

Ankara’da Ölçülen Yıllık Maksimum Yağışların Bölgesel Frekans Analizi*

Alper Serdar ANLI Fazlı ÖZTÜRK

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Ankara

Özet: Bu çalışmada Ankara ilinde meydana gelen yağışların L moment yöntemleri ile bölgesel frekans analizi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 32 yağış gözlem istasyonundan elde edilen günlük yağış miktarlarından yararlanarak yıllık maksimum yağış dizileri oluşturulmuştur. Bölgesel analizlere istasyonların tümü bir bölge kabul edilerek başlanmış, ancak istasyonlardaki düzensizlikten dolayı Ankara ili kümeleme analizi yardımıyla üç bölgeye ayrılmıştır. Gösterge taşkın yöntemi yoluyla gerçekleştirilen bir dizi analizler sonucunda bölgelere göre homojenlik sağlanmış, her bölge için uygun bir olasılık dağılımı saptanmış ve bölgesel L moment algoritması ile çeşitli tekrarlanma sürelerinde (2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıl) muhtemel tasarım yağışları tahmin edilmiştir. Tahmin edilen yağış miktarlarının doğruluğunun değerlendirilmesi amacıyla Monte Carlo simülasyon tekniği uygulanmış ve her bölge için büyüme eğri bileşenleri elde edilerek, tekrarlanma tahminlerinin mutlak taraflılık, taraflılık ve ortalama karekök hataları (RMSE) hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ankara, bölgesel frekans, yıllık maksimum yağış, L moment, gösterge taşkın, Monte Carlo simülasyonu.

Regional Frequency Analysis for Annual Maxima Precipitation Data Measured in Ankara Province

Abstract: In this study, regional frequency analysis of precipitation data is carried out through methods of L -moments in Ankara province. Annual maxima precipitation series are formed using daily precipitation records obtained from 32 rainfall gauging station. Firstly, whole stations are assumed one region and then stations are split up three region using cluster analysis due to discordant stations. A set of analysis is carried out through index-flood procedure and regional homogeneity is obtained and suitable probability distribution is selected for each region and probable design precipitation values are estimated for various return periods (T year= 2, 5, 10, 25 and 100) via regional L -moment algorithm. Monte Carlo simulation experiments are applied and regional growth curve components are obtained and absolute bias, bias and root mean square errors (RMSE) of estimated quantiles are computed for assessment of the accuracy of estimated precipitation quantiles.

Keywords: Ankara, regional frequency, annual maxima precipitation, L -moment, index-flood, Monte Carlo simulation.

1. Giriş

Yeryüzündeki suyun kaynağı olan yağışlardan meydana gelen taşkınlar, can ve mal kaybına neden olur. Bu zararları önleyecek taşkın kontrol yapıları ile drenaj şebekelerinin tasarımı için söz konusu yağışların gelecekteki değerlerinin tahmin edilmesi gerekmektedir. Hidrolojide istatistiksel analizler; verinin özetlenmesi, anlamlı bir şekilde ifade edilmesi, gözlenen olayların temelini oluşturan karakteristiklerinin saptanması ve bunların gelecekteki davranışları hakkında tahminler yapılması amacıyla uygulanır. Hidrolojik verinin gelecekteki miktarları, frekans analizlerine göre belirtilir. Frekans analizi, hidrolojik bir olayın hangi aralıklarda meydana geleceğinin ifadesidir (Anlı 2009).

Bir istasyonda belirli aralıklarda ölçülmüş ve belirli zamanda meydana gelmiş bir gözlem

rastgele bir değişken olarak Q ile ifade edilirse, istatistiksel frekans analizi; Q değerinin hangi sıklıkta meydana geleceğinin göstergesi olan frekans dağılımı ile belirtilir. Buna göre her bir x değerinde Q değerinin frekansı olan $F(x)$ Eşitlik 1 ile gösterilir;

$$F(x) = P[Q \leq x]$$

(1)

$F(x)$ frekans dağılımının birikimli fonksiyonunu belirtir ve bu fonksiyonun tersi x (F) aşılma olasılığı F 'nin büyüklüğünü, yani tekrarlanma fonksiyonunu ifade eder. T tekrarlanma süresinde meydana gelen miktar Q_T ise, frekans dağılımının sırasıyla aşılma ve aşılma olasılık fonksiyonlarının tersleri için Eşitlik 2 ve 3’de verilir;

$$Q_T = x(1 - 1/T) \quad (2)$$

$$Q_T = x(1/T) \quad (3)$$

* Bu makale Alper Serdar ANLI'nın Doktora tezinin bir kısmından hazırlanmıştır.

Bir frekans dağılımının konumu, değişimi ve şekli dağılımın momentleri tarafından ifade edilir. Bu momentler ortalama ve standart sapma ölçüleri ile değişim, çarpıklık ve basıklık katsayıları olarak belirtilebilir. Frekans analizlerinde pek çok parametre tahmin yöntemi kullanılır. Bu tahmin yöntemlerinin seçilmesi, ölçülen verinin büyüklüğüne bağlıdır. Bunlardan en yaygın kullanılanları; momentler, maksimum olabilirlik, olasılık ağırlıklı momentler ve L momentler parametre tahmin yöntemleridir (Anonim 1975).

Son yıllarda yaygın kullanılan L momentler yöntemi, hidrolojik verinin karakteristiklerini ve bu verinin dağılım parametrelerini basit ve etkili bir şekilde vermektedir. L momentler, tahmin aralıklarında ve hipotez testlerinde de kullanılabilir (Vogel ve ark. 1993). L momentlerin diğer olağan çarpım momentlerine göre özellikle hidrolojik çalışmalarda üstünlükleri vardır.

Bazı durumlarda bir istasyonda görülebilecek bir ekstrem olayın frekansını tarif etmek için yeterli veri bulunmamakta, bazı istasyonlarda ise hiç veri olmamaktadır. Buna karşın, farklı ölçüm istasyonlarında benzer frekanslara sahip gözlemler mevcut olabilmekte ve bu nedenle bütün mevcut veri analiz edilerek daha doğru sonuçlar elde edilebilmektedir. Dolayısıyla noktasal verinin yetersizliği ve farklı ölçüm istasyonlarındaki verilerin tümünün analizi ile daha doğru sonuçların elde edilecek olunması, *Bölgesel Frekans Analizi*'ni kullanmayı gerektirmektedir. Bölgesel frekans analizinin başlıca prensibi, farklı ölçüm istasyonlarındaki verilerin benzer frekanslara sahip olduğu durumlarda uygulanması gerektiğidir. Böylelikle, her bir ölçüm istasyonunda, uygun bir şekilde tarif edilen bir bölge içinde, hiçbir verisi olmayan ve üzerinde ölçüm istasyonu olmayan havzalarda bile bölgesel karakteristikler kullanılarak daha doğru sonuçlara ulaşılmaktadır (Hosking ve Wallis 1997).

