



T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DÜŞÜK AKIM HİDROLOJİSİ VE İÇ ANADOLU BÖLGESİNDE
UYGULANMASI**

EMRE GÜLBAY DEMİR

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Osman YILDIZ

KIRIKKELE-2022



T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÜŞÜK AKIM HİDROLOJİSİ VE İÇ ANADOLU BÖLGESİNDE
UYGULANMASI

EMRE GÜLBey DEMİR

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Osman YILDIZ

KIRIKKELE-2022

Emre Gülbey DEMİR tarafından hazırlanan “DÜŞÜK AKIM HİDROLOJİSİ VE İÇ ANADOLU BÖLGESİNDE UYGULANMASI” adlı tez çalışması, aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Osman YILDIZ

İnşaat Mühendisliği, Kırıkkale Üniversitesi

İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Başkan: Prof. Dr. Kubilay CİHAN

İnşaat Mühendisliği, Kırıkkale Üniversitesi

İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye: Doç. Dr. Emrah YALÇIN

İnşaat Mühendisliği, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Tez Savunma Tarihi: 23/08/2022

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Recep ÇALIN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYANI

Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Emre Gülbey DEMİR

23/08/2022

ÖZET

DÜŞÜK AKIM HİDROLOJİSİ VE İÇ ANADOLU BÖLGESİNDE UYGULANMASI

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Osman YILDIZ

Ağustos 2022, 59 sayfa

Bu tez çalışmasında, İç Anadolu Bölgesi'nde seçilen 4 adet akım gözlem istasyonunda (1501, 1535, 1539 ve 1543) düşük akım analizi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, istasyonlardan elde edilen günlük gözlem debileri kullanılmıştır. İstasyonların tespitinde veri uzunluğu, sıfır akım değeri ve baraj etkisi dikkate alınmıştır. Hidrolojik analiz kapsamında, öncelikle bu istasyonlarda 1-, 3-, 7- ve 10-günlük düşük akım değerleri hesaplanarak debi süreklilik eğrileri çizilmiştir. Buna müteakiben, düşük akım göstergesi olarak kullanılan Q_{90} , Q_{95} ve Q_{99} debileri tespit edilmiştir. İstatistiksel analiz kapsamında ilk olarak, istasyonlardaki akım değerlerine literatürde yaygın olarak kullanılan olasılık dağılımlarından 2-parametrelili lognormal (LN2), 2-parametrelili Weibull (W2), üstel, 2-parametrelili Gumbel (G2), Pearson Tip III ve Log-Pearson Tip III olasılık dağılımlarının uygunluğu araştırılmıştır. Bu amaçla, Kolmogorov-Smirnov ve PPCC (Olasılık Çizgisi Korelasyon Katsayısı) testleri kullanılmıştır. Daha sonra, göz önüne alınan olasılık dağılımları yardımıyla seçilen istasyonlarda 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık tekerrür süreli 7-günlük düşük akım ($Q_{7,10}$) tahminleri elde edilmiştir. En son olarak, 7-günlük debi süreklilik eğrilerinden elde edilen Q_{90} , Q_{95} ve Q_{99} düşük akım değerleri ile göz önüne alınan olasılık dağılımları yardımıyla tahmin edilen $Q_{7,10}$ değerleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar istasyon bazında değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Düşük Akım, İç Anadolu Bölgesi, Olasılık Dağılımı

ABSTRACT

LOW FLOW HYDROLOGY AND ITS APPLICATION IN THE CENTRAL ANATOLIA REGION

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Construction, Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Osman YILDIZ

August 2022, 59 pages

In this thesis, a low flow analysis was carried out at 4 selected flow observation stations (1501, 1535, 1539 and 1543) in the Central Anatolia Region. In this context, daily flow observations obtained from these stations were utilized. Data length, zero flow value and dam effect were taken into account in the determination of flow stations. Within the scope of hydrological analysis, firstly, 1-, 3-, 7- and 10-day low flow values were calculated at these stations and flow continuity curves were drawn. Subsequently, the flow rates of Q_{90} , Q_{95} and Q_{99} , which are used as low flow indicators, were determined. Within the scope of the statistical analysis, firstly, the goodness of fit of probability distributions including 2-parameter lognormal, 2-parameter Weibull, exponential, 2-parameter Gumbel, Pearson Type III and LogPearson Type III to low flows at each station was determined. For this purpose, Kolmogorov-Smirnov and PPCC (Probability Line Correlation Coefficient) tests were used. Then, with the help of the probability distributions considered, 7-day low flow ($Q_{7,10}$) estimates with 5, 10, 25, 50 and 100 year return periods were obtained at the selected stations. Finally, the Q_{90} , Q_{95} and Q_{99} low flow values determined from the 7-day flow continuity curves were compared with the estimated $Q_{7,10}$ values with the help of the probability distributions considered. The study results were evaluated on the station basis.

Key Words: Low Flow, Central Anatolia Region, Probability Distribution

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam süresince her türlü yardımını ve sabrını benden esirgemeyen insanlığıyla da ayrıca örnek olduğumu düşündüğüm danışman hocam Prof. Dr. Osman YILDIZ'a, yüksek lisans eğitimi boyunca derslerini aldığım Hidrolik ABD'de görev ifa eden Prof. Dr. Kubilay CİHAN ile Dr. Öğr. Üyesi Gaye AKTÜRK hocalarıma ve diğer tüm bölüm hocalarıma ayrı ayrı teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca kendime her zaman örnek aldığım münevver şahsiyet babam Sıddık DEMİR ve şefkat abidesi annem Hacer DEMİR'e, kardeşlerim İlber, İlay, Nagihan ve Galip'e, oğlum Afşin ve yeğenlerim Ayyüce ile Gökçe'ye, bu süreçte her türlü sabrı ile bana destek olan kıymetli eşim Hilal Fatma DEMİR'e de ayrıca teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
SİMGELER DİZİNİ	xii
KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Düşük Akım Hidrolojisi	2
1.2. Literatür Taraması	3
1.3. Çalışmanın Amacı	5
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	6
2.1. Çalışma Alanı ve Akım Verisi.....	6
2.2. Düşük Akım İndeksleri.....	7
2.3. Düşük Akımların Hidrolojik Analizi	7
2.4. Düşük Akımların İstatistiksel Analizi	9
2.4.1. Olasılık Dağılımlarının Parametreleri ve Tahmini	9
2.4.1.1. İstatistik Momentler Yöntemi	10
2.4.1.2. L-Momentler Yöntemi	11
2.5. Olasılık Dağılımları ve Parametre Tahminleri	13
2.5.1. 2-Parametrelili Lognormal Dağılım (LN2).....	14
2.5.1.1. Momentler Yöntemi	14
2.5.2. 2-Parametrelili Weibull Dağılımı (W2)	14
2.5.2.1. Momentler Yöntemi	15
2.5.2.2. L-Momentleri Yöntemi	15
2.5.3. Üstel Dağılım.....	15
2.5.3.1. Momentler Yöntemi	16
2.5.3.2. L-Momentler Yöntemi	16
2.5.4. 2-Parametrelili Gumbel Dağılımı (G2)	16
2.5.4.1. Momentler Yöntemi	17
2.5.4.2. L-momentler Yöntemi	17

2.5.5. Pearson Tip III Dağılımı (P3)	17
2.5.5.1. Momentler Yöntemi	17
2.5.6. Log-Pearson Tip III Dağılımı (LP3)	18
2.5.6.1. Momentler Yöntemi	18
2.6. Olasılık Dağılımları İçin Uygunluk Testleri	19
2.6.1. Kolmogorov-Smirnov (K-S) Testi	19
2.6.2. PPCC (Olasılık Çizgisi Korelasyon Katsayısı) Testi	20
2.6.2.1. Lognormal Dağılım	21
2.6.2.2. Weibull Dağılımı	22
2.6.2.3. Üstel Dağılım	23
2.6.2.4. Gumbel Dağılımı	23
2.6.2.5. Pearson Tip III ve Log-Pearson Tip III Dağılımları	24
3. ARAŞTIRMA BULGULARI	26
3.1. Hidrolojik Analiz	26
3.2. İstatistiksel Analiz	28
3.2.1. Düşük Akımların İstatistik Değerleri	28
3.2.2. Olasılık Dağılımlarının Uygunluk Testleri	31
3.2.2.1. Kolmogorov-Smirnov (K-S) Testi	31
3.2.2.2. Olasılık Çizgisi Korelasyon Testi (PPCC)	33
3.2.3. Olasılık Dağılımları ile Düşük Akım Tahmini	36
3.2.3.1. Lognormal (LN2) Dağılım ile Düşük Akım Tahmini	37
3.2.3.2. Üstel Dağılım ile Düşük Akım Tahmini	38
3.2.3.3. Gumbel (G2) Dağılım ile Düşük Akım Tahmini	39
3.2.3.4. Pearson Tip III (P3) Dağılım ile Düşük Akım Tahmini	39
3.2.3.5. Log-Pearson (LP3) Tip III Dağılım ile Düşük Akım Tahmini	41
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	43
KAYNAKLAR	46
EKLER	51
ÖZGEÇMİŞ	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Çalışmada kullanılan akım gözlem istasyonları ve özellikleri.....	7
2.2. Normal dağılım hipotezleri için olasılık çizgisi korelasyon katsayısı r'nin kritik değerleri (Bayazıt, 1996).	21
2.3. Weibull (W2) dağılımı hipotezi için olasılık çizgisi korelasyon katsayısı r'nin kritik değerleri (Vogel ve Kroll, 1989).	22
2.4. Üstel dağılım hipotezi için olasılık çizgisi korelasyon katsayısı r'nin kritik değerleri.....	23
2.5. Gumbel (G2) dağılımı hipotezi için olasılık çizgisi korelasyon katsayısı r'nin kritik değerleri	24
3.1. 1501-Yamula istasyonunda %90, %95 ve %99 aşılma olasılıkları için elde edilen düşük akım debileri (m ³ /s).....	27
3.2. 1535 -Söğütlühan istasyonunda %90, %95 ve %99 aşılma olasılıkları için elde edilen düşük akım debileri (m ³ /s).....	27
3.3. 1539 -Bulakbaşı istasyonunda %90, %95 ve %99 aşılma olasılıkları için elde edilen düşük akım debileri (m ³ /s).....	27
3.4. 1543 -Karaözü istasyonunda %90, %95 ve %99 aşılma olasılıkları için elde edilen düşük akım debileri (m ³ /s).....	28
3.5. 1501-Yamula istasyonuna ait istatistikler	28
3.6. 1535 -Söğütlühan istasyonuna ait istatistikler	28
3.7. 1539-Bulakbaşı istasyonuna ait istatistikler.....	29
3.8. 1543- Karaözü istasyonuna ait istatistikler	29
3.9. 1501-Yamula istasyonunda tahmin edilen olasılık dağılım parametreleri	29
3.10. 1535 - Söğütlühan istasyonunda tahmin edilen olasılık dağılım parametreleri	30
3.11. 1539 - Bulakbaşı istasyonunda tahmin edilen olasılık dağılım parametreleri	30
3.12. 1543 - Karaözü istasyonunda tahmin edilen olasılık dağılım parametreleri	31

3.13. 1501-Yamula istasyonu için Kolmogorov-Smirnov (K-S) test sonuçları (anlamlılık düzeyi $\alpha = 0,10$)	32
3.14. 1535 - Söğütlühan istasyonu için Kolmogorov-Smirnov test sonuçları (anlamlılık düzeyi $\alpha = 0,10$).....	32
3.15. 1539 - Bulakbaşı istasyonu için Kolmogorov-Smirnov test sonuçları (anlamlılık düzeyi $\alpha = 0,10$).....	33
3.16. 1543- Karaözü istasyonu için Kolmogorov-Smirnov test sonuçları (anlamlılık düzeyi $\alpha = 0,10$).....	33
3.17. 1501-Yamula istasyonu için PPCC test istatistik değerleri (anlamlılık düzeyi $\alpha = 0,05$)	34
3.18. 1535 - Söğütlühan istasyonu için PPCC test istatistik değerleri (anlamlılık düzeyi $\alpha = 0,05$).....	34
3.19. 1539 -Bulanık istasyonu için PPCC test istatistik değerleri (anlamlılık düzeyi $\alpha = 0,05$)	35
3.20. 1543 -Karaözü istasyonu için PPCC test istatistik değerleri (anlamlılık düzeyi $\alpha = 0,05$)	35
3.21. PPCC test sonucuna göre seçilen istasyonlarda düşük akımlar için uygun bulunan olasılık dağılımları	36
3.22. LN2 dağılımı ile 7-günlük düşük akım tahmini (m^3/s)	37
3.23. W2 dağılımı ile 7-günlük düşük akım tahmini (m^3/s).....	38
3.24. Üstel dağılım ile 7-günlük düşük akım tahmini (m^3/s)	39
3.25. G2 dağılımı ile 7-günlük düşük akım tahmini (m^3/s).....	39
3.26. P3 dağılımı ile 7-günlük düşük akım tahmini (m^3/s)	40
3.27. LP3 dağılımı ile 7-günlük düşük akım tahmini (m^3/s)	41
3.28. 10 yıl dönüş aralığına sahip 7-günlük düşük akım ($Q_{7,10}$) tahminleri (m^3/s)	41
3.29. Debi süreklilik eğrilerinden elde edilen 7-günlük Q_{90} , Q_{95} ve Q_{99} debi değerleri (m^3/s).....	42

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Dünyadaki Suyun Dağılımı.	2
2.1. Çalışmada kullanılan akım gözlem istasyonları (Tarım ve Orman Bakanlığı, Kızılırmak Havzası Taşkın Yönetim Planı, Mayıs 2019, Ankara)	6
2.2. Debi süreklilik çizgisi	8
2.3. Bir sürekli x rastgele değişkenine ait olasılık yoğunluk fonksiyonu	10
3.1. 1501-Yamula istasyonunda 7-günlük düşük akımlara ait debi süreklilik eğrisi	26

SİMGELER DİZİNİ

Q_7	7 günlük düşük akımlar
Q_{7-10}	10 yıllık Dönüş Aralığında-7günlük düşük akımlar
Var	Varyans
S^2	Standart Sapma
$\bar{x}$	Ortalama
C_{vx}	Değişim Katsayısı
C_{sx}	Çarpıklık Katsayısı
K	Sivrilik Katsayısı
μ	Ortalama
$F(x)$	Eklenik Dağılım Fonksiyonu
$f(x)$	Olasılık Dağılım Fonksiyonu
L_1	Birinci L-Momenti
L_2	İkinci L-Momenti
L_3	Üçüncü L-Momenti
L_4	Dördüncü L-Momenti
n	Gözlem Sayısı
Z	Standart Normal Dağılım
α	Anlamlılık Düzeyi
ln	Logaritma
N	Eleman Sayısı
X_0	Değişken Üst Sınırı
exp	Eksponansiyel
β	İlk Olasılık Ağırlık Moment
T	Dönüş Aralığı
Z_p	Aşılma Olasılığı
E	Beklenen Değer

KISALTMALAR DİZİNİ

DSİ	Devlet Su İşleri
EİEİ	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
W2	2 parametrelili Weibull Dağılımı
P3	Pearson Tip III Dağılımı
LP3	Log-Pearson Tip III Dağılımı
AGİ	Akım Gözlem İstasyonu
PWM	Probability Weighted Moments
e.d.f.	Eklenik Dağılım Fonksiyonu
o.y.f.	Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
PPCC	Olasılık Çizgisi Korelasyon Testi
MOM	Momentler Yöntemi
K-S	Kolmogorov-Smirnov
LN2	2 parametrelili Log-normal Dağılım
G2	2 parametrelili Gumbel Dağılımı

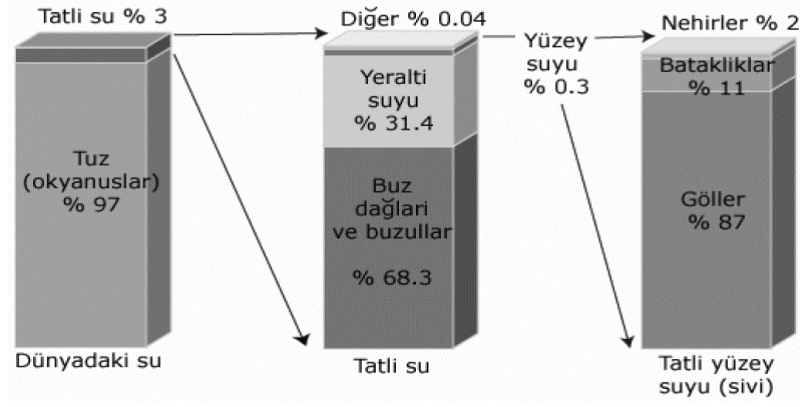
1. GİRİŞ

Su canlılar için en önemli kaynakların başında gelir. Tarih boyunca medeniyet kurucuları suya hâkim olma ya da suya yakın yerlerde kurulma eğiliminde olmuşlardır. İskân merkezleri güvenlik açısından mecbur kalınmadıkça genellikle su yakınlarında kurulmuştur. Anadolu'da Hattuşaş bölgesinde M.Ö. 15. yüzyılda su kanallarının mevcudiyetinden bahsedilmektedir. Urartu Kralı Menua'nın meşhur Şamran Kanalı'nı içme suyu ve arazi sulanması için yaptırdığı bilinir. Bu kanaldan saniyede 1.500 m³ civarında su geldiği söylenmektedir (Önge, 1997). Elbette su konusunda tüm kavimler aynı şanstı olmamış, su kıtlığı yaşayan birçok millet göç etmek zorunda kalmıştır. Tarihte ciddi savaşılara dahi neden olmuş bu kaynak sınırsız da değildir.

Dünyamızdaki su kaynakları son zamanlarda hızla artan nüfus ve beraberinin getirdiği olumsuzluklardan ciddi şekilde etkilenmektedir. Bu yüzyılın başlarındaki dünya nüfusu, geçen yüzyılın başlarındaki nüfus ile mukayese edildiğinde neredeyse on kat artmıştır. Artan nüfus sonucu su kaynaklarının kullanım miktarı artmıştır. Kuraklık, çevresel kirlenme ve küresel ısınma vs. gibi faktörler de tabloya eklenince bu hususlar su kaynaklarını doğrudan doğruya olumsuz olarak etkilemektedir. Bu maksatla su kaynaklarının korunarak etkin bir şekilde kullanılması doğal hayat için zaruret arz etmektedir. Su kaynakları sadece bizlere tahsis edilmemiş olup gelecek nesillere karşı da bir sorumluluğumuz vardır. Bu kaynakların doğru bir şekilde kullanılabilmesi ve zararlı etkenlerden uzak tutulabilmesi için ise Hidroloji bilimine ihtiyaç duyulmaktadır.

Hidroloji suyun yerküre üzerinde dağılımı ve kalitesi ile suyun ekosistem içindeki ilişkisini inceleyen bir bilim dalıdır. Hidroloji bilimi fizik, kimya, matematik, jeoloji, meteoroloji gibi bilim dalları ile de disiplinli bir etkileşim halindedir. İnsanlığın hidroloji bilimine gösterdiği ilgi çok eski tarihlere kadar gitmektedir.

Dünya üzerindeki toplam su kaynaklarının çok büyük kısmını okyanuslar, denizler ve göllerde bulunan tuzlu, sodalı ya da acı sular oluşturur (Şekil 1.1). Yerküre'deki tatlı su kaynaklarının oranı ise diğerlerine göre daha sınırlıdır.



Şekil 1.1. Dünyadaki Suyun Dağılımı

Yapılan araştırmalar yakın gelecekte dünya nüfusunun önemli bir kısmının şiddetli kuraklık yaşayacağını öne sürmektedir. Meseleyi bu açıdan ele aldığımızda sınırlı olan bu kaynağın daha disiplinli kullanılması günümüzde artık bir zorunluluk halini almıştır. Bu noktada ise çeşitli su ilimlerinden faydalanılarak planlama yapılması gayet yerinde olacaktır.

Akarsu yataklarında ekosistemin sürekliliği başta olmak üzere su yapılarının inşa edilebilmesi ve akabinde işletme safhasında dahi hidroloji ilmine ihtiyaç duyulur. Yine taşkın koruma yapılarında göz önünde bulundurulmuş maksimum debinin hesabında bu bilim dalından faydalanılır. Ayrıca, akarsularda gelecek yıllarda görülmesi muhtemel kuraklık değerlerinin tahmini de bu bilim dalının yardımı ile gerçekleştirilir. Hidrolojinin birçok alt dalı mevcuttur. Bu tezin konusu olan düşük akım hidrolojisi de bu alt dallardan birisidir (Bayazıt ve Önöz, 2008).

1.1. Düşük Akım Hidrolojisi

Düşük akımlar genellikle kuraklık ile karıştırılır. Düşük akımlar kuraklık anlamına gelmez. Düşük akımların süreklilik gösteren sayısal bir karşılığı mevcuttur. Ancak uzun süren düşük akımlar bir müddet sonra havzada kuraklığa sebep olabilir. Kışın akarsu yatağında don olayları görülmesi ya da yağışların mevsim normallerinin altında seyretmesi gibi etkenler düşük akımlara neden olabilir (Bayazıt ve Önöz, 2008).

Bununla beraber baraj gibi su yapılarının inşası, yer altı suyunun çekilmesi, tarımsal sulama, sanayileşme ya da kentleşme gibi sebeplerde düşük akımların oluşmasını ortaya çıkaran faktörlerdir.

Düşük akımlar yüksek hava sıcaklıkları ile ilişkilendirilir. Düşük akımlar oluştuğunda içme suyu, sanayi, tarım vb. gibi birçok alanlar bu durumdan etkilenir. Ayrıca, düşük akımlar nehrin çevresel estetiğinde olumsuz bir görüntü oluşturur.

