS	0.000	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002
RMSE	0.045	0.078	0.113	0.134	0.154	0.192
ABS.BIAS	0.043	0.072	0.097	0.111	0.122	0.140
BIAS	0.000	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002

Tablo 12. Doğu Karadeniz Havzası, LN dağılım için çeşitli yineleme aralıklarına göre bulunan bölgesel büyüme eğrisinin doğruluk ölçütleri

F	T	q^F	RMSE	Hata Aralığı	
0.800	5	1.305	0.045	1.282	1.328
0.900	10	1.644	0.078	1.583	1.709
0.960	25	2.122	0.113	1.967	2.279
0.980	50	2.514	0.134	2.265	2.769
0.990	100	2.935	0.154	2.574	3.310
0.998	500	4.037	0.192	3.350	4.789

Yukarıdaki değerlerden görülebileceği üzere mutlak değer taraflılık, taraflılık ve ortalama en küçük hata değerleri küçük çıkmıştır. Bu sebeple karakteristik değerlerin doğruluğu uygun olarak kabul edilmiştir. Çeşitli yineleme aralıklarına göre bölgesel büyüme eğrisi değerleri ve bu değerlere karşılık gelen sınır aralığı değerleri grafiği Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Doğu Karadeniz Havzası %90 güven aralığında bölgesel büyüme eğrisi ve sınır aralığı değerleri grafiği

4.2. Regresyon Analizi

Havzaya ait fiziksel ve hidrolojik özellikleri taşkın debileriyle ilişkilendirmek ve bölgede ölçümü olmayan noktalarda taşkın debisi tahmini yapabilmek amacıyla verilere regresyon analizi uygulanmıştır. L-momentlerle elde edilen T= 5, 10, 25, 50, 100 ve 500 yıl yineleme süreli taşkın debileri bağımlı değişken; alan, drenaj yoğunluğu, akarsu eğimi, kot, yıllık ortalama yağış ve T= 5, 10, 25, 50, 100 ve 500 yıl yineleme süreli yağış şiddeti değerleri bağımlı değişkenler olarak kullanılmışlardır. Değişkenlere ait istatistik bilgiler Tablo 13'de verilmiştir.

Taşkın yineleme debileri (Q_T) ile havza karakteristikleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla oluşturulan 16 model için 15, 16, 17, 18, 19 ve 20 no.lu denklemlere ait altı regresyon fonksiyonlarına uygulanan regresyon analizi sonuçlarından en yüksek R^2 değerini veren fonksiyonlar doğrusal, üs ve eksponansiyel fonksiyonlar olarak belirlenmiş ve bu üç fonksiyondan oluşan modellerin ortalama rölatif hata (ORH), ortalama mutlak hata (OMH) ve ortalama karesel hatanın karekökü (OKHK) hata değerleri de hesaplanmıştır. Hata değerleri incelendiğinde 16. modelin en iyi model oluşturduğu belirlenmiştir. Altı adet bağımsız değişkeni kapsayan 16. model için, 33 istasyonun 31 tanesine regresyon analizi uygulanmıştır. Daha önceki çalışmalar [3, 22], bağımlı değişken olan Q yerine LnQ'nun bağımlı değişkenler ile daha anlamlı ilişkisi olduğunu göstermiş olduğundan bu çalışmada denklemler LnQ için elde edilmiştir. T=5, 10, 25, 50, 100 ve 500 yıl yineleme süreli taşkın debilerinin tahmin edilmesini sağlayan en iyi regresyon denklemleri Tablo 14'de verilmiştir. Tabloda; A: drenaj alanını, DY: drenaj yoğunluğunu, E: eğimi, K:kotu, Y: yıllık ortalama toplam yağışı ve YŞ ise yağış şiddetini temsil etmektedir.