Guttman (1993) bölgesel yağış atlasının oluşturulmasında L moment tekniğini kullandığı çalışmada benzer yağış iklimlerine sahip bölgeler elde etmiştir. Guttman ve ark. (1993) Amerika Birleşik Devletleri'nde yaptıkları bölgesel yağış frekans analizi çalışmalarında, yağış tekrarlanma miktarlarını 9 farklı olasılık seviyesi, 8 standart süre, 12 ay ve 111 bölge için L moment

yöntemini kullanarak tahmin etmişlerdir. Adamowski ve ark. (1996) Kanada'da alansal yağış dağılımı ile ilgili yaptıkları çalışmada L moment istatistiklerini kullanarak, 320 istasyondan alınan verilerin L çarpıklık ve L basıklık oranlarına göre Kanada'yı bir homojen bölge olarak kabul etmişler ve uygun dağılım olarak genel ekstrem değer (GEV) dağılımını seçmişlerdir. Kysely ve ark. (2005) Çek Cumhuriyeti'nde L moment yöntemiyle gerçekleştirdikleri bölgesel frekans analizinde 1-7 günlük yıllık maksimum yağış miktarlarını kullanmışlardır. Veri setinde 1961-2000 yılları arasında 78 istasyonda ölçülen günlük yağış toplamlarından yararlanmışlardır. Bölgeleri, kümeleme analizi yoluyla boylam, enlem, yükseklik, ortalama yıllık yağış, ortalama kurak günler sayısı değişkenlerini kullanarak ve bölgesel homojenlik (10 yıllık miktar, L moment oranları, L moment istatistiklerinin değişimi) testleri kullanarak düzenlemişlerdir. Test sonuçlarına göre, Çek Cumhuriyeti'ni ekstrem yağış karakteristiklerine göre dört homojen bölgeye ayırt etmişlerdir. Daha sonra bu bölgeler genel lojistik, genel ekstrem değer, genel normal (GNO) ve Pearson tip 3 (PE3) dağılımları arasından en uygun dağılımı seçmek için bölgesel frekans analizine tabi tutulmuş, parametre ve tekrarlanma tahminleri yapılmıştır. Yurekli (2005) Tokat bölgesinde ölçülen günlük yağışlar arasından her yıl için seçtiği maksimum yağışların bölgesel frekans analizini gerçekleştirdiği çalışmada, öncelikle verinin rastgelelik ve homojenliği için Runs ve Mann-Whitney istatistiklerini uygulamıştır. Daha sonra Tokat ilini Batı, Orta Kuzey, Orta Güney ve Doğu olarak dört hidrolojik homojen bölgeye ayırmış ve bu bölgeler için parametreleri L moment yöntemi ile tahmin edilen seçilmiş değişik dağılımlar arasından en uygun olanını, ortalama mutlak sapma indisi (MADI) ve ortalama kare sapma indisi (MSDI) ölçülerine göre belirlemiştir. Sonuç olarak Batı ve Orta Kuzey genel lojistik, Orta Güney genel Pareto (GPA) ve Doğu için ise genel ekstrem değer dağılımlarının bu bölgeler için en uygun dağılımlar olduğunu ileri sürmüştür. Eslemian ve Feizi (2007) İran-İsfahan'da yaptıkları maksimum aylık yağış analizinde L momentleri kullanmışlar ve 18 istasyondan alınan bu yağışlara genel ekstrem değer ve Pearson tip 3 dağılımlarını uygulamışlardır. Sonuçta elde edilen ekstrem yağışların kurak olan bu bölgede

meteorolojik kuraklığın yönetimi açısından yararlı olduğunu ifade etmişlerdir. Yurekli ve Modarres (2007) Tokat ilinde yıllık maksimum yağışlara bölgesel dağılım uygulamak için L momentler yöntemini kullanmışlardır. İstasyonların yağış miktarları ile yükseklikleri arasında önemli bir ilişki olmadığından, Tokat ili önce homojen olmayan iki bölgeye ayrılmıştır. Daha sonra Tokat ili öznel olarak üç bölgeye bölünmüş ve bu bölgeler homojen olarak belirtilmiştir. Uygunluk ölçüsü testi yardımıyla, genel lojistik ve genel ekstrem değer dağılımları en uygun bölgesel olasılık dağılımı olarak saptanmıştır. Anlı ve ark. (2008) Samsun ilinde gözlenen ekstrem yağışların gösterge taşkın yöntemi ile bölgesel tahminini yaptıkları çalışmada, 7 yağış ölçüğünden elde edilen 11-79 yıl süreli yıllık maksimum yağışlardan yararlanılmışlardır. Modarres (2008) hiyerarşik kümeleme analizi ve L momentleri kullanarak homojen yağış grupları oluşturduğu ve bölgesel yağış frekans analizi yaptığı çalışmasında İran'ı coğrafi ve iklim değişkenliği gösteren 8 homojen alt bölgeye ayırmıştır. Sonuç olarak İran'ın alt bölgesel yağış dağılımlarını genel normal, logaritmik normal (LN3), Pearson tip 3 ve genel ekstrem değer olarak belirtmiştir. Yurekli ve

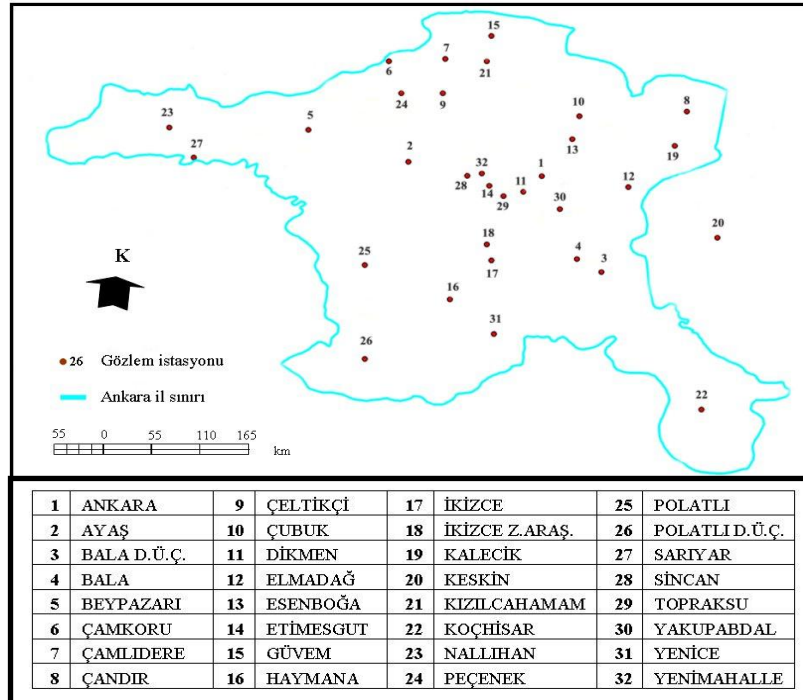
ark. (2009) Çekerek Havzasında bulunan 17 istasyondan elde ettikleri yağış miktarları ile bölgesel maksimum günlük yağış tahminlerinde L moment yöntemi kullanmışlardır. Aykırı test sonucuna göre uyumsuz olan istasyon bölge içinden çıkarılınca homojenlik testi sonuçları bölgenin homojen olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, havza yağışlarına en iyi uyumun genel normal dağılımın sağladığını belirtmişlerdir.