Örneğin küçük bir hidroelektrik santralinin mansabında yaşayan ekosistemi düşünelim. Burada ekosistemi bozmayacak şekilde minimum su akışının gerçekleşmesi gerekmektedir. İşte bu santralden serbest bırakılacak can suyunun miktarının belirlenmesi düşük akım hidrolojisinin ilgi alanına girmektedir.

Düşük akımların oluşması ile akarsu rejimlerinde meydana gelecek bir azalma ekosistem üzerinde olumsuz durumlar oluşturabilir. Azalmaya bağlı olarak akarsudaki sucul hayat bu olumsuz durumdan etkilenir. Düşük akımlar dönemlerinde akım hızının azalmasıyla suya iletilen oksijen miktarı azalır ve kirleticilerin konsantrasyonu artar.

Atık suların düşük akımların olduğu zamanlarda akarsu yatağına verilmesi çevre açısından ciddi bir sorun haline dönüşebilir. Bunun için atık suların depolandığı yerlerden yüzeysel akışlara iletilecek seyreltilmiş oranların belirlenmesi düşük akım hidrolojisi yardımıyla yapılır. Akarsudan ekosistemi etkilemeyecek şekilde su çekilebilmesi de düşük akımlar yardımıyla gerçekleştirilir.

Düşük akımların incelenmesinde hidrolojik ve istatistiksel analiz yöntemleri kullanılır. Hidrolojik analiz kapsamında, d-günlük debiler (örneğin; 1-, 3-, 7-, 10-, 30-, 60-gün gibi) kullanılmak suretiyle debi süreklilik eğrileri çizilmektedir. Bu eğrilerden faydalanarak zamanın %90, %95 ve %99'unda aşılacak debiler tespit edilebilir. Ortaya çıkan debi değerleri incelenen akarsuda oluşabilecek düşük akımların durumunu ifade eder. Bu bilgiler, hidroelektrik enerji üretimi, su alma yapılarının tasarımı ve su kalitesinin belirlenmesi gibi amaçlar için kullanılır. İstatistiksel analiz kapsamında ise, d-günlük akım değerlerine en uygun olasılık dağılımı belirlenir. Bu amaçla uygunluk testleri uygulanır. Belirlenen olasılık dağılımları kullanılarak verilen dönüş aralıkları için d-günlük düşük akımların tahmini gerçekleştirilir.

1.2. Literatür Taraması

Düşük akım konusunda yurtdışında yapılan ilk çalışmaların genellikle düşük akımlara uygunluk gösteren olasılık dağılım fonksiyonlarının tespiti amaçlı istatistiksel yaklaşımlar olduğu göze çarpmaktadır. Bu kapsamdaki ilk çalışma Gumbel (1954, 1958) tarafından gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, Matalas (1963) düşük akımlar için

3-parametrelili Weibull dağılımı (W3) ve Pearson Tip III dağılımının uygun olduğu ifade etmiştir. Tasker (1987) Pearson Tip III dağılımının momentler yöntemi ile kullanılabileceğini ifade etmiştir. Condie ve Nix (1975) düşük akımların tahmini için 3-parametrelili Weibull (W3) dağılımını tavsiye etmiştir. Vogel ve Kroll (1989) 2-parametrelili lognormal dağılımının (LN2) ABD’de düşük akımlar için en uygun dağılım olduğunu belirtmiştir. Mahnamfar (2012) İran genelinde düşük akımlar için en uygun olasılık dağılımını bulmayı amaçlamıştır. Düşük akımların çevresel etkilerinin incelendiği çalışmalar son dönemde giderek artmaktadır. Örneğin; Jowett vd. (2005) akarsularda düşük akım sürelerinin orta ve kısa sürelerde balık popülasyonunda azalmaya sebep olduğunu tespit etmiştir. Dupas vd. (2018) düşük akım dönemlerinde akarsularda fosfor yoğunlaşmasının maksimum değere ulaştığını gözlemlemiştir. Wafa ve Daniel (2021) düşük akımların Kanada genelinde habitatı olumsuz yönde etkilediğini belirtmiştir.

Türkiye’de düşük akım çalışmaları genellikle istatistiksel analiz kapsamında yer almaktadır. Önöz ve Bulu (1996) lognormal dağılımı reddetmekle beraber Türkiye akarsuları için en uygun dağılımın 2-parametrelili Weibull (W2) dağılımı olduğunu göstermiştir. Durak (2000) Gediz, Büyük Menderes ve Küçük Menderes havzalarında düşük akımlar için lognormal, W2 ve üstel dağılımların uygunluğunu araştırmıştır. Özen (2001) Türkiye genelinde akarsularda düşük akımlar için en uygun dağılımların W2, lognormal ve üstel dağılımlar olduğunu tespit etmiştir. Saraçoğlu (2002) Akdeniz Bölgesi’nde düşük akımlara en uygun dağılımın üstel dağılım olduğunu belirtmiş ve aynı zamanda bu bölgede lognormal ve Weibull dağılımlarının da kullanılabileceğini ifade etmiştir. Yürekli vd. (2005) Çekerek Çayı Havzası’nda düşük akımların frekans analizini gerçekleştirmiştir. Köken (2009) Dicle Havzası’nda düşük akımlara en uygun dağılımların 2 parametrelili Gamma ve LN2 dağılımlarının en uygun dağılım olduğunu belirlemiştir. Aytekin (2012) iklim değişikliğinde düşük akımların istatistiksel analizini gerçekleştirmiştir. Yıldırımlar (2012) Fırat Havzası’nda düşük akımların analizini yaparak Pearson Tip III dağılımının havza için en uygun dağılım olduğunu göstermiştir. Altınışık (2015) düşük akımlar üzerinde taban akışının etkisi incelemiştir. Sarış (2016) Porsuk Çayı Havzası’nda düşük akım karakteristiklerini tanımlamış, kurak dönemlerin uzun yıllar boyunca değişkenliğini inceleyerek havzanın ilerleyen yıllarda hidrolojik kuraklık tehlikesine maruz kalacağı tahmininde bulunmuştur. Göksel (2016) akım gözlem istasyonuna sahip olmayan havzalarda düşük akım tahmin

modelleri geliřtirmiřtir. Orta (2019) dūřuk akım sūre frekans eērileri ve trend analizi konusunda arařtırma yapmıřtır. Aksoy vd. (2018) dūřuk akımların frekans analizi ve çevresel akıř ile iliřkisi ūzerine incelemede bulunmuřtur. Tosunoēlu vd. (2020) kopula (copula) fonksiyonları ile havza bazında dūřuk akıř tehlikelerinin çok deēiřkenli deēerlendirilmesini yapmıřtır. Aksoy vd. (2021) Kūuk Menderes Havzası'nda dūřuk akımların karakteristiklerini belirlemiřtir. Rezai ve Yıldız (2022) Kızılırmak Havzası'nda dūřuk akımların hidrolojik ve istatistiksel analizini yaparak havza genelinde dūřuk akımlara en uygun olasılık daēılımlarını tespit etmiřtir. Orta ve Aksoy (2022) hibrit frekans analizi ile dūřuk akıř sūresi-frekans eērileri geliřtirmiřtir.

1.3. Çalışmanın Amacı

Tūrkiye'de kiři baři su tūketim miktarının son 20 yıllık sūrete azaldıēı gōzlenmiřtir. Őrneēin; 2000 yılında kiři başına dūřen su miktarı yıllık 1.650 m³ civarında iken bu deēer 2020 yıllarına gelindiēinde yıllık 1.350 m³ civarına gerilemiştir (DSİ, 2022). Dolayısıyla ūlkemiz giderek su kıtlıēına maruz kalmaktadır.

Bu alıřmada, İç Anadolu Bōlgesi'nde yer alan 4 adet akım gōzlem istasyonundan elde edilen gūnlūk akım verileri ile dūřuk akım analizi gerçekleřtirilmiřtir. Bu amaçla hidrolojik analiz kapsamında, ōncelikle seçilen istasyonlarda 1-, 3-, 7- ve 10-gūnlūk dūřuk akım deēerleri hesaplanarak debi sūrekliyet eērileri çizilmiř ve daha sonra dūřuk akım gōstergesi olarak kullanılan ařılma olasılıēı %90, %95 ve %99 olan dūřuk akım debileri (sırasıyla Q₉₀, Q₉₅ ve Q₉₉) tespit edilmiřtir.

Çalıřmanın istatistiksel analiz kapsamında ise, ilk olarak, belirlenen periyotlar için elde edilen dūřuk akım deēerlerinin ortalama, standart sapma, arpıklık katsayısı, L1 ve L2 momentleri hesaplanmıřtır. Daha sonra, gōz ōnūne alınan dūřuk akımlara bu konuda literatūrde yaygın olarak kullanılan olasılık daēılımlarından 2-parametrelili lognormal (LN2), 2-parametrelili Weibull (W2), ūstel, 2-parametrelili Gumbel (G2) ile 3-parametrelili daēılımlardan Pearson Tip III ve Log-Pearson Tip III daēılımlarının uygunluēu arařtırılmıřtır. Bu amaçla, Kolmogorov-Smirnov ve PPCC (Olasılık izgisi Korelasyon Katsayısı) testleri kullanılmıřtır. Son olarak, gōz ōnūne alınan olasılık daēılımları yardımıyla 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık tekerrūr sūreli 7-gūnlūk dūřuk akım tahminleri elde edilmiřtir. Burada elde edilen sonuçlar birbirleriyle karřılařtırılmıřtır.

Çizelge 2.1. Çalışmada kullanılan akım gözlem istasyonları ve özellikleri

İstasyon Adı	İstasyon No	Drenaj Alanı (km²)	Rasat Yılları	Gözlem Süresi (Yıl)
Yamula	E15A001	26.972	1975-2011	64
Söğütlühan	E15A035	11.192	1962-2011	50
Bulakbaşı	E15A039	2.835	1971-2011	41
Karaözü	E15A043	23.585	1996-2011	16

İstasyon verilerine homojenlik testi uygulandıktan sonra düşük akım analizi çalışmasına geçilmiştir. Bu kapsamda gerçekleştirilen hidrolojik ve istatistiksel analizler için uygulanan metodoloji aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

2.2. Düşük Akım İndeksleri

Esasında düşük akım indeksi d-günlük minimum akımlara göre belirlenebilir. Burada d-gün sayısının seçimi amaca bağlı olarak değişir ve düşük akımın hangi sürede devam etmesi halinde zararlı olacağı ile ilgilidir (Aksoy vd., 2018). Bazı pratik uygulamalarda (atık su deşarjı, kuraklık yönetimi ve ekosistemin sürdürülebilirliği gibi) genellikle ($Q_{7,10}$) indeksi kullanılmaktadır Bu indeks günlük akış verisi kullanılarak hesaplanan 10 yıl tekerrürlü 7-günlük düşük akım değerini ifade etmektedir. Buna ilave olarak, $Q_{(7,1)}$, $Q_{(7,2)}$, $Q_{(7,5)}$, $Q_{(7,20)}$ ve $Q_{(7,25)}$ gibi düşük akım indeksleri farklı ülkelerde değişik maksatlar için kullanılmaktadır (Şen, 2009).

2.3. Düşük Akımların Hidrolojik Analizi

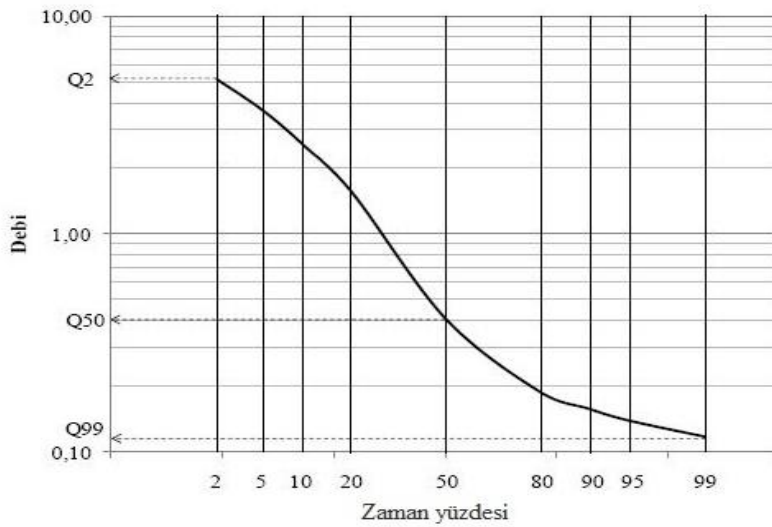
Düşük akımların hidrolojik analizi için göz önüne alınan akım gözlem istasyonlarından elde edilen d-günlük (mesela; d = 1-, 3-, 7-, 10-, 15-, 30-, 60-gün gibi) ortalama en düşük akım serileri kullanılır. Burada, d-günlük ortalama düşük akımların hesabında ilk debiden başlayarak ardışık d güne ait debilerin ortalamaları elde edilir. Örneğin, 7-günlük düşük akımları bulmak için ardışık 7 günün debi toplamalarının ortalamaları göz önüne alınır. n yıllık günlük debi değerine sahip olan bir istasyonda bu şekilde elde edilen d-günlük düşük akım sayısı N adet olarak Denklem (2.1) ile elde edilir.

$$N = [n \times 365 - (d - 1)] \quad (2.1)$$

Hidrolojik çalışmalarda sıkça kullanılan debi süreklilik eğrisi (veya çizgisi) düşük akımlar ve taşkın akımları da dahil olmak üzere akarsu akımları hakkında önemli bilgiler edinmemizi sağlar. Bu eğriler düşük akım analizi, kuraklık incelemesi, hazne işletmesi, nehir tipi santrallerde hidroelektrik üretimi dahil su kaynaklarının verimli bir şekilde işletilmesi ve planlamasında yardımcı olur (Smakthin, 2001).

Debi süreklilik çizgisine bağlı olarak çeşitli düşük akım indeksleri belirlenmektedir. Bu kapsamda, düşük akımlar için üst sınır olarak aşılma yüzdesi %50 olan debi (Q_{50}) göz önüne alınabilir (Smakthin, 2001). Bu değerin altındaki debiler (Q_{70} , Q_{90} , Q_{95} ve Q_{99} gibi) çeşitli amaçlara yönelik olarak düşük akım indeksi olarak kullanılmaktadır. Mesela, İngiltere’de bölgesel analizle ilgili çalışmalarda Q_{95} değeri genellikle düşük akım göstergesi olarak kullanılmaktadır (Gustard vd.,1992).

Akım debisinin belli bir değere eşit ya da o değerden fazla olduğu zaman yüzdesi belirlendikten sonra Şekil 2.2’de görüldüğü gibi düşey eksene debi değerleri, o debilere karşı gelen zaman yüzdeleri ise yatay eksene işaretlenerek d-günlük debi süreklilik çizgisi elde edilir.



Şekil 2.2. Debi süreklilik çizgisi

Şekil 2.2 üzerinde aşılma yüzdesi %50 ve %99 olan düşük akım değerleri (Q_{50} ve Q_{99}) temsili olarak görülmektedir. Debi süreklilik çizgisinin düşük akım parçasına ait eğimin nispeten küçük olması halinde yeraltı suyu beslemesi zayıf ve sıfır akımların oluşması muhtemeldir. Dolayısıyla, debi süreklilik çizgisi esasında havza jeolojisinin düşük akımlar üzerindeki etkisini göstermektedir (Bulu 1998).

2.4. Düşük Akımların İstatistiksel Analizi

Düşük akımların istatistiksel analizinde, belirlenen akım gözlem istasyonlarından elde edilen debilerin her bir yıl için d-günlük ortalama akım değerleri elde edilir. Buna göre, seçilen istasyona ait bir yıl için d günlük akım değeri Denklem 2.2 ile bulunur.

$$[365 - (d - 1)] \quad (2.2)$$

Burada elde edilen değerlerin en küçüğü o yıla ait d-günlük düşük akım değeri olarak alınır. Bu işlem n yıllık gözlem kayıtlarının her bir yılı için tekrarlanarak N elemanlı bir örnek oluşturulur.

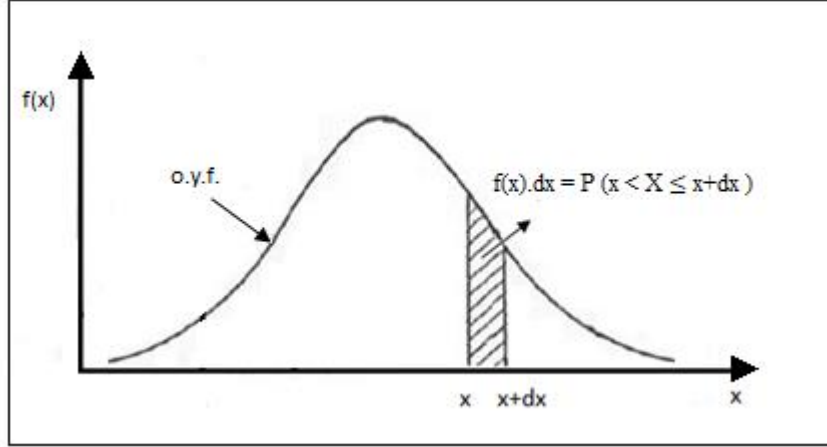
Düşük akımlar için çeşitli olasılık dağılım fonksiyonları ve parametrelerin tahminine yönelik literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu konudaki ilk çalışmalar Gumbel tarafından (1954, 1958) başlatılmış olup bunu Matalas (1963)'ün çalışması takip etmiştir. Söz konusu çalışmalarda, düşük akımlar için 3-parametrelili Weibull (W3) ve Pearson Tip III (LP3) olasılık dağılımları tavsiye edilmiştir. Bu dağılımların parametrelerinin tahmini için sırasıyla momentler ve maksimum olabilirlik yöntemlerinin kullanılması önerilmiştir. Condie ve Nix (1975) W3 dağılımını, Tasker (1987) ise LP3 dağılımını düşük akım çalışmalarında kullanmıştır. Burada araştırmacılar parametre tahmini için momentler ve maksimum olabilirlik yöntemlerini kullanmıştır. Diğer taraftan; Vogel ve Kroll (1989) 2-parametrelili lognormal dağılımını (LN2), Gustard vd. (1989) ise 2-parametrelili Weibull (W2) dağılımını momentler yöntemiyle parametre tahmini yaparak düşük akım analizi için önermiştir.

2.4.1. Olasılık Dağılımlarının Parametreleri ve Tahmini

Olasılık dağılımlarının parametreleri bir rastgele değişkenin başlıca istatistik özelliklerini yansıtan büyüklüklerdir. Bunlar, değişkenin çeşitli gözlemlerde alabileceği değerlerin merkezini, bu değerlerin merkez çevresindeki yayılımını, çarpıklığını ve sivrilğini ifade ederler. Genellikle parametrelerin toplum değerleri bilinmediği için eldeki örnekten bunlara karşı gelen istatistik değerleri tahmin edilir ve bu değerlere istatistikler denir (Bayazıt, 1996). Burada elde edilen istatistiklerin yani tahminlerin tarafsız ve etkin değerler olması beklenir. Literatürde en çok kullanılan parametre tahmin yöntemleri istatistik momentler ve L-moment yöntemleri olarak karşımıza çıkmaktadır.

2.4.1.1. İstatistik Momentler Yöntemi

Şekil 2.3’de görüldüğü gibi bir rastgele değişkenin olasılık yoğunluk fonksiyonu (o.y.f.) eğrisi ile x-ekseni arasındaki alan bir kütle gibi düşünüldüğünde bu kütlenin çeşitli noktalar etrafındaki momentleri istatistik momentler olarak tanımlanır. En çok kullanılan dağılım parametreleri olan ortalama, varyans, çarpıklık ve sivrilik katsayısı istatistik moment tipinden parametrelerdir (Bayazıt ve Oğuz, 1998)



Şekil 2.3. Bir sürekli x rastgele değişkenine ait olasılık yoğunluk fonksiyonu

Bir sürekli rastgele değişkenin dağılımının en önemli özelliği merkez değeri olan ortalama veya beklenen değerdir;

$$\mu_x = E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot f(x) \cdot dx \quad (2.3)$$

Burada ortalama değeri bir rastgele değişkenin merkezsiz değerini gösterse de bu değer çevresindeki yayılmanın büyüklüğünü ölçmek için çok kullanılan parametre varyanstır;

$$\text{Var}(x) = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu_x)^2 \cdot f(x) \cdot dx \quad (2.4)$$

Varyans yerine çoğu zaman fiziksel açıdan anlamlı olması için varyansın karekökü olan standart sapma ($\sigma_x = \sqrt{\text{Var}(x)}$) kullanılır.

