

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

FIRAT HAVZASI'NDA DÜŞÜK AKIMLARIN ANALİZİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olgu YILDIRIMLAR**

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Temmuz 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

FIRAT HAVZASI'NDA DÜŞÜK AKIMLARIN ANALİZİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olgu YILDIRIMLAR
(301091068)**

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Bihrat ÖNÖZ

Temmuz 2012

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301091068 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Olgu YILDIRIMLAR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "FIRAT HAVZASI'NDA DÜŞÜK AKIMLARIN ANALİZİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Bihrat ÖNÖZ**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Şevket ÇOKGÖR**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Burak BARUTÇU

İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **25 Temmuz 2012**
Savunma Tarihi : **31 Temmuz 2012**

ÖNSÖZ

Enerji, tarihin başlangıcından beri var olan, yaşamı ve Dünya'yı şekillendiren bir olgudur. İnsanlar tarafından başlangıçta sadece yaşamsal ve temel ihtiyaçlar adına kullanılan enerji, günümüz modern Dünyasında gittikçe artan bir ihtiyaçla medeniyetin en temel taşı konumundadır.

Hızla artan enerji ihtiyacı ve çevreye olan kaçınılmaz olumsuz etkiler, son yarım yüzyılda yenilenebilir enerji teknolojilerinin giderek önem kazanmasını ve yaygın olarak kullanılan enerji kaynakları arasında tercih edilen bir konuma yükselmesini sağlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında hidroelektrik enerjisinin önemi şüphesiz ki çok yüksektir.

Su yaşamımızın en temel kaynağıdır. Su kaynaklarının etkin ve verimli kullanımı insanlık tarihi boyunca önemini hiçbir zaman yitirmemiştir. Tarihte su için yapılmış savaşlar mevcut olmakla birlikte, su kullanım maksatları bakımından alternatif olmayan bir kaynaktır.

Bu çalışma, düşük akımların belirlenerek Fırat Havzası'ndaki su kaynaklarının etkin kullanımına yardımcı bilgiler içermektedir.

Beni böyle bir çalışmaya teşvik ederek, çalışmam süresince ilgisini, desteğini ve güler yüzünü benden esirgemeyen İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü Yenilenebilir Enerji Ana Bilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Bihret ÖNÖZ'e, bütün sorularda desteğini ve ilgisini benden esirgemeyip değerli vaktini ayıran Araştırma Görevlisi Aslıhan Albostan'a, paylaşımları ve destekleri için anneme ve tüm arkadaşlarıma içten ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz 2012

Olgu YILDIRIMLAR

Maden Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	v
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
ÖZET	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. DÜŞÜK AKIMLAR	5
2.1 Düşük Akımları Belirleyen Etkenler	7
2.2 Daha Önce Yapılan Çalışmalar	8
2.3 Düşük Akım Hidrolojisinin Doğal Süreçleri	9
2.3.1 Düşük akımların beslenmesi	9
2.3.2 Düşük akım kayıpları.....	10
2.4 Düşük Akımların Etkilerinin Azaltılması.....	11
2.5 Düşük Akım İndisleri	12
2.6 $Q_{7,10}$ Akımı.....	13
2.7 Debi Süreklilik Eğrisi.....	13
2.7.1 Düşük akım analizi-debi süreklilik eğrisi	16
2.8 Yıl İçi Debi Frekans ve Kısmi Süreklilik Frekans Çizgileri	17
2.9 Dönüş Aralığı.....	17
3. DÜŞÜK AKIMLARIN OLASILIK DAĞILIMLARI	19
3.1 Olasılık Dağılımlarının Parametreleri ve Parametrelerin Tahmini	19
3.1.1 İstatistik (çarpım) momentleri.....	20
3.1.2 L-momentleri.....	22
3.1.2.1 L-momentlerinin tahmini.....	23
3.1.2.2 İstatistik (çarpım) momentleri ve L-momentleri	25
3.2 Olasılık Dağılım Fonksiyonları.....	26
3.2.1 İki parametrelili dağılımlar	27
3.2.1.1 Weibull dağılımı.....	27
3.2.1.2 Üstel dağılım.....	28
3.2.2 Üç parametrelili dağılımlar	29
3.2.2.1 Weibull dağılımı.....	29
3.2.2.2 Pearson tip III dağılımı.....	30
3.2.2.3 Log-Pearson tip III dağılımı.....	31
3.2.2.4 Genel ekstrem değer dağılımı.....	31
3.3 Olasılık Çizgisi Korelasyon Katsayısı (PPCC) Testi	32
4. TREND ANALİZİ	33
4.1 Mann-Kendall Testi.....	33
5. UYGULAMA	37
5.1 Uygulama Bölgesi	37
5.2 Çalışmada Kullanılan Veri	37

5.3 Debi Süreklilik Eğrileri	38
5.4 İstasyonlara Göre $Q \geq 90$ Grafikleri	41
5.5 7-Günlük Ortalama Akımlar	44
5.5.1 Q_7-t grafikleri.....	44
5.6 İstatistik Momentleri, L-momentleri, Olasılık Dağılım Parametreleri	47
5.7 Düşük Akım Analizinde Olasılık Dağılımlarının Kullanılması ve Çeşitli Dönüş Aralıklarında Düşük Akım Debilerinin Bulunması	47
5.8 Olasılık Çizgisi Korelasyon Katsayısı (PPCC) Testi Sonuçları.....	49
5.9 Fırat Havzası İçin Trend Analizi Çalışması	51
5.10 Mann-Kendall Trend Analizi Sonuçları.....	54
6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	55
KAYNAKLAR.....	57
ÖZGEÇMİŞ.....	61

KISALTMALAR

DSİ	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EİEİ	: Elektrik İşleri Etüd İdaresi
W3	: Üç Parametrelili Weibull Dağılımı
P3	: Pearson Tip III Dağılımı
MLE	: Maximum Likelihood
LP3	: Log Pearson Tip III Dağılımı
WMO	: Uluslar Arası Hidroloji Terimleri Sözlüğü
Q₇	: 7-Günlük Düşük Akımlar
Q_{7,10}	: 10 Yıllık Dönüş Aralığında 7-Günlük Düşük Akımlar
Q_{0.20}	: Aşılma Yüzdesi 0.20 Olan Debi
Q_{0.50}	: Aşılma Yüzdesi 0.50 Olan Debi
Q_{0.70}	: Aşılma Yüzdesi 0.70 Olan Debi
Q_{0.90}	: Aşılma Yüzdesi 0.90 Olan Debi
Q_{0.95}	: Aşılma Yüzdesi 0.95 Olan Debi
Q_{0.99}	: Aşılma Yüzdesi 0.99 Olan Debi
Q₇₀	: % 70 Olasılığa Karşılık Gelen Debi
Q₇₅	: % 75 Olasılığa Karşılık Gelen Debi
Q₈₄	: % 84 Olasılığa Karşılık Gelen Debi
Q₉₀	: % 90 Olasılığa Karşılık Gelen Debi
Q₉₅	: % 95 Olasılığa Karşılık Gelen Debi
Q₉₆	: % 96 Olasılığa Karşılık Gelen Debi
Q₉₇	: % 97 Olasılığa Karşılık Gelen Debi
Q₉₈	: % 98 Olasılığa Karşılık Gelen Debi
Q₉₉	: % 99 Olasılığa Karşılık Gelen Debi
Var	: Varyans
S²	: Standart Sapma
\bar{x}	: Ortalama
IQR	: Interquatile Range
WSC	: Watershed Science Center
MOM	: Momentler Yöntemi
MAD	: Yayılım
med	: Medyan
σ	: Standart Sapma
μ	: Ortalama
C_v	: Değişim Katsayısı
C_s	: Çarpıklık (Asimetri) Katsayısı
q_s	: Kuartil Çarpıklık Katsayısı
F(x)	: Eklenik Dağılım Fonksiyonu
PWM	: Probability Weighted Moments
β	: İlk Olasılık Ağırlıklı Moment
MSE	: Meansquare Error
λ_1	: L-Yer parametresi / Ortalama
λ_2	: L-Ölçek Parametresi

LC_v	: L-Değişim Katsayısı
τ₂	: L-Değişim Katsayısı
τ₃	: L-Çarpıklık Katsayısı
τ₄	: L-Kurtosis Katsayısı
f(x)	: Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
exp	: Ekspansiyel
Γ(...)	: Gamma Fonksiyonu
ℒ₁	: Birinci L-Momenti
ℒ₂	: İkinci L-Momenti
ℒ₃	: Üçüncü L-Momenti
x₀	: Değişkeninin Üst Sınırı
U	: Değişkenin Alt Sınırı
N	: Eleman Sayısı
Γ'(a)/Γ(a)	: Digamma (psi) Fonksiyonu
ln	: Logaritma
GEV	: Genel Ekstrem Değer Dağılımı
H0	: Trend Olmaması Durumu
n	: Gözlem Sayısı
S	: Test İstatistiği
Z	: Standart Normal Dağılım
α	: Anlamlılık Düzeyi
AGİ	: Akım Gözlem İstasyonu

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : L-moment oranları.	24
Çizelge 3.2 : PPCC Test istatistiklerini elde etmek için önerilen formüller.	32
Çizelge 5.1 : Fırat Havzası'nda seçilen istasyonların yağış alanları ve kotları.	38
Çizelge 5.2 : İstasyonların istatistik momentleri ve L-momentleri.	47
Çizelge 5.3 : İki ve üç parametrelili dağılımların parametreleri.	48
Çizelge 5.4 : 2 yıllık dönüş aralığı için 7-günlük debilerin olasılık dağılımları ile elde edilen değerleri.	48
Çizelge 5.5 : 5 yıllık dönüş aralığı için 7-günlük debilerin olasılık dağılımları ile elde edilen değerleri.	48
Çizelge 5.6 : 10 yıllık dönüş aralığı için 7-günlük debilerin olasılık dağılımları ile elde edilen değerleri.	49
Çizelge 5.7 : PPCC testinin sonuçları ve onlara karşılık gelen α değeri.	50
Çizelge 5.8 : %95 ($\alpha=0.05$) güven aralığında test sonuçları.	54
Çizelge 5.9 : %90 ($\alpha=0.10$) güven aralığında test sonuçları.	54

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Hidrolojik tabanlı düşük akım tahminleri.	13
Şekil 2.2 : Debi süreklilik eğrisinin elde edilmesi.	14
Şekil 2.3 : Debi süreklilik çizgisi.	15
Şekil 4.1 : Mann Kendall hipotezleri.	35
Şekil 5.1 : Fırat havzası ve analiz için seçilen istasyonlar	37
Şekil 5.2 : 2102 nolu istasyonun debi süreklilik eğrisi.	38
Şekil 5.3 : 2122 nolu istasyonun debi süreklilik eğrisi.	39
Şekil 5.4 : 2157 nolu istasyonun debi süreklilik eğrisi.	39
Şekil 5.5 : 2158 nolu istasyonun debi süreklilik eğrisi.	40
Şekil 5.6 : 2164 nolu istasyonun debi süreklilik eğrisi.	40
Şekil 5.7 : 2102 nolu istasyonun $Q \geq 90$ grafiği.	41
Şekil 5.8 : 2122 nolu istasyonun $Q \geq 90$ grafiği.	42
Şekil 5.9 : 2157 nolu istasyonun $Q \geq 90$ grafiği.	42
Şekil 5.10 : 2158 nolu istasyonun $Q \geq 90$ grafiği.	43
Şekil 5.11 : 2164 nolu istasyonun $Q \geq 90$ grafiği.	43
Şekil 5.12 : 2102 nolu istasyonun Q_7-t grafiği.	44
Şekil 5.13 : 2122 nolu istasyonun Q_7-t grafiği.	45
Şekil 5.14 : 2157 nolu istasyonun Q_7-t grafiği.	45
Şekil 5.15 : 2158 nolu istasyonun Q_7-t grafiği.	46
Şekil 5.16 : 2164 nolu istasyonun Q_7-t grafiği.	46
Şekil 5.17 : 2102 nolu istasyonun boyutsuz Q_7-t grafiği.	51
Şekil 5.18 : 2122 nolu istasyonun boyutsuz Q_7-t grafiği.	52
Şekil 5.19 : 2157 nolu istasyonun boyutsuz Q_7-t grafiği.	52
Şekil 5.20 : 2158 nolu istasyonun boyutsuz Q_7-t grafiği.	53
Şekil 5.21 : 2164 nolu istasyonun boyutsuz Q_7-t grafiği.	53

FIRAT HAVZASI'NDA DÜŞÜK AKIMLARIN ANALİZİ

ÖZET

Ülkemizde, sosyal ve ekonomik gelişmenin etkisi ile artan enerji talebini karşılayabilmek için yüksek kalitede, güvenilir, çevreci ve ekonomik enerji ihtiyacı sürekli artmaktadır. Fosil kaynakların sürekli fiyat artışı ile birlikte yenilenebilir enerjiden daha çok yararlanmak gerekmektedir.

Bu bağlamda, giderek artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen hidroelektrik enerjiyi üreten sistemlerin yapımına ağırlık verilmelidir. Hidroelektrik enerji diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına oranla bazı üstünlükler sunmaktadır. Bunlardan bazıları güvenilir bir enerji kaynağı olması, kolay depolanması ve ihtiyaç halinde kullanılabilmesi, ekonomik ömrünün uzun olması, çevre dostu olması, yakıt giderinin olmaması, geri ödeme süresinin kısa ve veriminin yüksek olması olarak sıralanabilir. Bu kaynağın kullanımına, ülkemiz açısından bakıldığında, zengin bir potansiyele sahip olmamıza rağmen kullanım oranının oldukça düşük olduğu söylenebilir.

Hidroelektrik enerji açısından düşük akımların önemi de oldukça yüksektir. Düşük akımlar, hidroelektrik potansiyelin değerlendirilmesinde ve su kaynaklarının işletiminde en temel unsurları oluşturur. Düşük akımların gözlenmesi su ihtiyaçları arasında dengeli dağılım yapmak ve kuraklık tekerrürleri için modeller oluşturmak için büyük önem taşımaktadır. Düşük akım dönemlerinde akarsudaki suyun çeşitli maksatlar için kullanılması güçleştiğinden düşük akımlarla ilgili bilgi edinmek önemlidir.

Bu çalışmada suyun kullanımından, Türkiye'deki su durumundan, su kaynaklarının yönetiminde düşük akımların öneminden bahsedilmiştir. Çalışma bölgesi olarak seçilen Fırat Havzası'nın Elektrik İşleri Etüd İdaresi'ne ait 5 adet akım istasyonundan, 34 yıllık ölçülmüş günlük akım değerleri alınarak bu veriler incelenmiştir. Her bir istasyon için debi süreklilik eğrileri elde edilmiştir. Bu veriler kullanılarak boyutsuzlaştırılmış debi-zaman grafikleri çizilmiştir. Tüm istasyonlar için 7-günlük ortalama debiler elde edilmiştir ve bu debiler kullanılarak başta L-momentleri olmak üzere ortalama, standart sapma, çarpıklık ve basıklık gibi istatistik moment değerleri bulunmuştur. Bunun sonucunda, verilere çeşitli olasılık dağılımları uydurulmuştur. Bu dağılımlar; iki parametrelili dağılımlardan Weibull Dağılımı 2, Üstel Dağılım ve üç parametrelili dağılımlardan Weibull Dağılımı 3, Genel Ekstrem Değer Dağılımı, Pearson Tip 3 Dağılımı ve Log-Pearson Tip 3 Dağılımı gibi olasılık dağılım fonksiyonlarıdır. Bu dağılımların elde edilmesinden sonra 2, 5 ve 10 yıllık dönüş aralıklarında düşük akım debileri elde edilmiştir. İstasyonların verilerine Olasılık Çizgisi Korelasyon Katsayısı (PPCC) testi uygulanarak verilere en uygun dağılım seçilmiştir. Son olarak 7 günlük ortalama debilere Mann-Kendall testi ile trend analizi yapılmıştır.

LOW FLOW ANALYSIS in FIRAT CATCHMENT

SUMMARY

High-quality, reliable, environmentally friendly and economical energy demand is increasing continuously in order to meet increasing energy demand with the effect of social and economic development in our country. With continuous increase in price of fossil fuels, the need to make better use of renewable energy is also increasing.

Concordantly, the construction of systems that produce hydroelectric energy which is the leading source in indigenous and renewable energy sources should be emphasized in order to meet the growing energy needs. Hydroelectric energy offers several advantages compared to the other renewable energy sources. Some of them can be sorted as; a reliable source of energy, can be easily stored and used when needed, the economic life is long, environmentally friendly, lack of fuel expenses, having short reimbursement period and high efficiency. From the perspective of our country, it can be said that utilization rate of this resource is fairly low even though we have a rich potential.

Low flows are highly important for hydroelectric power. Low flow can be described as the water flow in a river during long dry weather but by being a seasonal phenomenon and integral component of the river's flow regime, it can be parted from drought.

Many factors have an impact on the low-flow regimes of rivers. Whenever we change our land uses, we change the way in which water interacts with the landscape, and this can affect the water available in rivers, lakes and dams. Most nations are experiencing population growth, resource depletion and the overextraction of water. Low flows are critical elements in terms of meeting demands for often competing uses and requirements.

Low flows constitute the most basic elements for the operation of water resources, such as hydro-electric potential and drought. Observation of low flows is of great importance in order to set models for making a balanced distribution between water needs and frequencies of droughts. It is important to know about low flows because the water stream to be used for various purposes is becoming more difficult in periods of low flows.

The reduction of average flow rates has an important role in determining the reservoir capacity and management processes. The negative trend in average flow rates affects the design criteria thus construction costs. At the same time it can be considered as a limiting factor for the amount of water, supplied from the reservoir. Similarly, the run-of-the-river stations is likely to destroy natural structure of the areas and endemic species. To maintain these impacts in a minimum level, the appropriate projects in accordance with low flow rates should be established. So a key component is to produce long-term river basin plans for integrated water resources management. This, in turn, will require estimates of low flows to mitigate the environmental impact of current abstractions and plan future water resources

development. Especially during operation and determining the tail water (ecological water), it is important to analyze the low flows.

In the study, the 34-year observed daily flow data's of General Directorate of Electrical Power Resources Survey and Development Administration's 5 observation stations in Firat Catchment are used.

Flow duration curves are obtained for all the observation stations. It can be seen that station no. 2102 has higher flow rates than the other stations. In order to examine the flow rates in detail, the flow rates which are equal to 90% of time or smaller than 90% of the time are used and graphs are obtained.

7-day average flow rates are obtained and graphics for each stations are created. By using 7-day average flow rates, mainly L-moments and statistical moments such as mean, standard deviation, skewness and kurtosis, are calculated.

Later on, probability distribution functions containing two-parameter distributions (Weibull Distribution 2, Exponential Distribution) and three-parameter distributions (Weibull Distribution 3, Generalized Extreme Value Distribution, Pearson Type 3 Distribution and Log-Pearson Type 3 Distribution) are applied. After the results of these distributions, 7-day flow rates are examined on 2-year, 5-year and 10-year return periods. For 2-year return period, the highest values are obtained by Pearson Type 3 Distribution and the lowest values are obtained by General Extreme Value Distribution. For 5-year return period, the highest values are obtained by Pearson Type 3 Distribution and the lowest values are obtained by Exponential Distribution except station no. 2164. For station no. 2164 the lowest value is obtained by Weibull II Distribution. For 10-year return period, the highest values for the stations 2102 and 2158 are obtained by Log-Pearson Type 3 and for the other stations by Pearson Type 3. The lowest values are obtained by Exponential Distribution.

PPCC test is used in order to measure the linearity of probability distributions. It is observed that Pearson Type 3 Distribution is the most appropriate distribution with 100% compliance for all the values of the observation stations. 80% compliance is observed by Log-Pearson Type 3 and Weibull 3 Distributions. 60% compliance is observed by Weibull 2 and General Extreme Value Distributions.

7-day flow rates are divided by mean flow rates for all the observation stations and non-dimensionalized flow-time graphs are obtained. Trendlines are given on the graphs. In order to analyze whether these trendlines are significant or not, Mann-Kendall trend test is performed to 7-day average flows. In a test involving 95% confidence interval, it is seen that trend is declining for station no. 2102. On the other hand, in a test involving 90% confidence interval, it is seen that trend is declining for both stations 2102 and 2158.

1. GİRİŞ

Su, en önemli yaşamsal kaynaklardan biridir. 20. yüzyılda dünya nüfusu 19. yüzyıla oranla üç kata yakın artmasına rağmen, su kaynaklarının kullanımı altı katı artmıştır. Su krizinin, bir milyarı üzerindeki insanın sağlıklı içme suyuna yeterli erişim sağlayamaması ve dünya nüfusunun yarısının da yeterli su ve atık su altyapısına sahip olmaması şeklinde tanımlanacak olursa, önümüzdeki yıllarda tüm dünyada su krizinin kaçınılmaz olduğu açıktır. Hatta su sorununun yaşanmakta olduğu Ortadoğu'da, nüfusun büyüme oranı birçok ülkede %3'ü aşmakta, yeni nesil sayıca bir öncekini ikiye katlamaktadır.

Bir ülkeye yağın yağışlarla beslenen su potansiyeli nüfusa bölündüğünde, kişi başına düşen, yıllık ortalama su miktarına ulaşılır. Ancak bir ülkedeki su potansiyeli, her zaman faydalanılabilir nitelikte değildir. Nehirleri düzensiz bir su akışına sahip olan ülkelerde toplam su potansiyeli ile faydalanılabilir su potansiyeli arasında önemli bir fark vardır. Türkiye'nin 779.425 km² lik yüzölçümünün 765.152 km² lik kısmı kara, 14.300 km² lik bölümü ise su ile kaplı yüzey oluşturmaktadır (DSİ; Url-1). Türkiye'de yıllık ortalama yağış miktarı 643 mm dir (DSİ; Url-1). Su kaynakları bakımından sanıldığı kadar zengin bir ülke olmadığımız açıkça gözlenmektedir. İleride bütün dünyayı bekleyen su krizinin ülkemizi de etkileyeceği açıktır. İklim değişiminin önem kazandığı günümüzde su kaynaklarının verimli kullanımı ve akıllı politikalar ile işletilmesi giderek daha da önem kazanmaktadır. Su kaynaklarının geliştirilmesi, işletilmesi, kullanımı ileride hem dünyamızı hem de ülkemizi tehdit edecek olan su krizi ile mücadelenin temel çözümü haline almıştır.