Bu araştırma, L moment yöntemlerinin Ankara'da ölçülen maksimum yağışların bölgesel frekans analizinde uygulanma olanaklarını saptamak amacıyla planlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Bu çalışmaya başlanan 2006 yılında Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından işletilen ve Ankara'da bulunan istasyon sayısı 32 olarak saptanmıştır. Bölgesel frekans analizi amacıyla materyal olarak kullanılan günlük yağış miktarları, 7-79 yıl süreli 32 yağış gözlem istasyonundan elde edilmiş ve bu istasyonların Ankara ilindeki konumları Şekil 1'de, gözlem süreleri ve bazı karakteristikleri de Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Araştırmada materyal olarak kullanılan günlük yağış miktarlarının elde edildiği istasyonların Ankara ilindeki konumları

2.2. Yöntem

2.2.1. Araştırmada kullanılan maksimum yağışların belirtilmesi

Araştırmada kullanılan maksimum yağışlar, Çizelge 1'de verilen istasyonlarda ölçülen günlük yağış miktarları arasından bir yıl için seçilen en büyük değerler, yıllık maksimum yağış dizileri olarak göz önüne alınmıştır (Okman 2005).

2.2.2. L moment tekniği

Hosking (1990) tarafından belirtilen, L moment istatistikleri, gözlenen verinin karesinin ve küpünün alınmadan elde edilen doğrusal bileşenleridir.

Frekans dağılımlarının şekillerini tarif eden bir yöntem olan L momentler, uzun süreli veride normal çarpım momentlerine göre daha az duyarlılığa sahiptir. Bir x verisinin L momentleri olasılık ağırlıklı momentlerin fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. Buradan

sıralanmış gözlemlerden $x_{(j:n)}$ elde edilen olasılık ağırlıklı momentler tarafsız örnek tahmini olarak Greenwood ve ark. (1979) tarafından Eşitlik 4'deki gibi tanımlanmıştır;

$$b_r = n^{-1} \sum_{j=1}^n \frac{(j-1)(j-2)\dots(j-r)}{(n-1)(n-2)\dots(n-r)} x_{j:n} \quad (4)$$

b_r değerlerinin ilk dördü ($r= 0, 1, 2, 3$) olasılık ağırlıklı momentler (b_0, b_1, b_2 ve b_3) bulunur ve herhangi bir dağılım için ℓ_{r+1} ile sembolize edilen L moment istatistikleri, Eşitlik 5'de verilen ilişkilerden saptanır;

$$\begin{aligned} \ell_1 &= b_0, \\ \ell_2 &= 2b_1 - b_0, \\ \ell_3 &= 6b_2 - 6b_1 + b_0, \\ \ell_4 &= 20b_3 - 30b_2 + 12b_1 - b_0. \end{aligned} \quad (5)$$

Çizelge 1. Araştırmada materyal olarak kullanılan yağış miktarlarının elde edildiği istasyonların gözlem süreleri ve bazı karakteristikleri

Sıra	İstasyon Adı	Gözlem Süresi (yıl)	Enlem (°)	Boylam (°)	Yükseklik (m)	Ortalama (mm)	Standart Sapma
1	ANKARA	79	39.95	32.88	894	29.49	12.10
2	AYAŞ	15	40.03	32.33	910	27.88	6.17
3	BALA D.Ü.Ç.	29	39.55	33.12	1000	26.80	7.29
4	BALA	25	39.70	33.02	1300	29.32	5.32
5	BEYPAZARI	55	40.17	31.92	682	28.32	8.92
6	ÇAMKORU	35	40.47	32.25	1350	34.62	8.68
7	ÇAMLIDERE	11	40.48	32.48	1175	26.78	7.03
8	ÇANDIR	7	40.15	33.28	1000	30.66	13.70
9	ÇELTİKÇİ	9	40.20	32.28	775	28.16	8.98
10	ÇUBUK	56	40.23	33.03	992	29.93	11.24
11	DİKMEN	24	39.90	32.80	1075	29.65	9.63
12	ELMADAĞ	20	39.92	33.23	1130	30.71	8.40
13	ESENBOĞA	49	40.13	33.00	952	26.78	6.39
14	ETİMESGUT	54	39.95	32.67	806	25.96	7.16
15	GÜVEM	9	40.36	32.41	1050	26.43	8.65
16	HAYMANA	30	39.43	32.50	1225	30.13	9.77
17	İKİZCE	23	39.60	32.67	925	29.37	7.96
18	İKİZCE Z.ARAŞ.	31	39.67	32.65	1055	29.22	11.47
19	KALECİK	19	40.10	33.42	780	31.94	8.98
20	KESKİN	51	39.41	33.37	1140	28.23	6.94
21	KIZILCAHAMAM	63	40.47	32.65	1002	37.01	11.22
22	KOÇHISAR	28	38.95	33.53	975	28.75	8.63
23	NALLIHAN	40	40.18	31.35	650	24.82	8.67
24	PEÇENEK	11	40.33	32.30	1500	27.45	7.08
25	POLATLI	75	39.58	32.15	885	27.17	8.09
26	POLATLI D.Ü.Ç.	34	39.17	32.15	800	29.32	17.37
27	SARIYAR	29	40.05	31.45	460	23.69	5.72
28	SİNCAN	21	39.97	32.57	800	30.14	12.67
29	TOPRAKSU	55	39.95	32.72	924	29.65	10.84
30	YAKUPABDAL	20	39.83	32.95	1550	24.52	3.69
31	YENİCE	11	39.28	32.68	1175	32.77	12.84
32	YENİMAHALLE	15	39.98	32.63	883	24.72	5.59

İlk L moment olan ℓ_1 , merkezi eğilim ölçüsü olmasının yanında dağılımın ortalamasına eşittir. ℓ_2 ise dağılma (standart sapma) ölçüsüdür. Buradan boyutsuz L moment oranları (L değişim katsayısı, L çarpıklık ve L basıklık) Eşitlik 6'daki gibi tahmin edilmiştir;

$$\begin{aligned} t &= \ell_2 / \ell_1 \text{ (} L \text{ değişim katsayısı),} \\ t_3 &= \ell_3 / \ell_2 \text{ (} L \text{ çarpıklık),} \\ t_4 &= \ell_4 / \ell_2 \text{ (} L \text{ basıklık).} \end{aligned} \quad (6)$$

2.2.3. Bölgeselleştirme

Bu çalışmada yıllık maksimum yağış dizilerinin bölgeselleştirilmesi için bölgesel frekans analiz yöntemlerinden biri olan gösterge taşkın yöntemi kullanılmıştır. N istasyon sayısına sahip bir bölgede bir i istasyonunun n_i adet verisi olduğu ve bu verinin Q_{ij} , $j=1, \dots, n_i$ şeklinde gösterildiği belirtilirse; $Q_i(F)$; i istasyonundaki verinin aşılmama olasılığının fonksiyonudur. Bu yöntem, istasyonların yaklaşık olarak homojen bir bölge oluşturması ve bu bölgedeki tüm istasyonlarda kaydedilen verinin frekans dağılımının o istasyona ait olan belirli bir ölçek faktörü (gösterge taşkın) dışında aynı olmasını esas alır (Dalrymple 1960). Bu varsayım Eşitlik 7 ile ifade edilir;

$$Q_i(F) = \mu_i q(F), \quad i=1, \dots, N. \quad (7)$$

Eşitlikte 7'de; μ_i ; i istasyonunda ölçülen yağış dizisinin ortalamasını temsil eden gösterge taşkın değeridir. Her bir istasyon için aynı olan boyutsuz tekrarlanma fonksiyonu $q(F)$ aşılmama olasılığının bölgesel büyüme eğrisini temsil eder.

