

**AKARSULARDA KURAK DÖNEM
UZUNLUKLARININ FREKANS ANALİZİ**

Okan Mert KATİPOĞLU

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Hidrolik Bilim Dalı
Doç. Dr. İbrahim CAN
2015
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AKARSULARDA KURAK DÖNEM UZUNLUKLARININ
FREKANS ANALİZİ**

Okan Mert KATİPOĞLU

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Hidrolik Bilim Dalı**

**ERZURUM
2015**

Her Hakkı Saklıdır



**T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



TEZ ONAY FORMU

AKARSULARDA KURAK DÖNEM UZUNLUKLARININ FREKANS ANALİZİ

Doç. Dr. İbrahim CAN danışmanlığında, Okan Mert KATİPOĞLU tarafından hazırlanan bu çalışma 28/08/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı – Hidrolik Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği/oy çokluğu (.../...) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. İbrahim CAN

İmza

Üye : Yrd. Doç. Dr. Selim ŞENGÜL

İmza

Üye : Yrd. Doç. Dr. Fatih TOSUNOĞLU

İmza

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 10/09/2015 tarih ve 36/1252 nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Ertan YILDIRIM
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AKARSULARDA KURAK DÖNEM UZUNLUKLARININ FREKANS ANALİZİ

Okan Mert KATIPOĞLU

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Hidrolik Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İbrahim CAN

Bu çalışmada, Yukarı Fırat Havzası'ndaki Karasu Nehri aylık ve yıllık akımlarının kurak dönem uzunluklarının tekerrür aralıkları kapula tabanlı iki değişkenli frekans analizi ile belirlenmiştir.

Box Jenkins metodolojisine göre akımların zaman serisi modeli kurulmuştur. Kurulan modellerin Akaike Bilgi Kriterleri ve Nihai Hata Tahmin Ölçütleri karşılaştırılarak en uygun model olarak AR(1) modeli seçilmiştir. Seçilen AR(1) modeli yardımıyla tarihi seri ile aynı uzunlukta (40 yıl) 100 adet sentetik seri üretilmiştir. Üretilen serilerin tarihi serinin istatistiksel karakteristiklerini (ortalama ve standart sapma) muhafaza edip etmediği kontrol edilmiştir.

Tarihi ve sentetik akım serileri belirlenen kesim seviyelerinden ($q=0,5$; $q=0,3$; $q=0,1$) kesilerek gidişler analizine tabi tutulmuştur. Analiz sonucunda elde edilen kuraklık süre ve eksikliklerine sırasıyla tek değişkenli eksponansiyel ve gamma dağılımları uydurulmuştur. Bu dağılımlar kullanılarak kapula fonksiyonunun belirlenmesinde kullanılan aşılma ihtimalleri elde edilmiştir.

Kuraklık süre ve eksikliklerinin Bayes Bilgi Kriteri ve Akaike Bilgi Kriteri karşılaştırılarak en uygun kapula sınıfı belirlenmiştir. Ayrıca tüm Arşimedyen kapula sınıfları için 10 000 adet rastgele kuraklık süre ve eksiklik değerleri üretilerek tarihi seriye en iyi uyan kapula sınıfı doğrulanmıştır. Her bir kesim seviyesi için ($q=0,5$; $q=0,3$; $q=0,1$) seçilen kapula sınıfını kullanarak tarihi ve sentetik seri kurak dönem uzunluklarına ait tekerrür aralıkları hesaplanmıştır. Bulunan tekerrür aralıkları aracılığıyla gelecekte görülmesi muhtemel kuraklık riskleri belirlenmiştir.

2015, 146 sayfa

Anahtar Kelimeler: Nehir Akımı, Tek Değişkenli Otoregresif Model, Kapula, Tekerrür Aralığı, Akaike Bilgi Kriteri, Bayes Bilgi Kriteri

ABSTRACT

Master's Thesis

FREQUENCY ANALYSIS OF THE LENGTH OF DRY TERM IN STREAM FLOWS

Okan Mert KATIPOĞLU

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering
Hydraulic Science

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İbrahim CAN

In this study, recurrence intervals of dry term lengths of monthly and annual flows of Karasu River in The Valley of Upper Euphrates River were determined through copula based bivariate frequency analysis.

Time series model of flows was established based on Box – Jenkins methodology. AR (1) model was selected as the most suitable model thereby comparing Akaike Information Criterion and Final Prediction Error Criteria of the established model. 100 synthetic series, the same length with historical series (40 years), were produced thanks to selected AR (1) model. It was controlled whether or not the time series generated maintains the statistical characteristics (mean and standard deviation) of historical time series.

Cutting from specified threshold levels ($q=0,5$; $q=0,3$; $q=0,1$), historic and synthetic flow series were subjected to runs analysis. Univariate exponential and gamma distributions were respectively fitted to duration and severity of drought obtained at the end of the analysis. Using such distributions, exceedence probabilities, which were used to determine copula function, were obtained.

Most appropriate copula class was determined thereby comparing Bayesian Information Criterion and Akaike Information Criterion of duration and severity of drought. Generating 10 000 random duration and severity of drought values for all Archimedean Copula classes, the copula class, best matching with historical series, was also validated. Recurrence intervals for the dry terms lengths of historic and synthetic series were calculated using the selected copula class for each threshold level ($q=0,5$; $q=0,3$; $q=0,1$). Using these recurrence intervals, drought risks were obtained.

2015, 146 pages

Keywords: Streamflow, Univariate Autoregressive Model, Copula, Recurrence Interval, Akaike Information Criterion, Bayesian Information Criterion

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum bu çalışmada yakın ilgi ve desteğini esirgemeyen çok değerli bilgileri ile beni yönlendiren ve destekleyen değerli hocam ve danışmanım Sayın Doç. Dr. İbrahim CAN'a içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma sırasında beni teşvik eden hocalarım Sayın Yrd. Doç. Dr. Selim ŞENGÜL'e ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Fatih TOSUNOĞLU'na, her türlü yardım ve desteklerini esirgemeyen araştırma görevlisi arkadaşlarıma, yüksek lisans dönem arkadaşlarıma ve ismini sayamadığım ve bu çalışmada emeği geçen herkese teşekkür ederim.

Hayatımın her anında yanımda olan, bütün çalışmalarımda olduğu gibi maddi ve manevi hiçbir yardımdan kaçınmayan, desteklerini her an arkamda hissettiğim çok kıymetli aileme şükranlarımı sunarım.

Okan Mert KATİPOĞLU

Ağustos, 2015

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	8
3.1. Kuraklığın Tanımı	8
3.2. Kuraklık Çeşitleri	9
3.2.1. Meteorolojik kuraklık.....	9
3.2.2. Hidrolojik kuraklık	9
3.2.3. Tarımsal kuraklık	10
3.2.4. Kıtılık.....	11
3.3. Kuraklığın Etkileri.....	11
3.3.1. Ekonomik etkiler	12
3.3.2. Çevre etkileri	12
3.3.3. Toplumsal etkiler.....	12
3.4. İklim Değişiklikleri	12
3.5. Kuraklık Yönetimi.....	13
3.5.1. Kriz (Reaktif) yönetimi	14
3.5.2. Risk (Proaktif) yönetimi	14
3.6. Kuraklıkların Önceden Tahmini.....	15
3.6.1. Meteorolojik yöntemler	15
3.6.2. Hidrolojik yöntemler	15
3.7. Gidişler Analizi	16
3.8. Zaman Serileri	20
3.8.1. Zaman serisi modelleri	20

3.8.2. Zaman serisi modelleme aşamaları	21
3.9. Otoregresif Modeller	21
3.9.1. Sabit parametrelili AR modellerinin matematiksel formülasyonu	23
3.9.2. Sabit parametrelili AR modellerinin özellikleri	24
3.9.3. Sabit parametrelili periyodik AR modelleri	25
3.9.4. Sabit parametrelili periyodik AR modellerinin metodolojisi	27
3.9.4.a. Ön analiz.....	27
3.9.4.b. Parametre tahmini.....	34
3.9.4.c. Model parametrelerinin güvenilirliği.....	36
3.9.4.d. Seçilen modelin uygunluk testi	37
3.9.4.e. Modele ait ilave testler	38
3.10. Sentetik Seri Türetilmesi	41
3.11. Kapulalar	42
3.11.1. Sklar teoremi	43
3.11.2. Arşimedyen kapulaları	44
3.11.2.a. Clayton kapulası	46
3.11.2.b. Frank kapulası	47
3.11.2.c. Gumbel – Hougard Kapulası	49
3.11.3. Mann Kendall τ 'su ve kapula parametresinin elde edilmesi	50
3.11.4. İki değişkenli dönüş periyodu	51
3.12. Kuraklık Risklerinin Hesaplanması.....	53
3.13. Araştırma Alanının Yeri ve Özellikleri	53
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	55
4.1. Çalışma Alanının Tanıtımı	55
4.2. Kesim Seviyelerinin Belirlenmesi.....	57
4.3. Tarihi Seri Yıllık Ortalama Akımların Gidişler Analizi	57
4.4. Tarihi Seri Aylık Akımların Gidişler Analizi.....	65
4.5. Aylık Akımların Tek Değişkenli Modellemesi	71
4.5.1. Ön analiz.....	71
4.5.2. Parametre tahmini ve güven aralığı.....	79
4.5.3. Seçilen modelin uygunluk testi	81
4.5.4. Modele ait ilave testler	84

4.5.4.a. Modelin güvenilirliğinin kontrolü	85
4.6. Yıllık Akımların Kontrolü.....	88
4.6.1. Ön analiz.....	88
4.6.2. Ortalamaların kontrolü	91
4.6.2. Standart Sapmaların kontrolü.....	92
4.7. Kutu Diyagramı.....	93
4.8. Tarihi Seri Aylık Akımlarının Kuraklık Süre ve Eksikliklerine Dağılım Uydurulması.....	99
4.8.1. Tarihi seri aylık akımların 0,5’den kesilmesiyle elde edilen süre ve eksikliklerinin kümülatif dağılım fonksiyonları	99
4.8.2. Tarihi seri aylık akımların 0,3’den kesilmesiyle elde edilen süre ve eksikliklerinin kümülatif dağılım fonksiyonları	102
4.8.3. Tarihi seri aylık akımların 0,1’den kesilmesiyle elde edilen süre ve eksikliklerinin kümülatif dağılım fonksiyonları	104
4.9. Çeşitli Kesim Seviyeleri İçin Uygun Kapulaların Belirlenmesi	106
4.9.1. Tarihi seri aylık akım verilerinin $q=0,5$ ’den kesilmesiyle elde edilen kuraklıklara en iyi uyan kapulanın belirlenmesi	106
4.9.2. Tarihi seri aylık akımların $q=0,3$ ’den kesilmesiyle elde edilen kuraklıklara en iyi uyan kapulanın belirlenmesi	108
4.9.3. Tarihi seri aylık akımların $q=0,1$ den kesilmesiyle elde edilen kuraklıklara en iyi uyan kapulanın belirlenmesi	109
4.10. Tekerrür Aralıkları	111
4.10.1. Tarihi ve sentetik akımların $q=0.5$ için tekerrür aralıkları	111
4.10.2. Tarihi ve sentetik akımların $q=0.3$ için tekerrür aralıkları	112
4.10.3. Tarihi ve sentetik akımların $q=0.1$ için tekerrür aralıkları	112
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	114
KAYNAKLAR	130
EKLER.....	135
EK 1.....	135
ÖZGEÇMİŞ	147

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

α	Önem derecesi
C_θ	Arşimedyen kapulası
D_0	Standart kesim seviyesi
ϵ	Elemanıdır
$F_X(x)$	X değişkeninin kümülatif dağılım fonksiyonu
$F_{XY}(x,y)$	X ve Y değişkenlerinin birleşik dağılım fonksiyonu
$F_Y(y)$	Y değişkeninin kümülatif dağılım fonksiyonu
I_j	j - inci kuraklık şiddeti
k	Gecikme derecesi (lag)
m	Kurak periyot sayısı
N^-	Negatif gidiş uzunluğu
N	Toplam gidiş uzunluğu
N^+	Pozitif gidiş uzunluğu
p	AR sürecinin derecesi
q	MA sürecinin derecesi
$r_k, r_k(x), r_{kt}$	Örnek otokorelasyon fonksiyonu
T	Tekerrür aralığı
Var_x, σ_x^2, s^2	Varyans
X, x	Tarihi (orijinal) seri
X_0	Kesme seviyesi
X_t	Çok değişkenli seri
$\bar{X}$	Verilen serinin aritmetik ortalaması
$\bar{x}, \bar{y}$	Ortalama
Y, y	Normalize edilmiş seri
Z, z	Standardize edilmiş seri
α	Gamma dağılımı şekil parametresi
β	Gamma dağılımı ölçek parametresi
ε_t	Stokastik bileşen, Bağımsız seri, Artık seri
λ	Eksponansiyel dağılım parametresi

ξ_t	Standart normal rastgele sayılar
$\rho_k, \rho_k(x), \rho_{kt}$	Popülasyon otokorelasyon fonksiyonu
τ	Mann Kendal korelasyon katsayısı
ϕ	Otoregressif katsayı
$\varphi(t)$	Üretici fonksiyon
φ^{-1}	Üreticinin tersi
$\phi_k(k)$	Kısmi otokorelasyon fonksiyonu
σ, s	Standart sapma
γ	Çarpıklık katsayısı
θ	Hareketli ortalama katsayısı ve kapula parametresi
$()$	Normal parantez, açık aralık işareti
$[]$	Köşeli parantez, kapalı aralık işareti
σ_ε^2	Artık terimlerin varyansı

Kısaltmalar

ACF	Otokorelasyon fonksiyonu
AIC	Akaike Bilgi Kriteri
AR	Otoregressif Model
ARMA	Otoregressif-Hareketli Ortalama Model
BIC	Bayes Bilgi Kriteri
C	Kapula
CDF	Kümülatif Dağılım Fonksiyonu
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EİE	Elektirik İşleri Etüt İdaresi
FPE	Nihai Hata Tahmin Ölçütü
IFM	Marjinallere İlişkin Çıkarsama Metodu
MA	Hareketli Ortalama Model
PDF	Olasılık Dağılım Fonksiyonu
SPI	Standart Yağış İndeksi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Gidiş karakteristiklerinin tanımı	18
Şekil 3.2. Clayton kapulası kuyruk bağımlılığı örnek dağılımı	47
Şekil 3.3. Frank kapulası kuyruk bağımlılığı örnek dağılımı	48
Şekil 3.4. Gumbel kapulası kuyruk bağımlılığı örnek dağılımı.....	50
Şekil 3.5. Büyük akarsu havzaları anahtar haritası	54
Şekil 4.1. Fırat Havzası ve 2154 nolu akım gözlem istasyonu	56
Şekil 4.2. Tarihi seri yıllık ortalama akımlarına ait debi süreklilik eğrisi	58
Şekil 4.3. Tarihi seri yıllık ortalama akımların debi gidiş çizgisi	59
Şekil 4.4. Tarihi seri aylık akımlarına ait normal dağılımı olasılık grafiği.....	72
Şekil 4.5. Karasu istasyonunda gözlenen aylık akımlar	73
Şekil 4.6. Aylık akımların korelogramı	74
Şekil 4.7. Logaritması alınmış ve boyutsuz hale getirilmiş (z_t serisinin) aylık akımların korelogramı ve %95 güven aralığı	76
Şekil 4.8. Logaritması alınmış ve boyutsuz hale getirilmiş (z_t serisinin) aylık akımların kısmi korelogramı ve %95 güven aralığı	77
Şekil 4.9. Karasu akım gözlem istasyonundaki logaritması alınmış ve periyodikliği giderilmiş aylık ortalama akımlar	79
Şekil 4.10. ε_t artık serisinin otokorelogramı	83
Şekil 4.11. ε_t artık serilerinin normal dağılımı olasılık grafiği	84
Şekil 4.12. Türetilen sentetik seriler ile tarihi seri aylık akımların ortalamalarının %95 güven aralığı.....	86
Şekil 4.13. Türetilen sentetik seriler ile tarihi seri aylık akımların standart sapmalarının %95 güven aralığı	88
Şekil 4.14. Tarihi seri yıllık ortalama akımların normal dağılımı olasılık grafiği	89
Şekil 4.15. Tarihi serinin yıllık ortalamalarının otokorelasyon fonksiyonu (ACF).....	90
Şekil 4.16. Tarihi seri yıllık ortalama akımlar	91
Şekil 4.17. Türetilen sentetik seriler ile tarihi seri yıllık ortalama akımların ortalamalarının %95 güven aralığı	92
Şekil 4.18. Türetilen sentetik seriler ile tarihi seri yıllık ortalama akımların standart sapmalarının %95 güven aralığı	93

Şekil 4.19. Kutu diyagramının gösterimi.....	94
Şekil 4.20. Sentetik serilerinin yıllık ortalama akımların $q=0,5$ 'den kesilerek kutu diyagramı ile dağılımın görselleştirilmesi.....	95
Şekil 4.21. Sentetik serilerinin yıllık ortalama akımların $q=0,3$ 'den kesilerek kutu diyagramı ile dağılımın görselleştirilmesi.....	97
Şekil 4.22. Sentetik serilerinin yıllık ortalama akımların $q=0,1$ 'den kesilerek kutu diyagramı ile dağılımın görselleştirilmesi.....	98
Şekil 4.23. Tarihi seri akımlarının $q=0,5$ 'den kesilmesiyle elde edilen sürelere eksponansiyel dağılım uydurulması	100
Şekil 4.24. Tarihi seri akımlarının $q=0,5$ 'den kesilmesiyle elde edilen şiddetlere gamma dağılımı uydurulması	101
Şekil 4.25. Tarihi seri akımlarının $q=0,3$ 'den kesilmesiyle elde edilen sürelere eksponansiyel dağılım uydurulması	102
Şekil 4.26. Tarihi seri akımlarının $q=0,3$ 'den kesilmesiyle elde edilen eksikliklere gamma dağılımı uydurulması	103
Şekil 4.27. Tarihi seri akımlarının $q=0,1$ 'den kesilmesiyle elde edilen sürelere eksponansiyel dağılım uydurulması	104
Şekil 4.28. Tarihi seri akımlarının $q=0,1$ 'den kesilmesiyle elde edilen eksikliklere gamma dağılımı uydurulması	105
Şekil 4.29. 0,5 kesim seviyesinden kesilen tarihi serinin bazı kuraklık karakteristiklerinin rastgele üretilen değerlerle karşılaştırılması	108
Şekil 4.30. 0,3 kesim seviyesinden kesilen tarihi serinin bazı kuraklık karakteristiklerinin rastgele üretilen değerlerle karşılaştırılması	109
Şekil 4.31. 0,1 kesim seviyesinden kesilen tarihi serinin bazı kuraklık karakteristiklerinin rastgele üretilen değerlerle karşılaştırılması	110
Şekil 4.32. Tarihi akımların $q=0,5$ için elde edilen kuraklıkların Gumbel kapulasıyla bulunan tekerrür aralıkları.....	111
Şekil 4.33. Tarihi akımların $q=0,3$ için elde edilen kuraklıkların Frank kapulasıyla bulunan tekerrür aralıkları	112
Şekil 4.34. Tarihi akımların $q=0,1$ için elde edilen kuraklıkların Gumbel kapulasıyla bulunan tekerrür aralıkları	113

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. $\alpha=0,02$ ve $\alpha=0,10$ önem seviyeleri için $\gamma \alpha (N)$ değerleri.....	29
Çizelge 3.2 Arşimedyen kapula fonksiyonları ve üreticileri	45
Çizelge 3.3. Aylık akımların her bir kesim seviyesi için hesaplanan $E(L)$ değerleri	52
Çizelge 4.1. Tarihi seri yıllık ortalama akımların kesim seviyeleri	59
Çizelge 4.2. Tarihi seri yıllık ortalama akımlarının $q=0,5$ kesim seviyesi için gidişler analizinin uygulaması	60
Çizelge 4.3. Tarihi seri yıllık ortalama akımlarının $q=0,5$ için gidişler analizi sonuçları.....	61
Çizelge 4.4. Tarihi seri yıllık ortalama akımlarının $q=0,3$ kesim seviyesi için gidişler analizinin örnek uygulaması	62
Çizelge 4.5. Tarihi seri yıllık ortalama akımlarının $q=0,3$ için gidişler analizi sonuçları.....	63
Çizelge 4.6. Tarihi seri yıllık ortalama akımlarının $q=0,1$ kesim seviyesi için gidişler analizinin örnek uygulanması	64
Çizelge 4.7. Tarihi seri yıllık ortalama akımlarının $q=0,1$ için gidişler analizi sonuçları.....	65
Çizelge 4.8. Tarihi seri aylık akımların kesim seviyeleri	66
Çizelge 4.9. Tarihi seri aylık akımlarının $q=0,5$ kesim seviyesi için gidişler analizinin örnek uygulanması	67
Çizelge 4.10. Tarihi seri aylık akımlarının $q=0,5$ için gidişler analizi sonuçları.....	68
Çizelge 4.11. Tarihi seri aylık akımlarının $q=0,3$ için gidişler analizi sonuçları.....	69
Çizelge 4.12. Tarihi seri aylık akımlarının $q=0,1$ için gidişler analizi sonuçları.....	70
Çizelge 4.13. Tarihi seri aylık akımların istatistiki değerleri.....	72
Çizelge 4.14. Normalize edilmiş akımların periyodik ortalama ve standart sapmaları ..	75
Çizelge 4.15. Standardize edilmiş aylık akımların otokorelasyon katsayıları.....	77
Çizelge 4.16. Standardize edilmiş aylık akımların kısmi otokorelasyon katsayıları	78
Çizelge 4.17. Aylık akımlar için otoregresif (ϕ) ve hareketli ortalama (θ) parametreleri ve %95 güven aralığı sınırları	80
Çizelge 4.18. Tüm modellerin FPE ve AIC değerlerinin karşılaştırılması	81

Çizelge 4.19. Ortalamaların %95 güven aralıkları.....	86
Çizelge 4.20. Standart sapmaların %95 güven aralıkları.....	87
Çizelge 4.21. Tarihi seri yıllık ortalama akımların istatistiki değerleri	89
Çizelge 4.22. Sentetik serilerin yıllık ortalamalarının 0,5’den kesilmesi ile görülen diğer kuraklıklar	96
Çizelge 4.23. Sentetik serilerinin yıllık ortalama akımların 0,3 den kesilmesi ile görülen diğer kuraklıklar	97
Çizelge 4.24. Tarihi seri aylık akımların $q=0,5$ için elde edilen değerlere ait parametreleri ve güven aralıkları.....	101
Çizelge 4.25. Tarihi seri aylık akımların $q=0,3$ için elde edilen değerlere ait parametreleri ve güven aralıkları.....	103
Çizelge 4.26. Tarihi seri aylık akımların $q=0,1$ için elde edilen değerlere ait parametreleri ve güven aralıkları.....	105
Çizelge 4.27. 0,5 kesim seviyesi için AIC ve BIC değerleri	107
Çizelge 4.28. 0,3 kesim seviyesi için AIC ve BIC değerleri	108
Çizelge 4.29. 0,1 kesim seviyesi için AIC ve BIC değerleri	109
Çizelge 4.30. Arşimedyen kapulaları için kuraklık süre ve eksiklikleri arasındaki Mann Kendall korelasyon katsayısı ve θ parametresi değerleri.....	110
Çizelge 5.1. Yıllık sentetik akım serileri ve tarihi seri belirlenen kesim seviyeleri için maksimum kuraklık süre ve eksiklikleri	114
Çizelge 5.3. Tarihi ve sentetik seri akımlarının $q=0,5$ ’den kesilmesi ile elde edilen maksimum ve ortalama kuraklıkların tekerrür aralıkları.....	117
Çizelge 5.4. Tarihi ve sentetik seri akımlarının $q=0,3$ ’den kesilmesi ile elde edilen maksimum ve ortalama kuraklıkların tekerrür aralıkları.....	119
Çizelge 5.5. Tarihi ve sentetik seri akımlarının $q=0,1$ ’den kesilmesi ile elde edilen maksimum ve ortalama kuraklıkların tekerrür aralıkları.....	121
Çizelge 5.6. $q=0,5$ için tarihi seride görülen maksimum kuraklıklar ve görülme riskleri.....	123
Çizelge 5.7. $q=0,5$ için sentetik seride görülen maksimum kuraklıklar ve görülme riskleri.....	124
Çizelge 5.9. $q=0,3$ için sentetik seride görülen maksimum kuraklıklar ve görülme riskleri.....	126

Çizelge 5.10. $q=0,1$ için tarihi seride görülen maksimum kuraklıklar ve görülme riskleri.....	127
Çizelge 5.11. $q=0,1$ için sentetik seride görülen maksimum kuraklıklar ve görülme riskleri.....	128

1. GİRİŞ

Kurak devrelerin istatistiksel özelliklerinin güvenilir bir şekilde belirlenebilmesi, su kaynaklarını geliştirme çalışmalarında büyük önem taşımaktadır. Her geçen gün dünya nüfusunun artması, şehirleşme, iklim değişimi, orman tahribatları, çölleşme sonucunda kuraklık; toplum, çevre ve ülkeleri tehdit eder boyutlara ulaşmaktadır. Kuraklıkların ekonomik ve toplumsal boyutlar üzerinde önemli etkileri mevcuttur. Ülke ekonomisi, toplumun sağlığı, psikolojisi ve ticareti ile yakından ilgilidir. Kurak devreler boyunca su ihtiyacını karşılayabilecek rezervuarların projelendirilmesi, başka su kaynaklarından getirilmesi gerekli olan su miktarının belirlenmesi ve gelecekte görülmesi beklenen kuraklıkların ekonomi ve toplum üzerindeki etkilerinin önceden kestirilmesi için ülkemizin çeşitli bölgelerindeki kurak devrelerin istatistiksel özelliklerinin ortaya çıkarılması gerekmektedir. Bir akım serisindeki kurak devreleri objektif bir şekilde belirleyebilmek amacıyla Gidişler Analizi yöntemi kullanılabilir. Bu analiz yardımıyla çeşitli şiddetteki kurak devrelerin uzunlukları, dönüş periyotlarını ve bu devrelerdeki su eksikliğini karşılamak için gerekli hazne hacmi gibi büyüklükler hesaplanabilir (Dikici 2009; Şen 2009).

Kuraklığın tekerrür karakteristiklerini analiz etmek için gidiş teorisine dayalı bir kuraklık olayını açıklamak ve kuraklık süre ve eksikliği gibi kuraklık özelliklerinin dönüş periyotlarının belirlenmesi gereklidir (Yecjevich 1967; Dracup *et al.* 1980; Loaiciga and Leipnik 1996; Mishra *et al.* 2007).

Bu çalışmada, dönüş periyotlarının belirlenmesi için frekans analizi yönteminden faydalanılmıştır. Frekans analizi, gelecekte görülmesi muhtemel olayların gerçekleşme olasılıklarını ifade edebilmek amacıyla yapılan bir dizi gözlem ile eşleştirmeye yarayan yöntem olarak tanımlanabilir. Frekans analizi sonuçlarının doğrulanması geleneksel bağımsızlık kabullerine ve gözlemlerin durağanlığına dayanır. Bu kabuller dağılım uyarlama tekniklerinin kullanılabilmesi için gerekli olan kritik kabullerdir. Bu kabuller doğrultusunda frekans analizi çıktıları değerlendirilmelidir (Aytekin 2012).

Frekans analizinde seriye uyarlanmış olasılık dağılımı, veriler hakkında özet bilgi verir ve aşılma ihtimallerine yönelik ön görüler yapılabilmesini sağlar. Hidro-meteorolojide, bir olay hakkında gözlenen en yüksek değerin üzerinde veya altında tahminlere ihtiyaç duyulur. Bu tahminler geçmiş olaylardan yola çıkarak gelecekte görülmesi muhtemel bazı olayların olasılıkları şeklinde gerçekleştirilir (örneğin taşkın debisinin belirli bir referans değerin üzerine geçmeme olasılığı, gözlenen akım değerinin belirlenen referans değerinin altında kalma olasılığı, yada belirli bir başarısızlık riskine karşılık gelen bir aşılma ihtimali gibi). Genellikle, bir olayın belirli bir başarısızlık riskine karşılık gelen frekansı ile ifade edilir. Bu durumda, ilgili istasyondaki yada bir bölgedeki dönüş periyodu – oluşum şiddeti ilişkisi hesaplanabilir. Frekans analizi yöntemleri geleceği kesin olarak göstermemekle birlikte geçmişte oluşan ekstrem değerlerdeki olayların olasılıkları ve gelecekte çeşitli dönüş aralıklarına karşılık gelen olayların tahmini için uygun modeller sağlayabilirler. Uygun model kabulleri ekstrem olayların tahmin edilmesi açısından önemlidirler. Çünkü ilgili tasarım değerlerinin yetersiz yada yüksek tahmini amaçlara ulaşılamamasına yada kaynakların gereksiz yere harcanmasına sebep olabilir (Aytekin 2012).

Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar, su kaynakları yönetimi ve işletilmesi, gelecekte görülmesi muhtemel kuraklıkların önceden tahmin edilmesi ile toplum ve çevre üzerindeki etkilerin azaltılmasına yönelik yapılan çalışmalara katkı sağlayacaktır. Kuraklıkların önceden tahmini kuraklık risklerinin belirlenip kuraklığın felakete dönüşmeden önce tedbirlerin alınmasını sağlayacaktır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Saldarriaga and Yevjevich (1970) dört akarsuyun gözlenmiş yıllık akışlarına uyan birinci mertebe Markov modellerini seçmişler, sonra bu modellere göre çeşitli seviyelerde görülmesi muhtemel gidiş uzunluklarının ihtimal dağılımı ile aynı seviyelerde gözlenmiş olan seriden elde edilen gidiş uzunluklarının frekans dağılımını kıyaslamışlardır. İki dağılımın birbirinden farklı olduğu, bu farkların q 'nın 0,5'den uzaklaşmasıyla ve gidiş uzunluğunun büyümesi ile arttığı belirlenmiştir. Bu nedenle gözlenmiş olan şiddetli kuraklıkların olasılıklarını (tekerrür aralıklarını) tahminde sıkıntılar ortaya çıkmaktadır. Gidiş uzunluğunun örnekleme salınımlarının büyük oluşu yüzünden 50 yıllık bir gözlem serisinde 5 yıldan büyük tekerrür aralığı olan bir kuraklığın görülebileceği gibi 500 yıl tekerrür aralıklı bir kuraklık da görülebilir. Bu, ekstrem değerlerle ilgili bütün problemlerde rastlanabilecek bir durumdur.

Can ve Yerdelen (2005), Susurluk Havzası'ndaki, Mustafa Kemal Paşa Çayı üzerinde bulunan 302 numaralı akım gözlem istasyonunda kaydedilen aylık ortalama akımların stokastik modelini kurmuşlardır. Türettikleri sentetik serilerin aylık ortalamalarının, aylık standart sapmalarının ve korelogramlarının %95 güven seviyesinde tarihi zaman serisi ile aynı özellikleri taşıdığını ve böylece kurdukları modelin Mustafa Kemal Paşa Çayı için uygun bir model olduğunu vurgulamışlardır.

Oğuz (1983), yaptığı araştırmada, kurak devrelerin istatistiksel karakterini gidişler analizi yardımıyla inceleyerek, gidiş uzunluğu ve gidiş toplamı büyüklüklerini belirlemede alışlagelmişin dışına çıkarak alternatif bir yaklaşım ileri sürmüştür.

Sırdaş ve Şen (2003), araştırmalarında, Türkiye'de yer alan 60 büyük klima istasyonunun yaklaşık olarak 1930–1990 yılları arasındaki aylık yağış kayıtlarının gidişler analizini yapmıştır. Gidişler analizi kullanılarak ulaşılan sonuçlara bağlı olarak Türkiye genelinde maksimum kuraklıktaki gidiş uzunluğu, gidiş toplamı ve gidiş şiddetlerini hesaplamış, Türkiye için genel bir dağılım haritası çizilmiştir.

Baran ve Bacanlı (2006), Ceyhan Havzası'ndaki 2 adet akım gözlem istasyonunda ölçülen yıllık ortalama akımları AR ve ARMA yöntemleri aracılığıyla modellemiş, uygun model seçimini AIC kriterine göre yapmıştır.

Gidiş özellikleri, periyodik-stokastik süreç için analitik olarak incelenmiştir. Şen (1976a, 1976b, 1977a, 1977b, 1980a, 1980b, 1980c, 1985) kuraklık şiddeti ve süresiyle ilgili birçok araştırma yapmıştır. Şen (1976a) gözlemlerin birinci mertebeden lineer bağımlı bulunması durumunda, gidiş özelliklerinin çeşitli istatistiksel ve olasılık büyüklükleri hakkında sayısal sonuçlar elde etmeye olanak sağlayacak analitik bir yaklaşım ortaya atmıştır. Gidiş özelliklerinin kesim seviyesi ve birinci mertebeden otokorelasyon katsayısının bir fonksiyonu olduğu görülmüştür. Bu çalışmada geliştirilmiş analitik ifadeler, hidrolojik gözlem serisinin bağımlı olup olmadığını anlamaya yarar. Birinci mertebeden otokorelasyon katsayısının artmasıyla ile gidiş uzunlukları artar ve böylece süreç daha kararlı duruma gelir.

Lee *et al.* (1986), yıllık akış serileriyle kuraklık süresinin sıklık analizi yaklaşımını geliştirmişlerdir.

Kapula ile ilgili ilk çalışmalar Sklar (1959) tarafından normal olmayan marjinal dağılımlara sahip olan rastgele değişkenlerin birleşik dağılımlarını türetmek için kullanılmıştır. O zamandan beri kapula, bilimin çeşitli dallarında büyük ölçüde kullanılmaya başlanmıştır. Son zamanlarda kapulanın su kaynaklarında birçok uygulaması vardır.

De Michele and Salvadori (2003), yağış yüksekliği ve süresini, De Michele *et al.* (2005) taşkın hacmi ve taşkın piklerini, Shiau *et al.* (2007) kuraklık süre ve eksikliklerini modellemek için kapulayı kullanmıştır.

Shiau and Modarres (2009), İran'daki Abadan ve Anzali yağış gözlem istasyonu verilerini kullanarak kuraklığın süre eksiklik frekans ilişkisini kapula fonksiyonu

aracılığıyla tahmin etmeye çalışmışlardır. Araştırmada yağış dalgalanmaları yüksek olan nemli bir bölgede kuraklıkların daha şiddetli geçebileceği sonucuna varmıştır.

Shiau (2006), birleşik kuraklık süre ve eksiklik dağılımlarını modellemek için iki boyutlu kapula fonksiyonu kullanılmıştır. Kapula fonksiyonunu oluşturmak için marjinallere ilişkin çıkarsama (IFM) metodu kullanılmıştır. Kuraklık süre ve eksikliklerinin sırasıyla eksponansiyel ve gamma dağılımlarına uyduğu varsayılmıştır. Birkaç farklı kapula fonksiyonu test edilerek verilere en iyi uyan kapula belirlenmiştir. Standart Yağış İndeksi (SPI) kullanılarak kuraklıklar belirlenmiştir. Birleşik olasılıklar ve iki değişkenli dönüş periyotlarını kapsayan kapula temelli birleşik dağılımlar araştırılmıştır.

Lee *et al.* (2012), Kuraklık süre eksikliklerinin iki değişkenli frekans analizi için kapula fonksiyonunu kullanmışlardır. Arşimedyen kapula fonksiyonlarının kuyruk bağımlılıklarının iki değişkenli kuraklık frekans analizi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Kuraklık süre ve eksikliklerine Kolmogorov Smirnov testi uygulanarak kümülatif dağılım fonksiyonları belirlenmiştir. Test sonucunda, kuraklık süre ve eksikliklerine sırasıyla eksponansiyel ve gamma dağılımları uydurulmuştur. Elde edilen dağılımlar kapula fonksiyonunda kullanılmıştır. Araştırma sonucunda, Frank ve Gumbel kapula fonksiyonlarının kuyruk bağımlılıkları, Clayton kapulasına göre çok daha kuvvetli oldukları için iki değişkenli frekans analizinde daha iyi performans gösterdikleri anlaşılmıştır.

Li (2013), karşılıklı etkileşim içerisinde olan taşkın pikleri ve taşkın hacimlerinin Kapula fonksiyonu aracılığıyla iki değişkenli taşkın frekans analizi yapmıştır.

Chen *et al* (2013), aylık standart yağış indekslerini (SPI) kullanarak kuraklık süreleri, kuraklık eksiklikleri, kuraklıklar arası geçen süreleri ve minimum SPI değerleri gibi kuraklık karakteristiklerini belirlemiştir. Çok değişkenli kapula metodu kullanılarak kuraklık olayları ölçülmüştür. Her bir kuraklığın bağımlılık yapısı araştırılmıştır. Kapula fonksiyonu kullanılarak kuraklık ihtimalleri ve dönüş periyotları hesaplanmıştır.

Sadri and Burn (2014), iki değişkenli kuraklık frekans analizinde Gumbel, Frank ve Clayton kapulaları kullanılarak en uzun kuraklıkların en şiddetli kuraklıklara karşılık gelmeyebileceği anlaşılmıştır.

Shiau and Shen (2001), kuraklık süre ve eksikliklerinin birleşik dağılımlarını kuraklık analizi ile elde etmiştir.

Kwak *et al.* (2012), Kore'deki Namhan Nehri'nin hidrolojik kuraklıklarını belirlemiştir. Kuraklık süre ve eksikliklerinin birleşik dağılımlarını modellemek için kapula fonksiyonunu kullanmıştır. Kuraklık süre ve eksikliklerinin marjinal dağılımlarını kullanarak iki değişkenli kuraklık dağılımı ve tekerrür aralıklarını elde etmiştir.

Dupuis (2007), hidrolojik değişkenlerin uç kuyruklarının modellenmesini araştırmıştır. Değişkenlere ait marjinal dağılımların bağımlılık yapıları kapula yaklaşımı ile belirlenmiştir.

Lee and Salas (2008), Kapula fonksiyonunu stokastik akım simülasyonuna uygulanabilirliği araştırılmıştır. Orjinal gözlem verileri ve bağımlılık yapıları Clayton, Frank, Gumbel ve Gauss kapula fonksiyonları ile modellenmiştir. Yıllık akım verileri üretmek için kapula metoduna başvurulmuştur. Üretilen veriler ile tarihi verileri istatistiksel karakteristikler (ortalama, standart sapma, çarpıklık katsayıları, maksimum ve minimum değerleri) karşılaştırılmıştır.

Liu *et al.* (2011), aylık yağış verilerinin kapula fonksiyonu ile Standart Yağış İndeksine bağlı bulunan kuraklıkların davranışları araştırılmıştır. Kıyı bölgelerinde kuraklık risklerinin daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Reddy (2013), kapula yöntemi ile kuraklık karakteristiklerinden olan kuraklık eksikliği ve alansal boyutunu iki değişkenli frekans analizi yapılmıştır. Kuraklık değişkenleri arasındaki birleşik bağımlılığın modellenmesi için Gumbel – Hougaard, Frank ve Plackett kapula sınıfları değerlendirilmiştir. En uygun dağılım sınaması ve üst kuyruk

bağımlılığı testine göre Gumbel –Hougaard kapulası kuraklık özelliklerini en iyi temsil etmiştir. Koşullu dönüş periyotları ve kuraklık eksiklik – alan – frekans eğrilerinin hesaplanmasında kapula temelli birleşik dağılımlar kullanılmıştır. Kuraklık eksiklik – alan – frekans eğrileri bölgedeki kuraklık risklerinin belirlenmesinde yararlı olmaktadır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Kuraklığın Tanımı

Kuraklık, yağışların kaydedilen normal seviyelerinin önemli ölçüde altına düşmesi sonucu toprak ve su kaynaklarının olumsuz etkilenmesi olarak tanımlanmaktadır. Kuraklığın başlangıç ve bitişinin belirsiz olması, kümülatif olarak artması, aynı anda birden fazla kaynağa etkisi ve ekonomik açıdan yüksek kayıplara neden olması onu diğer afetlerden farklı kılan en önemli özellikleridir. Herhangi bir bölgede kuraklık; frekans, eksiklik, süre ve etki alanı gibi etmenlere bağlı olarak ifade edilmektedir (Kömüşçü vd 2002).

Kuraklık yavaşça gelir ve diğer doğal afetlerden daha yıkıcı etkileri olur. Bu etkiler çok uzun sürer ve geniş alanları kapsar. Fırtına, deprem, taşkın ve kasırgalardan daha yıkıcı etkileri vardır. Kuraklığın doğrudan fiziksel etkileri arasında, ürün ve yiyecek kıtlığı, yangın tehlikesi ve su biriktirme haznelerindeki su miktarının azalması gelir. Doğrudan olmayan diğer etkileri tarımsal ürünlerden kazanç elde eden kişiler üzerinedir. Kuraklık sonucunda hidroelektrik santraller, göller ve akarsular, yan ve ana kollardaki su seviyelerinde azalmalar gözlenir (Şen 2001).

Kuraklığın başlangıç, bitiş süresini, şiddetini ve kapsadığı alanı tam olarak kestirmek mümkün değildir. Bu konu farklı dallara ait uzmanlar tarafından incelenmektedir. Artan dünya nüfusu ve küresel ısınma nedeniyle kuraklığın daha iyi izlenerek önceden müdahale edilmesi gereklidir (Şen 2009).

Tek veya çok amaçlı su kaynaklarının planlamasında ortalama olarak beklenebilecek kurak devrelerden çok daha uzun süreli kuraklıkların önceden objektif olarak belirlenmeleri gereklidir. Nitekim, kritik kuraklık adı verilecek maksimum kurak devrenin bir ülkenin ekonomik sosyal ve politik durumu üzerine etkisi büyük olabilir.

Tedbirlerin önceden alınabilmesi için kritik kurak devrelerin süre, şiddet ve etki altına aldığı bölgelerin tahmin edilmeleri gereklidir (Şen 1980b).

3.2. Kuraklık Çeşitleri

3.2.1. Meteorolojik kuraklık

Meteorolojik kuraklıklar uzun yıllar yağışın az görülmesi sonucunda ortaya çıkar. İlk görülen kuraklık türü olduğundan diğer kuraklık türlerini tetiklemektedir. Bu kuraklıklar bölgeden bölgeye farklılıklar gösterebilirler. Nem ve bulut oluşumunun az olması kuraklığın doğmasına sebep olmaktadır (Şen 2009).