Tablo 13. Bağımlı ve bağımsız değişkenlere ait istatistik bilgiler

Veri	Aralık	Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı
Bağımsız değişkenler				
Drenaj alanı, (km^2)	83.3-3132.8	514.49	711.08	1.38
Akarsu eğimi, (m/km)	0.22-0.333	0.06	0.05	0.83
Kot, (m)	17-1150	433.24	309.81	0.72
Drenaj yoğunluğu, (km/km^2)	167.2-446.3	264.22	59.24	0.22
Yıllık ortalama yağış, (mm)	471.87-2330.81	1105.04	489.99	0.44
Yağış şiddeti I_5	1.67-19.33	9.5	5.44	0.57
Yağış şiddeti I_{10}	1.95-22.55	11.2	6.41	0.57
Yağış şiddeti I_{20}	2.3-27.01	13.53	7.81	0.58
Yağış şiddeti I_{50}	2.57-31.52	15.38	9.01	0.59
Yağış şiddeti I_{100}	2.83-37.29	17.44	10.38	0.60
Yağış şiddeti I_{500}	3.45-55.06	22.85	14.41	0.63
Bağımlı değişkenler				
Q_5 (m^3/s)	24.1-449.57	126.75	89.00	0.70
Q_{10} (m^3/s)	28.59-523.98	159.05	107.69	0.67
Q_{20} (m^3/s)	34.44-613.63	206.20	133.57	0.65
Q_{50} (m^3/s)	38.92-678.53	246.54	155.36	0.63
Q_{100} (m^3/s)	43.52-741.43	291.75	180.54	0.62
Q_{500}(m^3/s)	54.8-1037.93	422.09	260.84	0.62

Tablo 14. T=5, 10, 25, 50, 100 ve 500 yıl yineleme süreli en iyi regresyon denklemleri

Q_T	Denklem
Q_5	$LnQ = 4{,}0389 + 0{,}0008A - 0{,}0011DY - 0{,}6379E - 0{,}0005K + 0{,}0004Y + 0{,}0311YŞ$
Q_{10}	$LnQ = 4{,}2584 + 0{,}0007A - 0{,}0008DY - 0{,}5398E - 0{,}0006K + 0{,}0003Y + 0{,}0329YŞ$
Q_{25}	$LnQ = 4{,}5185 + 0{,}0007A - 0{,}0004DY - 0{,}3865E - 0{,}0007K + 0{,}0002Y + 0{,}0354YŞ$
Q_{50}	$LnQ = 4{,}6991 + 0{,}0007A - 0{,}0001DY - 0{,}2446E - 0{,}0007K + 0{,}0001Y + 0{,}0358YŞ$
Q_{100}	$LnQ = 4{,}8725 + 0{,}0007A + 0{,}0002DY - 0{,}1228E - 0{,}0008K + 0{,}0001Y + 0{,}0354YŞ$
Q_{500}	$LnQ = 5{,}2785 + 0{,}0006A + 0{,}0008DY + 0{,}1816E - 0{,}0009K + 0{,}0002Y + 0{,}0292YŞ$

Çalışmada elde edilen denklemlerin kullanılabilir olduğunu test etmek amacıyla istasyonların iki tanesi modelin geliştirilmesinde kullanılmamış olup analizlerin doğrulaması için kullanılmıştır. Elde edilen denklemlere doğrulama amaçlı kullanılan iki istasyonun verileri uygulanarak elde edilen hata değerleri ve modelin hata değerleri Tablo 15'de görülmektedir. Tablodan da görülebileceği gibi, her iki doğrulama istasyondan 1.26-7.33 aralığındaki ORH ve 0.0541- 0.2920 aralığındaki OKHK değerleri elde edilmiştir. Doğrulama analizi sonuçları, elde edilen denklemlerin ölçümü olmayan noktalarda taşkın debileri tahmininde kullanılabileceğini göstermiştir.