Su aynı zamanda bir enerji kaynağıdır. Küresel ısınma tehdidiyle yenilenebilir birincil enerji kaynaklarının etkin kullanımı kalkınmanın sürdürülebilir kılınması açısından çok büyük önem arz etmektedir. Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en önemli yeri olan hidroelektrik potansiyelden yeterince faydalanılamamaktadır. Su kaynaklarımızın verimli şekilde kullanılması, geleceğe yönelik su kaynakları sistemlerinin doğru şekilde planlanması ve işletilmesine bağlıdır (Albostan, 2007).

Bunlara sera gazı emisyonlarının yarattığı küresel ısınma ile mevsimlerdeki değişimler de eklenince su kaynaklarımızın kullanımı için akıllı işletim politikaları geliştirmek büyük önem arz etmeye başlamıştır.

Ülkemizde mevcut su kaynaklarının verimli şekilde kullanılması, su kaynakları sistemlerinin geleceğe yönelik, doğru şekilde planlanması ve işletilmesine bağlıdır. Bu nedenle, su kaynaklarımıza ait verilerin doğru şekilde ölçülmesine ve doğru analizine ihtiyaç vardır. Su kaynakları yönetiminin birçok dalında düşük ve yüksek akımların güvenilir tahminlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Mevcut ölçümler ise özellikle ülkemizde yetersiz olup birçok akarsu havzasında ölçüm bulunmamaktadır. Bu nedenle mevcut ölçümlerden yararlanılarak tahminler yapılmaya çalışılmaktadır.

Ülkemizde ve dünyada mevcut ölçümlerin yetersizliği su kaynaklarının verimli kullanımı açısından, bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Mevcut ölçümlerden yararlanılarak havzalarda akım tahminleri yapmak giderek önem arz etmektedir. Bu konuda ülkemizde literatürde kaynak sıkıntısı olduğu açıkça gözlenmektedir.

Düşük akım dönemlerinde akarsuda debi, hız ve derinlik normalden küçük değerler alır. Bunun önemli etkileri vardır. Akarsudan su sağlama, akarsuda ulaşım, hidroelektrik üretimi, akarsudaki balıkların ve diğer canlıların yaşamı, çevre estetiği olumsuz şekilde etkilenir. Akarsudaki erimiş madde konsantrasyonu artar; endüstri, şehir ve sulama suyu dönüşleri kaliteyi bozar. Akım hızının azalması akarsuyun havalandırma potansiyelini azaltır. Kirleticilerin geçiş hızı küçüleceğinden kirlenme tehlikesi artar.

Düşük akım dönemlerinde akarsudaki suyun çeşitli maksatlar için kullanılması güçleştiğinden düşük akımlar ile ilgili bilgi edinmek önemlidir. Bu arada akarsuda kirlenmeyi önleme, canlıların yaşamı, ulaşım gibi maksatlar için bırakılması gereken minimum akımı belirlemek de önem taşır.

Düşük akımlar kullanılarak, havza benzerlikleri üzerine dünyada değişik yöntemlerle uygulamalar mevcuttur (Albostan, 2007).

Bu çalışmada; Fırat Havzası'nda, günlük akım değerleri incelenerek debi süreklilik eğrileri elde edilmiştir. Düşük akım indeksi olarak seçilen 7-günlük ortalama debiler hesaplanmıştır. İstatistik momentler ve L-momentleri hesaplanarak çeşitli olasılık dağılımları bu verilere uydurulmuştur. Bu dağılımların parametrelerinin elde edilmesinden sonra 2,5 ve 10 yıllık dönüş aralıklarında düşük akım değerleri elde

edilmiştir. Olasılık Çizgisi Korelasyon Katsayısı (PPCC) testi ile uygun olan olasılık dağılımları belirlenmiştir. Sonraki aşamada bu verilere trend (eğilim) analizi yapılmıştır. Sonuçlar bu bölgede hidroelektrik tesislerin planlanmasında, işletilmesinde, sulama ve atık su deşarjları gibi su kaynakları mühendisliğini ilgilendiren birçok projenin geleceği açısından önem taşımaktadır.

2. DÜŞÜK AKIMLAR

Bir akarsudaki akım değerleri yılın belli zamanlarında çok düşük değerler alabildiği gibi bazen de kuruyabilmektedir. Bu genellikle sulamanın önemli olduğu yaz aylarında meydana gelir. Aynı zamanda atık suların düşük akım dönemlerinde yüzeysel sulara verilmesinde seyrelme açısından önemli sorunlar ortaya çıkar. Düşük akım istatistikleri, arıtma tesislerinin belirlenmesinde, sulama veya içme suyu temininde, akarsularda doğal yaşama engel olmadan alınabilecek su miktarlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Düşük akım dönemlerinde akarsuda debi, hız ve derinlik normalden küçük değerler alır. Bunun önemli etkileri vardır. Akarsudan su sağlama, akarsuda ulaşım, hidroelektrik üretimi, akarsudaki balıkların ve diğer canlıların yaşamı, çevre estetiği olumsuz şekilde etkilenir. Dolayısıyla düşük akımlar ile ilgili bilgi edinmek önemlidir.

Düşük akım genellikle yer altı biriktirme sisteminden (akiferlerden) beslendiğinden, miktarı akiferlerin beslenmesi ile, akiferlerin hidrolik özelliklerinin kurak dönemde yer altı suyu hareketini sürdürebilmesi ile ve yer altı su yüzeyinin akarsuyu kesmesi ile ilişkilidir. Düşük akımlar yüzey altı biriktirme sisteminden de beslenebilir. Bu sistemdeki su hacmi zamanla çok değiştiğinden beslenme yeraltından beslenme gibi düzenli olmaz. Yer altı su yüzeyinin akarsu su yüzeyine göre daha alçakta olduğu hallerde kaynaklar akarsuyu besleyebilir. Göl ayağı oluşturan akarsularda yağışsız dönemlerde göldeki su seviyesinin yeterli olması halinde akım görülür (Bayazıt ve Önöz, 2008).

Akarsularda don olayı görülen bölgelerde ve düşen karın uzun süre erimeden kalıp akışa geçmemesi halinde kış aylarında da düşük akımlar görülebilir.

Yağışsız dönemlerde akarsudan buharlaşma, yer altı su yüzeyinin akarsudan aşağıda olması halinde akarsuyun akiferi beslemesi, yataktan ve şevlerden sızma yoluyla kayıplar düşük akımların miktarını azaltır (Bayazıt ve Önöz, 2008).

Bir akarsuda düşük akımların oluşumu mekanizmasının, kurak dönemlerde beslenme ve kayıpların bilinmesi, düşük akımların analizinde ve havzada su yönetiminin planlanmasında büyük önem taşır.

Düşük akım frekans analizlerinin diğer uygulama alanları ise hidroelektrik enerji üretim yapılarının planlama ve işletilmesidir.

Görüldüğü üzere su kaynakları mühendisliğinde bir akarsu enkesitinde düşük akımların güvenilir bir şekilde tahmini önemli bir problem olup bu konudaki çalışmalar taşkın debilerinin hesabına göre daha kısıtlıdır. Literatürde düşük akımlara uyan olasılık dağılımlarının araştırılması için yapılan çalışmalar kesin bir sonuca varmaktan çok uzaktır. Ayrıca bu çalışmaların uygulamada çalışan mühendislere de yeterince aktarılmadığı bir gerçektir. Mevcut istatistik testler ile en iyi uyan olasılık dağılımı çeşitli ülkelerde farklılık göstermektedir. En iyi uyan dağılımın belirlenmesindeki zorluk genellikle eldeki verilerin kısalığından kaynaklanmaktadır.

Türkiye’de de benzer sorunlar nedeniyle düşük akımlar ile ilgili çalışmalar kısıtlı olup, benimsenmiş bir olasılık dağılımı mevcut değildir.

Dünyada, durağan ve değişken akıslara sahip olan akarsu örnekleri mevcuttur (Puckridge et al. 1998). Örneğin; doğal nedenler ile meydana gelen kurak dönemler, insanoğlunun doldurduğu rezervuarlar veya su ihracı sonucu oluşan akımdaki ani düşüşler, suya doymuş çökellerin açıkta kalmasına sebep olmaktadır. Böylece toprak kayması ve suyun bulanıklaşma riski artmaktadır. Benzer şekilde, debideki ani artışlar çökellerin deşarjını arttırmaktadır. Buna ek olarak, buz kaplı nehirlerdeki ani debi artışları buz yığılmasına sebep olabilir. Aşırı debilerin olağan sürelerinden sapması, su kalitesinin etkilenmesine sebep olmaktadır.

Düşük akım farklı ilgi grupları için farklı anlamlar ifade etmektedir. Çoğuna göre düşük akım, yılın kurak sezonu boyunca meydana gelen güncel akımlar olarak değerlendirilirken, kimisi taşkın olayları (değişken ve aralıklı yarı kurak akım rejimleri) arasındaki durumlar ve sürenin uzunluğuna dikkat etmektedir. Bazıları da, nehrin toplam akım rejiminin değişkenliğinin, su ürünleri ve nehir kıyısı canlıları üzerindeki etkileri ile ilgilenmektedir. Diğer bir algı, düşük akımların sadece kurak sezon boyunca ortaya çıkan deşarjlar olmadığı, bunun yanı sıra toplam akım rejiminin çeşitli durumlarda azalması anlamı taşıdığıdır.

Uluslararası hidroloji terimler sözlüğü (Pyrce, 1974) düşük akımı, uzun kuru hava boyunca bir nehirdeki su akışı olarak tanımlamaktadır. Bu tanım düşük akımlar ile kuraklık arasındaki ayırım için yeterli değildir. Düşük akımlar sezonsal bir olgudur ve herhangi bir nehrin akım rejiminin tamamlayıcı bileşenidir. Kuraklık ise, belirli bir zaman periyodunda normal yağıştan daha az yağış sebebiyle kaynaklanan doğal bir olaydır.

En düşük yıllık akım genellikle her yıl aynı mevsimde ortaya çıkar. Yıllık düşük akımların büyüklüğü, akımların çeşitliliği ve yağmur yokluğunda nehir akışının oransal olarak azalması, sürekli düşük akım olaylarının süresi, düşük akımların toplam nehir akışına olan katkısı; düşük akım hidrolojisinde yaygın olarak kullanılan bazı karakteristiklerdir. Akarsular için düşük akımların büyüklüğünün ve sıklığının bilinmesi; su arzı planlaması ve dizaynı, atık dağıtımı, rezervuar depolama dizaynı ve sulama, rekreasyon ve doğal yaşamın korunması, suyun miktarı ve kalitesi için derece önemlidir.

2.1 Düşük Akımları Belirleyen Etkenler

Düşük akımları belirleyen etkenler doğal (klimatolojik, hidrojeolojik, morfolojik ve morfometrik) etkenler ve insan etkisine bağlı etkenlerdir (Bayazit ve Önöz, 2008).

1.Klimatolojik etkenler: Düşük akımları belirleyen en önemli etkenlerdir. Bunların en önemlisi akarsulardaki akışın kaynağı olan yağıştır. Bunun yanında düşük akımların azalma hızını etkileyen buharlaşma kayıpları vardır.

2.Hidrojeolojik etkenler: Havza özellikleri (zemin tipi, bitki örtüsü, göl ve bataklıklar, akiferlerin biriktirme kapasitesi) düşük akımların azalma hızını (çekilme eğrisini) belirler.

3.Morfolojik etkenler: Havzanın topoğrafyası, göl ve bataklıklar ve bitki örtüsü düşük akımları etkiler.

4.Morfometrik etkenler: Havzanın alan, kot, eğim, drenaj yoğunluğu ve akarsu ağı özellikleri de düşük akımlar üzerinde etkili olur.

5.İnsan etkileri: Kentleşme, sulama, barajlar, su transferi, hidroelektrik, akarsuda ulaşım, arıtma, kurutma ve ormanlaşma düşük akımları etkiler.

2.2 Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Düşük akımlarla yapılan çalışmalarda geniş olarak yedi günlük ve on yıllık düşük akımlar ($Q_{7,10}$) araştırılmıştır. Bu değer, dönüş aralığı on yıl olan ve yılın minimum akımına sahip yedi günün ortalamasına karşı gelmektedir. $Q_{7,10}$ debisinin çeşitli dönüş aralıklarında tahmini için çeşitli olasılık dağılımları ve bu dağılımların parametrelerinin tahmini için çeşitli parametre tahmin yöntemleri uzun yıllardır araştırılmaktadır. Bu çalışmalarda Weibull (W3) dağılımı momentler yöntemi (MOM) ile ve Pearson Tip III (P3) dağılımı maksimum olabilirlik (MLE) parametre tahmin yöntemi ile tavsiye edilmektedir. Bir diğer çalışmada W3(MLE) ve W3(MOM) dağılımı önerilirken, Log-Pearson Tip III (LP3-MOM) dağılımı da kullanılan 3 parametrelilik dağılımlar arasında yer almıştır. W3(MLE) yöntemi zor bir çözüm algoritması gerektirmektedir. LP3(MOM) ise çarpıklık katsayısının tahminine dayanmakta olup kısa örneklerden güvenilir tahminlerin yapılması mümkün değildir. İki parametrelilik dağılımların kullanılması halinde çarpıklık katsayısının tahminine gerek olmadığından bu dağılımlara dayanılarak yapılan düşük akımların tahminlerinin varyansları daha küçük olmaktadır.

Smakhtin'in (2001) belirttiği üzere düşük akım periyodları birçok nehir için hidrografın tamamlayıcı parçasıdır ve nehir kıyısındaki ekosistemlerin fonksiyonlarını yerine getirebilmesindeki birçok süreç için gereklidir (Postel ve Richter, 2003). Eğer düşük akımların meydana geldiği süre uzarsa veya su kalitesi çok düşük seviyelere (ve doğal olmayan) ulaşarsa, ekolojik topluluk da zarar görür.

Douglas vd. (2000), çapraz korelasyonun ABD'deki maksimum ve minimum akımlar üzerindeki etkisini dikkate aldıkları çalışmalarında minimum akımların arttığını gözlemişlerdir.

Yıldız vd. (2004) Türkiye nehirlerindeki taşkın, ortalama ve düşük akımların zamana göre değişimini incelemiş ve akımlardaki gidişin hidroelektrik santrallerinin enerji üretimlerine etkilerin araştırmışlardır. Bu çalışma sonucunda Türkiye'nin batı, orta ve güney bölgelerindeki akarsuların, özellikle ortalama ve düşük akımlarında (ve bazılarının maksimum akımlarında) anlamlı bir azalma olduğu ortaya çıkmaktadır. Diğer bölgelerde ise zamanla artan bir trend vardır. Hidroelektrik enerji üretimlerinde ise yine akımlardaki trendlere uygun bir gidişin var olduğu görülmektedir.

Cıgızoğlu vd. (2002) tarafından Türkiye nehirlerindeki taşkın, ortalama ve düşük akımlardaki trendin varlığı incelenmiştir. Türkiye'nin 26 akarsu havzasından 24'ndeki 100 akım gözlem istasyonuna ait günlük ortalama akım verileri kullanılmıştır. Bu amaç doğrultusunda yıllık maksimum, ortalama, bir günlük ve yedi günlük akımlara parametrik bir test olan t testi ve parametrik olmayan Mann-Kendall testi uygulanmıştır. Gözlenen trendlerin bölgelere göre dağılımları incelendiğinde Marmara, Ege, İç Anadolu ve Akdeniz bölgelerindeki akarsuların çoğunun akımlarında trend gözlenmiştir. Trend, ortalama ve düşük akımlarda, maksimum akımlara göre daha çok istasyonda gözlenmiştir. Trend birkaç istasyon dışında genellikle zamanla azalan yöndedir. Diğer bölgelerde ise istatistik bakımdan anlamlı bir trend görülmemiştir.

2.3 Düşük Akım Hidrolojisinin Doğal Süreçleri

Bir nehirdeki akım, havza lğini etkileyen kompleks ve doğal işlemlerin sonucudur. Kavramsal olarak, bir nehir havzası birbirlerine bağlı biriktirme bileşenlerinden oluşur ve her birinin doldurma, depolama ve boşaltma bileşenleri mevcuttur.

Nehirin düşük akım rejiminin çeşitli durumlarını etkileyen toprak karakteristiklerinin dağılımları ve sızması, akiferlerin genişliği ve hidrolik karakteristikleri, oran, doldurma miktarı ve sıklığı, havzadaki terleme-buharlaşma oranı, bitki örtüsü çeşitliliğinin dağılımları, topoğrafya ve iklimi gibi doğal faktörleri içerir. Bu etkenler ve süreçler, yılın kurak mevsimi boyunca nehir akışına etkileyen beslenmeler ve kayıplar olarak gruplandırılabilir.

2.3.1 Düşük akımların beslenmesi

Birçok durumda, doğal beslenmelerin büyük bölümü düşük akım periyodları boyunca yeryüzü depolarından serbest bırakılan sulardan sağlanır. Düşük akımların sürdürülebilir olması için: (i) drenaj akiferi mevsimsel olarak yeterli miktarda nem ile şarj edilmeli (ii) su tablası akarsu ile keşişecek kadar sığ olmalı (iii) akiferin boyutu ve hidrolik özellikleri kurak mevsim süresince akımları sağlayacak kadar yeterli olmalıdır.

Düşük akımların beslenmeleri, yzeeye yakın vadi tabanındaki drenaj depolarından da elde edilebilir. Bu alanlar yağmur sırasında ya da sonrasında suyun yoğunlaştığı

alanlardır dolayısıyla kurak mevsim boyunca yeterli depolama seviyeleri sağlanmış olur. Aslında bu bölgeleri kapsayan alanlardan sağlanan su gerçekten yer altı suyu değildir. Yer altı su tablasının altında bulunan bu kaynak ile esas yer altı suyu arasındaki farkın açıklanması gerekmektedir. Yer altı su tablasının zemin ile kesiştiği yerde, bu iki su kaynağı arasında doğrudan bir hidrolik bağlantı olması mümkündür. Fakat bu durum, iki kaynak arasındaki farkın açıklanmasını zorlaştırmaktadır (Smakhtin, 2001).

Yukarıdaki anlatılanlardan da anlaşılacağı gibi düşük akım yaratan mekanizmalar havza jeolojisinden önemli derecede etkilenirler. Armbruster, 1976; Smith, 1981; Musiaki vd., 1984; Bingham, 1986; Aucott vd., 1987; Rogers ve Armbruster, 1990 düşük akım periyodları boyunca boşaltım oranı ile jeolojik kaya kategorileri arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmaların bazılarında, farklı türdeki gevşek tortulu kayaların arasından akan akarsuların düşük akım periyodları boyunca daha düşük verim sağladığı saptanmıştır. Buna zıt olarak, başkalaşım geçirmiş tortul ve volkanik kayaların arasından akan akarsular, havza alanları ile ilgili olarak yüksek akım değerlerine sahiptir.

Ayrıca nehirlerdeki düşük akımlar, nehirler ile direk bağlantısı olan göllerden de sağlanabilir. Nehire olan su akışının sağlanması amacı ile göldeki yeterli su seviyesinin kurak mevsim boyunca korunması gerekmektedir. Göllerin düşük akımlar üzerine etkilerini araştıran çalışmalar kısıtlıdır fakat düşük akımlar için göllerin önemi, bazı bölgelerde göllerle ilgili parametrelerin dahiliyeti ile sağlanabilir (Gerasimenko, 1972; Vladimirov, 1976; Kuusisto, 1987; FRIEND, 1989; Sakovich, 1990).

Farklı kurak mevsimlerdeki düşük akımlar (yaz ve kış gibi) çeşitli fiziksel süreçler ile üretilebilir. Soğuk ya da dağlık bölgelerde, olağan havza parametrelerine ek olarak, düşük akımlar buz ve kar erimelerinin etkilerine maruz kalırlar (Bowles ve Riley, 1976; Gerard, 1981; Collins, 1982; Fountain ve Tangborn, 1985; Gurnell, 1993; Hopkinson ve Young, 1998). Buzul bölgelerden serbest kalan sular da bölgesel hidrolojik döngüyü önemli derecede etkilemektedir.

2.3.2 Düşük akım kayıpları

Birçok açıdan, nehir akışındaki kayıplar ile ilişkili olan süreçler, direk buharlaşmanın da etkisi ile beslenmelere sebep olan nedenlerin tam tersidir. Kuru hava periyodları

boyunca nehir akışındaki kayıplara sebep olan kayıplar şu şekildedir: (i) bir kanaldaki ve açık su arazisindeki durağan ya da akan sudan oluşan direk buharlaşma; (ii) sızıntılı alanlardaki buharlaşma ve terleme; (iii) kanalın altında suya doymuş alanlarda akan akarsu akımının altındaki yer altı suyu şarjı; (iv) nehir tabanını oluşturan gevşek alüvyal materyalli bölgelerdeki yatak kayıpları; (v) akarsu setlerini oluşturan toprakların kayıpları.

Bu süreçler genellikle ulaşım kayıpları ya da nehir kayıpları olarak adlandırılırlar.

Düşük akım kayıplarının diğer bir kaynağı da, soğuk bölgelerde etkisini gösteren donmuş topraktır fakat yarattığı fiziksel problem tam olarak anlaşılammıştır. Janowicz'in (1990) araştırmaları sonucu, yüksek enlemlerdeki büyük alanlarda, düşük akımlar okyanusların ılımlaştırma etkisinden dolayı artan enlem ve uzaklık ile genellikle azalır. Bu eğilim çoğunlukla kış nehir akışına etki eden yeryüzü katkısındaki donmuş toprağın dağılımı tarafından kontrol edilmektedir.

Soğuk bölgelerde, nehirlerdeki en düşük akımlar genellikle kış aylarında görülmektedir çünkü yağışı kar olarak geçici depolama söz konusudur. Fakat farklı süreçler tarafından kontrol edilerek iki farklı düşük akım mevsimi de (kış ve yaz) söz konusu olabilir. Bir akiferden kısmın gerçekleşen akım nehir şarjına nispeten genellikle daha azdır. Bu fark nehirlerdeki buz kaplaması nedeniyle oluşan akım kayıpları olarak atfedilebilir (Kravchenko ve Chernykh, 1985).