Kuraklığın şiddetinin yanı sıra dönemi de önemlidir. Örneğin bir bitkinin büyüme mevsiminde meydana gelen kuraklık, haznenin sulama için yetersiz kalması veya bir ülkede turizm döneminde görülen eksiklikler kuraklığın önemini daha da artırmaktadır.

3.2.2. Hidrolojik kuraklık

Bir su yapısının tasarlanmasında minimum ve maksimum yüzeysel akışların dönemleri ve süreleri belirlenerek planlamanın yapılması gerekli olduğu için hidrolojik kuraklık bizim için önemlidir.

Kuraklığın şiddeti yüzeysel ve yeraltı suyundaki eksiklik ne kadar sürdüğüne bağlı olarak belirlenir. Yüksek sıcaklık, aşırı rüzgar ve buharlaşma kuraklığa neden olur. Uzun süreli kuraklık neticesinde göl, baraj ve bent gibi su biriktirme yapılarında seviye düşüşleri sonucu içme ve sulama suyu sıkıntıları doğabilmektedir. Su seviyesinde düşüşler ülkemizde en çok hidro-elektrik ve tarım ürünlerini etkilemektedir. Elektrik üreten bir barajda hidrolojik kuraklığın etkimesi sonucu baraja su getirilmesi veya kısmi zamanlı elektrik kullanılarak ekonomik kullanım yoluna gidilmelidir. Ayrıca kuraklık

sudaki çözülmüş oksijen miktarını azaltarak suyun kalitesini ve tarımsal verimliliği düşürür (Şen 2009).

Hidrolojik kuraklık, hem yüzeysel, hem de yeraltı su kaynaklarındaki eksikliği ifade eder. Akarsular, göller, su biriktirme hazneleri ve yeraltı su seviyeleri ile ölçülür. Yağmur suları ve kar seviyesindeki azalma ile akarsular, dereler, su biriktirme haznelerindeki azalma arasında zaman farkı vardır. Sonuç olarak, hidrolojik ölçümler kuraklığın erken belirleyicisi değildir. Yağıştaki eksiklik uzun zamanda meydana geldiğinde, yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarındaki azalma ile hidrolojik kuraklık meydana gelmektedir (Sırdaş 2002).

3.2.3. Tarımsal kuraklık

Kuraklığın şiddeti toprak nemindeki eksiklik ne kadar sürdüğüne bağlı olarak belirlenir. Bitkinin ihtiyacı olan zemin nemini elde edemeyip kuruması ve ürün veremez hale gelmesiyle oluşur. Bu durum ülkenin ekonomisi ve toplumun beslenmesini olumsuz şekil de etkilemektedir (Şen 2009).

Ortalama küresel ısınmanın artmasıyla beraber gelecek yıllarda kuraklığın ekvatorlardan kutuplara doğru kayıp ülkenin güneyindeki tarım bölgelerinin zarar görmesi beklenilmektedir (Şen 2009).

Tarımsal kuraklık toprağın nem eksikliği olması ile başlar bitkinin kuruması ve mahsullerin çürümesi ile sonuçlanır. Kuraklık esnasında tohumlar CO₂ girişi ile büyümesi yavaşlar. Bitkileri metabolizmasındaki bu yavaşlamalar ürünlerin oluşumunu olumsuz yönde etkilemektedir. Kalabalık nüfuslu, eğitim düzeyi düşük, su yapıları ve su kaynakları az olan ülkeler tarımsal kuraklığın görülme riski en yüksek ülkelerdendir. Örneğin Afrika kıtası bu tanıma büyük ölçüde uymaktadır. Bu kıtada kuraklık en şiddetli düzeylerde süregelmekte ve kıtlık baş göstermektedir. Ancak tarımsal kuraklıklar su getirme ve sulama yöntemleri doğru şekillerde kullanılması ile azaltılabilir (Şaylan vd 2000).

3.2.4. Kıtık

Tüm kuraklık çeşitlerinin ilerleyen aşamasında kıtlık meydana gelir. Kuraklıklar ilk olarak su eksikliği ardından besin eksikliği, canlılarda açlık ve ölümle sonuçlanır. Kıtlık en tehlikeli doğal afettir ve toplu halde canlıların ölümüne neden olur (Şen 2009).

3.3. Kuraklığın Etkileri

Kuraklıklar uzun vadede insanların can ve mal kaybına sebep olabilecek afetlerdendir. Kuraklıklar belirli bir zaman dilimi boyunca su eksikliğinin meydana gelmesiyle ortaya çıkar ve zamanla şiddetini artırarak toplum ve çevreye kalıcı zararlar verebilir. Kuraklığın ne zaman başlayıp bittiğini belirlemek mümkün değildir. Kuraklık sessizce ilerleyip şiddetli felaketlere yol açabilir (Şen 2009).

Kuraklık toplumun sağlığı, tarım alanları, bölge nüfusu, ekonomik kalkınma ve sosyal açıdan olumsuz etkiler yaratmaktadır. Kuraklık güneş ışınımının atmosferden geçerken etkiler sonucunda farklı davranış göstermesi ve düzensiz yağış rejimleri sonucunda ortaya çıkar. Kuraklık sonucu su miktarında azalma nedeniyle sulama sıkıntıları ortaya çıkmakta ve ürün miktarında azalmalar görülmektedir. Azalan tarla mahsulleri böceklerin yaşamını etkileyerek eko-sistemde bozulmalara neden olabilmektedir. Bozulan eko-sistem çölleşmeyi beraberinde getirir.

Kuraklık, taşkın, kasırga ve depremler büyük zararlara neden olurken çığ, tsunami, yanardağ patlamaları ve toprak kaymaları ise daha düşük ölçekte kayıplara neden olmaktadır. Taşkınlar, depremler ve kasırgalar aniden meydana gelir. Kuraklık kendini uzun süreli eksikliklerin olması durumunda başlar ve geniş etki alanına sahiptir. Kuraklık çok uzun sürmesi kıtlığa yol açar. Bu da özellikle düşük ekonomiye sahip ülkelerde can ve mal kaybı ile sonuçlanır (Şen 2009).

Kuraklık; etkilerine göre ekonomik etkiler, çevre etkileri ve toplum etkileri olmak üzere 3'e ayrılır.

3.3.1. Ekonomik etkiler

Orman yangınları, böcek istilası, bitki hastalığı, su fiyatları ve işsizlikte artma, et ve süt ürünleri, tarım alanları, otlak yerleri ve turizmde ise azalma görülmektedir.

3.3.2. Çevre etkileri

Kuraklık suyun buharlaşması ve çölleşme ile hayvanların barınmasını engeller ve bitkilerin kurumasına sebep olur. Ayrıca su kalitesinde düşüş ve tuzlulukta artma gözlemlenir (Vlachos and Douglas 1983).

3.3.3. Toplumsal etkiler

Toplumun psikoloji ve refah düzeyinin bozulmasına neden olur.

3.4. İklim Değişiklikleri

Sanayi ve teknolojiadaki ilerlemeler, durmaksızın devam eden nüfustaki yükseliş doğal olarak makine kullanımını yaygınlaştırmış buna bağlı olarak enerji kaynaklarının tüketiminde artışlar görülmüştür. Bu enerjinin çoğu kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlardan temin edildiği için atmosfere aşırı derecede karbondioksit salınımı olmaktadır. Atmosfere karbondioksit salınımının olması bir süre sonra ozon tabakasında incelmeye bu da ekolojik dengeyi olumsuz yönde etkileyerek tüm canlıların hayatını etkilemektedir (Dönmez 2008).

Bir asrı aşkın süredir kullanılmaya başlanan kömür ve petrol ürünleri yeryüzüne yayılan karbondioksit oranında artışa ve sonucunda da ortalama küresel ısınmada yaklaşık 1°C yükselmesine sebep olmuştur (Baykan 1994). Sıcaklıktaki bu artış kış döneminde kar ve buzulların erimesi sonucu denizlerin, akarsuların ve yer altı su seviyesinin yükselmesine, yağış rejiminde ise sapmalara neden olur. Bu seviye artışlarının ileriki

aşamasında ise taşkınlar meydana gelmektedir. Yaz aylarında ise sıcaklıktaki bu artışlar buharlaşma ve kuruma sonucu kuraklıklara neden olur.

Kuraklığın meydana gelmesinde önemli etkiye sahip olduğu varsayılan iklim değişiklikleri sıcaklık, yağış, terleme ve buharlaşma gibi parametrelerin artıp azalması ve bunların beraber davranışı sonucu meydana geldiği belirlenmiştir. Artan sıcaklıklar, azalan yağış, fazlalaşan terleme ve buharlaşma beraberinde kuraklıklar kendini göstermektedir. Asırlardır değişkenlik gösteren sıcaklık, iklim değişikliklerini gösteren ana etkindir. İklim değişiklikleri ekvator ve kutuplar arasındaki buzulların azalıp artması ile ortaya çıkar. Sıcaklığın artması ile birlikte buzulların bir miktar erimesi sonucu kurak kuşaklarda ise ekvator'dan kutuplara doğru yönelme görülür. Sıcaklıkta azalmalar ise kurak kuşakların kutuplardan ekvatora doğru yönelme meydana gelmektedir. Dünyanın oluşumundan bu yana meydana gelen iklim değişiklikleri kömür, petrol gibi yeraltı zenginliklerinin meydana gelmesine de sebep olmuştur (Şen 2009).

Ortalama küresel ısınmanın 1°C yükselmesi durumunda bugünün koşullarında kurak kuşakların ekvator'dan kutuplara doğru 250 km kayma meydana gelmesi beklenmektedir. Böylece ekvatora yakın enlemlerde bulunan ülkemizde kuraklık şiddetini artırarak toplumu ve çevreyi daha derinden etkileyecektir (Şen 2009).

Her geçen gün dünya nüfusunun artması ile birlikte artan tarım, sulama, içme ve sanayi suyu gereksinimi nedeniyle tatlı su kaynakları sınırlı düzeyde kullanılması gerekmektedir. Aksi halde insan yaşamı ve ekosistemi tehdit eder düzeyde etkiler ortaya çıkabilir. Bunun için önceden su temini planlamaları yapılmalı yeni politikalar ve stratejiler geliştirerek kaynağın devamlılığı sağlanmalıdır (Şen 2009).

3.5. Kuraklık Yönetimi

Kuraklık yönetiminde başlıca iki ana yaklaşım vardır. Bunlardan birincisi, kuraklık olayı meydana geldikten sonra yapılan çalışmaları kapsayan **kriz (reaktif)** yönetimi

yaklaşımıdır. İkincisi ise genellikle hissedilmeden yavaş gelişen bir süreç olan, kuraklık gerçekleşmeden yapılan çalışmaları kapsayan **risk (proaktif)** yönetimidir (Anaç 2008).

3.5.1. Kriz (Reaktif) yönetimi

Kuraklık gibi doğal afetlere karşı toplumumuz duyarlı davranmamaktadır. Kriz ortaya çıktığında harekete geçerek, zararın hafifletilebilmesine yönelik çalışmaların ön plana çıkarıldığı durum kriz yönetimidir (Kadioğlu 2008).

Toplum olarak kuraklıkların ciddiye alınmaması ilerleyen aşamalarda krize neden olmaktadır. Krizin yönetimi için ise aşırı miktarda paramızı ve zamanımızı harcamamız gerekmektedir. Ayrıca kriz yönetimi tek başına kuraklıklara müdahalede yetersiz kalmakta ve kuraklıklar felakete dönüşebilmektedir. Bu durumu engellemek için kuraklıkların meydana gelme riskleri önceden tahmin edilmedir.

3.5.2. Risk (Proaktif) yönetimi

Risk yönetimi; öncelikle uzun süreli kuraklığa hazırlık politikaları ile eylem planlarının hazırlanması, kuraklık izleme merkezleri ve ağlarının kurulması, talep yönetimi ile suyun etkin ve tutarlı kullanımını sağlayacak tekniklerin uygulanmasını kapsar. Kuraklık yönetim planı, muhtemel kuraklık riskleri ile karşılaşıldığında görülecek olan olumsuz etkiler ile su sıkıntısının minimum düzeyde tutulmasına ve mümkün olan en kısa sürede kuraklık probleminin çözümü için oluşturulmuş uygulamalı yönetimsel bir plandır. Söz konusu plan, zarar azaltmayı ve hazırlığı ön plana çıkarır, kurum ve kuruluşlar arasındaki koordinasyonu geliştirir, erken uyarı ve bütünleşik izleme ile hazırlıklara zaman kazandırır. Öte yandan, kuraklık ile mücadele planları, kuraklık şartlarının oluşup oluşmadığını teşhis etmek, kuraklığın ne kadar sürdüğü ve hangi aşamalarda hangi tedbirlerin alınması gerektiğini belirleyebilmek için objektif standartlar sunar. Bu planlar, genellikle kuraklık gözetlemesi, kuraklık uyarısı ve kuraklık alarmı gibi üç aşamadan oluşur (Kadioğlu 2008).

Kuraklıkların kötü sonuçlarını azaltmak için kriz yönetiminden risk yönetimine geçilmelidir. Böylece hazırlık, tahmin, erken uyarı, afetin oluşması ve zararların azaltılması konuları yardımıyla kuraklıkların etkisi büyük ölçüde azaltılabilir (Kadioğlu 2008).

3.6. Kuraklıkların Önceden Tahmini

Kuraklığı iyi yönetebilmek için kuraklığın etki alanı, şiddeti ve başlangıç ve bitiş tarihleri arasında geçen süreler tahmin edilerek değerlendirilmelidir. Bunun için meteorolojik ve hidrolojik yöntemler kullanılabilir (Beran and Rodier 1985).

3.6.1. Meteorolojik yöntemler

Önceden gözlenen yağış ve hava koşullarının bugünde aynen tekrarlanabileceği varsayımına dayanır. Önceden görülen sıcaklık, basınç, rüzgar, nem, kar yağışı gibi değişkenler arasında bir regresyon denklemi kurularak şimdiki değişkenleri değerlendirip, yağışlar hakkında fikir yürütülebiliriz.

Yağış ve sıcaklık gibi eşit zaman aralıkları ile gözlemlendikleri varsayılan değişkenlere otoregresif hareketli ortalama modeli uygulanabilir. Fakat bu model geniş güven aralığı sunduğu için çok yararlı değildir.

3.6.2. Hidrolojik yöntemler

Kuraklıkları sadece akarsu akımına ve yüzeye iletilen yeraltı sularına göre belirlemek mümkün olmasa da kuraklığın hareketini tahmin etmek için fiziksel ve istatistiksel çeşitli hidrolojik yöntemler geliştirilmiştir.

Bir akarsudaki gözlenmiş veriler ile gelebilecek olası verilerinin stokastik özellikleri (standart sapma, varyans, ortalama gibi istatistiksel parametreler) arasında benzerlik

bulunmaktadır. Eldeki tarihi verilerin matematiksel modelini kurarak sentetik seriler üretebilir. Ayrıca elde bulunan veri sayısını artırarak daha isabetli tahminler yapılabilir (Tosunoğlu 2009).

Akarsuyun debisi, zeminin tuttuğu nem miktarına, sızma miktarına, yağışa ve sıcaklığa bağlı regresyon denklemi kurularak yaklaşık olarak belirlenebilir. Geçmişte gözlenen yağışlar belirli seviyede değişkene etki eder. Kar erimesi ile beslenen akarsularda kar su eşdeğeri hesaplanarak dikkate alınır. Yeraltı sularının etkisinde olan akarsularda ise su seviyesine göre iletilen su değeri hesaba katılmalıdır (Bayazıt ve Önöz 2008).

3.7. Gidişler Analizi

Hidrolojide kurak akımlar sulak akımlara göre daha kalıcı (persistent) olmaktadır; kurak akımların birbirini takip etme olasılıkları, sulak akımların birbirini takip etme olasılıklarından daha büyük olmaktadır (Oğuz 1983). Kalıcılığı (persistent) bulmak için üç yöntem ileri sürülmüştür. Bunlar, otokorelasyon analizi, spektral analizi ve yeniden ölçeklendirilmiş eklenik farklar analizidir.

Otokorelasyon analizi, serilerdeki uzun süreli (alçak frekanslı) bağımlılıkları belirlemekte eksik kaldığı için pek kullanılmamaktadır (Bayazıt 1973). Bu çalışmanın konusu olan gidişler analizi, bu kalıcılığı bulmak için faydalanılan metotlardan biri olan, otokorelasyon analizine bir alternatif sunmaktadır. Gidişler analizi, kurak dönemler için Yevjevich (1967) tarafından ileri sürülen objektif bir yaklaşımdır (Bayazıt ve Önöz 2008).

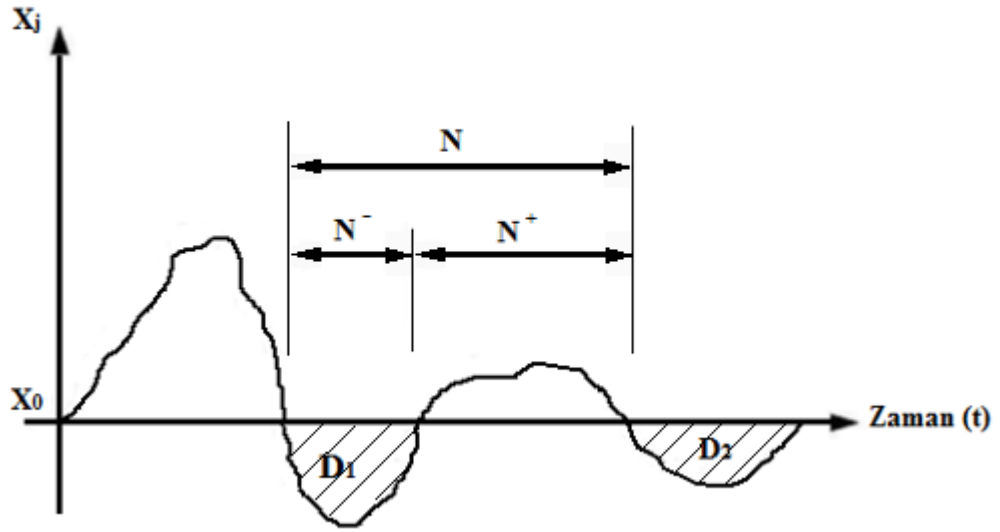
Gidişler analizi, geçmiş debilerin belirli bir seviyede kesilmesi ile elde edilen değerlerin incelenmesi sonucu geçen dönemin kurak mı sulak mı olduğuna yorum yapabilmemizi sağlayan bir istatistik yöntemidir.

Gidişler analizi, aylık ve yıllık akış verileri kullanılarak çeşitli ölçüm dönemleri için, negatif gidiş uzunlukları, negatif gidiş toplamları ve negatif gidiş şiddetleri çeşitli kesim seviyeleri için belirler (Bayazit ve Önöz 2008).

Gidiş uzunluğu, gidiş toplamı, gidiş şiddeti değerlerinin frekans dağılımlarını araştırmak için gidişler analizine başvurulmalıdır. Varılan değerlere göre kurak dönemlerde ekolojik döngüdeki dengelerin sağlanması, tarımsal su ihtiyacının değerlendirilmesi, su temini planlamalarında ve hidroelektrik enerji üretimi projelerinde faydalanılır (Yevjevich 1967).

Seçilen bir Δt zaman aralığı ile ölçülen bir X rastgele değişkeninin $x(t)$ stokastik sürecini göz önüne alalım. Kesim düzeyi (eşik düzeyi) X değişkeninin q aşılma (küçük kalma) olasılığına karşılık gelen x_0 değeri olsun (Şekil 3.1). $P(X \leq x_0) = q$. x_0 sabit bir değer olabileceği gibi zaman içinde değişen bir değerde olabilir. Bazı zaman aralıklarında $x(t)$ değeri x_0 'dan büyük, bazı zaman aralıklarında x_0 'dan küçük olacaktır.

$X(t)$ 'nin sürekli olarak x_0 'ın üstünde kaldığı süre pozitif gidiş, altında kaldığı süre negatif gidiş denir. X 'i bir ölçekte ölçülen yağış ya da akarsuda ölçülen akım olarak alıp bu kavramları kuraklığın analizine uygulayabiliriz. Negatif gidiş kurak bir döneme karşılık gelir. N^- negatif gidiş uzunluğu kurak dönemin süresini, bu süre boyunca x_0 ile $x(t)$ arasında kalan su hacmi (Şekil 3.1'de taralı alana karşılık gelen hacim) olan D negatif gidiş toplamı kurak dönemdeki su eksikliğini gösterir.



Şekil 3.1. Gidiş karakteristiklerinin tanımı

D_j , j 'inci kuraklığın X_0 kesim seviyesi altındaki eksikliklerin toplamı olarak tanımlanmıştır.

$$D_j = \sum_{i=1}^m X_0 - X_j$$

Kuraklık şiddeti (I_j), eksiklikler toplamının negatif gidiş uzunluğuna oranından aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$I_j = \frac{D_j}{N_j^-}$$

Arkasında ve önünde farklı olaylar bulunmak üzere, birbirini takip eden, aynı karakterde olaylar serisine gidiş denir. Bu şekilde tanımlanan gidişlerin uzunlukları, bir rastgele değişken olarak ele alınıp, istatistik yöntemlerle incelenebilir (Bayazıt 1973).

Gidiş uzunluğu, verilen kesim seviyesine göre kuraklığın süresini belirler (Sırdaş 2002).

Kuraklık süresi, herhangi bir dönem yağış zaman serisinde yağışın uzun yıllar ortalaması altında kalmasıyla başlayan ve uzun yıllar ortalaması üzerine çıkmasıyla sona eren sürenin uzunluğudur (Sırdaş 2002).

Negatif gidiş toplamı: Kesim seviyesi altında kalan debilerin değerleri toplamıdır. (Sırdaş 2002).

Kesim seviyesi: Eldeki seriyi büyükten küçüğe sıraladıktan sonraki belirlenen orana denir. Bu değer eldeki seriyi eşik seviyesinin üstünde ve altında olmak üzere iki kısma ayırır (Erilli 2014).

Medyan: Dağılımın merkezini ifade etmekte kullanılan bir parametredir. Medyan, rastgele değişkenin küçük kalması (aşılması) olasılığı %50 olan değerdir (Bayazıt ve Oğuz 2005).

Gözlenen verilere gidişler analizi uygulanarak belirlenen süre içinde görülebilecek en uzun kurak dönem bulunabilir. Bulunan bu maksimum gidiş uzunluğu değeri su kaynakları projelerinde ve suyun kullanımında bize yardımcı olur. Belirlenen zaman periyodunda meydana gelen maksimum gidiş uzunluğunun frekans analizinden geçirilmesi ile geleceğe ait kuraklıkların hangi sıklıkla meydana gelebileceği hakkında tahminlerde bulunulabilir.

Dracup *et al.* (1980) yaptığı çalışmalarla, gidiş uzunluğu ile gidiş toplamı arasında pozitif yönlü doğrusal bir ilişki vardır. Ancak gidiş uzunluğu ile gidiş şiddeti arasında pek bağlantı olmadığını öne sürmüştür.

Bu çalışma kapsamında, tarihi seri çeşitli kesim seviyeleri ($q=0,5$; $q=0,3$; $q=0,1$) için gidişler analizine tabi tutularak kuraklık süre ve eksiklikleri belirlenmiştir. Ayrıca tarihi

seride görülmesi muhtemel daha şiddetli kuraklıkların belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için tarihi akımların matematik modeli kurulmuştur. Kurulan bu model ile tarihi seri ile uyumlu sentetik seriler üretilip görülmesi muhtemel daha şiddetli kuraklıklar ve bunların tekrerrür aralıkları hesaplanmıştır.

3.8. Zaman Serileri

Zaman serileri, hidroloji literatüründe önemli bir yer tutup, zaman içinde kaydedilen değerler dizisidir. Eğer elde önceden kaydedilen hidrolojik veriler varsa zaman serilerini kullanarak bu verilerle gelecek yıllarla ilgili öngöründe bulunulabilir. Gelecekte görülmesi muhtemel olay ve durumları tahmin etmeye öngörü denir. Öngörü, karar verme aşamasında kullanılan değişmez bir unsurdur. Öngörü ile geçmişteki kayıtları referans alarak geleceğe ait tahminlerde bulunulabilir. Zaman serileri, incelenen kayıtların zaman içindeki hareketlerinin araştırılması, hidrolojik süreçlerdeki kusurların ortaya çıkarılması, hidrolojik olayların görülme ihtimalleri, gelecek için tahminler ve planlamalar gibi konularda araştırmacıya önemli ipuçları sunmaktadır. Zaman serileri analizinden çıkarılan sonuçlar değerlendirildiğinde hem gereksiz harcamalardan kaçınılmakta, hem de ileriye dönük kararlar verilebilmektedir. Bu yöntemin uygulanmasının kolay olması, fazla teorik olmaması ve öngörüye yatkın olması gibi nedenlerle tercih edilmektedir (Salas *et al.* 1980).

3.8.1. Zaman serisi modelleri

X_t , ortalaması μ ve varyansı σ^2 olan normal dağılmış bir değişken ise zaman serisi modeli aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$X_t = \mu + \sigma \varepsilon_t \quad (3.1)$$

Yukarıda ε_t ortalaması sıfır ve varyansı bir olan normal dağılmış bir değişkendir. $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots$ terimleri birbirinden bağımsızdır. Modelin parametreleri μ ve σ olup bu parametreler sabit olduğu için model kararlıdır. Kararlılık deyimi, istatistiksel

özelliklerin zamanla değişmemesi anlamına gelmektedir. X_t değişkeni sadece bağımsız ε_t değişkeninin bir fonksiyonu olduğu için modelin yapısı basittir ve X_t de bağımsız bir değişkendir (Salas *et al.* 1980).

Bağımlı yapıda bir zaman serisi modeli ise şu şekilde oluşturulabilir:

$$\varepsilon_t = \phi \varepsilon_{t-1} + \xi_t \quad (3.2)$$

ξ_t ortalaması sıfır ve varyansı $(1 - \phi^2)$ olan bağımsız bir seridir. ϕ modelin parametresidir. ε_t , ξ_t 'nin bir fonksiyonu olmasının yanı sıra ε_{t-1} 'in fonksiyonu olduğu için bağımlı bir seridir. Denklem (3.1)'deki ε_t , Denklem (3.2)'deki ε_t ile ifade edilirse X_t bağımlı bir model olur. Bu durumda X_t modelinin parametreleri μ , σ ve ϕ 'dir (Salas *et al.* 1980).

3.8.2. Zaman serisi modelleme aşamaları

Box and Jenkins (1970)'e göre zaman serisi modellemesi aşağıdaki aşamalardan oluşur.

1. Model tipinin seçimi
2. Modelin derecesinin tanımlanması
3. Model parametrelerinin tahmini
4. Modelin güvenilirliğinin kontrolü

Zaman serisi modellemesi, yukarıdaki aşamaları takip eden ve bazen önceki adımlara gidilmesini gerektiren bir yöntemdir (Salas *et al.* 1980).

3.9. Otoregresif Modeller

AR(p) ile ifade edilen ve derecesi p olan bir otoregresif model aşağıdaki formüllerle gösterilir.

$$y_t = \mu + \sum_{j=1}^p \phi_j (y_{t-j} - \mu) + \varepsilon_t \quad (3.3a)$$

$$y_t = \mu + \phi_1 (y_{t-1} - \mu) + \dots + \phi_p (y_{t-p} - \mu) + \varepsilon_t \quad (3.3b)$$

Burada y_t , zaman bağımlılığı olan, normal dağılmış, kararlı, ortalaması μ ve varyansı σ^2 bir değişkeni; ε_t : ortalaması sıfır, varyansı σ_ε^2 olan normal dağılıma uyan zamandan bağımsız rastgele değişkeni; $\phi_1, \dots, \phi_p$ ise otoregresif katsayılar denilmektedir. Yukarıda verilen AR(p) modeline ait parametreler ise $\{ \mu, \sigma^2, \phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p, \sigma_\varepsilon^2 \}$ şeklindedir (Salas *et al.* 1980).

Modeldeki bilinmeyen değerler ise p adet otoregresif parametre, stokastik sürecin ortalaması ile ilgili sabit terim (μ) ve hata terimlerinin varyansı (σ_ε^2) şeklindedir. Modelin netleştirilmesi için p+1 adet parametrenin ve σ_ε^2 'nin bulunması gerekir. Model kendiliğinden regresyon halinde olduğundan modele otoregresif model denir. p=1 için yukarıdaki ifade;

$$y_t = \mu + \phi_1 (y_{t-1} - \mu) + \varepsilon_t \quad (3.4)$$

şeklini alır ve AR(1) modeli olarak adlandırılır. p=2 için ise yukarıdaki ifade

$$y_t = \mu + \phi_1 (y_{t-1} - \mu) + \phi_2 (y_{t-2} - \mu) + \varepsilon_t \quad (3.5)$$

şeklini alır ve AR(2) modeli olarak adlandırılır. Ayrıca bu modellere sırasıyla 1. ve 2. dereceden olan Markov modelleri de denir.

Otoregresif Modeller, basit bir modelleme yapısının bulunması ve zamana bağımlı olduğu için yıllık ve aylık zaman serilerine uygulanmıştır (Salas *et al.* 1980).

3.9.1. Sabit parametrelili AR modellerinin matematiksel formülasyonu

Zaman bağımlı, normal dağılım gösteren, μ ortalamasına ve σ^2 varyansına sahip olan kararlı (stasyoneryon) bir y_t zaman serisini ele alalım (y_t terimi normalleştirilmiş verileri ifade etmek üzere), AR(p) ile ifade edilen p derecesine sahip otoregresif bir model, y_t 'yi aşağıdaki denklemle ifade eder (Salas *et al.* 1980).

$$y_t = \mu + \sum_{j=1}^p \phi_j (y_{t-j} - \mu) + \varepsilon_t \quad (3.6)$$

$$y_t = \mu + \phi_1 (y_{t-1} - \mu) + \dots + \phi_p (y_{t-p} - \mu) + \varepsilon_t \quad (3.7)$$

Yukarıda y_t zaman bağımlı bir değişken iken ε_t zamandan bağımsız ortalaması sıfır, varyansı ise σ_ε^2 olan ve normal dağılıma uyan bir değişkendir $\phi_1, \dots, \phi_p$ katsayıları ise otoregresif katsayılarıdır. Yukarıda verilen otoregresif zaman serisi modeline ait parametre setine ise $\{\mu, \sigma^2, \phi_1, \dots, \phi_p, \sigma_\varepsilon^2\}$ örnek olarak verilebilir. Bu parametreler eldeki tarihi seriden tahmin edilir (Salas *et al.* 1980).

AR(1) modeli Denklem (3.7)'de sadece bir adet otoregresif terimi dikkate almak suretiyle kurulan bir modeldir. Yani $p=1$ için Denklem (3.1) aşağıdaki şekli alır:

$$y_t = \mu + \phi_1 (y_{t-1} - \mu) + \varepsilon_t \quad (3.8)$$

Bu model birinci dereceden otoregresif ya da birinci derece Markov modeli olarak adlandırılır. Çünkü t anındaki y değeri rastgele bir değişkene ilave edilen t-1 anındaki y değeri ile gösterilebilmektedir ve sadece t-1 anındaki bu değer bir fonksiyonudur. Bu modelin parametreleri μ, σ^2, ϕ_1 ve σ_ε^2 'dir. Benzer şekilde AR(2) modeli de $p=2$ alınarak kurulabilir (Salas *et al.* 1980).

3.9.2. Sabit parametrelili AR modellerinin özellikleri

Bu bölümde ele alınacak olan özellikler beklenen değerler ve varyansları kapsamaktadır. Otoregresif modellerin otokorelasyon, kısmi otokorelasyon ve parametrelerin kararlılık şartları ile ilgili özellikleri konunun daha iyi anlaşılmasını sağlamak amacıyla Bölüm 3.9.4'te incelenecektir.

(3.6) genel denklemleri ile verilen bağımlı ve bağımsız değişkenlere ait olan AR modellerinin beklenen değerleri ve varyansları özetle aşağıdaki şekildedir. (Salas *et al.* 1980).

$$E(y_t) = \mu \quad (3.9)$$

$$E(\varepsilon_t) = 0 \quad (3.10)$$

$$\text{Var}(y_t) = \sigma^2 \quad (3.11)$$

$$\text{Var}(\varepsilon_t) = \sigma_\varepsilon^2 \quad (3.12)$$

İlerideki bölümlerde de ele alınacağı üzere, yukarıdaki μ , σ^2 ve σ_ε^2 parametreleri eldeki tarihi seriden momentler ya da maksimum olabilirlik metoduyla hesaplanır. σ^2 ve σ_ε^2 parametreleri, momentler metoduyla tahmin edilmeleri durumunda aşağıda verilen şekilde birbiriyle ilişkilidir.

$$\sigma_\varepsilon^2 = \sigma^2 \left(1 - \sum_{j=1}^p \phi_j \rho_j \right) \quad (3.13)$$

Yukarıdaki ϕ_j , j . otoregresif katsayısı ve ρ_j de j gecikmesindeki (ötelemesindeki) otokorelasyon katsayısını göstermektedir. Bu terimlere ilişki ayrıntılı açıklamalar Bölüm 3.9.4'te verilecektir (Salas *et al.* 1980).

AR(1) modeli için Denklem (3.13) aşağıdaki gibi dönüştürülür.

$$\sigma_\varepsilon^2 = \sigma^2 (1 - \phi_1^2) \quad (3.14)$$

Benzer şekilde AR(2) modeli için,

$$\sigma_\varepsilon^2 = \sigma^2 \frac{(1 - \phi_2)}{(1 - \phi_2)} [(1 - \phi_2)^2 - \phi_1^2] \quad (3.15)$$

şeklinde yazılır.

3.9.3. Sabit parametrelili periyodik AR modelleri

Periyodik zaman serileri bir yıldan daha küçük, yani yıl içi zaman dilimlerine ait kayıtları içeren serilerdir. Periyodik hidrolojik seriler mevsimlik, aylık, haftalık ya da günlük olabilirler. Hidrolojik değişkenler yılın değişik dönemlerinde değişik değerler alırlar ve bu değerler her yıl birbirine benzer şekilde salınım gösterir. Sözelimi herhangi bir yılda, o yılın belli bir döneminde, belli bir bölgedeki akış miktarı ertesi yıl yine benzer bir değer alır. Aynı bölgede yılın herhangi bir dönemine ait yağış miktarı ise mevsimin etkisi yüzünden diğer dönemlerdeki yağış miktarından çok farklı olur. Başka bir ifadeyle, bu değişkenler farklı popülasyonlardan gelmektedir. Bu anlatılan olaya periyodiklik adı verilir. Periyodik serilere ait ortalama ve standart sapma gibi karakteristikler periyodiklik gösterir (Salas *et al.* 1980).

$x_{v,\tau}$ zaman serisini göz önüne alalım. Burada v indisi yılı, $\tau = (1, 2, \dots, w)$ indisi ise zaman dilimini göstermektedir. w değeri aylık seriler için 12, mevsimlik seriler için

ise 4 olur. $x_{v,\tau}$ normal ya da normale çevrilmiş bir dağılıma sahip olsun. Bu durumda normale çevrilmiş seriyi aşağıdaki gibi

$$y_{v,\tau} = g(x_{v,\tau}) \quad (3.16)$$

ifadesi ile gösterebiliriz. Ayrıca, periyodik ve normal dağılmış olan $y_{v,\tau}$ serisi aşağıdaki gibi yeniden yazılabilir:

$$y_{v,\tau} = \mu_\tau + \sigma_\tau z_{v,\tau} \quad (3.17)$$

Yukarıda μ_τ ve σ_τ sırasıyla periyodik ortalama ve periyodik standart sapmayı göstermektedir. $z_{v,\tau}$ ise ortalaması sıfır, varyansı ise bir olan ve aynı zamanda zaman bağımlılığı bulunan bir seriyi temsil etmektedir.

$y_{v,\tau}$ değişkeni normal dağılmış, ortalaması μ_τ ve varyansı σ_τ^2 olduğunu varsayalım bu durumda aşağıdaki gibi ifade edilebilir. Bağımsız değişken ε_t , normal dağılmış, ortalaması 0 ve standart sapması 1 dir (Salas *et al.* 1980).

$$z_t = \phi_1 z_{t-1} + \dots + \phi_p z_{t-p} + \varepsilon_t \quad (3.18)$$

AR(0) modeli için;

$$z_t = \varepsilon_t \quad (3.19a)$$

AR(1) modeli için;

$$z_t = \phi_1 z_{t-1} + \varepsilon_t \quad (3.19b)$$

AR(2) modeli için;

$$z_t = \phi_1 z_{t-1} + \phi_2 z_{t-2} + \varepsilon_t \quad (3.19c)$$

olmaktadır.

3.9.4. Sabit parametrelili periyodik AR modellerinin metodolojisi

Bu bölümde periyodik zaman serilerinin modellenmesi beş aşamada ele alınacak ve yer geldikçe karşılaşılan yeni kavramlar açıklanacaktır.

- 1-Ön analiz
- 2-Parametre tahmini
- 3-Model parametrelerinin güvenilirliği
- 4-Seçilen modelin uygunluğunun testi
- 5-Modele ait ilave testler

Genel olarak yukarıda belirtilen bütün aşamaların uygulanması tavsiye edilmesine rağmen araştırmacı kendi inisiyatifini kullanarak bazı aşamaları atlayabilir (Salas *et al.* 1980).

3.9.4.a. Ön analiz

Adım (1a). Hidrolojik çalışmalara ve özellikle zaman serisi analizine uygulanan çoğu olasılık teorileri ve istatistiksel teknikler geliştirilirken değişkenlerin normal dağıldıkları kabul edilmiştir. Bu varsayım gereğince ilk olarak tarihi (orijinal) zaman serisinin normal dağılıp dağılmadığı kontrol edilmelidir. Bu test çarpıklık katsayısı testini (skewness test) kullanarak yapılabileceği gibi Kolmogorov-Smirnov testi uygulanarak veya normal dağılım olasılık kağıdını kullanarak grafiksel olarak da yapılabilir. Bir başka seçenek olarak da Ki-kare (Chi-square) testi uygulanabilir (Loucks *et al.* 1981).

Bu çalışmada bir değişkenin normal dağılıma uyup uymadığının kontrolü için çarpıklık testi kullanılmıştır. Bu test, normal bir değişkenin çarpıklık katsayısının sıfır olduğu gerçeğine dayanır. Çünkü bu dağılım teorik olarak lokasyon parametresi olan ortalama değerinden (μ) geçen düşey eksene göre simetriktr (Salas *et al.* 1980).

Eldeki tarihi periyodik hidrolojik zaman serisinin normal dağılıp dağıtmadığı kontrol edilirken pratik olarak $x_{v,\tau}$ serisine ait " τ " zaman dilimleri için çarpıklık katsayısı ayrı ayrı hesaplanır ve daha sonra bu çarpıklık katsayılarının ortalaması alınır. Daha sonra elde edilen ortalama çarpıklık, ileride anlatılan kriterler doğrultusunda değerlendirilerek çarpıklığın kabul edilebilir sınırlar içinde olup olmadığına karar verilir (Salas *et al.* 1980).

Çarpıklık katsayısı (γ) aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$\gamma = \frac{N \sum_{t=1}^N (x_t - \bar{x})^3}{(N-1)(N-2) \left[\frac{1}{(N-1)} \sum_{t=1}^N x_t - \bar{x} \right]^2}^{3/2} \quad (3.20)$$

Yukarıda x_t terimleri zaman serisinin elemanları, $\bar{x}$ örnek ortalaması ve N serideki eleman sayısıdır. Aşağıdaki (3.21) ifadesi ile verilen sınırlar arasında kalan bir çarpıklık katsayısı değerine sahip olan serilerin normal dağıldığı kabul edilebilir (Salas *et al.* 1980).

$$\left\{ -u_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{6}{N}} \quad ; \quad u_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{6}{N}} \right\} \quad (3.21)$$

Çizelge 3.1. $\alpha=0,02$ ve $\alpha=0,10$ önem seviyeleri için γ_α (N) değerleri

α			α		
N	0,02	0,1	N	0,02	0,1
25	1,061	0,711	70	0,673	0,459
30	0,986	0,662	80	0,631	0,432
35	0,923	0,621	90	0,596	0,409
40	0,870	0,587	100	0,567	0,389
45	0,825	0,558	125	0,508	0,350
50	0,787	0,534	150	0,464	0,321
60	0,723	0,492	175	0,430	0,298

Uygulanan testler neticesinde tarihi serinin normal dağılım gösterirse sonraki adımlarda $y_{v, \tau} = x_{v, \tau}$ transformasyonu yapılarak Adım (1c)'ye atlanır. Aksi takdirde Adım (1b)'den devam edilir.

Adım (1b). Çarpık dağılmış olan tarihi $x_{v,\tau}$ serisi uygun bir transformasyon ile normal dağılmış hale dönüştürülür. Daha gerçekçi olmak için her τ zaman dilimi için ayrı bir transformasyon uygulanabileceği gibi, tek bir transformasyonu tüm seriye uygulamak da mümkündür. Buna dayanarak normal dağılmamış tarihi seriye aşağıdaki dönüştürme fonksiyonu uygulanabilir:

$$y = \log(x) \quad (3.22)$$

Bu durumda,

$$y = \frac{\log(x) - \mu_y}{\sigma_y} \quad (3.23)$$

formülü ile ortalaması sıfır ve standart sapması bir olan standart normal seriyi elde etmek de mümkündür.

Denklem (3.22) ile bulunan dönüştürülmüş değerlerin normal dağılıp dağılmadığı yeniden kontrol edilir. Dağılım normal ise sonraki adıma geçilir (Salas *et al.* 1980).

Adım (1c). Aşağıdaki (3.24) ve (3.25) nolu formüller kullanılarak periyodik $y_{v,\tau}$ serisine ait periyodik ortalamalar (μ_τ) ve standart sapmalar (s_τ) hesaplanır.

$$\mu_\tau = \bar{y}_\tau = \frac{1}{N} \sum_{v=1}^N y_{v,\tau} \quad , \quad \tau = 1, \dots, w \quad (3.24)$$

$$\sigma_\tau = s_\tau = \frac{1}{N-1} \sum_{v=1}^N [(y_{v,\tau} - \bar{y}_\tau)^2]^{1/2} \quad , \quad \tau = 1, \dots, w \quad (3.25)$$

Periyodik $y_{v,\tau}$ serisine ait periyodik karakteristikler seriden uzaklaştırılarak standardize $z_{v,\tau}$ serisi elde edilir. Bunun için aşağıdaki denklem kullanılır.

$$z_{v,\tau} = \frac{y_{v,\tau} - \mu_\tau}{\sigma_\tau} \quad , \quad v = 1, \dots, N \quad , \quad \tau = 1, \dots, w \quad (3.26)$$

Bu adımdan sonra periyodikliği ortadan kaldırılan $z_{v,\tau}$ serisi, tıpkı yıllık tek bir seri gibi ele alınacaktır.