Tablo 15. Analiz ve doğrulama modellerinin hata değerleri

	Analiz		1. doğrulama istasyonu		2. doğrulama istasyonu	
	ORH	OKHK	ORH	OKHK	ORH	OKHK
Q_5	9.769	0.679	3.3215	0.1427	7.3333	0.2920
Q_{10}	9.165	0.669	3.5209	0.1576	1.8825	0.0768
Q_{25}	8.545	0.658	1.7077	0.0801	1.6057	0.0671
Q_{50}	8.216	0.654	4.6421	0.2247	1.4976	0.0634
Q_{100}	8.019	0.653	4.4066	0.2195	1.2613	0.0541
Q_{500}	8.303	0.671	2.5897	0.1369	1.5852	0.0695

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Doğu Karadeniz Havzası yıllık maksimum debi değerlerine L-momentler yöntemi kullanılarak taşkın frekans analizi uygulanmıştır. 38 adet AGİ'de test edilen homojenlik analizi sonucunda 33 tanesi homojenlik koşulunu sağlamıştır. Bölge için seçilen en uygun dağılımın olasılık fonksiyonunda L-momentlerle hesaplanan parametreler yerine konarak, T=5, 10, 25, 50, 100 ve 500 yıl yineleme süreli taşkın debileri hesaplanmıştır. Debi değerlerinin havza karakteristikleriyle ilişkilerini belirlemek ve ölçümü olmayan noktalarda debi tahmini yapabilmek için, L-momentlerden elde edilen faklı yineleme sürelerine ait debi değerleri bağımlı değişken olarak kullanılarak doğrusal olmayan regresyon modeli geliştirilmiştir. Drenaj alanı, akarsu eğimi, yıllık ortalama yağış, drenaj yoğunluğu, kot ve yağış şiddetinin bağımsız değişkenleri oluşturduğu model, debi tahmini için en iyi model olarak belirlenmiştir. Söz konusu modele farklı regresyon fonksiyonları uygulanmış ve havza özelliklerine bağlı olarak debinin, T=5, 10, 25, 50, 100 ve 500 yıllık yineleme süreli değerlerini tahmin edebilecek regresyon denklemleri elde edilmiştir. Elde edilen bu denklemlerin ölçüm olmayan noktalarda taşkın debisi tahmini yapılabilmesini sağladığı doğruluk analizi ile gözlemlenmiştir.

Çalışmadan elde edilmiş sonuçlar, havzadaki su kaynaklarının geliştirilmesi çalışmalarında ve mevcut barajların işletmesinde (taşkın kontrolü çalışmaları) kullanılabilir. Ayrıca, etüt aşamasında olan barajların hazne optimizasyonu ve savak yapılarının tasarımında bu sonuçların önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir. Aynı zamanda bu çalışma, havzadaki su yapılarının yanlış projelendirmesinin azaltılmasına ve taşkından kaynaklanan ciddi çevresel sonuçları azaltmaya faydalı olabilecektir.

Semboller

AGİ : Akım gözlem istasyonu

D_i : Uyumsuzluk ölçüsü

DSİ : Devlet Su İşleri

DMİ : Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü

GLO : Genelleştirilmiş lojistik

GEV : Genelleştirilmiş-ekstrem değer

H_i : Heterojenlik ölçüsü

L_{Cv} : Varyasyon katsayısı

L_{kurt} : Basıklık katsayısı

L_{skew} : Çarpıklık katsayısı

LN : Lognormal

PE3 : Pearson tip III

N : Gözlem sayısı

OMH : Ortalama mutlak hata

OKHK : Ortalama karesel hatanın karekökü

ORH : Ortalama rölatif hata

Q : Ölçülmüş olan debi değeri

Q_T : T yıl tekerrürlü taşkın debisi

R^2 : Determinasyon katsayısı

t_c : Konsantrasyon süresi

Y_d : Drenaj yoğunluğu

x(F) : Tekerrür fonksiyonu

α : Ölçek parametresi

ξ : Yer parametresi

k : Şekil parametresi

Teşekkür

Bu çalışma, Şubat 2013'de aramızdan ayrılan Doç. Dr. Murat İhsan KÖMÜRCÜ'nün anısına adanmıştır.