2.4 Düşük Akımların Etkilerinin Azaltılması

Düşük akımların etkileri; biriktirmesiz hidroelektrik tesislerde, şehirlerde su sağlamada, atıkların arıtılmasında, akarsularda ulaşımında, sulama sistemlerinde, akarsularda canlıların yaşamında, dinlenme etkinliklerinde ve su kaynakları sistemlerinin işletilmesinde görülür. Hidroelektrik santrallerin kapasitelerinin, su sağlama sistemlerinin kapasitelerinin, arıtma sistemlerinin kapasitelerinin, akarsularda ulaşım ve sulamanın, akarsudan sulama yapılarının, türbin ve pompalarda kavitezyonun, su yapılarının inşaat, onarım ve işletmesinin düşük akımlar gözönüne alınarak planlanması gerekir.

Düşük akımların etkilerinin azaltılması için uygun bir planlama ve tasarımla risklerin azaltılması ve düşük akımların artırılması düşünülebilir.

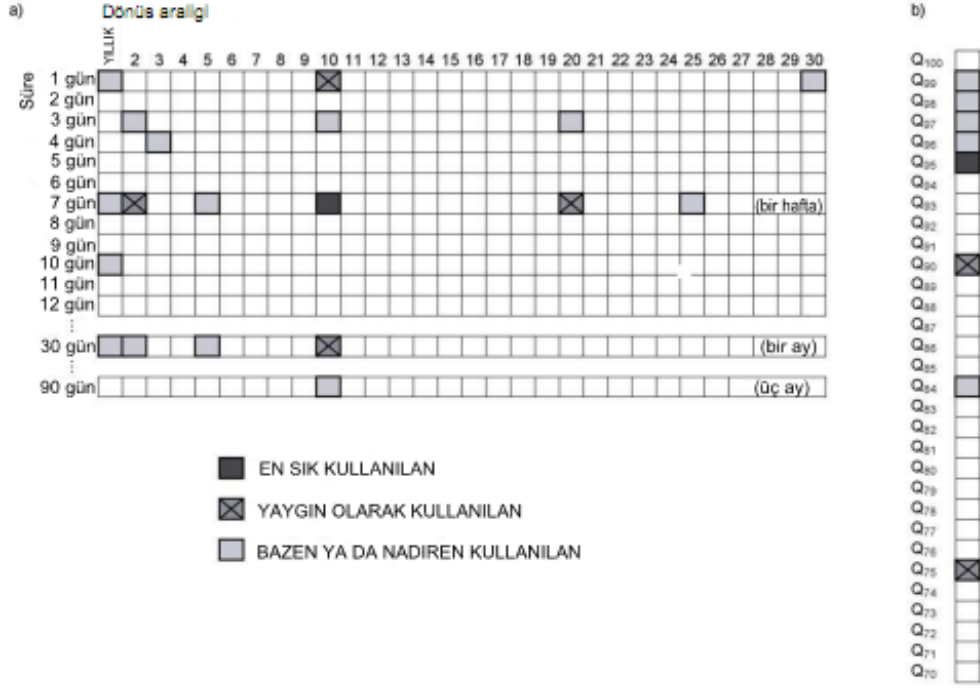
2.5 Düşük Akım İndisleri

Smakhtin'e (2001) göre; bir akım süreklilik eğrisi, düşük akımlardan sel olaylarına kadar nehir boşaltımlarının bütün aralığının gösterilmesindeki en tanıtıcı araçlardan biridir. Ortalama günlük boşaltım verilerini kullanan akım süreklilik eğrileri, ilgili periyod süresince belirli boşaltıma eşit ya da bunu aşan zamanın yüzdesini gösteren kümülatif frekans dağılımlarıdır (günlük, aylık, yıllık, kayıdın tüm periyodu). Q_{95} ve Q_{90} akımları akademik kaynaklarda ve yönetim edebiyatında en sık kullanılan düşük akım indisleridir.

Düşük akım indisleri debi süreklilik çizgisine bağlı olarak da belirlenebilir. Düşük akımların üst sınırı olarak aşılma yüzdesi 0.50 olan $Q_{0.50}$ debisi alınabilir. Bu değer altındaki çeşitli debiler ($Q_{0.70}$, $Q_{0.90}$, $Q_{0.95}$, $Q_{0.99}$ gibi) düşük akım indisi olarak kullanılabilir. İngiltere'de $Q_{0.95}$ kullanılmaktadır (Bayazıt ve Önöz, 2008). $Q_{0.50}/Q_{0.90}$ ya da $Q_{0.20}/Q_{0.90}$ oranı düşük akımların değişkenliğinin bir ölçüsüdür. Bayazıt ve Önöz (2008) yaptıkları çalışmalarda, $Q_{0.95}$ ile 10-günlük ortalama minimum akım arasında çok yüksek bir korelasyon bulmuşlardır ($\rho=0.987$).

Global olarak en çok kullanılan indisler $Q_{7,10}$ ve Q_{95} akımlarıdır (Pyrce, 2004). Şekil 2.1'de sık kullanılan düşük akım indislerinin bir grafiği verilmektedir. Pyrce'a (2004) göre genel olarak kullanılan indisler $Q_{7,2}$, $Q_{7,20}$, $Q_{1,10}$, $Q_{30,10}$, Q_{90} ve Q_{75} akımlarını içermektedir.

Pyrce (2004), $Q_{7,10}$ gibi bir akım indisini 10 yıllık dönüş aralığında hesaplanan 7-günlük ortalama akımı şeklinde ifade etmektedir. $Q_{7,10}$ akımı ile birlikte daha önceden kullanılmış ya da hali hazırda kullanılmakta olan farklı dönüş aralıklarındaki 7-günlük ortalama düşük akımları ($Q_{7,1}$, $Q_{7,2}$, $Q_{7,5}$, $Q_{7,20}$, $Q_{7,25}$) mevcuttur (Pyrce, 2004).



Şekil 2.1 : Hidrolojik tabanlı düşük akım tahminleri.

2.6 Q_{7,10} Akımı

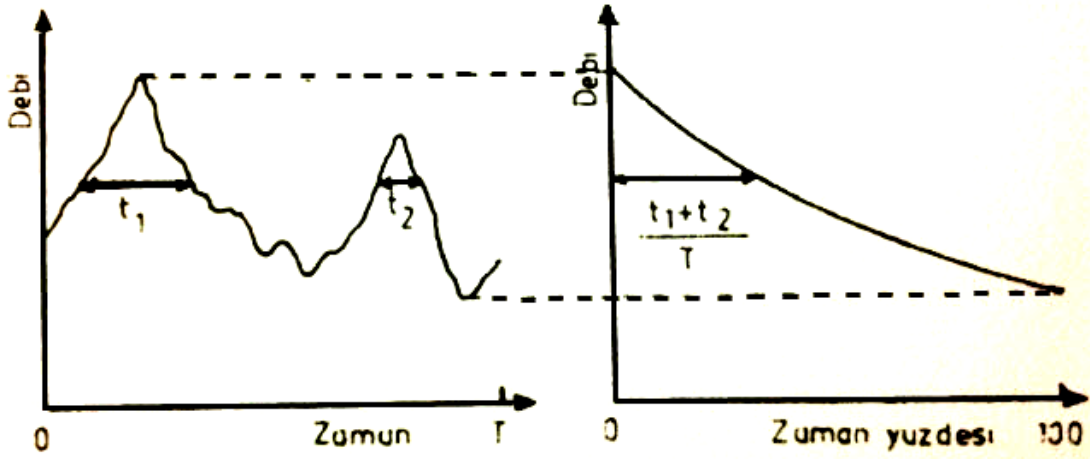
Düşük akım indislerinden en çok kullanılanı Q_{7,10} akımıdır. Q_{7,10} akımının çok sayıda ve farklı amaçlarla uygulandığı bilinmektedir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir; i) atık yük payları ya da atık su boşaltımlarından su kalitesinin korunması ya da düzenlenmesi, ii) kuraklık durumları süresince doğal yaşamın korunması, iii) su yaşamı için gerekli kriterin sürekliliği iv) soy tükenmesine sebep olan bölgesel akım. Pyrc'e'nin (2004) yaptığı çalışmalar sonucu, Q_{7,10} akımının esas kullanımı kirliliği düzenlemek için akıntı su kalitesi standartları ile ilişkili olmasıdır fakat kullanımının farklı sebepleri de içine aldığı ve bunlara hizmet verdiği görülmüştür.

2.7 Debi Süreklilik Eğrisi

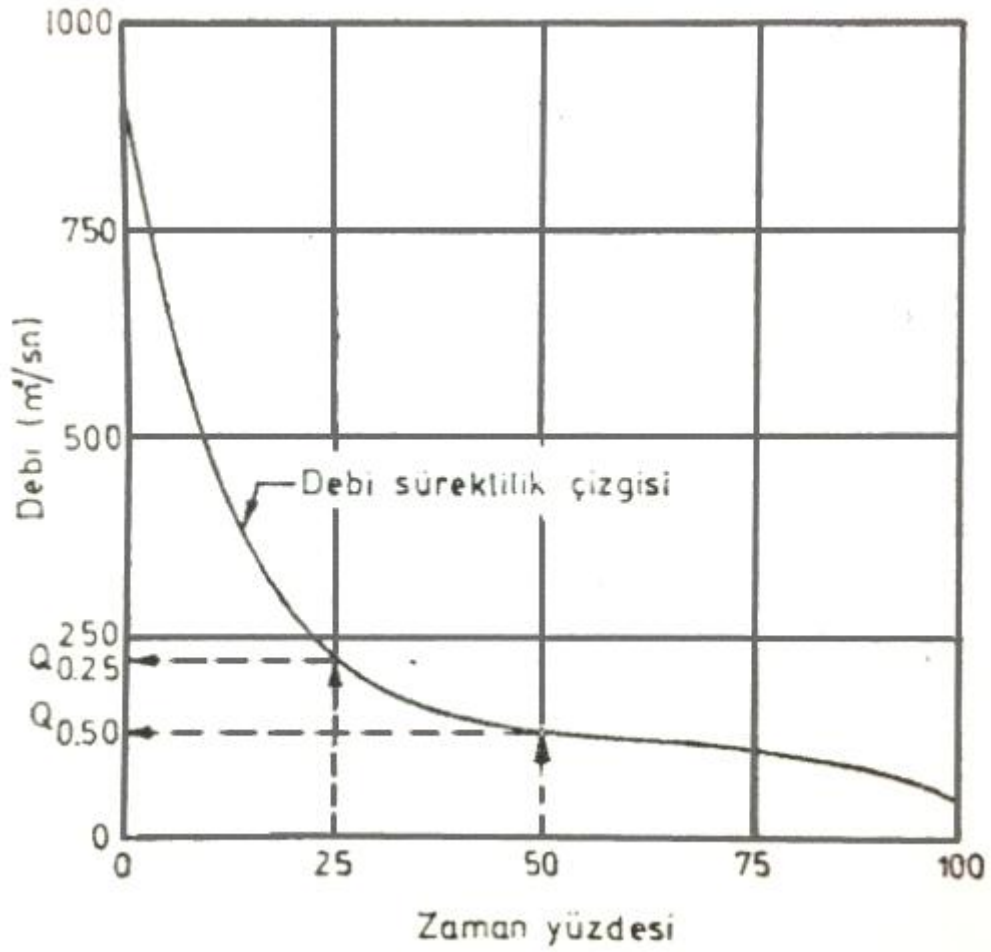
Debi, bir akarsuyun belirli bir kesitinden birim zamanda geçen suyun hacmidir. Debi süreklilik çizgisi ise belli bir istasyondaki günlük, haftalık, aylık (veya bir başka zaman aralığı) akımların miktarı ve frekansı arasındaki ilişkidir ve belli bir zaman aralığı boyunca verilmiş akım değerine eşit olduğu veya aşıldığı zaman yüzdesini göstermektedir. Eldeki bir debi gidiş çizgisinden faydalanılarak debinin belli bir değere eşit ya da ondan büyük olduğu zaman yüzdesi hesaplanıp düşey eksene debiler, yatay eksene zaman yüzdeleri taşınırsa debi süreklilik çizgisi elde edilir

(Şekil 2.2). Debi süreklilik çizgisini elde ederken mümkün olduğu kadar uzun bir süreye ait debi gidiş çizgisini kullanmak uygun olur. Bu süre gün, hafta, ay, yıl gibi değişik zaman birimlerini içerebilir. Zaman biriminin seçimi eğrinin kullanım amacına bağlıdır. Debinin geçtiği kesit alanına bölünmesi ile elde edilen debi “özümlü debi”dir. Albostan’ın (2007) çalışması ile elde ettiği sonuç, çalışma bölgesindeki havzaların büyüklüklerinin birbirinden farklı olduğu göz önünde bulundurulduğunda; özümlü debiler kullanılarak elde edilen debi süreklilik eğrisi üzerinde çalışmak, havzaların karşılaştırılmasında daha verimli sonuçların elde edilmesini sağlayacağı yönündedir.

Debi süreklilik eğrisi, bir akarsuda belirli bir zaman yüzdesinde debinin bulunma olasılığını göstermektedir. Akarsu üzerindeki yıldan küçük zamandaki akımlar istatistik olarak zamanla değişen bir süreç gösterirler. Bu sebeple, ortalama, standart sapma, çarpıklık katsayısı gibi istatistik özellikleri zamanla değişkendir. Bu nedenle, günlük akım değerlerinin belirli bir değeri aşma olasılığı yıl içinde bulunan güne bağlıdır.



Şekil 2.2 : Debi süreklilik eğrisinin elde edilmesi.



Şekil 2.3 : Debi süreklilik çizgisi.

Debi süreklilik eğrisi üzerinde, aşılma olasılıkları %0-%5 arasında kalan bölge ve üzerinde kalan debi değerleri çok yüksek olmasına rağmen zamanın çok küçük bir döneminde meydana gelmektedir. Zamanın düşük bir yüzdesinde oluşması sebebiyle, akımların oluşma tarihleri düzenli bir davranış sergileyebilmektedir. Bu bölgedeki akımlar, taşkın analizlerinde kullanılabilirler gibi günümüzde biriktirmesiz hidroelektrik santrallerinin kurulu güç hesaplarında kullanılabilirler. Bu bölgeden hesaplanan kurulu güçler çok yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Ülkemizin enerji gereksinimi göz önünde bulundurulduğunda, zamanın çok küçük bir kısmında da olsa bu büyük güçlere ulaşmak günümüzde projelendirilen tesislerde daha çok tercih edilmektedir.

%5-%95 arasında kalan ikinci bölgede ise akımlar ilk bölgeye göre daha kararlı davranış sergilemektedir. Zamanın büyük bölümünde oluşan bu bölgede akım karakterleri birinci bölgeye göre daha kararlı fakat zaman içindeki dağılımı daha değişkendir.

Zamanın %95'i ve %95'inden küçük debilerin oluşturduğu 3. kısım ise; yüzey altı depolama, yer altı suyu ve kuraklık analizlerinde kullanılan bölgedir. Bu bölgede akımların karakterlerinde havzanın jeolojik yapısı da çok etkili olmaktadır ve hidroelektrik santrallerin güvenilir enerji miktarının belirlenmesinde bu bölgedeki akımlar kullanılabilir. Şekil 2.3'de örnek bir debi süreklilik eğrisi verilmiştir.

Görüldüğü üzere; debi süreklilik eğrisinin su kaynakları mühendisliği açısından çok çeşitli kullanımları mevcuttur.

Hidroelektrik santraller için günlük akımlardan çizilecek debi süreklilik eğrisindeki Q_{95} değeri büyük önem taşımaktadır. Ülkemizin pik saatlerdeki enerji talebinin karşılanmasına katkıda bulunacak güvenilir enerjinin hesaplanmasında kullanılan debi değeri Q_{95} ' tir. Bu değer planlanan tesisten zamanın %95'inde geçen debidir. Enerji hesapları ile tesis fayda/maliyet analizi bu debiye dayanır. Bu debi tesisin yapılabilir olmasında büyük rol oynar. Q_{95} - Q_{99} arasında kalan debiler ise zamanın %95'i ile %99'unda nehirde bulunabilecek debileri ifade eder. Bir başka deyişle, %99 ihtimale karşılık gelen debi her zaman nehirde bulunmaktadır (Albostan, 2007).

2.7.1 Düşük akım analizi-debi süreklilik eğrisi

Bu metot ile akım ölçüm istasyonu olan veya olmayan nehirler için bir minimum akış değeri elde edilmeye çalışılır. Ayrıca su kaynaklarının geliştirilmesi çalışmaları sırasında planlama aşamasında uygulaması kolay ve uygun bir metottur. Bu çalışmada, hidrolojik metotlardan olan debi-süre indisleri (aşılma yüzdeleri) kullanılmıştır. Debi-süreklilik eğrisi en düşük akımlardan taşkınlara kadar nehrin akış durumunu gösteren en uygun araçlardır. Günlük ortalama akış verileri kullanılarak elde edilen debi-süreklilik eğrileri gerçekte istenilen bir periyotta belirlenen bir debi değerinin zamanın kaçta kaçında mevcut olduğunu gösteren kümülatif (yığışmalı) frekans dağılımıdır.

Smakhtin (2001), debi-süreklilik eğrisinin %70-%99 aralığının dizayn amaçlı düşük akım aralığı olduğunu ifade etmiştir. Q_{95} ve Q_{90} akımları akademik çalışmalarda ve çeşitli ülkelerdeki konuyla ilgili kurumlarda en sık kullanılan düşük akım indisleridir. Q_{75} , Q_{84} , Q_{96} , Q_{97} , Q_{98} ve Q_{99} akımlarının da kullanıldığına literatürde rastlanmaktadır (Özdemir vd., 2007).

2.8 Yıl İçi Debi Frekans ve Kısmi Süreklilik Frekans Çizgileri

Akarsuyun kurak dönemlerdeki akım potansiyelini belirlemede süreklilik çizgisinin yanında yıl içi debi frekans ve kısmi süreklilik frekans çizgileri de yardımcı olur.

Yıl içi debi frekans çizgisi d-günlük minimum akımlar için çizilir. d için 1,7,10,15 gibi değerler alınabilir. Belli bir d değeri için gözlenmiş akım serisinden her yılın minimum d-günlük ortalama debisi belirlenir. Bu değerler küçükten büyüğe doğru sıralanır. N-yıllık gözlemler mevcutsa büyüklük sırasında m-inci olan değer dönüs aralığı:

$$T = \frac{N+1-2a}{m-a} \quad (2.1)$$

tipinde bir formülle hesaplanır (Formülde a=0 alınır Weibull, a=0.40 alınır Cunnane, a=0.44 alınır Gringorten, a=0.375 alınır Blom, a=0.5 alınır Hazen formülü elde edilir). Normal ve lognormal dağılımlar için Blom veya Cunnane, ekstrem değer ve Weibull dağılımları için Gringorten, gamma dağılımları için Hazen formülünün kullanılması önerilmiştir (Bayazıt ve Önöz, 2008).

Bayazıt ve Önöz'ün (2008) çalışmalarında; hesaplanan T değeri, m-inci sırada olan d-günlük akım değerinin altına ortalama kaç yılda bir inilmesinin beklendiğini göstermektedir.

(2.2) formülü ile hesaplanan dönüs aralıkları debilere karşı noktalandıktan sonra noktaların arasından bir eğri geçirerek d-günlük minimum akımların (yıl içi) frekans eğrisi elde edilir. Bu eğriden, gözlem süresini aşmayan dönüs aralıkları ($T \leq N$) için T yılda bir görülen d-günlük minimum ortalama debi okunabilir. Bayazıt ve Önöz'e (2008) göre daha büyük dönüs aralıkları için tahmin yaparken frekans çizgilerine bir olasılık dağılım fonksiyonu uydurmak gerekmektedir.

2.9 Dönüs Aralığı

Dönüs aralığı en basit ifade ile belirli bir tekerrür aralığı anlamına gelmektedir ve tekrarlanma aralığı olarak da bilinir. Dönüs aralığı, uzun bir süre boyunca ortalama tekrarlanma aralığını gösteren bir istatistik ölçümdür ve genellikle risk analizi ile hidrolojik yapıları boyutlandırmak için kullanılır.

Dönüş aralığı (T) ve F(x) arasında temel bir ilişki mevcuttur. Bu iki değişken birbirleri ile ters orantılıdır. Düşük akımlar için F(x) küçük kalma olasılığını ifade etmektedir.

$$T = \frac{1}{F(x)} \quad (2.2)$$

3. DÜŞÜK AKIMLARIN OLASILIK DAĞILIMLARI

Bir yıl içinde d-günlük bir süre boyunca görülen minimum akımın (bu süredeki toplam akış hacmi ya da ortalama debi) düşük akım indislerinin tanımlanmasında kullanıldığı belirtilmişti (özellikle d=7 gün için). d-günlük minimum akım olarak adlandırılan bu büyüklük, değeri her yıl değişen bir rastgele değişkendir. Bu değişkenin frekans dağılımı (yıl içi debi frekans çizgisi) frekans analizi ile belirlenir ve bu çizgiye bir olasılık dağılım fonksiyonu uydurarak gözlem süresinden daha uzun dönüş aralıklarına karşı gelen d-günlük minimum akımlar tahmin edilebilir (Bayazıt ve Önöz, 2008).

3.1 Olasılık Dağılımlarının Parametreleri ve Parametrelerin Tahmini

Bir rastgele değişkenin toplumunun parametreleri, o değişkenin olasılık dağılımının başlıca özelliklerini ifade ederler. Parametreler olasılık dağılımının aşağıdaki özelliklerini belirtirler (Bayazıt ve Önöz, 2008).

- Dağılımın merkezini, yani rastgele değişkenin alabileceği tüm değerlerin çevresinde kümelendiği değeri
- Merkez çevresindeki yayılmanın büyüklüğünü
- Dağılımın çarpıklığını
- Dağılımın sivriliğini

Toplumun tümünü gözlemek mümkün olmadığından, parametrelerin aldığı gerçek değerler belirlenemez. Ancak eldeki örnekten tahmin edilebilir ve tahmin edilen bu değerlere istatistik denir. Bayazıt ve Önöz'ün (2008) belirttiği üzere, elde edilecek istatistiklerin yani tahminlerin tarafsız (beklenen değer toplu değerine eşit olması) ve etkin (örnekleme varyansı en küçük olan tahmin) tahminler olması istenir.

$$\text{Tarafılık (bias)} = E[a] - \alpha \quad (3.1)$$

En çok kullanılan tahmin yöntemleri istatistik momentler, L-momentleri ve maksimum olabilirlik yöntemi olup tarafsız ve etkin tahminlerin bir ölçüsü hatanın

karesinin ortalaması (mean square error)dir ve aşağıdaki şekilde ifade edilir (Bayazıt ve Önöz, 2008).

$$\text{MSE}[a] = E[(a-\alpha)^2] = \{\text{tarafllılık}[a]\}^2 + \text{Var}(a) \quad (3.2)$$

İfadelerde a , α parametresinin örnekten tahmin edilen değeridir.