Adım (1d). Seriyeye ait otokorelasyon katsayıları hesaplanır. Bu işlem için

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (z_t - \bar{z}) (z_{t+k} - \bar{z})}{\sum_{t=1}^N (z_t - \bar{z})^2} \quad (3.27)$$

kapalı seri varsayımına dayalı (3.27) formülü kullanılabilir. Burada r_k otokorelasyon katsayısıdır. r_k 'nın k gecikmesine göre değişimini gösteren grafiğe ise korelogram denir (Salas *et al.* 1980).

Hesaplanan r_k değerlerinin %95 olasılık seviyesindeki öneminin anlaşılması için Anderson aşağıdaki limitleri önermiştir:

$$r_k(\%95) = \frac{-1 \mp 1,96 \sqrt{N - k - 1}}{N - k} \quad (3.28)$$

Yukarıdaki formülde N örnekteki eleman sayısı veya örnek büyüklüğüdür. Otokorelasyon katsayıları, bir zaman serisine ait terimlerin birbirine göre bağımlılığını ifade eder. Söz gelimi r_1 değerinin bu çalışmada kullanılan %95 olasılık seviyesine ait limitlerin dışına çıkması durumunda, serideki ardışık terimlerin alacağı değerlerin birbirine bağımlı olduğu sonucuna varılır. Yine aynı şekilde r_k değerinin istatistiksel açıdan önemli çıkması durumunda seride birbirleri arasında k kadar gecikme olan terimlerin birbirlerine bağımlı oldukları sonucuna varılır (Salas *et al.* 1980).

Otokorelasyon fonksiyonuna ait %95 güven aralığı belirlenirken, söz konusu aralığa ait sınırlar Denklem (3.28) ile belirlenebileceği gibi yaklaşık olarak aşağıdaki denklem ile de belirlenebilirler.

$$r_k(\%95) = \mp \frac{2}{\sqrt{N}} \quad (3.29)$$

Adım (1e). Seriyeye ait kısmi otokorelasyon katsayıları hesaplanır ve kısmi korelogram çizilir. Seride N adet eleman varsa $L=0.3N$ olacak şekilde $\phi_1, \dots, \phi_L$ terimlerinin hesaplanması korelogramın çizilmesi için yeterli olur. k 'inci dereceden bir $AR(k)$ prosesindeki kısmi otokorelasyon katsayısı $\phi_k(k)$, ρ_j ve ρ_{j-k} terimleri arasındaki lineer ilişkinin bir ölçüsüdür. Bir $AR(k)$ modeli için aşağıdaki farklar denklemini yazmak mümkündür.

$$\rho_j = \phi_1(k) \rho_{j-1} + \phi_2(k) \rho_{j-2} + \dots + \phi_k(k) \rho_{j-k}, \quad j=1, \dots, k \quad (3.30)$$

Yukarıdaki farklar denkleminde faydalanmak suretiyle bir zaman serisinin kısmi otokorelasyon fonksiyonuna ait k'ncı gecikme derecesindeki $\phi_k(k)$ terimini elde etmek için aşağıdaki lineer denklem takımı oluşturulabilir (Salas *et al.* 1980).

$$\begin{aligned}
 \phi_1(k) \rho_0 + \phi_2(k) \rho_1 + \dots + \phi_k(k) \rho_{k-1} &= \rho_1 \\
 \phi_1(k) \rho_1 + \phi_2(k) \rho_0 + \dots + \phi_k(k) \rho_{k-2} &= \rho_2 \\
 \phi_1(k) \rho_2 + \phi_2(k) \rho_1 + \dots + \phi_k(k) \rho_{k-3} &= \rho_3 \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 \phi_1(k) \rho_{k-1} + \phi_2(k) \rho_{k-2} + \dots + \phi_k(k) \rho_0 &= \rho_k
 \end{aligned} \tag{3.31}$$

Bu denklemleri matris formunda yazarsak,

$$\begin{bmatrix} 1 & \rho_1 & \rho_2 & \dots & \dots & \dots & \rho_{k-1} \\ \rho_1 & 1 & \rho_1 & \dots & \dots & \dots & \rho_{k-2} \\ \rho_2 & \rho_1 & 1 & \dots & \dots & \dots & \rho_{k-3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \rho_{k-1} & \rho_{k-2} & \rho_{k-3} & \dots & \dots & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_1(k) \\ \phi_2(k) \\ \phi_3(k) \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \phi_k(k) \end{bmatrix} \tag{3.32}$$

elde edilir. Yani;

$$[P_k] [\phi_k] = [\rho_k] \text{ 'dır.}$$

Yukarıdaki ifadelerden faydalanarak ϕ_k vektörünü elde etmek için aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$[\phi_k] = [P_k]^{-1} [\rho_k] \tag{3.33}$$

Yukarıda verilen (3.31), (3.32) ve (3.33) ifadeleri ile hesaplanan $\phi_j(k)$, ($j=1, \dots, k$), terimlerinden yalnızca $\phi_k(k)$ ile gösterilen terim seriye ait kısmi otokorelasyon fonksiyonunun bir elemanıdır. Bu yüzden bir seriye ait kısmi otokorelasyon fonksiyonunu elde etmek için her k gecikme derecesinde ($k=1, \dots, L$) (3.32) ifadesi ile verilen matrisleri oluşturup çözmek gerekmektedir. Bu suretle otokorelasyon fonksiyonunun bütün terimleri hesaplanmış olur. Alternatif olarak kısmi otokorelasyon katsayıları aşağıda verilen Durbin formülleri ile de hesaplanabilir (Salas *et al.* 1980).

$$\phi_1(1) = r_1 \quad ; \quad \phi_2(2) = \frac{r_2 - r_1^2}{1 - r_1^2} \quad ; \quad \phi_2(1) = \frac{r_1(1 - r_2)}{1 - r_1^2} \quad (3.34)$$

$$\phi_{k+1}(k+1) = [r_{k+1} - \sum_{j=1}^k \phi_k(j) * r_{k+1-j}] / [1 - \sum_{j=1}^k \phi_k(j) * r_j] \quad (3.35)$$

$$\phi_{k+1}(k+1) = \phi_k(j) - \phi_{k+1}(k+1) * \phi_k(k-j+1) \quad (3.36)$$

Yukarıdaki denklemlerde kısmi otokorelasyon katsayıları olarak kabul edeceğimiz esas değerler $\phi_{k+1}(k+1)$ notasyonu ile gösterilen değerlerdir. Alt indis ile parantez içindeki rakam aynı olduğu zaman kısmi otokorelasyon katsayıları olarak kullanılacak esas değerler elde edilmektedir. Durbin formülleri ile kısmi otokorelasyon fonksiyonu elde etmek için ilk olarak $\phi_1(1)$ ve $\phi_2(2)$ terimleri hesaplanır.

Daha sonra $\phi_{k+1}(k+1)$ ($k=2, \dots, L-1$) terimlerini elde etmek için gerekli olan yardımcı değerler ilgili formüllerle hesaplanarak $\phi_{k+1}(k+1)$ terimlerini veren formülde yerine konulur. İşleme bu şekilde belirli bir sırada devam edilir. Bu anlatılan algoritma bilgisayar programına çevrildiği takdirde kısmi otokorelasyon fonksiyonunun hesabı çok kolay olmaktadır (Salas *et al.* 1980).

Prosesin AR(p) modeli olduğu hipotezi ile $k > p$ için tahmin edilen (örnekten hesaplanan) $\phi_k(k)$; sıfır ortalaması ve $1/N$ olan varyansı ile asimptotik olarak normal dağılıma uyar.

Böylece sıfır kısmi otokorelasyon için $(1-\alpha)$ güven limitleri aşağıdaki (3.37) ifadesi ile hesaplanır.

$$\{ -u_{1-\alpha/2} / \sqrt{N}; u_{1-\alpha/2} / \sqrt{N} \} \quad (3.37)$$

Burada, N örnekteki eleman sayısı, α ise seçilen önem seviyesidir. $u_{1-\alpha/2}$ ise $1-\alpha/2$ olasılığındaki standart normal değişkendir (Salas *et al.* 1980).

$\phi_k(k)$ değerlerinin k gecikme derecesine göre değişimini veren korelogramın çizilmesinden sonra Denklem (3.37) ile hesaplanan güven limitleri de aynı grafik üzerinde işaretlenir. Güven limitlerinden daha büyük değerler alan $\phi_k(k)$ terimlerinin istatistiksel açıdan önemli olduğu sonucuna varılır. Bir başka deyişle, bu limitler belli bir gecikme (lag) değerinin ilerisindeki değerler için teorik kısmi otokorelasyon fonksiyonunun pratik olarak sıfır olduğu izlenimini verir (Salas *et al.* 1980).

Adım (1f). Adım (1c), (1d) ve (1e)'deki incelemelerin ışığında modelin derecesi seçilir. Bu seçim sırasında Adım (1e)'deki sonuçlar oldukça önemlidir. Çizilen kısmi korelogramdaki ϕ_k değerlerinin güven seviyesi limitlerini hangi gecikme derecelerinde kestikleri dikkate alınarak seçim yapılabilir. Söz gelimi ϕ_1 ve ϕ_2 değerleri güven limitlerini kesiyorsa AR(2), sadece ϕ_1 terimi kesiyorsa AR(1) modelleri düşünülebilir. Eğer incelemelerde fikir verecek bir durum görülemiyorsa AR(0) yani $p=0$ modeli de seçilebilir (Salas *et al.* 1980).

3.9.4.b. Parametre tahmini

Bu bölümün esas amacı öngörülen modele ait parametreleri tahmin etmek ve bu parametrelerin kararlılık şartlarını kontrol etmektir.

Adım (2a). Aşağıda verilen Denklem (3.38) yardımıyla seçilen AR(p) modeline ait $\phi_j, j=1, \dots, p$ otoregresif parametreleri hesaplanır.

$$r_k = \phi_1 r_{k-1} + \phi_2 r_{k-2} + \dots + \phi_p r_{k-p} \quad , \quad k > 0 \quad (3.38)$$

Yukarıdaki denklemde $r_1, r_2, \dots, r_{k-p}$ terimleri Denklem (3.27) ile hesaplanırlar. Eşitliğin sağ tarafındaki terimlerin sayısının seçilen AR(p) modelinin p derecesine eşit olması gerektiğine dikkat edilmelidir. Bu ifadeden faydalanılarak tıpkı Denklem (3.32) ile verilen şekilde seçilen modelin derecesiyle uyumlu bir matris oluşturulur ve yine aynı şekilde çözülür. Özel olarak, AR(1) modeli seçilmiş ise $\phi_1 = r_1$ eşitliği kullanılabilir. Eğer AR(2) modeli seçilir ise

$$\phi_1 = \frac{r_1(1 - r_2)}{1 - r_1^2} \quad (3.39)$$

$$\phi_2 = \frac{r_2 - r_1^2}{1 - r_1^2}$$

(3.40)

eşitlikleri kullanılır (Salas *et al.* 1980).

Adım (2b). Artık seri varyansı olan σ_ϵ^2 değeri aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$\sigma_\epsilon^2 = \frac{N\sigma^2}{(N - \rho)} \left(1 - \sum_{j=1}^{\rho} \phi_j r_j\right) \quad (3.41)$$

Adım (2c). Elde edilen $\phi_1, \dots, \phi_p$ otoregresif parametrelerinin kararlılık şartları aşağıda verilen karakteristik denklemin kökleri aracılığı ile kontrol edilir.

$$u^\rho - \phi_1 u^{\rho-1} - \phi_2 u^{\rho-2} - \dots - \phi_p = 0 \quad (3.42)$$

Eğer Denklem (3.42)'nin köklerinin mutlak değerleri birden küçükse yani $|u_i| < 1$ ($i=1, \dots, p$) ise kararlılık şartları sağlanmış demektir.

Özel olarak AR(1) modeli için Denklem (3.43) aşağıdaki

$$-1 < \phi_1 < 1 \quad (3.43)$$

şartını verir. AR(2) modeli içinse aşağıdaki

$$\begin{aligned} \phi_1 + \phi_2 &< 1 \\ \phi_2 - \phi_1 &< 1 \\ -1 < \phi_1 &< 1 \end{aligned} \quad (3.44)$$

şartlarını verir. Yani AR(1) ve AR(2) modelleri için Denklem (3.42)'yi çözmeden pratik olarak Denklem (3.43) ve Denklem (3.44) ile parametrelerin kararlılık şartları kontrol edilebilir (Salas *et al.* 1980).

3.9.4.c. Model parametrelerinin güvenilirliği

Adım (3). Model parametrelerinin istatistiksel olarak anlamlılığına dikkat edilmelidir. Tahmin edilen parametreler sıfırdan belirli bir önem seviyesinden farklı olmalıdırlar. Tahmin edilen parametreler bu şartı sağlamıyorlarsa model derecesi düşürülerek model basitleştirilmelidir. Örneğin bir AR(2) modelinin ikinci dereceden katsayısı istatistiksel olarak sıfırdan farklı değilse modelimizi bir derece düşürerek AR(1) modeli kurmak daha güvenilir bir model kurmamızı sağlayacaktır. Otoregresif katsayıların istatistiki anlamlılığı parametrelerin takribi varyansı ile değerlendirilebilir. AR(1) modeli için tahmin edilen birinci dereceden otoregresif katsayı ϕ_1 normal dağılmış ve varyansı

$$AR(1) \Rightarrow \text{var}(\phi_1) = \frac{(1-\phi_1^2)}{N} \quad (N : \text{Zaman serisinin uzunluğu}) \quad (3.45)$$

olmak üzere; ϕ_1 in %95 güven aralığında alacağı değerler

$$\phi_1 \mp 1.96 \sqrt{\text{var}(\phi_1)} \quad (3.46)$$

ile hesaplanır. Aynı şekilde daha yüksek dereceden AR modelleri için parametrelerin güven sınırlarının hesabında kullanılacak formüller mevcuttur (Anderson 1975). Buna göre otoregresif parametrelerin güven sınırları içinde standart sapmaları ile karşılaştırılması ve parametrelerin istatistiki olarak sıfırdan farklı olduğu kontrol edilmelidir (Salas *et al.* 1980).

3.9.4.d. Seçilen modelin uygunluk testi

Adım (4a). Aşağıda verilen Denklem (3.47) yardımıyla ε_t artık serileri hesaplanır.

$$\varepsilon_t = z_t - \phi_1 z_{t-1} - \phi_2 z_{t-2} - \dots - \phi_p z_{t-p} \quad (3.47)$$

Denklem (3.47)'de başlangıçtaki $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_p$ değerlerini hesaplayabilmek için $z_0, z_1, \dots, z_{-p+1}$ değerlerini bilmeye ihtiyaç vardır ama bu değerler bilinmemektedir. Bu z değerlerini elde etmek için geriye doğru bir tahmin metodu önerilmiştir. Fakat yıllık hidrolojik p derecesi genellikle düşük olduğu için ilk p teriminin ihmal bir problem meydana getirmez. Örnek olarak AR(1) modeli durumunda ε_1 hesaplanmaz ve $\varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots, \varepsilon_N$ değerlerinin hesaplanmasıyla yetinilir. Daha sonra hesaplanan ε_t değerleri bağımsızlık testinden geçirilir. Eğer seçilen modelin derecesi $p=0$ ise $\varepsilon_t=z_t$ olduğuna dikkat edilmelidir (Salas *et al.* 1980).

Adım (4b). Hesaplanan ε_t artık serilerinin bağımsızlık testi yapılmalıdır. Bu, Box-Pierce Port Monteau testi ile yapılabilir. Bunun için aşağıdaki denklem kullanılarak Q istatistiği hesaplanır;

$$Q = N(N+2) \sum_{k=1}^L \frac{r_k^2}{(N-k)} \quad (3.48)$$

Bu denklemde N örneğin eleman sayısı, r_k ise artık serilerin (3.28) denklemi ile hesaplanan otokorelasyon katsayılarıdır. L ise göz önüne alınan en büyük gecikme

değeridir ve $L=0.1N\sim0.3N$ aralığında alınabilir. Hesaplanan Q değeri $(L-p)$ serbestlik derecesindeki ve istenilen olasılıktaki χ^2 (ki-kare) değeri ile kıyaslanır. Olasılık seviyesi olarak $1-\alpha=0.95$ almak yeterli olur. Q değerinin χ^2 değerinden küçük olması durumunda artık serilerin bağımsız olduğu sonucuna varılır. Bu durumda Adım (3c) ile devam edilir. Aksi takdirde modelin derecesi değiştirilir ($p=p+1$ alınabilir) ve Adım (2a)'ya geri dönülür. ε_t artık serilerinin normal dağılıp dağılmadığı da kontrol edilmelidir (Salas *et al.* 1980).

Adım (4c). Seçilen modelin derecesinin uygunluğunu araştırmak için Akaike tarafından Akaike Bilgi Kriteri (Akaike Information Criterion; AIC) teklif edilmiştir. Bunun için eğer seçtiğimiz model $AR(p)$ modeli ise $AR(p-1)$, $AR(p)$ ve $AR(p+1)$ modelleri arasında AIC değerlerine göre bir kıyaslama yapılır ve aşağıdaki denklem kullanılır:

$$AIC(p)=N*\ln(\sigma_\varepsilon^2)+2p \quad (3.49)$$

Yukarıdaki σ_ε^2 , Denklem (3.41) ile hesaplanan artık seri varyansıdır. $AR(p+1)$ ve $AR(p-1)$ modellerine ait σ_ε^2 değerleri ayrıca hesaplandıktan sonra (3.49) ifadesindeki yerine konmalı ve $AR(p-1)$, $AR(p)$ ve $AR(p+1)$ modellerine karşılık gelen $AIC(p-1)$, $AIC(p)$ ve $AIC(p+1)$ değerleri hesaplanmalıdır. Minimum AIC değerini veren model en uygun modeldir. Eğer seçtiğimiz modele ait AIC değeri minimum ise Adım (5a) ile devam edilir. Aksi halde bu adımda bulunan minimum AIC değerini veren model seçilerek Adım (2a)'ya geri dönülür (Salas *et al.* 1980).

3.9.4.e. Modele ait ilave testler

Bu bölümde, sentetik seriler üretilecek ve üretilen serilerle tarihi serinin istatistiksel karakteristikleri karşılaştırılacaktır. Çünkü model kullanıcısı genellikle tarihi seriye ait istatistiksel parametreleri üreten bir model kurmayı arzu eder. Bunlar tarihi ortalama, standart sapma, korelogram, ortalamanın dağılımı ve ortalama uzunluğu gibi karakteristikler olabilir.

Adım (5a). Kurulan AR(p) modeli kullanılarak tarihi seri ile aynı N uzunluğuna sahip söz gelimi 100 adet seri üretilir. Bu işlem için Denklem (3.50a) ve Denklem (3.50b) kullanılır.

$$z_t = \phi_1 z_{t-1} + \phi_2 z_{t-2} + \dots + \phi_p z_{t-p} + \varepsilon_t \quad (3.50a)$$

ε_t zamansal bağımsızlığı olan ve normal dağılıma uyan ortalaması sıfır ve varyansı σ_ε^2 olan bir değişken olduğundan (white noise) standart normal değişken haline aşağıdaki gibi dönüştürülür (Salas *et al.* 1980).

$$\xi_t = \frac{\varepsilon_t - \mu_t}{\sigma_\varepsilon} = \frac{\varepsilon_t - 0}{\sigma_\varepsilon}$$

Buradan $\varepsilon_t = \sigma_\varepsilon \xi_t$ eşitliği elde edilerek z_t için verilen Denklem (3.50a)

$$z_t = \phi_1 z_{t-1} + \phi_2 z_{t-2} + \dots + \phi_p z_{t-p} + \sigma_\varepsilon \xi_t \quad (3.50b)$$

şeklinde ifade edilir. Burada ξ_t standart normal rastgele bir sayıdır.

N_g yıllık sentetik seri üretimi için aşağıdaki adımlar izlenir.

1- ξ_1 standart normal rastgele sayısı üretilir ve Denklem (3.50b)'de yerine konularak z_1 terimi elde edilir. Bu esnada önceki $z_0, z_{-1}, z_1, \dots, z_{-p+1}$ terimlerinin sıfır olduğu kabul edilir veya eksik data tarihi z_t serisinin son değerleri konularak tamamlanır. Aynı şekilde yeni ξ_2 sayısı üretilir ve bir önce hesaplanan z_1 terimini de kullanarak z_2 terimi hesaplanır. Bu esnada da $z_0, z_{-1}, z_1, \dots, z_{-p+1}$ terimleri sıfır kabul edilir veya eksik data tarihi z_t serisinin son değerleri konularak tamamlanır.

Bu prosedür seriye ait $z_1, z_2, \dots, z_N$ terimleri elde edilinceye kadar devam eder.

$N^1 = N_g + N_w$ 'dır. N_g üretilecek serinin uzunluğudur. N_w ise $z_{-1}, z_1, \dots, z_{-p+1}$

terimlerinin sıfır kabul edilmesi ile veya tarihi seriye ait son değerler olmasından ötürü oluşan başlangıç şartlarının etkisini ortadan kaldırmak için gerekli olan zaman uzunluğudur ve bu aralığın 20~100 arasında olması uygun olur (Bayazıt 1981).

2- Seriyeye ait ilk N_w adet terim atılır ve böylece geriye N_g uzunluğunda bir sentetik seri kalır.

3- Boyutsuz ve standardize haldeki sentetik z_t serisinden hareketle periyodik seriyi elde etmek için aşağıdaki Denklem (3.51)'den faydalanılır.

$$y_{v,t} = \mu_\tau + \sigma_\tau * z_{v,\tau} \quad (3.51)$$

Yukarıda $z_{v,\tau}$ şeklinde verilen ifade aslında sentetik olarak üretilen z_t serisinin kendisidir ancak aylık datalarla çalışıldığı için z_t serisini örneğin, $z_{1,1}=z_1$, $z_{1,7}=z_7$, $z_{2,10}=z_{22}$, ... , $z_{12,40}=z_{480}$ şeklinde $z_{v,\tau}$ serisine dönüştürmek gerekmektedir. Böylece Denklem (3.51)'den hareketle

$$y_{1,1} = \mu_1 + \sigma_1 * z_{1,1}$$

$$y_{1,2} = \mu_2 + \sigma_2 * z_{1,2}$$

$$\cdot \quad \cdot \quad \cdot$$

$$\cdot \quad \cdot \quad \cdot$$

$$y_{1,12} = \mu_{12} + \sigma_{12} * z_{1,12}$$

$$\cdot \quad \cdot \quad \cdot$$

$$\cdot \quad \cdot \quad \cdot$$

$$y_{2,3} = \mu_3 + \sigma_3 * z_{2,3}$$

şeklinde oluşturulan formüller yardımı ile periyodik sentetik zaman serisini elde etmek mümkündür. Daha sonra Adım (1b)'de uygulanan transformasyon fonksiyonunun tersini sentetik $y_{v,\tau}$ serisine uygulamak suretiyle aşağıdaki

$$X_{v,\tau} = g^{-1}(y_{v,\tau}) \quad (3.52)$$

denklemleri yardımı ile sentetik seri değerleri elde edilir.

Adım (5b). Adım (5a)'da tarif edilen şekilde farklı standart normal sayılar üretilerek 100 adet değişik sentetik seri üretilir. Bu belirtilen 100 adet sentetik serinin her birinin, her τ zaman dilimi için ayrı ayrı olmak üzere, korelogramı, periyodik ortalamaları ve periyodik standart sapmaları hesaplanır. Tarihi $x_{v,\tau}$ serisine ait aynı istatistiksel karakteristikler de hesaplanır. Ayrıca ele alınmak istenen bir karakteristik varsa o değer de hesaplanır. Daha sonra hesaplanan bu karakteristikler tarihi $x_{v,\tau}$ serisine ait karakteristiklerle mukayese edilir ve kurulan modelin tarihi seriye ait karakteristikleri muhafaza edip etmediği kontrol edilir.

3.10. Sentetik Seri Türetilmesi

Çoğu su projelerinin analizinde ve yürütülmesinde, üzerinde çalışılan akarsu ya ait yeterince bilgi ve veri bulunmalıdır. Ancak bazı durumlarda verilerde noksanlık ve kısa olması nedeniyle sentetik akım verileri üretmek için sentez ve simülasyon yöntemlerinden faydalanılır. Stokastik modeller çoğunlukla sentetik serilerin oluşturulması ve ileriye dönük tahminlerde bulunulmasında kullanılır. Akım sentezi, günlük, aylık, sezonluk ya da yıllık akımların sentetik olarak üretilmesi anlamına gelmektedir. Nehir akımlarının sentezi, hazne tasarımında ve yürütülmesinde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca, bu metotla çeşitli simülasyon modellerine veri temin etmek için sentetik yağış serilerinin üretilmesinde de faydalanılabilir. Sentetik akım serileri ileride oluşabilecek olası serileri tahmin ederek ve çeşitli alternatifleri kullanarak üstlenilen riski azaltmak amacıyla üretilir. Üretilen sentetik serilerin ortalama, standart sapma ve otokorelasyon gibi istatistik özellikleri tarihi serinin istatistiksel özelliklerine yakın olmalıdır (Karabörk 1997).

3.11. Kapulalar

Kapulalar, iki veya daha fazla rastgele değişkenin bağımlılık yapısını modellemek için kullanılan birleşik dağılımlardır. Birleşik olasılık dağılımlarla onların bir boyutlu marjinal dağılımları arasında bağlantı kurmaya yarayan fonksiyonlardır (Singh and Zhang 2007). $F_X(x)$ ve $F_Y(y)$ marjinal kümülatif dağılımlarına sahip olan X ve Y değişkenlerinin birleşik dağılım fonksiyonu ($F_{XY}(x,y)$) kapulanın teorik temelini atan Sklar (1959) tarafından aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$F_{XY}(x,y) = C(F_X(x), F_Y(y)) \quad (3.53)$$

Denklem (3.53) kapulanın tek değişkenli bir dağılıma dayanarak çok değişkenli bir dağılım ifade ettiğini göstermektedir. F_X ve F_Y marjinal dağılımları sürekliyse tek bir kapula fonksiyonu (C) vardır. Kapulayı belirlemek için marjinal dağılımın her bir değişkeninin ve bağımlılık yapısının tahmin edilmesi gereklidir. Bu iki adım farklı marjinal dağılım değişkenlerine bakmaksızın birleşik olasılık parametrelerini üretebilir.

Kapulalar, çok değişkenli bağımlılığın ilgili olduğu bir çok alanda çok değişkenli modelleme aracı olarak kullanılmaktadır. Her bir rastgele değişkenin marjinal dağılımına ve bu marjinal dağılımlar arasındaki ilişkinin ölçüsüne ihtiyaç olduğunda kapulalar, sadece marjinal dağılımları kesin olarak belirlemekle kalmaz, aynı zamanda bu marjinallerin ortak davranışları hakkında da önemli ölçüde bilgi verir. Kapula fonksiyonlarının olasılık teorisine uyan özellikleri, risk yönetiminin bağımlı modeller ile açıklanan farklı alanlarına da uyarlanabilir. Bu alanlardan bazıları mühendislik, biyomedikal ve finans çalışmalarıdır (Yan 2006). Kapulalar mühendislikte çok değişkenli süreç kontrolü ve hidrolojik modellemede kullanılır (Yan 2006; Genest and Favre 2007).

Eğer U ve V üniform dağılmış rastgele değişkenler ise $U=F_X(x)$ ve $V=F_Y(y)$ olarak ifade edilir. Bu durumda tek parametrelili Arşimedyen kapulası (C_θ) kümülatif yoğunluk

fonksiyonuna sahiptir. Arşimedyen kapulasının genel gösterilişi aşağıda verilmiştir (Sklar 1959).

$$C_{\theta}(u,v) = \varphi^{-1} \{ \varphi(u) + \varphi(v) \} \quad 0 < u, v < 1 \quad (3.54)$$

θ üretilen fonksiyon (φ) içinde saklanan parametredir.

Birçok kapula çeşiti vardır. Bunlar:

1. Eliptik (normal ve t)
2. Arşimedyen (Clayton, Gumbel, Frank ve Ali-Mikhail-Haq)
3. Uç değer (Gumbel, Husler-Reiss, Galambos, Tawn ve t – EV)
4. Diğer (Plackett ve Farlie-Gumbel-Morgenstern) kapulalarıdır (Yan *et al.* 2009).

Bunlardan en yaygın kullanılanları Arşimedyen ve Eliptik kapulalarıdır.

Hidroloji alanında, tek parametrelili Arşimedyen kapulası daha yatkın ve kapulanın iki değişkenli birleşik dağılımları memnun edici sonuçlar vermektedir. Arşimedyen kapulası çeşitli alt sınıflardan oluşmaktadır. Bunların çoğu değişkenler arasındaki korelasyonun pozitif veya negatif olmasına göre seçilebilir.

3.11.1. Sklar teoremi

(Sklar 1959): $F(x_1; x_2)$; $F_1(x_1)$ ve $F_2(x_2)$ sürekli marjinler ile birlikte tanımlı bir ortak dağılım olsun. Böyle bir fonksiyon için

$$F(x_1, x_2) = C(F_1(x_1), F_2(x_2)) \quad (3.55)$$

şeklinde yazılabilen tek bir kapula vardır. Bu teoremden, F fonksiyonu ile ilgili olan herhangi bir C kapulası

$$C(u_1, u_2) = F(F_1^{-1}(u_1), F_2^{-1}(u_2)) \quad (3.56)$$

şeklinde yazılabilir.

Sklar teoremi, rastgele değişkenlerin marjinal dağılımlarını hesaba katmadan bu rastgele değişkenlerin bağımlılık yapısını analiz ettiğinden çok önemlidir.

Sırasıyla F_1 ve F_2 dağılım fonksiyonlarına sahip X_1 ve X_2 bağımsız rastgele değişkenleri düşünölsün. Ortak dağılım ve bağımsız kapula fonksiyonları sırasıyla,

$$F_X(x) = F_1(x_1) \cdot F_2(x_2)$$

$$C_I(u_1, u_2) = u_1 \cdot u_2, \quad u \in [0, 1]^2$$

biçiminde ise bu kapulalara bağımsız kapulalar denir (Nelsen 1998).

3.11.2. Arşimedyen kapulaları

Arşimedyen yaklaşımı, çok değişkenli bir kapulanın, basit tek değişkenli bir üretici fonksiyona indirgenmesine olanak sağlar. Kolaylık olması açısından, iki değişkenli bir kapula fonksiyonu düşönelim. $\varphi : [0, 1] \rightarrow [0, \infty)$, sürekli, kesin azalan, konveks ve $\varphi(1) = 0$ olacak şekilde bir fonksiyon varsayalım. Bir Arşimedyen kapulası (C_θ)

$$C_\theta(u, v) = \varphi^{-1}(\varphi(u) + \varphi(v)); \quad 0 < u, v < 1 \quad (3.57)$$

biçiminde yazılabilir. Eger u ve v üniform dağılmış rastgele değişkenler ise $u = F_X(x)$ ve $v = F_Y(y)$ x ve y değişkenlerinin marjinal kümülatif dağılımını ifade eder. φ 'ye C kapulasının üreticisi denir. Bir üretici bir Arşimedyen kapula belirler (Nelsen 1999).

$\varphi^{-1}(s)$ ise üreticinin tersidir.

Yukarıda ifade ettiğimiz kapulaların üreticisi kavramının özelliklerini matematiksel olarak ifade edelim.

1. $\varphi(1) = 0$;
2. her $t \in (0, 1)$ için $\varphi'(t) < 0$ 'dır. Yani φ , azalan bir fonksiyondur;
3. her $t \in (0, 1)$ için $\varphi''(t) \geq 0$ 'dır. Yani φ , konveks (dışbükey) bir fonksiyondur.

C , üreticisi φ olan bir Arşimedyen kapula olsun. O zaman kapula fonksiyonunun aşağıdaki özelliklere sahip olduğu anlamına gelir:

1. C simetriktir; yani, $C(u,v) = C(v,u)$ (her $u, v, w \in I$);
2. C birleşmelidir; yani, $C(C(u,v), w) = C(u, C(v, w))$ (her $u, v, w \in I$);
3. Eğer $c > 0$ herhangi bir sabitse, $c\varphi$ de C 'nin üreticisidir (Nelsen 1999).

Clayton, Frank ve Gumbel en yaygın kullanılan kapulalardır. Bu kapulalara ait fonksiyonlar ve üreticileri Çizelge 3.2 de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Arşimedyen kapula fonksiyonları ve üreticileri

Sınıf	Kapulanın Genel Formülü	Üreticiler	Parametre aralığı
Clayton	$[u^\theta + v^\theta - 1]^{-\frac{1}{\theta}}$	$\frac{1}{\theta}(t^\theta - 1)$	$\theta > 0$
Frank	$-\frac{1}{\theta} \ln \left[\frac{(e^{-\theta u} - 1)(e^{-\theta v} - 1)}{(e^{-\theta} - 1)} \right]$	$-\ln \left(\frac{e^{-\theta t} - 1}{e^{-\theta} - 1} \right)$	$(-\infty, +\infty) - \{0\}$
Gumbel	$\exp \left\{ -[(\ln u)^\theta + (-\ln v)^\theta]^{\frac{1}{\theta}} \right\}$	$(-\ln(t))^\theta$	$[1, \infty)$

Kapulayı seçmeden önce onun karakteristiklerini bilmeliyiz. Örneğin, kuyruk bağımlılığı önemli bir Kapula özelliğidir. Kuyruk bağımlılığı, iki değişkenli durumda uç değerlerdeki bağımlılık ilişkisine denir. Bu bağımlılık birleşik dağılımın uç değerlerinin davranışını etkilemektedir. Tek ve çok değişkenli frekans analizinin başlıca amacı uç

olayların frekanslarını analiz etmektir. Kapulanın üst kuyruğundaki marjinal dağılım değişkenleri birbiriyle bağımlı olduğu zaman kapulanın üst kuyruğunun bağımlı olduğunu söyleyebiliriz. Aksine kapulanın üst kuyruğundaki marjinal dağılım değişkenleri birbirinden bağımsızsa kapulanın üst kuyruğunu bağımsız olarak ifade edebiliriz (Dermarta and McNeil 2005; Rodriquez 2007; Zhang *et al.* 2012).

3.11.2.a. Clayton kapulası

Bu sınıfın üretici fonksiyonu aşağıdaki gibi gösterilir.

$$\varphi(t) = t^{-\theta} - 1 \quad (3.58)$$

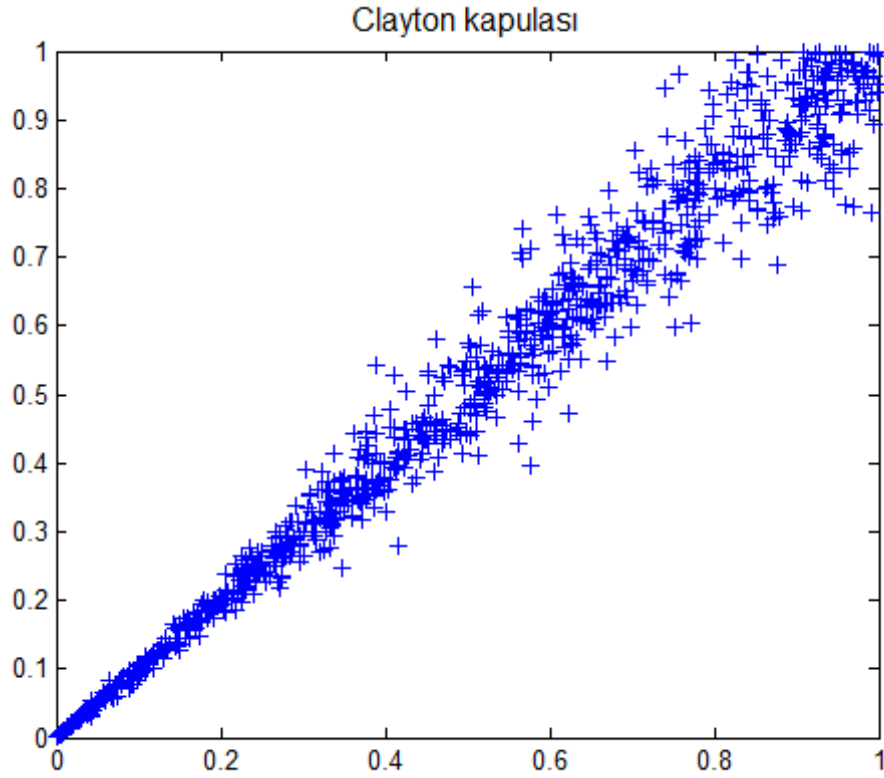
böylece Denklem 3.57 aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$C_{\theta}(u,v) = C_{\theta}[F_X(x), F_Y(y)] = H_{X,Y}(x,y) = [u^{\theta} + v^{\theta} - 1]^{(-1/\theta)} ; \quad \theta \geq 0 \quad (3.59)$$

Bu kapula için korelasyon ise $\tau = \frac{\theta}{\theta+2}$ şeklindedir.

Clayton kapulası sadece pozitif korelasyonlu rastgele değişkenler için uygundur.

Clayton kapulası sadece alt kuyruk bağımlılığı göstermektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Clayton kapulası kuyruk bağımlılığı örnek dağılımı

3.11.2.b. Frank kapulası

Frank kapulası, marjinaller arasında negatif bağımlılığa izin vermesi ve bağımlılığın kuyrukların ikisinde de olması diğer kapulalara göre uygulamalarda daha çok tercih edilmesini sağlamaktadır (Trivedi and Zimmer 2005).

Bu sınıfta üretici fonksiyon aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\varphi(t) = \ln \left[\frac{e^{\theta t} - 1}{e^{\theta} - 1} \right] \quad (3.60)$$

bu durumda Denklem 3.57 aşağıdaki gibi yazılabilir.

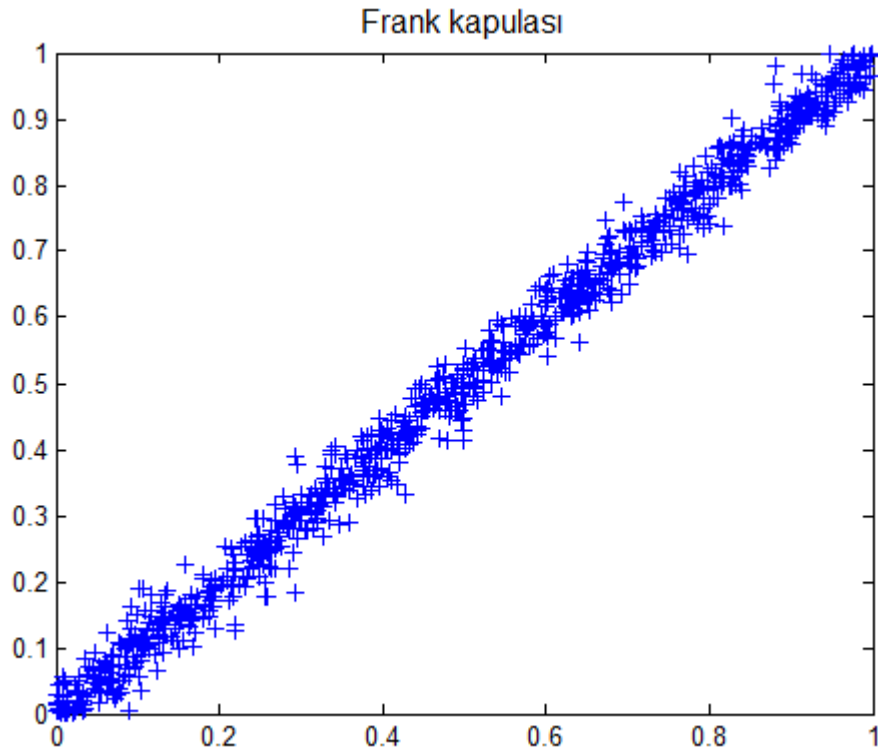
$$C_{\theta}(u,v) = C_{\theta} [F_X(x), F_Y(y)] = H_{X,Y} (x,y) = \frac{1}{\theta} \ln \left[1 + \frac{[\exp(\theta u)-1][\exp(\theta v)-1]}{\exp(\theta)-1} \right] \quad (\theta \neq 0) \quad (3.61)$$

Frank kapulası için korelasyon

$$\tau = 1 - \frac{4}{\theta} [D_1 \cdot (-\theta) - 1] \quad (3.62)$$

D_1 ; Debye fonksiyonunun ilk katsayısı D_k pozitif ve negatif çıkarımlar için açıklanır (Zhang and Singh 2007).