Kaynaklar

[1] Yüksek, Ö., Serencam, U., Üçüncü, O., Anılan, T., Afet ve Taşkın Yönetimi ve Değirmendere Örneği, Taşkın ve Heyelan Sempozyumu, Trabzon, 33-44, 2013a.

[2] Yüksek, Ö., Kankal, M., Üçüncü, O., Assessment of Big floods in the Eastern Black Sea Basin of Turkey, Environmental Monitoring and Assessment, 185:797–814, 2013b.

[3] Anılan, T., Doğu Karadeniz Havzası'nın L-Momentlere Dayalı Taşkın Frekans Analizinde Yapay Zeka Yöntemlerinin Uygulanması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2014.

[4] Seçkin, N., L-Momentlere Dayalı Gösterge-sel Metodu ile Bölgesel Taşkın Frekans Analizi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2009.

[5] Hosking, J. R. M., L moments: Analysis and Estimation of Distributions Using Linear Combinations of Order Statistics, Journal of the Royal Statistical Society Series B, 52, 105-24, 1990.

[6] Hosking, J. R. M., Wallis, J. R., Some Statistics Useful in Regional Frequency Analysis, Water Resources Research, 29, 2, 271–281, 1993.

[7] Chowdhury, J. U., Stedinger, J. R., Lu, L., Goodness-of-fit Tests for Regional Generalized Extreme Value Flood Distributions, Water Resources Research, 27, 7, 1765-1776, 1991.

[8] Haktanır, T. ve Çapar, Ö.F., Güncel Modelleri de İçeren Taşkın Frekans Analizi için Paket Program, Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 15.Yıl Sempozyumu Özel Sayısı, Cilt I, 37-42, 1994.

[9] Yang, T., Shao, Q., Hao, Z. C., Chen, X., Zhang, Z., Xu, C, Y., Sun, L., Regional Frequency Analysis and Spatio Temporal Pattern Characterization of Rainfall Extremes in Pearl River Basin, China. Journal of Hydrology, 380, 386–405, 2010.

[10] Malekinezhad, H., Nactnebel, H. D., Klik, A., Comparing The Index-Flood and Multiple-Regression Methods Using L-Moments, Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C , 36,1–4, 54–60, 2011.

[11] Şorman, Ü., Bölgesel Frekans Analizindeki Son Gelişmeler ve Batı Karadeniz'de Bir Uygulama. İMO Teknik Dergi, 15, 2, 3155–3169, 2004.

[12] Atiem, I. A., Harmancıoğlu, N., Assesment of Regional Floods Using L-moments Approach: The Case of The River Nile, Water Resources Management, 20, 723-747, 2006.

[13] Anlı, S. A., Apaydın, H., Öztürk, F., 2007. Regional Flood Frequency Estimation for the Göksu River Basin Through L-moments, International Congress on River Basin Management, DSİ, 424-438, Antalya.

[14] Şahin, Ö., Van İli Gevaş-Gürpınar Havzası'nda Çeşitli Dağılımların Karşılaştırılması ile Taşkın Frekans Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 2007.

[15] Bayazıt, M., Önöz, B., LL-moments for Estimating Low Flow Quantiles, Hydrological Sciences Journal, 47:5, 707-720, 2009.

[16] Saf, B., Application of Index Procedures to Flood Frequency Analysis in Turkey. Journal of the American Water Resources Association, 44, 1, 37–47, 2008.

[17] Seçkin, N., L-Momentlere Dayalı Gösterge-sel Metodu ile Bölgesel Taşkın Frekans Analizi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2009.

[18] Yıldız, O. E., L-moment Tekniğine Dayalı Havza Karakteristik Debisinin Tahmin Edilmesi: Doğu Karadeniz Örneği, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2012.