Dağılımın çarpıklığının ölçüsü çarpıklık katsayısı ile belirlenir;

$$C_{sx} = \left(\int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu_x)^3 \cdot f(x) \cdot dx \right) / \sigma_x^3 \quad (2.5)$$

Dağılımın sivrilüğünün ölçüsü ise sivrilik katsayısı ile belirlenir;

$$k_x = \left(\int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu_x)^4 \cdot f(x) \cdot dx \right) / \sigma_x^4 \quad (2.6)$$

2.4.1.2. L-Momentler Yöntemi

L-momentler olasılık dağılımının başlıca özelliklerini ifade eden ve bilinen istatistik momentlere benzer olan büyüklüklerdir. L-momentler olasılık ağırlıklı momentler (Probability Weighted Moments - PWM) cinsinden hesaplanmakta olup PWM'lerin doğrusal fonksiyonlarıdır (Stedinger vd., 1993). PWM'ler aşağıda verilen Denklem 2.7 ile verilen fonksiyon ile tanımlanır.

$$\beta_r = E\{x \cdot [F(x)]^r\} \quad (2.7)$$

Burada görüldüğü gibi PWM'ler $F(x)$ eklenik dağılım fonksiyonunun (edf) x değişkeni ile çarpımının beklenen değeridir. $r = 0$ değeri için β_0 toplum ortalama değerine (μ_x) eşittir. PWM'lerin tarafsız tahminleri büyüklük sırasına göre $x_n \leq \dots x_i \leq \dots x_1$ olarak düzenlenmiş n elemanlı örnekte Denklem 2.8 ile hesaplanır.

$$b_r = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^{n-r} \frac{\binom{n-j}{r}}{\binom{n-1}{r}} \cdot x_j \quad (2.8)$$

Dolayısıyla, PWM'lerin tarafsız tahminleri (b_0 , b_1 ve b_2) Denklem 2.9 ile elde edilir.

$$b_0 = \bar{x}$$

$$b_1 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^{n-1} \frac{(n-j) \cdot x_j}{n \cdot (n-1)} \quad (2.9)$$

$$b_2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^{n-2} \frac{(n-j) \cdot (n-j-1) \cdot x_j}{n \cdot (n-1) \cdot (n-2)}$$

İlk üç L-moment değeri (λ_1, λ_2 ve λ_3) PWM'ler cinsinden Denklem 2.10'da verilen ifadeler kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \beta_0 \\ \lambda_2 &= 2 \cdot \beta_1 - \beta_0 \\ \lambda_3 &= 6 \cdot \beta_2 - 6 \cdot \beta_1 + \beta_0 \end{aligned} \quad (2.10)$$

Burada, λ_1 L-yer veya dağılımın ortalaması ve λ_2 L-ölçek parametresidir. L-değişim katsayısı (L-CV) Denklem 2.11 ile edilmektedir.

$$\tau = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (2.11)$$

Yüksek mertebeden L-moment değerlerini L-ölçek parametresine bölerek L-momentlerinin boyutsuz oranları;

$$\tau_r = \frac{\lambda_r}{\lambda_2} \quad ; \quad r \geq 3 \quad (2.12)$$

ifadesiyle bulunur. $r = 3$ değeri için ise L-çarpıklık katsayısı (L-CS) elde edilir.

L-momentlerinin tahminlerinin elde edilmesinde, yukarıda tanımlanan β_r olasılık ağırlıklı momentlerin yerlerine bir örnek tahminleri konularak Denklem 2.13'de verilen ifadeler kullanılır.

$$\begin{aligned} L_1 &= b_0 \\ L_2 &= 2 \cdot b_1 - b_0 \\ L_3 &= 6 \cdot b_2 - 6 \cdot b_1 + b_0 \end{aligned} \quad (2.13)$$

Buna göre, L-CV ve L-CS değerleri eldeki örnekten sırasıyla Denklem 2.14 ve 2.15 kullanılarak hesaplanır.

$$t_1 = \frac{L_2}{L_1} \quad (2.14)$$

$$t_2 = \frac{L_3}{L_2} \quad (2.15)$$

2.5. Olasılık Dağılımları ve Parametre Tahminleri

İstatistiksel analizlerin çözümünde öncelikle bir fonksiyon belirlenerek başlanmalıdır. Sonraki adım ise bu fonksiyona ait parametreleri bularak bir tahmin yapma aşamasıdır. Örneğin herhangi bir x rastgele değişkenin veri kümesinin frekans analizi yapılarak belirlenen histograma, bir teorik olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(x)$ uydurulur. Sonrasında ise diğer parametreler hesap edilerek tahmin yoluna gidilir. Parametre tahmin yöntemleri açısından mesele ele alınacak olur ise, öncelikle momentler yönteminin uygulanmasının daha kolay olduğu söylenilebilir. Ancak, bu yöntem normal dağılımlar için etkilidir ve diğer dağılımlar için etkinliği zayıftır. Diğer taraftan, L-momentler yönteminin tatbiki kolaydır ve momentler yöntemine göre daha az hata oranı olan tahminler verir.

Literatürde düşük akımların analizi için iki ve üç parametrelili farklı olasılık dağılım fonksiyonları önerilmiştir. Üç parametrelili dağılımların gözlenmiş verilere uydurulması daha kolay olmasına rağmen parametre tahmini için gereken çarpıklık katsayısının küçük örneklerden hesaplanan değerinin örnekleme varyansı büyük olduğundan parametre tahmin hatası da büyük olabilir. Diğer taraftan, alt sınır parametresi için tahmin edilen değer negatif olması veya gözlenmiş en küçük akımdan büyük çıkması bazı sorunlara yol açmaktadır. Dolayısıyla, alt sınırı sıfır olarak iki parametrelili bir dağılım kullanmak daha uygun görünmektedir (Nathan ve McMahon, 1990). Bu tez çalışmasında düşük akımların analizi için 2-parametrelili lognormal (LN2), 2-parametrelili Weibull (W2), üstel, Gumbel (G2), Pearson Tip III (P3) ve Log-Pearson Tip III (LP3) dağılımları göz önüne alınmış olup bunların olasılık dağılım fonksiyonları ile ilgili bilgiler aşağıda özet halinde verilmiştir.

2.5.1. 2-Parametrelı Lognormal Dağılım (LN2)

x rastgele değışkeni $y = \ln(x)$ dönüşümü ile normal hale gelebiliyorsa x değışkeninin dağılımı lognormal dağılımdır denılır. Burada normal dağılımın kullanışının daha kolay olması önemli bir etkidir. Dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$y = \ln x \quad (2.16)$$

$$f(x) = \frac{1}{x \cdot \sigma_y \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \quad 0 < x < \infty \quad (2.17)$$

denklemleri ile ifade edilir. Burada, μ_y ve σ_y sırasıyla $y=\ln(x)$ işlemi ile dönüştürölmüş y verilerine ait dağılımın ortalaması ve standart sapmasıdır. Bu işlemde çarpık bir dağılımın simetrik bir dağılıma dönüşmesi amaçlanır. Sonuç olarak x rastgele değışkeninin dağılımı lognormal, y değışkeninin dağılımı ise normal hale dönüştürölür. Burada, sadece LN2 dağılım parametrelerinin momentler yöntemiyle tahmini anlatılacaktır. Dağılımın L-momentleri yöntemiyle parametre tahmini polinom yaklaşımıyla literatürde detaylı bir şekilde verilmiştir (Stedinger vd., 1993).

2.5.1.1. Momentler Yöntemi

Bir x rastgele değışkeninin $y=\ln(x)$ dönüşümü ile normal dağılım halini aldığı kabul edilir. Buna göre LN2 dağılımında y rastgele değışkenine ait ortalama ($\bar{y}$) ve standart sapma (σ_y) parametreleri;

$$\bar{y} = \ln \left[\frac{\bar{x}}{\left(\frac{s_x^2}{\bar{x}^2} + 1 \right)^{1/2}} \right] \quad (2.18)$$

$$s_y = \left[\ln \left(\frac{s_x^2}{\bar{x}^2} + 1 \right) \right]^{1/2} \quad (2.19)$$

denklemleri ile elde edilir. Burada $\bar{x}$ ve s_x sırasıyla gözlenen akımların (x) ortalaması ve standart sapmasıdır.

2.5.2. 2-Parametrelı Weibull Dağılımı (W2)

Weibull dağılımında açıkçası parametrelerin tahmini biraz meşakkatlidir. Bu dağılımda α ve β olmak üzere iki parametre vardır. α şekil parametresi dağılımın şeklini, β ölçek parametresi ise verilerin yayılışını belirler. 2 parametrelı olarak ele

alınan dağılımın ve olasılık yoğunluk fonksiyonu ve eklenik dağılım fonksiyonu sırasıyla,

$$f(x) = \alpha \cdot x^{\alpha-1} \cdot \beta^{-\alpha} \cdot \exp \left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha} \right] \quad ; \quad x \geq 0 \quad \text{ve} \quad \alpha, \beta > 0 \quad (2.20)$$

$$F(x) = 1 - \exp \left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha} \right] \quad (2.21)$$

şeklinde ifade edilir.

2.5.2.1. Momentler Yöntemi

Bir x rastgele değişkenine ait örnekte değişkenin ortalama ve varyans değerleri (μ_x ve σ_x^2) hesaplandıktan sonra W2 dağılımının şekil ve ölçek parametreleri (α ve β) Denklem (2.22) ve Denklem (2.23)'te verilen bağıntıların birlikte çözümü sonucunda elde edilir (Stedinger vd., 1993).

$$\mu_x = \beta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right) \quad (2.22)$$

$$\sigma_x = \beta \cdot \left[\Gamma \left(1 + \frac{2}{\alpha} \right) - \left[\Gamma \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right) \right]^2 \right]^{1/2} \quad (2.23)$$

Burada Γ gama fonksiyonudur.

2.5.2.2. L-Momentleri Yöntemi

Elde olan veri kümesinin $y = \ln(x)$ dönüşümü yapıldıktan sonra ortaya çıkan y değişkenlerine ait L-momentleri 2.24 ve 2.25 nolu denklemler kullanılarak hesap edilir. Bu durumda α ve β parametreleri;

$$\alpha = \frac{\ln(2)}{L_2} \quad (2.24)$$

$$\beta = \exp \left(L_1 + \frac{0,5772}{\alpha} \right) \quad (2.25)$$

ifadelerinden elde edilir (Önöz ve Bulu, 1996)

2.5.3. Üstel Dağılım

Üstel dağılımının eklenik dağılım fonksiyonu Denklem (2.26) ile verilen bağıntı ile tanımlanmıştır (Önöz ve Bayazıt, 2001).

$$F(x) \cong 1 - \left[1 - (x/x_0)^c\right] = (x/x_0)^c ; \quad x \leq x_0 \quad (2.26)$$

2.5.3.1. Momentler Yöntemi

Bu yöntemde üstel dağılıma ait c ve x_0 parametreleri;

$$\bar{x} = \frac{c \cdot x_0}{(c + 1)} \quad (2.27)$$

$$s_x^2 = \frac{c \cdot x_0^2}{(c+2)(c+1)^2} \quad (2.28)$$

ifadeleri ile hesap edilir.

2.5.3.2. L-Momentler Yöntemi

Büyüklik sırasına göre düzenlenmiş örneğin b_0 ve b_1 olasılık ağırlıklı momentleri hesaplandıktan sonra ilk iki L-moment değeri (L_1 ve L_2) elde edilir. Buna göre, üstel dağılıma ait c ve x_0 parametreleri,

$$c = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{L_1}{L_2} - 1 \right) \quad (2.29)$$

$$x_0 = L_1 \cdot \frac{(c + 1)}{c} \quad (2.30)$$

ifadeleri ile doğrudan hesaplanır (Önöz ve Bayazıt, 2001).

2.5.4. 2-Parametrelili Gumbel Dağılımı (G2)

Bu çalışma kapsamında kullanılan 2-parametrelili Gumbel dağılımının olasılık yoğunluk ve eklenik dağılım fonksiyonları sırasıyla,

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[-\frac{x - \beta}{\alpha} - \exp \left(\frac{x - \beta}{\alpha} \right) \right] ; \quad -\infty \leq x \leq +\infty \quad (2.31)$$

$$F(x) = \exp \left[-\exp \left((-\alpha(x - \beta)) \right) \right] \quad (2.32)$$

şeklinde ifade edilir. Burada α ölçek parametresi, β ise yer parametresidir. (Bayazıt ve Önöz, 2008).

2.5.4.1. Momentler Yöntemi

G2 dağılımının α ölçek ve β yer parametreleri,

$$\mu_x = \beta + 0,5772 \alpha \quad (2.33)$$

$$\sigma_x^2 = \frac{\pi^2 - \alpha^2}{6} = 1,645 \alpha^2 \quad (2.34)$$

ifadeleri ile hesap edilir.

2.5.4.2. L-momentler Yöntemi

G2 dağılımının α ve β yer parametreleri L-momentler yöntemiyle aşağıda verilen bağıntılar ile hesaplanır.

$$L_1 = \beta + 0,5772 \alpha \quad (2.35)$$

$$L_2 = \alpha \ln(2) \quad (2.36)$$

2.5.5. Pearson Tip III Dağılımı (P3)

Pearson Tip III dağılımına ait olasılık yoğunluk fonksiyonu,

$$f(x) = |\beta| [\beta(x - \xi)]^{\alpha-1} \frac{\exp[-\beta(x - \xi)]}{\Gamma(\alpha)} \quad (2.37)$$

ifadesi ile tanımlanır. Burada, α biçim, β ölçek, ξ yer parametresi ve Γ gama fonksiyonudur. $\alpha > 0$, $\beta > 0$ için $x > \xi$ olup ξ alt sınırı oluşturur. $\beta < 0$ için $x < \xi$ olup ξ alt sınırıdır. Bu dağılımın parametreleri momentler veya maksimum olabilirlik yöntemi ile elde edilebilir. L-momentleri için denklemler mevcut değildir (Bayazıt ve Önöz, 2008).

2.5.5.1. Momentler Yöntemi

P3 dağılımına ait α ve β parametreleri x rastgele değişkenine ait ortalama (μ_x), varyans (σ_x^2) ve çarpıklık katsayısı (γ) değerleri kullanılarak aşağıda verilen 2.38-2.40 nolu denklemlerde verilen bağıntılar yardımıyla elde edilir.

$$\mu_x = \xi + \frac{\alpha}{\beta} \quad (2.38)$$

$$\sigma_x^2 = \frac{\alpha}{\beta^2} \quad (2.39)$$

$$\gamma = \frac{2\beta}{|\beta|\sqrt{\alpha}} \quad (2.40)$$

2.5.6. Log-Pearson Tip III Dağılımı (LP3)

Bir rastgele değişkenin logaritmaları P3 dağılmış ise (Y değişkeni) esas değişkenin (X) dağılımı LP3 olur. Buna göre α biçim, β ölçek ve ξ yer parametresi olmak üzere LP3 dağılımına ait olasılık yoğunluk fonksiyonu (Bayazıt ve Önöz, 2008);

$$f(x) = |\beta| [\beta(x - \xi)]^{\alpha-1} \frac{\exp[-\beta(x - \xi)]}{\Gamma(\alpha)} \quad (2.41)$$

ifadesi ile elde edilir. Burada, $\beta < 0$ için $0 < x < \exp(\xi)$ olup ξ üst sınır, $\beta > 0$ için $0 < x < \exp(\xi)$ olup ξ alt sınır olmaktadır.

2.5.6.1. Momentler Yöntemi

LP3 dağılımına ait α ve β parametreleri x rastgele değişkenine ait ortalama (μ_x), varyans (σ_x^2) ve çarpıklık katsayısı (C_{sx}) değerleri kullanılarak aşağıda verilen 2.42-2.45 nolu denklemlerde verilen bağıntılar yardımıyla elde edilir.

$$E(x^r) = e^{r\xi} \left(\frac{\beta}{\beta - r} \right)^\alpha \quad (2.42)$$

olmak üzere $\beta > r$ veya $\beta < 0$ için

$$\mu_x = e^{\xi} \left(\frac{\beta}{\beta - 1} \right)^\alpha \quad (2.43)$$

$$\sigma_x^2 = e^{r\xi} \left[\left(\frac{\beta}{\beta - r} \right)^\alpha - \left(\frac{\beta}{\beta - r} \right)^{2\alpha} \right] \quad (2.44)$$

$$C_{sx} = \frac{E[x^3] - 3\mu_x[x^2] + 2\mu_x^3}{\sigma_x^3} \quad (2.45)$$

2.6. Olasılık Dağılımları İçin Uygunluk Testleri

Bir rastgele değişkene ait veri serisinin dağılımının, seçilen dağılım fonksiyonuna uygun olup olmadığını kontrol etmek için farklı yöntemler mevcuttur. En pratik sonuç veren yöntem grafik yöntemidir. Bu yöntemde, dağılımın teorik dağılıma ait yoğunluk fonksiyonunun uygunluğu grafik üzerinden olasılık kâğıdı yardımıyla karşılaştırılır. Belirlenen noktalar bir çizgi etrafında toplanıyor ise seçilen dağılım veriye uygundur denilir. Ancak, burada grafiği yorumlayarak seçilen olasılık fonksiyonunun uygun olabilirliğine karar vermek her zaman kolay olmayabilir. Dolayısıyla, göz önüne alınan rastgele değişkenin yüksek mertebe momentleri olan çarpıklık ve basıklık katsayılarının hesap edilip, seçilen fonksiyonun moment değerleri ile kıyaslanarak kontrolü yapılmalıdır. Lakin bu durumda da yüksek mertebeden momentlerin birbirine yakın olabilme ihtimali söz konusudur. Bu sebeplere bağlı olarak dağılımların uygunluğunu kontrol için farklı testlerin kullanılması gerekir (Önöz ve Bulu, 1996).

Düşük akım çalışmalarında genellikle Ki-Kare, Kolmogorov-Smirnov (K-S) ve PPCC (Olasılık Çizgisi Korelasyon Katsayısı) testleri ile L-moment diyagramları yöntemi kullanılmaktadır. Bu çalışmada, seçilen olasılık dağılımlarının uygunluğunu araştırmak için Kolmogorov-Smirnov ve PPCC testleri uygulanmıştır.

2.6.1. Kolmogorov-Smirnov (K-S) Testi

Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi bir rastgele değişkenin veri kümesinin herhangi bir eklenik dağılım fonksiyonuna uygunluğunu araştırmak için kullanılır. Bu test veri sayısının az olduğu durumlarda daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. Bunun yanında testin gücü genel olarak düşüktür. Dağılımın ana kütle ortalaması ve varyansı bilindiği varsayılır. Bir x rastgele değişkenin oluşturduğu dağılım ile seçilen dağılım arasındaki uyum değeri kullanılır. Bunun için eklenik (kümülatif) frekans dağılımı dikkate alınır. K-S testinde istatistiksel ifade mutlak değer olarak;

$$\Delta = \max |F(x_i) - F^*(x_i)| \quad (2.46)$$

formülü ile tanımlıdır. Bu formülde $F^*(x_i)$ ifadesi,

$$F^*(x_i) = \frac{i}{N} \quad (2.47)$$

olarak hesap edilen eklenik frekans dağılımının ordinat değerleridir. $F(x_i)$ ise belirlenen dağılım fonksiyonunun x_i değerlerine karşı gelen ordinat değerleridir.

Δ istatistik değeri ise gözlenen ve seçilen kümülatif fonksiyonlar arasında oluşacak farkın maksimum olanıdır. Δ istatistiğinin dağılımı N veri sayısına bağlıdır. N 'nin muhtelif karşılıkları için geçilme ihtimali α olan $\Delta\alpha$ karşılığı tablo halinde verilmiştir. Bu tablolara göre hesap edilen Δ istatistiği, tablo üzerinde okunan $\Delta\alpha$ değerinden küçük ise dağılım α anlamlılık düzeyinde uygundur (Bayazıt ve Oğuz, 1994).

2.6.2. PPCC (Olasılık Çizgisi Korelasyon Katsayısı) Testi

PPCC testi istatistik alanında yaygın kullanılır. Hesaplaması kolaydır. Sonuçlar hem grafik üzerinden hem de sayısal olarak karşılaştırılabilir. Güçlü bir test olarak kabul edilir. Bu testin tatbik edilebilmesi için gerekli olan r korelasyon katsayısı, sıralı olarak düzenlenen gözlenmiş veriler ile teoride kabul edilen eklenik dağılım fonksiyonunun invers değerleri kullanılarak hesaplanır. Hesap edilen r değerinin muhtelif anlamlılık düzeyinde kabul edilen tablo değerinden büyük olması durumunda dağılımın uygunluğuna karar verilir (Vogel, 1986). Test istatistiği olan r korelasyon katsayısı;

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \cdot (M_i - \bar{M})}{\left[\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \cdot (M_i - \bar{M})^2 \right]^{1/2}} \quad (2.48)$$

Burada $\bar{x}$ ve $\bar{M}$ parametreleri sırasıyla x_i ve M_i değerlerinin ortalamasıdır. M_i parametresi;

$$M_i = F_x^{-1}(p_i) \quad (2.49)$$

ifadesiyle elde edilir. Burada $F(x)$ seçilen dağılıma ait eklenik dağılım fonksiyonu, p_i ise çeşitli olasılık dağılımları için önerilen tarafsız formüllerden hesaplanan değerlerdir (Önöz ve Bulu, 1996).

Aslında r değeri olasılık çizgisinin doğrusallığının bir ölçüsüdür. Dolayısıyla, eldeki örnek seçilen dağılıma uyuyorsa r değeri nispeten yüksek olması beklenir. Yukarıda verilen bağıntı ile hesaplanan r değerinin, kabul edilen α anlamlılık düzeyinde kritik değerden büyük olması halinde eldeki örneğin seçilen dağılıma uygun olduğu kabul edilir. Bu tez çalışmasında kullanılan olasılık dağılımları için PPCC testi aşağıda ayrı ayrı açıklanmıştır.