2.2.4. Bölgesel frekans analizinde izlenen aşamalar

Gösterge taşkın yöntemi yoluyla bölgesel frekans analizinde izlenen ve Hosking ve Wallis (1993)'de belirtildiği gibi bu çalışmada uygulanan aşamalar sırasıyla; verinin derlenmesi, homojen bölgelerin saptanması, uygun bölgesel frekans dağılımının seçilmesi ve tekrarlanma miktarlarının tahmin edilmesi olarak dört ana grupta incelenebilir. Bu aşamalar ve aşamalar ile ilgili L moment yöntemlerine dayanan istatistikler aşağıda verilmiştir:

Düzensizlik ölçüsü

Verinin derlenerek incelendiği, verilerdeki büyük hataların ve tutarsızlıkların giderilmesi ile birlikte zaman içinde var olan değişimlerden dolayı verilerin istatistiksel karakterinin değişip değişmediğinin araştırıldığı bu ölçü, bir grup istasyon içinden bütün olarak uyumsuz olan istasyonların saptanmasını sağlamaktadır. Düzensizlik ölçüsü (D_i) ile homojen bölgelerin belirlenebileceği belirtilmiş ve Eşitlik 8 ile ifade edilmiştir.

$$D_i = \frac{1}{3} N(u_i - \bar{u})^T K^{-1}(u_i - \bar{u}). \quad (8)$$

Eşitlik 8'de; u_i , herhangi bir istasyon için L moment oranlarının vektörünü K , bu vektörün kovaryans matrisini \bar{u} de vektörün ortalamasını göstermektedir. Bir istasyonun tümüyle uyumsuz olarak nitelendirilmesi için düzensizlik ölçüsünün (D_i) bölge içindeki istasyon sayısına bağlı olarak değişen kritik değerden büyük olması gerekir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Düzensizlik ölçüsü için kritik değerler (Hosking ve Wallis 1997)

İstasyon Sayısı	Kritik Değer	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

Bu çalışmada hidrolojik homojen bölgelere ayırma işlemi Gordon (1981)'de belirtilen kümeleme analizi sınıflandırma yöntemlerinden Ward bağlantı yöntemi ve Öklit uzaklık ölçüsüne göre yapılmış, buradan

önerilen bölgelerin homojen olup olmadığının değerlendirilmesi de heterojenlik ölçüsü ile gerçekleştirilmiştir (Parida ve ark. 1998, Hosking 1994).

Düzensizlik ölçüsüne göre uygun bir bölge fiziksel olarak belirtildikten sonra, önerilen

bölgenin homojen olup olmadığını değerlendirmek için heterojenlik ölçüsü (H) önerilmiştir. Bu amaçla aynı gözlemlere sahip homojen bir bölgedeki istasyon verisinin simülasyonu ile seçilen dağılıma ölçüsünün ortalama ve standart sapmaları elde edilir. Buradan gözlenen ve simülasyonu yapılan dağılıma ölçülerinin karşılaştırılmaları için uygun H istatistiği Eşitlik 9'daki gibi yazılabilir;

$$H = \frac{(V_{obs} - \mu_v)}{\sigma_v} \quad (9)$$

Eşitlik 9'da; V_{obs} ; yukarıda anılan farklı L moment oranlarına göre bölgesel veriden elde edilen ağırlıklı standart sapmayı; μ_v ve σ_v V_{obs} istatistiğinin simülasyon sayısının ortalama ve standart sapmasını ifade eder. V_{obs} Eşitlik 10'daki gibi elde edilir;

$$V_{obs} = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N n_i (t^{(i)} - t^R)^2}{\sum_{i=1}^N n_i} \right\}^{1/2} \quad (10)$$

Eşitlik 10'da $t^{(i)}$, istasyon L değişim katsayısı, t^R , bölgesel L değişim katsayısını göstermektedir. Bu çalışmada simülasyon yapılırken, iki ve üç parametrelili dağılımlar yerine hidrolojik olayların frekans analizlerinde birçok dağılımı temsil etmesinden dolayı güçlü bir dağılım olan dört parametrelili Kappa frekans dağılımı kullanılmıştır. μ_v ile σ_v değerlerinin güvenilir olarak tahmin edilmesi açısından simülasyon sayısı bir bölge için 500 adet olarak belirlenmiştir (Hosking 1994). Buna göre bölgenin; eğer $H < 1$ ise kabul edilebilir düzeyde homojen, $1 \leq H < 2$ ise, muhtemelen heterojen ve $H \geq 2$ ise kesinlikle heterojen olduğuna karar verilir.

Uygunluk ölçüsü

Bölgesel frekans analizlerinde, seçilen homojen bölgedeki istasyonlardan elde edilen veriye, tek bir frekans dağılımı en iyi uygunluğu göstermektedir. Eşitlik 11'de verilen ve L basıklık oranına bağlı olan uygunluk kriteri ve herhangi bir olasılık dağılımı için Z^{DIST} istatistiği olarak isimlendirilen yöntem önerilmiştir (Hosking and Wallis 1997);

$$Z^{DIST} = (T_4^{DIST} - t_4^R + B_4) / \sigma_4 \quad (11)$$

Eşitlikte 11'de; t_4^R , örneğin bölgesel ortalama L basıklık oranını, B_4 ve σ_4 de sırasıyla, örneğin bölgesel ortalama L basıklık oranı tarafından değerini ve standart sapmasını gösterir ve sırasıyla Eşitlik 12 ve 13'de ifade

edilir;

$$B_4 = N_{sim}^{-1} \sum_{m=1}^{N_{sim}} (t_4^{(m)} - t_4^R). \quad (12)$$

$$\sigma_4 = \left[(N_{sim} - 1)^{-1} \left\{ \sum_{m=1}^{N_{sim}} (t_4^{(m)} - t_4^R)^2 - N_{sim} B_4^2 \right\} \right]^{1/2} \quad (13)$$

Eşitlikte 12 ve 13'de; N_{sim} , Kappa dağılımı yardımıyla gerçekleştirilen simülasyon sayısını, m ise simülasyon yapılan bölge sayısını ifade etmektedir. Bu çalışmada genel lojistik (GLO), genel ekstrem değer (GEV), genel normal (GNO), Pearson tip 3 (PE3) ve genel Pareto (GPA) dağılımları kullanılmıştır. Herhangi bir dağılımda mutlak $Z^{DIST} \leq 1.64$ ise bu dağılım bölgesel dağılım için uygun kabul edilir. Ancak uygun olan dağılımlardan sifira en yakın olan mutlak Z^{DIST} değerini sağlayan dağılım en uygun dağılım olarak seçilmektedir.