Frank kapulası bağımlılık her iki kuyrukta da vardır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Frank kapulası kuyruk bağımlılığı örnek dağılımı

3.11.2.c. Gumbel – Hougard Kapulası

Zhang and Singh (2006)'a göre üretici fonksiyon $\varphi(t)$ aşağıdaki gibi ifade ediliyor:

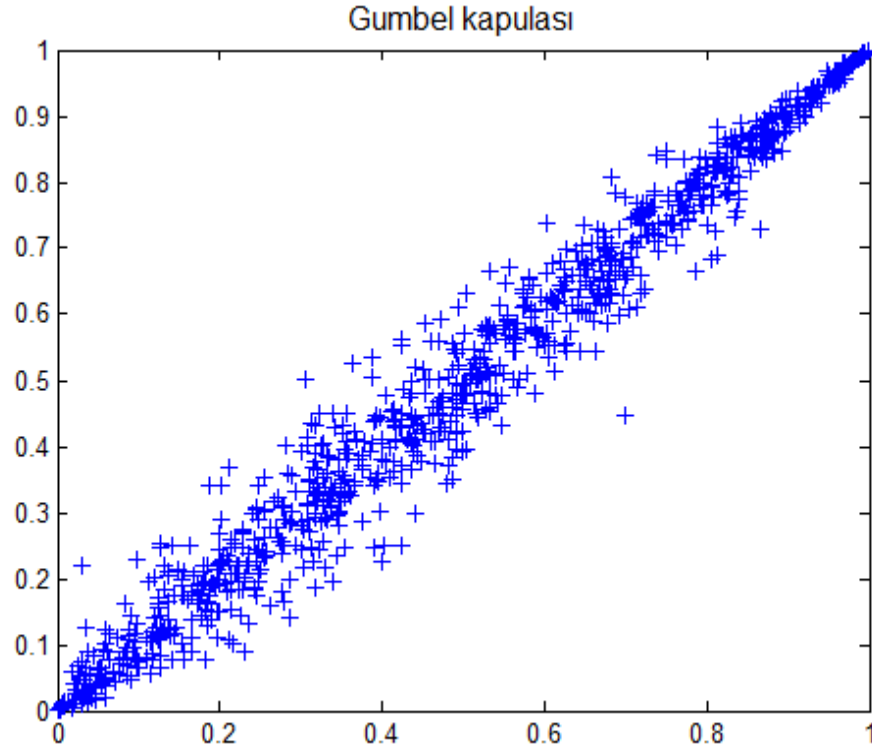
$$\varphi(t) = (-\ln t)^\theta \quad (3.63)$$

t değeri $(0,1)$ arasında değişen u veya v değeridir. θ üretilen fonksiyonun parametresidir. Bundan dolayı Denklem 3.57 aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$C_\theta(u,v) = C_\theta[F_X(x), F_Y(y)] = H_{X,Y}(x,y) = \exp\{- [(-\ln u)^\theta + (-\ln v)^\theta]^{1/\theta}\} \\ \theta \in [1, \infty) \quad (3.64)$$

$H_{X,Y}(x,y)$, X ve Y rastgele değişkenlerinin birleşik olasılık dağılım fonksiyonudur. X ve Y arasındaki Mann Kendal korelasyon katsayısı (τ) değeri $\tau = 1 - \theta^{-1}$ dir. Mann Kendall τ 'su ve üretilen fonksiyon arasındaki ilişki, Gumbel kapulasının sadece pozitif korelasyon gösteren iki değişkenli verilerin analizinde kullanılabileceğini göstermektedir (Zhang and Singh 2007).

Gumbel kapulası sadece üst kuyruk bağımlılığı göstermektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Gumbel kapulası kuyruk bağımlılığı örnek dağılımı

3.11.3. Mann Kendall τ 'su ve kapula parametresinin elde edilmesi

Verilen veri setine ait kapulayı belirlemek için ilk adım iki değişken arasındaki ilişkinin derecesini bulmaktır. Bu parametrik olmayan istatistikler tarafından hesaplanan dizi korelasyon katsayısı (τ) dır (Singh and Zhang 2007). N boyutlu iki değişkenli rastgele örnekleri ele alalım : $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ temel dağılım fonksiyonu $(H_{X,Y}(x,y))$ 'na bağlı olan Arşimedyen kapulası (C_θ) birleşik kümülatif dağılım fonksiyonunda alternatif olarak ele alınabilir. Mann Kendall τ 'su dizi korelasyon katsayısıdır ve gözlemlere göre tahmin edilebilir.

$$\tau = \frac{2}{n(n-2)} (n_{cp} - n_{dp}) \quad (3.65)$$

n_{cp} : uyumlu çiftlerin toplam sayısı

n_{dp} : uyumsuz çiftlerin toplam sayısı

n : gözlem sayısı

Eğer $(x_i - x_j).(y_j - y_i) > 0$ ise $(x_i - x_j)$ ve $(y_j - y_i)$ çifti uyumlu , $(x_i - x_j).(y_i - y_j) < 0$ ise uyumsuzdur olduğu söylenir.

Kapula parametresi (θ) ise her bir bölge için aday kapulanın hesaplanan Mann Kendall τ 'su ile hesaplanabilir.

3.11.4. İki değişkenli dönüş periyodu

Kuraklık süre veya eksikliklerinin belirli bir zaman aralığında beklenen değerlerinden daha büyük görülme ihtimalinden dolayı bu kuraklık karakteristiklerinin dönüş periyotları hidrolik tesislerin dizaynında dikkate edilmesi gereken kriterlerin başında gelmektedir. Kuraklık süresinin belirli bir değere eşit veya büyük olması durumunda teorik olarak elde edilen tek değişkenli kuraklık dönüş periyodu aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$T_D = \frac{E(L)}{1 - F_D(d)} \quad (3.66)$$

Benzer şekilde kuraklık eksikliğinin belirli bir değere eşit veya daha büyük olduğu tek değişkenli kuraklık dönüş periyodu aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$T_S = \frac{E(L)}{1 - F_S(s)} \quad (3.67)$$

Burada T_D ve T_S sırasıyla kuraklık süre ve eksikliklerini kullanarak belirlenen tek değişkenli dönüş periyotları, $E(L)$, ardışık kuraklıklar arasında geçen sürelerin ortalaması ve $F_D(d)$ ve $F_S(s)$ ise sırasıyla belirlenen kuraklık süre ve eksikliklerinin kümülatif dağılım değerleridir.

İki değişkenli frekans analizinde, aşılmama olasılığını ifade eden marjinal kümülatif dağılım fonksiyonunu ve dönüş periyodu tek değişkenli analizdeki gibi aynı kalmaktadır (Yue and Rasmussen 2002). İki değişkenli olaylar, şartlı olasılık dağılımları, şartlı dönüş periyotları ve birleşik dönüş periyotları gibi kavramlar kullanılarak tarif edilebilir (Yue and Rasmussen 2002). $F_{XY}(x,y)$ gibi birleşik kümülatif dağılım fonksiyonuna sahip olan (X,Y) değişkenlerinin birleşik dönüş periyotları aşağıdaki gibi gösterilir.

$$T_{\text{and}} = \frac{E(L)}{P(X \geq x \text{ ve } Y \geq y)} = \frac{E(L)}{1 - F_X(x) - F_Y(y) + F_{XY}(x,y)}$$

$$= \frac{E(L)}{1 - F_X(x) - F_Y(y) + C(F_X(x), F_Y(y))} \quad (3.68)$$

$$T_{\text{or}} = \frac{E(L)}{P(X \geq x \text{ veya } Y \geq y)} = \frac{E(L)}{1 - F_{XY}(x,y)} = \frac{E(L)}{1 - C(F_X(x), F_Y(y))} \quad (3.69)$$

T_{or} iki değişkenli dönüş aralığı iki değişkenden birinin aşılması durumunda kullanılırken, T_{and} iki değişkenin aynı anda aşılması durumlarda kullanılır. $F_{XY}(x,y)$, iki sürekli rastgele değişken olan X ve Y 'nin birleşik olasılık dağılım fonksiyonu ve $f_Y(y)$, Y 'nin marjinal olasılık dağılım fonksiyonudur. $E(L)$ ise ardışık kuraklıklar arasında geçen sürelerin ortalamasıdır (Yue and Rasmussen 2002).

Çizelge 3.3. Aylık akımların her bir kesim seviyesi için hesaplanan $E(L)$ değerleri

Kesim seviyeleri	q=0,5	q=0,3	q=0,1
E(L) değerleri (Yıl)	0,660	0,738	1,349

Aylık akımların çeşitli kesim seviyeleri için hesaplanan ardışık kuraklıkları arasındaki sürelerinin ortalama değerleri bulunmuştur (Çizelge 3.3).

3.12. Kuraklık Risklerinin Hesaplanması

Risk, belli bir alanda ve zaman aralığında tehlikeden meydana doğabilecek muhtemel kayıplar (insan hayatı, maddi hasar, kesintiye uğrayan iktisadi faaliyet vb.) olup belli matematiksel hesaplamalar neticesinde tehlike ve hasar meydana gelebilmesi olarak ifade edilmektedir. Tekerrür aralığına bağlı risk hesabı aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N \quad (3.70)$$

R: Risk

T: Tekerrür (dönüş) aralığı, yıl

N: Yıl

3.13. Araştırma Alanının Yeri ve Özellikleri

Fırat Nehri'nin en önemli kolu olan Karasu Nehri, toplam uzunluğu 148 km, il sınırları içindeki uzunluğu 140 km ve ortalama debisi 44 m³/sn dir. Erzurum Ovası'nın kuzey doğusundaki Dumlu Dağları'nın eteklerinden doğar. Gürcü boğazını geçtikten sonra Kargapazarı Dağından gelen küçük bir çayla (Köşk) ve Palandöken'e inen Pulur çaylarının birleşmesinden oluşur. Erzurum ovasına girer ve güney-batı yönünde akarak, Ovacık yaylalarından gelen Serçeme deresi ile birleşir, 60 km uzunluğundaki Aşkale boğazına girer. Aşkale boğazından sonra Erzincan il sınırları içerisine girer. Erzincan topraklarını diyagonal olarak kuzey doğudan güney batıya doğru keser ve kuzeydeki Keşiş Dağları ile Güneydeki Munzur Dağlarını bir çizgiyle birbirinden ayırır. Karasu, Kemah ve Kemaliye ilçelerinden devam edip Murat Nehri ile birleşerek Fırat Nehri'ni oluşturmaktadır (Mesutunal 2014).



Şekil 3.5. Büyük akarsu havzaları anahtar haritası (DSİ)

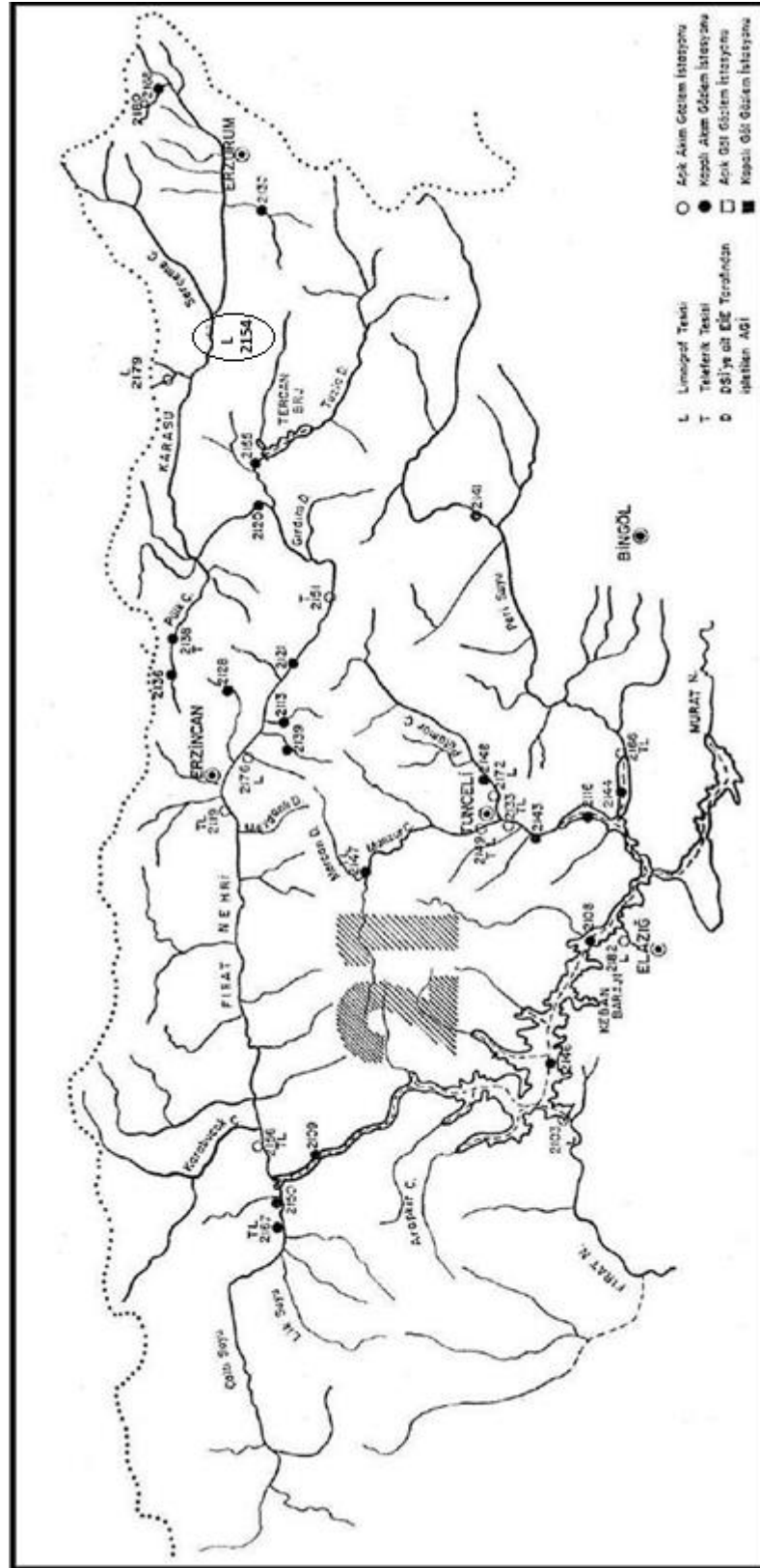
Karasu havzasının iklimine bakıldığında Kasım ile Mart ayı arasında kar yağışları diğer aylarda ise yağmur yağışları gözlenmektedir. Bu iklimin etkisi ile kış döneminde düşük akımlı bir rejime sahipken bahar döneminde kar erimesi nedeniyle yüksek akımlar oluşur.

Hidro-meteorolojik veriler Türkiye’de, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) ve Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMI) tarafından toplanır ve veri tabanlarında depolanır. Ölçülen verilerin sınırlı sayıda olması gelecekte meydana gelebilecek akım ve yağışların tahminini zorlaştırmaktadır (Gözel 2011).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Çalışma Alanının Tanıtımı

Bu çalışmada, Fırat Havzası'nda bulunan Karasu nehrinin 2154 numaralı Aşağıkağdariç akım gözlem istasyonunda 1969-2008 yılları arasında ölçülen ortalama akımların aylık ve yıllık kurak dönem uzunlukları belirlenerek çok değişkenli frekans analizi ile tekerrür aralıkları belirlenmiştir. Akım verileri, Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) kayıtlarından temin edilmiştir. Bu istasyonun yaklaşık yükseltisi 1675 m. ve yağış alanı 2886 km² dir. Bu çalışma kapsamında 1969-2008 yılları arasındaki akım verileri incelenmiştir.



Şekil 4.1. Fırat Havzası ve 2154 nolu akım gözlem istasyonu (EİE 2000)

4.2. Kesim Seviyelerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada akarsu akımlarının belirlenen kesim seviyelerinden ($q=0,5$; $q=0,3$; $q=0,1$) kesilerek elde edilen kurak dönem uzunluklarının tekerrür aralıkları iki değişkenli frekans analizi ile elde edilmesi amaçlanmıştır. Kesim seviyelerinin belirlenmesinde debi süreklilik eğrisinden faydalanılmıştır.

Debi süreklilik eğrisi, düşey eksene debiler yatay eksene ise debinin belli bir değere eşit veya büyük olduğu zaman yüzdelerinin işaretlenmesiyle elde edilir. Bu eğriden zamanın belli bir yüzdesine karşı gelen debi okunabilir (Bayazıt 1999).

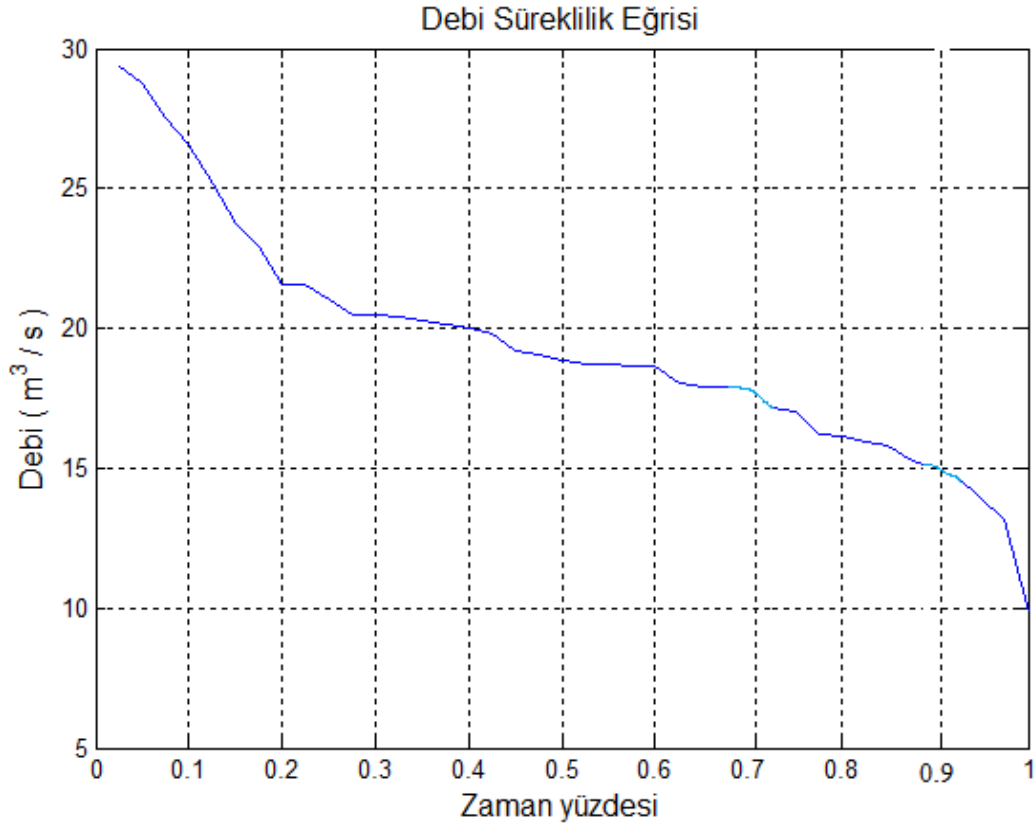
Debi süreklilik eğrisi, Akarsu kesitinde alınan en yüksek ve en düşük ölçümlerin arasında bütün gözlenmiş akımları referans alarak akış hakkında bilgi sağlar. İstenilen debinin yılın ne kadarlık süresinde mevcut olduğunu belirtir. Genel olarak eğrinin düşük akım aralığı Q_{70} ve Q_{90} aralığı olduğu ifade edilir. Q_{90} ve Q_{70} akımları çalışmalarda ve bazı ülkelerin kamu kuruluşların tarafından düşük akım göstergesi olarak alınır. Kuraklıkların incelenmesi, haznelerin işletilmesi, küçük akarsularda hidroelektrik elde etme çalışmaları ile su kaynaklarının planlamasında işlenmiş verilerin başında debi süreklilik çizgisi gelir. Bunun esas amacı debi gidiş çizgisinin değişik seviyelerden kesilerek kesim seviyesi üzerinde kalan debi zamanlarının tüm zamanın yüzdesi olarak ifade edilmesi ile ortaya çıkar.

Hidroelektrik santrallerde; santralin hidrolik kapasitesi zamanın %50'sinde var olan debiye göre, tesisin kurulu gücü zamanın %20-30'unda var olan debiye göre, güvenilir enerji potansiyeli ise zamanın %90-95'inde var olan debiye göre hesaplandığı için kuraklık ve taşkın hesaplamalarında da bu kritik değerler dikkate alınmalıdır.

4.3. Tarihi Seri Yıllık Ortalama Akımların Gidişler Analizi

Tarihi seri yıllık ortalama akımlarının debi süreklilik eğrisi çizilerek kesim seviyeleri belirlenmiştir (Şekil 4.2). Belirlenen bu kesim seviyeleri için tarihi seri gidişler analizine

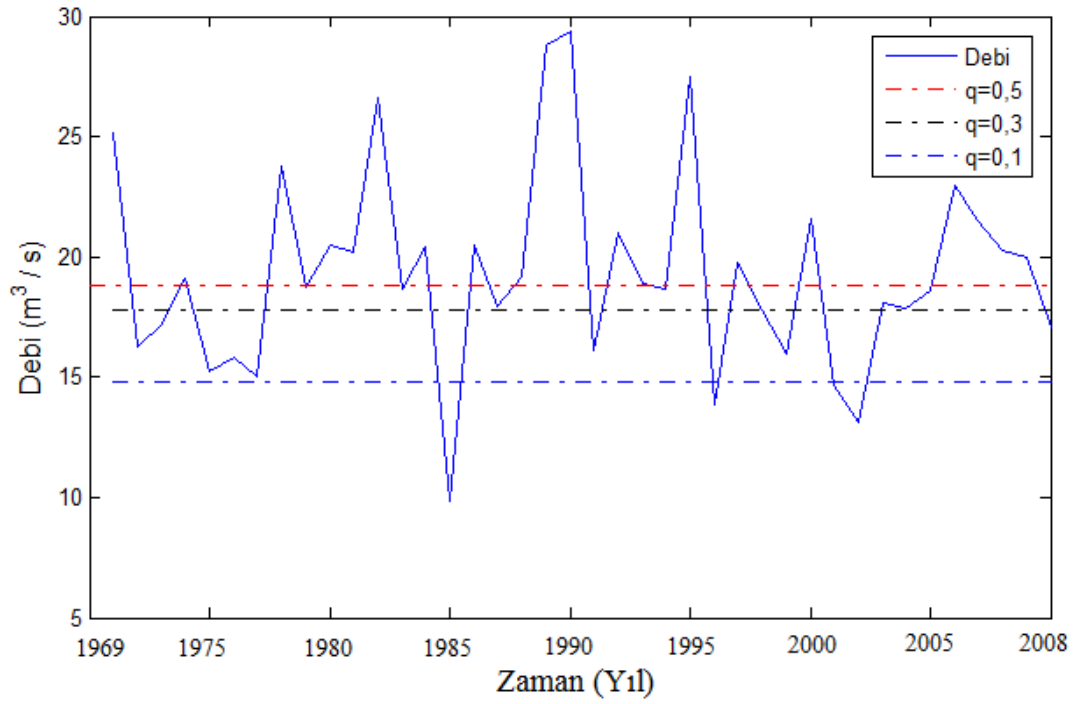
tabi tutularak tekerrür aralıklarının bulunmasında kullanılacak olan kuraklıklar belirlenmiştir.



Şekil 4.2. Tarihi seri yıllık ortalama akımlarına ait debi süreklilik eğrisi

Debi süreklilik eğrisi aracılığıyla kesim seviyelerine karşılık gelen debi değerleri belirlenebilir. Bu değerlerden Q_{90} : zamanın %90'ında haznede bulunan debiye karşılık gelip kesim seviyesi $q=0,1$ 'i ifade etmekte iken Q_{70} : zamanın %70'inde haznede bulunan debiye karşılık gelip kesim seviyesi $q=0,3$ 'i ifade etmektedir. Q_{50} ise: zamanın %50'sinde haznede bulunan debiye karşılık gelip kesim seviyesi $q=0,5$ 'i ifade etmektedir.

Debi gidiş çizgisi belirlenen kesim seviyelerinden kesilerek her bir kesim için kurak ve sulak dönemler görselleştirilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Tarihi seri yıllık ortalama akımların debi gidiş çizgisi

Debi süreklilik eğrisinden elde edilen kesim seviyeleri aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Tarihi seri yıllık ortalama akımların kesim seviyeleri

Tarihi seri yıllık ortalama akımlar			
Kesim seviyesi	q=0,5	q=0,3	q=0,1
Debi ($\frac{m^3}{s}$)	18,799	17,492	14,832

Tarihi seri yıllık ortalama akımların q=0,5 için gidişler analizine tabi tutularak kuraklık süre ve eksiklikleri belirlenmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Tarihi seri yıllık ortalama akımlarının $q=0,5$ kesim seviyesi için gidişler analizinin uygulaması

Yıl	Tarihi seri yıllık ortalama akımların	$q=0,5$ kesim seviyesi	Eksiklik (m^3 yıl / s)	Eksiklik toplamı	Süre (yıl)
1969	25,137	18.799	6,338		
1970	16,240	18.799	-2,559	4,181	2
1971	17,177	18.799	-1,622		
1972	19,071	18.799	0,272		
1973	15,275	18.799	-3,524		
1974	15,805	18.799	-2,994	10,312	3
1975	15,005	18.799	-3,794		
1976	23,765	18.799	4,966		
1977	18,745	18.799	-0,054	0,054	1
1978	20,454	18.799	1,655		
1979	20,172	18.799	1,373		
1980	26,597	18.799	7,798		
1981	18,694	18.799	-0,105	0,105	1
1982	20,382	18.799	1,583		
1983	9,8131	18.799	-8,986	8,986	1
1984	20,461	18.799	1,662		
1985	17,935	18.799	-0,864	0,864	1
1986	19,206	18.799	0,407		
1987	28,767	18.799	9,968		
1988	29,376	18.799	10,577		
1989	16,121	18.799	-2,678	2,678	1
1990	21,024	18.799	2,225		
1991	18,853	18.799	0,054		
1992	18,654	18.799	-0,145	0,145	1
1993	27,509	18.799	8,710		
1994	13,884	18.799	-4,915	4,915	1
1995	19,787	18.799	0,988		
1996	17,806	18.799	-0,993	3,821	2
1997	15,970	18.799	-2,829		
1998	21,557	18.799	2,758		
1999	14,660	18.799	-4,139		
2000	13,147	18.799	-5,652		
2001	18,058	18.799	-0,741	11,609	5
2002	17,893	18.799	-0,906		
2003	18,628	18.799	-0,171		
2004	22,949	18.799	4,150		
2005	21,536	18.799	2,737		
2006	20,303	18.799	1,504		
2007	19,990	18.799	1,191		
2008	17,029	18.799	-1,770	1,770	1

Tarihi seri yıllık ortalama akımlarının $q=0,5$ için gidişler analizine tabi tutulması ile elde edilen kuraklık süre ve eksiklikleri gösterilmiştir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Tarihi seri yıllık ortalama akımlarının $q=0,5$ için gidişler analizi sonuçları

$q=0,5$ Kesim seviyesi için		
Yıl	Süre (yıl)	Eksiklik (m^3 yıl / s)
1970-1971	2	4,181
1973-1975	3	10,312
1977	1	0,054
1981	1	0,105
1983	1	8,986
1985	1	0,864
1989	1	2,678
1992	1	0,145
1994	1	4,915
1996-1997	2	3,821
1999-2003	5*	11,609*
2008	1	1,770

*Maksimum kuraklıklar

Tarihi seri yıllık ortalama akımların $q=0,5$ için maksimum kuraklıklar 1999 ve 2003 yılları arasında görülmüş olup süresi 5 yıl eksiklik miktarı ise 11,609 (m^3 yıl/s) dir (Çizelge 4.3).

Tarihi seri yıllık ortalama akımların $q=0,3$ için gidişler analizine tabi tutularak kuraklık süre ve eksiklikleri belirlenmiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Tarihi seri yıllık ortalama akımlarının $q=0,3$ kesim seviyesi için gidişler analizinin örnek uygulaması

Yıl	Tarihi seri yıllık ortalama akımların	$q=0,3$ kesim seviyesi	Eksiklik (m^3 yıl / s)	Eksiklik toplamı	Süre (yıl)
1969	25,137	17,492	7,645		
1970	16,24	17,492	-1,252	-1,567	2
1971	17,177	17,492	-0,315		
1972	19,071	17,492	1,579		
1973	15,275	17,492	-2,217	-6,391	3
1974	15,805	17,492	-1,687		
1975	15,005	17,492	-2,487		
1976	23,765	17,492	6,273		
1977	18,745	17,492	1,253		
1978	20,454	17,492	2,962		
1979	20,172	17,492	2,68		
1980	26,597	17,492	9,105		
1981	18,694	17,492	1,202		
1982	20,382	17,492	2,89		
1983	9,8131	17,492	-7,6789	-7,679	1
1984	20,461	17,492	2,969		
1985	17,935	17,492	0,443		
1986	19,206	17,492	1,714		
1987	28,767	17,492	11,275		
1988	29,376	17,492	11,884		
1989	16,121	17,492	-1,371	-1,371	1
1990	21,024	17,492	3,532		
1991	18,853	17,492	1,361		
1992	18,654	17,492	1,162		
1993	27,509	17,492	10,017		
1994	13,884	17,492	-3,608	-3,608	1
1995	19,787	17,492	2,295		
1996	17,806	17,492	0,314		
1997	15,97	17,492	-1,522	-1,522	1
1998	21,557	17,492	4,065		
1999	14,66	17,492	-2,832	-7,177	2
2000	13,147	17,492	-4,345		
2001	18,058	17,492	0,566		
2002	17,893	17,492	0,401		
2003	18,628	17,492	1,136		
2004	22,949	17,492	5,457		
2005	21,536	17,492	4,044		
2006	20,303	17,492	2,811		
2007	19,99	17,492	2,498		
2008	17,029	17,492	-0,463	-0,463	1

Tarihi seri yıllık ortalama akımlarının $q=0,3$ için gidişler analizine tabi tutulması ile elde edilen kuraklık süre ve eksiklikleri gösterilmiştir (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Tarihi seri yıllık ortalama akımlarının $q=0,3$ için gidişler analizi sonuçları

$q=0,3$ Kesim seviyesi için		
Yıl	Süre (yıl)	Eksiklik (m^3 yıl / s)
1970-1971	2	1,567
1973-1975	3*	6,391
1983	1	7,679*
1989	1	1,371
1994	1	3,608
1997	1	1,522
1999-2000	2	7,177
2008	1	0,463

*Maksimum kuraklıklar

Tarihi seri yıllık ortalama akımların $q=0,3$ için maksimum kuraklık süresi 3 yıl olup 1973-1975 yılları arasında görülmekte iken maksimum eksiklik miktarı 7,679 (m^3 yıl / s) olup 1983 yılında görülmektedir (Çizelge 4.5).

Tarihi seri yıllık ortalama akımların $q=0,1$ için gidişler analizine tabi tutularak kuraklık süre ve eksiklikleri belirlenmiştir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Tarihi seri yıllık ortalama akımlarının $q=0,1$ kesim seviyesi için gidişler analizinin örnek uygulanması

Yıl	Tarihi seri yıllık ortalama akımların	$q=0,1$ kesim seviyesi	Eksiklik (m^3 yıl / s)	Eksiklik toplamı	Süre (yıl)
1969	25,137	14,832	10,305		
1970	16,24	14,832	1,408		
1971	17,177	14,832	2,345		
1972	19,071	14,832	4,239		
1973	15,275	14,832	0,443		
1974	15,805	14,832	0,973		
1975	15,005	14,832	0,173		
1976	23,765	14,832	8,933		
1977	18,745	14,832	3,913		
1978	20,454	14,832	5,622		
1979	20,172	14,832	5,34		
1980	26,597	14,832	11,765		
1981	18,694	14,832	3,862		
1982	20,382	14,832	5,55		
1983	9,8131	14,832	-5,0189	-5,0189	1
1984	20,461	14,832	5,629		
1985	17,935	14,832	3,103		
1986	19,206	14,832	4,374		
1987	28,767	14,832	13,935		
1988	29,376	14,832	14,544		
1989	16,121	14,832	1,289		
1990	21,024	14,832	6,192		
1991	18,853	14,832	4,021		
1992	18,654	14,832	3,822		
1993	27,509	14,832	12,677		
1994	13,884	14,832	-0,948	-0,948	1
1995	19,787	14,832	4,955		
1996	17,806	14,832	2,974		
1997	15,97	14,832	1,138		
1998	21,557	14,832	6,725		
1999	14,66	14,832	-0,172	-1,857	2
2000	13,147	14,832	-1,685		
2001	18,058	14,832	3,226		
2002	17,893	14,832	3,061		
2003	18,628	14,832	3,796		
2004	22,949	14,832	8,117		
2005	21,536	14,832	6,704		
2006	20,303	14,832	5,471		
2007	19,99	14,832	5,158		
2008	17,029	14,832	2,197		

Tarihi seri yıllık ortalama akımlarının $q=0,1$ için gidişler analizine tabi tutulması ile elde edilen kuraklık süre ve eksiklikleri gösterilmiştir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7. Tarihi seri yıllık ortalama akımlarının $q=0,1$ için gidişler analizi sonuçları

$q=0.1$ Kesim seviyesi için		
Yıl	Süre (yıl)	Eksiklik (m^3 yıl / s)
1983	1	5,019*
1994	1	0,948
1999-2000	2*	1,857

*Maksimum kuraklıklar

Tarihi seri yıllık ortalama akımların $q=0,3$ için maksimum kuraklık süresi 2 yıl olup 1999-2000 yılları arasında görülmekte iken maksimum eksiklik miktarı $5,019 (m^3 \text{ yıl/s})$ olup 1983 yılında görülmektedir (Çizelge 4.7).

4.4. Tarihi Seri Aylık Akımların Gidişler Analizi

Tarihi seri aylık akımlarının ayrı ayrı her bir ayı için kesim seviyeleri Matlab R2014a yazılımının 'quantile' komutu kullanılarak belirlenmiştir. Belirlenen bu kesim seviyeleri için tarihi seri gidişler analizine tabi tutularak tekerrür aralıklarının bulunmasında kullanılacak olan kuraklıklar belirlenmiştir.

Tarihi seri aylık akımları debi süreklilik eğrileri **EK 1 (Ek 1.1, 1.3, 1.5, 1.7, 1.9, 1.11, 1.13, 1.15, 1.17, 1.19, 1.21, 1.23)**'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Tarihi seri aylık akımların kesim seviyeleri

Kesim seviyesi			
Ay	q=0,5	q=0,3	q=0,1
EKİM	6,211	5,6055	4,6095
KASIM	7,9925	6,9735	5,8945
ARALIK	7,6175	6,83	5,661
OCAK	6,6385	6,1885	5,3615
ŞUBAT	7,328	6,54	5,835
MART	15,16	12,355	9,3365
NİSAN	56,64	46,735	35,435
MAYIS	69,3	56,06	37,15
HAZİRAN	25,15	13,26	10,955
TEMMUZ	7,0885	5,7895	3,6055
AĞUSTOS	4,48	3,6905	2,66
EYLÜL	4,3975	3,742	2,8645

Tarihi seri aylık akımlarının q=0,5 için gidişler analizine tabi tutularak kuraklık süre ve eksiklikleri belirlenmiştir (Çizelge 4.9).

Tarihi seri aylık akımları debi gidiş çizgileri **EK 1 (Ek 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 1.10, 1.12, 1.14, 1.16, 1.18, 1.20, 1.22, 1.24)**'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Tarihi seri aylık akımlarının $q=0,5$ kesim seviyesi için gidişler analizinin örnek uygulanması

Yıl	Ay	Aylık akımlar	$q=0,5$ Kesim seviyesi	Eksiklikler (m^3 ay / s)	Eksiklikler toplamı	Süre (ay)
1969	Ekim	6,932	6,211	0,721	4,404	3
	Kasım	11,860	7,9925	3,868		
	Aralık	6,842	7,6175	-0,776		
	Ocak	6,061	6,6385	-0,578		
	Şubat	4,277	7,328	-3,051		
	Mart	21,800	15,16	6,640		
	Nisan	80,040	56,64	23,400	0,607	1
	Mayıs	119,100	69,3	49,800		
	Haziran	27,820	25,15	2,670		
	Temmuz	7,546	7,0885	0,458		
	Ağustos	3,873	4,48	-0,607		
	Eylül	5,495	4,3975	1,098		
1970	Ekim	8,749	6,211	2,538	49,785	7
	Kasım	10,380	7,9925	2,388		
	Aralık	9,913	7,6175	2,296		
	Ocak	9,100	6,6385	2,462		
	Şubat	9,660	7,328	2,332		
	Mart	20,080	15,16	4,920		
	Nisan	65,150	56,64	8,510	1,059	2
	Mayıs	41,330	69,3	-27,970		
	Haziran	8,256	25,15	-16,894		
	Temmuz	4,211	7,0885	-2,878		
	Ağustos	3,804	4,48	-0,676		
	Eylül	4,243	4,3975	-0,155		
1971	Ekim	6,094	6,211	-0,117	24,89	1
	Kasım	6,897	7,9925	-1,096		
	Aralık	7,719	7,6175	0,102		
	Ocak	6,560	6,6385	-0,079		
	Şubat	6,348	7,328	-0,980		
	Mart	15,860	15,16	0,700		
	Nisan	31,750	56,64	-24,890	0,946	1
	Mayıs	72,400	69,3	3,100		
	Haziran	34,930	25,15	9,780		
	Temmuz	6,143	7,0885	-0,946		
	Ağustos	6,710	4,48	2,230		
	Eylül	4,718	4,3975	0,321		
1972	Ekim	7,410	6,211	1,199	1,99	1
	Kasım	9,408	7,9925	1,416		
	Aralık	9,373	7,6175	1,756		
	Ocak	9,556	6,6385	2,918		
	Şubat	7,915	7,328	0,587		
	Mart	13,170	15,16	-1,990		
	Nisan	61,730	56,64	5,090	14,97	1
	Mayıs	54,330	69,3	-14,970		
	Haziran	35,410	25,15	10,260		
	Temmuz	11,720	7,0885	4,632		
	Ağustos	4,171	4,48	-0,309		
	Eylül	4,662	4,3975	0,265		

Tarihi seri aylık akımlarının $q=0,5$ için gidişler analizine tabi tutulması ile elde edilen kuraklık süre ve eksiklikleri gösterilmiştir (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10. Tarihi seri aylık akımlarının $q=0,5$ için gidişler analizi sonuçları

q=0,5 Kesim seviyesi için							
Yıl	Ay	Süre (ay)	Eksiklik (m³ ay / s)	Yıl	Ay	Süre (ay)	Eksiklik (m³ ay / s)
1969	Aralık-Şubat	3	4,404	1988	Mart	1	2,030
1969	Ağustos	1	0,607	1989	Aralık-Ocak	2	1,383
1970	Mayıs-Kasım	7	49,785	1989	Mayıs-Eylül	5	66,330
1971	Ocak-Şubat	2	1,058	1990	Haziran-Kasım	6	12,529
1971	Nisan	1	24,89	1991	Ocak-Şubat	2	0,637
1971	Temmuz	1	0,945	1991	Mayıs-Kasım	7	15,239
1972	Mart	1	1,990	1992	Mart-Mayıs	3	23,260
1972	Mayıs	1	14,97	1993	Mart	1	4,460
1972	Ağustos	1	0,309	1993	Ağustos-Şubat	7	4,565
1973	Aralık	1	2,363	1994	Nisan -Aralık	9	50,977
1973	Mart-Haziran	4	35,87	1995	Nisan	1	4,540
1973	Ağustos-Eylül	2	3,077	1995	Temmuz-Ekim	4	3,647
1974	Kasım-Aralık	2	0,981	1996	Ocak-Nisan	4	31,507
1974	Şubat	1	0,608	1996	Temmuz	1	1,849
1974	Nisan -Ağustos	5	58,809	1997	Ekim-Kasım	2	2,863
1975	Ekim-Mart	18*	48,758	1997	Şubat-Mart	2	10,248
1977	Kasım	1	0,0855	1997	Mayıs-Eylül	5	20,486
1977	Şubat	1	0,449	1998	Kasım-Ocak	3	4,1985
1977	Nisan	1	9,770	1998	Temmuz-Kasım	5	10,659
1977	Temmuz-Mart	9	9,935	1999	Şubat-Ağustos	7	39,117
1978	Eylül-Ocak	5	3,046	2001	Ekim-Temmuz	10	72,766
1979	Nisan	1	5,950	2001	Nisan-Haziran	3	49,290
1979	Eylül	1	0,047	2002	Eylül-Aralık	4	5,6385
1980	Haziran-Temmuz	2	5,879	2003	Nisan-Mayıs	2	33,840
1980	Eylül-Mayıs	9	34,590	2003	Mart	1	2,560
1982	Ekim-Mart	6	13,931	2003	Mayıs-Haziran	2	38,55
1982	Ağustos-Ekim	15	102,72*	2004	Nisan	1	10,04
1984	Ocak-Nisan	4	10,461	2005	Aralık-Ocak	2	1,966
1985	Ekim-Mart	6	10,539	2005	Mart	1	2,660
1985	Haziran-Ekim	5	20,613	2005	Mayıs-Haziran	2	2,750
1986	Aralık-Şubat	3	1,923	2006	Haziran	1	15,39
1986	Mayıs	1	9,75	2007	Nisan	1	19,74
1987	Temmuz-Ağustos	2	0,723	2007	Haziran	1	5,650
1987	Aralık-Mart	4	10,236	2008	Nisan-Eylül	4	65,479
1988	Eylül	1	0,153				

*Maksimum kuraklıklar

Tarihi seri aylık akımların $q=0,5$ için görülen maksimum kuraklık süresi 18 ay olup 1975-1976 yıllarının Ekim ve Mart ayları arasında görülmektedir (Çizelge 4.10).

Tarihi seri aylık akımların $q=0,5$ için görülen maksimum eksiklik $102,72 \text{ (m}^3 \text{ ay / s)}$ olup 1982-1983 yıllarının Ağustos ve Ekim ayları arasında görülmektedir (Çizelge 4.10).

Tarihi seri aylık akımlarının $q=0,3$ için gidişler analizine tabi tutulması ile elde edilen kuraklık süre ve eksiklikleri gösterilmiştir (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11. Tarihi seri aylık akımlarının $q=0,3$ için gidişler analizi sonuçları

q=0,3 Kesim seviyesi için							
Yıl	Ay	Süre (ay)	Eksiklik (m³ ay / s)	Yıl	Ay	Süre (ay)	Eksiklik (m³ ay / s)
1969	Ocak-Şubat	2	2,391	1989	Ocak	1	0,831
1970	Mayıs-Temmuz	3	21,313	1989	Mayıs-Eylül	5	38,456
1971	Kasım	1	0,077	1990	Ağustos-Ekim	3	3,538
1971	Şubat	1	0,192	1991	Ağustos-Ekim	3	1,188
1971	Nisan	1	14,985	1992	Mart	1	3,315
1972	Mayıs	1	1,730	1993	Mart	1	1,655
1973	Aralık	1	1,575	1994	Kasım	1	0,273
1973	Mart-Mayıs	3	7,130	1994	Şubat	1	0,690
1973	Ağustos-Eylül	2	1,631	1994	Nisan -Temmuz	4	9,765
1974	Nisan -Ağustos	5	21,685	1994	Eylül-Ekim	2	1,927
1975	Ekim-Şubat	5	4,555	1995	Ağustos-Ekim	3	1,158
1975	Temmuz-Ağustos	2	2,276	1996	Ocak-Nisan	4	17,559
1976	Kasım-Aralık	2	1,915	1996	Temmuz	1	0,5495
1976	Mart	1	2,722	1997	Ekim-Kasım	2	1,239
1977	Eylül-Şubat	6	3,025	1997	Şubat-Mart	2	6,655
1979	Kasım	1	0,793	1997	Haziran-Eylül	4	5,752
1980	Temmuz	1	0,071	1998	Aralık-Ocak	2	2,059
1981	Ekim-Ocak	4	1,889	1998	Temmuz-Kasım	5	6,291
1981	Nisan	1	8,405	1999	Şubat-Mart	2	2,635
1982	Ocak-Mart	3	8,387	1999	Haziran-Ağustos	3	1,870
1982	Eylül	1	0,037	2000	Şubat-Haziran	5	31,670
1983	Kasım-Mayıs	7*	55,833*	2001	Mayıs-Haziran	2	18,420
1983	Temmuz-Ağustos	2	3,521	2001	Eylül-Aralık	4	2,571
1984	Ekim	1	0,655	2002	Nisan-Mayıs	2	10,695
1984	Şubat	1	0,651	2003	Mayıs-Haziran	2	13,420
1985	Ekim-Ocak	4	2,905	2004	Nisan	1	0,135
1985	Mart	1	1,645	2005	Ocak	1	0,729
1985	Haziran-Eylül	4	5,389	2006	Haziran	1	3,500
1986	Aralık	1	0,684	2007	Nisan	1	9,835
1987	Aralık-Ocak	2	0,185	2008	Nisan-Haziran	3	29,755
1987	Mart	1	5,270				

*Maksimum kuraklıklar

Tarihi seri aylık akımların $q=0,3$ için görülen maksimum kuraklık süresi 7 ay olup 1983 yılının Kasım ve Mayıs ayları arasında görülmektedir (Çizelge 4.11).