2.6.2.1. Lognormal Dağılım

Standart normal dağılımın invers değerlerinin hesabı için aşağıdaki ifade kullanılabilir (Joiner ve Rosenblatt, 1971);

$$M_i = 4.91 [p_i^{0.14} - (1-p_i)^{0.14}] \quad (2.50)$$

Normal p_i değerleri ise aşağıdaki ifadelerden hesaplanır (Filliben, 1975).

$$p_i = 1 - (0.5)^{1/n} \quad i = 1 \quad (2.51)$$

$$p_i = (i - 0.3175) / (n + 0.365) \quad i = 2, \dots, n-1 \quad (2.52)$$

$$p_i = (0.5)^{1/n} \quad i = n \quad (2.53)$$

Burada $x_1 \leq \dots \leq x_i \leq \dots \leq x_n$ gözlenmiş değerlere $y=\ln(x)$ dönüşümü uygulanarak elde edilen y değişkenleri büyüklük sırasına göre düzenlenir ($y_1 \leq \dots \leq y_i \leq \dots \leq y_n$). İvers değerleri elde edildikten sonra Denklem (2.48) ile hesaplanan r test istatistiği, seçilen anlamlılık düzeyinde Çizelge 2.2’den belirlenen kritik değerden büyükse gözlenmiş değerlerin lognormal dağılımına uyduğu hipotezi kabul edilir.

Çizelge 2.2. Normal dağılım hipotezleri için olasılık çizgisi korelasyon katsayısı r ’nin kritik değerleri (Bayazıt, 1996)

n	α - Anlamlılık Düzeyi					
	0,005	0,01	0,025	0,05	0,10	0,25
5	0,807	0,826	0,856	0,880	0,903	0,934
10	0,862	0,879	0,901	0,918	0,934	0,954
15	0,896	0,910	0,927	0,939	0,951	0,965
20	0,916	0,926	0,940	0,951	0,960	0,972
25	0,929	0,939	0,951	0,959	0,966	0,976
30	0,939	0,947	0,957	0,964	0,971	0,979
40	0,953	0,959	0,966	0,972	0,977	0,984
50	0,961	0,966	0,972	0,977	0,981	0,986
60	0,967	0,971	0,976	0,980	0,984	0,988
80	0,975	0,978	0,982	0,985	0,987	0,991
100	0,979	0,982	0,985	0,987	0,989	0,992

2.6.2.2. Weibull Dağılımı

Weibull dağılımı için PPCC test istatistiğinin r tahmini;

$$M_i = F_y^{-1}(p_i) = \ln \beta + \frac{1}{\alpha} \cdot \ln [-\ln (1-p_i)] \quad (2.54)$$

değerleri ile hesap edilir (Vogel ve Kroll, 1989).

x değişkeni Weibull dağılımı şeklinde ise $y = -\ln(x)$ değişkeni de Gumbel dağılmış denilebilir. Bu sebeple dağılımların birisi için kullanılan ifadeler diğer dağılımlar için de kullanılabilir (Stedinger vd, 1993). (2.54) denklemi için kullanılacak p_i değerleri ise;

$$p_i = \frac{i - 0.44}{n + 0.12} \quad (2.55)$$

ifadesi ile elde edilir (Önöz, Bulu, 1996).

Burada $x_1 \leq \dots \leq x_i \leq \dots \leq x_n$ gözlenmiş değerlere $y = \ln(x)$ dönüşümü uygulanarak elde edilen y değişkenleri büyüklük sırasına göre düzenlenir ($y_1 \leq \dots \leq y_i \leq \dots \leq y_n$). İnvers değerleri elde edildikten sonra Denklem (2.48) ile hesaplanan r test istatistiği, seçilen anlamlılık düzeyinde Çizelge 2.3'ten belirlenen kritik değerden büyükse gözlenmiş değerlerin Weibull dağılımına uyduğu hipotezi kabul edilir.

Çizelge 2.3. Weibull (W2) dağılımı hipotezi için olasılık çizgisi korelasyon katsayısı r'nin kritik değerleri (Vogel ve Kroll, 1989)

n	α - Anlamlılık Düzeyi					
	0,01	0,050	0,10	0,25	0,50	0,75
10	0,868	0,909	0,926	0,950	0,968	0,980
15	0,893	0,927	0,942	0,961	0,974	0,984
20	0,903	0,938	0,951	0,967	0,978	0,986
25	0,914	0,946	0,958	0,971	0,981	0,987
30	0,923	0,953	0,963	0,975	0,983	0,989
40	0,933	0,960	0,969	0,979	0,986	0,991
50	0,940	0,965	0,973	0,982	0,988	0,992
60	0,947	0,969	0,976	0,984	0,989	0,993
70	0,952	0,972	0,979	0,986	0,990	0,994
80	0,955	0,974	0,980	0,987	0,991	0,994
90	0,958	0,977	0,982	0,988	0,992	0,995
100	0,961	0,978	0,983	0,989	0,993	0,995

2.6.2.3. Üstel Dağılım

Üstel dağılım için invers değerleri aşağıdaki ifadelerden elde edilir (Önöz, Bayazıt, 1998).

$$M_i = p_i \quad (2.56)$$

p_i değerleri ;

$$p_i = \frac{i}{n + 1} \quad (2.57)$$

denklemleri ile hesap edilir. Üstel dağılımda r istatistiğinin hesabını yaparken sadece x_0 'dan küçük değerler uygulamaya dahil edilmelidir. İnvers değerler elde edildikten sonra Denklem (2.48) ile hesaplanan r test istatistiği, seçilen anlamlılık düzeyinde Çizelge 2.4'den belirlenen kritik değerden büyükse gözlenmiş değerlerin üstel dağılımına uyduğu hipotezi kabul edilir.

Çizelge 2.4. Üstel dağılım hipotezi için olasılık çizgisi korelasyon katsayısı r 'nin kritik değerleri

n	α - Anlamlılık Düzeyi				
	0,01	0,05	0,10	0,25	0,50
5	0,810	0,874	0,898	0,930	0,960
10	0,852	0,898	0,920	0,948	0,968
20	0,871	0,921	0,941	0,963	0,978
30	0,886	0,934	0,951	0,971	0,982
40	0,899	0,942	0,958	0,975	0,985
50	0,909	0,948	0,963	0,978	0,987
75	0,927	0,959	0,970	0,983	0,990
100	0,939	0,965	0,975	0,986	0,992

2.6.2.4. Gumbel Dağılımı

Gumbel olasılık dağılımının PPCC testi;

$$M_i = F_x^{-1}(p_i) \quad (2.58)$$

$$p_i = \frac{i - 0.44}{n + 0.12} \quad (2.59)$$

değerleri hesap edildikten sonra Denklem (2.48) ile elde edilen r test istatistiği, seçilen anlamlılık düzeyinde Çizelge 2.5’den belirlenen kritik değerden büyükse gözlenmiş değerlerin Gumbel dağılımına uyduğu hipotezi kabul edilir (Vogel, 1986).

Çizelge 2.5. Gumbel (G2) dağılımı hipotezi için olasılık çizgisi korelasyon katsayısı r’nin kritik değerleri

n	α - Anlamlılık Düzeyi					
	0,005	0,001	0,05	0,10	0,25	0,50
10	156,00	137,00	91,60	74,00	49,60	32,00
20	114,00	94,00	61,00	48,30	33,30	21,70
30	99,20	80,90	47,40	37,80	25,40	16,90
34	91,22	75,20	43,32	33,78	23,00	15,04
40	85,90	71,40	40,60	31,10	21,40	13,80
50	73,70	61,10	35,40	27,10	18,20	12,10
60	66,60	53,30	31,50	24,00	16,10	10,60
70	57,20	49,40	28,00	21,30	14,40	9,43
80	59,70	47,50	25,30	19,60	13,10	8,61
90	53,00	44,60	23,60	18,10	11,90	7,97
100	48,30	40,40	22,10	16,90	11,20	7,39

2.6.2.5. Pearson Tip III ve Log-Pearson Tip III Dağılımları

Pearson Tip III dağılımı için PPCC testi istatistiği (2.60) ve (2.61) denklemleri yardımıyla hesap edilir..

$$M_i = \mu + \sigma K_i \quad (2.60)$$

denkleminde μ ortalama, σ standart sapma ve K_i ise su kaynakları literatüründe P3 dağılımı için frekans faktörü olarak tanımlanır ve x rastgele değişkeninin aşılma olasılığını ifade eder.

p_i değerleri;

$$p_i = \frac{i-a}{n+1-2a} \quad (2.61)$$

denkleminde hesap edilir. Burada $a=0,375$ alınabilir (Vogel ve McMartin, 1991).

İnvers değerleri elde edildikten sonra Denklem (2.48) ile hesaplanan r test istatistiği hesap edilir. Hesap edilen değerler tablolardan okunan değerlerden büyük ise test uygunluk gösterir. Bu testte her x_i değeri için karşılık gelen p_i değerleri grafiğin

doğrusallığının bir ölçüsüdür. İncelencek örnek ne kadar doğrusal olursa o kadar sağlıklı sonuç verecektir. Bu durumda test istatistiğinin 1'e yaklaşması beklenilir.

Log-Pearson Tip III dağılımı için ise $y=\ln(x)$ dönüşümü gerçekleştirilerek aynı yöntemler ile test istatistik değeri hesaplanabilir. Bulunan r değeri tablodan okunan değerden büyük ise uygunluk gösterdiği söylenilebilir.

Pearson Tip III ve Log-Pearson Tip III dağılımının test istatistiği $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyinde çarpıklık ile bağlantılı olan bir başka hesabı;

$$r = \exp[3,77 - 0,029\gamma^2 - 0,00067n]n^{(0,105\gamma-0,748)} \quad ; \quad |\gamma| \leq 5 \quad (2.62)$$

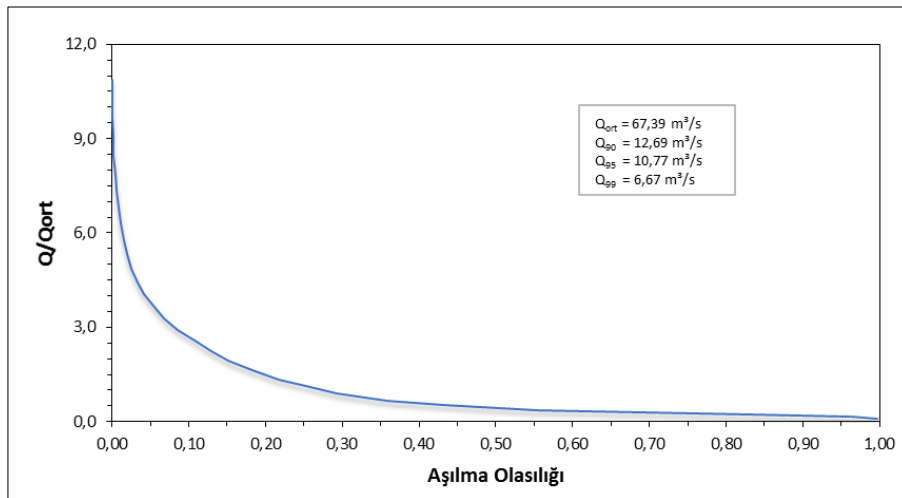
ifadesi ile elde edilir. Burada γ çarpıklık katsayısı, n veri sayısıdır (Vogel ve McMartin, 1991).

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada, İç Anadolu Bölgesi'nde seçilen 4 adet akım gözlem istasyonundan elde edilen günlük akım verileri kullanılarak düşük akım analizi gerçekleştirilmiştir. Bu amaç için hidrolojik ve istatistiksel analizler sonucunda elde edilen araştırma bulguları aşağıdaki bölümlerde sırasıyla değerlendirilmiştir.

3.1. Hidrolojik Analiz

Hidrolojik analiz kapsamında, 1-, 3-, 7- ve 10-günlük düşük akım değerlerine ait debi süreklilik eğrileri çizilmiştir. Düşük akım karakteristiklerini yeterli düzeyde ifade eden bu eğri genellikle düşey ekseninde debi, yatay ekseninde aşılma olasılığı olacak şekilde çizilir. Bu çalışmada; yatay ekseninde aşılma olasılığı değerleri, düşey ekseninde ise aşılma olasılığına karşı gelen Q debisinin ortalama debiye (Q_{ort}) bölünmesiyle hesaplanan boyutsuz Q/Q_{ort} değerleri işaretlenmiştir. Akarsuyun düşük akım göstergesi olan %90, %95 ve %99 aşılma olasılığına sahip debi değerleri (Q_{90} , Q_{95} ve Q_{99}) bu eğrilerden elde edilmiştir. Burada örnek olarak, 1501-Yamula istasyonuna ait 7-günlük düşük akımlara ait debi süreklilik eğrisi Şekil 3.1'de görülmektedir. Bütün istasyonların debi süreklilik eğrileri çalışmanın ekler kısmında ayrı ayrı sunulmuştur.



Şekil 3.1. 1501-Yamula istasyonunda 7-günlük düşük akımlara ait debi süreklilik eğrisi

1-, 3-, 7- ve 10-günlük akım periyotları için belirlenen Q_{90} , Q_{95} ve Q_{99} düşük akım değerleri istasyon bazında Çizelge 3.1-Çizelge 3.4 üzerinde ayrı ayrı verilmiştir. Çizelgelerde görüldüğü gibi bütün istasyonlarda farklı akım periyotları için belirlenen düşük akım değerleri birbirine çok yakındır. Burada ortalama akım değeri azaldıkça düşük akım değerleri arasında pek fark olmadığı göze çarpmaktadır.

Çizelge 3.1. 1501-Yamula istasyonunda %90, %95 ve %99 aşılma olasılıkları için elde edilen düşük akım debileri (m^3/s)

Debi (m^3/s)	Düşük Akım Gün Sayısı			
	1	3	7	10
Q_{90}	12,50	12,69	12,69	12,69
Q_{95}	10,42	10,77	10,77	10,77
Q_{99}	6,25	6,67	6,67	6,67

Çizelge 3.2. 1535 -Söğütlühan istasyonunda %90, %95 ve %99 aşılma olasılıkları için elde edilen düşük akım debileri (m^3/s)

Debi (m^3/s)	Düşük Akım Gün Sayısı			
	1	3	7	10
Q_{90}	5,00	5,00	5,00	5,00
Q_{95}	3,50	3,50	3,50	3,50
Q_{99}	2,30	2,30	2,30	2,30

Çizelge 3.3. 1539 -Bulakbaşı istasyonunda %90, %95 ve %99 aşılma olasılıkları için elde edilen düşük akım debileri (m^3/s)

Debi (m^3/s)	Düşük Akım Gün Sayısı			
	1	3	7	10
Q_{90}	1,59	1,59	1,59	1,59
Q_{95}	1,59	1,59	1,59	1,59
Q_{99}	0,59	0,59	0,59	0,59

Çizelge 3.4. 1543 -Karaözü istasyonunda %90, %95 ve %99 aşılma olasılıkları için elde edilen düşük akım debileri (m³/s)

Debi (m ³ /s)	Düşük Akım Gün Sayısı			
	1	3	7	10
Q ₉₀	8,83	8,90	8,94	8,94
Q ₉₅	6,85	6,89	6,96	6,96
Q ₉₉	5,26	5,28	5,38	5,38

3.2. İstatistiksel Analiz

3.2.1. Düşük Akımların İstatistik Değerleri

Mevcut veri serisinin her bir istasyonu için günlük debilerinin 1, 3, 7 ve 10 günlük art arda gelen ortalamaları alınmıştır. Sonrasında bu veriler arasında en küçük olanı seçilerek ilgili yıla ait 1-, 3-, 7- ve 10-günlük düşük akım zaman serileri elde edilmiştir. Seçilen istasyonların verilen akım periyotlarında düşük akımlarına ait ortalama (μ_x), standart sapma (σ_x), çarpıklık katsayısı (C_{sx}) ve L-moment (L2 ve L3) değerleri Çizelge 3.5-Çizelge 3.8’de verilmiştir. Burada görüldüğü gibi 2 istasyonda (1501 ve 1539) sıfır akım mevcuttur.

Çizelge 3.5. 1501-Yamula istasyonuna ait istatistikler

Düşük Akım Gün Sayısı	Sıfır Akım Sayısı	Merkez Momentleri			L-Momentleri	
		μ_x	σ_x	C_{sx}	L2	L3
1	5	10,969	4,305	-0,382	2,444	-0,177
3	1	11,717	3,822	-0,221	2,173	-0,058
7	0	12,031	3,917	-0,079	2,237	0,004
10	0	12,315	3,949	-0,098	2,264	-0,011

Çizelge 3.6. 1535 -Söğütlühan istasyonuna ait istatistikler

Düşük Akım Gün Sayısı	Sıfır Akım Sayısı	Merkez Momentleri			L-Momentleri	
		μ_x	σ_x	C_{sx}	L2	L3
1	0	4,355	1,358	1,107	0,744	0,153
3	0	4,454	1,402	0,983	0,777	0,148
7	0	4,643	1,509	0,789	0,850	0,154
10	0	4,731	1,545	0,751	0,875	0,158

Çizelge 3.7. 1539-Bulakbaşı istasyonuna ait istatistikler

Düşük Akım Gün Sayısı	Sıfır Akım Sayısı	Merkez Momentleri			L-Momentleri	
		μ_x	σ_x	C_{sx}	L2	L3
1	2	0,894	0,515	0,273	0,296	0,006
3	0	0,931	0,581	0,946	0,321	0,038
7	0	1,009	0,686	1,326	0,368	0,071
10	0	1,042	0,709	1,258	0,383	0,076

Çizelge 3.8. 1543- Karaözü istasyonuna ait istatistikler

Düşük Akım Gün Sayısı	Sıfır Akım Sayısı	Merkez Momentleri			L-Momentleri	
		μ_x	σ_x	C_{sx}	L2	L3
1	0	8,772	3,373	0,558	1,952	0,321
3	0	8,889	3,432	0,690	1,971	0,403
7	0	9,191	3,730	0,964	2,104	0,568
10	0	9,307	3,700	0,954	2,090	0,560

1.1.1 Olasılık Dağılımlarının Parametreleri

Düşük akım analizi için seçilen olasılık dağılımlarına ait parametreler momentler ve L-momentler yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Seçilen istasyonlarda dağılımlara ait parametre değerleri Çizelge 3.9-3.12 üzerinde ayrı ayrı verilmiştir. Burada LN2, G2, P3 ve LP3 dağılımları için momentler yöntemi kullanılırken W2 ve üstel dağılımlar için ise L-momentler yöntemi tercih edilmiştir.

Çizelge 3.9. 1501-Yamula istasyonunda tahmin edilen olasılık dağılım parametreleri

Düşük Akım Gün Sayısı	Lognormal Dağılım (LN2)		Weibull Dağılımı (W2)		Üstel Dağılım		Gumbel Dağılımı (G2)	
	μ_y	σ_y	α	β	c	X_0	α	β
1	2,278	0,569	2,423	12,380	1,745	17,257	3,357	9,032
3	2,395	0,397	3,283	13,081	2,196	17,053	2,980	9,997
7	2,425	0,381	3,352	13,428	2,189	17,527	3,054	10,268
10	2,451	0,374	3,401	13,741	2,220	17,863	3,079	10,538

Düşük Akım Gün Sayısı	Pearson Tip III Dağılımı (P3)			Log-Pearson Tip III Dağılımı (LP3)		
	$\bar{x}$	S_x	C_{sx}	$\bar{y}$	S_y	C_{sy}
1	10,969	4,305	-0,382	2,278	0,569	-1,805
3	11,717	3,822	-0,221	2,395	0,397	-1,297
7	12,031	3,917	-0,092	2,425	0,381	-1,096
10	12,315	3,949	-0,098	2,451	0,374	-1,088

Çizelge 3.10. 1535 - Söğütlühan istasyonunda tahmin edilen olasılık dağılım parametreleri

Düşük Akım Gün Sayısı	Lognormal Dağılım (LN2)		Weibull Dağılımı (W2)		Üstel Dağılım	Gumbel Dağılımı (G2)		
	μ_y	σ_y	α	β	c	μ_y	σ_y	α
1	1,428	0,294	4,126	4,799	2,427	6,150	1,059	3,744
3	1,449	0,300	4,014	4,918	2,367	6,335	1,093	3,823
7	1,487	0,315	3,796	5,148	2,231	6,723	1,176	3,964
10	1,505	0,318	3,752	5,251	2,203	6,878	1,205	4,035

Düşük Akım Gün Sayısı	Pearson Tip III Dağılımı (P3)			Log-Pearson Tip III Dağılımı (LP3)		
	$\bar{x}$	S_x	C_{sx}	$\bar{x}$	S_x	C_{sy}
1	4,355	1,358	1,107	1,428	0,294	0,366
3	4,454	1,402	0,983	1,449	0,300	0,283
7	4,643	1,509	0,789	1,487	0,315	0,202
10	4,731	1,545	0,751	1,505	0,318	0,190

Çizelge 3.11. 1539 - Bulakbaşı istasyonunda tahmin edilen olasılık dağılım parametreleri

Düşük Akım Gün Sayısı	Lognormal Dağılım (LN2)		Weibull Dağılımı (W2)		Üstel Dağılım	Gumbel Dağılımı (G2)		
	μ_y	σ_y	α	β	c	μ_y	σ_y	α
1	-0,380	0,903	1,469	1,013	1,012	-0,756	0,402	0,662
3	-0,340	0,886	1,488	1,049	0,948	-0,781	0,453	0,670
7	-0,273	0,885	1,467	1,128	0,869	-0,818	0,535	0,700
10	-0,239	0,876	1,473	1,165	0,861	-0,822	0,553	0,723

Düşük Akım Gün Sayısı	Pearson Tip III Dağılımı (P3)			Log-Pearson Tip III Dağılımı (LP3)		
	$\bar{x}$	S_x	C_{sx}	$\bar{x}$	S_x	C_{sy}
1	0,894	0,515	0,273	-0,380	0,903	-1,542
3	0,931	0,581	0,946	-0,340	0,886	-1,607
7	1,009	0,686	1,326	-0,273	0,885	-1,375
10	1,042	0,709	1,258	-0,239	0,876	-1,292

Çizelge 3.12. 1543 - Karaözü istasyonunda tahmin edilen olasılık dağılım parametreleri

Düşük Akım Gün Sayısı	Lognormal Dağılım (LN2)		Weibull Dağılımı (W2)		Üstel Dağılım		Gumbel Dağılımı (G2)	
	μ_y	σ_y	α	β	c	μ_y	σ_y	α
1	2,102	0,391	3,029	9,901	1,747	13,795	2,630	7,254
3	2,117	0,382	3,097	10,009	1,754	13,955	2,676	7,344
7	2,147	0,386	3,071	10,331	1,684	14,647	2,908	7,512
10	2,163	0,378	3,134	10,452	1,727	14,698	2,885	7,642

Düşük Akım Gün Sayısı	Pearson Tip III Dağılımı (P3)			Log-Pearson Tip III Dağılımı (LP3)		
	$\bar{x}$	S_x	C_{sx}	$\bar{x}$	S_x	C_{sy}
1	8,772	3,373	0,558	2,102	0,391	-0,090
3	8,889	3,432	0,690	2,117	0,382	0,110
7	9,191	3,730	0,964	2,147	0,386	0,333
10	9,307	3,700	0,954	2,163	0,378	0,350

3.2.2. Olasılık Dağılımlarının Uygunluk Testleri

3.2.2.1. Kolmogorov-Smirnov (K-S) Testi

Göz önüne alınan olasılık dağılımlarının 1-, 3-, 7- ve 10-günlük düşük akımlara (sırasıyla Q1, Q3, Q7 ve Q10) uygunluğunu araştırmak amacıyla gerçekleştirilen K-S test sonuçları her istasyon için ayrı ayrı Çizelge 3.13-Çizelge 3.16'da verilmiştir. K-S testi için Hydrognomon istatistik paket programı kullanılmıştır. Tabloda verilen değerler $\alpha=0,1$ anlamlılık düzeyinde hesap edilen $\Delta\alpha$ değerleri üzerinden değerlendirilmiştir. Test sonucunda uygun bulunan dağılımlar tablolar üzerinde gösterilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre;

- 1501 No'lu istasyon için 16 adet düşük akım serisinden sadece 3 tanesinde (üstel dağılım ile 1-günlük debi ve LP3 dağılımı ile 1- ve 3-günlük debiler) hipotez reddedilmiş olup diğer sınamalarda ise hipotez kabul edilerek dağılım tipleri uygunluk göstermiştir.
- 1535 No'lu istasyon için 16 adet düşük akım serisinin tümünde hipotez kabul edilerek dağılım tipleri uygunluk göstermiştir.
- 1539 No'lu istasyonda 16 adet düşük akım serisinden 4 tanesinde hipotez reddedilmiştir (LP3 dağılımı ile 1-, 3-, 7- ve 10-günlük debiler). Geri kalan tüm değerlerde hipotez kabul edilerek dağılım tipleri uygunluk göstermiştir.
- 1543 No'lu istasyon için 16 adet düşük akım serisinin tümünde hipotez kabul edilerek dağılım tipleri uygunluk göstermiştir.