Bölgesel L moment algoritması

Bu aşamada homojen bölge verisine uygun bir frekans dağılımı seçilmiştir. Bu çalışmada söz konusu amaç için gösterge taşkın yöntemine dayanan ve ağırlıklı ortalamalar yoluyla noktasal L moment istatistiklerini birleştiren bölgesel L moment algoritması kullanılmış ve aşağıda açıklanmıştır.

Her bir istasyondaki frekans dağılımlarının ortalaması gösterge taşkın değeri sayılarak, bu değer istasyonlarda noktasal verinin örnek ortalaması ile tahmin edilmiştir. N istasyon sayısına sahip bir bölgede bir i istasyonunun n_i adet verisi olduğu, örnek ortalamasının ℓ_1^i , örnek L moment oranlarının da $t^{(i)}, t_3^{(i)}, t_4^{(i)}$ olarak hesap edildiği ve L moment bölgesel ortalama oranlarının da istasyonların gözlem sürelerine göre ağırlıklı olarak t^R, t_3^R, t_4^R şeklinde saptanmasıyla bunların matematiksel açıklaması Eşitlik 14'de yazılabilir;

$$t^R = \frac{\sum_{i=1}^N n_i t^{(i)}}{\sum_{i=1}^N n_i}. \quad (14)$$

Bölgesel ortalama $\ell_1^R = 1$ alınarak Eşitlik 15 yazılır;

$$t_r^R = \frac{\sum_{i=1}^N n_i t_r^{(i)}}{\sum_{i=1}^N n_i}. R= 3, 4.. \quad (15)$$

Buradan bölgesel popülasyon (λ_i ve τ_i) ve örnek L moment oranları (ℓ_i^R, t_i^R) eşitlenerek Eşitlik 16'da verilir;

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= \ell_1^R \\ \tau &= t^R \\ \tau_3 &= t_3^R\end{aligned}\quad (16)$$

Sonuç olarak bölgesel boyutsuz büyüme eğrileri ile birlikte istenen olasılıkta tekrarlanma miktarları Eşitlik 17'deki gibi elde edilir;

$$\hat{Q}_i(F) = \ell_1^i q(F; \ell_1^R, t^R, t_3^R, t_4^R) \quad (17)$$

2.2.5. Tahmin edilen yağış miktarlarının doğruluğunun değerlendirilmesi

Tahmin edilen yağış miktarlarının doğruluğunun değerlendirmesi bu araştırmada Monte Carlo simülasyon tekniği ile yapılmıştır (Hosking ve Wallis 1997). Bu amaçla her bölge için uygun frekans dağılımlarına göre büyüme eğri bileşenleri elde edilerek, tekrarlanma tahminlerinin tarafsızlık, mutlak tarafsızlık ile ortalama karekök hata katsayıları (RMSE) hesaplanmış ve bunların bölgesel ortalama nispi ölçüleri herhangi bir F olasılığı için sırasıyla Eşitlik 18-20'de verilmiştir;

$$B^R(F) = N^{-1} \sum_{i=1}^N B_i(F) \quad (18)$$

$$A^R(F) = N^{-1} \sum_{i=1}^N |B_i(F)| \quad (19)$$

$$R^R(F) = N^{-1} \sum_{i=1}^N R_i(F) \quad (20)$$

Yapılan tüm hesaplamalar için Hosking (2005) tarafından FORTRAN 77 kaynak kodları ile yazılmış olan (l-moments, version 3.04) komutlar kullanılmıştır. Bu komutlar ana bir program altında toplanıp derlenerek çalıştırılmıştır (Anli ve ark. 2007).

3. Bulgular ve Tartışma

Analizlere ilk önce 32 istasyonda ölçülen günlük yağış miktarlarından elde edilen yıllık maksimum yağış dizilerine göre, istasyonların tümü bir bölge kabul edilerek başlanmıştır. Daha sonra göz önüne alınan istasyonlar düzensizlik gösterdiği için, Ward bağlantı yöntemi Öklit uzaklık ölçüsü uyarınca kümeleme analizi yapılarak üç gruba ayrılmış ve anılan testler bu gruplara göre gerçekleştirilmiştir. Kümeleme analizi yapılırken istasyonların Çizelge 1'de verilen enlem, boylam ve yükseklik parametreleri ile yıllık maksimum yağış miktarlarının uzun yıllar ortalamaları kullanılmıştır (Kysely ve ark. 2005). Kümeleme analizi sonuçlarına göre ayrılan üç bölge (grup) içinde bulunan istasyonlar Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Kümeleme analizi sonuçlarına göre ayrılan üç bölge içinde bulunan istasyonlar

1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge
Ankara (1)	Bala D.Ü.Ç. (3)	Ayaş (2)
Bala (4)	Çamkoru (6)	Beypazarı (5)
Çandır (8)	Haymana (16)	Çamlıdere (7)
Çubuk (10)	Keskin (20)	Çeltikçi (9)
Dikmen (11)	Kızılcahamam (21)	Esenboğa (13)
Elmadag (12)	Koçhisar (22)	Etimesgut (14)
İkizce (17)	Polatlı (25)	Güvem (15)
İkizce Zir. Araş. (18)	Polatlı D.Ü.Ç. (26)	Nallıhan (23)
Kalecik (19)	Yenice (31)	Peçenek (24)
Sincan (28)		Sarıyar (27)
Topraksu (29)		Yakupabdal (30)
		Yenimahalle (32)

Not: Parantez içerisindeki rakamlar istasyon sıra numaralarını göstermektedir.