3.1.1 İstatistik (çarpım) momentleri

Bir rastgele değişkenin olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi ile X-ekseni arasında kalan alan bir kütle gibi düşünülürse, bu kütle için çeşitli noktalar etrafındaki momentleri istatistik momentler olarak tanımlanır (Bayazıt ve Önöz, 2008).

Rastgele değişkenin merkezini ifade etmek için en çok kullanılan parametre $x_0=0$ noktası etrafındaki birinci dereceden istatistik momenttir. Bu büyüklüğe beklenen değer veya ortalama denir (Bayazıt ve Önöz, 2008).

$$\mu_x = E(x) = \int_{-\infty}^{\infty} x p(x) dx \quad (3.3)$$

bu değer için eldeki örnekten tahmin edilen istatistik değeri

$$\text{Ortalama: } \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (3.4)$$

şeklinde hesaplanır. Dağılımın merkezini ifade etmek için başka parametreler de kullanılır. Olasılık yoğunluk eğrisinin maksimumdan geçtiği noktanın absis mod ve rastgele değişkenin küçük kalması (aşması) olasılığı 0.50 olan değeri medyan bu parametrelerdendir. Medyan daima mod ile ortalama arasında olup, olasılık dağılım fonksiyonunun simetrik olması halinde bu üç değer birbirine eşit olur.

Rastgele değişkenin aldığı değerlerin ortalama etrafındaki yayılımı ikinci dereceden merkezsel moment olan varyans ile ölçülür (Bayazıt ve Önöz, 2008).

$$\text{Var}(x) = \mu_2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu_x)^2 p(x) dx = E[(x - \mu_x)^2] \quad (3.5)$$

Varyansın karekökü σ_x , standart sapma rastgele değişkenle aynı boyutta olduğu için kullanımda tercih edilir. Varyansın örnekten tahmini aşağıdaki ifade ile yapılır (Bayazıt ve Önöz, 2008).

$$\text{Varyans} = S_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N} \quad (3.6)$$

(3.5) denklemi ile hesaplanan varyans istatistiğinin beklenen değeri, toplumun parametre değerinden küçük olduğundan varyansın tarafsız tahmini denklemi N yerine N-1 ile bölerek elde edilir. Bu düzeltme N<30 küçük örnekler için önemlidir.

Yayılmı açıklayan standart sapma aykırı değerlerden çok etkilenmektedir. Bu etkinin az olduğu ve yayılımı ifade eden bir parametre olan kurtiller arası uzaklık (interquatile range, IQR) aşağıdaki ifade ile tanımlanır (Bayazıt ve Önöz, 2008).

$$IQR = x_{0,75} - x_{0,25} \quad (3.7)$$

$x_{0,75}$ ve $x_{0,25}$ kuartilleri ise düzenlenmiş örnekte $i=0,75N$ ve $i=0,25$ 'e karşı gelen en yakın elemanlardır.

Yayılm ile ilgili bir diğer parametre medyan mutlak sapmadır.

$$MAD = \text{med } |x_i - \text{med}_x| \quad (3.8)$$

Ortalamaları aynı olan iki rastgele değişkenin yayılmalarını karşılaştırmak için varyans yeterli olmaz. Bu durumda boyutsuz bir katsayı olan değişim (varyasyon) katsayısını kullanmak uygun olur. Standart sapmanın ortalamaya oranı olarak tanımlanan değişim katsayısının toplum değeri:

$$C_{Vx} = \frac{\sigma_x}{\mu_x} \quad (3.9)$$

ifadesinden elde edilir.

Rastgele değişkenin dağılımının ortalama etrafındaki simetrisi üçüncü dereceden merkezsel momentle ölçülebilir. Çarpıklık (asimetri) katsayısı,

$$C_{Sx} = \frac{\mu_3}{\sigma_x^3} = \frac{E(x - \mu_x)^3}{\sigma_x^3} \quad (3.10)$$

şeklinde tanımlanır. Boyutsuz olan bu katsayının sıfır olması dağılımın simetrik, pozitif olması sağa, negatif olması ise sola çarpık olduğunu gösterir.

Çarpıklık katsayısının tarafsız istatistik değeri

$$C_{Sx} = \frac{N}{(N-1)(N-2)} \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3}{s_x^3} \quad (3.11)$$

denklemleri ile hesaplanır.

Hidrolojik büyüklüklerin dağılımları genellikle pozitif çarpıktır.

Çarpıklık da aykırı değerlerden çok etkilenmektedir. Bu nedenle bu etkinin daha az olduğu kuartil çarpıklık katsayısı kullanılabilir.

$$q_{sx} = \frac{x_{0.75} - x_{0.50} - (x_{0.50} - x_{0.25})}{x_{0.75} - x_{0.25}} \quad (3.12)$$

3.1.2 L-momentleri

L-momentleri hidrolojik verilerin olasılık dağılımlarının başlıca özelliklerini belirlemede alternatif büyüklüklere (Bayazıt ve Önöz, 2008).

L-momentleri, büyükten küçüğe dizilmiş verilerin doğrusal kombinasyonları olarak düşünülebilirler. N boyutundaki düzenlenmiş örnekte $(X_{N|N} \leq \dots \leq X_{2|N} \leq X_{1|N})$ $X_{i|N}$, i'inci en büyük gözlemdir (i=1 dizideki en büyük değere karşı gelmektedir).

$$X_{N|N} \leq \dots \leq X_{2|N} \leq X_{1|N} \quad (3.13)$$

L-momentlerinin tanımları şu şekilde yapılabilir:

Alt örnek boyutunun bir olması (N=1) halinde tek olan gözlem $X_{1|1}$ olup dağılımın yeri ile ilgili bilgi verir. Dağılım daha büyük değerlere kaydırılırsa, $X_{1|1}$ değerinin daha büyük değerler olması beklenir (Bayazıt ve Önöz, 2008).

Örnek boyutunun iki olması halinde, (N=2) rastgele seçilmiş $X_{1|2}$ ve $X_{2|2}$ şeklinde iki gözlem mevcuttur. Olasılık dağılımı bir merkez etrafında toplanırsa gözlenen bu iki değer birbirine yaklaşır. Dağılım yayılırsa bu iki değer birbirinden uzaklaşır. Bu iki gözlem arasındaki fark $X_{1|2} - X_{2|2}$, dağılımın yayılımının bir ölçüsüdür (Bayazıt ve Önöz, 2008).

$X_{3|3} \leq X_{2|3} \leq X_{1|3}$ dizilişindeki N=3 boyutlu bir örnek ise dağılımın çarpıklığı hakkında bilgi verir. Eğer dağılım bir merkez etrafında simetrik ise örnekteki büyük ve küçük gözlemler merkezdeki gözlemden yaklaşık olarak eşit uzaklıkta $X_{2|3} - X_{3|3} \approx X_{1|3} - X_{2|3}$ ya da $X_{1|3} - 2X_{2|3} + X_{3|3}$ olacaktır. Dağılımın sağa çarpık olması durumunda $X_{2|3} - X_{3|3}$ farkı $X_{1|3} - X_{2|3}$ farkından büyük olacaktır. Bu durumda $X_{1|3} - 2X_{2|3} + X_{3|3}$ ifadesi pozitif, dağılım sola çarpık olursa negatif olacaktır. $X_{1|3} - 2X_{2|3} + X_{3|3}$ ifadesi düzenlenmiş örneğin merkezsiz ikinci farkıdır ve dağılımın çarpıklığının bir ölçüsüdür (Bayazıt ve Önöz, 2008).

N=4 boyutlu bir örnek ile dağılımın merkezsiz üçüncü farkı $X_{1|4} - 3X_{2|4} + 3X_{3|4} - X_{4|4}$ olarak yazılır. $(X_{1|4} - X_{4|4}) - 3(X_{2|4} + X_{3|4})$ ifadesi örneğin uçtaki iki değerinin

merkezdeki iki değerden ne kadar uzak olduğunu belirtir. Dağılımın düz bir yoğunluk fonksiyonu varsa merkezsel üçüncü fark sıfıra yakın, dağılım pik yapıyorsa büyük değer olacaktır. $X_{1|4} - 3X_{2|4} + 3X_{3|4} - X_{4|4}$ ifadesi dağılımın kurtosis değerinin bir ölçüsüdür (Bayazıt ve Önöz, 2008).

3.1.2.1 L-momentlerinin tahmini

Bir rastgele değişkenin ortalaması, varyansı veya çarpıklık katsayısı $E[X]$, $E[X^2]$ ve $E[X^3]$ momentlerinin fonksiyonu olduğu gibi L-momentleri de X rastgele değişkenin eklenik dağılım fonksiyonu $F(x)$ olmak üzere,

$$\beta_r = E\{X[F(x)]^r\} \quad (3.14)$$

denklemini ile tanımlanan olasılık ağırlıklı momentlerin (Probability Weighted Moments, PWM) fonksiyonu olarak yazılabilirler (Bayazıt ve Önöz, 2008).

Olasılık ağırlıklı momentler $F(x)$ 'in r üssü ile X 'in çarpımının beklenen değeri olarak tanımlanmaktadır. $r=0$ için β_0 toplumun ortalama değeri μ_x 'e eşittir.

L-momentlerinin tahminleri olasılık ağırlıklı momentlerin tahminlerinin doğrusal fonksiyonları olarak yazılabilir. İlk olasılık ağırlıklı moment β_0 'in tahmini \bar{x} örnek ortalamasıdır (Bayazıt ve Önöz, 2008).

Diğer olasılık ağırlıklı momentlerin tahminleri, büyüklük sırasına dizilmiş $(X_N \leq \dots X_i \leq \dots X_1)$ N elemanlı örnekten hesaplanır. β_r 'nin $r \geq 1$ için basit bir tahmini

$$b_r = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_{(j)} \left[1 - \frac{(j-0.35)}{N}\right]^r \quad (3.15)$$

ifadesi ile elde edilebilir. Taraflı tahminler veren ifadenin kuantil tahminlerindeki karelerin ortalamasının hatası (mean square error, MSE) aşağıdaki tarafsız tahminler veren yönteme göre daha azdır (Bayazıt ve Önöz, 2008).

Tarafsız tahminlerin önemli olduğu durumlarda olasılık ağırlıklı momentlerin tarafsız tahminleri aşağıdaki ifadede elde edilir:

$$b_r = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N-r} \frac{\binom{N-j}{r} X_j}{\binom{N-1}{r}} \quad (3.16)$$

Buna göre;

$$b_0 = \bar{x} \quad (3.17)$$

$$b_1 = \sum_{j=1}^{N-1} \frac{(N-j)x_j}{N(N-1)} \quad (3.18)$$

$$b_2 = \sum_{j=1}^{N-2} \frac{(N-j)(N-j-1)x_j}{N(N-1)(N-2)} \quad (3.19)$$

$$b_3 = \sum_{j=1}^{N-3} \frac{(N-j)(N-j-1)(N-j-2)x_j}{N(N-1)(N-2)(N-3)} \quad (3.20)$$

Bayazıt ve Önöz (2008) olasılık ağırlıklı momentlerin tarafsız tahminlerinin L-moment grafiklerinde ve bölgesel analizde kullanılmasını tavsiye etmektedir.

L-momentleri olasılık ağırlıklı momentler kullanılarak hesaplanabilir.

$$\lambda_1 = \beta_0 \quad (3.21)$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0 \quad (3.22)$$

$$\lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \quad (3.23)$$

$$\lambda_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0 \quad (3.24)$$

λ_i 'lerin tahmini bilinmeyen β_r 'lerin b_r tahminlerin kullanılarak elde edilir.

λ_1 dağılımın L-yer parametresi veya ortalaması, λ_2 , L-ölçek parametresi olarak adlandırılır.

Boyutsuz L-moment oranları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : L-moment oranları.

L-Değişim Katsayısı	LC_V, τ_2	λ_2/λ_1
L-Çarpıklık Katsayısı	L-Çarpıklık, τ_3	λ_3/λ_2
L-Kurtosis Katsayısı	L-Kurtosis, τ_4	λ_4/λ_2

λ_1 herhangi bir değeri alabilir. $\lambda_2 \geq 0$ olup sadece pozitif değerleri olan bir dağılım için $0 \leq \tau < 1$. L-moment oranları $r \geq 3$ için $|\tau_r| < 1$.

L-momentleri birçok olasılık dağılımı için hesaplanmıştır.

Yer ve ölçek parametreleri ile ifade edilen iki parametrelili dağılımlar tek bir nokta ile yer almaktadır. Zira farkı yaratan ölçek ve yer parametresidir. Bu dağılımları oluşturan rastgele değişkenlerin L-çarpıklık ve L-kurtosisi değişmemektedir. Üç parametrelili dağılımlar ise (ölçek, yer, biçim parametreleri) bir eğri ile ifade edilmektedir (Bayazıt ve Önöz, 2008).

3.1.2.2 İstatistik (çarpım) momentleri ve L-momentleri

Her iki moment ile de olasılık dağılımlarının yer, ölçek ve biçimini belirlemek mümkündür. Her iki momentte de yer parametresi aynı olup toplumun ortalamasına eşittir.

Ölçek parametreleri karşılaştırılırsa:

$$\sigma \geq \sqrt{3} \lambda_2 \quad (3.25)$$

eşitsizliği yazılabilir (Plackett, 1947), eşitlik sadece üniform dağılım halindedir. Birçok orta büyüklükteki çarpıklığa sahip dağılımlarda $\sigma \approx 2\lambda_2$ olup, tam eşitlik $\sigma=2\lambda_2$ hali ekspanansiyel dağılım ($\tau_3=0.3333$) ve genel ekstrem değer dağılımı halinde geçerlidir ($\tau_3=0.2638$).

Değişim katsayıları ($C_v-\tau_2$) σ ve λ_2 ile bağlantılı olup C_v tahmini için aşağıdaki ifade verilmiştir (Bayazıt ve Önöz, 2008).

$$\hat{C}_{vx} \geq \left(\frac{3N}{N+1}\right)^{1/2} t \quad (3.26)$$

ifadede \hat{C}_{vx} , τ_2 L-moment oranlarının örnek tahminleridir. (3.25) ifadesi simetrik ve simetriğe yakın dağılımlarda geçerlidir.

Çarpıklık katsayıları ($C_{sx}-\tau_3$) karşılaştırmalarında ise simetrik dağılımlarda her ikisi de sıfır olmaktadır. Birçok simetrik dağılıma yakın dağılımlarda ise $C_{sx} \approx 6\tau_3$ kabul edilebilirse de aralarında basit bir ilişki yoktur.

Benzer şekilde kurtosis için de basit ilişki söz konusu değildir. Ancak τ_4 dağılımın ekstrem uçlarına daha az ağırlık vermektedir.

Ayrıca τ_3 ve τ_4 , çarpıklık ve kurtosise göre daha az taraflıdır.

Bayazıt ve Önöz (2008) istatistik (Çarpım) momentleri ve L-momentleri arasındaki en önemli farklılıkları şu şekilde özetlemişlerdir:

- a) L-momentleri şayet dağılımın ortalaması tanımlı ise her zaman mevcuttur. yüksek mertebeden bazı momentler ise her zaman tanımlı değildir.
- b) Çarpım moment oranları sınırsız iken L-moment oranlarının bir sınırı ($|\tau_r| < 1$) vardır. Örneğin $-1 < \tau_3 < 1$ iken çarpıklık katsayısı C_{sx} , pozitif veya negatif geniş bir aralıkta olabilir.

- c) Çarpım momentleri dağılımın ekstrem uçlarına daha fazla ağırlık vermektedir.
- d) Örnekten de hesaplanan çarpım momentleri L-momentlerine göre daha fazla aykırı değerlerden etkilenmektedir.

3.2 Olasılık Dağılım Fonksiyonları

Düşük akımlar için iki ve üç parametrelili çeşitli dağılım fonksiyonları önerilmiştir. Üç parametrelili dağılımların gözlenmiş verilere uydurulması daha kolaydır. Ancak parametre tahmininde kullanılması gereken çarpıklık katsayısının küçük örneklerden hesaplanan değerinin örnekleme varyansı büyük olduğundan parametre tahminlerindeki hata da büyük olabilir. Ayrıca, alt sınır parametresi için tahmin edilen değerin negatif olması (akımlar negatif değer alamayacağından), ya da gözlenmiş en küçük akımdan büyük çıkması sorunlara neden olabilir. Bu durumda, Bayazıt ve Önöz (2008) alt sınırı sıfır olarak iki parametrelili bir dağılım kullanmanın daha uygun olabileceği kanısına varmışlardır.

Seçilen bir dağılım fonksiyonunun parametreleri çeşitli yöntemler ile hesaplanabilir. Momentler yönteminde hesaplar kolay olmakla birlikte tahminlerin taraflılığı ve varyansı genellikle yüksektir. Maksimum olabilirlik yöntemi daha az hatalı tahminler verirse de hesaplar güçtür. L-momentleri yönteminin kullanılışı kolay olduğu gibi güvenilir tahminler verir. Bu nedenle aşağıda çeşitli dağılım fonksiyonlarının parametrelerinin gerek momentler gerekse L-momentleri yöntemleri ile tahmini için denklemler verilmiştir (Bayazıt ve Önöz, 2008).

Minimum akımlara iyi uyan olasılık dağılım fonksiyonlarını belirlemek için çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Vogel ve Kroll (1989) tarafından belirtildiğine göre Condie ve Nix, parametreleri maksimum olabilirlik yöntemi ile belirlenen üç parametrelili Weibull dağılımının hesaplanan alt sınırın sıfır ile gözlenen en küçük akım değeri arasında çıkması halinde uygun olduğu sonucuna varmışlardır. Bu parametre tahmin yönteminin uygun bir sonuç vermemesi halinde gözlenmiş en küçük değer ya da momentler yönteminin kullanılmasını önermişlerdir. Tasker üç parametrelili dağılımlar arasında parametreleri momentler yöntemiyle hesaplanan log Pearson tip III dağılımını uygun bulmuştur. Matalas momentler yöntemiyle üç parametrelili Weibull ya da maksimum olabilirlik yöntemi ile Pearson tip III dağılımını kullanmıştır. Stedinger (1980), parametreler uygun bir yöntem ile tahmin edildiğinde

üç parametrelili lognormal dağılımın da minimum akımlar için kullanılabileceğini göstermiştir. Nathan ve McMahon (1990) üç parametrelili Weibull dağılımını, Önöz ve Bayazıt (1999) minimumlar için genel ekstrem değer dağılımını önermişlerdir.

Genel lojistik dağılımının zemini geçirimli olan havzalarda (minimum akımın ortalama akıma oranı büyük olduğunda) iyi sonuç verdiği gösterilmiştir. Geçirimsiz havzalarda ise yağışın fazla olması halinde genel ekstrem değer, yağışın az olması halinde Pearson tip III dağılımı daha uygun olmaktadır (Zaidman vd., 2003).

Yukarıda belirtilen üç parametrelili dağılımlar yanında daha basit olan iki parametrelili dağılımlar da minimum akımlar için önerilmiştir. Joseph (1970) iki parametrelili gamma ve Weibull dağılımlarının verilere iyi uyduğu sonucuna varmıştır. Vogel ve Kroll (1989) iki parametrelili lognormal dağılımı, Nathan ve McMahon (1990) ile Gustard vd. (1992) iki parametrelili Weibull dağılımını, Bayazıt ve Önöz (2001) üstel dağılımı kullanmışlardır.

Dağılımın alt kuyruğundaki gözlemlerin (çok düşük akımlar) sayıca az olması ve olasılık dağılım fonksiyonlarının kuyruk olasılıkları için yanlış tahminler vermesi nedeni ile gözlenmiş en küçük değere karşı gelen dönüş aralığından daha büyük dönüş aralıkları için tahmin yapılmasında belirsizlikler ile karşılaşılır.

Bu çalışmada kullanılmış olan olasılık dağılım fonksiyonları ve parametre tahmin denklemleri aşağıda verilmiştir.

3.2.1 İki parametrelili dağılımlar

Bu çalışmada kullanılan iki parametrelili olasılık dağılımları aşağıda belirtilmiştir.

3.2.1.1 Weibull dağılımı

Bu dağılımın olasılık yoğunluk ve dağılım fonksiyonları:

$$f(x) = \frac{1}{ak} \left(\frac{x}{a}\right)^{(1/k)-1} \exp \left[-\left(\frac{x}{a}\right)^{1/k}\right] \quad x \geq 0, k > 0 \quad (3.27)$$

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{a}\right)^{1/k}\right] \quad (3.28)$$

Parametreler momentler ya da L-momentleri yöntemi ile tahmin edilebilir.

1. Momentler yöntemi: α ve k parametreleri şu denklemlerden deneme-yanılma ile hesaplanır:

$$\bar{x} = \alpha \Gamma(1+k) \quad (3.29)$$

$$s_x^2 = \alpha^2 \{ \Gamma(1+2k) - [\Gamma(1+k)]^2 \} \quad (3.30)$$

$\Gamma(\dots)$ gamma fonksiyonunu göstermektedir.

2. L-momentleri yöntemi: Parametre tahmin denklemleri Stedinger vd. (1993) tarafından verilmiştir:

$$l_1 = \alpha \Gamma(1+k) \quad (3.31)$$

$$l_2 = \alpha (1-2^{-k}) \Gamma(1+k) \quad (3.32)$$

(3.29) ve (3.30) veya (3.31) ve (3.32) denklem takımlarını deneme-yanılma ile çözmek için \bar{x}^2 / s_x^2 veya l_1 / l_2 oranlarının ifadeleri elde edilir. Bu ifadelerdeki tek bilinmeyen olan k deneme-yanılma ile belirlenir. Daha sonra \bar{x} ya da l_1 için verilen denklemden α elde edilir.

Gustard ve Gross (1989) Avrupa'daki birçok akarsuda (1350 istasyonda) minimum akımların Weibull dağılımında $k=4$ kabul edilebileceğini göstermişlerdir (Bayazıt ve Önöz, 2008).

3.2.1.2 Üstel dağılım

Olasılık yoğunluk ve dağılım fonksiyonları:

$$f(x) = c x^{c-1} / x_0^c \quad 0 \leq x \leq x_0 \quad (3.33)$$

$$F(x) = (x/x_0)^c \quad (3.34)$$

x_0 , X değişkeninin üst sınırıdır.