Çizelge 3.13. 1501-Yamula istasyonu için Kolmogorov-Simirnov (K-S) test sonuçları (anlamlılık düzeyi $\alpha = 0,10$)

Olasılık Dağılımı	Q1			Q3			Q7			Q10		
	$\Delta_{\max}$	$\Delta\alpha$	Sonuç	$\Delta_{\max}$	$\Delta\alpha$	Sonuç	$\Delta_{\max}$	$\Delta\alpha$	Sonuç	$\Delta_{\max}$	$\Delta\alpha$	Sonuç
LN2	0,139	0,200	+	0,105	0,200	+	0,091	0,200	+	0,085	0,200	+
W2	0,098	0,200	+	0,082	0,200	+	0,098	0,200	+	0,093	0,200	+
ÜSTEL	0,203	0,200	-	0,191	0,200	+	0,168	0,200	+	0,174	0,200	+
G2	0,083	0,200	+	0,150	0,200	+	0,168	0,200	+	0,161	0,200	+
P3	0,095	0,200	+	0,069	0,200	+	0,098	0,200	+	0,091	0,200	+
LP3	0,318	0,200	-	0,218	0,200	-	0,179	0,200	+	0,184	0,200	+

Çizelge 3.14. 1535 - Söğütlühan istasyonu için Kolmogorov-Simirnov test sonuçları (anlamlılık düzeyi $\alpha = 0,10$)

Olasılık Dağılımı	Q1			Q3			Q7			Q10		
	$\Delta_{\max}$	$\Delta\alpha$	Sonuç	$\Delta_{\max}$	$\Delta\alpha$	Sonuç	$\Delta_{\max}$	$\Delta\alpha$	Sonuç	$\Delta_{\max}$	$\Delta\alpha$	Sonuç
LN2	0,094	0,220	+	0,079	0,220	+	0,080	0,220	+	0,076	0,220	+
W2	0,107	0,220	+	0,098	0,220	+	0,104	0,220	+	0,112	0,220	+
ÜSTEL	0,176	0,220	+	0,163	0,220	+	0,166	0,220	+	0,124	0,220	+
G2	0,172	0,220	+	0,165	0,220	+	0,174	0,220	+	0,182	0,220	+
P3	0,109	0,220	+	0,086	0,220	+	0,069	0,220	+	0,068	0,220	+
LP3	0,112	0,220	+	0,093	0,220	+	0,086	0,220	+	0,079	0,220	+

Çizelge 3.15. 1539 - Bulakbaşı istasyonu için Kolmogorov-Smirnov test sonuçları (anlamlılık düzeyi $\alpha = 0,10$)

Olasılık Dağılımı	Q1			Q3			Q7			Q10		
	$\Delta_{\max}$	$\Delta\alpha$	Sonuç	$\Delta_{\max}$	$\Delta\alpha$	Sonuç	$\Delta_{\max}$	$\Delta\alpha$	Sonuç	$\Delta_{\max}$	$\Delta\alpha$	Sonuç
LN2	0,152	0,220	+	0,126	0,220	+	0,102	0,220	+	0,102	0,220	+
W2	0,098	0,220	+	0,069	0,220	+	0,087	0,220	+	0,093	0,220	+
ÜSTEL	0,165	0,220	+	0,129	0,220	+	0,143	0,220	+	0,149	0,220	+
G2	0,084	0,220	+	0,121	0,220	+	0,173	0,220	+	0,179	0,220	+
P3	0,071	0,220	+	0,056	0,220	+	0,092	0,220	+	0,093	0,220	+
LP3	0,279	0,220	-	0,254	0,220	-	0,246	0,220	-	0,242	0,220	-

Çizelge 3.16. 1543- Karaözü istasyonu için Kolmogorov-Smirnov test sonuçları (anlamlılık düzeyi $\alpha = 0,10$)

Olasılık Dağılımı	Q1			Q3			Q7			Q10		
	$\Delta_{\max}$	$\Delta\alpha$	Sonuç	$\Delta_{\max}$	$\Delta\alpha$	Sonuç	$\Delta_{\max}$	$\Delta\alpha$	Sonuç	$\Delta_{\max}$	$\Delta\alpha$	Sonuç
LN2	0,101	0,300	+	0,107	0,300	+	0,102	0,300	+	0,107	0,300	+
W2	0,132	0,300	+	0,143	0,300	+	0,141	0,300	+	0,138	0,300	+
ÜSTEL	0,101	0,300	+	0,094	0,300	+	0,098	0,300	+	0,095	0,300	+
G2	0,211	0,300	+	0,221	0,300	+	0,221	0,300	+	0,224	0,300	+
P3	0,121	0,300	+	0,125	0,300	+	0,107	0,300	+	0,106	0,300	+
LP3	0,101	0,300	+	0,107	0,300	+	0,087	0,300	+	0,095	0,300	+

3.2.2.2. Olasılık Çizgisi Korelasyon Testi (PPCC)

Metodoloji kısmında anlatıldığı üzere PPCC testini uygulamak için öncelikle r test istatistiği hesaplanır. Bulunan bu değerin seçilen anlamlılık düzeyinde kritik değerden büyük olması durumunda göz önüne alınan olasılık dağılımının uygunluğu kabul edilir. Burada, Pearson Tip III dağılımı için r test istatistiği değerlerinin $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyinde verilmesinden dolayı karşılaştırma yapmak için diğer dağılımlar için de aynı anlamlılık düzeyi göz önüne alınmıştır.

Seçilen akım istasyonları için PPCC test sonuçları Çizelge 3.17-Çizelge 3.20’de verilmiştir. Burada, hesaplanan r test istatistiği ile verilen anlamlılık düzeyi için belirlenen kritik r değeri karşılaştırılmıştır. Buna göre, r (hesap) değerinin r (tablo) değerinden büyük olması halinde olasılık dağılımının uygunluğuna karar verilmiştir. Test sonucunda uygun bulunan dağılımlar tablo üzerinde işaretlenmiştir.

Çizelge 3.17. 1501-Yamula istasyonu için PPCC test istatistik değerleri (anlamlılık düzeyi $\alpha = 0,05$)

Olasılık Dağılımı	r istatistiği	Q1	Q3	Q7	Q10
LN2	r (tablo)	0,945	0,950	0,952	0,952
	r (hesap)	0,900	0,942	<u>0,955</u>	<u>0,958</u>
W2	r (tablo)	0,954	0,957	0,959	0,956
	r (hesap)	<u>0,965</u>	<u>0,983</u>	<u>0,975</u>	<u>0,982</u>
Üstel	r (tablo)	0,935	0,938	0,937	0,937
	r (hesap)	<u>0,959</u>	<u>0,965</u>	<u>0,966</u>	<u>0,973</u>
G2	r (tablo)	0,957	0,957	0,957	0,957
	r (hesap)	0,948	0,935	0,949	0,947
P3	r (tablo)	0,964	0,968	0,968	0,968
	r (hesap)	<u>0,969</u>	<u>0,972</u>	<u>0,977</u>	<u>0,980</u>
LP3	r (tablo)	0,964	0,968	0,968	0,968
	r (hesap)	0,858	0,957	0,928	0,933

Çizelge 3.18. 1535 - Söğütlühan istasyonu için PPCC test istatistik değerleri (anlamlılık düzeyi $\alpha = 0,05$)

Olasılık Dağılımı	r istatistiği	Q1	Q3	Q7	Q10
LN2	r (tablo)	0,940	0,940	0,940	0,940
	r (hesap)	<u>0,987</u>	<u>0,988</u>	<u>0,987</u>	<u>0,989</u>
W2	r (tablo)	0,953	0,953	0,953	0,953
	r (hesap)	0,943	0,947	0,947	0,949
Üstel	r (tablo)	0,930	0,930	0,930	0,930
	r (hesap)	<u>0,992</u>	<u>0,993</u>	<u>0,986</u>	<u>0,991</u>
G2	r (tablo)	0,959	0,959	0,959	0,959
	r (hesap)	<u>0,964</u>	<u>0,971</u>	<u>0,980</u>	<u>0,983</u>
P3	r (tablo)	0,958	0,958	0,960	0,960
	r (hesap)	0,934	0,944	<u>0,960</u>	<u>0,965</u>
LP3	r (tablo)	0,958	0,958	0,960	0,960
	r (hesap)	<u>0,975</u>	<u>0,980</u>	<u>0,987</u>	<u>0,991</u>

Çizelge 3.19. 1539 -Bulanık istasyonu için PPCC test istatistik değerleri (anlamlılık düzeyi $\alpha = 0,05$)

Olasılık Dağılımı	r istatistiği	Q1	Q3	Q7	Q10
LN2	r (tablo)	0,931	0,940	0,940	0,940
	r (hesap)	0,921	0,934	<u>0,949</u>	<u>0,953</u>
W2	r (tablo)	0,947	0,953	0,953	0,953
	r (hesap)	<u>0,979</u>	<u>0,985</u>	<u>0,989</u>	<u>0,990</u>
Üstel	r (tablo)	0,952	0,952	0,952	0,952
	r (hesap)	<u>0,967</u>	<u>0,987</u>	<u>0,991</u>	<u>0,989</u>
G2	r (tablo)	0,959	0,959	0,959	0,959
	r (hesap)	<u>0,983</u>	<u>0,969</u>	0,952	0,952
P3	r (tablo)	0,960	0,958	0,958	0,958
	r (hesap)	<u>0,977</u>	0,943	0,916	0,920
LP3	r (tablo)	0,960	0,958	0,958	0,958
	r (hesap)	0,890	0,896	0,910	0,916

Çizelge 3.20. 1543 -Karaözü istasyonu için PPCC test istatistik değerleri (anlamlılık düzeyi $\alpha = 0,05$)

Olasılık Dağılımı	r istatistiği	Q1	Q3	Q7	Q10
LN2	r (tablo)	0,889	0,889	0,889	0,889
	r (hesap)	<u>0,985</u>	<u>0,984</u>	<u>0,982</u>	<u>0,982</u>
W2	r (tablo)	0,913	0,913	0,913	0,913
	r (hesap)	<u>0,973</u>	<u>0,960</u>	<u>0,945</u>	<u>0,944</u>
Üstel	r (tablo)	0,903	0,905	0,905	0,905
	r (hesap)	<u>0,958</u>	<u>0,956</u>	<u>0,952</u>	<u>0,955</u>
G2	r (tablo)	0,959	0,959	0,959	0,959
	r (hesap)	0,934	0,919	0,893	0,895
P3	r (tablo)	0,950	0,950	0,950	0,950
	r (hesap)	<u>0,969</u>	<u>0,961</u>	0,944	0,945
LP3	r (tablo)	0,950	0,950	0,950	0,950
	r (hesap)	<u>0,980</u>	<u>0,982</u>	<u>0,978</u>	<u>0,979</u>

Yukarıdaki çizelgelerde düşük akımlara uygunluğu tespit edilen dağılımlar istasyon bazında özet olarak Çizelge 3.21’de verilmiştir. Burada görüldüğü gibi, PPCC testi sonucunda göz önüne alınan istasyonlarda 16 adet düşük akım serisinin tamamı üstel dağılıma uygunluk göstermiştir. Bunlardan 12 tanesinin W2 ve LN2 dağılımlarına, 10 tanesinin P3, 8 tanesinin LP3 ve son olarak 6 tanesinin ise G2 dağılımlarına uyduğu görülmektedir. Buna göre, PPCC test sonucunda İç Anadolu Bölgesi’nde seçilen istasyonların tamamında üstel dağılımın uygun olduğu görülmekle birlikte istasyon bazında başka dağılımların da uygunluğu tespit edilmiştir.

Çizelge 3.21. PPCC test sonucuna göre seçilen istasyonlarda düşük akımlar için uygun bulunan olasılık dağılımları

İstasyon No	Düşük Akım Gün Sayısı			
	1	3	7	10
1501	W2, Üstel, P3	W2, Üstel, P3	LN2, W2, Üstel, P3	LN2, W2, Üstel, P3
1535	LN2, Üstel, G2, LP3	LN2, Üstel, G2, LP3	LN2, Üstel, G2, P3, LP3	LN2, Üstel, G2, P3, LP3
1539	W2, Üstel, G2, P3	W2, Üstel, G2	LN2, W2, Üstel	LN2, W2, Üstel
1543	LN2, W2, Üstel, P3, LP3	LN2, W2, Üstel, P3, LP3	LN2, W2, Üstel, LP3	LN2, W2, Üstel, LP3

3.2.3. Olasılık Dağılımları ile Düşük Akım Tahmini

Bu bölümde, tez çalışmada göz önüne alınan LN2, W2, üstel, G2, P3 ve LP3 dağılımları kullanılmak suretiyle verilen dönüş aralıkları (5, 10, 25, 50 ve 100 yıl) için 7-günlük düşük akım değerleri tahmin edilmiştir. Çalışma kapsamında, genel olarak tek bir dağılımın uygunluğundan söz edilemeyeceği için tüm dağılımlar dikkate alınmıştır. Olasılık dağılımlarının uygunluğunun test edildiği aşamada sıfır akımlar dikkate alınmamıştır. Ancak, burada düşük akım tahmini için sıfır akımlar için ayrı bir düzeltmenin yapılması gerekmektedir. Bu amaçla sıfır akım düzeltmesi;

$$F(x) = F(0) + [1 - F(0)] \cdot F(x|x > 0) \quad (3.1)$$

$$F(x) = \frac{N_0}{N} + \frac{N - N_0}{N} \cdot F(x | x > 0) \quad (3.2)$$

bağıntıları ile gerçekleştirilmiştir. Burada, N istasyonlardaki veri sayısı ve N_0 ise örnekteki sıfır akım sayısıdır. (3.2) No'lu denklemden $F(x|x > 0)$ değeri çekilerek olasılık dağılımı denkleminde yerine konur ve böylece sıfır akım düzeltmesi yapılmış olur (Bayazıt vd., 2000).

3.2.3.1. Lognormal (LN2) Dağılım ile Düşük Akım Tahmini

Burada ilk önce, verilen bir dönüş aralığı için Denklem (3.3) ile hesaplanan $F(z)$ değerine karşılık gelen z standart normal değişken değeri tablodan elde edilir. Daha sonra, bu değer Denklem (3.4)'de yerine konularak T dönüş aralığına karşılık gelen x düşük akım değeri hesaplanır.

$$T = \frac{1}{F(z)} \quad (3.3)$$

$$x = \exp[\mu_y + z \cdot \sigma_y] \quad (3.4)$$

Çalışmada göz önüne alınan 4 akım istasyonunda 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık dönüş aralıkları için LN2 dağılımı ile elde edilen 7-günlük düşük akım tahminleri Çizelge 3.22'de verilmiştir. Burada, bütün istasyonlarda dönüş aralığı arttıkça tahmin edilen düşük akım değerlerinin azaldığı görülmektedir.

Çizelge 3.22. LN2 dağılımı ile 7-günlük düşük akım tahmini (m^3/s)

İstasyon No	N	No	Dönüş Aralığı (Yıl)				
			5	10	25	50	100
1501	39	0	8,21	6,94	5,80	5,17	4,66
1535	31	0	3,39	2,95	2,55	2,31	2,12
1539	31	0	0,93	0,82	0,71	0,65	0,60
1543	14	0	6,19	5,22	4,35	3,87	3,49

1.1.1.1 Weibull (W2) Dağılım ile Düşük Akım Tahmini

Verilen bir dönüş aralığı için Denklem (3.5) ile hesaplanan $F(x)$ değerine karşılık gelen x düşük akım değeri Denklem (3.6) ile verilen bağıntı ile hesaplanır.

$$T = \frac{1}{F(x)} \quad (3.5)$$

$$x = \beta \cdot [-\ln(1 - F(x))]^{\frac{1}{\alpha}} \quad (3.6)$$

Şayet sıfır akım düzeltmesi yapılmış ise Denklem (3.7) kullanılır.

$$x = \beta \cdot [-\ln(1 - F(x|x > 0))]^{\frac{1}{\alpha}} \quad (3.7)$$

Çalışmada göz önüne alınan 4 akım istasyonunda 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık dönüş aralıkları için W2 dağılımı ile elde edilen 7-günlük düşük akım tahminleri Çizelge 3.23’de verilmiştir. Burada, bütün istasyonlarda dönüş aralığı arttıkça tahmin edilen düşük akım değerlerinin azaldığı görülmektedir.

Çizelge 3.23. W2 dağılımı ile 7-günlük düşük akım tahmini (m³/s)

İstasyon No	N	N ₀	Dönüş Aralığı (Yıl)				
			5	10	25	50	100
1501	39	0	8,58	6,86	5,17	4,19	3,40
1535	31	0	3,47	2,85	2,22	1,84	1,53
1539	31	0	1,00	0,86	0,72	0,62	0,54
1543	14	0	6,34	4,96	3,65	2,90	2,31

2.2.3.2. Üstel Dağılım ile Düşük Akım Tahmini

Verilen bir dönüş aralığı için Denklem (3.8) ile hesaplanan F(x) değerine karşılık gelen x düşük akım değeri Denklem (3.9)’da verilen bağıntı ile hesaplanır.

$$T = \frac{1}{F(x)} \quad (3.8)$$

$$x = x_0 \cdot F(x)^{1/c} \quad (3.9)$$

Çalışmada göz önüne alınan 4 akım istasyonunda 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık dönüş aralıkları için üstel dağılım ile elde edilen 7-günlük düşük akım tahminleri Çizelge 3.24’de verilmiştir. Burada, bütün istasyonlarda dönüş aralığı arttıkça tahmin edilen düşük akım değerlerinin azaldığı görülmektedir.

Çizelge 3.24. Üstel dağılım ile 7-günlük düşük akım tahmini (m³/s)

İstasyon No	N	N ₀	Dönüş Aralığı (Yıl)				
			5	10	25	50	100
1501	39	0	8,40	6,12	4,03	2,93	2,14
1535	31	0	3,27	2,40	1,59	1,16	0,85
1539	31	0	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00
1543	14	0	5,63	3,73	2,17	1,44	0,95

2.2.3.3. Gumbel (G2) Dağılım ile Düşük Akım Tahmini

Verilen bir dönüş aralığı için x düşük akım değeri Denklem (3.10) ile hesaplanır.

$$x = \beta + \left[\frac{-\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T}))}{\alpha} \right] \quad (3.10)$$

Çalışmada göz önüne alınan 4 akım istasyonunda 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık dönüş aralıkları için G2 dağılımı ile elde edilen 7-günlük düşük akım tahminleri Çizelge 3.25’de verilmiştir. Burada, bütün istasyonlarda dönüş aralığı arttıkça tahmin edilen düşük akım değerlerinin azaldığı görülmektedir.