3.1. Bölgesel frekans analizinde karar verme istatistikleri ve tekrarlanma tahminleri

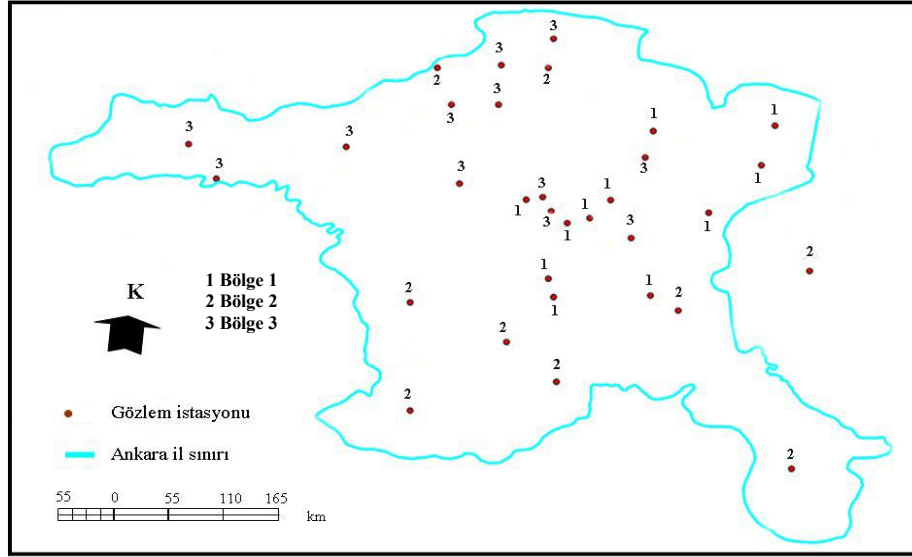
Yıllık maksimum yağış miktarlarına göre istasyonların tümünün bir bölge olarak kabul edildiği durumda elde edilen düzensizlik ölçülerine göre Kalecik ve Yenice istasyonları sırasıyla 3.01 ve 3.81 değerleri ile "düzensiz" çıkmıştır. Bu problemin Kalecik istasyonu için negatif L çarpıklık (- 0.0118) ve Yenice istasyonu için ise negatif L basıklık (- 0.2057)

oranlarından kaynaklandığı söylenebilir. İstasyonların tümünün bir bölge olarak kabul edildiği durumda elde edilen L moment oranları ve düzensizlik ölçüleri yıllık maksimum yağış miktarlarının uzun yıllar ortalamaları ile birlikte Çizelge 4'de verilmiştir (Yurekli ve ark. 2009)

Böylece istasyonların tümünün bir bölge halinde analizi yapıldığı durumdaki düzensiz olan istasyonlardan dolayı bunların üç bölge halinde analizi yapılması söz konusudur.

Buradan kümeleme analizi ile üç gruba bölünen istasyonlar alt bölgesel olarak analiz edilmiş ve hiçbir istasyonun düzensiz çıkmadığı görülmüştür (Yurekli ve Modarres 2007). Bölgesel homojenlik amacıyla gerçekleştirilen heterojenlik ölçüsü sonuçlarında standart test istatistiği; 1. bölge için $H = -0.1310$, 2. bölge için $H = -0.1826$, 3. bölge için ise $H = -0.3222$ değerleriyle Ankara ili yıllık maksimum yağış

miktarlarının bölgelere göre kabul edilebilir düzeyde homojen olduğunu göstermiştir (Şekil 2). Uygunluk ölçüsü (Z^{DIST}) sonuçlarına göre 1., 2. ve 3. bölgeler için sırasıyla $Z = -0.18$, $Z = -0.55$ ve $Z = -0.03$ değerleriyle en uygun dağılım genel ekstrem değer (GEV) olarak belirlenmiş ve bu dağılıma göre çeşitli sürelerde elde edilen yağış miktarları Çizelge 5'de verilmiştir (Adamowski ve ark. 1996).



Şekil 2. Karar verme istatistiklerine göre üç bölge halinde homojen olan istasyonların ildeki konumları

Çizelge 4. Yıllık maksimum yağış miktarlarının uzun yıllar ortalamaları, L moment oranları ve düzensizlik ölçüleri

Sıra	İstasyon Adı	Ortalama	L değişim katsayısı	L çarpıklık	L baskılık	D_i
1	ANKARA	29.49	0.1956	0.3513	0.2524	0.85
2	AYAŞ	27.88	0.1294	0.1440	0.0302	1.05
3	BALA D.Ü.Ç.	26.80	0.1560	0.1133	0.0833	0.16
4	BALA	29.32	0.1061	-0.0164	0.0280	0.89
5	BEYPAZARI	28.32	0.1729	0.1907	0.1456	0.04
6	ÇAMKORU	34.62	0.1431	0.0282	0.1329	0.74
7	ÇAMLIDERE	26.78	0.1519	0.2305	0.0605	1.29
8	ÇANDIR	30.66	0.2658	0.2479	0.0491	1.99
9	ÇELTİKÇİ	28.16	0.1919	-0.0331	-0.0734	1.26
10	ÇUBUK	29.93	0.1850	0.2998	0.2799	0.71
11	DİKMEN	29.65	0.1851	0.1905	-0.0274	1.16
12	ELMADAĞ	30.71	0.1594	-0.0701	0.0044	1.25
13	ESENBOĞA	26.78	0.1360	0.0531	0.1326	0.41
14	ETİMESGUT	25.96	0.1534	0.1779	0.1385	0.31
15	GÜVEM	26.43	0.1943	0.1435	0.0539	0.16
16	HAYMANA	30.13	0.1781	0.2509	0.1390	0.26
17	İKİZCE	29.37	0.1588	0.0215	0.0355	0.38
18	İKİZCE ZARAŞ.	29.22	0.2216	0.1806	0.0835	0.47
19	KALECİK	31.94	0.1578	-0.0118	0.2464	3.01 [†]
20	KESKİN	28.23	0.1299	0.1855	0.2307	0.58
21	KIZILCAHAMAM	37.01	0.1697	0.1291	0.1115	0.55
22	KOÇHİSAR	28.75	0.1572	0.2630	0.2296	0.47
23	NALLİHAN	24.82	0.1928	0.0730	0.2251	1.08
24	PEÇENEK	27.45	0.1403	0.2726	0.2803	0.99
25	POLATLI	27.17	0.1645	0.1316	0.1454	0.06
26	POLATLI D.Ü.Ç.	29.32	0.2510	0.4720	0.3851	2.97
27	SARIYAR	23.69	0.1402	-0.0211	0.1019	0.85
28	SİNCAN	30.14	0.2258	0.3089	0.2149	0.89
29	TOPRAKSU	29.65	0.1911	0.2661	0.2178	0.35
30	YAKUPABDAL	24.52	0.0865	-0.0096	0.1181	1.51
31	YENİCE	32.77	0.2293	0.0711	-0.2057	3.81 [†]
32	YENİMAHALLE	24.72	0.1291	0.2041	0.0930	1.49
	Ağırlıklı ortalama	28.96	0.1697	0.1704	0.1555	

* Uyumsuz olan istasyonlar

Çizelge 5. Homojen bölgeler için genel ekstrem değer dağılımına göre çeşitli sürelerde elde edilen yağış miktarları (mm)

Bölgeler	Tekrarlanma Süreleri, Yıl					
	2	5	10	25	50	100
1. Bölge	27.77	36.77	43.10	51.54	58.14	64.98
2. Bölge	28.88	37.30	42.95	50.16	55.56	60.98
3. Bölge	25.39	31.93	35.92	40.61	43.84	46.86

3.2. Monte Carlo simülasyon sonuçları

Yıllık maksimum dizilerinden elde edilen tekrarlanma miktarlarının doğruluğunun değerlendirilmesi amacıyla bölgesel ortalama

mutlak taraflılık, taraflılık ve ortalama karekök hatası ölçülerinin nispi miktarları saptanmış ve Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Bölgesel ortalama mutlak taraflılık, taraflılık ve ortalama karekök hatası ölçülerinin nispi miktarları