Tarihi seri aylık akımların $q=0,3$ için görülen maksimum eksiklik $55,833 \text{ (m}^3 \text{ ay / s)}$ olup 1983 yılının Kasım ve Mayıs ayları arasında görülmektedir (Çizelge 4.11).

Tarihi seri aylık akımlarının $q=0,1$ için gidişler analizine tabi tutulması ile elde edilen kuraklık süre ve eksiklikleri gösterilmiştir (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. Tarihi seri aylık akımlarının $q=0,1$ için gidişler analizi sonuçları

q=0,1 Kesim seviyesi için							
Yıl	Ay	Süre (ay)	Eksiklik (m³ ay / s)	Yıl	Ay	Süre (ay)	Eksiklik (m³ ay / s)
1969	Şubat	1	1,558	1989	Haziran-Ekim	5*	13,149
1970	Haziran	1	2,699	1990	Eylül-Ekim	2	0,714
1971	Nisan	1	3,685	1992	Mart	1	0,297
1973	Aralık	1	0,406	1995	Ekim	1	0,329
1974	Nisan	1	1,465	1996	Nisan	1	4,135
1974	Temmuz	1	0,469	1997	Kasım	1	0,145
1975	Kasım	1	0,409	1997	Şubat	2	2,931
1975	Ağustos	1	0,080	1997	Temmuz	1	0,635
1978	Aralık	1	0,188	1997	Eylül	1	0,325
1978	Ocak-Mart	3	3,836	1998	Ocak	1	0,301
1983	Aralık-Ocak	2	1,183	1998	Ağustos	1	0,550
1983	Nisan-Mayıs	2	20,455*	1999	Ekim-Kasım	2	1,104
1983	Temmuz	1	0,771	2000	Şubat	1	0,685
1985	Aralık	1	0,583	2000	Haziran	2	2,605
1985	Ağustos	2	0,525	2002	Ekim	2	0,284
1987	Mart	1	2,251	2006	Haziran	1	1,195
1989	Ocak	1	0,005	2008	Mayıs	1	4,950

*Maksimum kuraklıklar

Tarihi seri aylık akımların $q=0,1$ için görülen maksimum kuraklık süresi 5 ay olup 1989 yılının Haziran ve Ekim ayları arasında görülmektedir (Çizelge 4.12).

Tarihi seri aylık akımların $q=0,1$ için görülen maksimum eksiklik $20,455 \text{ (m}^3 \text{ ay / s)}$ olup 1983 yılının Nisan ve Mayıs ayları arasında görülmektedir (Çizelge 4.12).

Kuraklık süreleri ve eksiklikleri karşılaştırıldığında, en uzun süren kuraklıkların en şiddetli, en büyük şiddete sahip kuraklıkların ise en uzun olmayabileceği sonucuna varılmıştır.

4.5. Aylık Akımların Tek Değişkenli Modellemesi

Gidişler analizi ile tarihi seride görülebilecek kuraklıklar belirlenmiştir. Ayrıca görülmesi muhtemel daha büyük kuraklıkların tahmin edilebilmesi için tarihi seriyle benzer istatistik özellikleri içeren bir matematiksel modele ihtiyaç duyulmaktadır. Bu matematik model aracılığıyla tarihi seriye benzer özellikte 100 sentetik seri üretilerek görülmesi muhtemel daha şiddetli kuraklık senaryolarının tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

4.5.1. Ön analiz

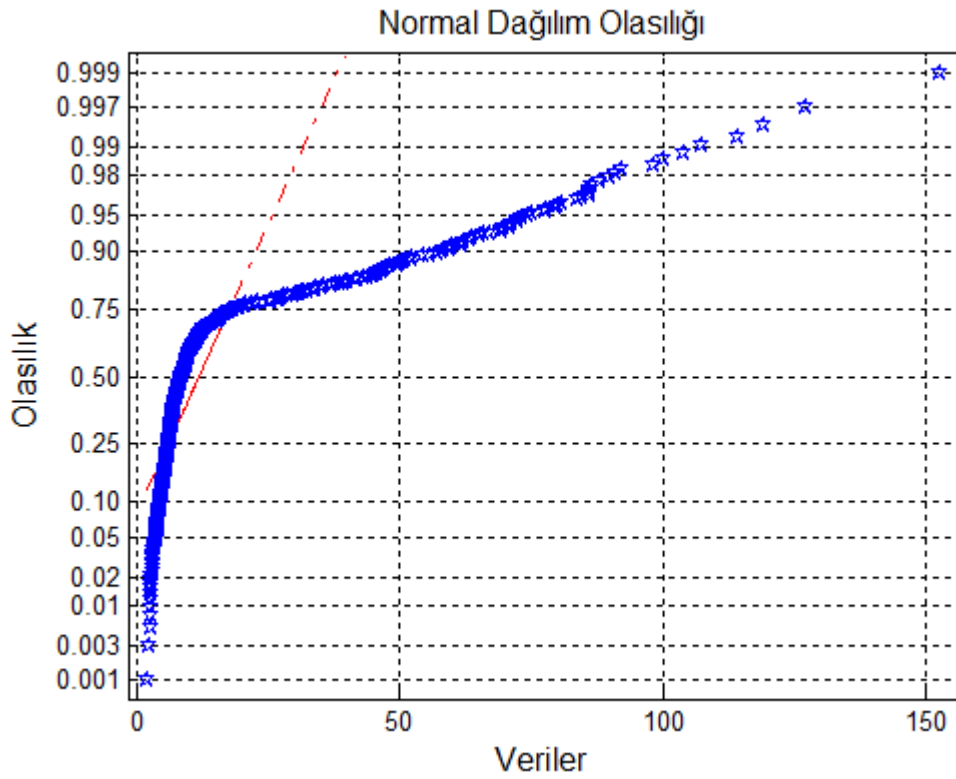
İlk olarak tarihi seriye $(x_{v,t})$ ait aylık akım değerlerinin normal dağılıp dağılmadığını belirlemek için Denklem 3.20 (çarpıklık katsayısı denklemi) Matlab R2014a yazılımının 'skewness' komutu ile çözülerek her ayın çarpıklık katsayısı bulunmuştur. Her ayın çarpıklık değerlerinin ortalaması bulunarak Çizelge 3.1 (alfa önem seviyeleri için çarpıklık katsayısı aralıkları tablosu) kullanılarak bizim ortalama çarpıklık değerimizin istenilen aralıkta olup olmadığı kontrol edilmiştir. Tabloda bulunan çarpıklık değerlerinin ortalaması $\gamma=1,2$ 'dir. Ancak $\gamma=1,2>0,87$ olduğundan gösterilen aralıkta yer almadığı görülmektedir. Bunun için, tarihi serinin $(x_{v,t})$ çarpıklığını azaltmak için $y_{v,t}=\log_e(x_{v,t})$ dönüşümü yapılmıştır. Bu dönüşüm yapıldıktan sonra tekrar her aya ait çarpıklık katsayıları bulunmuş ve ortalamaları alınmıştır. Bu ortalama çarpıklık değeri ise $\gamma=0,277$ çıkmıştır. $\gamma=0,277<0,87$ olduğundan verilen aralıktadır.

Çizelge 4.13. Tarihi seri aylık akımların istatistiki değerleri

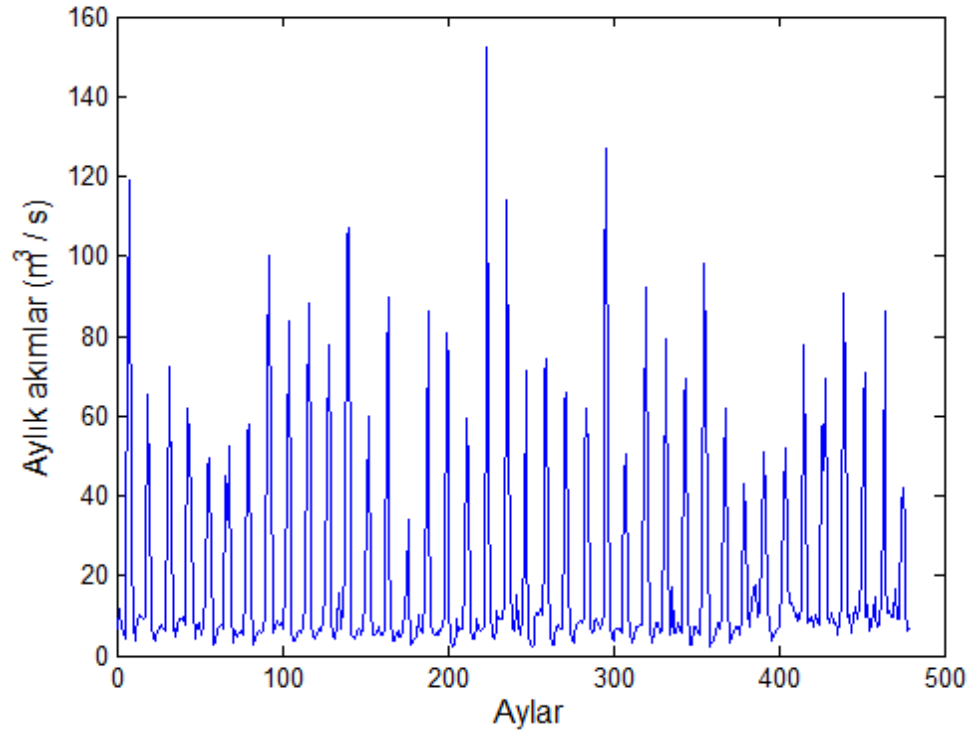
Aylar	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
Ortalama akımlar	7,069	9,025	7,757	7,130	7,711	17,746	58,908	71,355	26,536	7,902	5,308	5,586
Standart sapma	2,574	3,211	1,963	1,686	1,918	10,512	19,948	27,229	15,109	3,905	2,667	3,196
Çarpıklık katsayısı	1,647	1,209	1,909	0,964	0,698	1,965	0,334	0,818	0,645	1,253	1,084	1,892

Ortalama çarpıklık katsayısı: 1,2 dir

Şekil 4.4’de görüldüğü üzere tarihi seri aylık akımlarının normal dağılım çizgisinden aşırı derece sapması verilerin normal dağılmadığına işarettir (Şekil 4.4). Bunun için akımların logaritması alınarak çarpıklığı giderilmiştir.

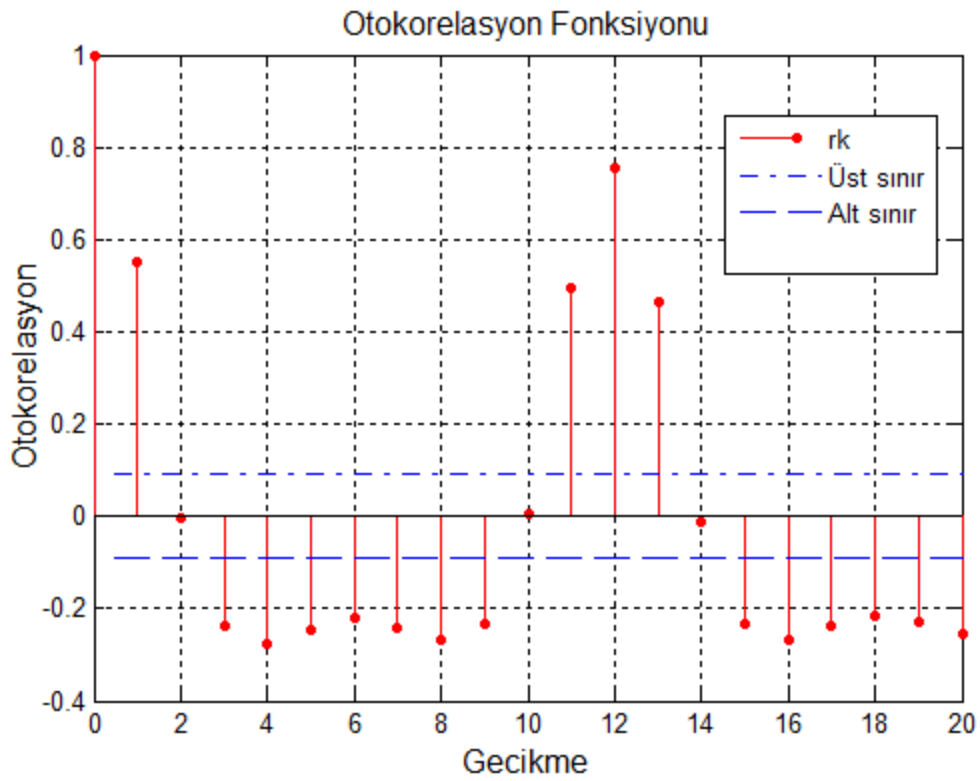
**Şekil 4.4.** Tarihi seri aylık akımlarına ait normal dağılımı olasılık grafiği

Şekil 4.5’de aylık akımların periyodik hareket gösterdiği görülmektedir. Ayrıca aylık akımların normal dağılmadığı da anlaşılmaktadır.



Şekil 4.5. Karasu istasyonunda gözlenen aylık akımlar

Şekil 4.6’da aylık akımların zamanla otokorelasyon katsayılarındaki değişim gösterilmektedir. Şekilden görüleceği üzere aylık akımlar Anderson %95 olasılık limitlerini aştığı için içsel bağımlıdır.



Şekil 4.6. Aylık akımların korelogramı

Matlab R2014a yazılımının ‘mean’ ve ‘std’ komutlarından faydalanarak logaritması alınmış ($y_{v,\tau}$) seriye ait periyodik ortalamalar (μ_τ) ve periyodik standart sapmalar (σ_τ) bulunmuştur. Değerler Çizelge 4.14’de sunulmuştur.

Logaritması alınarak çarpıklığı azaltılmış aylık akımların her ayın ayrı ayrı ortalama ve standart sapmaları gösterilmiştir (Çizelge 4.14)

Çizelge 4.14. Normalize edilmiş akımların periyodik ortalama ve standart sapmaları

İstatistikler / Aylar	Periyodik ortalamalar	Periyodik Standart sapmalar
OCAK	1,9015	0,3231
ŞUBAT	2,1467	0,3200
MART	2,0219	0,2283
NİSAN	1,9394	0,2218
MAYIS	2,0137	0,2425
HAZİRAN	2,7464	0,4940
TEMMUZ	4,0156	0,3638
AĞUSTOS	4,1974	0,3839
EYLÜL	3,1091	0,6076
EKİM	1,9569	0,4772
KASIM	1,5568	0,4746
ARALIK	1,6018	0,4645

Dönüştürülmüş periyodik $y_{v,\tau}$ serisi $z_{v,\tau} = (y_{v,\tau} - \mu_\tau) / \sigma_\tau$ standardizasyonu ile boyutsuz hale getirilerek periyodiklik ortadan kaldırılmıştır. Örnek olarak:

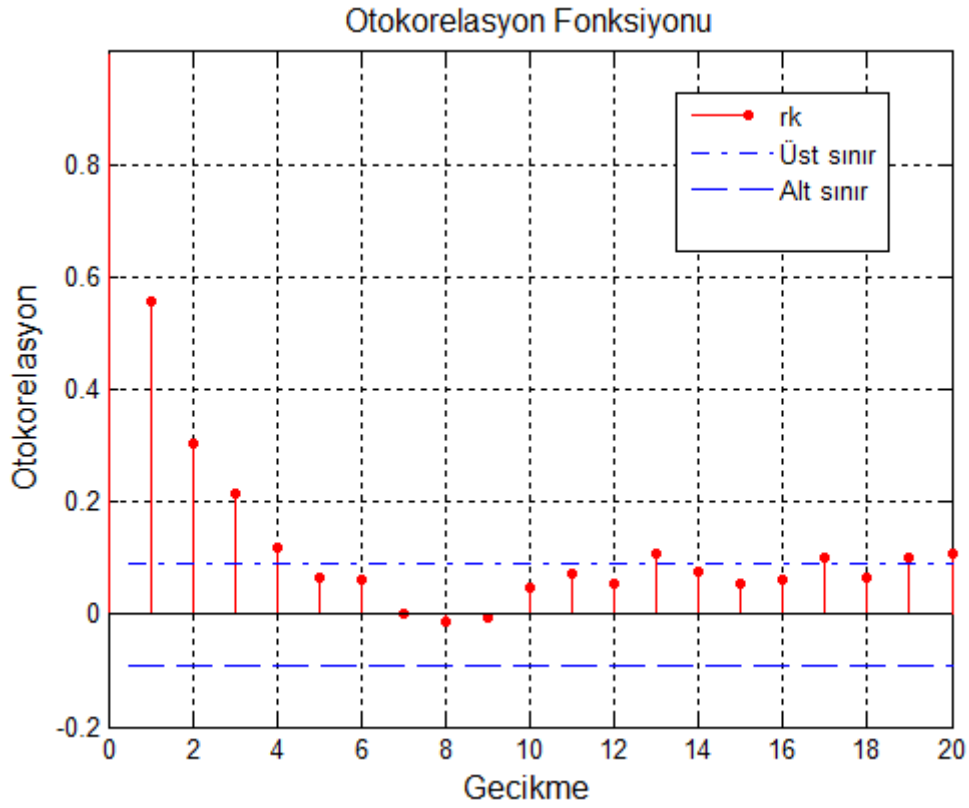
$$z_1 = (y_{1,1} - \mu_1) / \sigma_1 = (1,9361 - 1,9015) / 0,3231 = 0,1071$$

$$z_2 = (y_{1,2} - \mu_2) / \sigma_2 = (2,4732 - 2,1467) / 0,3200 = 1,0203$$

$$\begin{array}{ccc} \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \end{array}$$

$$z_{480} = (y_{40,12} - \mu_{12}) / \sigma_{12} = (1,7984 - 1,6018) / 0,4645 = 0,4232$$

Şekil 4.7’de standardize edilmiş aylık akımların zamanla otokorelasyon katsayılarındaki değişim gösterilmektedir. Şekilden görüleceği üzere aylık akımlar Anderson %95 olasılık limitlerini aştığı için içsel bağımlıdırlar.



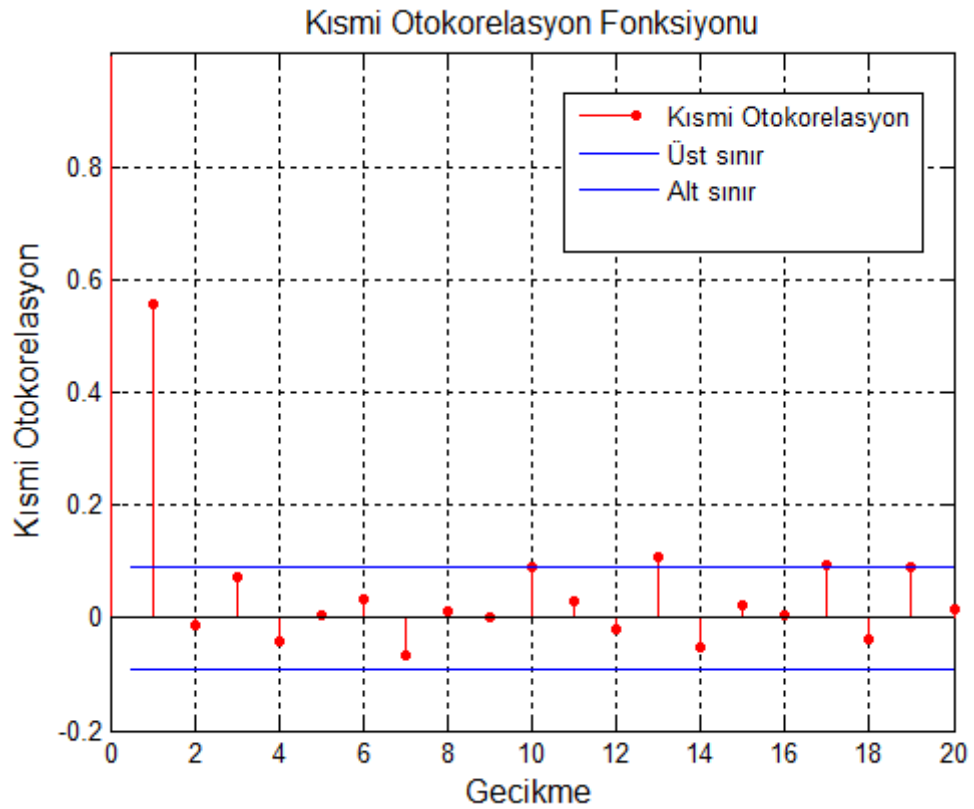
Şekil 4.7. Logaritması alınmış ve boyutsuz hale getirilmiş (z_t serisinin) aylık akımların korelogramı ve %95 güven aralığı

z_t serisine ait korelogram incelendiğinde $k=1,2,3,4$ değerlerinin %95 güven aralığının dışına çıktığı görülmektedir. Bu bize ardışık dört ayın akımları arasında bağımlılık olduğunu ifade etmektedir (Şekil 4.7).

Standardize edilmiş aylık akımların zamanla otokorelasyon katsayılarındaki değişim ve %95 güven aralıkları gösterilmiştir (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.15. Standardize edilmiş aylık akımların otokorelasyon katsayıları

Otokorelasyon	Gecikme(k)	Otokorelasyon	Gecikme(k)	%95 Alt sınır	%95 Üst sınır
1,0000	0	0,0741	11	-0,0913	0,0913
0,5580	1	0,0534	12		
0,3025	2	0,1076	13		
0,2146	3	0,0766	14		
0,1177	4	0,0545	15		
0,0642	5	0,0605	16		
0,0618	6	0,1010	17		
0,0022	7	0,0651	18		
-0,0132	8	0,1011	19		
-0,0054	9	0,1065	20		
0,0476	10				



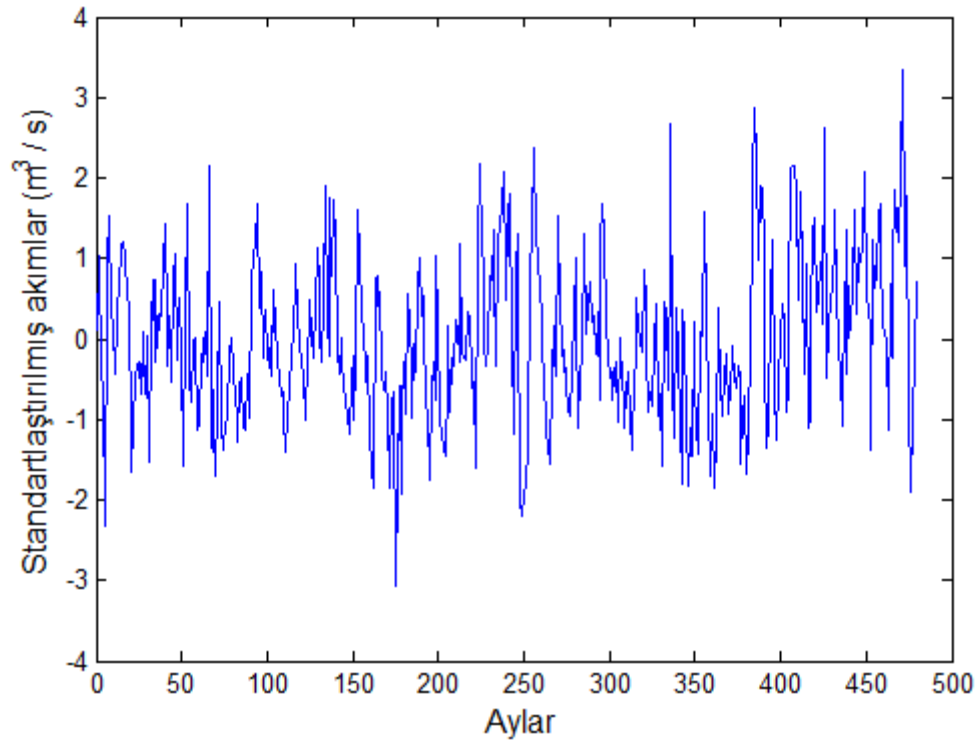
Şekil 4.8. Logaritması alınmış ve boyutsuz hale getirilmiş (z_t serisinin) aylık akımların kısmi korelogramı ve %95 güven aralığı

Çizelge 4.16. Standardize edilmiş aylık akımların kısmi otokorelasyon katsayıları

Kısmi Otokorelasyon	Gecikme(k)	Kısmi Otokorelasyon	Gecikme (k)	%95 Alt sınır	%95 Üst sınır
1	0	0,02921	11	-0,09138	0,09138
0,55821	1	-0,01891	12		
-0,01239	2	0,10779	13		
0,07338	3	-0,05228	14		
-0,04248	4	0,02208	15		
0,00357	5	0,00626	16		
0,03150	6	0,09245	17		
-0,06541	7	-0,03662	18		
0,01089	8	0,09140	19		
0,00289	9	0,01720	20		
0,08936	10				

Kısmi korelograma bakıldığında $k=1$ değerinde büyük bir korelasyon olup diğer değerler ise %95 sınırlarını aşmadığı için istatistiksel olarak sıfır kabul edilmektedirler. Bu durum bize AR(1) modelini işaret etmektedir (Şekil 4.8).

Şekil 4.9’da standardize edilmiş aylık akımların periyodik hareket gösterdiği görülmektedir.



Şekil 4.9. Karasu akım gözlem istasyonundaki logaritması alınmış ve periyodikliği giderilmiş aylık ortalama akımlar

4.5.2. Parametre tahmini ve güven aralığı

Bu bölümün esas amacı öngörülen modele ait parametreleri tahmin etmek ve bu parametrelerin kararlılık şartlarını kontrol etmektir. Matlab R2014a yazılımının 'present' komutu kullanılarak parametreler ve standart sapmaları bulup %95 güven aralıkları belirlenmiştir.

Öngörülen AR(1) modeli parametresinin %95 güven aralığının alt ve üst sınırları:

$$\phi_1 \mp 1,96 * 0,0018 = \begin{cases} 0,5547 \\ 0,5617 \end{cases}$$

AR(1) modeli parametresi (ϕ_1) %95 güven aralığında sıfır içermediği için istatistiksel olarak anlamlı olup modelin kullanılabilir olduğunu göstermektedir (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.17. Aylık akımlar için otoregresif (ϕ) ve hareketli ortalama (θ) parametreleri ve %95 güven aralığı sınırları

	ARMA(1,0)	ARMA(2,0)	ARMA(3,0)
ϕ_1	0,5582 (0,5547 ; 0,5617)	0,5649 (0,5607 ; 0,5691)	0,5688 (0,5646;0,573)
ϕ_2	-	-0,0123 (-0,016482 ; - 0,008118)	-0,05532 (-0,060123;-0,050517)
ϕ_3	-	-	0,07338 (0,0692;0,07756)
	ARMA(1,1)	ARMA(2,1)	ARMA(3,1)
ϕ_1	0,536 (0,5296 ; 0,5424)	0,01147 (0,0057 ; 0,0127)	0,2723 (0,2253 ; 0,3193)
ϕ_2	-	0,2768 (0,24288; 0,31072)	0,1109 (0,08327 ; 0,13853)
ϕ_3	-	-	0,07327 (0,0687 ; 0,07784)
θ_1	0,03185 (0,02437 ; 0,03933)	0,6246 (0,6816 ; 0,5676)	0,5169 (0,4697 ; 0,5641)
	ARMA(2,2)	ARMA(3,2)	ARMA(3,3)
ϕ_1	0,3875 (0,3295 ; 0,6864)	-0,2704 (-0,295 ; -0,2458)	-1,022 (1,034232 ; 1,009768)
ϕ_2	0,1664 (0,13577 ; 0,19703)	-0,05368 (-0,076748; -0,030612)	0,1694 (0,15679 ; 0,18201)
ϕ_3	-	0,3233 (0,30414 ; 0,34246)	0,4967 (0,49039 ; 0,50301)
θ_1	0,1822 (0,2394 ; 1,125)	0,4954 (0,5406 ; 0,4502)	1,605 (1,458484;1,751516)
θ_2	-0,1184 (-0,12653 ; - 0,11027)	0,4792 (0,440932 ; 0,517468)	0,7052 (0,685491;0,724909)
θ_3	-	-	-0,1073 (-0,11625;-0,09835)

4.5.3. Seçilen modelin uygunluk testi

Matlab R2014a yazılımının 'present' ve 'aic' komutu ile Denklem 4.1 ve Denklem 3.49 çözülerek uygun model belirlenmiş ve modele ait artık terimlerin içsel bağımlılığı ve normalliği kontrol edilmiştir.

Çizelge 4.18. Tüm modellerin FPE ve AIC değerlerinin karşılaştırılması

Model	FPE	AIC
AR(1)	0,6769	-0,3902
ARMA(1,1)	0,681	-0,3841
AR(2)	0,6811	-0,3840
ARMA(2,1)	0,6838	-0,3801
ARMA(2,2)	0,6857	-0,3772
AR(3)	0,6831	-0,3810
AR(3,1)	0,6866	-0,3758
AR(3,2)	0,6894	-0,3717
AR(3,3)	0,6859	-0,3768

Çizelge 4.18'den görüldüğü üzere muhtemel modellere ait Nihai hata tahmin ölçütü ve Akaike bilgi kriterleri karşılaştırıldığında, en küçük değerlere sahip olan model AR(1) modeli olup en uygun model olarak seçilmiştir.

Akaike Bilgi Kriteri, Akaike(1974) tarafından önerilen ve model kurarken cimrilik ilkesini (az parametrenin gerekliliği) dikkate alan matematiksel bir formüldür.

$$AIC(p,q) = N \ln (\hat{\sigma}_e^2) + 2(p+q) \quad (4.1)$$

Nihai hata tahmin ölçütü (FPE) olarak adlandırılan ölçüt;

$$FPE(p) = \hat{\sigma}_\varepsilon^2 \frac{N+p}{N-p} \quad (4.2)$$

Hata varyanslarının görülen veri uzunluğu ve modelin parametre sayısı hesaba katılarak düzeltilmesi amacına dayanmaktadır. Akaike'nin nihai hata tahmin ölçütü, modeli farklı veri grupları üzerinde simüle ederek model niteliğini ölçmeyi sağlar. AR(p) ve ARMA(p,q) modellerini bu kriter ve ölçütleri kullanarak karşılaştırabiliriz. Akaike teorisine göre en uygun model en küçük AIC ve FPE değerlerine sahip model olandır.

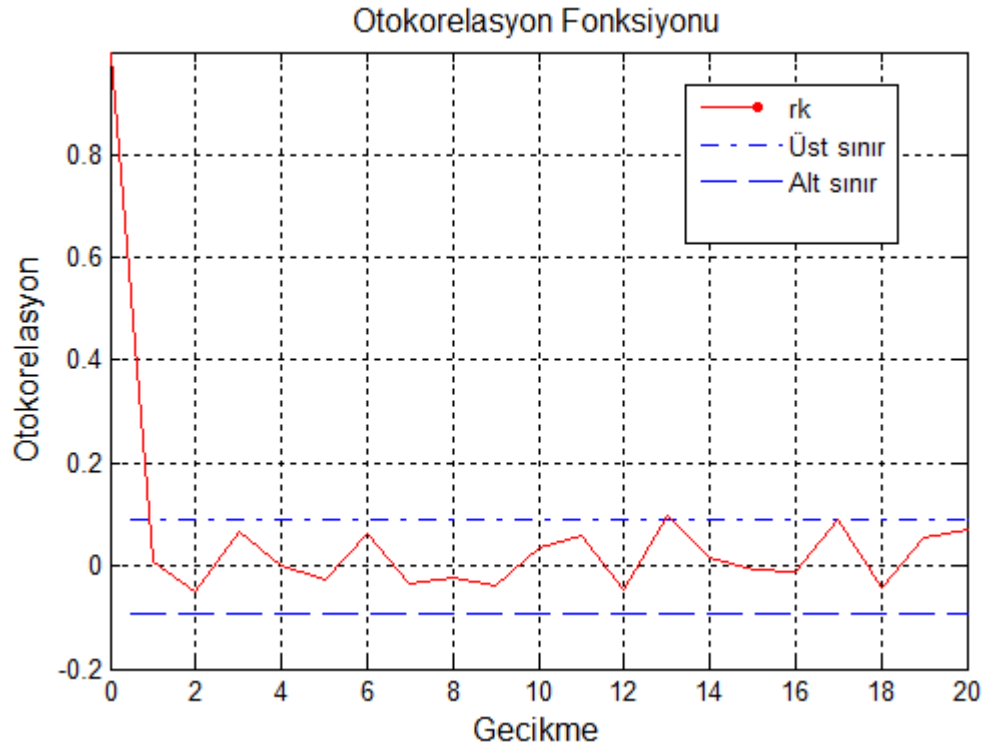
Matlab R2014a yazılımının `AR` komutu kullanılarak AR(1) modeli kurulmuştur.

AR(1) modelinin denklemi

$$Z(t) = 0.5582 z(t-1) + \varepsilon(t)$$

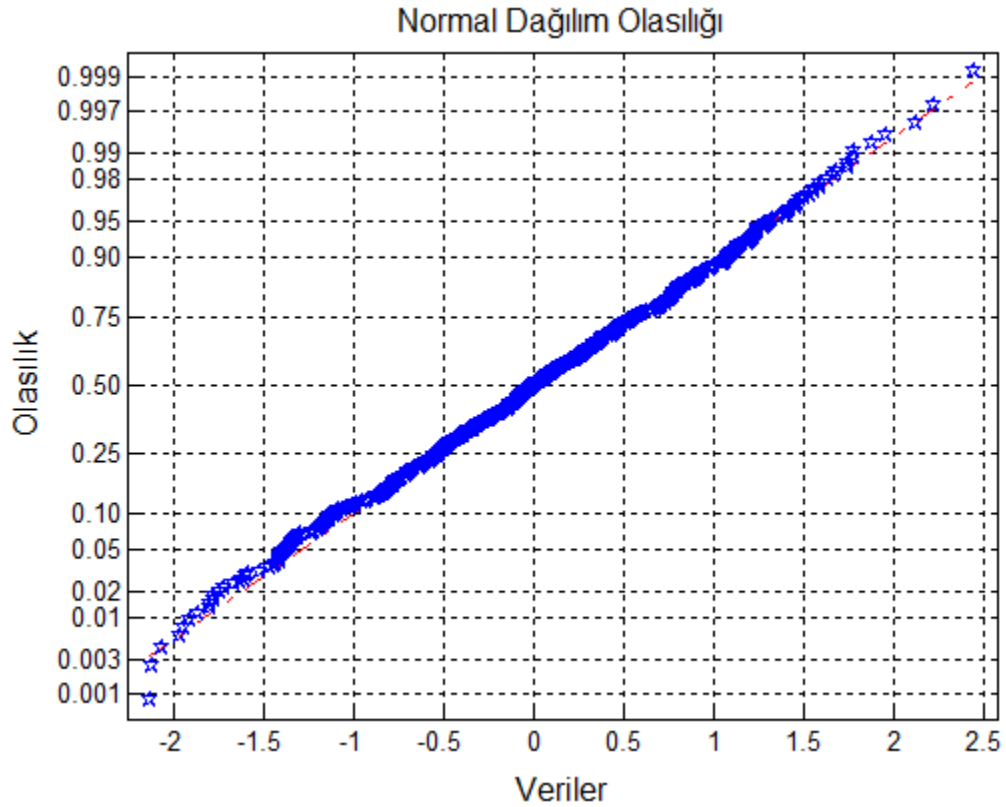
şeklindedir.

Artık serilerin otokorelasyon katsayıları %95 olasılık limitlerini önemli derecede kesmemesi artık serilerin bağımsız olduğuna işaret etmektedir ve bu durum doğru model seçtiğimizi desteklemektedir (Şekil 4.11).



Şekil 4.10. ε_t artık serisinin otokorelogramı

ε_t artık serilerinin normal dağılıp dağılmadığını kontrol etmek için normal dağılım olasılık grafiği kullanılmıştır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. ε_t artık serilerinin normal dağılım olasılık grafiği

Şekil 4.11’de veriler normal dağılım çizgisinden fazla sapma göstermediği için artık seri normal dağılım göstermektedir.

4.5.4. Modele ait ilave testler

Bu bölümde, AR(1) modelinin denklemi kullanılarak 580 elemandan oluşan sentetik seri Matlab R2014a yazılımının ‘randn’ komutu ile üretilmiştir.

ξ_1 standart normal rastgele sayısı üretilir AR(1) modeli denkleminde yerine konularak z_1 terimi elde edilir. Aynı şekilde yeni ξ_2 sayısı üretilir ve bir önce hesaplanan z_1 terimini de kullanarak z_2 terimi hesaplanır. Bu şekilde $(40 \times 12) + 100 = 580$ adet sentetik seri elde edilmiş olur. Prosedür gereği sentetik z_1 teriminin tarihi serinin son elemanı olarak kabul edilmesi ile oluşan başlangıç şartlarının etkisini ortadan kaldırmak için

$N' = N_g + N_w$ formülünce ilk $N_w = 100$ adet terim başlangıç şartlarının etkisini ortadan kaldırmak için seriden atılır.

Boyutsuz ve standardize haldeki sentetik z_t serisinden hareketle sentetik $y_{v,\tau}$ periyodik serisini elde etmek için $y_{v,\tau} = \mu_\tau + \sigma_\tau * z_{v,\tau}$ denklemi kullanılır. Daha sonra üretilen sentetik serilere $x_{v,\tau} = e^{y_{v,\tau}}$ ters transformasyon fonksiyonu uygulanarak sentetik akım serileri elde edilir.

4.5.4.a. Modelin güvenilirliğinin kontrolü

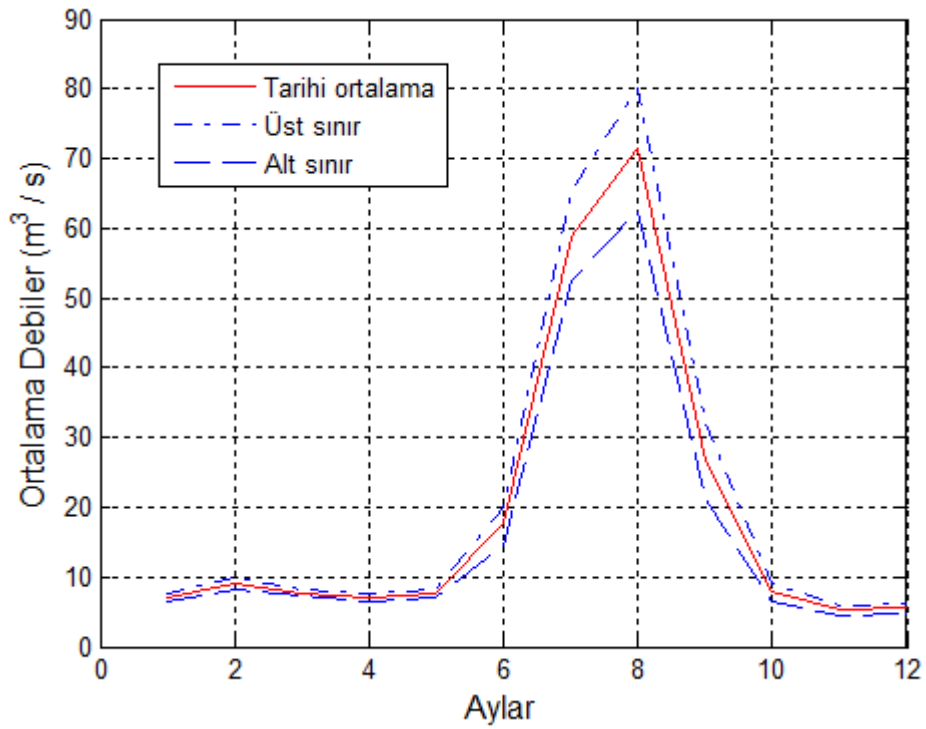
Tarihi seri aylık akımların ve sentetik serilerin periyodik ortalama ve periyodik standart sapma gibi istatistiki karakteristikleri bulunarak tarihi seri aylık akımlara ait %95 güven aralıkları belirlenmiştir. Şekil 4.12'den anlaşıldığı üzere tarihi seri ve üretilen sentetik seriler uyumludur. Tarihi seri değerlerinin güven sınırları içinde kaldığı görülmektedir.

i) Ortalamaların kontrolü

Tarihi seri ile benzer özelliklerde üretilen 100 adet sentetik serinin her ayı için ortalamalar bulunmuştur. Bu ortalamaların standart sapmaları da bulunarak tarihi serinin alt ve üst sınırları hesaplanmıştır (Çizelge 4.19). Üretilen sentetik seriler ile tarih ortalamaların %95 güven aralığı Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Şekilde tarihi ortalamaların bütün aylarda güven sınırları arasında olduğu gösterilmiştir (Şekil 4.12).