Parametreler momentler ya da L-momentleri ile elde edilebilir (Bayazıt ve Önöz, 2001).

1. Momentler yöntemi: c ve x_0 parametreleri şu iki denklemi çözerek bulunur:

$$\bar{x} = c x_0 / (c+1) \quad (3.35)$$

$$s_x^2 = c x_0^2 / (c+2)(c+1)^2 \quad (3.36)$$

2. L-momentleri yöntemi: c ve x_0 parametreleri aşağıdaki denklemler ile doğrudan doğruya hesaplanabilir:

$$C = \frac{1}{2} \left(\frac{l_1}{l_2} - 1 \right) \quad (3.37)$$

$$c = (c+1) l_1/c \quad (3.38)$$

3.2.2 Üç parametrelili dağılımlar

Bu çalışmada kullanılan üç parametrelili olasılık dağılımları aşağıda belirtilmiştir.

3.2.2.1 Weibull dağılımı

Üç parametrelili Weibull dağılımının $f(x)$ ve $F(x)$ fonksiyonları iki parametrelili dağılımın (3.28) denklemlerinde x yerine $x-u$ koyarak elde edilir. U değişkenin alt sınırıdır ($X \geq u$).

Parametre tahmini için üç yöntem önerilmiştir (Bayazıt ve Önöz, 2008):

1. Momentler yöntemi: \bar{x} , s_x ve C_{sx} ile dağılımın α , k ve x_0 parametreleri arasındaki ilişkiler aşağıda verilmiştir:

$$\bar{x} = \alpha \Gamma(1+k) \quad (3.39)$$

$$s_x^2 = \alpha^2 \{ \Gamma(1+2k) - [\Gamma(1+k)]^2 \} \quad (3.40)$$

$$C_{sx} = \{ \Gamma(1+3k) - 3\Gamma(1+2k) \Gamma(1+k) + 2[\Gamma(1+k)]^3 \} \{ \Gamma(1+2k) - [\Gamma(1+k) - \Gamma^2(1+k)] \}^{-3/2}$$

k parametresi şu denklemden yaklaşık olarak tahmin edilebilir ($-1 < C_s < 2$ için):

$$k = 0.2778 + 0.3133 C_{sx} + 0.0576 C_{sx}^2 - 0.0013 C_{sx}^3 - 0.0082 C_{sx}^4 \quad (3.41)$$

2. L-momentleri yöntemi: l_1 , l_2 ve l_3 momentleri ile dağılımın parametreleri arasındaki ilişkiler:

$$L_1 = u + \alpha \Gamma(1+k) \quad (3.42)$$

$$l_2 = \alpha (1-2^{-k}) \Gamma(1+k) \quad (3.43)$$

$$l_3 = \alpha (1-3 \times 2^{-k} + 2 \times 3^{-k}) \Gamma(1+k) \quad (3.44)$$

3. x_0 alt sınırının N elemanlı örnekteki en küçük değer olan x_{\min} 'den küçük kalmasını sağlamak için parametreler şu denklemler ile tahmin edilebilir:

$$k = 1 - \frac{\log \frac{\bar{x} - x_{\min}}{s_x}}{\log (0.07 + 1.73 \log N)} \quad (3.45)$$

$$u = x_{\min} - \frac{\bar{x} - x_{\min}}{N^{k-1}} \quad (3.46)$$

$$\alpha = \frac{\bar{x} - u}{\Gamma(1+k)} \quad (3.47)$$

3.2.2.2 Pearson tip III dağılımı

Olasılık yoğunluk fonksiyonu:

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} (x - x_0)^{\alpha-1} e^{-(x-x_0)/\beta} \quad x \geq x_0 \quad (3.48)$$

Üç parametrelili gamma dağılımının dağılım fonksiyonu F(x) için analitik bir ifade elde edilemez. F[(x-μ_x)/σ_x] tablo halinde verilmiştir (Bayazıt ve Önöz, 2008).

Parametre tahmini momentler ya da maksimum olabilirlik yöntemleri ile yapılabilir:

1. Momentler yöntemi: \bar{x} , s_x ve C_{sx} ile dağılımın α , β ve x_0 parametreleri arasındaki ilişkiler:

$$\bar{x} = x_0 + \alpha\beta \quad (3.49)$$

$$s_x^2 = \alpha\beta^2 \quad (3.50)$$

$$C_{sx} = 2/\sqrt{\alpha} \quad (3.51)$$

2. Maksimum olabilirlik yöntemi: Parametreler aşağıdaki denklemleri çözerek elde edilir:

$$\frac{1}{\beta^2} \sum_{i=1}^N (x_i - x_0) - \frac{N\alpha}{\beta} = 0 \quad (3.52)$$

$$-N \frac{\Gamma'(\alpha)}{\Gamma(\alpha)} + \sum_{i=1}^N \ln(x_i - x_0) - N \ln\beta = 0 \quad (3.53)$$

$$\frac{N}{\beta} - (\alpha - 1) \sum_{i=1}^N \frac{1}{x_i - x_0} = 0 \quad (3.54)$$

$\Gamma'(\alpha)/\Gamma(\alpha)$ digamma (psi) fonksiyonu olarak bilinir. $x_i (i=1,2,\dots,N)$ gözlenmiş N elemanlı örnekteki verilerdir. Bu denklem takımının çözümü için çeşitli yaklaşımlar önerilmiştir (Bayazıt ve Önöz, 2008).

Bu dağılımın parametrelerinin L-momentleri yöntemi ile tahmini için denklemler verilmemiştir (Bayazıt ve Önöz, 2008).

3.2.2.3 Log-Pearson tip III dağılımı

$Y=\ln X$ değişkeninin Pearson tip III dağılımına uyduğu kabul edilir. Parametreler gözlemlerin logaritmalarını kullanarak (3.49-3.54) denklemleri ile hesaplanır (Bayazit ve Önöz, 2008).

3.2.2.4 Genel ekstrem değer dağılımı

Minimumlar için teorik asimptotik dağılım olan genel ekstrem değer (GEV) dağılımının ifadesi Önöz ve Bayazit (1999) tarafından elde edilmiştir:

$$F(x) = 1 - \exp \left\{ - \left[1 + k \frac{x-u}{\alpha} \right]^{1/k} \right\} \quad k \neq 0 \quad (3.55)$$

$$F(x) = 1 - \exp \left[- \exp \left(\frac{x-u}{\alpha} \right) \right] \quad k=0 \quad (3.56)$$

$k \neq 0$ için dağılımın bir alt sınırı vardır ($x \geq - (x_0 + \frac{\alpha}{k})$). Parametreler L-momentleri yöntemi ile şu denklemlerden hesaplanabilir:

$$\ell_1 = \frac{\alpha}{k} \Gamma(1+k) - \frac{\alpha}{k} - u \quad (3.57)$$

$$\ell_2 = \frac{\alpha}{k} (1 - 2^{-k}) \Gamma(1+k) \quad (3.58)$$

$$\ell_3 = \frac{\alpha}{k} (1 + 2 \times 3^{-k} - 3 \times 2^{-k}) \Gamma(1+k) \quad (3.59)$$

k 'nın hesabı için şu yaklaşık denklem verilmiştir ($-0.3 \leq k \leq 2.0$ için):

$$k = 5.153 \left(\frac{13+312}{212} \right)^2 - 11.73 \frac{13-312}{212} + 6.26 \quad (3.60)$$

k bu denklemden bulunduktan sonra α ve u şu şekilde hesaplanır:

$$\alpha = \frac{k \ell_2}{(1 - 2^{-k}) \Gamma(1+k)} \quad (3.61)$$

$$u = \frac{\alpha}{k} [\Gamma(1+k) - 1] - \ell_1 \quad (3.62)$$

3.3 Olasılık Çizgisi Korelasyon Katsayısı (PPCC) Testi

Olasılık Çizgisi Korelasyon Katsayısı, olasılık çizgisinin doğrusallığını ölçmekte kullanılan bir test istatistiğidir (Filliben, 1975). Dağılımların kabulünün kontrolü için kullanılabilir güçlü bir testtir. Bu testte örnekteki her bir x_i elemanı için $f(x_i)$ küçük olma olasılığı hesaplandıktan sonra bu olasılığa karşılık gelen M_i standart normal değişken değeri bulunur. Bu şekilde belirlenen (x_i, M_i) çiftleri arasındaki $r_{x,M}$ korelasyon katsayısı hesaplanır. Bu katsayının değerinin α anlamlılık düzeyine ve örnekteki N eleman sayısına bağlı olarak kritik değerler tablosunda verilen r_{kr} değerinden büyük olması halinde verilen normal dağılıma uyduğu hipotezi kabul, küçük olması halinde reddedilir (Bayazıt ve Oğuz, 1995).

Olasılık çizgisi korelasyon testi için kullanılan korelasyon katsayısı:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(M_i - \bar{M})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2}} \quad (3.63)$$

şeklinde hesaplanır.

PPCC test istatistikleri; olasılık dağılımları, önem seviyesi, örnek boyutları ve varsa biçim parametresi gibi değerlerden etkilenir. Nitekim, tüm dağılımlar için PPCC testine uygun ölçekli formüller uygulanmıştır. Birçok araştırma sonucunda PPCC test istatistiklerini elde etmek için önerilen formüller Çizelge 3.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.2 : PPCC Test istatistiklerini elde etmek için önerilen formüller.

İsim	Uygulanan formül	Dağılım
Blom (1958)	$p_i = \frac{i - 3/8}{n + 1/4}$	Normal, gamma, 2-parametrelili lognormal, 3-parametrelili lognormal, log-Pearson III
Gringorten (1963)	$p_i = \frac{i - 0.44}{n + 0.12}$	Gumbel, Weibull
Cunnane (1978)	$p_i = \frac{i - 0.4}{n + 0.2}$	GEV, log-Gumbel

4. TREND ANALİZİ

Bir büyüklüğün zaman boyunca ölçülen değerlerinde anlamlı bir azalma ya da artma (trend) bulunup bulunmadığı istatistik testlerle araştırılabilir. Helsel ve Hirsch'in (1992) araştırmalarına göre, hidrolojik büyüklükler (yağış, akış) zaman içinde rastgele değişen karakterde olduğundan sürekli bir azalma veya artma eğiliminin araştırılması özel yöntemler kullanmayı gerektirir.

Trend analizi verilerin değerlendirilmesi amacıyla geliştirilmiş tekniklerden biri olup zamana bağlı regresyon analizidir. Bu analiz, iki ya da daha çok değişken arasındaki ilişkiyi matematik denklem olarak ifade eder. Trend analizinin amacı bağımlı değişkenin değerini, bağımsız değişkenin bilinen değerine dayanarak tahmin etmektedir.

Klasik parametrik testlerdeki normalite, lineerlik ve bağımsızlık gibi temel varsayımlar genellikle tipik yüzey suyu kalitesi verilerinde sağlanmamaktadır. Aynı zamanda su kalitesi trend analizinde istatistiksel testlerin uygulanması, eldeki zaman serisinin çoğunlukla eksik değerli ve kısıtlı veriler olması yanı sıra kalite parametresinin akım debisi ile ilişkisi ve mevsimsellik gibi bazı problemlerden dolayı daha da karmaşık hale gelmektedir (Helsel ve Hirsch, 1992). Bu nedenden dolayı parametrik olmayan testlerin kullanılması parametrik testlere oranla daha uygundur. Bu testler, toplumun rastgele değişkeninin dağılımından ve parametrelerinden bağımsızdırlar. Kullanılan parametrik olmayan testler Sen'in T testi, Spearman'ın Rho testi, Mann-Kendall testi, mevsimsel Kendall testi'dir. Bu çalışmada kullanılan test Mann-Kendall testidir.

4.1 Mann-Kendall Testi

Mann Kendall testi (Mann, 1945; Kendall, 1975) nonparametrik bir test olduğundan verilerin dağılımından bağımsızdır. Bu test ile bir zaman serisinde trend olup olmadığı sıfır hipotezi ile; “ H_0 : trend yok” ile kontrol edilmektedir (Bayazıt, 1996). Testin uygulanacağı zaman serisi x_1, x_2, \dots, x_n de x_i, m, x_j çiftleri iki gruba ayrılır. $i < j$

için $x_i < x_j$ olan çiftlerin sayısı P ve $x_i > x_j$ olan çiftlerin sayısı M ile gösterilirse test istatistiği $S=P-M$ şeklinde tanımlanır.

Kendall korelasyon katsayısı:

$$\tau = \frac{S}{[n(n-1)/2]} \quad (4.1)$$

$n \geq 10$ için

$$\mu_S = 0 \text{ ve } \sigma_S = \sqrt{n(n-1)(2n+5)/18} \quad (4.2)$$

olmak üzere;

$$Z = \begin{cases} (S-1)/\sigma, & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ (S-1)/\sigma, & S < 0 \end{cases} \quad (4.3)$$

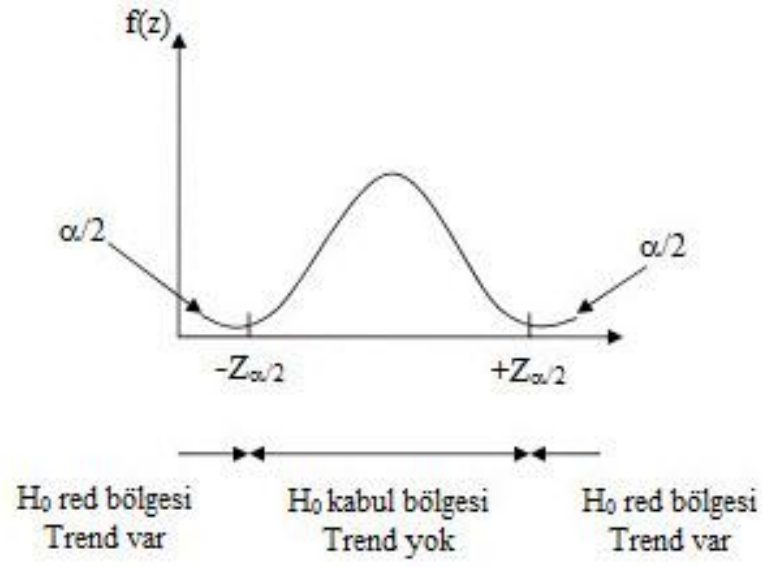
şeklinde tanımlanan Z istatistiğinin dağılımı standart normal dağılımdır. Örnekte birbirine eşit olan gözlemler varsa σ_S aşağıdaki formülle hesaplanır .

$$\sigma_S = \sqrt{[n(n-1)(2n+5) - \sum_i t_i(t_i-1)(2t_i+5)]/18} \quad (4.4)$$

burada t_i değeri eşit olan gözlemlerin sayısını göstermektedir. Örneğin 5 gözlem aynı değeri taşıyorsa $t_i=5$, 3 gözlem aynı değerde ise $t_i=3$ ve ayrıca değerleri aynı olan 2 gözlemlik iki grup bulunuyorsa $t_i=2$, $t_j=2$ alınacaktır.

Yukarıda anlatıldığı şekilde hesaplanan Z'nin mutlak değeri seçilen α anlamlılık düzeyine karşı gelen normal dağılımın $Z_{\alpha/2}$ değerinden küçükse sıfır hipotezi kabul edilmekte ve incelenen zaman serisinde trend olmadığı, büyükse trend olduğu ve S değeri pozitif ise artan yönde negatif ise azalan yönde trend olduğu sonucuna varılmaktadır. Yue vd.'nin (1993) çalışma sonuçlarına göre, verilerin belirli bir dağılıma uyması zorunluluğu aranmadığı için özellikle kullanışlıdır.

Şekil 4.1'de Z'nin mutlak değeri seçilen α anlamlılık düzeyine karşı gelen normal dağılımın grafiğinde testin kabul ve red bölgeleri tanımlanmıştır.



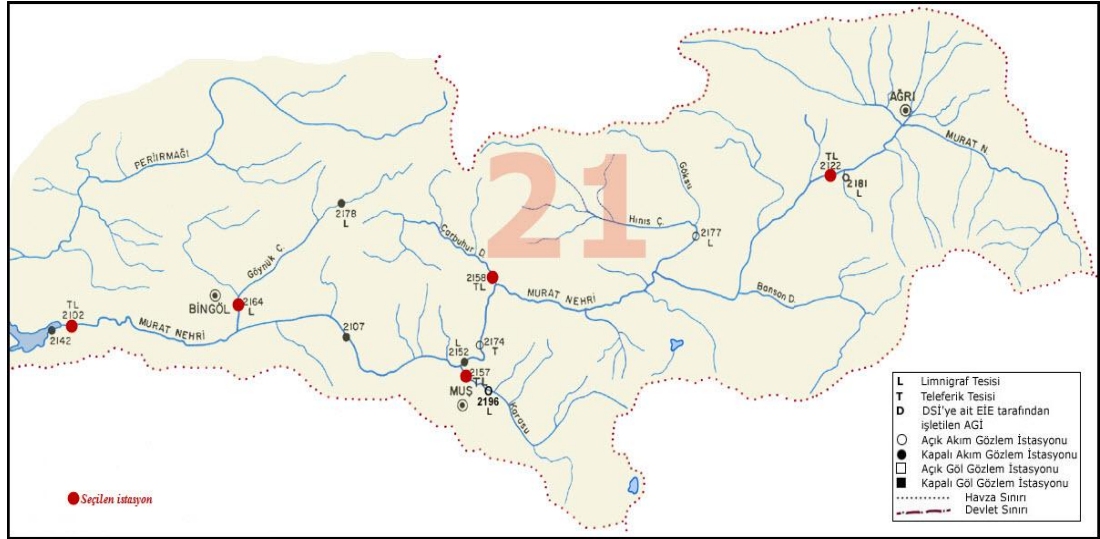
Şekil 4.1 : Mann Kendall hipotezleri.

5. UYGULAMA

Bu çalışmada Fırat Havzası'nın Murat Kolu üzerinde düşük akım analizi yapılmıştır. Elektrik İşleri Etüd İdaresi'ne ait 5 adet akım istasyonundan, 34 yıllık ölçülmüş günlük akım değerleri alınarak bu veriler incelenmiştir.

5.1 Uygulama Bölgesi

Uygulama bölgesi Fırat Havzası olarak seçilmiştir. Fırat Havzası ve Elektrik İşleri Etüd İdaresi'ne ait 5 adet akım gözlem istasyonu Şekil 5.1'de verilmiştir.



5.2 Çalışmada Kullanılan Veri

Çalışmada; Fırat Havzası'ndaki 2102, 2122, 2157, 2158, 2164 numaralı akım gözlem istasyonlarında, 1970-2003 yılları arasındaki 34 yıllık günlük akım verileri EİEİ'den temin edilmiştir. Akım gözlem istasyonlarının adları, numaraları, yağış alanları ve kotları Çizelge 5.1'de verilmiştir. Seçilen istasyonlardaki akımlar doğaldır.

Çizelge 5.1 : Fırat Havzası'nda seçilen istasyonların yağış alanları ve kotları.

İstasyon No	İstasyon Adı	Yağış Alanı (km ²)	Kot (m)
2102	Murat Suyu - Palu	25.514,6	859
2122	Murat Nehri - Tutak	2.232	998
2157	Karasu - Karaköprü	2.098,4	1.250
2158	Bingöl Çayı - Abdurrahmanpaşa	1.577,6	1.310
2164	Göynük Çayı - Çayağzı	5.882,4	1.552

5.3 Debi Süreklilik Eğrileri

Elektrik İşleri Etüd İdaresi'ne ait 5 adet akım istasyonundan, 34 yıllık ölçülmüş günlük akım değerleri alınarak bu veriler incelenmiştir ve her bir istasyon için debi süreklilik eğrileri çizilmiştir. Debi süreklilik eğrileri Şekil 5.2-Şekil 5.6'daki grafikler ile gösterilmiştir.



Şekil 5.2 : 2102 nolu istasyonun debi süreklilik eğrisi.



Şekil 5.3 : 2122 nolu istasyonun debi süreklilik eğrisi.



Şekil 5.4 : 2157 nolu istasyonun debi süreklilik eğrisi.



Şekil 5.5 : 2158 nolu istasyonun debi süreklilik eğrisi.



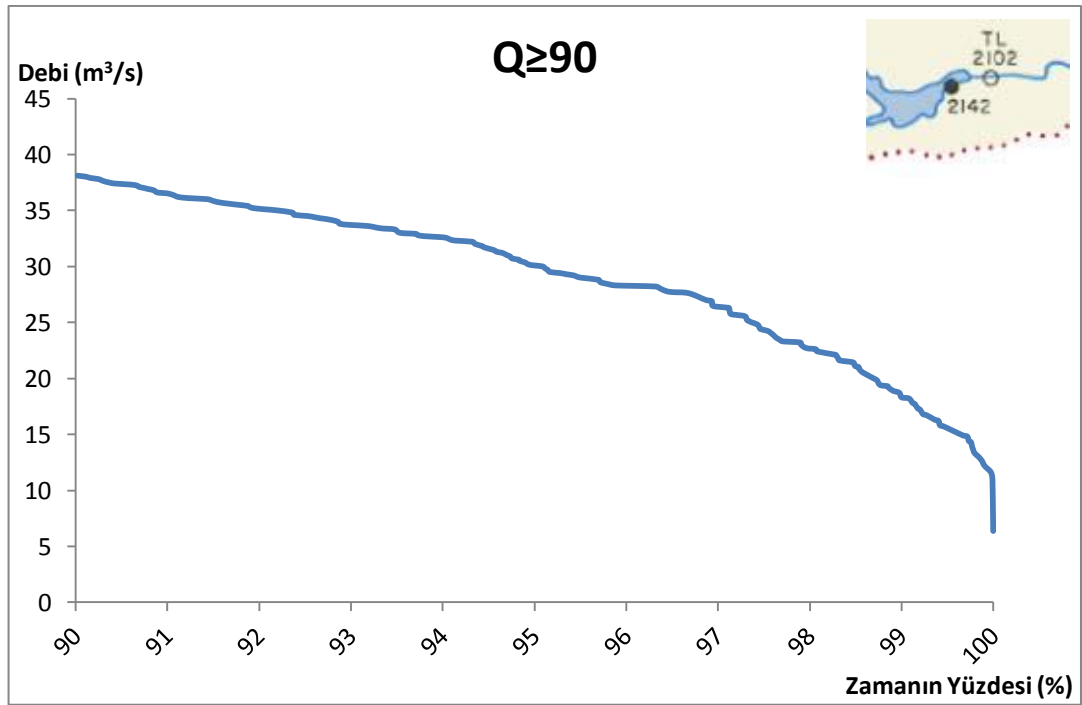
Şekil 5.6 : 2164 nolu istasyonun debi süreklilik eğrisi.