1. bölge						
$F (1-1/T)$	Tekrarlanma Tahminleri, $Q (F)$					
	0.50	0.80	0.90	0.96	0.98	0.99
Mutlak Taraflılık	1.0	2.2	3.6	4.9	5.7	6.3
Taraflılık	-0.4	-0.6	-0.7	-0.9	-1.0	-1.0
Ortalama Karekök Hatası	7.6	8.1	9.2	10.9	12.5	14.4
2. bölge						
$F (1-1/T)$	Tekrarlanma Tahminleri, $Q (F)$					
	0.50	0.80	0.90	0.96	0.98	0.99
Mutlak Taraflılık	0.5	2.0	3.1	4.2	4.8	5.3
Taraflılık	0.1	-0.2	-0.4	-0.6	-0.7	-0.8
Ortalama Karekök Hatası	5.5	6.1	6.9	8.4	9.7	11.2
3. bölge						
$F (1-1/T)$	Tekrarlanma Tahminleri, $Q (F)$					
	0.50	0.80	0.90	0.96	0.98	0.99
Mutlak Taraflılık	0.7	3.2	4.7	6.0	6.8	7.5
Taraflılık	0.4	0.7	0.8	1.0	1.2	1.3
Ortalama Karekök Hatası	6.8	7.6	8.8	10.3	11.4	12.6

Çizelge 6 incelendiğinde mutlak taraflılık değerleri olasılık seviyesi arttıkça büyümekte, özellikle 2. bölgede diğer bölgelere göre daha düşük değerlere sahip olmaktadır. Dağılımın üst kuyruğu olan $F > 0.90$ olasılıklarında en yüksek mutlak taraflılık değerleri 3. bölgede, en düşükleri ise 2. bölgede saptanmıştır. Dağılımın ana bünyesi olan $0.50 < F < 0.90$ olasılıklarında ise en düşük mutlak taraflılık değerleri 2. bölgede hesaplanmıştır. Bahsedilen olasılıklar için taraflılık miktarları, mutlak taraflılık da yorumlananların benzeridir. 1. ve 2. bölgelerdeki taraflılık değerleri olasılık seviyeleri arttıkça küçülmekte, 3. bölgedeki taraflılık değerleri ise olasılık seviyesi arttıkça büyümektedir. Taraflılık değerinin ifadesi sıfıra yakın olması ile açıklandığından tahminlerdeki hatanın, 3. bölgede diğer bölgelere göre az daha yüksek olduğu söylenebilir. Ancak yine de bölgelere göre genel olarak hata oranları oldukça düşüktür. Ortalama karekök hataları ise yine olasılık seviyeleri arttıkça büyümekte olup

en düşük değerler 2. bölgede hesaplanmıştır.

En yüksek ortalama karekök hataları 1. bölgede, en düşükleri ise 2. bölgededir. Sonuç olarak, 2. bölgedeki tahminlerin doğruluğunun diğer bölgelere göre nispeten daha iyi olduğu söylenebilir.

Diğer yandan çeşitli süreler için tahmin edilen yağış miktarları $[Q (F)]$; Çizelge 7'de bölgelere göre verilen boyutsuz büyüme eğrisi bileşenleri $[q(F)]$ ile istasyon yağış ortalamalarının çarpılmasıyla her bir istasyon için (noktasal) hesaplanabilir. Ayrıca Çizelge 7'nin bölgelere göre en alt satırlarındaki bölgesel boyutsuz büyüme eğrisi bileşenleri ile her bölge için ağırlıklı ortalamalar (1. bölge: 29.81 mm, 2. bölge: 30.52 mm, 3. bölge: 26.24 mm) çarpılarak da bölgesel olarak elde edilebilir. Çizelge 7'nin bölgelere göre en alt satırları, boyutsuz büyüme fonksiyonlarının aritmetik ortalamalarını göstermektedir.

4. Sonuçlar

Ekstrem yağışların büyüklüğü ve frekansı ile ilgili detaylı bilgi; su kaynaklarının planlanması ile taşkınların önlenmesindeki mühendislik tasarımlarında, şehir drenaj şebekelerinin tasarımında, tarım arazilerinin ve mansaptaki yerleşim yerlerinin taşkın ve kuraklıktan korunmasında, tarımsal su ihtiyacı

sağlamada ve yüksek şiddetli yağışlardan kaynaklanan bitki örtüsünde meydana gelebilecek zararı azaltmada ve toprak kaybı tahminlerinde oldukça faydalı ve etkili olmaktadır. Aynı zamanda iklim değişimi çalışmalarında da ekstrem yağışların tahmin edilmesi gereklidir.

Çizelge 7. Genel ekstrem değer dağılımı ile çeşitli olasılıklarda ve ilgili tekrarlanma sürelerinde elde edilen boyutsuz noktasal/bölgesel büyüme eğrisi bileşenleri, $q(F)$

		1. bölge					
İstasyon	Ortalama (mm)	Tekrarlanma süresi / Aşılmama olasılığı					
		2	5	10	25	50	100
		0.50	0.80	0.90	0.96	0.98	0.99
Ankara	29.49	0.926	1.254	1.484	1.792	2.032	2.282
Bala	29.32	0.946	1.183	1.350	1.572	1.746	1.926
Çandır	30.66	0.917	1.284	1.542	1.886	2.155	2.435
Çubuk	29.93	0.934	1.224	1.427	1.698	1.910	2.130
Dikmen	29.65	0.931	1.234	1.446	1.729	1.951	2.181
Elmadağ	30.71	0.937	1.214	1.480	1.666	1.869	2.079
İkizce	29.37	0.940	1.203	1.388	1.635	1.828	2.028
İkizce Zir. Araş.	29.22	0.923	1.264	1.540	1.823	2.073	2.333
Kalecik	31.94	0.943	1.193	1.369	1.604	1.787	1.977
Sincan	30.14	0.920	1.274	1.523	1.855	2.114	2.384
Topraksu	29.65	0.928	1.244	1.465	1.761	1.991	2.231
Büyüme eğrisi:		0.931	1.234	1.446	1.729	1.951	2.180
		2. bölge					
İstasyon	Ortalama (mm)	Tekrarlanma süresi / Aşılmama olasılığı					
		2	5	10	25	50	100
		0.50	0.80	0.90	0.96	0.98	0.99
Bala D. Ü. Ç.	26.80	0.951	1.202	1.370	1.585	1.746	1.907
Çamkoru	34.62	0.954	1.192	1.352	1.556	1.709	1.862
Haymana	30.13	0.942	1.242	1.443	1.700	1.893	2.086
Keskin	28.23	0.956	1.182	1.334	1.527	1.673	1.818
Kızılcahamam	37.01	0.944	1.232	1.425	1.672	1.856	2.041
Koçhisar	28.75	0.949	1.212	1.389	1.614	1.783	1.952
Polath	27.17	0.947	1.222	1.407	1.643	1.819	1.996
Polathlı D. Ü. Ç.	29.32	0.937	1.262	1.480	1.758	1.967	2.176
Yenice	32.77	0.939	1.252	1.461	1.729	1.930	2.131
Büyüme eğrisi:		0.947	1.222	1.407	1.643	1.820	1.997
		3. bölge					
İstasyon	Ortalama (mm)	Tekrarlanma süresi / Aşılmama olasılığı					
		2	5	10	25	50	100
		0.50	0.80	0.90	0.96	0.98	0.99
Ayaş	27.88	0.972	1.183	1.311	1.461	1.565	1.662
Beypazarı	28.32	0.963	1.244	1.415	1.617	1.755	1.885
Çamlıdere	26.78	0.968	1.214	1.365	1.542	1.664	1.778
Çeltikçi	28.16	0.959	1.271	1.461	1.684	1.838	1.982
Esenboğa	26.78	0.971	1.192	1.327	1.485	1.594	1.696
Etimesgut	25.96	0.967	1.217	1.369	1.547	1.670	1.785
Güvem	26.43	0.959	1.274	1.467	1.693	1.849	1.995
Nallıhan	24.82	0.959	1.272	1.463	1.688	1.842	1.987
Peçenek	27.45	0.970	1.198	1.337	1.500	1.613	1.718
Sarıyar	23.69	0.970	1.198	1.337	1.500	1.613	1.718
Yakupabdal	24.52	0.982	1.122	1.208	1.308	1.378	1.443
Yenimahalle	24.72	0.973	1.182	1.310	1.460	1.564	1.661
Büyüme eğrisi:		0.968	1.214	1.364	1.540	1.662	1.776