Çizelge 4.19. Ortalamaların %95 güven aralıkları

AYLAR	Sentetik Serilerin Ort. Ortalaması	Sentetik Serilerin Ort. Std. Sapmaları	Üst Sınır $\bar{X}+2*\sigma$	Tarihi Seri Ort.	Alt Sınır $\bar{X}-2*\sigma$
1- Ekim	7,0613	0,3248	7,7109	7,0690	6,4116
2- Kasım	8,9468	0,4453	9,8374	9,0245	8,0562
3- Aralık	7,7471	0,3039	8,3549	7,7574	7,1394
4- Ocak	7,1232	0,2477	7,6186	7,1299	6,6279
5- Şubat	7,7087	0,2867	8,2822	7,7113	7,1353
6- Mart	17,5748	1,2791	20,1330	17,7464	15,0166
7- Nisan	59,2659	3,1282	65,5224	58,9078	53,0094
8- Mayıs	71,2714	4,1048	79,4811	71,3545	63,0617
9- Haziran	26,1672	2,8485	31,8642	26,5356	20,4701
10- Temmuz	7,8987	0,6612	9,2212	7,9020	6,5762
11- Ağustos	5,2806	0,4282	6,1369	5,3076	4,4242
12- Eylül	5,5111	0,4190	6,3491	5,5857	4,6732



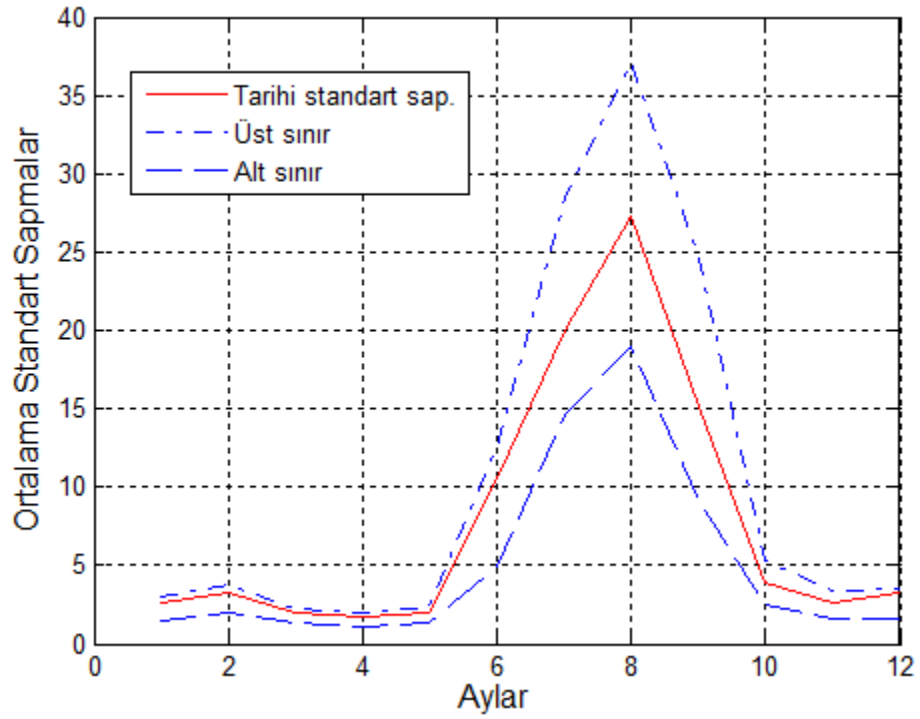
Şekil 4.12. Türetilen sentetik seriler ile tarihi seri aylık akımların ortalamalarının %95 güven aralığı

ii) Standart sapmaların kontrolü

Tarihi seri ile benzer özelliklerde üretilen 100 adet sentetik serinin her ayı için standart sapmaların ortalaması ve bunlara ait standart sapmalar bulunarak tarihi serinin alt ve üst sınırları hesaplanmıştır (Çizelge 4.20). Türetilen sentetik seriler ile tarihi standart sapmaların %95 güven aralığı Şekil 4.13’de gösterilmiştir. Aşağıdaki şekilde tarihi standart sapmaların bütün aylarda güven sınırları arasında olduğu görülmektedir (Şekil 4.13).

Çizelge 4.20. Standart sapmaların %95 güven aralıkları

AYLAR	Sentetik Serilerin Std. Sapmalarının Ort.	Sentetik Serilerin std. Sap. Ort. Std.Sapması	Üst Sınır $X+2*\sigma$	Tarihi Seri Std.Sapmaları	Alt Sınır $X-2*\sigma$
1- Ekim	2,2436	0,3431	2,9298	2,5742	1,5574
2- Kasım	2,8718	0,3990	3,6697	3,2107	2,0738
3- Aralık	1,7963	0,2351	2,2664	1,9627	1,3261
4- Ocak	1,6078	0,2205	2,0488	1,6857	1,1669
5- Şubat	1,8934	0,2601	2,4136	1,9179	1,3732
6- Mart	8,8765	1,5503	11,9771	10,5118	5,7759
7- Nisan	21,0093	3,4957	28,0006	19,9477	14,0179
8- Mayıs	26,9268	4,6325	36,1919	27,2288	17,6618
9- Haziran	16,8630	4,2805	25,4240	15,1091	8,3021
10- Temmuz	3,8659	0,8749	5,6157	3,9054	2,1162
11- Ağustos	2,6181	0,5623	3,7427	2,6668	1,4935
12- Eylül	2,5908	0,5088	3,6083	3,1964	1,5733



Şekil 4.13. Türetilen sentetik seriler ile tarihi seri aylık akımların standart sapmalarının %95 güven aralığı

Bütün istasyonlar için ortalama ve standart sapma gibi iki önemli karakteristiğın, tam olarak korunması modelin doğru seçildiğini ifade etmektedir ve üretilen sentetik serilerden başka çalışmalarda da faydalanılabilir.

4.6. Yıllık Akımların Kontrolü

Tarihi seri aylık akımlarının AR(1) modeli kurularak üretilen sentetik seriler yardımıyla yıllık ortalama akımlar elde edilmiştir.

4.6.1. Ön analiz

Zaman serisi analizleri yapılırken değişkenlerin normal dağıldığı varsayılmaktadır. Bunun için ilk olarak tarihi (orijinal) zaman serisinin normal dağılıp dağılmadığı kontrol edilmelidir. Bu çalışmada, çarpıklık katsayısı testini kullanarak normallik sınaması

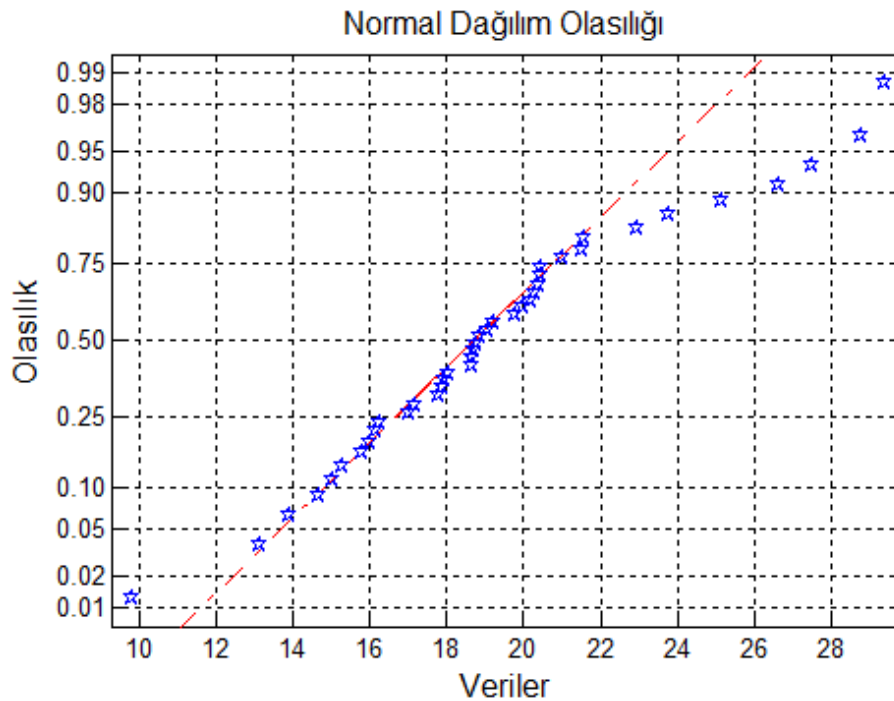
yapılmıştır. Yıllık ortalama akımlarının çarpıklık katsayısı (0,524) olarak hesaplanmış ve Çizelge 3.1'deki ilgili değerden ($0.870 > 0,524$) küçük görülmüştür. Bundan dolayı tarihi seri normal dağılım göstermektedir.

Tarihi seri yıllık ortalama akımlarının normal dağılıp dağılmadığını belirlemek için kullanılacak bazı istatistiksel değerler gösterilmiştir (Çizelge 4.21).

Çizelge 4.21. Tarihi seri yıllık ortalama akımların istatistiki değerleri

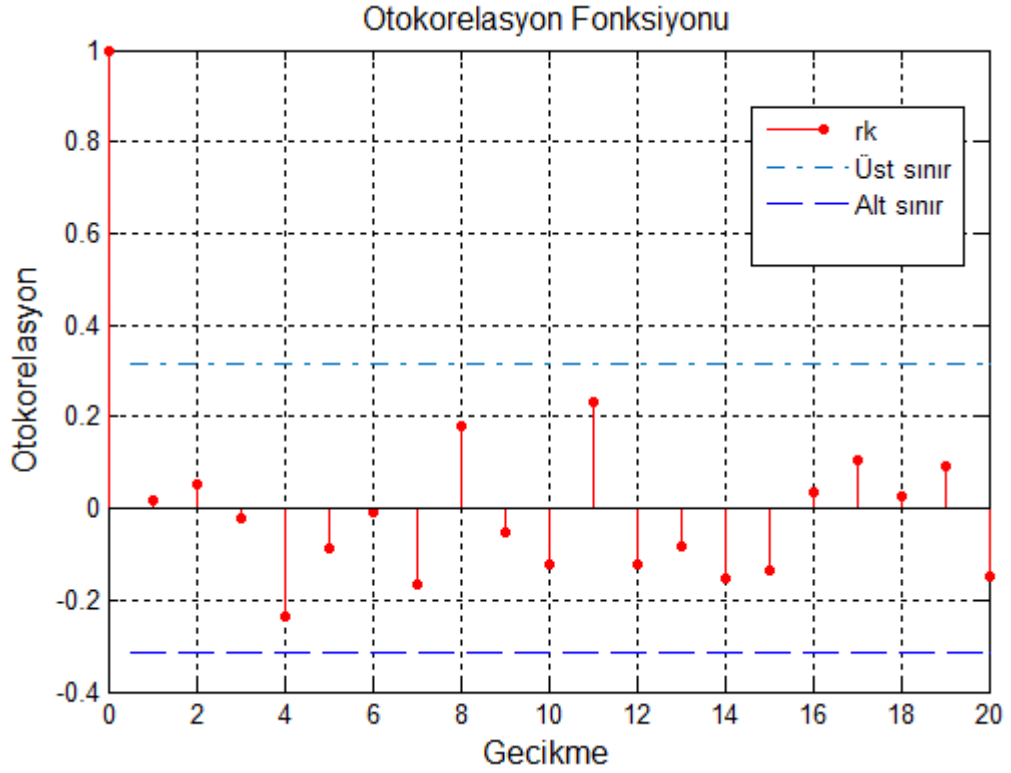
Tarihi seri yıllık ortalama akımlar için	
Ortalama	19,336
Standart sapma	4,156
Çarpıklık katsayısı	0,524

Tarihi seri yıllık ortalama akımlarının normal dağılıp dağılmadığını belirlemeye yardımcı olması için normal dağılım olasılık grafiğinden faydalanılmıştır (Şekil 4.14).



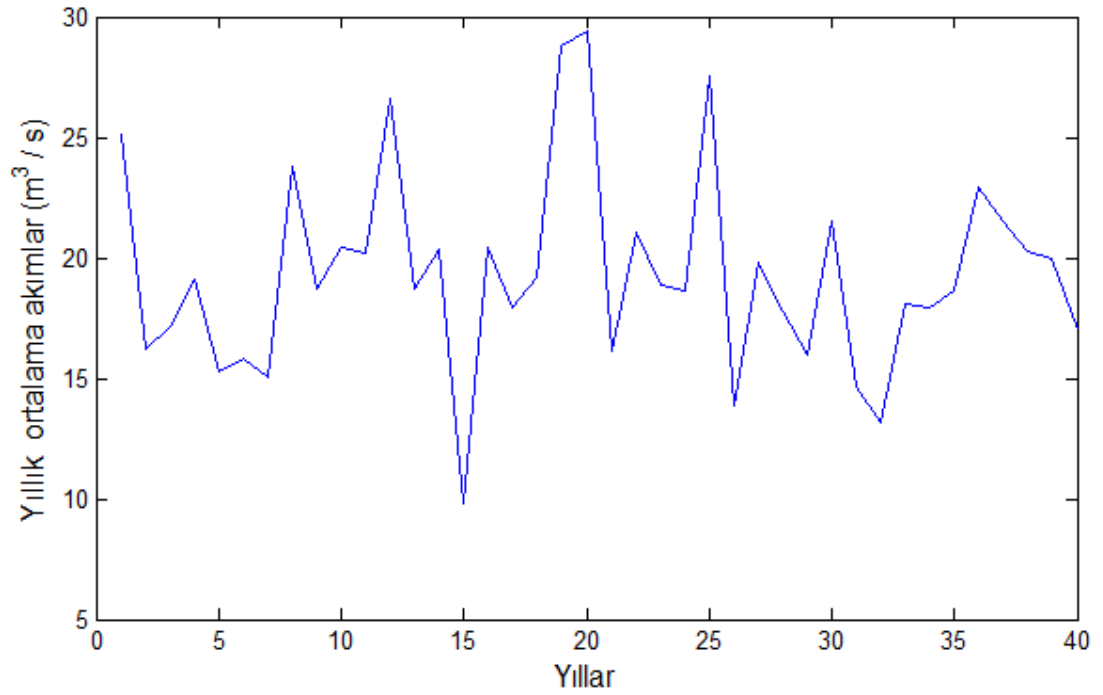
Şekil 4.14. Tarihi seri yıllık ortalama akımların normal dağılımı olasılık grafiği

Şekil 4.14'den görüldüğü üzere yıllık ortalama akımlar normal dağılım çizgisinden ihmal edilebilir derecede sapma gösterdiği için normal dağılım gösterir diyebiliriz.



Şekil 4.15. Tarihi serinin yıllık ortalamalarının otokorelasyon fonksiyonu (ACF)

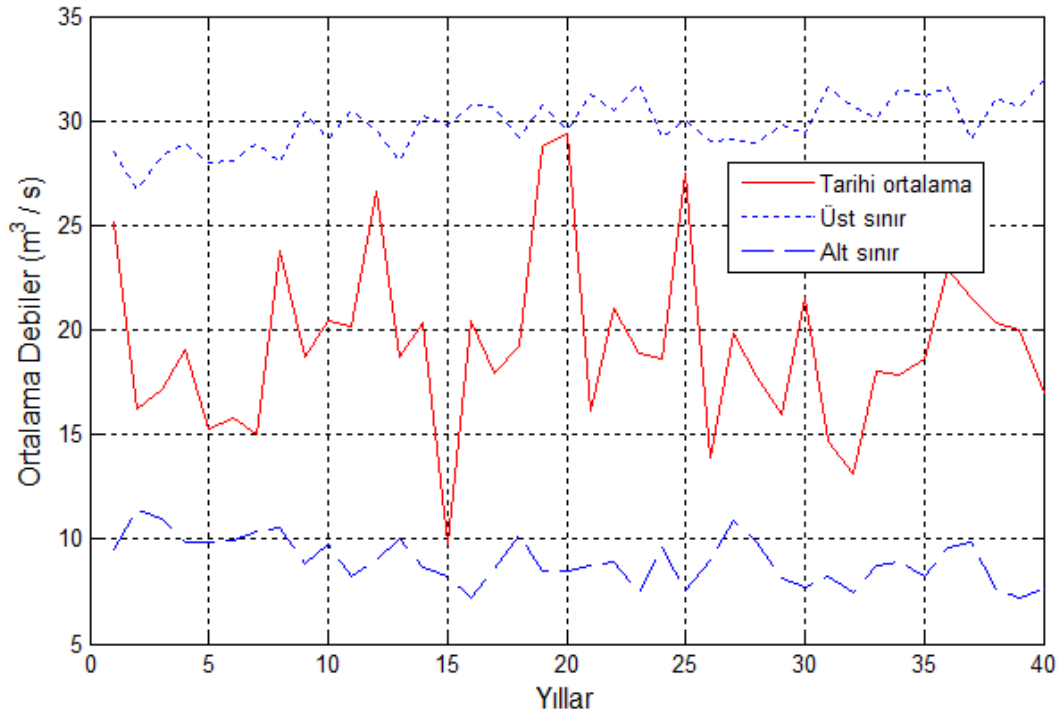
Şekil 4.15'de görüleceği üzere yıllık ortalama akımlar Anderson %95 olasılık limitlerini aşmadığı için içsel bağımlılıkları yoktur. Yani rastgele dağılmışlardır.



Şekil 4.16. Tarihi seri yıllık ortalama akımlar

4.6.2. Ortalamaların kontrolü

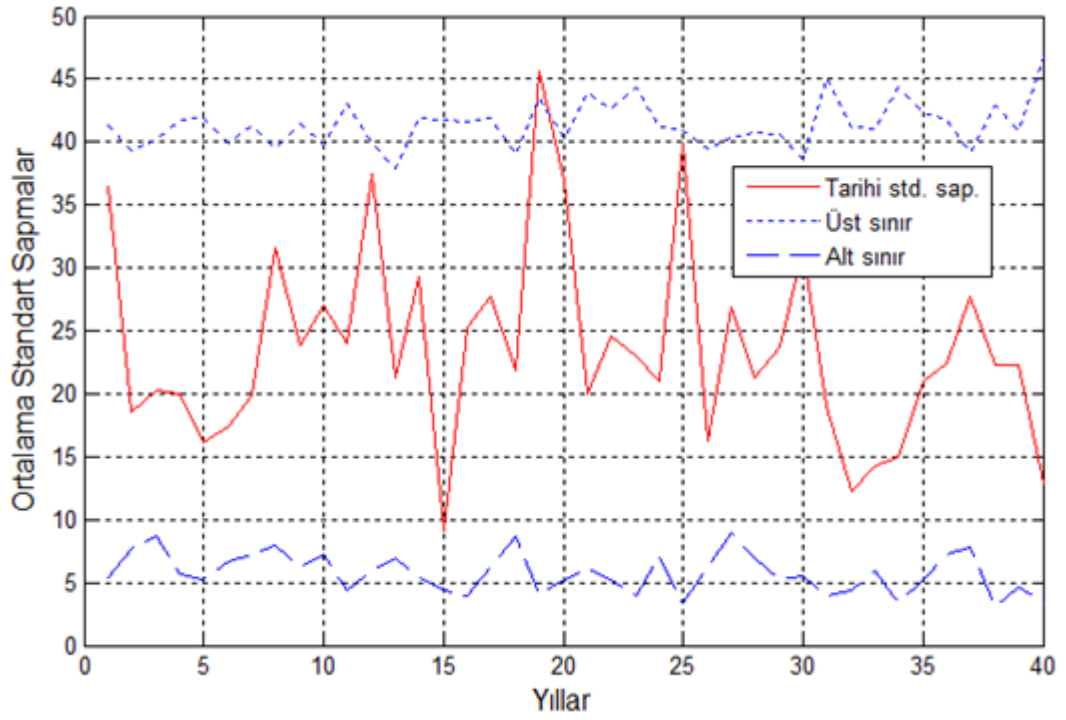
Tarihi seri ile benzer özelliklerde üretilen aylık sentetik serilerden hareketle her bir yıl için ortalama akımlar elde edilmiştir. Bu ortalama akımların standart sapmaları da bulunarak tarihi serinin alt ve üst sınırları hesaplanmıştır. Elde edilen sentetik seriler ile tarih ortalamalarının %95 güven aralığı Şekil 4.17’de gösterilmiştir. Tarihi ortalamaların bütün aylarda güven sınırları arasında olduğu gösterilmiştir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. Türetilen sentetik seriler ile tarihi seri yıllık ortalama akımların ortalamalarının %95 güven aralığı

4.6.2. Standart Sapmaların kontrolü

Tarihi seri ile benzer özelliklerde üretilen aylık sentetik serilerden hareketle her bir yıl için standart sapmaların ortalaması elde edilmiş ve bunlara ait standart sapmalar bulunarak tarihi serinin alt ve üst sınırları hesaplanmıştır (Çizelge 4.22). Elde edilen sentetik seriler ile tarihi standart sapmaların %95 güven aralığı Şekil 18'de gösterilmiştir. Aşağıdaki şekilde tarihi standart sapmaların güven sınırları arasında olduğu görülmektedir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Türetilen sentetik seriler ile tarihi seri yıllık ortalama akımların standart sapmalarının %95 güven aralığı

4.7. Kutu Diyagramı

Bir değişkenin sıklık dağılımını göstermek için kullanılan kutu diyagramı, dağılımın şekli, dağılımın merkezi (medyan) ve değişkenlerin yayılım düzeyini göstermesi açısından kullanışlıdır. Kutu diyagramı, veri için çeyreklere dayalı grafiksel gösterimlerdir.

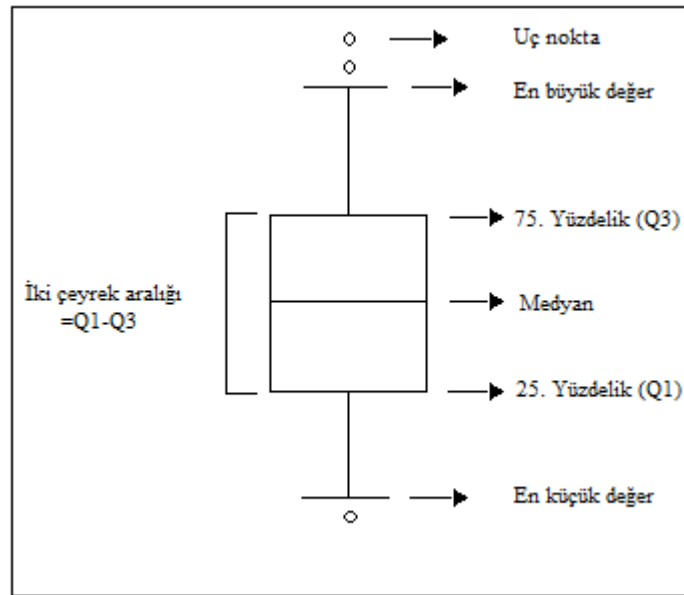
Kutu diyagramının çizimi için;

En küçük değer, alt çeyrek (Q1), ortanca, üst çeyrek (Q3) ve en büyük değer bulunur.

Kutu gösteriminde;

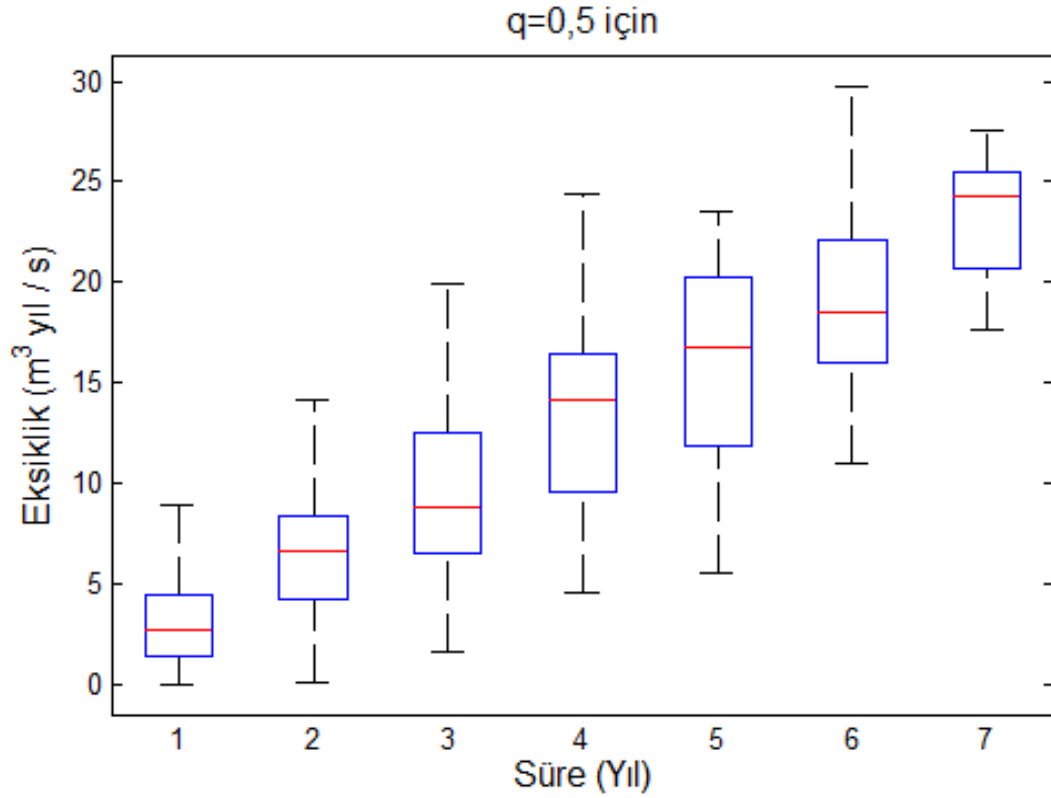
- Kutunun alt çizgisi (1. çeyrek) ve kutunun üst çizgisi (3. çeyrek) kutunun uç noktalarını gösterir.
- Kutunun uzunluğu $Q3 - Q1$ dir. Bu fark, verilerin ortadaki yarısının yayılma ölçüsüdür.
- Ortanca (medyan), kutunun içinde çizgi ile işaretlenir.
- Kutu dışındaki iki çizgi, alt uç değer ve üst uç değere kadar uzatılır.
- Kutu diyagramında, dağılımın merkezi, verilerin yayılma genişliği ve uç değerleri kolaylıkla görülür (Anonim 2015a).

Eğer ortanca çizgisi merkezin altında ise dağılım pozitif çarpık, üstünde ise negatif çarpıktır. Tam ortada yer alması verilerin normal dağıldığını göstermektedir. Kutunun dışında herhangi bir veri bulunmaması ise uç değer olmadığını gösterir (Erilli 2014).



Şekil 4.19. Kutu diyagramının gösterimi

Elde edilen yıllık ortalama sentetik serilerin $q=0,5$ için gidişler analizine tabi tutulmasıyla elde edilen kuraklık süre ve eksikliklerinden, aynı kuraklık uzunluğuna karşılık gelen eksiklik değerlerinin kutu diyagramlar ile veri dağılımının şekli ve uç değerleri görselleştirilmiştir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Sentetik serilerinin yıllık ortalama akımların $q=0,5$ 'den kesilerek kutu diyagramı ile dağılımın görselleştirilmesi

Çizelge 4.22'de sentetik serilerin yıllık ortalamalarının $q=0,5$ için gidişler analizine tabi tutulmasıyla elde edilen kuraklık süre eksikliklerinin Şekil 4.20'de gösterilmeyen süresi 7 yıldan daha büyük olan kuraklık değerleri gösterilmiştir.

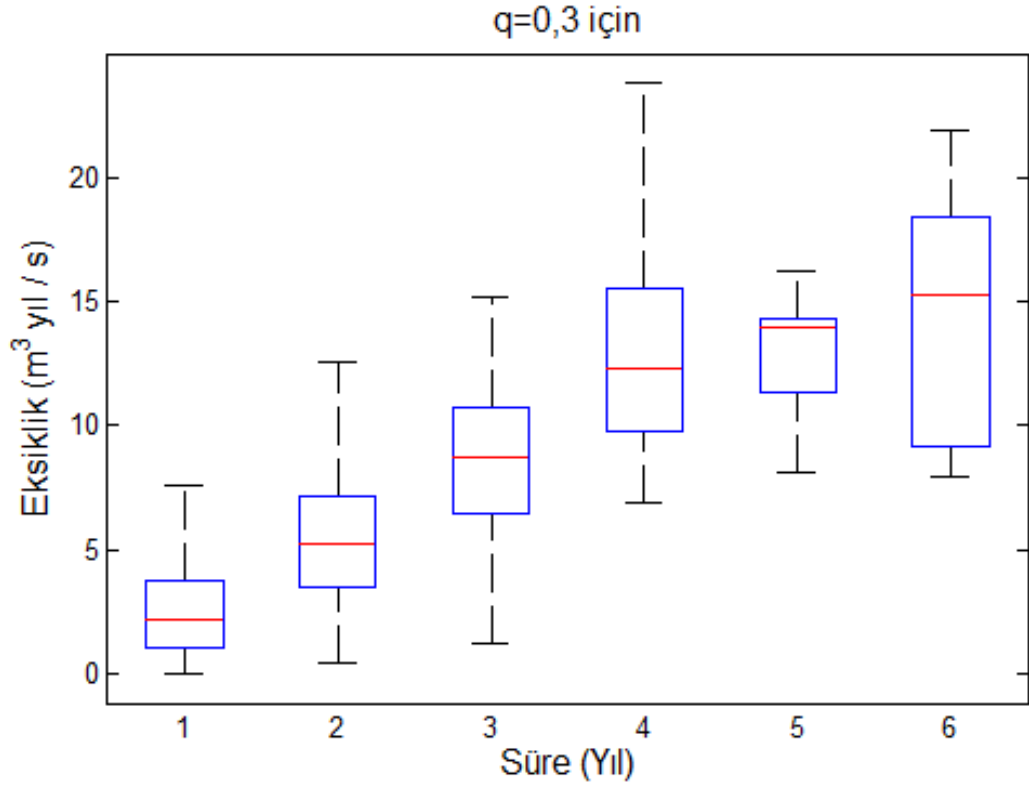
Çizelge 4.22. Sentetik serilerin yıllık ortalamalarının 0,5’den kesilmesi ile görülen diğer kuraklıklar

Süreler (yıl)	Şiddetler (m ³ yıl / s)
8	15,0611
8	17,8751
8	26,8598
8	27,8318
8	28,5489
8	32,2464
8	37,4830
9	28,2587
9	29,4566
10*	41,4171*

* maksimum kuraklıklar

Üretilen sentetik serilerde $q=0,5$ için görülen maksimum kuraklık süre ve eksikliği sırasıyla 10 yıl ve 41,4171 (m³ yıl / s)’dir (Çizelge 4.22).

Elde edilen yıllık ortalama sentetik serilerin $q=0,3$ için gidişler analizine tabi tutulmasıyla elde edilen kuraklık süre ve eksikliklerinden, aynı kuraklık uzunluğuna karşılık gelen eksiklik değerlerinin kutu diyagramlar ile veri dağılımının şekli ve uç değerleri görselleştirilmiştir (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. Sentetik serilerinin yıllık ortalama akımların $q=0,3$ 'den kesilerek kutu diyagramı ile dağılımın görselleştirilmesi

Çizelge 4.23'de sentetik serilerin yıllık ortalamalarının $q=0,3$ için gidişler analizine tabi tutulmasıyla elde edilen kuraklık süre eksikliklerinin Şekil 4.21'de gösterilmeyen süresi 6 yıldan daha büyük olan kuraklık değerleri gösterilmiştir.

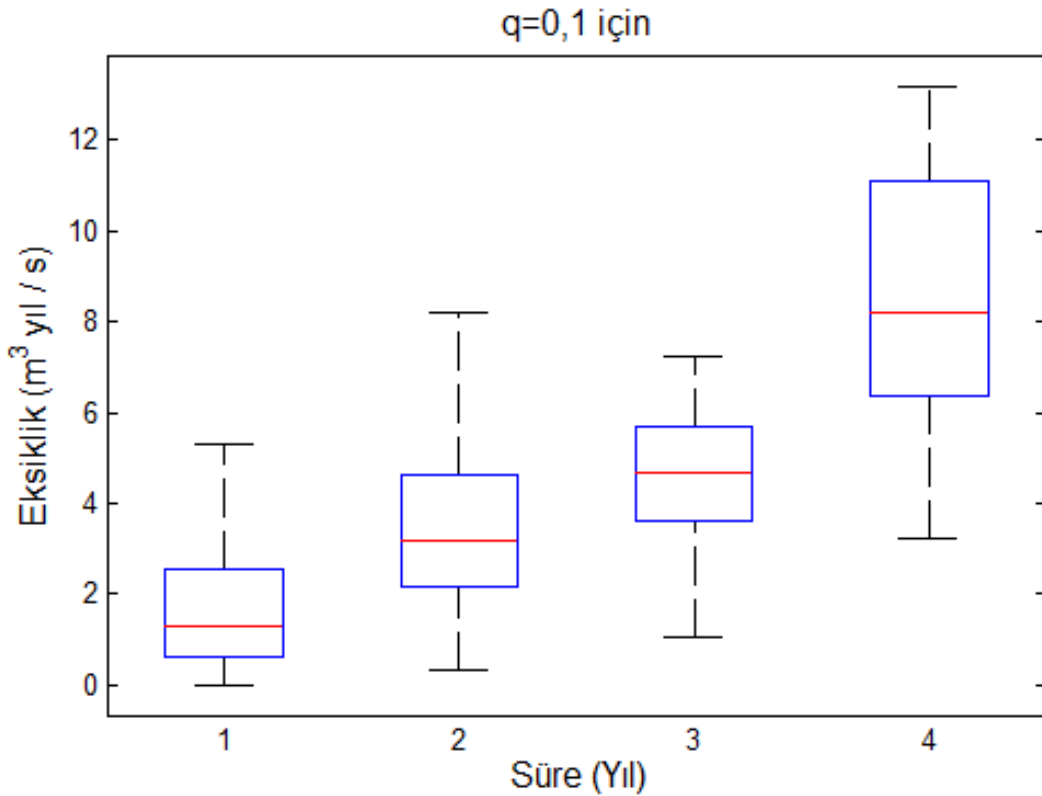
Çizelge 4.23. Sentetik serilerinin yıllık ortalama akımların 0,3 den kesilmesi ile görülen diğer kuraklıklar

Süreler (yıl)	Şiddetler (m ³ yıl / s)
7	17,7894
7	18,1176
7	27,3973
8	16,4006
10*	28,3431*

*maksimum kuraklıklar

Üretilen sentetik serilerde $q=0,3$ için görülen maksimum kuraklık süre ve eksikliği sırasıyla 10 yıl ve $28,3431 \text{ (m}^3 \text{ yıl / s)}$ 'dir (Çizelge 4.23).

Elde edilen yıllık ortalama sentetik serilerin $q=0,5$ için gidişler analizine tabi tutulmasıyla elde edilen kuraklık süre ve eksikliklerinden, aynı kuraklık uzunluğuna karşılık gelen eksiklik değerlerinin kutu diyagramlar ile veri dağılımının şekli ve uç değerleri görselleştirilmiştir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Sentetik serilerinin yıllık ortalama akımların $q=0,1$ 'den kesilerek kutu diyagramı ile dağılımın görselleştirilmesi

Üretilen sentetik serilerde $q=0,1$ için görülen maksimum kuraklık süre ve eksikliği sırasıyla 6 yıl ve $5,32476 \text{ (m}^3 \text{ yıl/s)}$ 'dir.

4.8. Tarihi Seri Aylık Akımlarının Kuraklık Süre ve Eksikliklerine Dağılım Uydurulması

Kapula yöntemine göre, birleşik dağılım fonksiyonları tek değişkenli marjinal dağılımlarının bir fonksiyonudur. Bundan dolayı ilk olarak kuraklık süre ve eksikliklerine tek değişkenli kümülatif dağılım fonksiyonu (CDF) uydurulmalıdır. Genellikle, hidrometrik veriler (yağış akış verileri) için kuraklık sürelerine en iyi uyan dağılımlar eksponansiyel olarak bilinirken, kuraklık eksikliklerine ise en iyi gamma dağılımı uymaktadır (Shiau 2003, 2006; Wong *et al.* 2008). Bu dağılımlardan kuraklık süre ve eksiklik değerlerimizi en iyi temsil edenler sırasıyla eksponansiyel ve gamma dağılımlarıdır. Belirlenen bu dağılımların olasılık yoğunluk fonksiyonları (PDF) aşağıdaki Denklem (4.3) ve (4.4) ile hesaplanabilir.

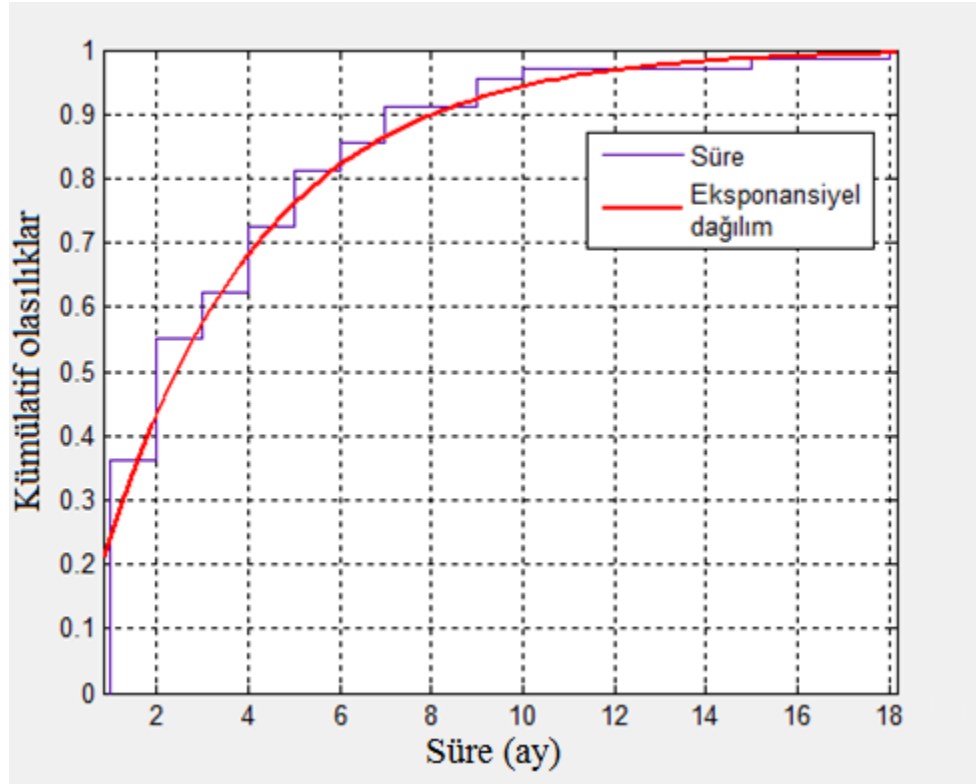
$$f_D(d) = \frac{1}{\lambda} e^{-d/\lambda} \quad , \quad d > 0 \quad (4.3)$$

$$f_S(s) = \frac{s^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} e^{-s/\beta} \quad , \quad s > 0 \quad (4.4)$$

α ve β gamma dağılımının şekil ve ölçek parametreleri, λ ise eksponansiyel dağılımın parametresi olup bu parametreler gözlemlenen veriler yardımıyla tahmin edilmiştir. Bu parametreler Maksimum Likelihood (maksimum olabilirlik) yöntemiyle tahmin edilmektedir.

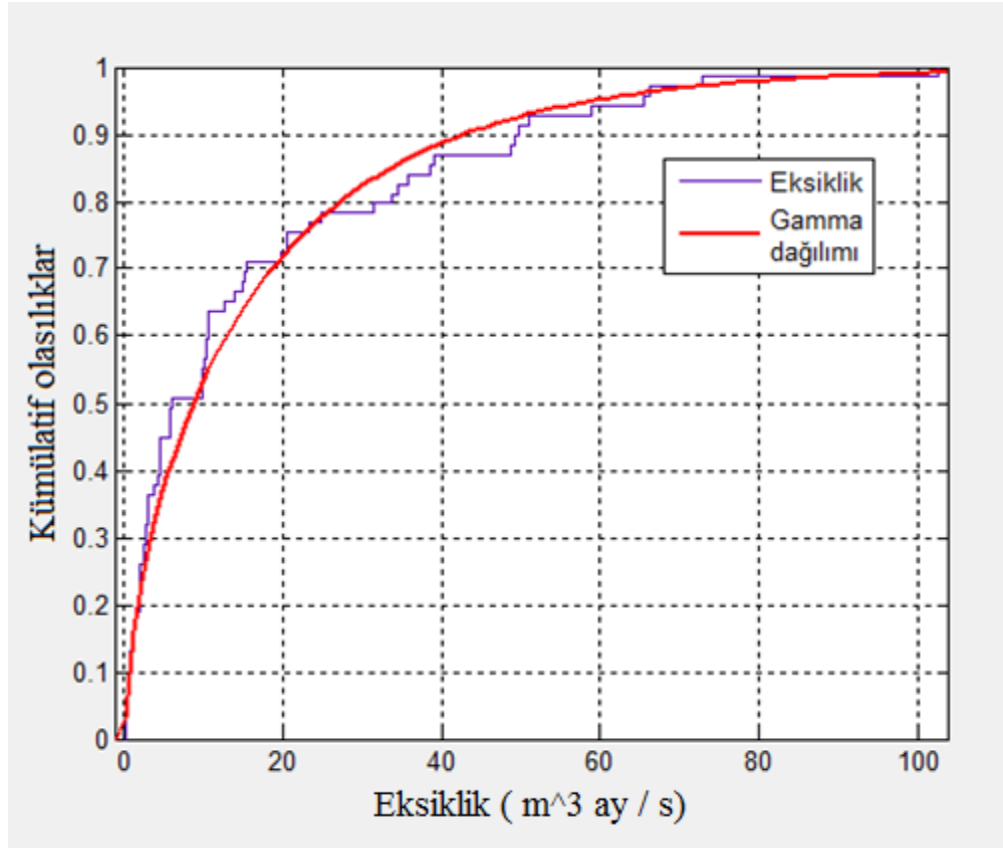
4.8.1. Tarihi seri aylık akımların 0,5'den kesilmesiyle elde edilen süre ve eksikliklerinin kümülatif dağılım fonksiyonları

Tarihi seri aylık akımların $q=0,5$ için gidişler analizine tabi tutulmasıyla elde edilen kuraklık sürelerine eksponansiyel dağılımı uydurulmuş ve süre değerine eşit veya altındaki kuraklıkların gerçekleşme olasılıkları belirlenmiştir (Şekil 4.23).



Şekil 4.23. Tarihi seri akımlarının $q=0,5$ 'den kesilmesiyle elde edilen sürelerle eksponansiyel dağılım uydurulması

Tarihi seri aylık akımların $q=0,5$ için gidişler analizine tabi tutulmasıyla elde edilen eksikliklere gamma dağılımı uydurulmuş ve eksiklik değerine eşit veya altındaki kuraklıkların gerçekleşme olasılıkları belirlenmiştir (Şekil 4.24).



Şekil 4.24. Tarihi seri akımlarının $q=0,5$ 'den kesilmesiyle elde edilen şiddetlere gamma dağılımı uydurulması

Tarihi seri aylık akımların $q=0,5$ kesim seviyesi için gidişler analizi uygulanması ile elde edilen kuraklık süre ve eksikliklerinin sırasıyla eksponansiyel ve gamma dağılımları parametreleri ve güven aralıkları belirlenmiştir (Çizelge 4.24).

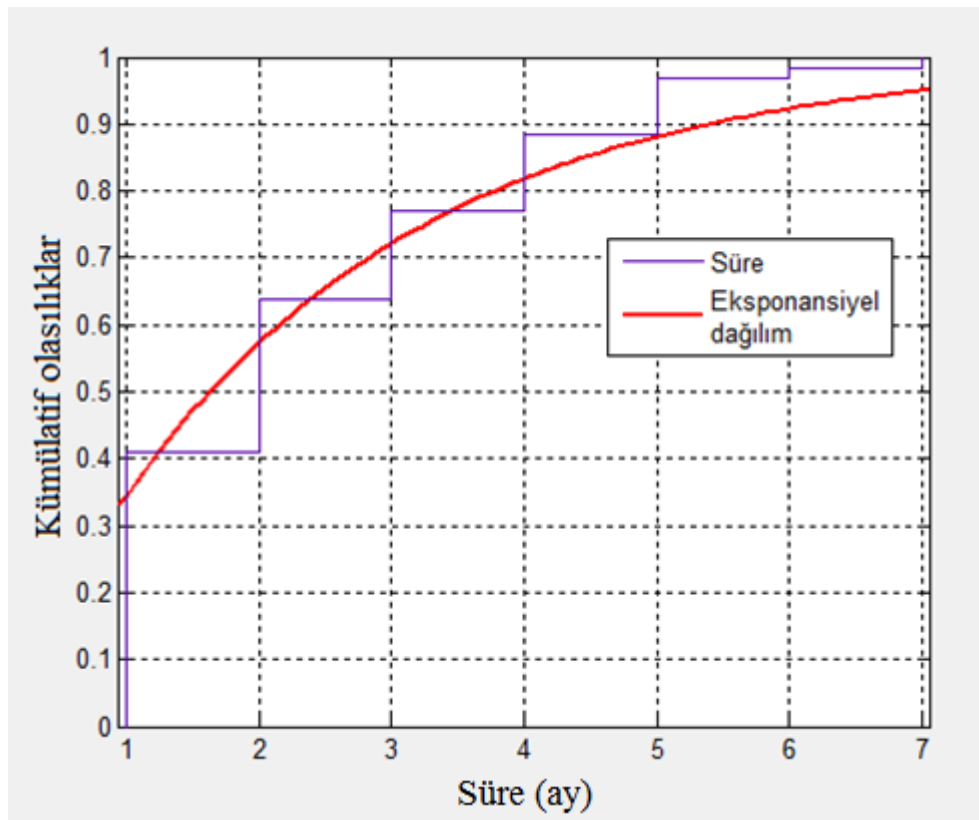
Çizelge 4.24. Tarihi seri aylık akımların $q=0,5$ için elde edilen değerlere ait parametreleri ve güven aralıkları

	Parametreler	Güven aralıkları
Süre	$\lambda=3,47826$	$[2,78402 - 4,47043] *$
Eksiklik	$\alpha=0,607792$	$[0,459104 - 0,804634] *$
	$\beta=27,1133$	$[17,9455 - 40,9648] *$

*Parametrelerin güven aralıkları sıfır içermediği için seçilen dağılımlar uygundur.

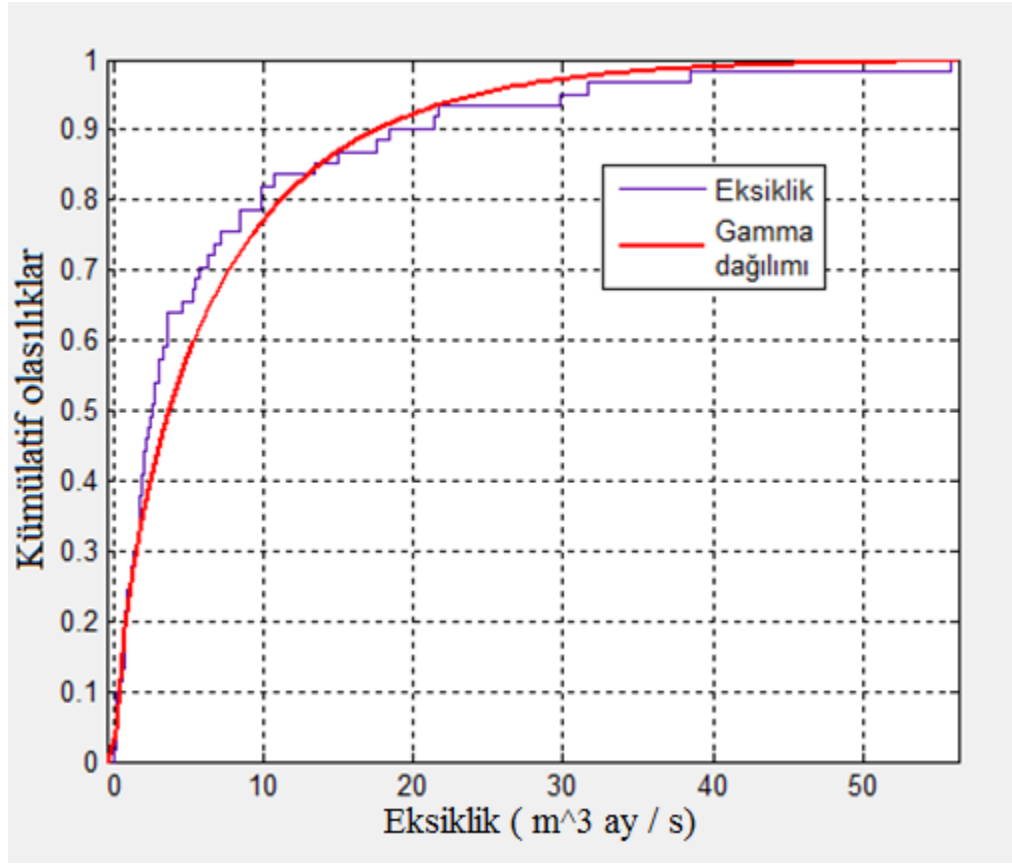
4.8.2. Tarihi seri aylık akımların 0,3'den kesilmesiyle elde edilen süre ve eksikliklerinin kümülatif dağılım fonksiyonları

Tarihi seri aylık akımların $q=0,3$ için gidişler analizine tabi tutulmasıyla elde edilen kuraklık sürelerine eksponansiyel dağılımı uydurulmuş ve süre değerine eşit veya altındaki kuraklıkların gerçekleşme olasılıkları belirlenmiştir (Şekil 4.25).



Şekil 4.25. Tarihi seri akımlarının $q=0,3$ 'den kesilmesiyle elde edilen sürelerle eksponansiyel dağılım uydurulması

Tarihi seri aylık akımların $q=0,3$ için gidişler analizine tabi tutulmasıyla elde edilen eksikliklere gamma dağılımı uydurulmuş ve eksiklik değerine eşit veya altındaki kuraklıkların gerçekleşme olasılıkları belirlenmiştir (Şekil 4.26).



Şekil 4.26. Tarihi seri akımlarının $q=0,3$ 'den kesilmesiyle elde edilen eksikliklere gamma dağılımı uydurulması

Tarihi seri aylık akımların $q=0,3$ kesim seviyesi için gidişler analizi uygulanması ile elde edilen kuraklık süre ve eksikliklerinin sırasıyla eksponansiyel ve gamma dağılımları parametreleri ve güven aralıkları belirlenmiştir (Çizelge 4.25).

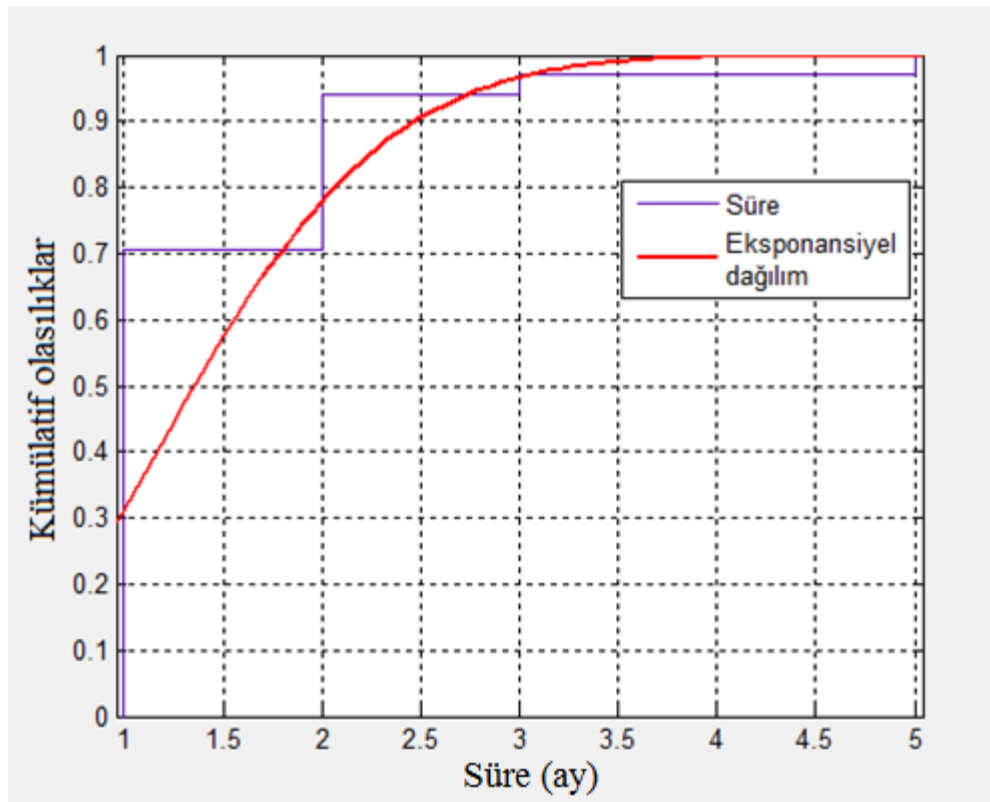
Çizelge 4.25. Tarihi seri aylık akımların $q=0,3$ için elde edilen değerlere ait parametreleri ve güven aralıkları

	Parametreler	Güven aralıkları
Süre	$\lambda = 2,34426$	$[1,85157 - 3,06471] *$
Eksiklik	$\alpha = 0,6134$	$[0,455034 - 0,826882] *$
	$\beta = 11,0017$	$[7,0996 - 17,0485] *$

*Parametrelerin güven aralıkları sıfır içermediği için seçilen dağılımlar uygundur.

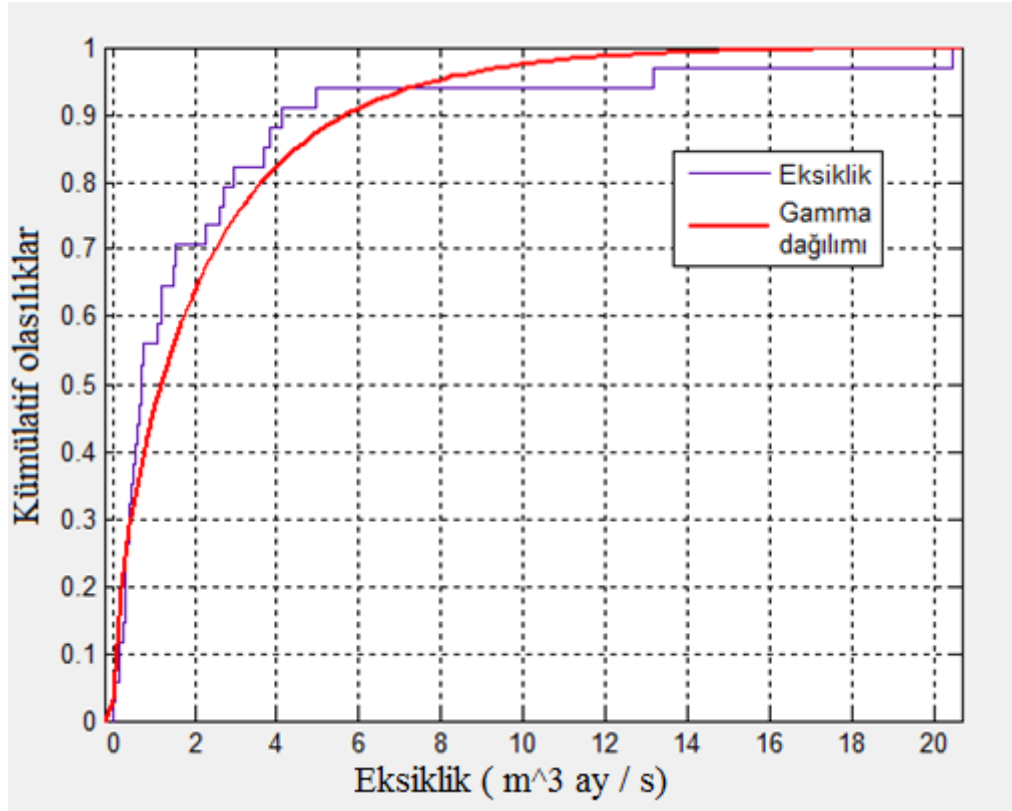
4.8.3. Tarihi seri aylık akımların 0,1'den kesilmesiyle elde edilen süre ve eksikliklerinin kümülatif dağılım fonksiyonları

Tarihi seri aylık akımların $q=0,1$ için gidişler analizine tabi tutulmasıyla elde edilen kuraklık sürelerine eksponansiyel dağılımı uydurulmuş ve süre değerine eşit veya altındaki kuraklıkların gerçekleşme olasılıkları belirlenmiştir (Şekil 4.27).



Şekil 4.27. Tarihi seri akımlarının $q=0,1$ 'den kesilmesiyle elde edilen sürelerle eksponansiyel dağılım uydurulması

Tarihi seri aylık akımların $q=0,1$ için gidişler analizine tabi tutulmasıyla elde edilen eksikliklere gamma dağılımı uydurulmuş ve eksiklik değerine eşit veya altındaki kuraklıkların gerçekleşme olasılıkları belirlenmiştir (Şekil 4.28).



Şekil 4.28. Tarihi seri akımlarının $q=0,1$ 'den kesilmesiyle elde edilen eksikliklere gamma dağılımı uydurulması

Tarihi seri aylık akımların $q=0,1$ kesim seviyesi için gidişler analizi uygulanması ile elde edilen kuraklık süre ve eksikliklerinin sırasıyla eksponansiyel ve gamma dağılımları parametreleri ve güven aralıkları belirlenmiştir (Çizelge 4.26).

Çizelge 4.26. Tarihi seri aylık akımların $q=0,1$ için elde edilen değerlere ait parametreleri ve güven aralıkları

	Parametreler	Güven aralıkları
Süre	$\lambda=1,412$	$[1,03573 - 2,03856]^*$
Eksiklik	$\alpha=0,620$	$[0,415713 - 0,926023]^*$
	$\beta=3,550$	$[1,97768 - 6,37465]^*$

*Parametrelerin güven aralıkları sıfır içermediği için seçilen dağılımlar uygundur

4.9. Çeşitli Kesim Seviyeleri İçin Uygun Kapulaların Belirlenmesi

Kapula sınıfının belirlenmesinde en etkili yöntemler AIC veya BIC değerlerinin karşılaştırılmasıdır. Bu değerlerden en küçük olanı en iyi sınıfı temsil etmektedir. Ayrıca tarihi seri aylık akımların gidişler analizi ile elde edilen kuraklık karakteristikleriyle her bir kapula sınıfı için üretilen rastgele değerlerin dağılımlarının karşılaştırılmasıyla da belirlenebilmektedir. Tarihi seri ile en iyi uyumu gösteren rastgele değerler en uygun kapulayı işaret etmektedir.

Kapula sınıfının doğru seçilmesi bulunan tekerrür aralıklarının doğruluğu açısından son derece önemlidir. Yanlış belirlenen kapula sınıfı ile elde edilen tekerrür aralıkları su yapılarının boyutlandırılmasında ve su kaynakları planlamasında riski artıracaktır.

4.9.1. Tarihi seri aylık akım verilerinin $q=0,5$ 'den kesilmesiyle elde edilen kuraklıklara en iyi uyan kapulanın belirlenmesi

Bayes Bilgi Kriteri :

$$BIC = -2 \ln(L) + k \ln(n) \quad (4.5)$$

n: Örnek boyutu

k: Tahmin edilen parametre sayısı

L: Kapula olasılık dağılım fonksiyonu ile deneysel olasılık dağılım fonksiyonu arasındaki fark

$$C_n(u,v) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I \left(\frac{R_i}{n+1} \leq u \leq \frac{S_i}{n+1} \leq v \right) \quad (4.6)$$

$C_n(u,v)$: Deneysel kapula

I= Gösterge fonksiyonu

n : dizi boyutu

S_i : Sürelerin dizideki sırası

R_i : Şiddetlerin dizideki sırası

$\{(u_1, v_1), \dots, (u_n, v_n)\}$: kapuladan elde edilen rastgele örnekler (aşılma ihtimalleri)

Deneysel kapula, dönüştürülmüş sıralı verilerin deneysel dağılımını ifade eder ve Bayes bilgi kriterinin en gerçekçi değerinin belirlenmesinde kullanılır.

Akaike Bilgi Kriteri :

$$AIC = 2\ln(L) + 2k \quad (4.7)$$

L = Kapula olasılık dağılım fonksiyonu değeri (Kapula pdf)

k = kurulan model parameter sayısı

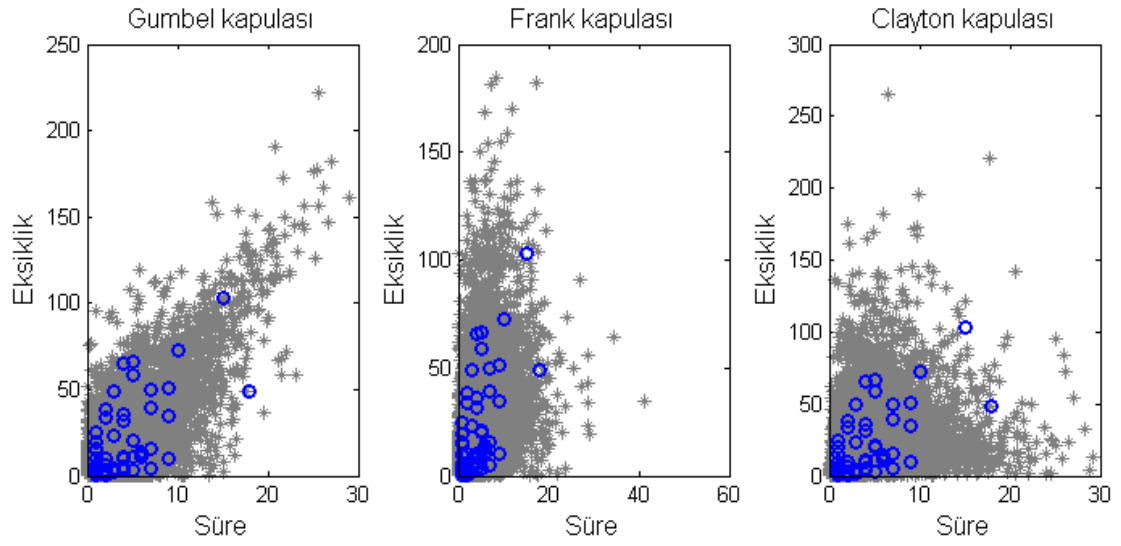
Tarihi seri aylık akımlarının $q=0,5$ için gidişler analizine tabi tutulması ile elde edilen kuraklık süre ve eksikliklerine ait Akaike bilgi kriteri ve Bayes bilgi kriteri değerleri her bir kapula sınıfı için belirlenmiştir (Çizelge 4.27).

Çizelge 4.27. 0,5 kesim seviyesi için AIC ve BIC değerleri

q=0,5 kesim seviyesi için	Gumbel	Frank	Clayton
AIC	-27,8973	-26,6417	-17,4019
BIC	-1552,21	-193,869	-134,484

AIC ve BIC değeri en küçük olan sınıf Gumbel olduğu için en uygun kapula Gumbel kapulasıdır.

Medyan kesim seviyesi tarihi seri süre eksiklik değerleri ve çeşitli kapula sınıflarına göre rastgele 10 000 değer üretilmiştir. Şekil 4.29’de görüldüğü üzere tarihi serinin dağılımına $q=0,5$ kesim seviyesi için en iyi uyan kapula Gumbel kapulasıdır.



Şekil 4.29. 0,5 kesim seviyesinden kesilen tarihi serinin bazı kuraklık karakteristiklerinin rastgele üretilen değerlerle karşılaştırılması

4.9.2. Tarihi seri aylık akımların $q=0,3$ 'den kesilmesiyle elde edilen kuraklıklara en iyi uyan kapulanın belirlenmesi

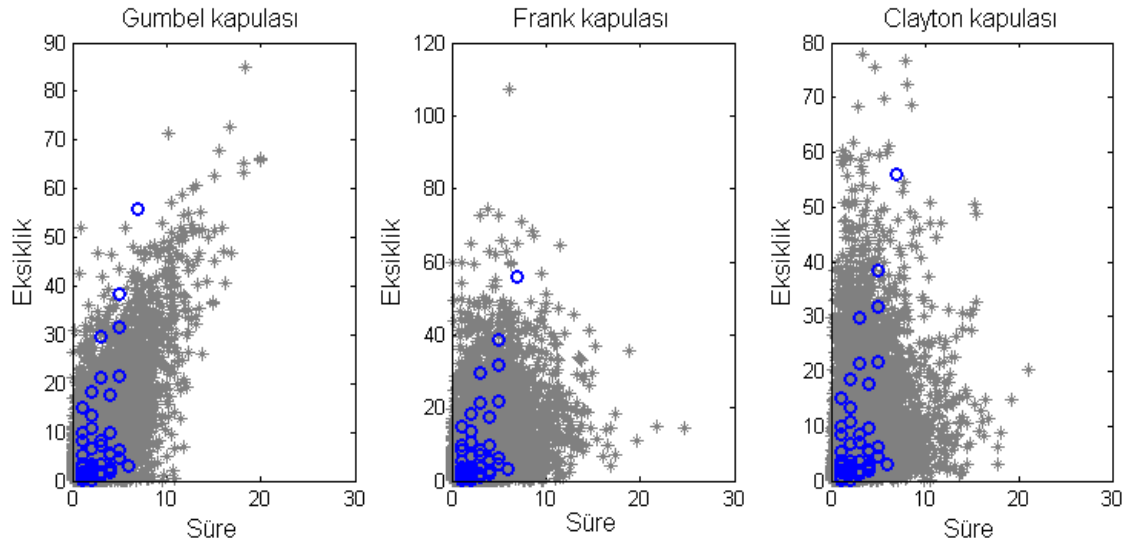
Tarihi seri aylık akımlarının $q=0,3$ için gidişler analizine tabi tutulması ile elde edilen kuraklık süre ve eksikliklerine ait Akaike bilgi kriteri ve Bayes bilgi kriteri değerleri her bir kapula sınıfı için belirlenmiştir (Çizelge 4.28).

Çizelge 4.28. 0,3 kesim seviyesi için AIC ve BIC değerleri

q=0,3 kesim seviyesi için	Gumbel	Frank	Clayton
AIC	-7,8841	-14,1903	-6,7260
BIC	-103,99	-129,571	-98,997

AIC ve BIC değeri en küçük olan sınıf Frank olduğu için en uygun kapula Frank kapulasıdır.

Medyan kesim seviyesi tarihi seri süre eksiklik değerleri ve çeşitli kapula sınıflarına göre rastgele 10 000 değer üretilmiştir. Şekil 4.30'da görüldüğü üzere tarihi serinin dağılımına $q=0,3$ kesim seviyesi için en iyi uyan kapula Frank kapulasıdır.



Şekil 4.30. 0,3 kesim seviyesinden kesilen tarihi serinin bazı kuraklık karakteristiklerinin rastgele üretilen değerlerle karşılaştırılması

4.9.3. Tarihi seri aylık akımların $q=0,1$ den kesilmesiyle elde edilen kuraklıklara en iyi uyan kapulanın belirlenmesi

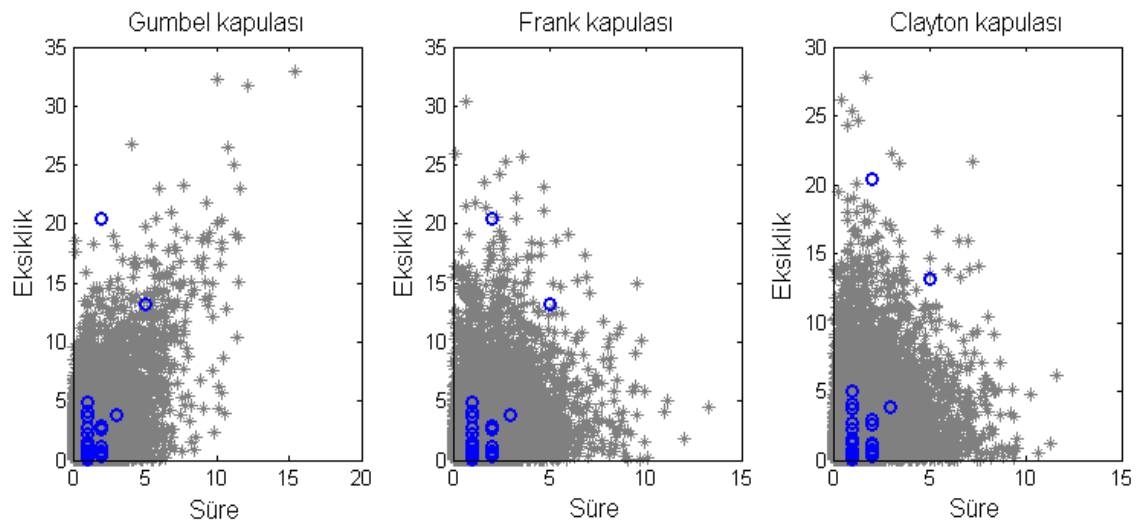
Tarihi seri aylık akımlarının $q=0,3$ için gidişler analizine tabi tutulması ile elde edilen kuraklık süre ve eksikliklerine ait Akaike bilgi kriteri ve Bayes bilgi kriteri değerleri her bir kapula sınıfı için belirlenmiştir (Çizelge 4.29).

Çizelge 4.29. 0,1 kesim seviyesi için AIC ve BIC değerleri

q=0,1 kesim seviyesi için	Gumbel	Frank	Clayton
AIC	-2,9977	-2,2015	0,6822
BIC	-135,63	-41,766	-35,037

AIC ve BIC değeri en küçük olan sınıf Gumbel olduğu için en uygun kapula Gumbel kapulasıdır.

Medyan kesim seviyesi tarihi seri süre eksiklik değerleri ve çeşitli kapula sınıflarına göre rastgele 10 000 değer üretilmiştir. Şekil 4.31’de görüldüğü üzere tarihi serinin dağılımına $q=0,1$ kesim seviyesi için en iyi uyan kapula Gumbel kapulasıdır.



Şekil 4.31. 0,1 kesim seviyesinden kesilen tarihi serinin bazı kuraklık karakteristiklerinin rastgele üretilen değerlerle karşılaştırılması

Kuraklık süre ve eksikliklerinin Mann Kendall τ değeri ve θ parametresi her bir Arşimedyen kapulası için belirlenmiş ve Çizelge 4.30’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.30. Arşimedyen kapulaları için kuraklık süre ve eksiklikleri arasındaki Mann Kendall korelasyon katsayısı ve θ parametresi değerleri

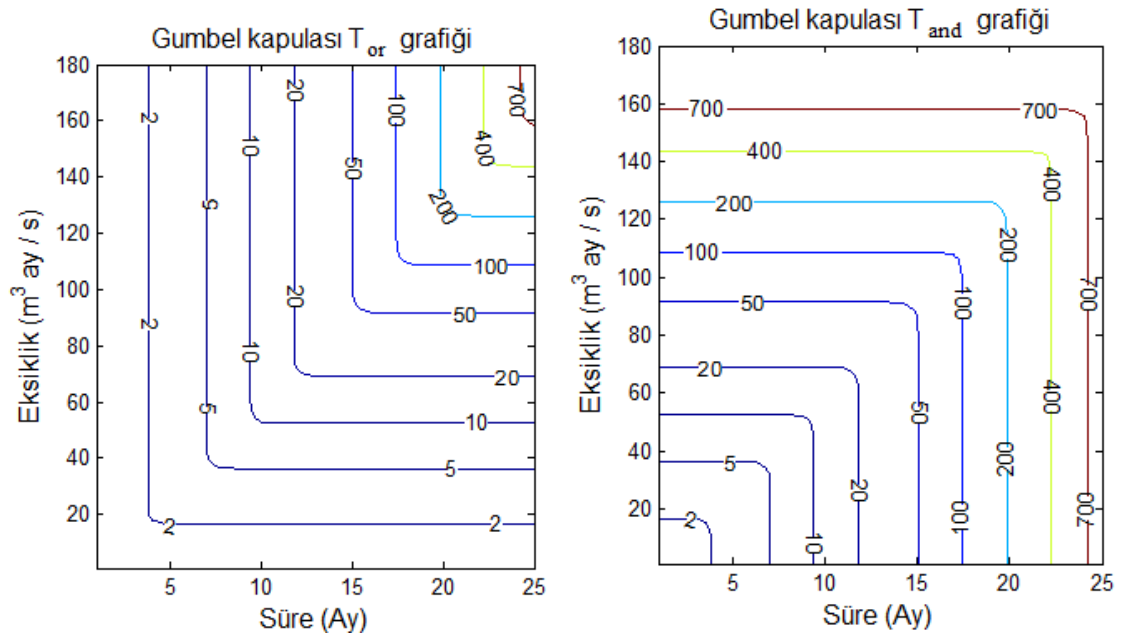
Kesim seviyesi	θ parametreleri			
	τ	Clayton	Gumbel	Frank
0,5	0,9023	18,4716	10,2358	39,2262
0,3	0,8684	13,1962	7,5981	28,6473
0,1	0,6768	4,1889	3,0944	10,4251

4.10. Tekerrür Aralıkları

Su mühendisliği alanında tekerrür aralığı kavramı, önceden belirlenmiş kritik bir olaydan daha ekstrem bir olayın ilk kez meydana gelişine kadar geçen denemelerin sayısı olarak tanımlanır (Benjamin ve Cornell 1970)

4.10.1. Tarihi ve sentetik akımların $q=0.5$ için tekerrür aralıkları

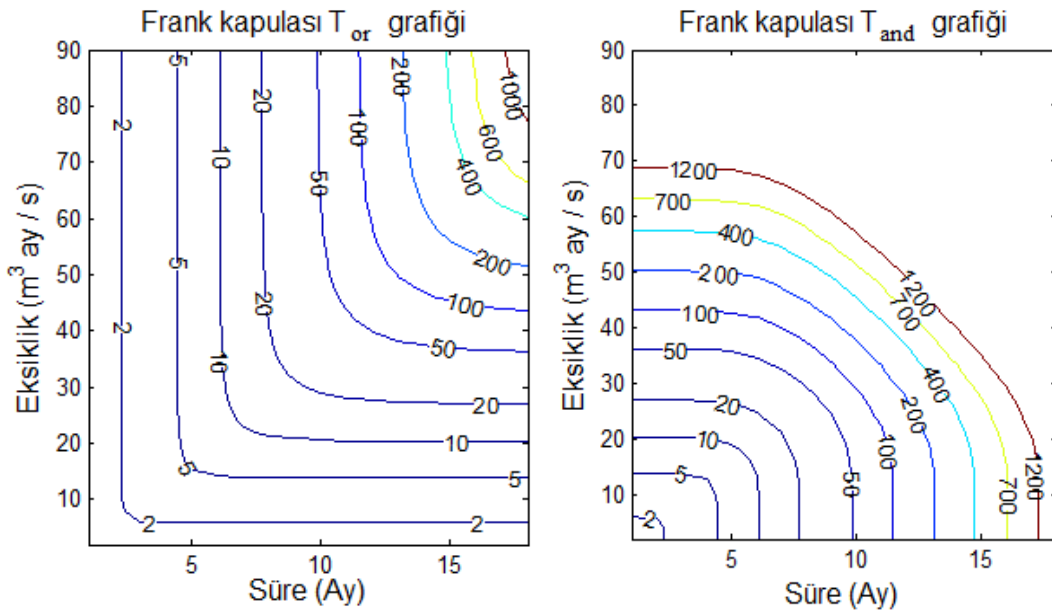
Şekil 4.32’de tarihi ve sentetik akımların $q=0.5$ ’den kesilmesiyle elde edilen Gumbel kapulası T_{or} grafiği, seçilen süre ve eksiklik değerlerinden herhangi birinin görülmesi durumunda meydana gelebilecek kuraklık senaryosunun tekerrür aralığını ifade ederken, T_{and} grafiği ise seçilen süre ve eksiklik değerlerinin her ikisinin de aynı anda meydana gelmesi durumundaki kuraklık senaryosunun tekerrür aralığını ifade etmektedir.



Şekil 4.32. Tarihi akımların $q=0.5$ için elde edilen kuraklıkların Gumbel kapulasıyla bulunan tekerrür aralıkları

4.10.2. Tarihi ve sentetik akımların $q=0.3$ için tekerrür aralıkları

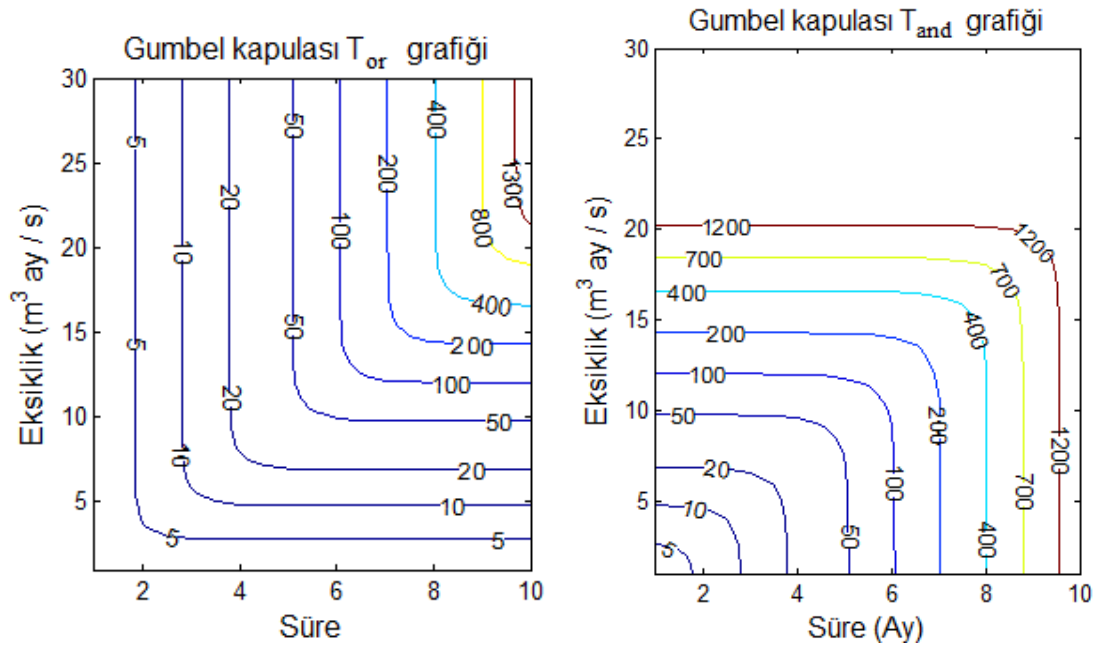
Şekil 4.33’de tarihi ve sentetik akımların $q=0.3$ ’den kesilmesiyle elde edilen Frank kapulası T_{or} grafiği, seçilen süre ve eksiklik değerlerinden herhangi birinin görülmesi durumunda meydana gelebilecek kuraklık senaryosunun tekerrür aralığını ifade ederken, T_{and} grafiği ise seçilen süre ve eksiklik değerlerinin her ikisinin de aynı anda meydana gelmesi durumundaki kuraklık senaryosunun tekerrür aralığını ifade etmektedir.



Şekil 4.33. Tarihi akımların $q=0.3$ için elde edilen kuraklıkların Frank kapulasıyla bulunan tekerrür aralıkları

4.10.3. Tarihi ve sentetik akımların $q=0.1$ için tekerrür aralıkları

Şekil 4.34’de tarihi ve sentetik akımların $q=0.1$ ’den kesilmesiyle elde edilen Gumbel kapulası T_{or} grafiği, seçilen süre ve eksiklik değerlerinden herhangi birinin görülmesi durumunda meydana gelebilecek kuraklık senaryosunun tekerrür aralığını ifade ederken, T_{and} grafiği ise seçilen süre ve eksiklik değerlerinin her ikisinin de aynı anda meydana gelmesi durumundaki kuraklık senaryosunun tekerrür aralığını ifade etmektedir.



Şekil 4.34. Tarihi akımların $q=0,1$ için elde edilen kuraklıkların Gumbel kapasitesiyle bulunan tekerrür aralıkları

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, Karasu Nehri akımlarının gidişler analizi ile belirlenen kurak dönem uzunluklarının iki değişkenli frekans analizi aracılığıyla tekerrür aralıkları saptanmıştır.

Tarihi seri akımlarının Akaike Bilgi Kriterleri karşılaştırılarak sabit parametrelili tek değişkenli AR(1) modeli kurulmuştur. Akımlar gidişler analizine tabi tutularak önemli kuraklık karakteristiklerinden olan kuraklık süre ve eksiklik değerleri elde edilmiştir. Bu kuraklık karakteristiklerinden görülmesi muhtemel daha büyük kuraklıkların belirlenmesi için tarihi akımların matematik modeli kurulmuştur. Akaike Bilgi Kriterleri (AIC) ve Bayes Bilgi Kriterleri kullanılarak bu kuraklıkların bağımlılık yapılarını en iyi ifade eden kapula sınıfı belirlenmiştir. Kuraklıkların bağımlılık yapılarını en iyi Gumbel ve Frank kapulalarının temsil ettiği görülmüştür. Kapula metodu ile süre ve eksikliklerinin frekans analizi yapılarak tekerrür aralıkları belirlenmiştir.

Gumbel ve Frank kapulalarının kuyruk bağımlılıkları güçlü olduğu için hidrolojik modellemede Clayton kapulasına göre daha yatkındırlar.

Çizelge 5.1. Yıllık sentetik akım serileri ve tarihi seri belirlenen kesim seviyeleri için maksimum kuraklık süre ve eksiklikleri

Yıllık tarihi akım serisi			
Kesim seviyesi	q=0,5	q=0,3	q=0,1
Maksimum süre (yıl)	5	3	2
Maksimum eksiklik (m ³ yıl / s)	11,609	7,679	5,019
Yıllık sentetik akım serileri			
Kesim seviyesi	q=0,5	q=0,3	q=0,1
Maksimum süre (yıl)	10	10	6
Maksimum eksiklik (m ³ yıl / s)	41,4171	28,3431	5,3247

Tarihi seri yıllık ortalama akımların $q=0,5$ için görülen maksimum kuraklık süre ve eksikliği sırasıyla 5 yıl ve 11,609 (m^3 yıl / s) iken üretilen sentetik serilerde 10 yıl ve 41,4171 (m^3 yıl / s) dir (Çizelge 5.1).

Tarihi seri yıllık ortalama akımların $q=0,3$ için görülen maksimum kuraklık süre ve eksikliği sırasıyla 3 yıl ve 7,679 (m^3 yıl / s) iken üretilen sentetik serilerde 10 yıl ve 28,3431 (m^3 yıl / s) dir (Çizelge 5.1).

Tarihi seri yıllık ortalama akımların $q=0,1$ için görülen maksimum kuraklık süre ve eksikliği sırasıyla 2 yıl ve 5,019 (m^3 yıl / s) iken üretilen sentetik serilerde 6 yıl ve 5,3247 (m^3 yıl / s) dir (Çizelge 5.1).

Gidişler analizi aracılığıyla elde edilen kurak dönem uzunlukları bize sulama, su getirme, hidroelektrik enerjisi üretimi, ekolojik dengenin düzenlemesi ve su yapıları tasarım çalışmalarının planlamasında fayda sağlayacaktır.

Çizelge 5.2. Tarihi seri aylık akımlarında görülen maksimum kuraklıkları

Tarihi seri aylık akımları $q=0,5$ için			
Yıl	Ay	Süre (ay)	Eksiklik (m^3 ay / s)
1975	Ekim-Mart	18*	48,758
1982	Ağustos-Ekim	15	102,72*
Tarihi seri aylık akımları $q=0,3$ için			
Yıl	Ay	Süre (ay)	Eksiklik (m^3 ay / s)
1983	Kasım-Mayıs	7*	55,833*
Tarihi seri aylık akımları $q=0,1$ için			
Yıl	Ay	Süre (ay)	Eksiklik (m^3 ay / s)
1989	Haziran-Ekim	5*	13,149
1983	Nisan-Mayıs	2	20,455*

*Maksimum kuraklıklar

Tarihi seri aylık akımların $q=0,5$ için görülen maksimum kuraklık süresi 18 ay olup 1975-1976 yıllarının Ekim ve Mart ayları arasında görülmektedir (Çizelge 5.2).

Tarihi seri aylık akımların $q=0,5$ için görülen maksimum eksiklik $102,72 \text{ (m}^3 \text{ ay / s)}$ olup 1982-1983 yıllarının Ağustos ve Ekim ayları arasında görülmektedir (Çizelge 5.2).

Tarihi seri aylık akımların $q=0,3$ için görülen maksimum kuraklık süresi 7 ay olup 1983 yılının Kasım ve Mayıs ayları arasında görülmektedir (Çizelge 5.2).

Tarihi seri aylık akımların $q=0,3$ için görülen maksimum eksiklik $55,833 \text{ (m}^3 \text{ ay / s)}$ olup 1983 yılının Kasım ve Mayıs ayları arasında görülmektedir (Çizelge 5.2).

Tarihi seri aylık akımların $q=0,1$ için görülen maksimum kuraklık süresi 5 ay olup 1989 yılının Haziran ve Ekim ayları arasında görülmektedir (Çizelge 5.2).