Çizelge 3.25. G2 dağılımı ile 7-günlük düşük akım tahmini (m³/s)

İstasyon No	N	N ₀	Dönüş Aralığı (Yıl)				
			5	10	25	50	100
1501	39	0	2,27	2,32	2,37	2,41	2,45
1535	31	0	2,31	2,32	2,32	2,32	2,33
1539	31	0	3,24	3,25	3,26	3,27	3,27
1543	14	0	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75

2.2.3.4. Pearson Tip III (P3) Dağılım ile Düşük Akım Tahmini

3-parametrelili P3 olasılık dağılımı fonksiyonu için analitik bir ifade elde edilemediğinden Denklem (3.11) ile hesaplanan F(x) değeri T dönüş aralığı bağıntısında kullanılır.

$$F(x) = \frac{x - \mu_x}{\sigma_x} \quad (3.11)$$

$$T = \frac{1}{F(x)} \quad (3.12)$$

Bu denklemler göz önünde bulundurularak x rastgele değişkeni ile ortalama, standart sapma ve çarpıklık katsayısı arasında;

$$x = \mu_x + \sigma_x \cdot K \quad (3.13)$$

bağıntı yazılır. Burada K ile ifade edilen terim tablolardan bulunan frekans faktörüdür (Bayazıt ve Oğuz 1994). K değeri Denklem (3.14) ile verilen Wilson-Hilferty dönüşümü ile hesap edilebilir;

$$K(C_{sx}) = \frac{2}{C_{sx}} \left[1 + \frac{sx \cdot zp}{6} - \frac{C_{sx}^2}{36} \right]^3 - \frac{2}{C_{sx}} \quad (3.14)$$

Burada, zp standart normal dağılım tablolarından elde edilen olan olasılık değeridir (T dönüş aralığı için) (Bayazıt, Önöz, 2008).

Çalışmada göz önüne alınan 4 akım istasyonunda 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık dönüş aralıkları için P3 dağılımı ile elde edilen 7-günlük düşük akım tahminleri Çizelge 3.26'da verilmiştir. Burada, bütün istasyonlarda dönüş aralığı arttıkça tahmin edilen düşük akım değerlerinin azaldığı görülmektedir.

Çizelge 3.26. P3 dağılımı ile 7-günlük düşük akım tahmini (m³/s)

İstasyon No	N	N ₀	Dönüş Aralığı (Yıl)				
			5	10	25	50	100
1501	39	0	8,76	6,97	5,05	3,79	2,65
1535	31	0	3,36	2,88	2,45	2,20	2,00
1539	31	0	0,44	0,28	0,16	0,10	0,06
1543	14	0	6,03	4,96	4,03	3,52	3,13

2.2.3.5. Log-Pearson (LP3) Tip III Dağılım ile Düşük Akım Tahmini

Bir y rastgele değişkenin p olasılığı;

$$y = \mu_y + \sigma_y \cdot K(C_s) \quad (3.15)$$

ifadesi ile tanımlanır. Burada x asıl rastgele değişkeni;

$$x = \exp(y) \quad (3.16)$$

bağıntı ile elde edilir.

Çalışmada göz önüne alınan 4 akım istasyonunda 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık dönüş aralıkları için LP3 dağılımı ile elde edilen 7-günlük düşük akım tahminleri Çizelge 3.27’de verilmiştir. Burada, bütün istasyonlarda dönüş aralığı arttıkça tahmin edilen düşük akım değerlerinin azaldığı görülmektedir.

Çizelge 3.27. LP3 dağılımı ile 7-günlük düşük akım tahmini (m³/s)

İstasyon No	N	No	Dönüş Aralığı (Yıl)				
			5	10	25	50	100
1501	39	0	8,53	6,80	5,16	4,22	3,48
1535	31	0	3,38	2,97	2,60	2,40	2,23
1539	31	0	0,95	0,92	0,90	0,90	0,90
1543	14	0	6,16	5,30	4,56	4,15	3,83

Karşılaştırma yapmak amacıyla literatürde sıkça kullanılan 10 yıl tekerrürlü 7-günlük düşük akım ($Q_{7,10}$) tahminleri toplu halde Çizelge 3.28 üzerinde sunulmuştur. Burada görüldüğü üzere, 1501 nolu istasyonda G2 dağılımı ile edilen tahmini değer ortalama değerden oldukça farklıdır. 1535 nolu istasyonda edilen tahmini değerler birbirine yakındır. 1539 nolu istasyonda üstel, G2 ve P3 dağılımları ile tahmin edilen değerler ortalamadan bir hayli uzaktır. 1543 nolu istasyonda ise G2 dağılımı ile edilen tahmini değer ortalama değerden çok küçüktür.

Çizelge 3.28. 10 yıl dönüş aralığına sahip 7-günlük düşük akım ($Q_{7,10}$) tahminleri (m³/s)

İstasyon No	LN2 Dağılımı	W2 Dağılımı	Üstel Dağılımı	G2 Dağılımı	P3 Dağılımı	LP3 Dağılımı	Ortalama
1501	6,94	6,86	6,12	2,32	6,97	6,80	6,00
1535	2,95	2,85	2,40	2,32	2,88	2,97	2,73
1539	0,82	0,86	0,02	3,25	0,28	0,92	1,03
1543	5,22	4,96	3,73	1,75	4,96	5,30	4,32

Burada verilen $Q_{7,10}$ debilerinin 7-günlük Q_{90} , Q_{95} ve Q_{99} değerleri (Çizelge 3.29) ile karşılaştırılması sonucunda; göz önüne alınan tüm istasyonlarda LN2, W2, P3 ve LP3 dağılımları ile tahmin edilen $Q_{7,10}$ ile Q_{99} debileri genel olarak birbirine yakın görünmektedir. Diğer taraftan, üstel dağılım ile iki istasyonda (1501 ve 1535) ve G2 dağılımı ile bir istasyonda (1535) tahmin edilen $Q_{7,10}$ ile Q_{99} değerlerinin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 3.29. Debi süreklilik eğrilerinden elde edilen 7-günlük Q_{90} , Q_{95} ve Q_{99} debi değerleri (m^3/s)

İstasyon No	Q_{90}	Q_{95}	Q_{99}
1501	12,69	10,77	6,67
1535	5,00	3,50	2,30
1539	1,59	1,59	0,59
1543	8,96	6,96	5,36

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması ile İç Anadolu Bölgesi'nde düşük akım analizi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, Kızılırmak Nehri'nin memba kısmında bulunan akım gözlem istasyonları arasından seçilen 1501, 1535, 1539 ve 1543 No'lu istasyonlardan elde edilen günlük akım verileri kullanılmıştır.

Çalışmanın hidrolojik analiz bölümünde, seçilen istasyonlara ait 1-, 3-, 7- ve 10-günlük düşük akımlar hesaplanmış ve bu akım periyotlarına ait debi süreklilik eğrileri çizilmiştir. Böylece, akarsularda düşük akım göstergesi olarak kullanılan ve aşılma olasılığı %90, %95 ve %99 olan debi değerleri (sırasıyla Q_{90} , Q_{95} ve Q_{99}) bu eğrilerden belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar hidrolojik analiz bölümünde çizelgeler halinde sunulmuştur.

Çalışmanın istatistiksel analiz bölümünde ilk önce, seçilen istasyonlarda 1-, 3-, 7- ve 10-günlük düşük akımların merkez momentleri (ortalama, standart sapma ve çarpıklık katsayısı) ile L-momentleri (L_2 ve L_3) hesaplanmıştır. Düşük akımların olasılık dağılımını belirlemek için seçilen literatürde en çok kullanılan olasılık dağılımlarından 2-parametrelili lognormal (LN2), 2-parametrelili Weibull (W2), üstel, 2-parametrelili Gumbel (G2), Pearson Tip III (P3) ve Log-Pearson Tip III (LP3) olasılık dağılımları seçilmiştir. Dağılımların parametreleri istatistik momentler ve L-momentler yöntemiyle hesaplandıktan sonra dağılımların uygunluğunun tespiti amacıyla Kolmogorov-Smirnov (K-S) ve PPCC (Olasılık Çizgisi Korelasyon Katsayısı) testleri kullanılmıştır.

Çalışma kapsamındaki 16 adet düşük akım serisinin, istatistik bakımdan anlamlılık düzeyi $\alpha = 0,10$ için elde edilen K-S testi sonuçlarına göre; 1501 nolu istasyonda 3 akım serisi için (üstel dağılım ile 1-günlük debi ve LP3 dağılımı ile 1- ve 3-günlük) ve 1539 nolu istasyonda ise 4 akım serisi için (LP3 dağılımı ile 1-, 3-, 7- ve 10-günlük) hipotez reddedilmiştir. Diğer istasyonlarda ise bütün akım serileri için hipotez kabul edilmiştir. Diğer taraftan, istatistik bakımdan anlamlılık düzeyi $\alpha = 0,05$ için elde edilen PPCC test sonuçlarına göre, 1501 nolu istasyonda 1- ve 3-günlük düşük akımlara en uygun dağılımlar W2, üstel ve P3; 7- ve 10-günlük düşük akımlara en

uygun dağılımlar ise LN2, W2, üstel ve P3 olarak tespit edilmiştir. 1535 nolu istasyonda 1- ve 3-günlük düşük akımlara en uygun dağılımlar LN2, üstel, G2 ve LP3; 7- ve 10-günlük düşük akımlara en uygun dağılımlar ise LN2, üstel, G2, P3 ve LP3 olarak bulunmuştur. 1539 nolu istasyonda 1- günlük düşük akımlara en uygun dağılımlar W2, üstel, G2 ve P3; 3-günlük ve G2; 7- ve 10-günlük düşük akımlara en uygun dağılımlar ise LN2, W2 ve üstel olarak belirlenmiştir. Son olarak, 1543 nolu istasyonda 1- ve 3-günlük düşük akımlara en uygun dağılımlar LN2, W2, üstel, P3 ve LP3; 7- ve 10-günlük düşük akımlara en uygun dağılımlar ise LN2, W2, üstel ve LP3 olarak bulunmuştur.

Çalışmanın istatistiksel analiz kısmında ikinci olarak, seçilen olasılık dağılımları kullanılarak akım gözlem istasyonlarında 7-günlük akım periyodu için 5, 10, 25, 50 ve 100 yıl tekerrür süreli düşük akım tahminleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, bütün istasyonlarda dönüş aralığı arttıkça tahmin edilen düşük akım değerleri de azalmaktadır. Dönüş aralığı 10 yıl olan 7-günlük düşük akım ($Q_{7,10}$) tahminlerinin karşılaştırılması neticesinde, 1501 nolu istasyonda G2 dağılımı ile edilen tahmini değer ortalama değere göre oldukça düşüktür. 1535 nolu istasyonda edilen tahmini değerler birbirine yakın görünmektedir. 1539 nolu istasyonda üstel, G2 ve P3 dağılımları ile tahmin edilen değerler ortalamaya göre oldukça farklıdır. 1543 nolu istasyonda ise G2 dağılımı ile edilen tahmini değer ortalama değerden çok farklı çıkmıştır.

Çalışmanın istatistiksel analiz kısmında son olarak, hidrolojik analiz ile 7-günlük debi süreklilik çizgilerinden elde edilen ve akarsuda düşük akım göstergesi olarak kabul edilen Q_{90} , Q_{95} ve Q_{99} düşük akım değerleri ile göz önüne alınan olasılık dağılımları yardımıyla tahmin edilen $Q_{7,10}$ değerleri karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda, seçilen tüm istasyonlarda LN2, W2, P3 ve LP3 dağılımları ile tahmin edilen $Q_{7,10}$ ile Q_{99} debileri genel olarak birbirine yakın görünmektedir. Diğer taraftan, üstel dağılım ile iki istasyonda (1501 ve 1535) ve G2 dağılımı ile bir istasyonda (1535) tahmin edilen $Q_{7,10}$ ile Q_{99} değerlerinin birbirine yakın olduğu belirlenmiştir.

Özet olarak, bu çalışma kapsamında İç Anadolu Bölgesi'nde seçilen akım gözlem istasyonlarında (1501, 1535, 1539 ve 1543) düşük akım değerlerine genel olarak en uygun olasılık dağılımlarının sırasıyla üstel, W2 ve LN2 dağılımları olduğu görülmekle birlikte istasyon bazında bunlara ilave olarak diğer dağılımların da geçerli olduğu anlaşılmaktadır. Buna göre, bu istasyonlara ait alt havzalarda muhtelif su

yapılarının tasarımı ve işletmesi ile ekosistemin sürdürülebilirliği açısından gerekli düşük akım tahminleri için söz konusu dağılımların bir arada değerlendirilmesi faydalı olacaktır.



KAYNAKLAR

- Aksoy, H., Cavus, Y., Sarigil, G., Aksu, H. Eris, E., ve Boyacioglu, H. (2021). Low flow characteristics of kucuk menderes river basin, Turkey. *Proceedings of the 18th Annual Meeting of the Asia Oceania Geosciences Society (AOGS 2021)*, pp.91-93, August 1-6, 2021, Virtual.
- Aksoy, H., Eriş, E., Önöz, B., Çetin, M., Yüce M. I., Selek, B., Aksu, H., Burgan, H. I., Eşit M., Yıldırım I., ve Çavuş, Y. (2018). Düşük akımların frekans analizi ve çevresel akış ile ilişkisi, *DÜMF Mühendislik Dergisi* 9:1, 503-514.
- Altınışik, U. (2015). Doğu karadeniz havzası akımlarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Aytekin, A.B. (2012). İklim değişikliğinde düşük akımların istatistik analizi. Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Bayazıt, M. ve Önöz, B. (2008). *Taşkın ve kuraklık hidrolojisi*, Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- Bayazıt, M. ve Oğuz, B. (1994). *Mühendisler için istatistik (2.baskı)*, İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Bayazıt, M. ve Oğuz, B. (1998). *Mühendisler için istatistik*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Bayazıt, M. (1996). *İnşaat mühendisliğinde olasılık yöntemleri*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Bayazıt, M., Önöz, B., ve Oğuz, B. (2000). Methodology for regional low flow analysis and an application, *Hydrology of the Mediterranean Regions*, 11-13 October, France
- Bulu, A. (1998). Düşük akım hidrolojisi, *II. Ulusal Hidroloji Kongresi*, İ.T.Ü., İstanbul, 22-24 Haziran, s.61-66.
- Bulu, A. ve diğ. (1997). Trakya bölgesi düşük akımlarının hidrolojik ve istatistik analizi, *İ.T.Ü., Araştırma Fonu Projesi*, İstanbul.

- Condie, R. and Nix, G.A. (1975). Modeling of flow frequency distributions and parameter estimation, *International Water Resources Symposium*, Water for Arid Lands, Teheran, Iran, December 8-9.
- Demir, E.G. ve Yıldız, O. (2022). Düşük akım hidrolojisi ve iç anadolu bölgesi'nde uygulanması. *Uluslararası Bilimsel Araştırmalar ve Yenilikçi Çalışmalar Sempozyumu (ISSRIS'22)*, Bildiriler Kitabı, 329-335, 02- 05 Mart 2022, Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi.
- DSİ. (2022). Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Resmi İnternet Sitesi, dsi.gov.tr, Ankara.
- Dupas, R., Tittel, J., Jordan, P., Mussalff, A. and Rode, M. (2018). Non-domestic phosphorus release in rivers during low-flow mechanism and implications for source identification. *Journal of Hydrology* Volume 560. Pages 141-149.
- Durak, S. (2000). Düşük akım hidrolojisi ve akdeniz bölgesi'nde uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Filiben, J.J. The Probability plot correlation test for normality, *Tecnometrics*, vol.17, no.1, 111-117.
- Göksel, E.D. (2016). Akım gözlem istasyonu bulunmayan akarsu havzalarında düşük akım tahmini için model geliştirilmesi: Türkiye'de bir uygulama. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Gumbel, E.J. (1954). *Statistical theory of droughts*. Proc. Hyrd.Div. ASCE, 80, 1-19.
- Gumbel, E.J. (1958). *Statitics of extremes*. Colombia Univ. Press, New York.
- Gustard, A., Ballock, A. and Dixon, J. M. (1992) . Low flow estimation in the united kingdom, Report No:108; *Institute of Hydrology*, Wallingford.
- Gustord, A. and Gross, R. (1989). Regional low flow studies, chap. 5, flow regimes from experimental and network data (FRIEND), *I. Hydrological Studies*, UNESCO.
- Joiner, B.L. and Rosenblatt, J.R. (1971). Some properties of the range in samples from Tukey's symmetric lambda distributions. *J. Amer, Statistical Assoc.*, 66, 394-399.

- Jowett, I.G., Richardson J. and Bonnett M.L. (2005). Relationship between flow regime and fish abundances in a gravel bed river, New Zealand, *Journal of Fish Biology*, 66:1419-1436.
- Köken, E. (2009). Dicle havzası düşük akım karakteristiklerinin bölgeselleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Mahnamfar, F. (2012). İran'ın karun üst havzasındaki düşük akımların analizi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Matalas, N.C. (1963). Probability distributions of low flows, *Professional Paper, U.S. Geological Survey*, Washington, D.C., USA.
- Nathan, R.J. and McMahon, T.A. (1990). Practical aspects of low flow frequency analysis, *Water Resources Research*, 26, 2135-2141.
- Orta, S. (2019). Düşük akım süre frekans eğrileri ve trend analizi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Orta, S., & Aksoy, H. (2022). Development of low flow duration-frequency curves by hybrid frequency analysis. *Water Resources Management*, 36(5), 1521-1534.
- Önge, Y. (1997). *Türk mimarisinde selçuklu ve osmanlı dönemlerinde su yapıları*, Ankara: Türk Tarih Kurumu Yayınları.
- Önöz, B. ve Bulu, A. (1996). Trakya bölgesinde düşük akımların frekans analizi, *İMO, Teknik Dergi*, 1243-1254, Yazı 93.
- Önöz, B. ve Bayazıt, M. (1998). Düşük akımlar için üstel dağılım. *II. Ulusal Hidroloji Kongresi, İTÜ İnşaat Fakültesi*, 22-24 Haziran.
- Önöz, B. ve Bayazıt, M. (2001). Power distribution for low streamflows, *J. Hydr. Engrg. ASCE*, 6 (5), 429-435.
- Özen, B. (2001). Türkiye'deki nehirlerin düşük akımlarına en uygun olasılık dağılım fonksiyonlarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Rezai, S. ve Yıldız, O. (2022). Kızılırmak havzası'nda düşük akım analizi, *International Symposium on Advanced Engineering Technologies (ISADET 2022)*, Bildiriler Kitabı, 16-18 June 2022, Kahramanmaraş.

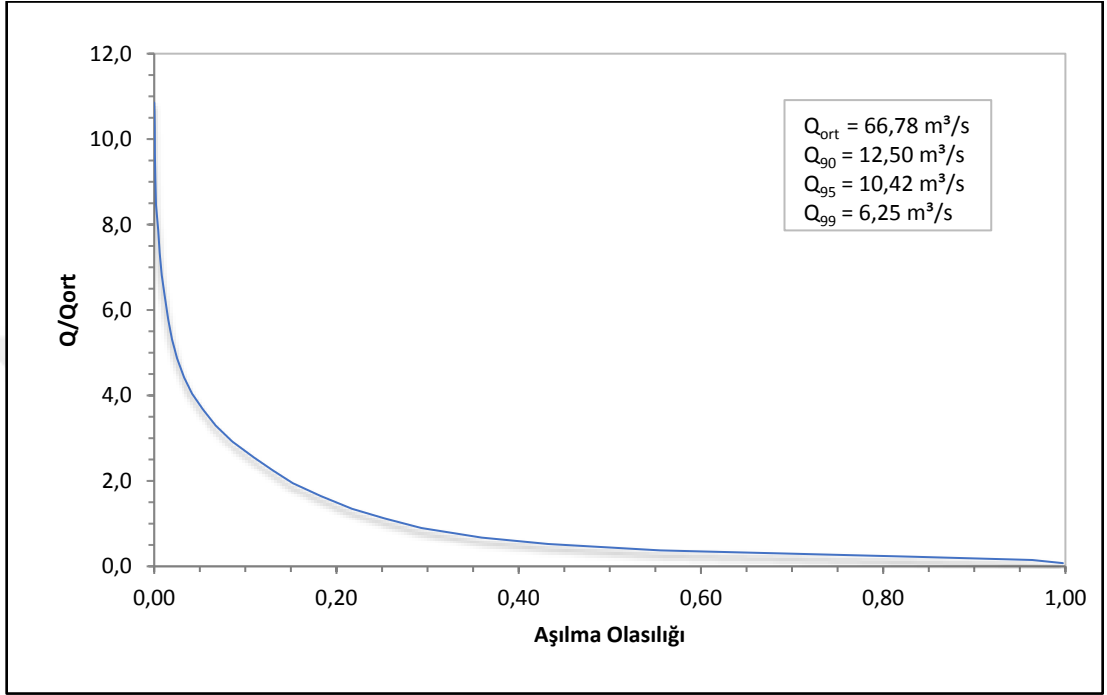
- Saraçoğlu, Ö. (2002). Düşük akım hidrolojisi ve akdeniz bölgesi'nde uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Sarış, P. (2016). Porsuk çayı havzasında düşük akım analizi, *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Dergisi*, 33,73-81, İstanbul.
- Smakhtin, V. U. (2001). Low flow hydrology: a review, *Journal of Hydrology*, 240, 147-186.
- Stedinger, J. L., Vogel, R.M. and Foufoula-Georgiou, E. (1993). Frequency analysis of extreme events, *Chap. 18 in Handbook of Hydrology*, D.R. Maidment (Ed.), pp. 18.1-18.66, McGraw Hill.
- Şen, Z., (2009). *Kuraklık Afet ve Modern Hesaplama Yöntemleri*, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Tasker, G.D. (1987). A. comparison of methods for estimating low flow characteristics of streams, *Water Resources Bulletin*, 23, 1077-1083.
- Tosunoğlu, F., Salvadori, G., & Yilmaz, M. (2020). Multivariate assessment of low-flow hazards via copulas: *The case study of the Çoruh basin (Turkey)*. *Water*, 12(10), 2848.
- Vogel, M.R. and Kroll, C.N. (1989). Low flow frequency analysis using probability plot correlation coefficients, *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 115, No.3, ASCE.
- Vogel, R.M. (1986) The probabiliy plot correlation coefficient test for the normal, lognormal and gumbel distributional hypotheses. *Water Resour. Res.*, 22 (4), 587-590, April.
- Vogel, R.M. and D.M.Mc Martin. (1991). Probability plot goodness-of-fit and skweness estimation procedures fort he pearson type 3 distribution, *Water Resour. Res.*, 27(12): 3149-3158.
- Wafa, C. and Daniel, C. (2021). Regional disparities in water availability and low flow conditions in rivers accross Canada, *Journal of Hydrology Wolume* 598: 126195.