Bu çalışmada Ankara'da ölçülen yağışların hem istasyon (noktasal) bazında hem de bölgesel bazda çeşitli sürelerde tekrarlanma tahminleri ile muhtemel tasarım yağışları elde

edildiğinden, şehirleşen bölgelerde taşkın zararlarının azaltılmasına yardımcı olabileceği düşünülmektedir.

Diğer yandan söz konusu ilde bulunan istasyonların tüm ili temsil ettiği düşünülmüştür. Bu yüzden, ilde ihtiyaç olan bölgelere yağış gözlem istasyonu kurularak ve mevcut istasyon sayısı artırılarak daha güvenilir veri elde edileceğinden tasarım yağışlarının doğruluğu da artırılabilir (Anlı 2009).

Kaynaklar

- Adamowski, K., Alila, Y. and Pilon, P. J. 1996. Regional Rainfall Distribution for Canada. Atmospheric Research, 42, 75-88.
- Anlı, A. S. 2009. Ankara'da Meydana Gelen Yağmurların *L* moment Yöntemleri ile Bölgesel Frekans Analizi. Ankara Üniv., Fen Bilimleri Enst., Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 264s.
- Anlı, A. S., Yürekli, K. ve Apaydın, H. 2008. Samsun İlinde Gözlenen Ekstrem Yağışların Gösterge Taşkın Yöntemi ile Bölgeselleştirilmesi, V. Su forumu, Sel, Taşkın ve Heyelan Konferansları, 24-25 Temmuz, DSI, Samsun.
- Anlı, A. S., Apaydın, H. and Ozturk, F. 2007. Regional Flood Frequency Estimation for The Gökusu River Basin through *L*-moments. International River Basin Management Conference, State Hydraulic Works, 22-24 March, Gloria Golf Resort Hotel, Belek, Antalya.
- Anonim, 1975. Flood Studies Report, Vol. 1. Natural Environment Research Council, London.
- Dalrymple, T. 1960. Flood Frequency Analyses. Water Supply Paper 1543-A, U.S. Geological Survey, Reston, Va.
- Eslanian, S. S. and Feizi, H. 2007. Maximum Monthly Rainfall Analysis Using *L*-moments for an Arid Region in Isfahan Province, Iran. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 46, 494-503.
- Gordon, A. D. 1981. Classification: Methods for The Exploratory Analysis Of Multivariate Data. Chapman and Hall, London.
- Greenwood, J. A., Landwehr, J. M., Matalas, N. C. and Wallis, J. R. 1979. Probability Weighted Moments: Definition and Relation to Parameters of Several Distributions Expressible in Inverse Form. Water Resources Research, 15, 1049-1054.
- Guttman, N. B. 1993. The Use of *L*-moments in The Determination of Regional Precipitation Climates. Journal of Climate, Vol. 6, 2309-2325.
- Guttman, N. B., Hosking, J. R. M. and Wallis, J. R. 1993. Regional Precipitation Quantile Values for the Continental United States Computed from *L*-moments. Journal of Climate, Vol. 6, 2326-2340.
- Hosking, J. R. M. 1990. *L*-moments: Analysis and Estimation of Distributions Using Linear Combinations of Order Statistics. Journal of the Royal Statistical Society. Series B 52(1):105-124.
- Hosking, J. R. M. 1994. The Four-parameter Kappa Distribution. IBM Journal of Research and Development, 38, 251-258.
- Hosking, J. R. M. 2005. Fortran Routines for Use with The Method of *L*-moments, Version 3.04. Research Report RC 20525, IBM Research Division, T.C. Watson Research Center, Yorktown Heights, N.Y.
- Hosking, J. R. M. and Wallis, J. R. 1993. Some Statistics Useful in Regional Frequency Analysis. Water Resources Research, 29, 271-281.
- Hosking, J. R. M. and Wallis, J. R. 1997. Regional Frequency analysis: An Approach Based on *L*-moments. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 224p.
- Kysely, J., Huth, R. and Picek J. 2005. Regional Analysis of Extreme Precipitation Events in The Czech Republic. Geophysical Research Abstracts, Vol. 7, 01867.
- Modarres, R. 2008. Regional Rainfall Distributions of Iran. Pajouhesh & Sazandegi, 75, 86-91.
- Okman, C. 2005. Hidroloji (2. Baskı), Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No: 1544, Ders Kitabı: 497, Ankara.
- Parida, B. P., Kachroo, R. K. and Shrestha, D. B. 1998. Regional Flood Frequency Analysis of Mahi-Sabarmati Basin (subzone 3-a) using Index-flood Procedure with *L*-moments. Water Resources Management, 12, 1-12.
- Vogel, R. M., Thomas, W. O. and McMahon, T. A. 1993. Flood-flow Frequency Model Selection in Southwestern United States. Journal of Water Resources and Management, 119, 353-66.
- Yurekli, K. 2005. Regional Frequency Analysis of Maximum Daily Rainfalls Based on *L*-moment Approach. GOU. Ziraat Fakültesi Dergisi, 22(1), 37-44.
- Yurekli, K. and Modarres, R. 2007. Regionalization of Maximum Daily Rainfall Data over Tokat Province, Turkey. International Journal of Natural and Engineering Sciences, 1(2), 1-7.
- Yurekli, K., Modarres, R. and Ozturk, F. 2009. Regional Daily Maximum Rainfall Estimation for Cekerek Watershed by *L*-moments. Meteorological Applications. 16: 435-444.