[19] Aydoğan, D., Kankal, M., Önsoy, H., Regional Flood Frequency Analysis for Çoruh Basin of Turkey with L-Moments Approach, Flood Risk Management, DOI: 10.1111/jfr3.12116, 2014.

[20] Palmen, L. B., Weeks, W. D., Regional Flood Frequency for Queesland Using the Quantile Regression Technique, Australian Journal of Water Resources, 15, 1, 47-56, 2011.

[21] Aziz, K., Rahman, A., Fang, G. ve Shrestha, S., 2013. Application of Artificial Neural Networks in Regional Flood Frequency Analysis: A Case Study for Australia, Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 28,3, 541-554.

[22] Seckin, N., Cobaner, M., Yurtal, R. ve Haktanir, T., Comparison of Artificial Neural Network Methods with L-moments for Estimating Flood Flow at Ungauged Sites: The Case of East Mediterranean River Basin, Turkey, Water Resources Management, 27, 2103–2124, 2013.

[23] Şahin, M. A., Regional Flood Frequency Analysis for Ceyhan Basin, M.Sc. Thesis, Middle East Technical University, Ankara, 2013.

[24] Hosking, J. R. M., The Theory of Probability Weighted Moments. Research Rep. RC 12210, 160 pp., IBM Research Division, Yorktown Heights, NY, 1986.

[25] Gebeyehu, A., Regional Flood Frequency Analysis, The Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, Bulletin No. TRIVA-VBI–148, 1989.

[26] Vogel, R.M., Fennessey, N.M., L Moment Diagrams Should Replace Product Moment Diagrams, Water Resources Research, 29,6, 1745-1752, 1993.

[27] Hosking, J. R. M., Wallis, J. R., Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-Moments, IBM Research Division, Yorktown Heights, New York, Cambridge University Pres 224s, 1997.

[28] DSİ, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Akım Gözlem İstasyonları Genel Bilgiler. 1943-2012.

[29] Jingyi, Z., Hall, M. J., Regional Flood Frequency Analysis for the Gan-Ming River Basin in China. Journal of Hydrology, 296, 98–117, 2004.

[30] Dawson, C. W., Abrahart, R. J., Shamseldin, A.Y. ve Wilby, R. L., Flood Estimation at Ungauged Sites Using Artificial Neural Networks, Journal of Hydrology, 319, 391–409, 2006.

[31] Leclerc, M., Ouarda, T. B. M. J., Non Stationary Regional Frequency Analysis at Ungaged Sites, Journal of Hydrology, 343, 254-265, 2007.

[32] Shu, C., Ouarda, T. B. M. J., Flood Frequency Analysis at Ungauged Sites Using Artificial Neural Networks in Canonical Correlation Analysis Physiographic Space, Water Resources Research, vol. 43, W07438, doi:10.1029/ 2006WR005142, 2007.

[33] Haddad, K., Rahman, A., Regional Flood Frequency Analysis in Eastern Australia: Bayesian GLS Regression-based Methods Within Fixed Region and ROI Framework – Quantile Regression vs. Parameter Regression Technique, Journal of Hydrology, 430-431, 142-161, 2012.

[34] Rahman, A., Haddad, K., Zaman, M., Kuczera, G., Weinmann, P. E., Design Flood Estimation in Ungauged Catchments: A Comparison Between the Probabilistic Rational Method and Quantile Regression Technique for NSW, Australian Journal of Water Resources, 14, 2, 127-137, 2011.

[35] Rahman, A., Haddad, K., Zaman, M., Kuczera, G., Weinmann, P. E., Stensmyr, P., Babister, M., New Regional Flood Frequency Estimation (RFFE) Method for the Whole of Australia: Overview of Progress, SCEM Seminar, Australia, 2013.

[36] DMİ, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Yıllık Yağış Verileri.1943-2012.

[37] Saka, F., Sentetik Debi Süreklilik Eğrilerinin Matematiksel Yöntemlerle Belirlenmesi ve Doğu Karadeniz Örneği. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2012.