1970-2003 yılları arasında ölçülen günlük debiler incelendiğinde 2102 nolu istasyon için maksimum debinin yaklaşık 3300 m³/s ve minimum debinin yaklaşık 6 m³/s olduğu gözlenmektedir. Diğer istasyonlara bakıldığında bu değerlerin oldukça azaldığı söylenebilir. 2122 nolu istasyon için maksimum debi yaklaşık 690 m³/s,

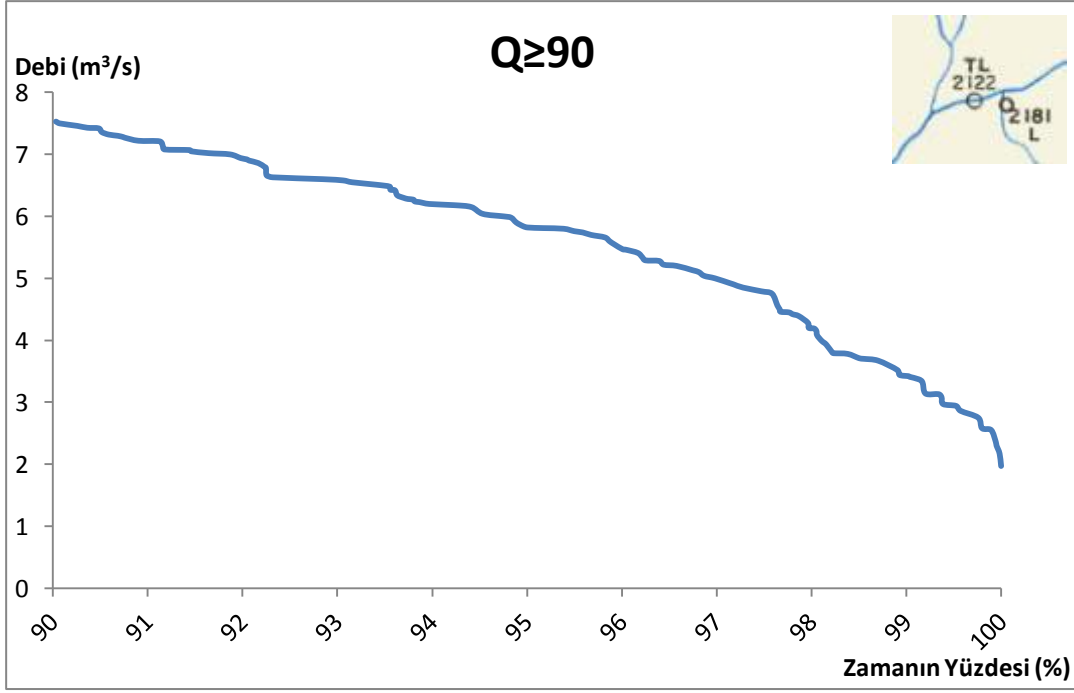
minimum debi 2 m³/s; 2157 nolu istasyon için maksimum debi yaklaşık 440 m³/s, minimum debi 1 m³/s'in altında; 2158 nolu istasyon için maksimum debi yaklaşık 340 m³/s, minimum debi 1,5 m³/s; 2164 nolu istasyon için maksimum debi yaklaşık 640 m³/s, minimum debi 0,5 m³/s dir.

5.4 İstasyonlara Göre Q_{≥90} Grafikleri

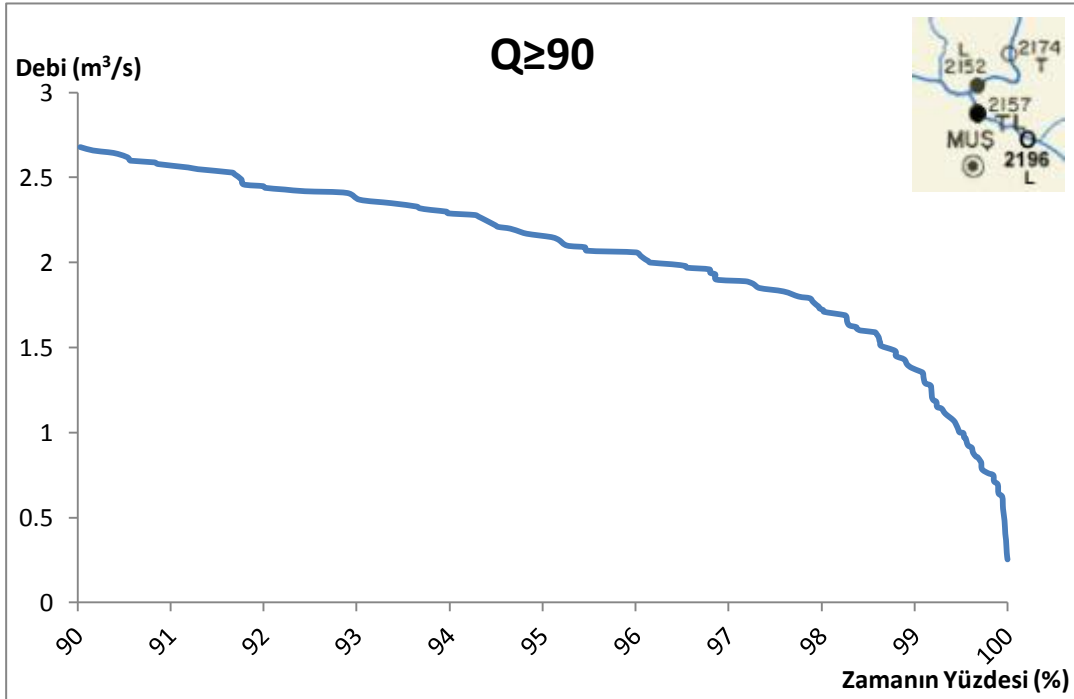
İstasyonlarda düşük akımları daha iyi görebilmek için zamanın %90 ve üzerindeki debiler hesaplanmıştır ve debi süreklilik eğrileri çizilmiştir. Tüm istasyonlar için elde edilen bu grafikler Şekil 5.7-5.11'de verilmiştir.



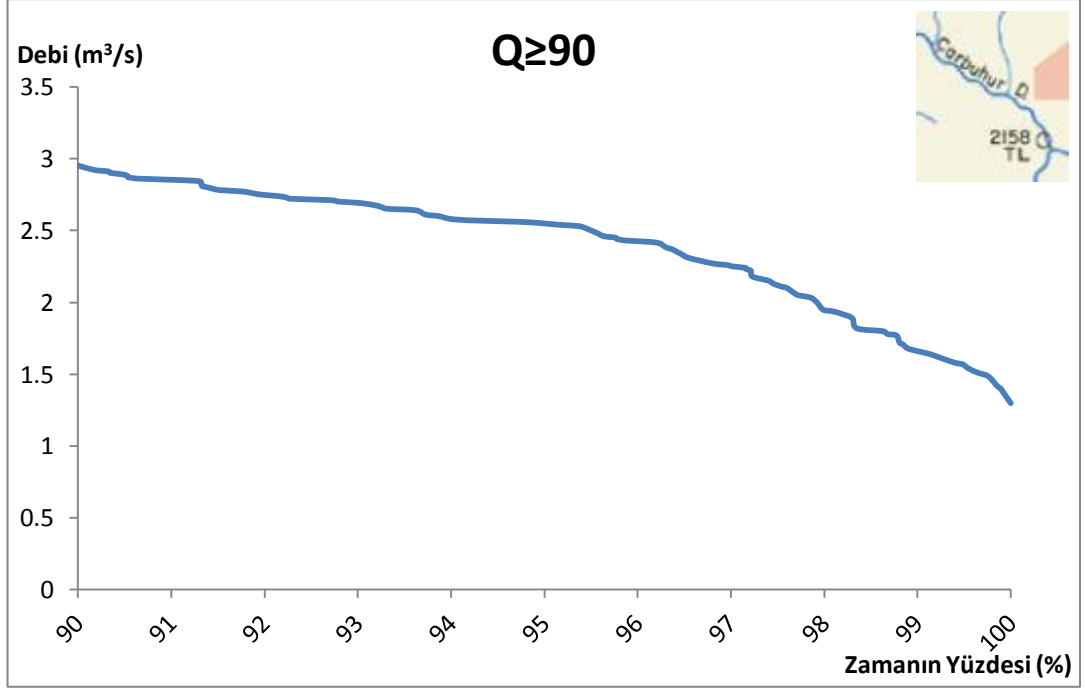
Şekil 5.7 : 2102 nolu istasyonun Q_{≥90} grafiği.



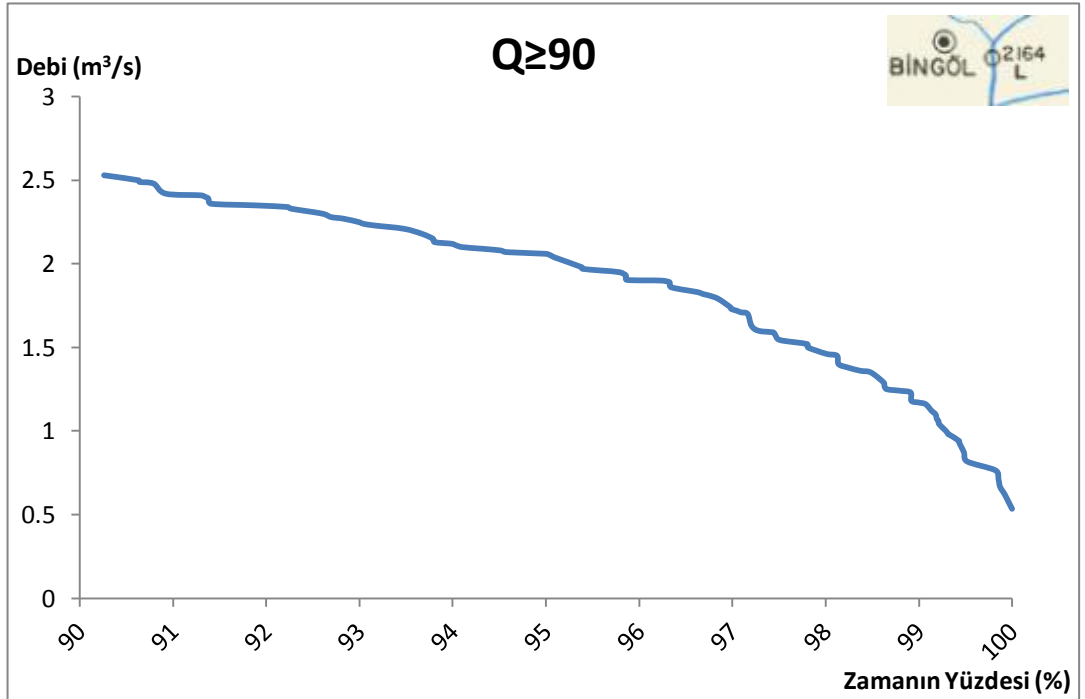
Şekil 5.8 : 2122 nolu istasyonun Q \geq 90 grafiği.



Şekil 5.9 : 2157 nolu istasyonun Q \geq 90 grafiği.



Şekil 5.10 : 2158 nolu istasyonun Q≥90 grafiği.



Şekil 5.11 : 2164 nolu istasyonun Q≥90 grafiği.

Bu grafiklerden de görüleceği üzere, zamanın %90'ından büyük olan debiler incelendiğinde 2102 nolu istasyon için ölçülen debilerin yaklaşık 38 m³/s-6 m³/s aralığında olduğu gözlenmiştir. Bu debi değerleri; 2122 nolu istasyon için 7,5 m³/s-2

m^3/s , 2157 nolu istasyon için $2,5 m^3/s-0,5 m^3/s$, 2158 nolu istasyon için $3 m^3/s-1,5 m^3/s$, 2164 nolu istasyon için $2,5 m^3/s-0,5 m^3/s$ aralığındadır.

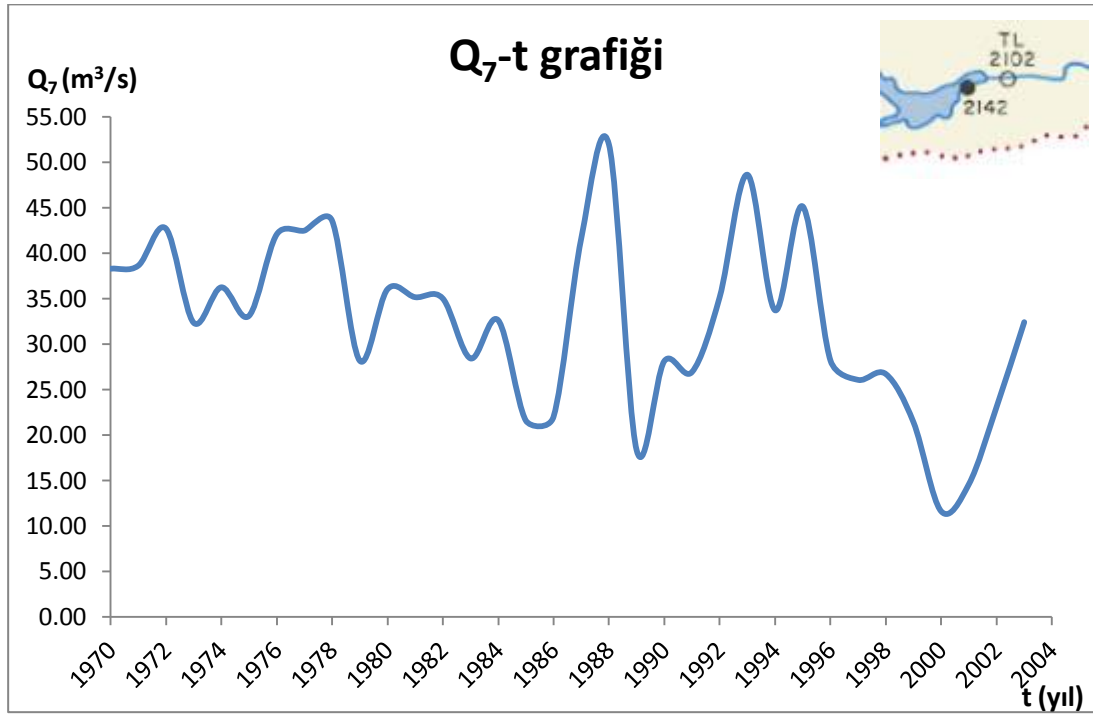
5.5 7-Günlük Ortalama Akımlar

Her yılın 7-günlük periyodları için günlük akım verileri kullanılarak, 7-günlük ortalama akımlar Excel programı yardımı ile hesaplanmıştır. 7-günlük akım, ardışık 7-günlük periyod içinde ölçülen en düşük akımdır.

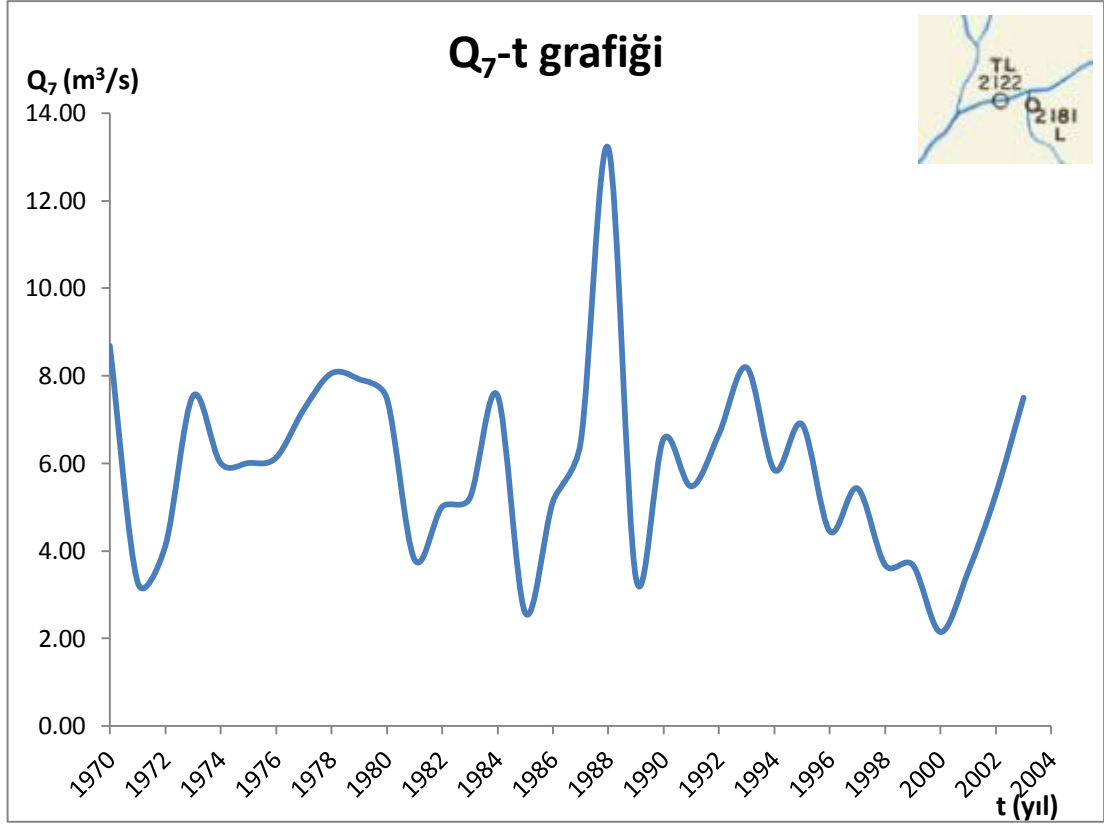
Günlük debilerden yola çıkılarak 7-günlük ortalama debiler hesaplanmıştır.

5.5.1 Q_7-t grafikleri

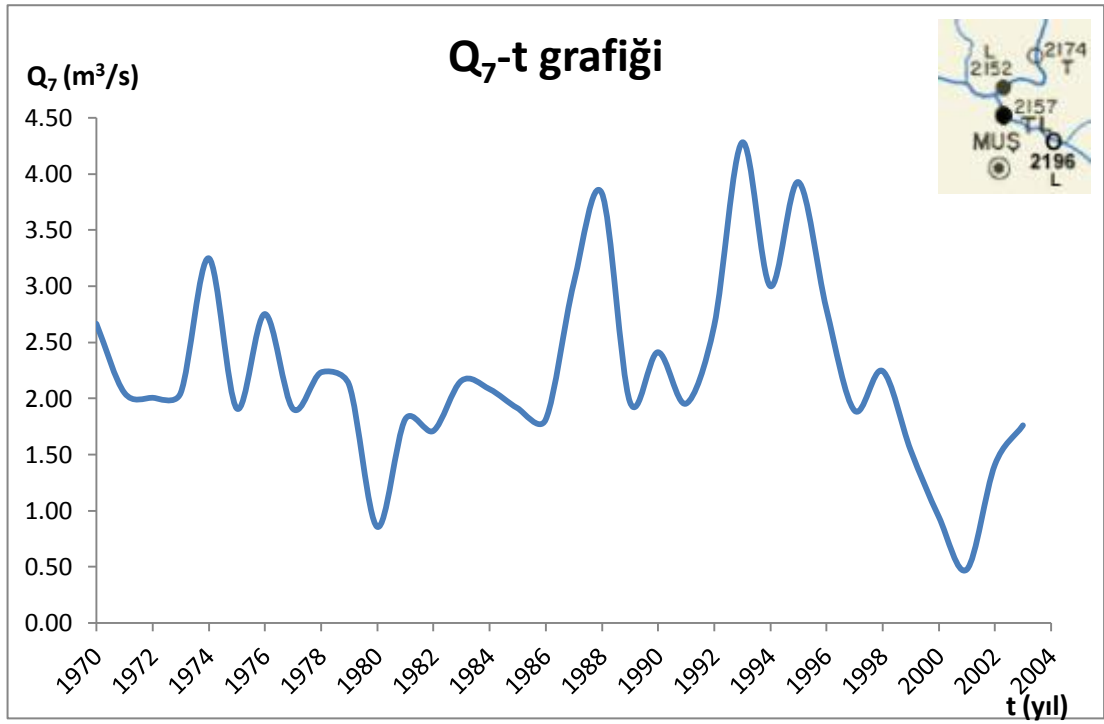
Tüm istasyonlar için 7-günlük debi-zaman grafikleri Şekil 5.12-5.16'da gösterilmiştir. Bu grafikler ile 7-günlük düşük akımların değişimi gözlenmektedir.



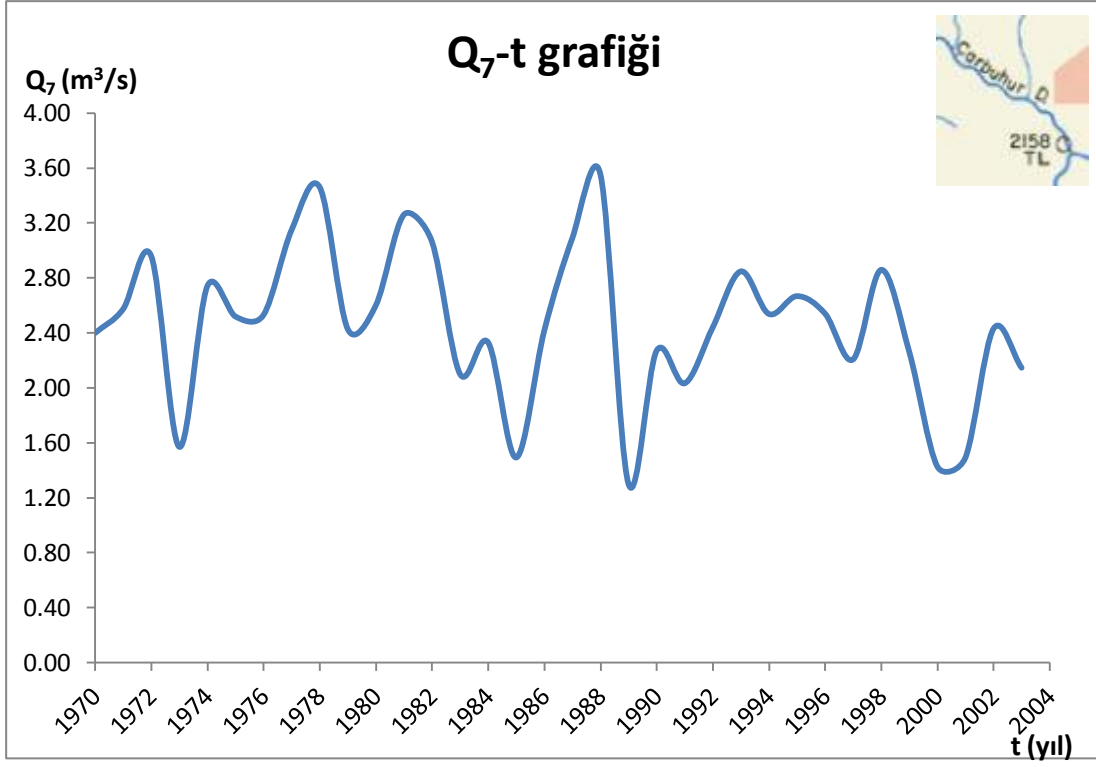
Şekil 5.12 : 2102 nolu istasyonun Q_7-t grafiği.