Yıldırımlar, O. (2012). Fırat havzasında düşük akım analizi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü*, İstanbul.

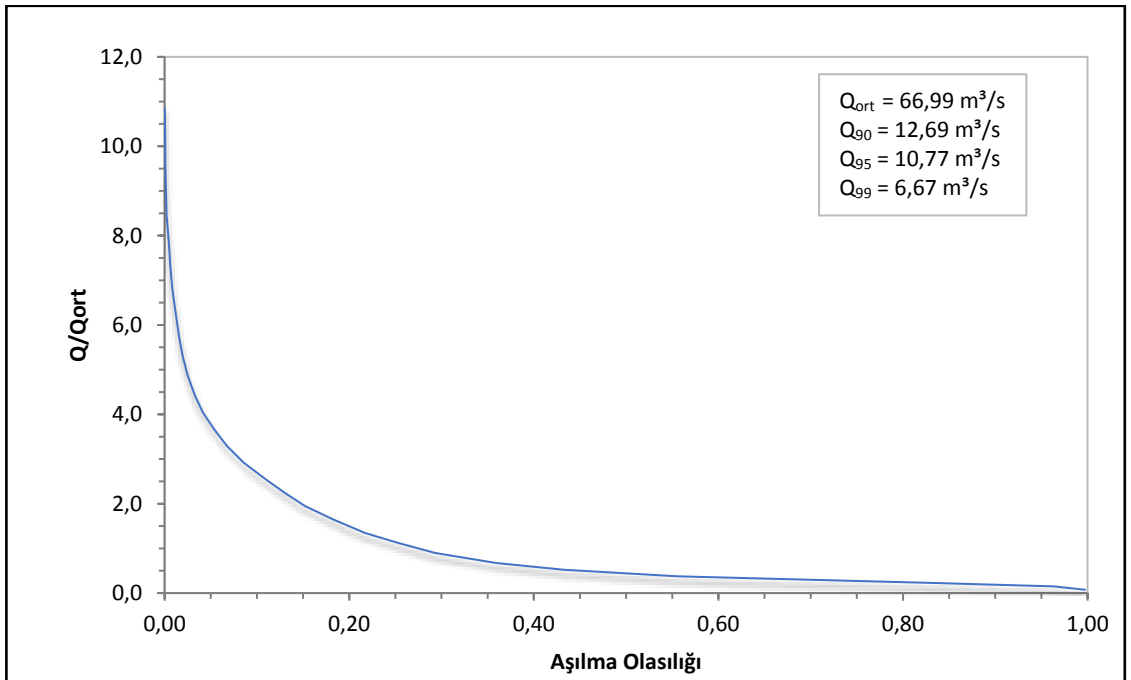
Yürekli, K., Kurunc, A. ve Gül, S. (2005). Frequency analysis of low flow series from çekerek stream basin, *Journal of Agricultural Sciences*, 11, 1, 72-77.



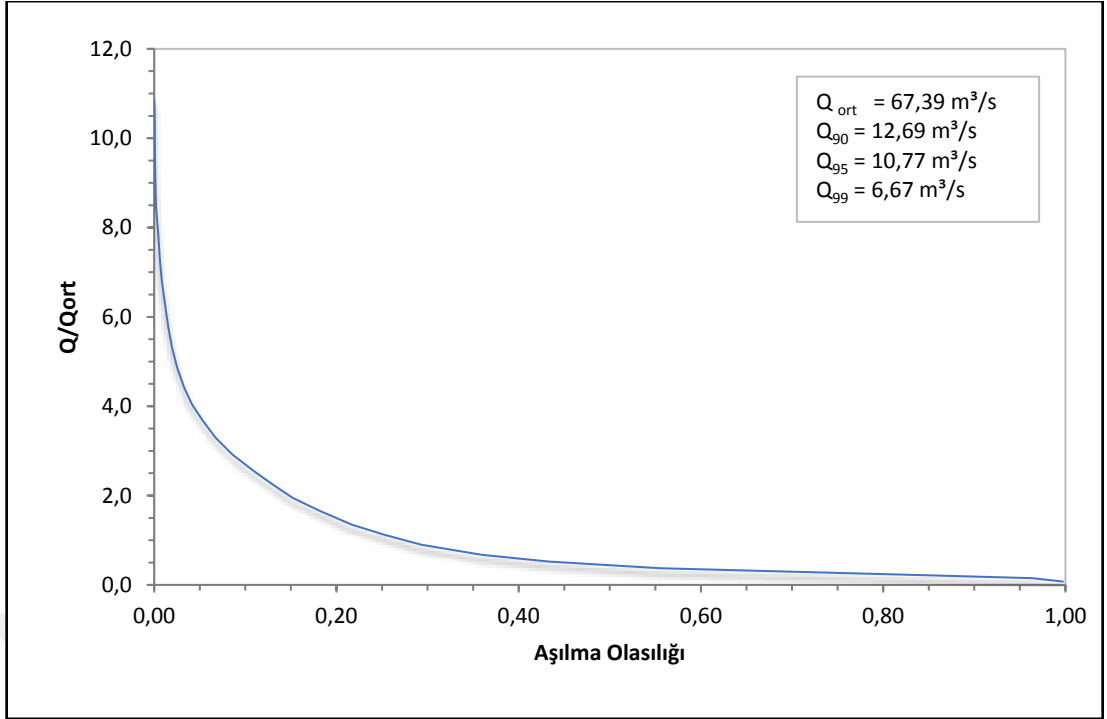
EKLER



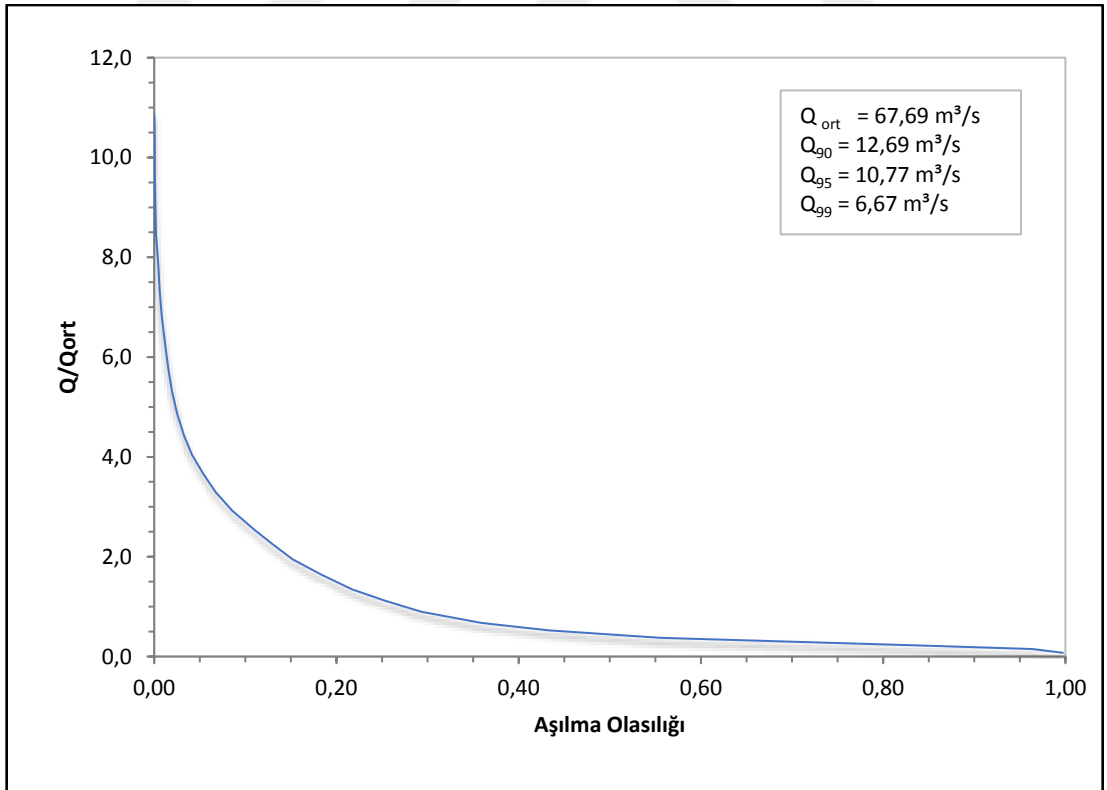
1501-Yamula İstasyonu'na ait 1-günlük debi süreklilik eğrisi



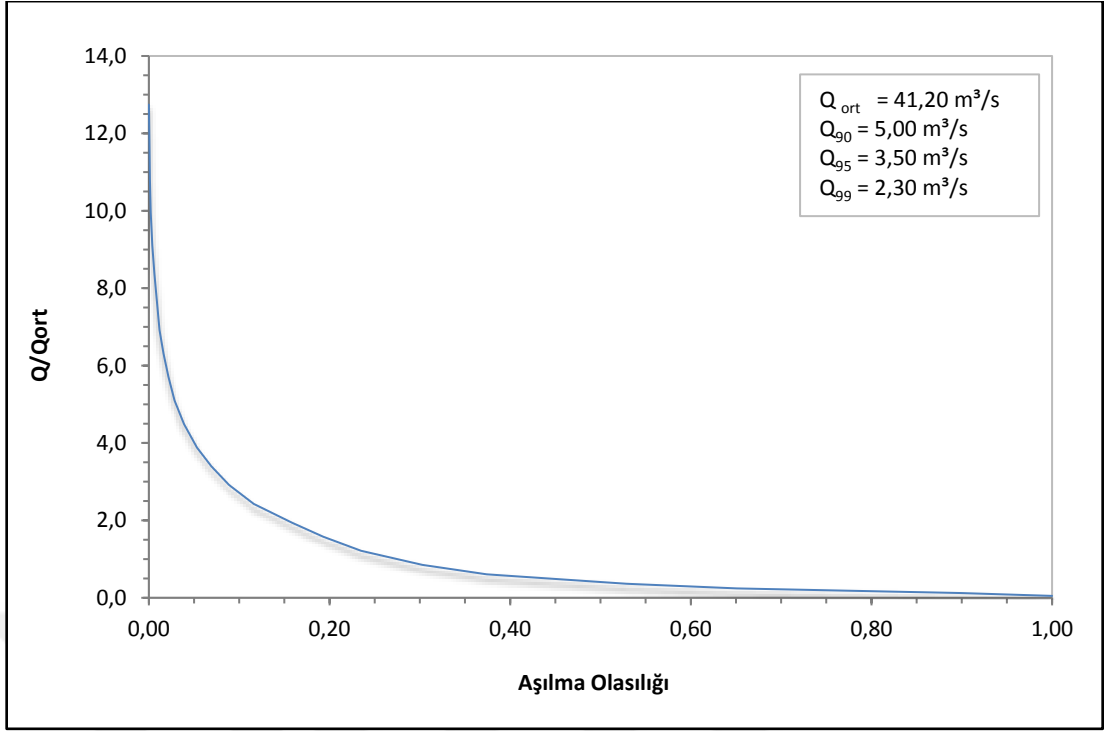
1501-Yamula İstasyonu'na ait 3-günlük debi süreklilik eğrisi



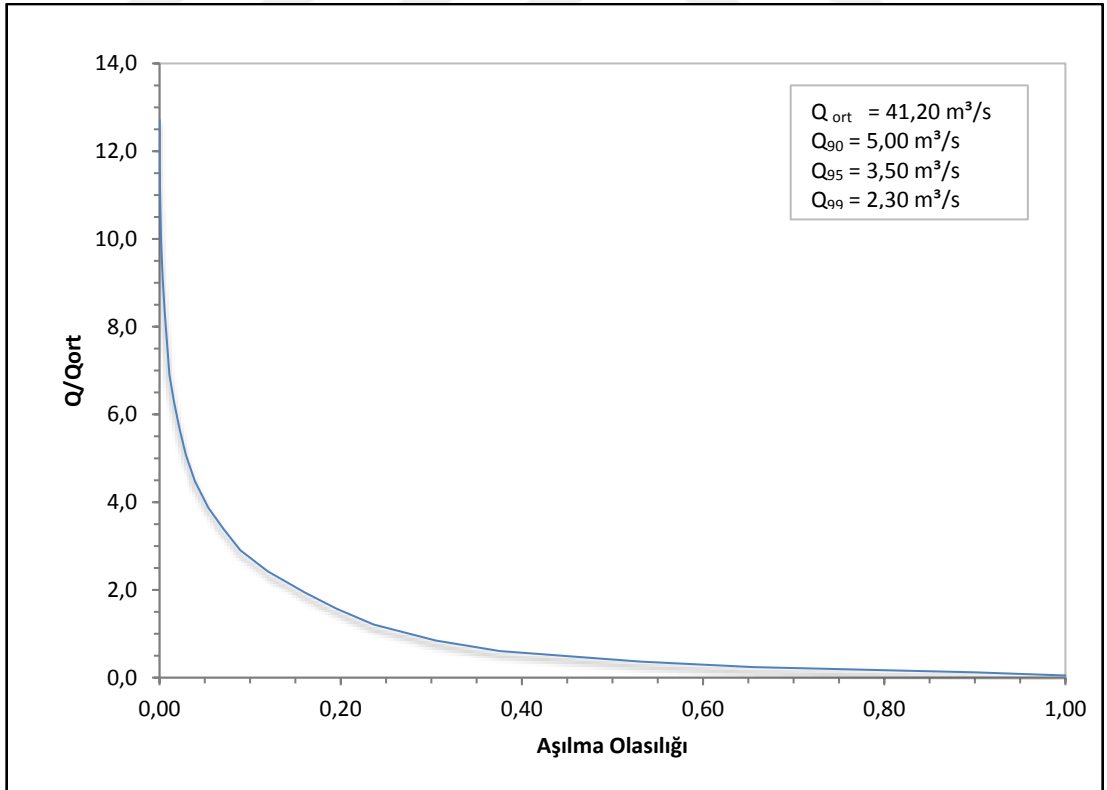
1501-Yamula İstasyonu'na ait 7-günlük debi süreklilik eğrisi



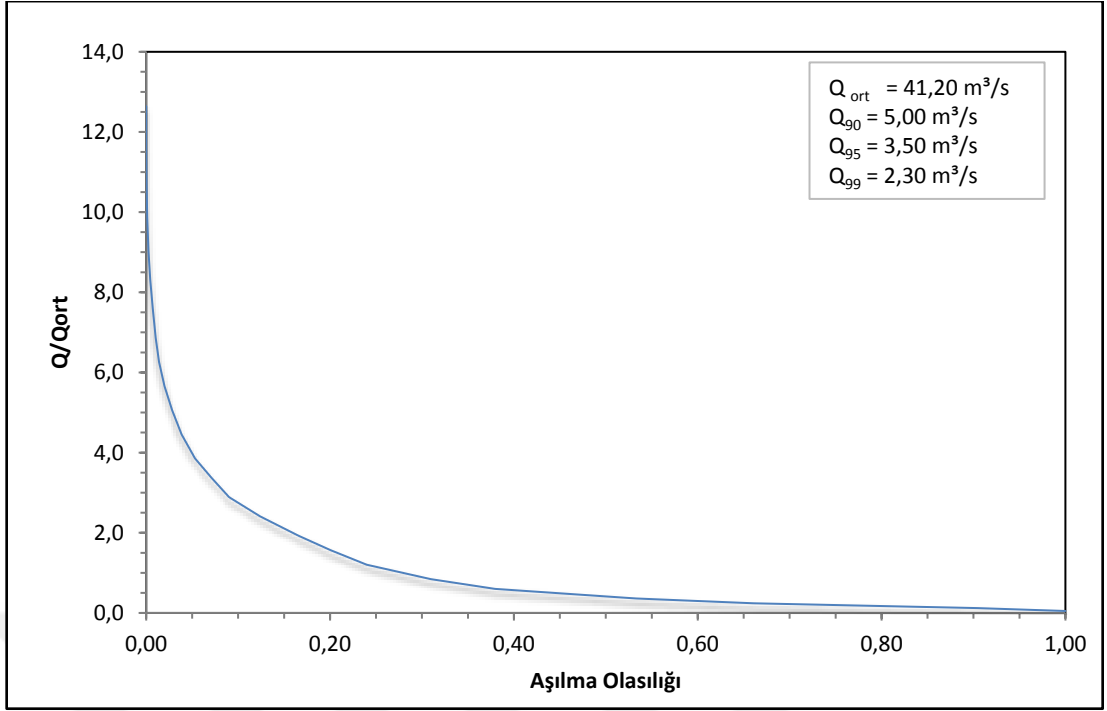
1501-Yamula İstasyonu'na ait 10-günlük debi süreklilik eğrisi



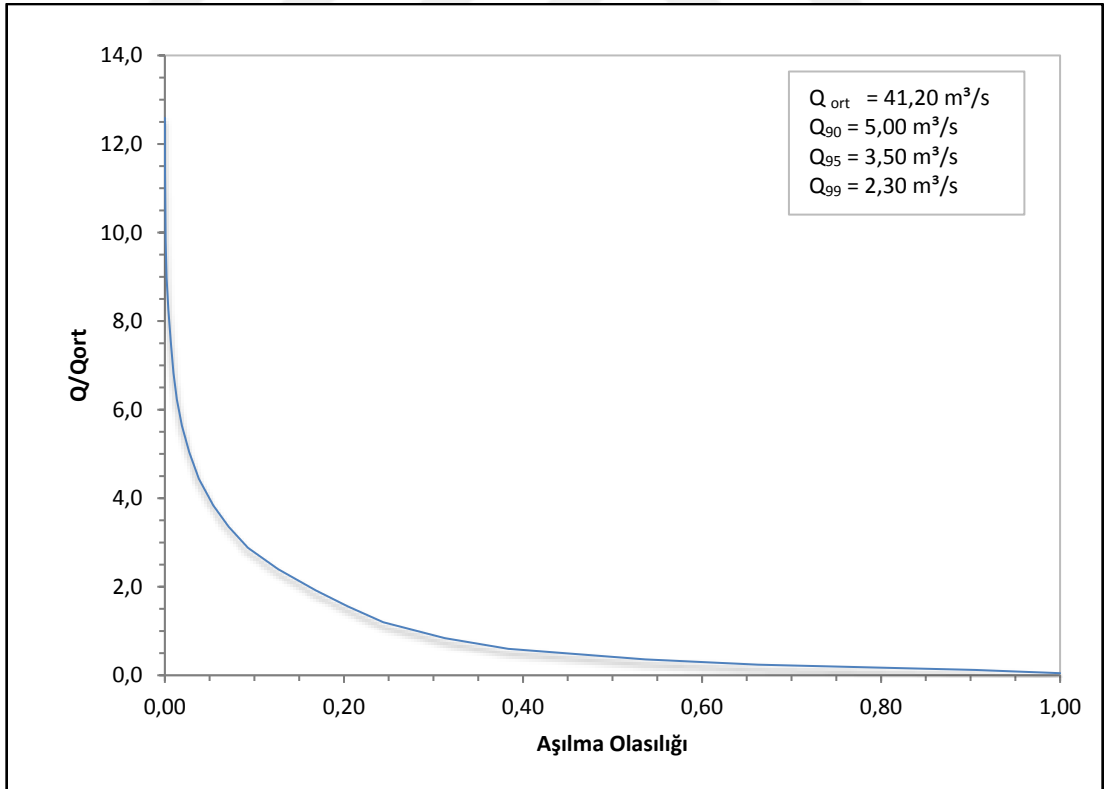
1535-Söğütlühan İstasyonu'na ait 1-günlük debi süreklilik eğrisi



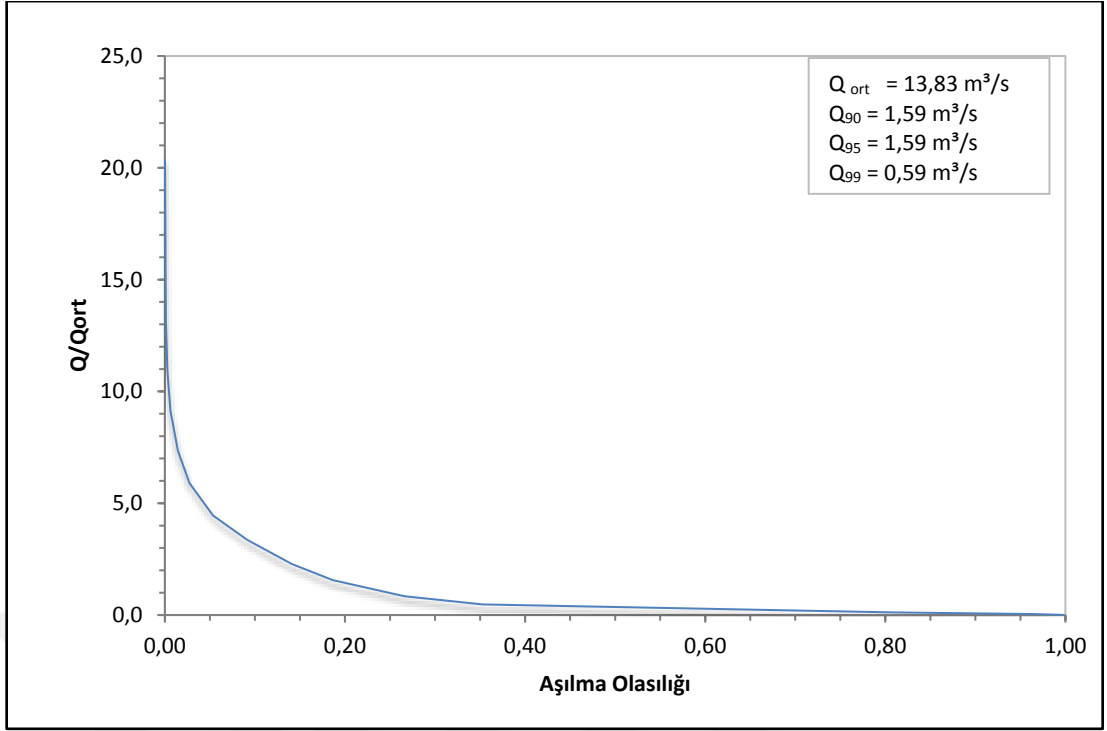
1535-Söğütlühan İstasyonu'na ait 3-günlük debi süreklilik eğrisi



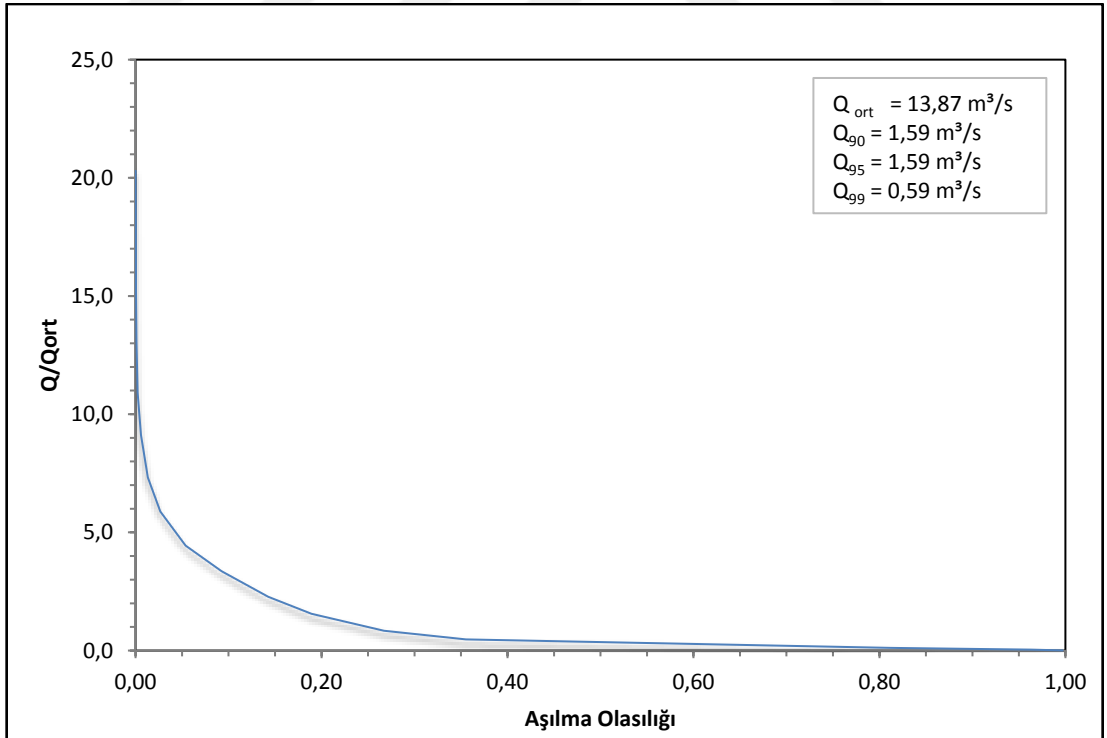
1535-Söğütlühan İstasyonu'na ait 7-günlük debi süreklilik eğrisi



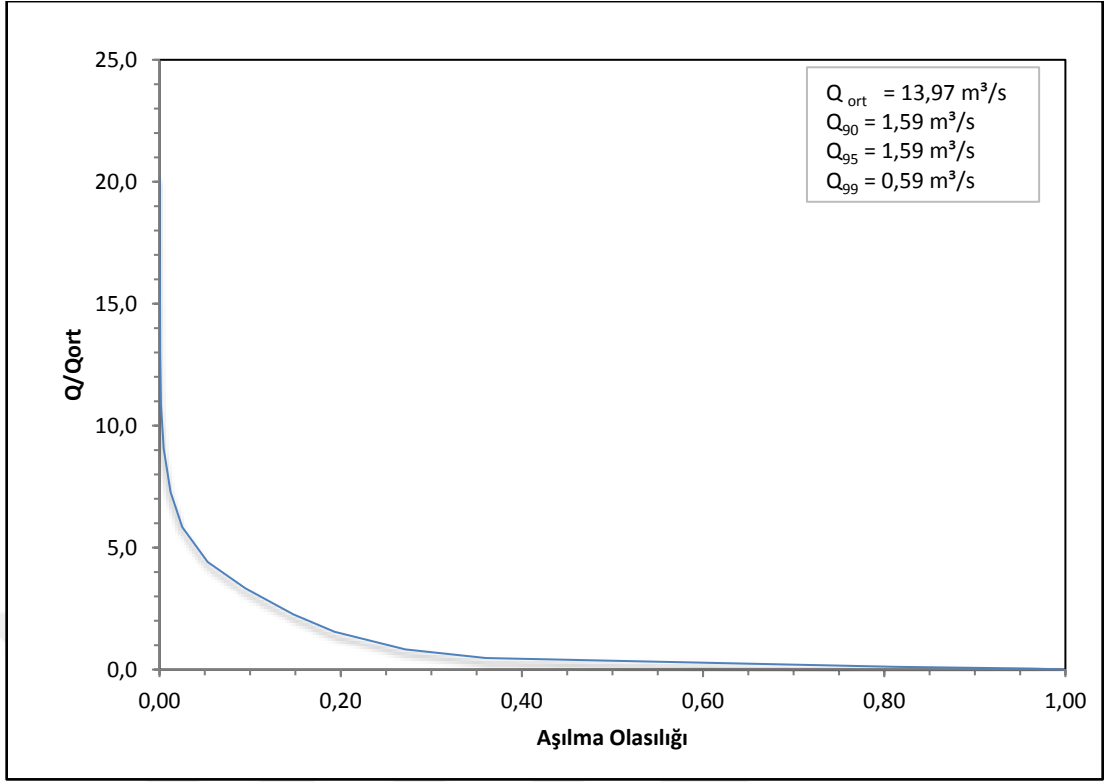
1535-Söğütlühan İstasyonu'na ait 10-günlük debi süreklilik eğrisi



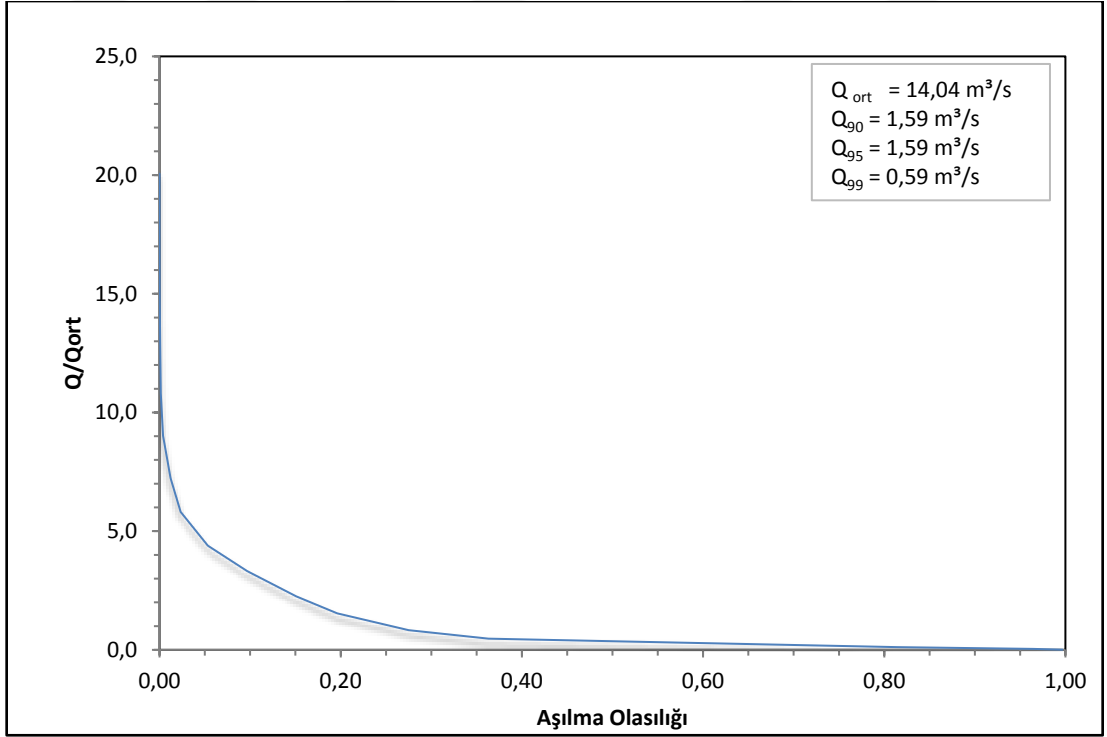
1539-Bulakbaşı İstasyonu'na ait 1-günlük debi süreklilik eğrisi



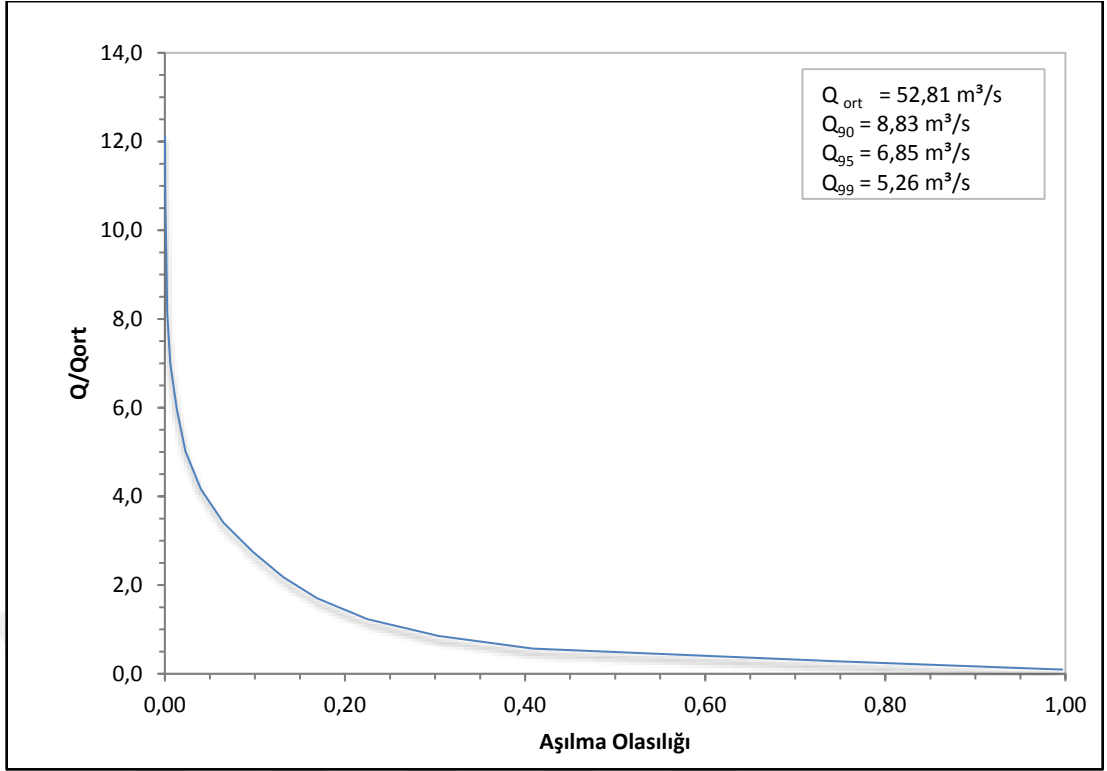
1539-Bulakbaşı İstasyonu'na ait 3-günlük debi süreklilik eğrisi



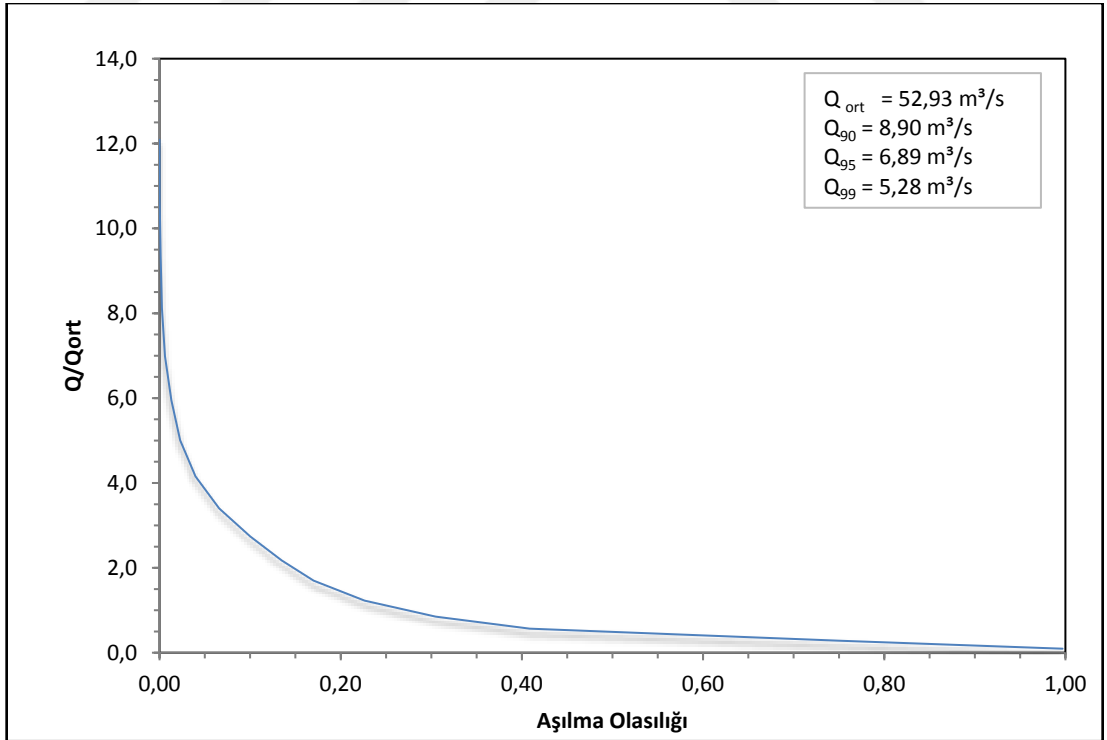
1539-Bulakbaşı İstasyonu'na ait 7-günlük debi süreklilik eğrisi



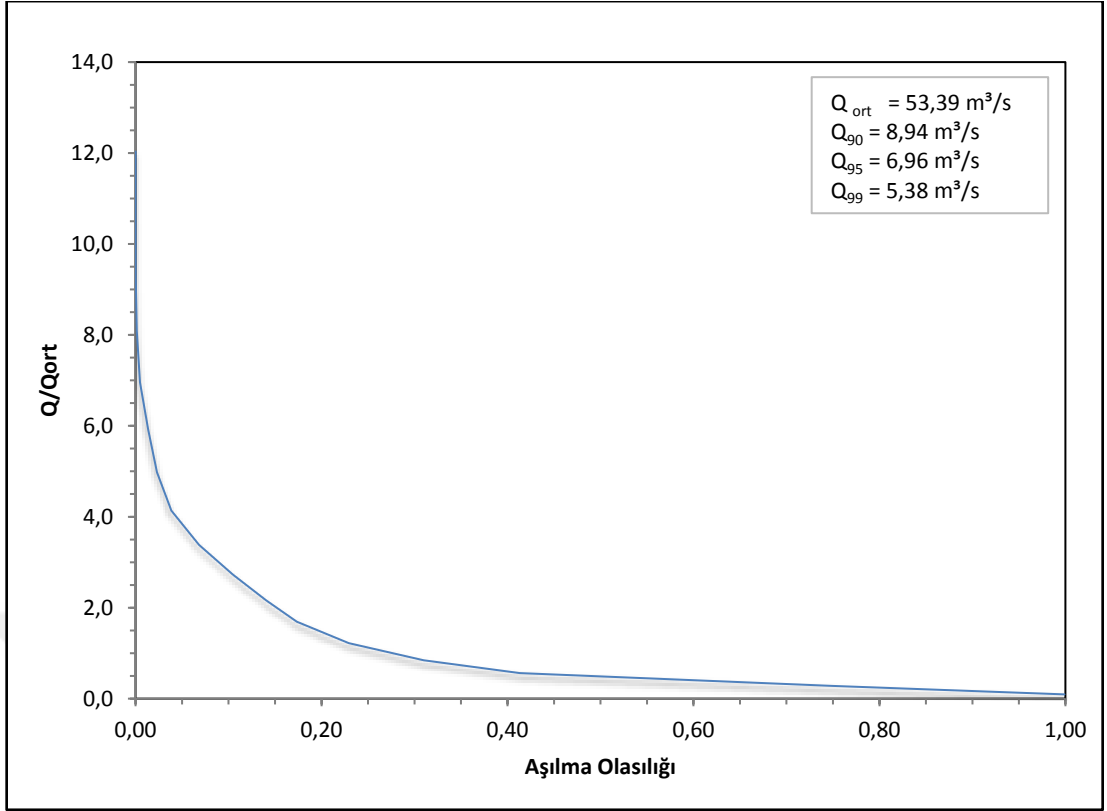
1539-Bulakbaşı İstasyonu'na ait 10-günlük debi süreklilik eğrisi



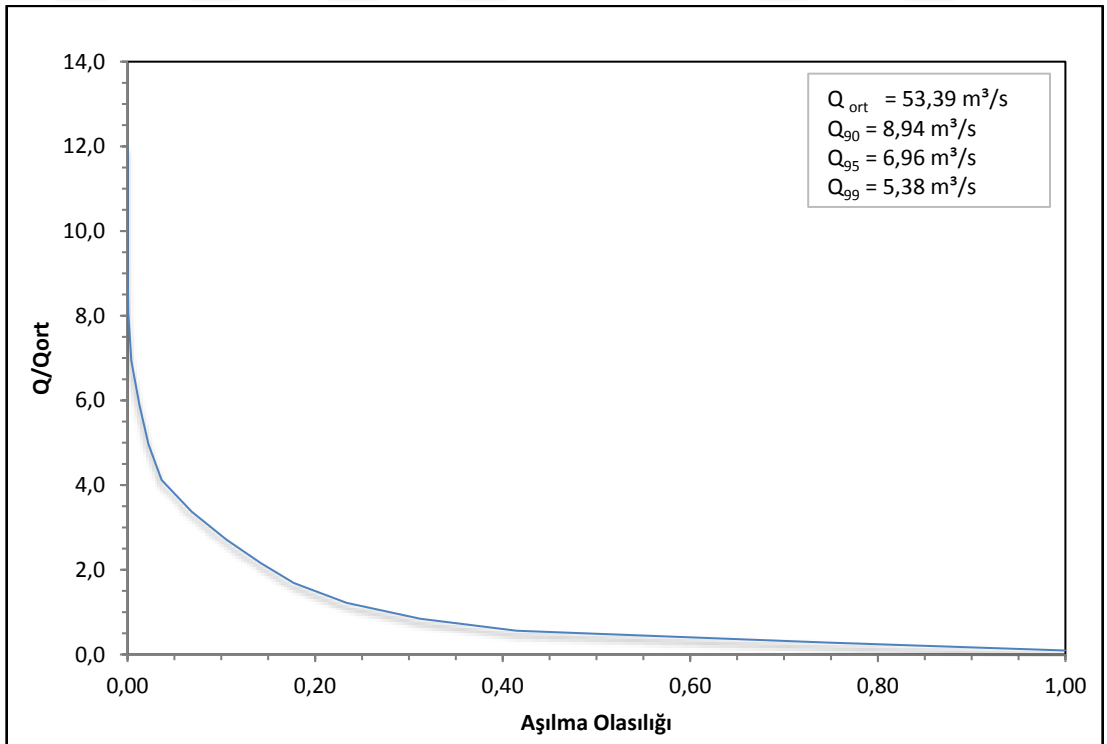
1543-Karaözü İstasyonu'na ait 1-günlük debi süreklilik eğrisi



1543-Karaözü İstasyonu'na ait 3-günlük debi süreklilik eğrisi



1543-Karaözü İstasyonu'na ait 7-günlük debi süreklilik eğrisi



1543-Karaözü İstasyonu'na ait 10-günlük debi süreklilik eğrisi