Tarihi seri aylık akımların $q=0,1$ için görülen maksimum eksiklik $20,455 \text{ (m}^3 \text{ ay / s)}$ olup 1983 yılının Nisan ve Mayıs ayları arasında görülmektedir (Çizelge 5.2).

Kuraklık süreleri ve eksiklikleri karşılaştırıldığında, en uzun süren kuraklıkların en şiddetli, en şiddetli kuraklıkların ise en uzun olmayabileceği sonucuna varılmıştır.

Çizelge 5.3. Tarihi ve sentetik seri akımlarının $q=0,5$ 'den kesilmesi ile elde edilen maksimum ve ortalama kuraklıkların tekerrür aralıkları

Aylık akımların $q=0,5$ kesim seviyesi için				
	Maksimum süre (ay)	Maksimum eksiklik ($\frac{m^3}{s}$ ay)	T_{and} (yıl)	T_{or} (yıl)
Tarihi seri	18*	102,72*	116,97	78,44
Sentetik seri	27*	195,8*	3030,6	1551,4
	Süre (ay)	Eksiklik ($\frac{m^3}{s}$ ay)	T_{and} (yıl)	T_{or} (yıl)
Sentetik seri	27*	132,84	1551,5	259,75
Sentetik seri	26	195,83*	3030,1	1163,8
	Ortalama süre (ay)	Ortalama eksiklik ($\frac{m^3}{s}$ ay)	T_{and} (yıl)	T_{or} (yıl)
Tarihi seri	3,478	16,479	2,026	1,761
Sentetik seri	3,582	18,916	2,255	1,836

*Maksimum kuraklıklar

Tarihi seriye ait aylık akımların $q=0,5$ kesim seviyesinden kesilmesi ile maksimum süre veya eksiklik değerinin aşılması durumunda görülebilecek kuraklıkların tekerrür aralığı 78,44 yıl iken her iki maksimum süre ve eksiklik değerlerinin birlikte aşılması durumunda gözlenebilecek kuraklığın tekerrür aralığı ise 116,97 yıl olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.3).

Üretilen sentetik akımların $q=0,5$ kesim seviyesinden kesilmesi ile maksimum süre veya eksiklik değerinin aşılması durumunda görülebilecek kuraklıkların tekerrür aralığı 1551,4 yıl iken her iki maksimum süre ve eksiklik değerlerinin birlikte aşılması durumunda gözlenebilecek kuraklığın tekerrür aralığı ise 3030,6 yıl olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.3).

Üretilen sentetik akımların $q=0,5$ kesim seviyesinden kesilmesi ile elde edilen maksimum süre değerine (27 ay) karşılık gelen sentetik serideki eksiklik değerlerinden ($132,84 \text{ m}^3 \text{ ay / s}$), birinin aşılması durumunda görülecek kuraklığın tekerrür aralığı 1551,5 yıl iken ikisinin de aynı anda aşılması durumunda görülecek kuraklığın tekerrür aralığı 259,75 yıl olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.3).

Üretilen sentetik akımların $q=0,5$ kesim seviyesinden kesilmesi ile elde edilen maksimum eksiklik değerine ($195,83 \text{ m}^3 \text{ ay / s}$) karşılık gelen sentetik serideki süre değerlerinden (26 ay), birinin aşılması durumunda görülecek kuraklığın tekerrür aralığı 3030,1 yıl iken ikisinin de aynı anda aşılması durumunda görülecek kuraklığın tekerrür aralığı 1163,8 yıl olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.3).

Tarihi seri akımlarının $q=0,5$ 'den kesilmesi ile elde edilen kuraklık süre ve eksikliklerinin ortalamalarının alınmasıyla elde edilen süre (3,478 ay) ve eksiklik ($16,479 \text{ m}^3 \text{ ay / s}$) değerlerinden, birinin aşılması durumunda görülecek kuraklığın tekerrür aralığı 1,761 yıl iken ikisinin de aynı anda aşılması durumunda görülecek kuraklığın tekerrür aralığı 2,026 yıl olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.3).

Sentetik seri akımlarının $q=0,5$ 'den kesilmesi ile elde edilen kuraklık süre ve eksikliklerinin ortalamalarının alınmasıyla elde edilen süre (3,582 ay) ve eksiklik ($18,916 \text{ m}^3 \text{ ay / s}$) değerlerinden, birinin aşılması durumunda görülecek kuraklığın tekerrür aralığı 1,836 yıl iken ikisinin de aynı anda aşılması durumunda görülecek kuraklığın tekerrür aralığı 2,255 yıl olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.4. Tarihi ve sentetik seri akımlarının $q=0,3$ 'den kesilmesi ile elde edilen maksimum ve ortalama kuraklıkların tekerrür aralıkları

Aylık akımların $q=0,3$ kesim seviyesi için				
	Maksimum süre (ay)	Maksimum eksiklik ($\frac{m^3}{s}$ ay)	T_{and} (yıl)	T_{or} (yıl)
Tarihi seri	7*	55,83*	453,03	14,47
Sentetik seri	18*	91,49*	791 000	1385,3
	Süre (ay)	Eksiklik ($\frac{m^3}{s}$ ay)	T_{and} (yıl)	T_{or} (yıl)
Sentetik seri	18*	83,866	384 160	1 215,8
Sentetik seri	8	91,493*	17 039	22,375
	Ortalama süre (ay)	Ortalama eksiklik ($\frac{m^3}{s}$ ay)	T_{and} (yıl)	T_{or} (yıl)
Tarihi seri	2,344	6,748	2,289	1,947
Sentetik seri	2,88	10,355	3,444	2,488

*Maksimum kuraklıklar

Tarihi seriye ait aylık akımların $q=0,3$ kesim seviyesinden kesilmesi ile maksimum süre veya eksiklik değerinin aşılması durumunda görülebilecek kuraklıkların tekerrür aralığı 14,47 yıl iken her iki maksimum süre ve eksiklik değerlerinin birlikte aşılması durumunda gözlenebilecek kuraklığın tekerrür aralığı ise 453,03 yıl olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.4).

Üretilen sentetik akımların $q=0,3$ kesim seviyesinden kesilmesi ile maksimum süre veya eksiklik değerinin aşılması durumunda görülebilecek kuraklıkların tekerrür aralığı 1385,3 yıl iken her iki maksimum süre ve eksiklik değerlerinin birlikte aşılması durumunda gözlenebilecek kuraklığın tekerrür aralığı ise 791 000 yıl olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.4).

Üretilen sentetik akımların $q=0,3$ kesim seviyesinden kesilmesi ile elde edilen maksimum süre değerine (18 ay) karşılık gelen sentetik serideki eksiklik değerlerinden ($83,866 \text{ m}^3 \text{ ay / s}$), birinin aşılması durumunda görülecek kuraklığın tekerrür aralığı 1 215,8 yıl iken ikisinin de aynı anda aşılması durumunda görülecek kuraklığın tekerrür aralığı 384 160 yıl olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.4).

Üretilen sentetik akımların $q=0,3$ kesim seviyesinden kesilmesi ile elde edilen maksimum eksiklik değerine ($91,493 \text{ m}^3 \text{ ay / s}$) karşılık gelen sentetik serideki süre değerlerinden (8 ay), birinin aşılması durumunda görülecek kuraklığın tekerrür aralığı 22,375 yıl iken ikisinin de aynı anda aşılması durumunda görülecek kuraklığın tekerrür aralığı 17 039 yıl olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.4).

Tarihi seri akımlarının $q=0,3$ 'den kesilmesi ile elde edilen kuraklık süre ve eksikliklerinin ortalamalarının alınmasıyla elde edilen süre (2,344 ay) ve eksiklik ($6,748 \text{ m}^3 \text{ ay / s}$) değerlerinden, birinin aşılması durumunda görülecek kuraklığın tekerrür aralığı 1,947 yıl iken ikisinin de aynı anda aşılması durumunda görülecek kuraklığın tekerrür aralığı 2,289 yıl olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.4).

Sentetik seri akımlarının $q=0,3$ 'den kesilmesi ile elde edilen kuraklık süre ve eksikliklerinin ortalamalarının alınmasıyla elde edilen süre (2,88 ay) ve eksiklik ($10,355 \text{ m}^3 \text{ ay / s}$) değerlerinden, birinin aşılması durumunda görülecek kuraklığın tekerrür aralığı 2,488 yıl iken ikisinin de aynı anda aşılması durumunda görülecek kuraklığın tekerrür aralığı 3,444 yıl olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.4).

Çizelge 5.5. Tarihi ve sentetik seri akımlarının $q=0,1$ 'den kesilmesi ile elde edilen maksimum ve ortalama kuraklıkların tekerrür aralıkları

Aylık akımların $q=0,1$ kesim seviyesi için				
	Maksimum süre (ay)	Maksimum eksiklik ($\frac{m^3}{s}$ ay)	T_{and} (yıl)	T_{or} (yıl)
Tarihi seri	5*	20,455*	1272,3	46,573
Sentetik seri	8*	39,376*	328 090	389,955
	Süre (ay)	Eksiklik ($\frac{m^3}{s}$ ay)	T_{and} (yıl)	T_{or} (yıl)
Sentetik seri	8*	5,50	390,032	12,686
Sentetik seri	4	39,376*	328 090	22,936
	Ortalama süre (ay)	Ortalama eksiklik ($\frac{m^3}{s}$ ay)	T_{and} (yıl)	T_{or} (yıl)
Tarihi seri	1,412	2,203	4,768	3,217
Sentetik seri	1,92	4,285	9,181	5,007

*Maksimum kuraklıklar

Tarihi seriye ait aylık akımların $q=0,1$ kesim seviyesinden kesilmesi ile maksimum süre veya eksiklik değerinin aşılması durumunda görülebilecek kuraklıkların tekerrür aralığı 46,573 yıl iken her iki maksimum süre ve eksiklik değerlerinin birlikte aşılması durumunda gözlenebilecek kuraklığın tekerrür aralığı ise 1272,3 yıl olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.5).

Üretilen sentetik akımların $q=0,1$ kesim seviyesinden kesilmesi ile maksimum süre veya eksiklik değerinin aşılması durumunda görülebilecek kuraklıkların tekerrür aralığı 1385,3 yıl iken her iki maksimum süre ve eksiklik değerlerinin birlikte aşılması durumunda gözlenebilecek kuraklığın tekerrür aralığı ise 791 000 yıl olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.5).

Üretilen sentetik akımların $q=0,1$ kesim seviyesinden kesilmesi ile elde edilen maksimum süre değerine (8 ay) karşılık gelen sentetik serideki eksiklik değerlerinden ($5,50 \text{ m}^3\text{ay/s}$), birinin aşılması durumunda görülecek kuraklığın tekerrür aralığı 12,686 yıl iken ikisinin de aynı anda aşılması durumunda görülecek kuraklığın tekerrür aralığı 390,032 yıl olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.5).

Üretilen sentetik akımların $q=0,1$ kesim seviyesinden kesilmesi ile elde edilen maksimum eksiklik değerine ($39,376 \text{ m}^3\text{ay/s}$) karşılık gelen sentetik serideki süre değerlerinden (4 ay), birinin aşılması durumunda görülecek kuraklığın tekerrür aralığı 22,936 yıl iken ikisinin de aynı anda aşılması durumunda görülecek kuraklığın tekerrür aralığı 328 090 yıl olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.5).

Tarihi seri akımlarının $q=0,1$ 'den kesilmesi ile elde edilen kuraklık süre ve eksikliklerinin ortalamalarının alınmasıyla elde edilen süre (1,412 ay) ve eksiklik ($2,203 \text{ m}^3\text{ay/s}$) değerlerinden, birinin aşılması durumunda görülecek kuraklığın tekerrür aralığı 3,217 yıl iken ikisinin de aynı anda aşılması durumunda görülecek kuraklığın tekerrür aralığı 4,768 yıl olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.5).

Sentetik seri akımlarının $q=0,1$ 'den kesilmesi ile elde edilen kuraklık süre ve eksikliklerinin ortalamalarının alınmasıyla elde edilen süre (1,92 ay) ve eksiklik ($4,285 \text{ m}^3\text{ay/s}$) değerlerinden, birinin aşılması durumunda görülecek kuraklığın tekerrür aralığı 5,007 yıl iken ikisinin de aynı anda aşılması durumunda görülecek kuraklığın tekerrür aralığı 9,181 yıl olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.5).

Sonuçlar incelendiğinde, kuraklık süre ve eksikliğin artmasıyla tekerrür aralığının arttığı, süre ve eksikliğin azalmasıyla tekerrür aralığının azaldığı görülmektedir.

Çizelge 5.6. $q=0,5$ için tarihi seride görülen maksimum kuraklıklar ve görülme riskleri

q=0,5 Kesim seviyesi						
Süre	Eksiklik	Yıl	T_{and}	T_{or}	R_{and} riski(%)	R_{or} riski(%)
18*	48,758	5	116,685	8,553	4,212	46,296
18*	48,758	10	116,685	8,553	8,247	71,159
18*	48,758	15	116,685	8,553	12,112	84,511
18*	48,758	20	116,685	8,553	15,814	91,682
18*	48,758	25	116,685	8,553	19,360	95,533
18*	48,758	30	116,685	8,553	22,757	97,601
18*	48,758	35	116,685	8,553	26,010	98,712
18*	48,758	40	116,685	8,553	29,127	99,308
18*	48,758	45	116,685	8,553	32,112	99,628
18*	48,758	50	116,685	8,553	34,972	99,800
18*	102,72*	5	116,97	78,44	4,202	6,214
18*	102,72*	10	116,97	78,44	8,228	12,042
18*	102,72*	15	116,97	78,44	12,084	17,507
18*	102,72*	20	116,97	78,44	15,778	22,633
18*	102,72**	25	116,97	78,44	19,318	27,441
18*	102,72*	30	116,97	78,44	22,708	31,949
18*	102,72*	35	116,97	78,44	25,956	36,178
18*	102,72*	40	116,97	78,44	29,067	40,144
18*	102,72*	45	116,97	78,44	32,048	43,863
18*	102,72*	50	116,97	78,44	34,903	47,351

*Maksimum kuraklıklar

Çizelge 5.6'da tarihi seri $q=0,5$ için elde edilen maksimum kuraklık süre ve eksikliklerinin her ikisinin aşılması durumunda görülebilecek kuraklıkların 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 ve 50 yıl içerisinde en az 1 kez görülme riskleri (R_{and}) ve kuraklık süre veya eksikliklerinden birinin aşılması durumunda görülebilecek kuraklıkların 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 ve 50 yıl içerisinde en az 1 kez görülme riskleri (R_{or}) gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. $q=0,5$ için sentetik seride görülen maksimum kuraklıklar ve görülme riskleri

q=0,5 Kesim seviyesi						
Süre	Eksiklik	Yıl	T_{and}	T_{or}	R_{and} riski(%)	R_{or} riski(%)
26	195,83*	5	3030,1	1163,8	0,165	0,429
26	195,83*	10	3030,1	1163,8	0,330	0,856
26	195,83*	15	3030,1	1163,8	0,494	1,281
26	195,83*	20	3030,1	1163,8	0,658	1,705
26	195,83*	25	3030,1	1163,8	0,822	2,126
26	195,83*	30	3030,1	1163,8	0,985	2,546
26	195,83*	35	3030,1	1163,8	1,149	2,964
26	195,83*	40	3030,1	1163,8	1,312	3,380
26	195,83*	45	3030,1	1163,8	1,474	3,794
26	195,83*	50	3030,1	1163,8	1,637	4,207
27*	195,83*	5	3030,6	1551,4	0,165	0,322
27*	195,83*	10	3030,6	1551,4	0,329	0,643
27*	195,83*	15	3030,6	1551,4	0,494	0,963
27*	195,83*	20	3030,6	1551,4	0,658	1,281
27*	195,83*	25	3030,6	1551,4	0,822	1,599
27*	195,83*	30	3030,6	1551,4	0,985	1,916
27*	195,83*	35	3030,6	1551,4	1,148	2,231
27*	195,83*	40	3030,6	1551,4	1,311	2,546
27*	195,83*	45	3030,6	1551,4	1,474	2,860
27*	195,83*	50	3030,6	1551,4	1,637	3,173

*Maksimum kuraklıklar

Çizelge 5.7’de sentetik seri $q=0,5$ için elde edilen maksimum kuraklık süre ve eksikliklerinin her ikisinin aşılması durumunda görülebilecek kuraklıkların 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 ve 50 yıl içerisinde en az 1 kez görülme riskleri (R_{and}) ve kuraklık süre veya eksikliklerinden birinin aşılması durumunda görülebilecek kuraklıkların 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 ve 50 yıl içerisinde en az 1 kez görülme riskleri (R_{or}) gösterilmiştir.

Çizelge 5.8. $q=0,3$ için tarihi seride görülen maksimum kuraklıklar ve görülme riskleri

q=0,3 Kesim seviyesi						
Süre	Eksiklik	Yıl	T_{and}	T_{or}	R_{and} riski(%)	R_{or} riski(%)
7*	55,830*	5	453,03	14,47	1,099	30,097
7*	55,830*	10	453,03	14,47	2,186	51,136
7*	55,830*	15	453,03	14,47	3,260	65,843
7*	55,830*	20	453,03	14,47	4,323	76,123
7*	55,830*	25	453,03	14,47	5,375	83,309
7*	55,830*	30	453,03	14,47	6,414	88,333
7*	55,830*	35	453,03	14,47	7,443	91,844
7*	55,830*	40	453,03	14,47	8,460	94,299
7*	55,830*	45	453,03	14,47	9,466	96,015
7*	55,830*	50	453,03	14,47	10,460	97,214

*Maksimum kuraklıklar

Çizelge 5.8’de tarihi seri $q=0,3$ için elde edilen maksimum kuraklık süre ve eksikliklerinin her ikisinin aşılması durumunda görülebilecek kuraklıkların 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 ve 50 yıl içerisinde en az 1 kez görülme riskleri (R_{and}) ve kuraklık süre veya eksikliklerinden birinin aşılması durumunda görülebilecek kuraklıkların 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 ve 50 yıl içerisinde en az 1 kez görülme riskleri (R_{or}) gösterilmiştir.

Çizelge 5.9. $q=0,3$ için sentetik seride görülen maksimum kuraklıklar ve görülme riskleri

q=0,3 Kesim seviyesi						
Süre	Eksiklik	Yıl	T_{and}	T_{or}	R_{and} riski(%)	R_{or} riski(%)
18*	83,866	5	384160	1215,8	0,001	0,411
18*	83,866	10	384160	1215,8	0,003	0,819
18*	83,866	15	384160	1215,8	0,004	1,227
18*	83,866	20	384160	1215,8	0,005	1,632
18*	83,866	25	384160	1215,8	0,007	2,036
18*	83,866	30	384160	1215,8	0,008	2,438
18*	83,866	35	384160	1215,8	0,009	2,839
18*	83,866	40	384160	1215,8	0,010	3,238
18*	83,866	45	384160	1215,8	0,012	3,635
18*	83,866	50	384160	1215,8	0,013	4,031
18*	91,490*	5	791000	1385,3	0,001	0,360
18*	91,490*	10	791000	1385,3	0,001	0,720
18*	91,490*	15	791000	1385,3	0,002	1,077
18*	91,490*	20	791000	1385,3	0,003	1,434
18*	91,490*	25	791000	1385,3	0,003	1,789
18*	91,490*	30	791000	1385,3	0,004	2,143
18*	91,490*	35	791000	1385,3	0,004	2,496
18*	91,490*	40	791000	1385,3	0,005	2,847
18*	91,490*	45	791000	1385,3	0,006	3,197
18*	91,490*	50	791000	1385,3	0,006	3,546

*Maksimum kuraklıklar

Çizelge 5.9’da sentetik seri $q=0,3$ için elde edilen maksimum kuraklık süre ve eksikliklerinin her ikisinin aşılması durumunda görülebilecek kuraklıkların 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 ve 50 yıl içerisinde en az 1 kez görülme riskleri (R_{and}) ve kuraklık süre veya eksikliklerinden birinin aşılması durumunda görülebilecek kuraklıkların 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 ve 50 yıl içerisinde en az 1 kez görülme riskleri (R_{or}) gösterilmiştir.

Çizelge 5.10. $q=0,1$ için tarihi seride görülen maksimum kuraklıklar ve görülme riskleri

q=0,1 Kesim seviyesi						
Süre	Eksiklik	Yıl	T_{and}	T_{or}	R_{and} riski(%)	R_{or} riski(%)
2	20,455*	5	1270	5,562	0,393	62,879
2	20,455*	10	1270	5,562	0,785	86,220
2	20,455*	15	1270	5,562	1,175	94,885
2	20,455*	20	1270	5,562	1,563	98,101
2	20,455*	25	1270	5,562	1,950	99,295
2	20,455*	30	1270	5,562	2,335	99,738
2	20,455*	35	1270	5,562	2,719	99,903
2	20,455*	40	1270	5,562	3,102	99,964
2	20,455*	45	1270	5,562	3,483	99,987
2	20,455*	50	1270	5,562	3,862	99,995
5*	20,455*	5	1272,3	46,573	0,392	10,285
5*	20,455*	10	1272,3	46,573	0,783	19,511
5*	20,455*	15	1272,3	46,573	1,173	27,789
5*	20,455*	20	1272,3	46,573	1,560	35,216
5*	20,455*	25	1272,3	46,573	1,947	41,879
5*	20,455*	30	1272,3	46,573	2,331	47,856
5*	20,455*	35	1272,3	46,573	2,714	53,219
5*	20,455*	40	1272,3	46,573	3,096	58,030
5*	20,455*	45	1272,3	46,573	3,476	62,347
5*	20,455*	50	1272,3	46,573	3,855	66,219

*Maksimum kuraklıklar

Çizelge 5.10'da tarihi seri $q=0,1$ için elde edilen maksimum kuraklık süre ve eksikliklerinin her ikisinin aşılması durumunda görülebilecek kuraklıkların 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 ve 50 yıl içerisinde en az 1 kez görülme riskleri (R_{and}) ve kuraklık süre veya eksikliklerinden birinin aşılması durumunda görülebilecek kuraklıkların 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 ve 50 yıl içerisinde en az 1 kez görülme riskleri (R_{or}) gösterilmiştir.

Çizelge 5.11. $q=0,1$ için sentetik seride görülen maksimum kuraklıklar ve görülme riskleri

q=0,1 Kesim seviyesi						
Süre	Eksiklik	Yıl	T_{and}	T_{or}	R_{and} riski(%)	R_{or} riski(%)
8*	5,5	5	390,032	12,686	1,275	33,671
8*	5,5	10	390,032	12,686	2,535	56,004
8*	5,5	15	390,032	12,686	3,778	70,818
8*	5,5	20	390,032	12,686	5,005	80,644
8*	5,5	25	390,032	12,686	6,216	87,161
8*	5,5	30	390,032	12,686	7,412	91,484
8*	5,5	35	390,032	12,686	8,593	94,351
8*	5,5	40	390,032	12,686	9,759	96,253
8*	5,5	45	390,032	12,686	10,910	97,515
8*	5,5	50	390,032	12,686	12,046	98,352
8*	39,37*	5	328090	389,95	0,002	1,276
8*	39,37*	10	328090	389,95	0,003	2,535
8*	39,37*	15	328090	389,95	0,005	3,778
8*	39,37*	20	328090	389,95	0,006	5,006
8*	39,37*	25	328090	389,95	0,008	6,218
8*	39,37*	30	328090	389,95	0,009	7,414
8*	39,37*	35	328090	389,95	0,011	8,595
8*	39,37*	40	328090	389,95	0,012	9,761
8*	39,37*	45	328090	389,95	0,014	10,912
8*	39,37*	50	328090	389,95	0,015	12,049

*Maksimum kuraklıklar

Çizelge 5.11’de sentetik seri $q=0,1$ için elde edilen maksimum kuraklık süre ve eksikliklerinin her ikisinin aşılması durumunda görülebilecek kuraklıkların 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 ve 50 yıl içerisinde en az 1 kez görülme riskleri (R_{and}) ve kuraklık süre veya eksikliklerinden birinin aşılması durumunda görülebilecek kuraklıkların 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 ve 50 yıl içerisinde en az 1 kez görülme riskleri (R_{or}) gösterilmiştir.

Türkiye yarı kurak bir ülkedir. Kuraklığın sosyo-ekonomik etkileri ve engellenmesinin zor olması nedeniyle dünyada öne çıkan doğal afetlerdendir. Kuraklık şehirlerde içme ve kullanma suyunda, tarım ürünlerinde ve hidroelektrik enerjisi üretiminde büyük

düşüşlere neden olabilir. Bunun için su kaynakları yönetimine, tarım alanlarının korunmasına ve tesislerin planlama ve işletilmesine önem verilmelidir.

Ülkemiz için su, hem hidroelektrik enerji üretimi hem de tarımsal geliri etkilediği için son derece önemli bir kaynaktır. Sulama ve enerji üretmek amaçlı ülkemizde birçok su yapısı inşa edilmiştir. Bu su yapılarının görevlerini yerine getirebilmesi için planlamada tahmin edilen akım değerlerinin hazneye ulaşması gerekmektedir. Ancak küresel iklim değişiklikleri ile buharlaşma artarak daha şiddetli ve uzun süreli kuraklıklar meydana gelecektir. Bu durumdan su kaynakları, tarım ürünleri ve hidroelektrik enerji üretimi büyük ölçüde etkilenecektir. Bu etkiyi en aza indirebilmek için su yapıları plan ve proje aşamasında gelecekte görülebilecek maksimum kuraklıklarında hesaba katılması gerekmektedir.

Kuraklıklar önceden tahmin edilmesiyle, kuraklık riskine karşı hazırlık yapıp önlemlerin alınması ile kuraklık planlamalarına geçilmelidir. Böylece zararı en aza indirebiliriz. Aksi takdirde kuraklık kriz halini alacaktır.

Kuraklıkların tahmin edilmesindeki amaç, kuraklık kriz yönetimi yerine risk yönetimine geçilmesini sağlayarak toplum, çevre ve ülkenin doğacak tehlikelerden zarar görmesine engel olmaktır.

Küresel ısınma ve kuraklıklar, kar örtüsünün ve buzulların erimesine sebep olup akarsu rejimini etkileyerek taşkın ve sel felaketine neden olduğu için hidrolik yapılarının plan ve proje aşamasında da dikkate alınması gerekmektedir.

Bu kötü sonuçlara neden olabilecek kuraklıklara tedbir olarak biriktirme haznelerindeki suların daha verimli olarak dağıtılıp kullanılması ve depolanması gerekmektedir. Sulak bölgelerden kurak bölgelere su taşınarak su kontrolü sağlanmalıdır. Kaynakları sulama ve yıkama işlemlerinde tasarruf edilmelidir.

KAYNAKLAR

- Anaç, S. 2008. İklim değişimi ve kuraklık yönetiminde inovatif yaklaşımlar, 2007- 2011 A New Era and New Horizons, İstanbul Forum Enst. İstanbul.
- Anonim, 2015a. https://tr.wikipedia.org/wiki/Kutu_grafi%C4%9Fi (Erişim tarihi: 12.05.2015)
- Anonim, 2015b. <http://www.mesutunal.com/ucuncu-bolum/erzurum-ilinin-cografi-ozellikleri.html> (Erişim tarihi: 12.07.2014)
- Aytekin, A. B. 2012. İklim Değişikliğinde Düşük Akımların İstatistiksel Analizi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Bacanlı, Ü. G. ve Baran, T., 2006. Uygun Stokastik Model Seçim Ölçütlerinin Değerlendirilmesi, İMO Teknik Dergi, Yazı 264, 3987-4002.
- Bayazıt, M. and Şen, Z.. 1977. Dry period statistics of monthly flow models. Proc.3rd Int. Symp on Hydrology, Fort Collins, Colo
- Bayazıt, M. ve Oğuz, B., 2005. Mühendisler için İstatistik, İTÜ, İstanbul.
- Bayazıt, M. ve Önöz, B., 2008. Taşkın ve Kuraklık Hidrolojisi, Nobel Yayın Dağıtım, İstanbul
- Bayazıt, M. ve Şen, Z., 1976. Hidrolojik süreçlerin kurak devre özellikleri, Türkiye Bilimsel Araştırmalar Kurumu, Mühendislik Araştırma Grubu, proje no 409, İTÜ. İstanbul.
- Bayazıt, M., 1973. Yıllık ortalama akış serilerinin istatistiksel analizi, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Mühendislik Araştırma Grubu, Proje No: MAG-307, İTÜ. İstanbul
- Bayazıt, M., 1999. Hidroloji, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Bayazıt, M., Oğuz, B. and yıldız, D., İ., 1994. Dry period analysis of the water supply system of İstanbul, Tr. J of Engineering and Environmental Sciences, 18, 225-232.
- Bayazıt, M.. 1974. Türkiye akarsularındaki kurak devrelerin istatistiksel analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi Bülteni, Vol. 27, No. 2, 24-35.
- Bayazıt, M., 1981. Hidrolojide İstatistik Yöntemler. İTÜ Matbaası, İstanbul.
- Baykan, O., 1994. Büyük Menderes Havzası Kuraklık Eğilimleri, Jeotermal Uygulamalar Sempozyumu "94", PAÜ, Denizli, 383-397, 27-30 Eylül.
- Benjamin, J. R., and Cornell, C. A. (1970). Probability, statistics, and decision for civil engineers. McGraw-Hill, New York.
- Beran, M.A. and Rodire, J.A. (1985) : Hidrological Aspect of Drought ,Studies and Reports in Hydrology , 39, UNESCO-WMO.
- Box, G. E. P., and Jenkins, G. M., 1970, Time Series Analysis, Forecasting and Control, Holden-Day, San Francisco.
- Can, İ. Tosunoğlu. F. and Kahya, E. (2012) Daily streamflow modelling using autoregressive moving average and artificial neural networks models: case study of Çoruh basin, Turkey. Water and Environment Journal 26, 567–576
- Can, İ. ve Yerdelen, C., 2005. Susurluk Havzası'nda Mustafa Kemal Paşa Çayı'nın aylık akımlarının otoregresif hareketli ortalama modeli. S.Ü. Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi, 20(3).

- Chen, L., Singh, V., Guo, S., Mishra, A., and Guo, J. (2013). "Drought Analysis Using Copulas." *J. Hydrol. Eng.*, 18(7), 797–808.
- de Michele, C., and G. Salvadori (2003), A generalized pareto intensity-duration model of storm rainfall exploiting 2-Copulas, *Journal of Geophysical Research*, 108 (D2).
- de Michele, C., G. Salvadori, M. Canossi, A. Petaccia, and R. Rosso (2005), Bivariate statistical approach to check adequacy of dam spillway, *Journal of Hydrologic Engineering*, 10(1), 50–57.
- Demarta, S., McNeil, A.J., 2005. The t Copula and related Copulas. *Int. Stat. Rev.* 73 (1), 111–129.
- Denuit, M., Dhaene, J., Goovaerts, M.J. and Kaas, R. (2005). *Actuarial Theory for Dependent Risks: Measures, Orders and Models*. Wiley, New York.
- Dikici, M., 2009 . İstanbul Yağışlarının Kurak Dönem Analizi, Haziran İstanbul, ss.2
- Dönmez C., 2008. Envisat MERIS Uydu Verileri Kullanarak Seyhan Yukarı Havzası Ormanlarında Meşcere Kapalılığının Haritalanması, Yüksek Lisans Tezi, 114sf., Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı.
- Dracup, J.A., Lee, K.S., Paulson, E.G., 1980. On the definition of droughts. *Water Resour. Res.* 16, 297e302. Loaiciga, H., Leipnik, R., 1996. Stochastic renewal model of low-flow streamflow sequences. *Stoch. Hydrol. Hydraulics* 10 (1), 65-85.
- Dracup, J.A., Lee, K.S., Paulson and JR. E. G. (1980a): On the Statical Characteristic of Droughts Event , *Water Resour. Res.*, 16(2), 289-296.
- Dupuis, D. (2007). "Using Copulas in Hydrology: Benefits, Cautions, and Issues." *J. Hydrol. Eng.* 12, Special Issue: Copulas in Hydrology, 381–393.
- EİE, 2000, Su Akımları Aylık Ortalamaları, Ankara.
- Erilli, N. A., 2014. Değişkenlik ve Eğilim Ölçütleri Olasılık Teorisi – İstatistiksel Dağılımlar, 285, Ankara
- Feller, W. (1968). *An İntroduction to Probability Teory and Its Applications*, 3. Baskı, 1, Wiley.
- Genest C, Favre AC (2007). "Everything You Always Wanted to Know about CopulaModeling but Were Afraid to Ask." *Journal of Hydrologic Engineering*, 12, 347–368.
- Govindaraju, R. S., and Niyogi, D. (2009). "A spatio-temporal drought analysis for the midwestern U.S." *Proc., World Environmental and Water Resources Congress*, ASCE, Reston, VA.
- Kadioğlu, M., 2008. Kuraklık Kıranı Risk Yönetimi, Kadioğlu, M. ve Özdamar, E., eds., 'Afet Zararlarını Azaltmanın İlkeleri', JICA Türkiye Ofisi Yayınları No: 2, Ankara. Kao, S.-C.,
- Karabörk, M. Ç. 1997. Yıllık ve aylık akımların stokastik modellemesi. Yüksek Lisans Tezi ,Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 90, Konya.
- Kömüşçü, A.Ü, A. Erkan, E. Turgu. 2002. Normalleştirilmiş yağış indeksi metodu ile Türkiye'de kuraklık oluşumunun coğrafik analizi, DMI Genel Müdürlüğü Araştırma ve Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı Yayını, Ankara.
- Kwak, J., Kim, Y., Lee, J., and Kim, H. (2012) Analysis of Drought Characteristics Using Copula Theory. *World Environmental and Water Resources Congress 2012*: pp. 1762-1771.

- Lee T, Modarres R, Ouarda TBMJ (2012) Data-based analysis of bivariate copula tail dependence for drought duration and severity.
- Lee, K. S., Sadeghipour, J. and Dracup, J. A., 1986. An Approach for frequency analysis of multiyear drought durations, *Water Resur. Res.*, Vol. 22, No. 5, 655-662 p.
- Lee, T. and Salas, J. (2008) Using Copulas for Stochastic Streamflow Generation. World Environmental and Water Resources Congress 2008: pp. 1-10.
- Liu, C. L., Q. Zhang, V. P. Singh and Y. Cui (2011), Copula-based evaluations of drought variations in Guangdong, South China, *Natural Hazards*, 59 (3), 1533-1546
- Loucks, D. P., Stedinger, J. R., Haith, D. A., (1981). *Water Resource Systems Planning and Analysis*, Prentice-Hall, N. J.
- Mishra, A.K., Desai, V.R., Singh, V.P., 2007. Drought forecasting using a hybrid stochastic and neural network model. *J. Hydrol. Eng.* 12 (6), 626-638.
- Nelsen, R. B. (1998). *An Introduction to Copulas*. Springer-Verlag, New York.
- Nelsen, R.B., (1999) ``An Introduction to Copula'', *Springer Verlag*, New York, 5-43, 89-121, 125-179.
- Nelsen. R. B., 2006. *An introduction to Copulas*, second ed. Siproinger, New York, *Lecture Notes in Statistics*.
- Oğuz, B. E., 1983. Yıllık Akımların Gidiş Özelliklerini Benzeştiren Bir Matematik Modelin Araştırılması, Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul.
- Reddy, M.J., Ganguli, P. Spatio-temporal analysis and derivation of copula-based intensity-area-frequency curves for droughts in western Rajasthan (India) (2013) *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 27 (8), pp. 1975-1989.
- Rodriguez, J.C., 2007. Measuring financial contagion: a Copula approach. *J. Empirical Finance* 14, 401–423.
- Sadri, S. and Burn, D. (2014). "Copula-Based Pooled Frequency Analysis of Droughts in the Canadian Prairies." *J. Hydrol. Eng.*, 19(2), 277–289.
- Salas, J. D. Delleur, J. W., Yevjevich, V., Lane, W. L. 1980. *Applied Modelling of Hydrologic Time Series*, Water Resources Publications, Colorado 80161, U.S.A.
- Saldarriaga, J. and Yevjevich, V., 1970. Application of run lenghts to hydrologic series, *Hydrology papers no.40 Colo. St. Univ.*
- Sert, M., 1991. Simulation of the multi-reservoir systems operation in water resources planning. *Doğa*, 15, 145-158.
- Shiau, J.T., (2003). Return period of bivariate disributed hydrological events. *Stoch Env Res Risk Assess* 17(1-2), 47-52
- Shiau, J.T., Shen, H.W., (2001). Recurrence analysis of hydrologic droughts of differing severity. *J. Water Resour. Plan. Manag.* 127 (1), 30e40.
- Shiau, J. T. (2006). "Fitting drought duration and severity with two dimensional Copulas." *Water Resour. Manage.*, 20(5), 795–815.
- Shiau, J. T., and Modarres, R. (2009). "Copula-based drought severity duration-frequency analysis in Iran." *J. Meteorol. Appl.*, 16(4),481–489.
- Shiau, S., Jenq-Tzong; Feng, and N. Saralees (2007), Assessment of hydrological droughts for the Yellow River, China, using copulas, *Hydrological Processes*, 21, 2157–2163,
- Sırdaş, S. ve Şen, Z., 2003. Meteorolojik Kuraklık Modellemesi ve Türkiye Uygulaması, İTÜ Dergisi, Mühendislik, Cilt:2, Sayı:2, 95-103 s.

- Sırdaş, S., 2002. Meteorolojik Kuraklık Modellemesi ve Türkiye Uygulaması , Kasım İstanbul, 30-84
- Singh, V. P., and L. Zhang (2007), IDF curves using Frank Archimedean Copula, *Journal of Hydrologic Engineering*, 6, 651–662.
- Sklar, A. (1959). “n-dimensional distribution functions and their margins.” *Publications Institute of Statistics University of Paris* , Vol. 8, Paris, 229–231 .
- Şaylan, L., K. Sönmez ve J. Eitzinger. 1994. Bitki-İklim Modelleri Tarımsal Kuraklığın Analizine Bir Çözüm Olabilir Mi? I. Hidrometeoroloji Sempozyumu, 1994, İstanbul Teknik Üniv. 72-81.
- Şen, Z., 2001. Kuraklık Kıranı Yuvarlak Masası Toplantısı, 20 Mart, Ankara Hilton Otel.
- Şen, Z., (1976). Wet and Dry Periods of Annual Flow Series, *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, Vol. 102, No:Hy10, Proc. Paper 12457, pp.1503-1514.
- Şen, Z., 1976a. Yıllık Akış Serilerinin Kurak Devreleri, *Sakarya D.M.M. Akademisi Dergisi*, No:2, İstanbul, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, 79-94.
- Şen, Z., 1977a. Automn analysis of hydrologic time series. *J Hydrol.*, 36, 75-88.
- Şen, Z., 1977b. Run-Sums of Annual Flow Series, *Journal of Hydrology*, No:35, 311-324p.
- Şen, Z., 1980a. The numerical calculation of extreme wet and dry periods in hydrologic time series. *Hydrol. Sci. Bull.*, 21 (2). 135-142.
- Şen, Z., 1980b. Critical Drought Analysis of Periodic-Stochastic Processes. *Journal of Hydrology*, No:46, pp. 251-263.
- Şen, Z., 2009. Kuraklık Afet ve Modern Hesaplama Yöntemleri, Su Vakfı Yayınları, İstanbul ss. 217-230
- Şengül, S. 2005. Fırat Havzası'nda 1254 Numaralı Akım Gözlem İstasyonunun Aylık Akımlarının Stokastik Modellenmesi-İnsaat Müh. Master Tezi, Atatürk Üniv. Fen Bil. Enst.
- Şengül, S. and Can, İ. (2011). Stochastic modelling of mean monthly flows of Karasu River, in Turkey. *Water and Environment Journal*, 25, 31–39.
- Tosunoğlu, F., 2009. Çoruh havzası'ndaki aylık nehir akımlarının çok değişkenli stokastik modellemesi. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum
- Trivedi, P. K., Zimmer, D. M., “Copula Modeling: An Introduction for Practitioners”, *Foundations and Trends in Econometrics*, Volume 1 Issue 1, 2005, 1-115.
- Vlachos E, James L , Douglas, 1983. Drought Impacts .In V. Yevjevich, L. Da Cunha, E. Vlachos (ed.) *Coping with Droughts* , 44-76 p. *Water Resources Publ.*
- Wong, G., Lambert, M., Leonard, M., and Metcalfe AV (2008). Trivariate Copulas for characterization of droughts. *ANZIAM J* 49, 306 - 323.
- Wong, G., Lambert, M., Leonard, M., and Metcalfe, A. (2010). “Drought analysis usign trivariate Copulas conditional on climatic states.” *J. Hydrol. Eng.*, 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000169, 129–141.
- Yan J (2006). “Multivariate Modeling with Copulas and Engineering Applications.” In H Pham (ed.), “*Handbook in Engineering Statistics*,” pp. 973–990. Springer-Verlag.
- Yan, J., Kojadinovic, I., and Yan, M. J. (2009). "Package ‘Copula’."

- Yevjevich, V. M., 1967. An Objective Approach to Definitions and Investigations of Continental Hydrologic Droughts, Hydrology Papers, No. 23, Colo. St. Univ Fort Collins, Colo., U.S.A.
- Yevjevich, V., 1970. Application of Run Lengths to Hydrologic Series, Hydrology Paper, No. 40, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Yue, S., and P. Rasmussen (2002), Bivariate frequency analysis: discussion of some useful concepts in hydrological application, Hydrological Processes, 16(16), 2881– 2898.
- Zhang, L., and Singh, V. P. (2007). “Bivariate rainfall frequency distributions using Archimedean Copulas.” J. Hydrol., 332(1–2), 93–109.
- Zhang, L., and V. P. Singh (2006), Bivariate flood frequency analysis using the Copula method, Journal of Hydrologic Engineering, 11(2), 150–160.
- Zhang, Q., Singh, Vijay P., Li, J.F., 2012. Spatio-temporal variations of precipitation extremes in Xinjiang, China. J. Hydrol. 434–435, 7–18.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Okan Mert KATIPOĞLU

Doğum Yeri ve Tarihi: Erzurum / 29.05.1990

E-Posta: okatipoglu@atauni.edu.tr

Yabancı Dil: İngilizce

Lisans: Atatürk Üniversitesi, 2008-2012.

Yüksek Lisans: Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği
Hidrolik Bilim Dalı, 2012-2015.