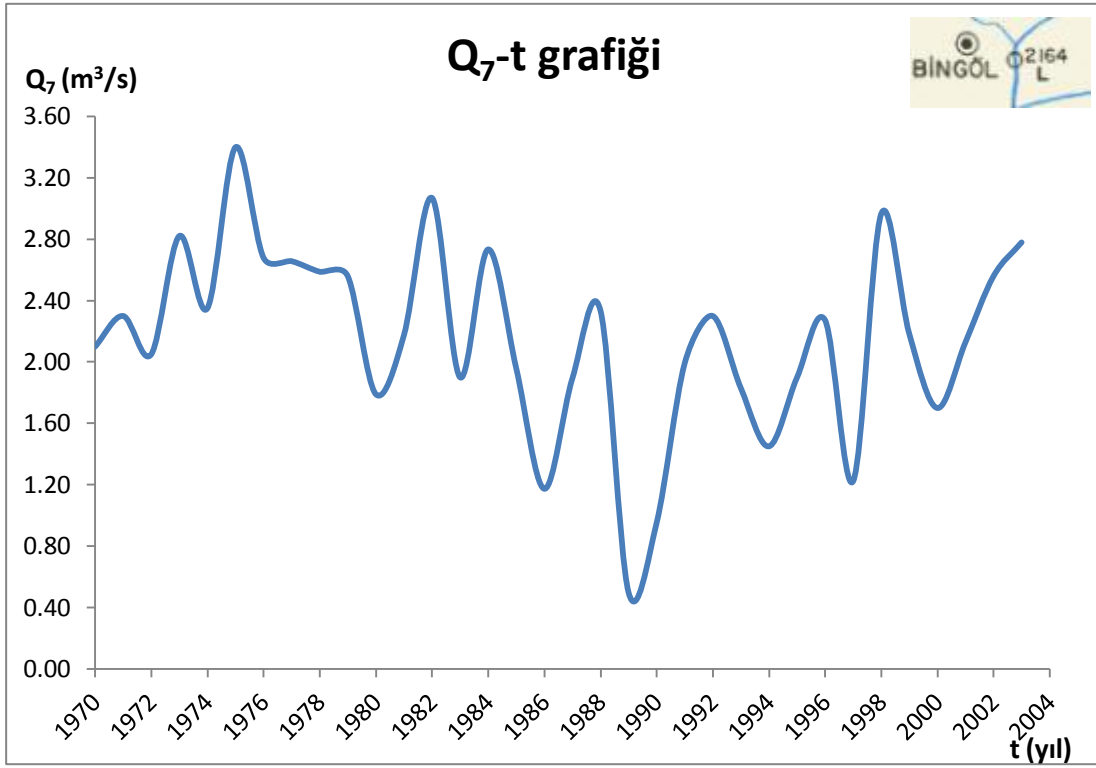
Şekil 5.13 : 2122 nolu istasyonun Q₇-t grafiği.



Şekil 5.14 : 2157 nolu istasyonun Q₇-t grafiği.



Şekil 5.15 : 2158 nolu istasyonun Q₇-t grafiği.



Şekil 5.16 : 2164 nolu istasyonun Q₇-t grafiği.

7 günlük ortalama akımlar için de değerlerin değişken olduğu gözlenmektedir. 1970-2003 yılları arasında 7 günlük ortalama debi değerleri; 2102 nolu istasyonda yaklaşık $52 \text{ m}^3/\text{s}$ - $11 \text{ m}^3/\text{s}$, 2122 nolu istasyonda yaklaşık $13 \text{ m}^3/\text{s}$ - $2 \text{ m}^3/\text{s}$, 2157 nolu istasyonda yaklaşık $4 \text{ m}^3/\text{s}$ - $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$, 2158 nolu istasyonda yaklaşık $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ - $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$, 2164 nolu istasyonda yaklaşık $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ - $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak hesaplanmıştır.

5.6 İstatistik Momentleri, L-momentleri, Olasılık Dağılım Parametreleri

Tüm istasyonlar için Bölüm 3.1.1-Bölüm 3.2.2.5'deki formüller yardımı ile başta L-momentleri olmak üzere ortalama, standart sapma, çarpıklık ve basıklık gibi istatistik moment değerleri bulunmuştur ve sonuçlar Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 : İstasyonların istatistik momentleri ve L-momentleri.

	2102	2122	2157	2158	2164
Ortalama (m^3/s)	32.40	5.88	2.22	2.46	2.15
Standart Sapma (m^3/s)	9.38	2.14	0.81	0.55	0.61
Çarpıklık	-0.12	0.91	0.55	-0.27	-0.57
Basıklık	-0.31	2.48	0.86	-0.08	0.65
L1	32.40	5.88	2.22	2.46	2.15
L2	18.94	3.54	1.33	1.39	1.25
L3	13.51	2.57	0.97	0.98	0.89
L4	10.56	2.04	0.78	0.76	0.69

5.7 Düşük Akım Analizinde Olasılık Dağılımlarının Kullanılması ve Çeşitli Dönüş Aralıklarında Düşük Akım Debilerinin Bulunması

İstatistik momentleri ve L-momentleri kullanılarak 7-günlük ortalama debilere çeşitli dağılımlar uygulanmıştır. Bu dağılımların başında; iki parametrelili dağılımlardan Weibull Dağılımı 2, Üstel Dağılım ve üç parametrelili dağılımlardan Weibull Dağılımı 3, Genel Ekstrem Değer Dağılımı, Pearson Tip 3 Dağılımı ve Log-Pearson Tip 3 Dağılımı gelmektedir. Bu dağılımların uygulanabilmesi için gerekli olan parametreler Bölüm 3.2.1.1, Bölüm 3.2.1.2, Bölüm 3.2.2.1, Bölüm 3.2.2.2, Bölüm 3.2.2.4, Bölüm 3.2.2.5'te verilen denklemler yardımı ile bulunmuştur.

Çizelge 5.3 : İki ve üç parametrelili dağılımların parametreleri.

	İki parametrelili dağılımlar				Üç parametrelili dağılımlar					
	Weibull Dağılımı		Üstel Dağılım		Weibull Dağılımı			Genel Ekstrem Değer Dağılımı		
	k	α	c	x_0	k	u	α	k	u	α
2102	1.27	28.32	0.36	123.55	1.30	11.40	18.01	2.25	-17.86	21.23
2122	1.33	4.88	0.33	23.63	1.21	2.09	3.42	2.29	-3.10	3.82
2157	1.33	1.87	0.33	8.89	1.29	0.46	1.52	2.31	-1.16	1.42
2158	1.20	2.23	0.39	8.84	1.28	1.29	1.02	2.21	-1.41	1.60
2164	1.25	1.90	0.36	8.12	1.38	0.48	1.37	2.23	-1.20	1.42

Çizelge 5.3'te verilen olasılık dağılım parametreleri kullanılarak 2,5 ve 10 yıllık dönüş aralıklarında inceleme yapılmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.4-5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.4 : 2 yıllık dönüş aralığı için 7-günlük debilerin olasılık dağılımları ile elde edilen değerleri.

Q7,2 (m ³ /s)	İki parametrelili dağılımlar		Üç parametrelili dağılımlar			
	Weibull 2 Dağılımı	Üstel Dağılım	Weibull 3 Dağılımı	Genel Ekstrem Değer Dağılımı	Pearson Tip 3 Dağılımı	Log-Pearson Tip 3 Dağılımı
2102	17.80	17.58	22.59	12.55	32.24	29.23
2122	3.00	2.92	4.28	2.16	5.56	5.36
2157	1.15	1.10	1.40	0.81	2.14	1.88
2158	1.44	1.47	1.93	1.01	2.43	2.31
2164	1.20	1.19	1.31	0.85	2.09	1.82

Çizelge 5.4'te görüldüğü üzere, 2 yıllık dönüş aralığında 7-günlük ortalama debilerin olasılık dağılım sonuçları incelendiğinde; en yüksek değerlerin tüm istasyonlar için Pearson Tip 3 Dağılımı ile, en düşük değerlerin ise tüm istasyonlar için Genel Ekstrem Değer Dağılımı ile elde edildiği görülmektedir.

Çizelge 5.5 : 5 yıllık dönüş aralığı için 7-günlük debilerin olasılık dağılımları ile elde edilen değerleri.

Q7,5 (m ³ /s)	İki parametrelili dağılımlar		Üç parametrelili dağılımlar			
	Weibull 2 Dağılımı	Üstel Dağılım	Weibull 3 Dağılımı	Genel Ekstrem Değer Dağılımı	Pearson Tip 3 Dağılımı	Log-Pearson Tip 3 Dağılımı
2102	4.23	1.34	13.97	8.73	24.47	23.30
2122	0.67	0.18	2.64	1.49	7.53	3.98
2157	0.26	0.07	0.68	0.57	2.86	1.44
2158	0.37	0.14	1.44	0.71	1.99	1.94
2164	0.03	0.09	0.66	0.59	1.63	1.53

Çizelge 5.5'te görüldüğü üzere, 5 yıllık dönüş aralığında 7-günlük ortalama debilerin olasılık dağılım sonuçları incelendiğinde; en yüksek değerlerin tüm istasyonlar için Pearson Tip 3 Dağılımı ile, en düşük değerlerin ise 2164 nolu istasyon hariç Üstel Dağılım ile, 2164 nolu istasyon için ise Weibull 2 Dağılımı ile elde edildiği görülmektedir.

Çizelge 5.6 : 10 yıllık dönüş aralığı için 7-günlük debilerin olasılık dağılımları ile elde edilen değerleri.

Q7,10 (m ³ /s)	İki parametrelili dağılımlar		Üç parametrelili dağılımlar			
	Weibull 2 Dağılımı	Üstel Dağılım	Weibull 3 Dağılımı	Genel Ekstrem Değer Dağılımı	Pearson Tip 3 Dağılımı	Log-Pearson Tip 3 Dağılımı
2102	1.64	0.19	12.37	8.46	20.49	21.27
2122	0.25	0.02	2.31	1.45	8.75	3.45
2157	0.09	0.01	0.54	0.55	3.29	1.31
2158	0.15	0.02	1.34	0.69	1.77	1.80
2164	0.11	0.01	0.55	0.57	1.42	1.47

Çizelge 5.6'da görüldüğü üzere, 10 yıllık dönüş aralığında 7-günlük ortalama debilerin olasılık dağılım sonuçları incelendiğinde; 2102 ve 2158 nolu istasyonlar için en yüksek değerlerin Log-Pearson Tip 3 Dağılımı, diğer 3 istasyon için ise Pearson Tip 3 Dağılımı ile, en düşük değerlerin tüm istasyonlar için Üstel Dağılım ile elde edildiği görülmektedir.

5.8 Olasılık Çizgisi Korelasyon Katsayısı (PPCC) Testi Sonuçları

PPCC testini uygulamak için her bir istasyonun 7-günlük ortalama akımları azalan sıra ile dizilmiş ve $F(x)$ değeri her bir dağılım için elde edilmiştir. Bu değerlere karşılık gelen M_i değeri ve x_i değerleri arasında korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Elde edilen korelasyon katsayısı ve kritik değerleri karşılaştırılarak dağılımların verilere uyup uymadığı araştırılmıştır. Her bir istasyon için hesaplanan değerler Çizelge 5.7'de belirtilmiştir. Bu çizelgeyi kullanarak PPCC testi yorumlanmış ve PPCC testi açısından uygun dağılımlar belirlenmiştir.

Çizelge 5.7 : PPCC testinin sonuçları ve onlara karşılık gelen α değeri.

AGİ		Genel			Log-		
		Üstel Dağılım	Weibull II Dağılımı	Ekstrem Değer Dağılımı	Weibull III Dağılımı	Pearson Tip III Dağılımı	Pearson Tip III Dağılımı
	korelasyon						
2102	katsayısı	0.986*	0.971*	0.984*	0.985*	0.997*	0.980*
	$\alpha=0.05$	0.936	0.955	0.956	0.955	0.959	0.959
	korelasyon						
2122	katsayısı	0.924	0.983*	0.937	0.991*	0.984*	0.996*
	$\alpha=0.05$	0.936	0.955	0.956	0.955	0.959	0.959
	korelasyon						
2157	katsayısı	0.924	0.992*	0.931	0.925	0.994*	0.968*
	$\alpha=0.05$	0.936	0.955	0.956	0.955	0.959	0.959
	korelasyon						
2158	katsayısı	0.978*	0.854	0.963*	0.994*	0.998*	0.985*
	$\alpha=0.05$	0.936	0.955	0.956	0.955	0.959	0.959
	korelasyon						
2164	katsayısı	0.987*	0.949	0.958*	0.987*	0.994*	0.929
	$\alpha=0.05$	0.936	0.955	0.956	0.955	0.959	0.959

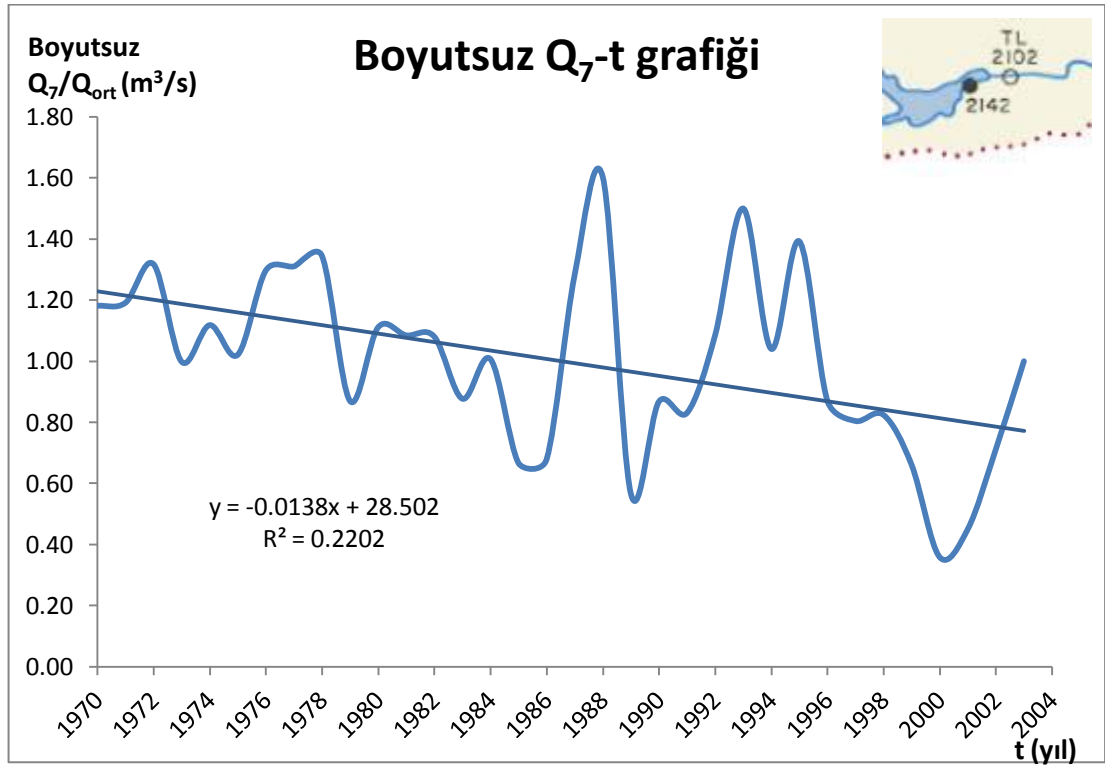
Bu çizelgede * işareti ile belli olan hücreler, PPCC testinden bulunan r değerinin kritik r değerinden büyük olduğunu göstermektedir ve boş hücreler tam tersini ifade etmektedir. Buna göre; Pearson Tip III dağılımı tüm istasyonların verilerine uygundur ve PPCC testi açısından çalıştığımız bölgede en iyi sonuca varmak için Pearson Tip III dağılımını kullanmak daha uygun görülmüştür. Log-Pearson Tip III ve Weibull III dağılımları dörder istasyona uygun olarak %80; Üstel, Weibull II ve

Genel Ekstrem Değer dağılımları üçer istasyona uygun olarak %60 uyumluluğa sahiptir.

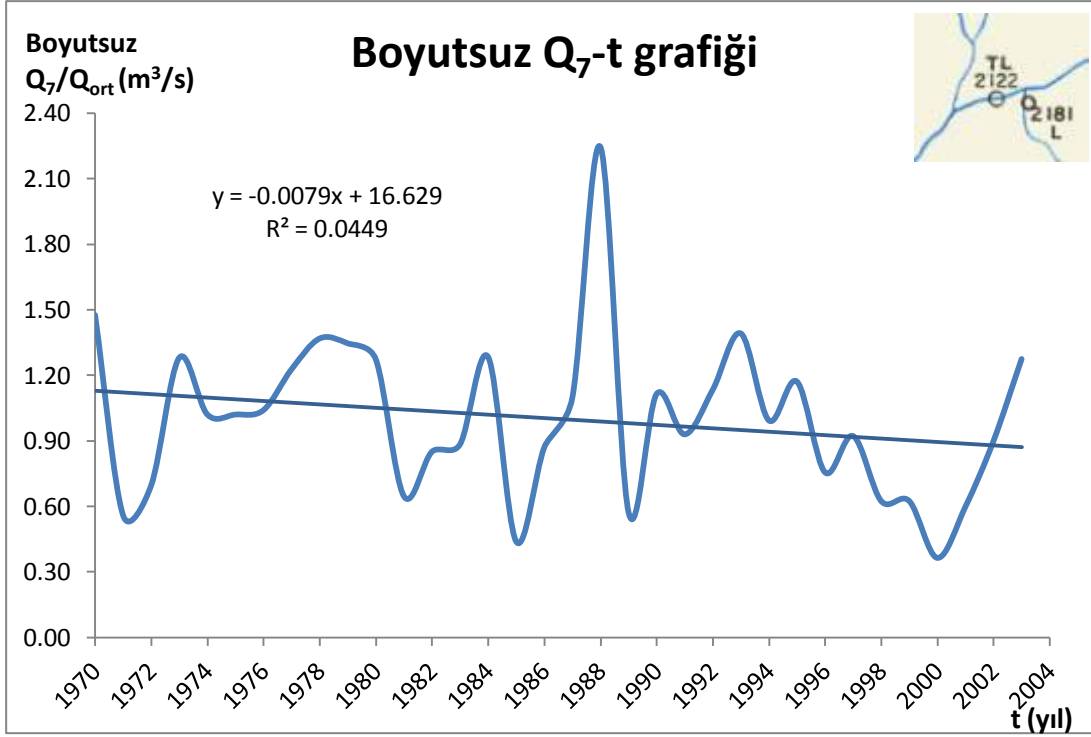
5.9 Fırat Havzası İçin Trend Analizi Çalışması

Her yıl için bulunmuş olan 7-günlük ortalama debiler o istasyondaki 7-günlük akımların ortalamasına bölünerek boyutsuzlaştırılmıştır. İstasyonlara ait boyutsuzlaştırılmış Q_7 -t grafikleri Şekil 5.17-5.21’de verilmiştir.

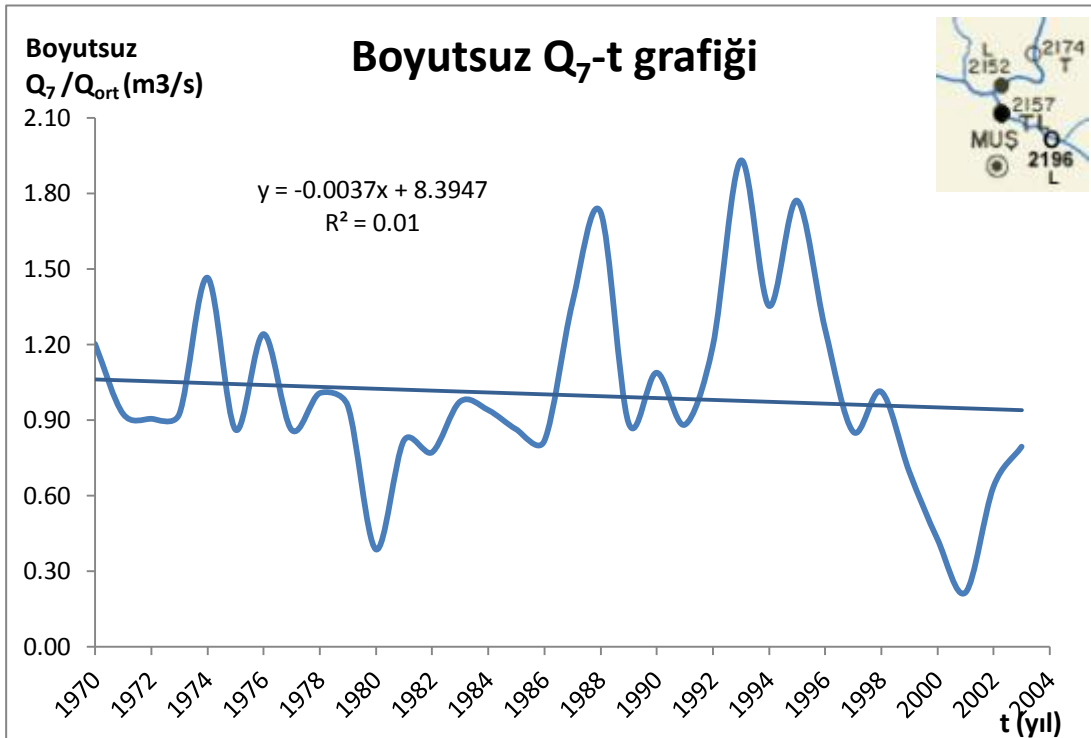
Şekiller üzerinde ayrıca eğilim çizgileri çizilmiştir. Beş istasyonda da eğilim azalma yönündedir, bu azalmanın anlamlı olup olmadığı incelenmiştir. 7-günlük debilere Mann-Kendall testi ile trend analizi yapılmıştır, iki farklı güven aralığında yapılan çalışmalar sonucunda istasyonlarda trend olup olmadığı ve var olan trendlerin yönü incelenmiştir.



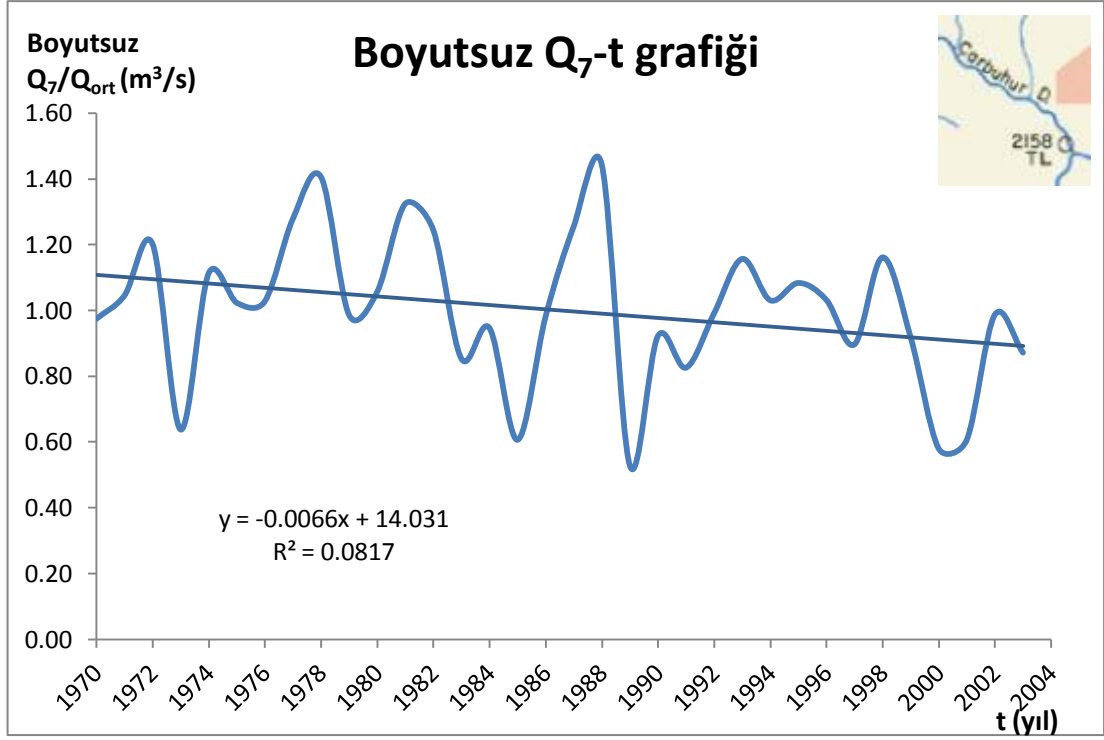
Şekil 5.17 : 2102 nolu istasyonun boyutsuz Q_7 -t grafiği.



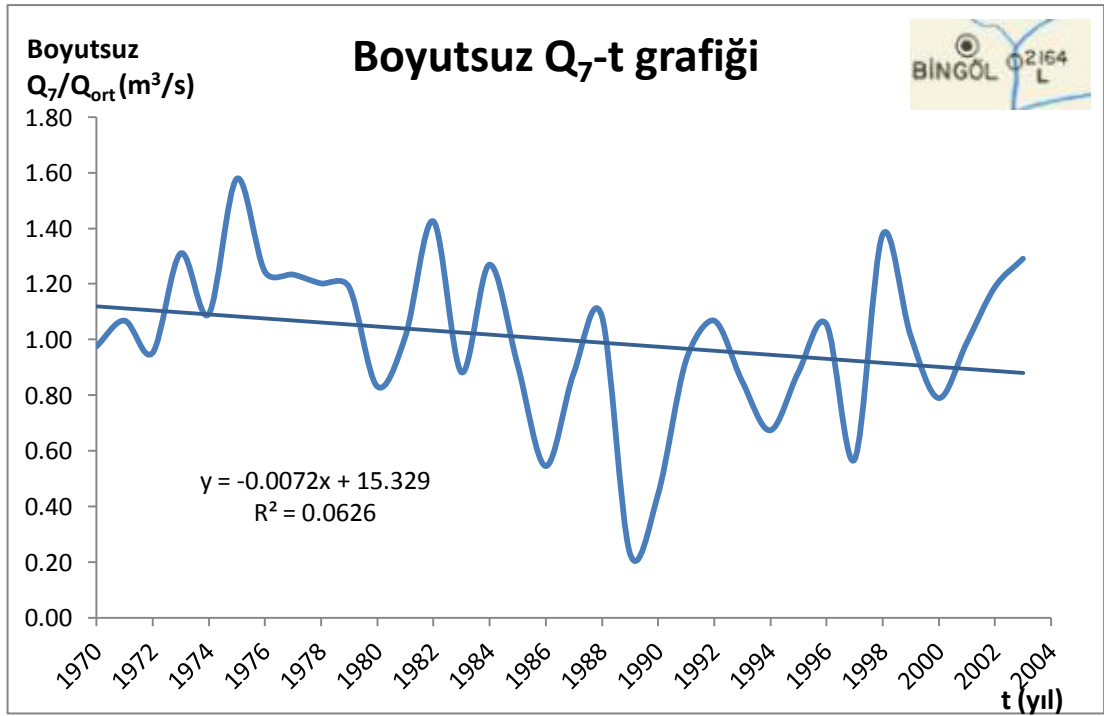
Şekil 5.18 : 2122 nolu istasyonun boyutsuz Q₇-t grafiği.



Şekil 5.19 : 2157 nolu istasyonun boyutsuz Q₇-t grafiği.



Şekil 5.20 : 2158 nolu istasyonun boyutsuz Q₇-t grafiği.



Şekil 5.21 : 2164 nolu istasyonun boyutsuz Q₇-t grafiği.

5.10 Mann-Kendall Trend Analizi Sonuçları

Bölüm 4.1’de belirtilen denklemler kullanılarak iki ayrı güven aralığında yapılan testte %95 güven aralığında 1 AGİ’de (2102) ve %90 güven aralığında ise 2 AGİ’de (2102, 2158) azalan yönde trend tespit edilmiştir (Çizelge 5.8, Çizelge 5.9).

Çizelge 5.8 : %95 ($\alpha=0.05$) güven aralığında test sonuçları.

İstasyon No	İstasyon Adı	Ölçüm Periyodu	S	Var(S)	Z	Z _{kritik}	Trend Yönü
2102	Murat Suyu - Palu	1970-2003	-206	4549.33	-3.07	1.96	(-)
2122	Murat Nehri - Tutak	1970-2003	-93	4548.33	-1.38	1.96	Trend yok
2157	Karasu - Karaköprü	1970-2003	-71	4549.33	-1.07	1.96	Trend yok
2158	Bingöl Çayı - Abdurrahmanpaşa	1970-2003	-110	4549.33	-1.65	1.96	Trend yok
2164	Göynük Çayı - Çayağzı	1970-2003	-99	4548.33	-1.48	1.96	Trend yok

Çizelge 5.9 : %90 ($\alpha=0.10$) güven aralığında test sonuçları.

İstasyon No	İstasyon Adı	Ölçüm Periyodu	S	Var(S)	Z	Z _{kritik}	Trend Yönü
2102	Murat Suyu - Palu	1970-2003	-206	4549.33	-3.07	1.645	(-)
2122	Murat Nehri - Tutak	1970-2003	-93	4548.33	-1.38	1.645	Trend yok
2157	Karasu – Karaköprü	1970-2003	-71	4549.33	-1.07	1.645	Trend yok
2158	Bingöl Çayı – Abdurrahmanpaşa	1970-2003	-110	4549.33	-1.65	1.645	(-)
2164	Göynük Çayı – Çayağzı	1970-2003	-99	4548.33	-1.48	1.645	Trend yok

6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Gelişen ve büyüyen endüstri, teknoloji ve ihtiyaçlar, enerji talebini gün geçtikçe arttırmaktadır. Bu talebi karşılamaya yönelik; konvansiyonel kaynakların sınırlılığı ve çevreye olan etkiler yenilenebilir enerjinin diğer enerji kaynaklarıyla rekabet edecek önemli bir konuma gelmesini sağlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında lokomotif görevi üstlenen ise hidroelektrik enerjisidir.

Bu çalışmada düşük akım ve önemi, düşük akımları belirleyen etkenler, düşük akımların beslenmesi ve kayıpları, düşük akımların etkilerinin azaltılması, düşük akım indisleri ve debi süreklilik eğrisi açıklanmıştır. Düşük akımlara uyan olasılık dağılımları incelenmiş ve çeşitli dönüş aralıklarında düşük akım tahminleri yapılmıştır. Ayrıca düşük akımların zaman içindeki değişimleri trend analizi ile araştırılmıştır.

Örnek çalışma yapılırken Fırat Havzası'nın Murat Kolu üzerindeki Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİEİ)'ne ait 5 akım gözlem istasyonunun 1970-2003 tarihleri arasındaki doğal akım verileri temin edilmiştir. Temin edilen günlük veriler ile tüm istasyonlar için Bölüm 5.3'te verilen debi süreklilik eğrileri elde edilmiştir. Sonrasında zamanın %90'ından büyük olan debiler hesaplanarak her istasyon için ilgili grafikler oluşturulmuştur ve bu grafikler Bölüm 5.4'te verilmiştir.

EİEİ'den temin edilen günlük verilerden 7-günlük ortalama debiler elde edilmiştir ve bunların zaman ile olan ilişkileri Bölüm 5.5.1'deki grafikler ile gösterilmiştir. Bölüm 3.1.1 ve Bölüm 3.1.2'de verilen denklemler yardımı ile her istasyonun istatistik momentleri ve L-momentleri belirlenmiştir. Bu momentlerin yardımı ile Bölüm 3.2.1 ve Bölüm 3.2.2'de anlatılan olasılık dağılımları uygulanmıştır. Bu olasılık dağılımlarının yardımı ile her istasyon için 2 yıllık, 5 yıllık ve 10 yıllık dönüş aralıklarında 7-günlük ortalama debiler elde edilmiştir. İstasyonların 7-günlük ortalama debilerine Olasılık Çizgisi Korelasyon Katsayısı (PPCC) testi uygulanarak verilere en uygun dağılım seçilmiştir ve bu testin uygulanması sonucunda

çalıştığımız bölgede tüm istasyonların verilerine uygun olan Pearson Tip III dağılımı en uygun olan dağılım olarak belirlenmiştir.

Hidroelektrik enerji üretimimizde önemli bir yeri olan hidroelektrik enerjinin güvenilirliği akımlara bağlı olduğundan zaman içinde bir azalma olup olmadığının tespiti için trend analizi yapılmıştır. Fırat Havzası'nda EİEİ tarafından işletilen 5 istasyonun düşük akımları parametrik olmayan Mann-Kendall trend testi ile incelenmiştir. Güven aralığının %95 olması durumunda bir istasyonda (2102 - Murat Suyu-Palu) trend tespit edilmiş ve bu trendin azalan yönde olduğu görülmüştür. Güven aralığının azaltılarak %90'a çekilmesi durumunda ise iki istasyonda (2102 – Murat Suyu-Palu, 2158 – Bingöl Çayı-Abdurrahmanpaşa) azalan yönde trend tespit edilmiştir.

Hidroelektrik enerjisinin ülkemizdeki önemi göz önüne alındığında, güvenilir enerji üretimi için düşük akımların incelenmesi ve gelecek için güvenilir tahminlerin yapılması önem arz etmektedir. Yıllık ortalama akımlardaki azalma, rezervuar kapasitesinin ve yönetimi işlemlerinin belirlenmesinde çok önemli bir yere sahiptir. Ortalama akımlardaki negatif trend, tasarım kriterlerini dolayısıyla inşaat masraflarını etkiler. Aynı zamanda rezervuardan sağlanan su miktarı için sınırlayıcı bir faktör olarak kabul edilebilir.

Benzer şekilde akarsu santralleri projelerinin, kurulması istenen alanların doğal yapısını değiştirmesi ve endemik türlere zarar verebilme ihtimali yüksektir. Bu etkilerin minimum düzeyde tutulabilmesi için su yapılarının yapımı ve işletilmesinde düşük akım değerlerine uygun projelerin oluşturulması gerekmektedir. Özellikle işletme sırasında ve kuyruk suyunun (ekolojik su) belirlenmesi sırasında düşük akımların analiz edilmesi önemlidir.

Bu çalışmada, önemli su potansiyeli taşıyan Fırat Havzası'nın düşük akımlarının analizi yapılmış ve gelecekte biriktirmeli ve biriktirmesiz hidroelektrik tesislerden enerji üretiminin planlanması ve işletilmesi aşamasında kaynak oluşturacak bilgiler elde edilmiştir.

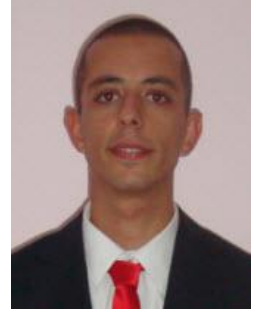
KAYNAKLAR

- Albostan, A.**, 2007. Yüksek ve Düşük Akımların Mevsimselliği Orta Fırat Havzası Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Armbruster, J.T.**, 1976. An infiltration index useful in estimating low-flow characteristics of drainage basins. *J. Res. USGS* 4 (5), 533–538.
- Aucott, W.R., Meadows, R.S., Patterson, G.G.**, 1987. Regional groundwater discharge to large streams in the upper coastal plain of south Carolina and parts of north Carolina and Georgia. USGS Water Resources Investigations Report 86-4332, 28 pp.
- Bayazıt, M. ve Oğuz, B.**, 1995. *Mühendisler İçin İstatistik*. İstanbul: Birsen Yayınevi, 211 s.
- Bayazıt, M. ve Önöz B.**, 2008. Taşkın ve Kuraklık Hidrolojisi, İ.T.Ü., Nobel Yayın Dağıtım, İstanbul.
- Bingham, R.H.**, 1986. Regionalization of low-flow characteristics of Tennessee streams. U.S. Geological Survey Water Resources Investigations Report No.85-4191. Prepared in cooperation with the Tennessee Department of Health and Environment, Division of Water Management, 68p.
- Blom, G.**, 1958. Statistical estimates and transformed beta variables. John Wiley and Sons, New York.
- Bowles, D.S. ve Riley, J.P.**, 1976. Low flow modeling in small steep watersheds. *J. Hydraul. Div., ASCE* 102 (HY9), 1225–1239.
- Cıgızoğlu, H.K., Bayazıt, M., Önöz, B., Malkoç, Y. ve Yıldız, M.**, 2002. Türkiye Nehirleri Taşkın, Ortalama ve Düşük Akımlarındaki Trendler, İTÜ Araştırma Fonu Projesi.
- Collins, D.N.**, 1982. Water storage in an alpine glacier. *Hydrological Aspects of Alpine and High-Mountain Areas*, IAHS Publication No. 138, pp. 113–122.
- Cunnane, C.**, 1978. "Unbiased plotting positions - A review", *Journal of Hydrology*, Vol. 37, No. 3/4, pp. 205-222.
- Douglas, E.M., Vogel, R.M. ve Kroll, C.N.**, 2000. Trends in Floods and Low Flows in the United States: Impact of Spatial Correlation. *Journal of Hydrology*, 240(1):90-105.
- Filliben, J.J.**, The probability plot correlation coefficient test for normality, *Technometrics*, 17(1), 111-117, 1975.
- Fountain, A.G. ve Tangborn, W.V.**, 1985. Effect of glaciers on stream-flow variations. *Water Resour. Res.* 21 (4), 579–586.
- FREND: Flow Regimes From Experimental And Network Data**, 1989. I: Hydrological Studies; II: Hydrological Data, Wallingford, UK.
- Gerard, R.**, 1981. Regional analysis of low flows: a cold region example. *Proceedings of the Fifth Canadian Hydrotechnology Conference, Canadian Society for Civil Engineers*, vol. 1, pp. 95–112.

- Gerasimenko**, 1972. Effects of lakes on minimum streamflow in West Siberia. Trudy GGI (Trans. State Hydrol. Inst., Leningrad, USSR) 188, 305–311.
- Gringorten, I.I.**, 1963. "A plotting rule for extreme probability paper", *Journal of Geophysical Research*, Vol.68, No.3, pp.813-814.
- Gurnell, A.M.**, 1993. How many reservoirs? An analysis of flow recession from a glacier basin. *J. Glaciol.* 39, 409–414.
- Gustard, A., Bullock, A. ve Dixon, J.M.**, 1992. Low Flow Estimation in the United Kingdom, Rep. No.108, Inst. Of Hydrology.
- Gustard, A. ve Gross, R.**, 1989. *Regional Low Flow Studies*, Chap. 5, Flow Regimes from Experimental and Network Data (FRIEND), I, Hydrological Studies, UNESCO.
- Helsel, D.R. ve Hirsch, R.M.**, 1992. *Statistical Methods in Water Resources*, Elsevier, Amsterdam.
- Hopkinson, C. ve Young, G.J.**, 1998. The effect of glacier wastage on the flow of the Bow River at Banff, Alberta, 1951–1993. *Hydrol. Processes* 12 (10–11), 1745–1762.
- Janowicz, J.R.**, 1990. Regionalization of low flows in Yukon Territory. Northern hydrology Symposium, Saskatoon, Saskatchewan, Canada.
- Joseph, E.S.**, 1970. Probability Distribution of Annual Droughts, *J. Of Irrig. Div., ASCE*, **90**(4), 461-474.
- Kendall, M.G.**, 1975. Rank Correlation Methods. Charles Griffin, London.
- Kravchenko, V.V. ve Chernykh, O.A.**, 1985. The role of ice cover in generation of winter flow in rivers of Trans Baikal region. *Glaciology studies in Siberia*. Irkutsk, USSR, pp. 73–91.
- Kuusisto, E.**, 1987. Winter and summer low flows in Finland. *Aqua Fenn.* 16 (2), 181–186.
- Mann, H. B.**, 1945. Non-parametric Test Against Trend, *Econometrika*, Vol. 13, pp. 245-259.
- Musiake, K., Takahasi, Y., Ando, Y.**, 1984. Statistical analysis on effects of basin geology on river flow regime in mountainous areas of Japan. Proc. Fourth Cong. Asian & Pacific Reg. Div. Int. Assoc. Hydraul. Res., Bangkok, APD-IAHR/Asian Institute Technology, vol. 2, pp. 1141–1150.
- Nathan, R.J. ve McMahon, T.A.**, 1990. Practical Aspects of Low Flow Frequency Analysis, *Water Resour. Res.*, **26**(9), 2135-2141.
- Özdemir, A.D., Karaca, Ö., Erkuş, M.K.**, 2007. "Akarsularda Ekolojik Dengenin Korunması İçin Düşük Akım Hesabı", Nehir Havzaları Yönetimi Uluslar arası Kongresi, 22-24 Mart, Antalya.
- Plackett, R. L.**, 1947. Limits of the Ratio of Mean Range to Standart Deviation, *Biometrika*, **34**, 120-2.
- Postel, S. ve Richter, B.**, 2003. *Rivers for Life: Managing Water for People and Nature*, Island Press, Washington, D.C., USA.
- Pyrce, R.**, 2004. *Hydrological Low Flow Indices and Their Uses*, WSC Report No. 04-2004.
- Rogers, J.D. ve Armbruster, J.T.**, 1990. Low flows and hydrologic droughts. *Surface Water Hydrology*, Geological Society of America, Boulder, CO, pp. 121–130.

- Sakovich, V.M.**, 1990. The representation of minimum runoff series in Karelia and North-Western region. *Trans. Hydrolmeteorol. Center USSR* 308, 129–136.
- Smakhtin, V. U.**, 2001. Low flow hydrology: A Review, *Journal of Hydrology*, **240** 147-186.
- Smith, R.W.**, 1981. Rock type and minimum 7-day/10-year flow in Virginia streams. Virginia Water Resource Research Center, Virginia Polytechny Institute and State University, Blacksburg, *Bulletin*, vol. 116, 43 pp.
- Stedinger, J.R.**, 1980. Fitting Log Normal Distributions to Hydrologic Data, *Water Resour. Res.*, **16**(3), 481-490.
- Stedinger, J., Vogel, R.M., Foufoula-Georgiou, E.**, 1993. Frequency Analysis of Extreme Events, *Handbook of Hydrology*, Ch.18 (ED. D.R. Maidment), McGraw-Hill.
- Vladimirov, A.M.**, 1976. Stok rek v malovodnyj period goda (River V.U. Smakhtin / *Journal of Hydrology* 240 (2001) 147–186 185flow during a dry weather period). Gidrometeoizdat, Leningrad, USSR.
- Vogel, R.M. ve Kroll, C.N.**, 1989. Low-Flow Frequency Analysis Using Probability-Plot Correlation Coefficients, *J. WRPM ASCE*, **115**(3), 338-357.
- WMO**, 1974. World Meteorological Organization, 1974. International Glossary of Hydrology, WMO, Geneva.
- Yıldız, M., Saraç, M. Malkoç, Y. ve Uçar, İ.**, 2004. Türkiye Akarsularındaki Akımların Trendleri ve Bu Trendlerin Hidroelektrik Enerji Üretimine Etkileri, IV. Ulusal Hidroloji Kongresi, İTÜ, İstanbul, 23-25 Haziran, s.59-70.
- Yue, S., Zou, S., Whittemore, D.**, 1993. Non-parametric Trend analysis of Water Quality Data of Rivers in Kansas, *Journal of Hydrology* 37.
- Url-1** < <http://www.dsi.gov.tr>>, Alındığı Tarih: 12.10.2011

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Olgu YILDIRIMLAR

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 15.02.1985

Adres: Ahmediye Mah. Ayin Sk. Şanlier Apt. No:8/6
Üsküdar/İSTANBUL

Lisans Üniversite: İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği