

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SENTETİK DEBİ SÜREKLİLİK EĞRİLERİNİN MATEMATİKSEL  
YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ VE DOĞU KARADENİZ ÖRNEĞİ**

**İnşaat Yük. Müh. Fatih SAKA**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
"DOKTOR (İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ)"  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24.01.2012  
Tezin Savunma Tarihi : 17.02.2012**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ömer YÜKSEK**

**Trabzon 2012**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında**  
**Fatih Saka Tarafından Hazırlanan**

**SENTETİK DEBİ SÜREKLİLİK EĞRİLERİNİN MATEMATİKSEL**  
**YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ VE DOĞU KARADENİZ ÖRNEĞİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 31 / 01 / 2012 gün ve 1442 sayılı**  
**kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

**DOKTORA TEZİ**  
**olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU** .....

**Üye : Prof. Dr. Ömer YÜKSEK** .....

**Üye : Prof. Dr. Hızır ÖNSOY** .....

**Üye : Prof. Dr. Fikri BULUT** .....

**Üye : Yrd. Doç. Dr. Osman ÜÇÜNCÜ** .....

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**  
**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Öncelikle doktora hocam Prof.Dr. Ömer YÜKSEK'e, eğitimim süresince desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Alışılan hoca-öğrenci ilişkisinden öte, dostane tavırlarından, sıkıntılarında benim gibi endişe duyan, bana kendimi ifade edebilme özgürlüğü verişinden dolayı minnettarlığımı belirtmek isterim.

Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi İstatistik Bölümü öğretim üyelerinden Yrd.Doç.Dr. Yüksel TERZİ'ye, Gümüşhane Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden Yrd.Doç.Dr. İbrahim ASRİ, Yrd.Doç.Dr. Hasan Tahsin BOSTANCI ve Arş.Gör. Çağla Melisa KAYA'ya, bana zamanlarını ayırıp çalışmamda yardımcı olmalarından dolayı teşekkür ediyorum.

Destekleriyle bu tez çalışmasında yardımcı olan, Devlet Su İşleri, Trabzon 22. Bölge Etüt Plan Şube Müdürlüğü Rasatlar Başmühendisliğindeki değerli personeller, meteoroloji mühendisleri Ali Rıza AYDIN ve Hayati AKYÜZ'e, DMİ Genel Müdürlüğü ve Trabzon Meteoroloji Bölge Müdürlüğüne çok teşekkür ederim.

Tez izleme komitesinde bulunan, değerli hocalarım Prof.Dr. Fikri BULUT ve Prof.Dr. Hızır ÖNSOY'a ve tez jürisi olarak tezimi değerlendiren Yrd.Doç.Dr. Osman ÜÇÜNCÜ ve Prof.Dr. Necati AĞIRALIOĞLU'na katkılarından ötürü çok teşekkür ediyorum.

KTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri birimine, maddi desteğinden ötürü teşekkür ederim.

Anneme, Babama, Kardeşlerime, dualarıyla manen sürekli yanımda oldukları ve destekleri, bana verdikleri sıcak yuva ve çektikleri her sıkıntıyı metanetle karşılayıp beni yetiştirdikleri için hadsiz minnettarım.

Ömrümü paylaştığım Eşime, bana destek oluşu, sabrı ve hoşgörüsü için evliliğimin her dakikasınca müteşekkirim. Sıkıldığım zamanlarda bana mutluluk sebebi olan oğullarım Mehmet Emin ve Osman Taha için de, güzellikler ve hayırlarla dolu ömürler diliyorum.

Yukarıda saydıklarım ve bu sayfaları çevirecek olan herkes için, Allah'tan, güzelliklerle dolu bir ömür ve iki cihanda devam eden dostluklar niyaz ediyorum.

Fatih SAKA

Trabzon 2012

## TEZ BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “SENTETİK DEBİ SÜREKLİLİK EĞRİLERİNİN MATEMATİKSEL YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ VE DOĞU KARADENİZ ÖRNEĞİ” başlıklı bu çalışmayı, baştan sona kadar danışmanım Prof.Dr. Ömer YÜKSEK’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.  
24 /01 / 2012

Fatih SAKA

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ .....	III
TEZ BEYANNAMESİ .....	IV
İÇİNDEKİLER .....	V
ÖZET .....	VII
SUMMARY .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	IX
TABLolar DİZİNİ .....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XII
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş .....	1
1.1.1. Tez Konusunun Tanıtımı .....	1
1.1.2. Çalışmanın Gayesi ve Kapsamı .....	3
1.1.3. Tezin Genel Yapısı .....	3
1.2. DSE Hakkında Genel Bilgiler .....	4
1.2.1. DSE'nin Tanımı .....	4
1.2.2. DSE'nin Önemi ve Kullanım Alanları .....	7
1.2.3. DSE'nin Elde Edilmesi .....	9
1.2.3.1. Yeterli Verinin Bulunması Durumunda DSE'nin Elde Edilmesi .....	9
1.2.3.2. Yeterli Verinin Bulunmaması Durumunda DSE'nin Elde Edilmesi .....	10
1.2.3.2.1. DSE'nin Fonksiyonunun Belirlenerek Elde Edilmesi .....	10
1.2.3.2.1.1. DSE'nin Fonksiyonunun İstatistiksel İlişkilerle Belirlenmesi .....	11
1.2.3.2.1.2. DSE'nin Fonksiyonunun Matematiksel Olarak Belirlenmesi .....	12
1.2.3.2.2. Belirli Aşılma Olasılığına Sahip Debilerin Tahmini .....	15
1.2.3.2.3. DSE'nin Alan Oranı Yöntemiyle Belirlenmesi .....	16
1.3. Literatür Taraması .....	17
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	23
2.1. Çalışma Alanının Tanıtılması .....	23
2.2. Çalışmada Kullanılan Veriler .....	25

2.2.1.	Debi Verileri .....	25
2.2.2.	Havzanın Topoğrafik ve İklim Verileri .....	26
2.3.	DSE'nin Matematiksel Fonksiyonlarının Belirlenmesi.....	32
2.3.1.	Ekspansiyel Dönüşümle DSE'nin Fonksiyonlarının Belirlenmesi .....	33
2.3.2.	Logaritmik Dönüşümle DSE'nin Fonksiyonlarının Belirlenmesi.....	33
2.4.	Çoklu Regresyon Modelleri ile Parametrelerin Bölgeselleştirilmesi.....	33
2.5.	Regresyon Analizleri ile Belli Aşılma Oranlarındaki Debilerin Tahmini .....	38
3.	BULGULAR.....	39
3.1.	Kullanılan Veriler .....	39
3.2.	Matematiksel Fonksiyonlara Uydurulan DSE Bulguları.....	41
3.3.	Ekspansiyel Fonksiyona Uydurulan DSE'nin Hataları .....	46
3.4.	Ekspansiyel Fonksiyon Parametrelerinin Havza Özellikleri ile İlişkisi .....	48
3.5.	Belli Aşılma Oranlarına Karşılık Gelen Debi Değerlerinin Regresyon Analizi Bulguları .....	50
4.	İRDELEME .....	52
5.	SONUÇLAR .....	57
6.	ÖNERİLER.....	59
7.	KAYNAKLAR .....	61
8.	EKLER .....	65
Ek 1.	Aşılma Olasılığı %0-%100 Aralığındaki 10 Yıllık Debiler ve Regresyon Denklemleri.....	65
Ek 2.	Aşılma Olasılığı %20-%100 Aralığındaki 10 Yıllık Debiler ve Regresyon Denklemleri.....	72
Ek 3.	Aşılma Olasılığı %30-%100 Aralığındaki 10 Yıllık Debiler ve Regresyon Denklemleri.....	79

ÖZGEÇMİŞ

Doktora Tezi

ÖZET

SENTETİK DEBİ SÜREKLİLİK EĞRİLERİNİN MATEMATİKSEL  
YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ VE DOĞU KARADENİZ ÖRNEĞİ

Fatih SAKA

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof.Dr. Ömer YÜKSEK  
2012, 64 Sayfa, 21 Ek Sayfa

Bu çalışmada, akım verisi bulunmayan veya yetersiz olan havzaların debi süreklilik eğrilerinin (DSE) tahmin edilmesi amacıyla, Doğu Karadeniz'deki 39 adet akım gözlem istasyonunu (AGİ) kapsayan bir model geliştirilmiştir. Her bir AGİ'nin 10 yıllık debi değerleri, koordinat bilgileri ve bölgede bulunan meteoroloji istasyonlarının, sıcaklık, yağış ve koordinat bilgileri temin edilerek drenaj alanlarının sınırları çizilmiştir. Thiessen Metodu kullanılarak havzaların yıllık toplam yağış ve sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Her bir istasyonun %0-100, %20-100 ve %30-100 aşılma oranlarına karşılık gelen debi verilerine logaritmik ve eksponansiyel fonksiyonlar uygulanmış ve regresyon katsayıları elde edilmiştir. Eksponansiyel denklemin katsayıları, her bir AGİ'ye ait topoğrafik ve iklimsel özelliklerle ilişkilendirilmiştir. Topoğrafik özellikler olarak drenaj alanı, drenaj yoğunluğu, toplam akarsu uzunluğu ve akarsu kollarının ortalama eğimi; iklim özellikleri olarak ise, ortalama yıllık toplam yağış yüksekliği ile yıllık ortalama sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Ayrıca %10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 ve 90 aşılma oranlarına sahip olan debi değerlerinin havza özellikleriyle ilişkileri belirlenmiştir. Sonuç olarak, veri ölçümü bulunmayan havzaların debi değerlerinin tahmin edilmesi için gerekli denklemler iki farklı yöntemle tahmin edilmiştir. Her iki yöntemle elde edilen korelasyon katsayılarının yüksek ve denklemlerin rölatif hatalarının kabul edilebilir düzeyde olduğu belirlenmiş ve denklemlerin güvenilir olduğu kanaatine varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Debi Süreklilik Eğrileri, Doğu Karadeniz, Regresyon Analizi

PhD. Thesis

SUMMARY

DETERMINATION OF SYNTHETIC FLOW DURATION CURVES BY USING  
MATHEMATICAL METHODS AND A CASE STUDY IN THE EASTERN BLACK  
SEA

Fatih SAKA

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Civil Engineering Graduate Program  
Supervisor: Prof.Dr. Ömer YÜKSEK  
2012, 64 Pages, 21 Pages Appendix

In this study, in order to estimate flow duration curves (FDC) for basins which have insufficient or unavailable flow data, a model which contains 39 streamflow gaging stations (SGS) in the Eastern Black Sea has been developed. 10 yearly discharge values and location data for each SGS, as well as, temperature, precipitation and location data for meteorological stations have been obtained and drainage areas have been determined. Annual temperature and precipitation values for each SGS were calculated by Thiessen Method. Logarithmic and exponential functions were applied to discharge values corresponding to 0 to 100, 20 to 100 and 30 to 100 percentage exceedance probabilities of each SGS and regression coefficients were obtained. The coefficients of exponential function have been correlated by topographic and climatic parameters of each SGS. Drainage area and density, total stream length and mean slope of tributary values were topographic; and mean annual precipitation height and temperature values were climatic parameters. Discharge values with 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 and 90 exceedance probabilities have also been correlated by topographic and climatic parameters of each SGS. As a result, the equations required to estimate discharge values at ungauged basins have been estimated by using two methods. It has been determined that the correlation coefficients are high and the relative errors are at acceptable levels and it has been concluded that these equations are reliable.

**Key Words:** Flow Duration Curves, Eastern Black Sea, Regression Analysis



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1.	22-06 istasyonunun 2006 su yılındaki debi gidiş çizgisi ve DSE .....5
Şekil 1.2.	İki farklı özelliğe sahip havzanın DSE karşılaştırılması (Patel, 2007).....6
Şekil 1.3.	Debi gidiş çizgisinden DSE elde edilmesi .....9
Şekil 1.4.	Eksponansiyel yoğunluk fonksiyonu ve aşılma olasılığı.....13
Şekil 2.1.	Doğu Karadeniz Havzası .....23
Şekil 2.2.	Çalışma alanındaki 39 adet AGİ'nin drenaj alanları ve akarsu ağlarının görünümü .....24
Şekil 2.3.	Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonları ve Thiessen çokgenleri .....28
Şekil 3.1.	2233 istasyonunun aşılma olasılığı %0-100 olan 10 yıllık günlük ortalama akımlar ve regresyon denklemleri.....42
Şekil 3.2.	2233 istasyonunun aşılma oranları %20-100 olan 10 yıllık günlük ortalama akımlar ve regresyon denklemleri.....44
Şekil 3.3.	2233 istasyonunun aşılma oranları %30-100 olan 10 yıllık günlük ortalama akımlar ve regresyon denklemleri.....46
Şekil 3.4.	%0-%100 aşılma oranları arasındaki debilerin eksponansiyel denkleme göre ortalama mutlak hataları .....47
Şekil 3.5.	%20-%100 aşılma oranları arasındaki debilerin eksponansiyel denkleme göre ortalama mutlak hataları .....47
Şekil 3.6.	%30-%100 aşılma oranları arasındaki debilerin eksponansiyel denkleme göre ortalama mutlak hataları .....47
Ek Şekil 1.	2228, 2202, 22-68 ve 2251 istasyonlarının %0-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri.....65
Ek Şekil 2.	2201, 22-79, 22-06, 22-07, 2213 ve 22-40 istasyonlarının %0-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri .....66
Ek Şekil 3.	2215, 22-57, 22-85, 2218, 22-80 ve 22-82 istasyonlarının %0-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri .....67
Ek Şekil 4.	22-73, 22-63, 22-59, 22-58, 22-44 ve 22-87 istasyonlarının %0-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri .....68
Ek Şekil 5.	22-34, 22-52, 22-53, 22-61, 22-62 ve 22-66 istasyonlarının %0-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri .....69
Ek Şekil 6.	22-72, 22-83, 22-89, 22-90, 22-71 ve 22-88 istasyonlarının %0-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri .....70
Ek Şekil 7.	22-09, 22-13, 22-64 ve 22-76 istasyonlarının %0-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri.....71

Ek Şekil 8.	2228, 2202, 22-68, 2251, 2201 ve 22-79 istasyonlarının %20-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri .....	72
Ek Şekil 9.	22-06, 22-07, 2213, 22-40, 2215 ve 22-57 istasyonlarının %20-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri .....	73
Ek Şekil 10.	22-85, 2218, 22-80, 22-82, 22-73 ve 22-63 istasyonlarının %20-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri .....	74
Ek Şekil 11.	22-59, 22-58, 22-44, 22-87, 22-34 ve 22-52 istasyonlarının %20-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri .....	75
Ek Şekil 12.	22-53, 22-61, 22-62, 22-66, 22-72 ve 22-83 istasyonlarının %20-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri .....	76
Ek Şekil 13.	22-89, 22-90, 22-71, 22-88, 22-09 ve 22-13 istasyonlarının %20-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri .....	77
Ek Şekil 14.	22-64 ve 22-76 istasyonlarının %20-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri .....	78
Ek Şekil 15.	2228, 2202, 22-68, 2251, 2201 ve 22-79 istasyonlarının %30-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri .....	79
Ek Şekil 16.	22-06, 22-07, 2213, 22-40, 2215 ve 22-57 istasyonlarının %30-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri .....	80
Ek Şekil 17.	22-85, 2218, 22-80, 22-82, 22-73 ve 22-63 istasyonlarının %30-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri .....	81
Ek Şekil 18.	22-59, 22-58, 22-44, 22-87, 22-34 ve 22-52 istasyonlarının %30-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri .....	82
Ek Şekil 19.	22-53, 22-61, 22-62, 22-66, 22-72 ve 22-83 istasyonlarının %30-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri .....	83
Ek Şekil 20.	22-89, 22-90, 22-71, 22-88, 22-09 ve 22-13 istasyonlarının %30-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri .....	84
Ek Şekil 21.	22-64 ve 22-76 istasyonlarının %30-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri .....	85

## TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Çalışmada kullanılan AGİ'lerin 10 yıllık gözlem süreleri.....	26
Tablo 2.2. Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının bazı özellikleri.....	29
Tablo 2.3. Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonları sıcaklık değerleri gözlem sürelerinin yıllara göre dağılımı .....	30
Tablo 2.4. Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının yağış değerleri gözlem sürelerinin yıllara göre dağılımı .....	31
Tablo 2.5. $a_{e,0-100}$ parametresinin çoklu regresyon varyans analizi tablosu.....	35
Tablo 2.6. $a_{e,0-100}$ parametresinin çoklu regresyon model özeti.....	35
Tablo 2.7. $a_{e,0-100}$ parametresinin çoklu regresyon katsayılar tablosu.....	36
Tablo 2.8. $a_{e,0-100}$ parametresi ile bağımsız değişkenlerin kısmi korelasyon tablosu .....	36
Tablo 3.1. Çoklu regresyon bağımsız değişkenlerinin tanımlayıcı istatistikleri .....	39
Tablo 3.2. Bu çalışmada kullanılan istasyonlara ait, bazı havza özellikleri.....	40
Tablo 3.3. Aşılma oranları %0-100 olan debi değerlerinin regresyon analizi sonuçları..	41
Tablo 3.4. Aşılma oranları %20-100 olan debi değerlerinin regresyon analizi karakteristikleri.....	43
Tablo 3.5. Aşılma oranları %30-100 olan debi değerlerinin regresyon analizi karakteristikleri.....	45
Tablo 3.6. $a_e$ katsayısının çoklu regresyon denklemi sonuçları .....	48
Tablo 3.7. $b_e$ katsayısının çoklu regresyon denklemi sonuçları .....	49
Tablo 3.8. $Q_{10}$ , $Q_{20}$ ve $Q_{30}$ medyan debilerinin çoklu regresyon sonuçları .....	50
Tablo 3.9. $Q_{40}$ , $Q_{50}$ , $Q_{60}$ , $Q_{70}$ , $Q_{80}$ ve $Q_{90}$ medyan debilerinin çoklu regresyon sonuçları.....	51

## SEMBOLLER DİZİNİ

AGİ	: Akım Gözlem İstasyonu
DSE	: Debi Süreklilik Eğrisi
DSİ	: Devlet Su İşleri
DMİ	: Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
HES	: Hidroelektrik Santral
$A$	: Drenaj alanı
$a_{e,0-100}$	: %0-%100 aşılma olasılığı regresyon denkleminin $a_e$ parametresi
$a_e, b_e$	: Eksponansiyel dönüşümlü regresyon denklemi parametreleri
$a_b, b_l$	: Logaritmik dönüşümlü regresyon denklemi parametreleri
$b_0$	: Çoklu regresyon denkleminin sabit değeri
$b_1, b_2, \dots, b_n$	: Çoklu regresyon denklemi değişkenlerinin katsayıları
$b_{e,0-100}$	: %0-%100 aşılma olasılığı regresyon denkleminin $b_e$ parametresi
$c_0$	: Çoklu eğrisel regresyon denklemi sabiti
$c_1, c_2, \dots, c_n$	: Çoklu eğrisel regresyon denklemi değişkenlerinin katsayıları
$e$	: Örneklem için oluşturulan regresyon denkleminin hata terimi
$k$	: Regresyon sabiti
$L_{top}$	: Toplam akarsu uzunluğu
$p_i$	: i. debinin aşılma olasılığı
$r$	: Korelasyon katsayısı
$r^2$	: Belirleme katsayısı
$R$	: Çoklu korelasyon katsayısı
$R^2$	: Çoklu belirleme katsayısı
$S_{ort}$	: Yıllık ortalama sıcaklık
$s_y$	: Örneklem standart sapması
$Q$	: Ölçülmüş olan debi değerini
$Q_{10}$	: %10 aşılma olasılığı değerine sahip olan debi değerini
$\hat{Q}$	: Tahmin edilen debi değeri
$\bar{y}$	: Örneklem ortalaması

$Y_d$	: Drenaj yoğunluğu
$Y_{top}$	: Yıllık toplam yağış ortalaması
$VAF$	: Varyans artış faktörü
$z_p$	: p aşılma olasılığına sahip standart normal değışken
$q_p$	: p aşılma olasılığına sahip ortalama günlük akım
$\alpha$	: Anlamlılık düzeyi
$\beta_n$	: n. bağımsız değışkene ait regresyon katsayısı
$\varepsilon$	: Anakütle hata terimi
$\mu$	: Anakütle ortalaması
$\sigma$	: Anakütle standart sapması

# 1. GENEL BİLGİLER

## 1.1. Giriş

### 1.1.1. Tez Konusunun Tanıtımı

Nüfusun ve teknolojinin hızla gelişmesi ve büyümesiyle birlikte enerji talebi de giderek artış göstermektedir. Enerji elde etmek için kullanılacak kaynaklar, fosil kaynaklı (petrol, kömür, doğalgaz vb.) ve yenilenebilir (güneş, jeotermal, rüzgâr, hidroelektrik vb.) olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir. Fosil kaynakların hem zamanla azalmaları ve bir gün tükenecek olmaları, hem de çevreye verdikleri zararların gün geçtikçe artması gibi sebeplerle, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi her geçen gün daha da artmaktadır. Hem bu zararlardan korunmak, hem de artan enerji talebini milli ve yerel kaynaklarla karşılayabilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarından en verimli şekilde faydalanılmalıdır. Artan ihtiyaçlarla birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yöneliş, mevcut su potansiyelinin de en elverişli düzeyde kullanılabilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu maksatla, hidroelektrik santrallerin önemi de giderek artmaktadır (Şen, 2002).

Yatırım maliyeti yüksek ve inşaat süresi uzun olan depolamalı hidroelektrik santrallerin yapılması durumunda, projenin yol açacağı olumsuz çevresel ve sosyal etkileri asgari düzeye çekmek için nehir tipi hidroelektrik santral alternatifi gündeme gelmekte ve bu tesisler tüm dünyada giderek yaygınlaşmaktadır. Doğal akışlı hidroelektrik santrallerde, depolama unsurunun olmaması ve düşünün santralin inşa edildiği yerdeki fiziki ve topoğrafik şartlara bağlı sabit bir değer olması sebebiyle, santralden üretilecek elektrik enerjisi miktarı, akarsuda o an var olan akımın bir fonksiyonudur. Dolayısıyla, doğal akışlı bir hidroelektrik santralin kurulu güç ve enerji potansiyelinin belirlenmesinde karşılaşılan en önemli sorun, proje debisinin belirlenmesidir. Düşük debi seçilmesi halinde yılın önemli bir zaman sürecinde enerji üretilen, ancak tesisin gücü ve sonuç olarak elde edilecek enerji miktarı az olacaktır. Tersine, proje debisinin büyük seçilmesi halinde ise tesisin gücü büyük olacak, fakat çalışma süresi az olacağından elde edilecek enerji miktarı az olacaktır; üstelik tesis maliyeti de büyük olacaktır. Burada bir optimizasyon problemi ile karşı

karşıya kalınmaktadır. Bu nedenle, proje sahasındaki debi değerlerinin ne kadar süreyle görülebileceğinin tespiti gerekmektedir.

Özellikle nehir tipi hidroelektrik santrallerin fizibilite çalışmalarının daha etkin yapılabilmesi için, santral kurulması düşünülen her aday yer için debi süreklilik eğrilerinin (DSE) bilinmesi gerekmektedir. Ancak, akım verilerinin yetersizliği veya olmayışı sebebiyle, proje yapılması planlanan yerlere ait sentetik DSE'nin, bölgesel bir değerlendirme ile elde edilmesi gereklidir.

Kullanılacak kayıtların zaman aralığı da kullanım maksadına göre değişmektedir. Ölçüm yapılan bütün debi değerleri kullanılarak DSE çizilebileceği gibi, her yılın değerleri göz önüne alınarak da DSE elde edilebilir. Hidroelektrik santrallerin (HES) planlanması ve projelendirilmesinde, HES'in üretebileceği yıllık enerji miktarı önemli olduğundan dolayı, yıllık debi değerleri ve değişimi göz önüne alınmaktadır.

DSE farklı zaman dilimlerindeki günlük, haftalık, aylık vb. zaman birimleri için oluşturulabilmektedir. Bu zaman birimlerinin seçimi, projeye göre değişmektedir. Özellikle doğal akışlı hidroelektrik santrallerin projelendirilmesinde günlük akarsu akımları önemli olmaktadır.

Bir projenin ekonomik yapılabilirliği ve veriminin doğru olarak tahmin edilebilmesi için, su kaynağında bulunan debinin ihtiyaç duyulan miktarı karşılayıp karşılamayacağını veya ne kadar karşılayacağını tespit edilmesi gerekmektedir. DSE belli bir kesitte, ele alınan zaman aralığında, belli aşılma olasılığına sahip olan debi değerlerinin frekansını göstermekte olduğundan, debi miktarının değişimini belirlemekte kullanılmaktadır.

Akarsu debileri, bazıları tamamen birbirinden bağımsız olan pek çok değişkene bağlı olarak değişmektedir. Birbirinden bağımsız olabilen bu değişkenlerin bir ilişki dahilinde nasıl değerlendirebileceği araştırılarak, hangi tekniklerle verilerin analiz edilebileceği ve debi ölçümleri bulunmayan veya yetersiz olan havzalardaki DSE'nin tespit edilebilmesi için kullanılacak istatistiksel tekniklerin araştırılması gereklidir. Bu tez kapsamında, Doğu Karadeniz Havzası verileriyle regresyon analizleri kullanılarak bölgeselleştirme analizi yapılmış, verisi bulunmayan veya yetersiz olan yerlerde DSE'nin havzanın bazı karakteristikleriyle elde edilmesi araştırılmıştır.

### 1.1.2. Çalışmanın Gayesi ve Kapsamı

Bu çalışmada, debi ölçümleri yetersiz veya bulunmayan yerlerde, DSE'nin tahmini üzerinde durulmuştur. Toplam alanı 24077 km<sup>2</sup> olan Doğu Karadeniz Havzası'nın 17143 km<sup>2</sup>'lik bir kısmında araştırma yapılmıştır. Bu çalışma alanında 39 adet akım gözlem istasyonu (AGİ) seçilmiştir. Bu istasyonlar seçilirken, en az 10 yıllık ölçüm değerlerinin olması, düzenlenmemiş (doğal) akarsu akımına sahip olmaları ve yakınlarında başka bir istasyonun bulunmayışı dikkate alınmıştır. Her istasyona ait 10 yıllık günlük ortalama akım değerleri kullanılmıştır. Bölgenin AGİ ve meteoroloji istasyonlarına ait akım, yıllık toplam yağış ve sıcaklık değerleri ile koordinat bilgileri Devlet Su İşleri (DSİ), Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) ve Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü (DMİ)'den elde edilmiştir.

Tez bölgesinin 1/100000 ve 1/25000'lik standart topoğrafik haritaları kullanılarak, AGİ'ler ve meteoroloji istasyonları NetCAD programı kullanılarak konumlandırılmıştır. AGİ'lere ait drenaj alanları ve akarsu kolları çizilmiştir. Her bir AGİ'ye ait ortalama yıllık toplam yağış miktarı, yıllık ortalama sıcaklık değeri, toplam akarsu uzunluğu, ortalama akarsu eğimi ve drenaj yoğunluğu gibi havza özellikleri de belirlenmiştir.

Ölçüm verisi bulunmayan yerlerde, belli aşılma olasılıklarına karşılık gelen debi değerleri tahmin edilirken iki yöntem kullanılmıştır. Birinci yöntemde, AGİ'lere ait DSE, bir fonksiyon olarak ifade edilmiş ve fonksiyonun parametrelerinin havza özellikleriyle ilişkisi araştırılmıştır. İkinci yöntemde ise belli aşılma olasılığına sahip olan debilerin havza özellikleriyle ilişkisi belirlenmiştir. Böylece, ölçümü bulunmayan yerlere ait günlük ortalama akımların yıllık DSE'si, bazı havza karakteristikleriyle tahmin edilebilmiştir. Bu çalışma, günlük debi değerleri kullanımıyla DSE fonksiyonunun belirlenerek bölgeselleştirilmesi yönteminin Türkiye'de uygulandığı ilk araştırmadır.

### 1.1.3. Tezin Genel Yapısı

Bu tez altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm olan genel bilgilerde, tezin konusu, amacı ve kapsamı hakkında bilgi verildikten sonra, DSE hakkında genel bilgiler verilerek önemi ve kullanım alanları anlatılmıştır. Debi ölçümlerinin bulunması ve bulunmaması durumlarında DSE'nin elde edilmesi maksadıyla uygulanan yöntemler hakkında bilgiler



verilmiştir. Daha sonra da DSE hakkında literatürde yapılmış olan çalışmalardan örnekler verilerek özetlenmiştir.

İkinci bölüm olan yapılan çalışmalarda, tez konusu olan Doğu Karadeniz Havzası ve çalışma alanı tanıtılmıştır. Tezde kullanılan, AGİ'lere ait debi değerleri ile havzanın topoğrafya ve iklim verileri hakkında bilgiler verilmiş, DSE'nin fonksiyonlara uydurulmasında kullanılacak formlar anlatılmış, çoklu regresyon analizleri kullanılarak yapılan bölgeselleştirme analizinin nasıl yapıldığına bir örnek gösterilmiştir. Belirli aşılma olasılıklarının havza karakteristikleriyle ilişkilendirilmesinde kullanılan metodlardan bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde, elde edilen havza karakteristikleri ve matematiksel fonksiyona uydurulan aşılma olasılığı aralıklarına ait bulgular verilmiştir. Eksponansiyel fonksiyonunun kullanılmasıyla elde edilen parametrelerin havza özellikleriyle ilişkisinin bulguları sunulmuştur. Ayrıca, belirli aşılma olasılıklarına karşılık gelen debi değerlerinin, havzaların özellikleriyle çoklu regresyon analizi bulguları gösterilmiştir.

Dördüncü bölümde, çalışmadan elde edilen bulgular irdelenmiş, belirleme katsayıları, tahminin standart hataları, rölatif hatalar, belli aşılma olasılığına sahip debilerin değişimleri ve ortalama değerleri ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Beşinci bölümde, tez çalışmasında yapılan basit eğrisel regresyon ile denklem katsayılarının belirlenmesi, havza özellikleriyle çoklu regresyon ve belirli aşılma oranlarına karşılık gelen debilerin havza karakteristikleriyle ilişkilendirilmesiyle ilgili elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Altıncı bölümde, diğer çalışmalara örnek olması amacıyla ileriki araştırmalar için önerilerden bahsedilmiştir.

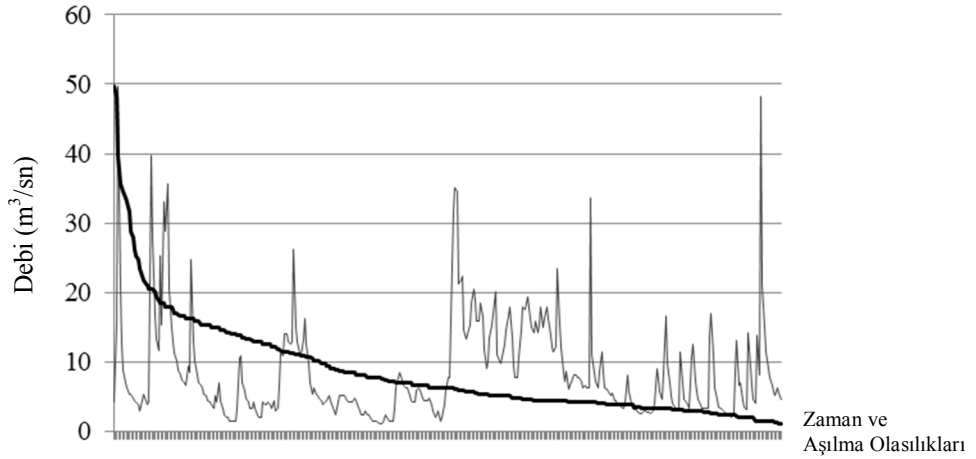
## **1.2. DSE Hakkında Genel Bilgiler**

### **1.2.1. DSE'nin Tanımı**

DSE, her hangi bir AGİ'nin günlük, haftalık, aylık (veya başka bir zaman aralığındaki) akımlarının miktarı ile frekansı arasındaki ilişkiyi tanımlamaktadır. DSE, herhangi bir debinin mevcut veya aşılma zamanının yüzdesini göstermektedir. Bu sebeple su kaynakları mühendisliğinde çok önemli bir yere sahiptir. Bu eğriler yardımıyla hem

belli bir zaman yüzdesinde aşılacak debiler, hem de belli bir debiyeye eşit veya büyük debilerin aşılma ihtimalleri kolaylıkla hesaplanabilmektedir.

DSE, debi gidiş çizgilerinden elde edilmektedir. Debi gidiş çizgisi, seçilen bir zaman birimindeki debi miktarının zamanla nasıl değiştiğini gösteren bir grafikdir. Söz konusu istasyona ait debi gidiş çizgisinden faydalanılarak, debinin belli bir değere eşit veya ondan büyük olduğu zaman yüzdesi hesaplanarak, düşey eksene debiler, yatay eksene zaman yüzdeleri taşınırsa DSE elde edilmektedir (Yüksek ve Üçüncü, 1999). Şekil 1.1’de, 22-06 istasyonu günlük ortalama akımlarının 2006 su yılındaki debi gidiş çizgisini ve bu çizgi verileriyle elde edilen DSE değişimi görülmektedir. DSE’nin altında kalan alan, göz önüne alınan zaman süresince akım gözlem istasyonundan geçen, toplam suyun miktarını göstermektedir (Shaw, 1988).



Şekil 1.1. 22-06 istasyonunun 2006 su yılındaki debi gidiş çizgisi ve DSE

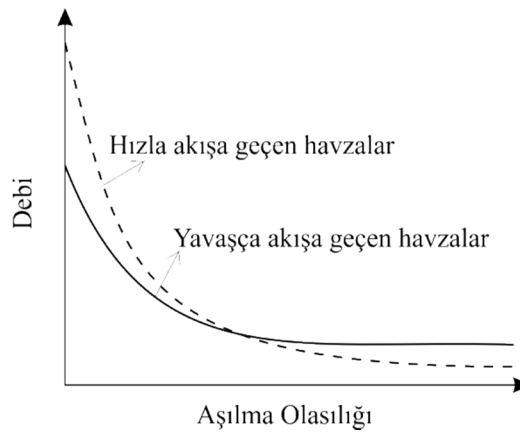
Hidrologlar, su mühendisliğindeki pek çok problem için, belli akarsu akımlarının bulunma sıklığını veya aşılmasının beklendiği zaman uzunluklarını belirlemek isterler (Shaw, 1988).

DSE’nin ilk kullanımı, yaklaşık olarak 1880 yılında Clemens Herschel’e atfedilmektedir. DSE oluşturulurken, iki farklı yol kullanılmaktadır. Bunlar grafik (parametrik olmayan) ve analitik (parametrik) yöntemlerdir. Analitik yöntemlerde, günlük ortalama debi değerlerinin, özellikle aşılma olasılığı  $p = 0.5 - 0.99$  aralığı için, lognormal dağılım gösterdiği kabul edilmekte ve lognormal dağılımın parametreleriyle elde

edilmektedir. Ancak pekçok çalışmada, bu yöntem yerine grafik yöntem tercih edilmektedir (Fennessey ve Vogel, 1990).

DSE kullanılarak, bir akarsu ağının süreklilik karakteristikleri belirlenmektedir. Ancak, DSE oluşturmada kullanılacak debiler, sayısal olarak türetilmektedir. Dolayısıyla, türetmede göz önüne alınan zaman aralığı, DSE'nin şeklini etkilemekte ve günlük ile aylık veya diğer zaman birimlerindeki DSE birbirinden farklı olmaktadır. Çalışmanın önemine göre, hangi aralığın kullanılacağı da farklılık göstermektedir. Sonuçta, iklimsel ve topolojik pekçok değişkene bağımlı olan debilerin, gelecek için tahmini, belli hata olasılıklarını barındırmaktadır. Ayrıca, çalışmanın yapılacağı zaman aralığına göre, debi verilerinin özellikleri de değişmektedir.

DSE, kayıt süresi boyunca ölçülen bütün debi değeri kullanılarak oluşturulabildiği gibi, her bir yıl için ayrı ayrı DSE de çizilebilmekte ve bunlar, yıllık DSE olarak isimlendirilmektedir. Tüm kayıt süresi göz önüne alındığında, ölçülen debilerin tümü ele alınmakta ve her aşılma olasılığına karşılık tek bir değer görülmektedir. Yıllık debi süreklilik eğrilerinde ise, bir istasyonun her aşılma ihtimaline karşılık, ele alınan her yılın aynı aşılma olasılığına sahip debilerinin medyan değeri işaretlenmektedir. Böylece, kayıt süresince görülmüş, kurak veya ıslak yıllardan dolayı meydana gelen anormal değişimlerden etkilenmemiş olmaktadır. Ayrıca yıllık DSE, akarsu akımındaki yıldan yıla olan değişimleri görebilmeyi sağlamaktadır. Yıllık DSE, medyan değerine göre güven aralıklarının ve farklı yıllara ait DSE değerlerinin tekerrür periyotlarının belirlenebilmesine de, imkan sağlamaktadır (Castellarin vd., 2007).



Şekil 1.2. İki farklı özelliğe sahip havzanın DSE karşılaştırılması (Patel, 2007)

DSE'nin şekli de, akarsu ve havza hakkında bilgiler vermektedir. Şekil 1.2'de görüldüğü gibi, düze daha yakın olan havzalar, taşkın riskleri düşük ve daha fazla yeraltı suyu kaynağına sahiptir. Oysa, daha dik olan DSE, havzaya gelen suları, daha hızlı bir şekilde akışa geçiren bir yapıyı ve düşük miktarda olan yeraltı suyu miktarını göstermektedir (Wisler ve Brater, 1959).

DSE'den elde edilen bilgilerin güvenilirliği iki etmeden etkilenmektedir. Bunlardan ilki, ölçüm yapılan noktalardaki gözlemlerin güvenilirliği, ikincisi ise DSE'nin çizilmesinde kullanılan akarsu verilerinin gerçek akım değerlerini ifade edebilmekteki kabullerle ilgili olan hatalardır. Herhangi bir uzunluktaki veri kayıtları kullanılarak DSE elde edilebilmektedir. Bir DSE, farklı mevsimlerin veya yılların karşılaştırılması içinde kullanılabilir (Copestake ve Young, 2008). Daha uzun kayıtlar örnekleme hatalarını azaltmaktadır. Kısa kayıtlarla çalışırken, çok nemli veya kuru yıllardan etkilenmeler fazla olabilmektedir. Yapılan çalışmalar örnekleme hatalarının minimize edilmesinde 6 ve 10 yıllık kayıt verilerinin,  $Q_{95}$  debi süreklilik istatistikleri için, gerekli olduğunu göstermiştir. Elde edilen debi süreklilik istatistikleri, hidroelektrik tasarım için tüm yıl boyunca ortalama günlük debilerin çözümlenmesini önermektedir (Young, 2002).

### 1.2.2. DSE'nin Önemi ve Kullanım Alanları

DSE, su kaynaklarının geliştirilmesiyle ilgili pekçok çalışmada; sulama sistemlerinin planlanması ve projelendirilmesi, akarsu kirliliğinin yönetimi, akarsu ve baraj haznelerinde meydana gelebilecek sedimantasyon ve erozyon çalışmalarında kullanılmaktadır. DSE özellikle, depolamasız hidroelektrik santrallerin planlama ve projelendirme aşamalarında çok önemli bir yere sahiptir (Vogel ve Fennessey, 1994). Ayrıca, akarsu akımlarının frekanslarıyla ilgili su kaynakları planlama ve tasarım çalışmalarında, büyük ve küçük akımlar, medyan ve ortalama akımlarla ilgili araştırmalarda da DSE'nin bilinmesi gerekmektedir (LeBoutillier ve Waylen, 1993a).

Ayrıca DSE, hidrolojik açıdan, hem taşkına sebep olan yüksek, hem de kurak zamanlardaki düşük debilerin değişimini de göstermektedir. Akarsulardaki sucul yaşamın devam edebilmesi ve maruz kaldığı atıklara karşı, kendini temizleyebilmesinin sürdürülebilmesi çok önemlidir. Bu maksatla kullanılan, 10 yıllık günlük debi

değerlerinden en düşük olan 7 tanesinin ortalama değeri, DSE yardımıyla elde edilebilmekte ve araştırılmaktadır.

Gerek depolamalı ve gerekse de doğal akışlı (nehir tipi) hidroelektrik santrallerin planlanmasında ve su temini gibi, temelde depolanacak su miktarı ile ilgili olan projelerin ön çalışmalarında DSE'nin kullanılması oldukça yararlı olmaktadır. Ayrıca, akarsu kirliliği yönetimi ile ilgili (Searcy, 1959) ve akarsu ve baraj haznelerindeki sedimantasyon ve erozyon çalışmalarında (Richards, 1982) da kullanılmaktadır. DSE'nin farklı kullanım alanlarının geniş bir özeti, Vogel ve Fennessey (1995)'de bulunmaktadır. Kanada (LeBoutillier ve Waylen, 1993b), Yunanistan (Mimikou ve Kaemaki, 1985), Hindistan (Singh vd., 2001), İtalya (Franchini ve Suppo, 1996), Tayvan (Yu vd., 2002), Filipinler (Quimpo vd., 1983), Portekiz (Croker vd., 2003), Güney Afrika (Smakhtin vd., 1997) ve Amerika (Fennessey ve Vogel, 1990) gibi ülkelerde yapılmış bölgeselleştirme çalışmaları da literatürde görülmektedir. Yine DSE yardımıyla, düşük akımların ve taşkın riskine sebep olabilecek akımların tümünün değerlendirilmesi ve beraber görülebilmesine imkan olmaktadır. Bu sebeple, hidrolojinin en bilgi verici eğrilerinden biridir (Smakhtin, 2001).

DSE yardımıyla, enerji hesaplamaları da yapılabilmektedir. Genelde, nehir tipi hidroelektrik santrallerin kapasitesinin belirlenmesi için %20 veya %30 aşılma olasılığına sahip olan debi değerleri uygun olabilmektedir. Sulama sistemleri yapılarını da içinde barındıran hidroelektrik yapılarda ise %10 veya %20 aşılma oranlarına sahip olan debi değerleri de uygunluk gösterebilmektedir (Heitz, 1981).

Nehir tipi santrallerde depolama olmadığından, proje debisinin seçimi önemli bir faktördür. Debi süreklilik eğrisinde aşılma ihtimali az olan (% 1–10) arasındaki debiler HES planlanmasında genellikle dikkate alınmamaktadır. Benzer şekilde aşılma ihtimali yüksek olan (%90–99) küçük debiler ise genellikle taban (baz) akımını temsil etmektedir ve HES'den elde edilecek sabit (firm) enerjiyi üretmekte önemlidir. Aşılma ihtimali %10–90 arasındaki debiler ise projelendirmede daha çok dikkate alınmaktadır (Yanık, 2004).

Debi süreklilik eğrileri oluşturulurken, günlük, haftalık, aylık veya yıllık debi değerlerinden faydalanılabilmektedir. Yıllık debi değerleri, genel olarak hidrolojik süreçlerin iklim gibi diğer bazı etmenlerle ilişkilerini irdelemek ve büyük su biriktirme sistemlerinin işletilmesi ve planlanması, fayda, maliyet ve risk analizleri için kullanılmaktadır. Aylık debi değerleri daha çok, seri parametrelerdeki mevsimlik değişimlerin, su temini ve hidroelektrik enerji üretimindeki riskli devreler olan kurak mevsimlerin incelenmesi maksadıyla kullanılmaktadır; depolamasız hidroelektrik tesislerin

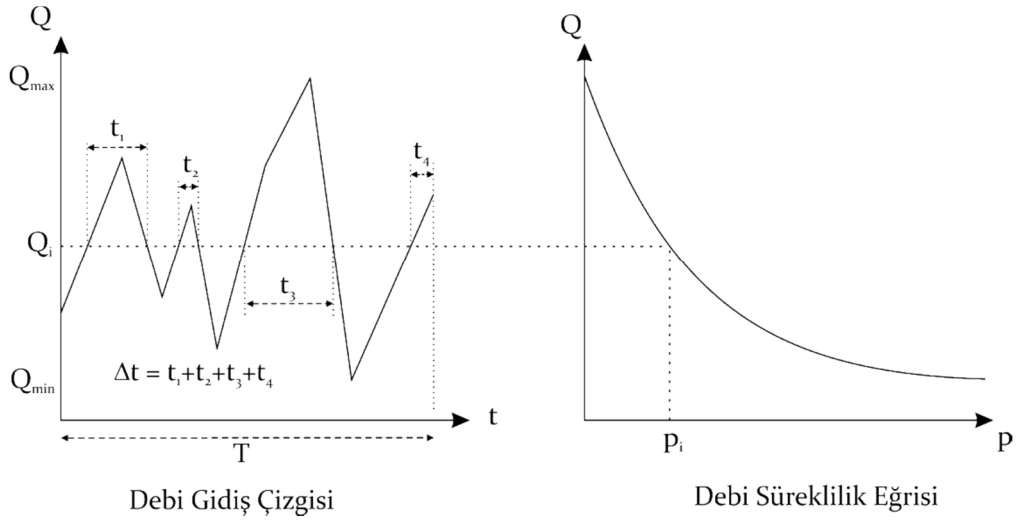
projelendirilmesinde ise günlük ortalama debi değerlerinden yararlanılmaktadır (Cıgızoğlu, 1997).

### 1.2.3. DSE'nin Elde Edilmesi

Aşağıda, akım ölçümleri bulunan yerlerde DSE'nin elde edilişi anlatıldıktan sonra, yeterli debi ölçümü bulunmayan veya yetersiz olan yerlerde DSE'nin nasıl tahmin edilebileceği konuları anlatılmıştır.

#### 1.2.3.1. Yeterli Verinin Bulunması Durumunda DSE'nin Elde Edilmesi

DSE bir ölçüm istasyonuna ait debi gidiş çizgisindeki akım değerlerinin, aşılma olasılığını göstermektedir. Şekil 1.3'de görülen  $p_i$  aşılma olasılığı, aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.



Şekil 1.3. Debi gidiş çizgisinden DSE elde edilmesi

$$p_i = \frac{\Delta t}{T} \quad (1.1)$$

Burada,

$\Delta t$ :  $Q_i$  debisinin ele alınan zaman biriminde görülebildiği zamanı,

$T$ : Ele alınan zaman birimini (ay, yıl vb.),  
 $p_i$ :  $Q_i$  debisinin aşılma olasılığını göstermektedir.

DSE elde edilirken, grafik yöntem sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemde verilerin sıralanma numaraları belirlenmektedir. Debiler büyükten küçüğe doğru dizilmekte ve aşılma ihtimali, Weibull (1939)'un aşağıdaki formülüyle hesaplanmaktadır.

$$p_i = i / (n + 1) \quad (1.2)$$

Burada,

$i$ : Sıralanmış debilerin sıra numarasını

$n$ : Toplam veri sayısını

$p_i$ :  $i$ . debinin aşılma olasılığını göstermektedir.

### 1.2.3.2. Yeterli Verinin Bulunmaması Durumunda DSE'nin Elde Edilmesi

Yeterli debi ölçümü bulunmayan yerlere ait akım verilerinin tahmin edilebilmesi için, zaman serisi analizleri, bulanık mantık, yapay sinir ağları ve regresyon denklemleri kullanılabilir. Biz bu bölümde, verisi bulunmayan yerlerdeki DSE'nin elde edilmesi uygulamalarını, üç grupta anlatacağız. Bunlardan ilki, DSE'nin fonksiyonunu belirlemek için kullanılan yöntemler, ikincisi belirli aşılma ihtimallerindeki akım verilerinin regresyon analizleriyle elde edilmesi yöntemi, üçüncüsü ise yaygın olarak kullanılan alan oranı yöntemidir.

#### 1.2.3.2.1. DSE'nin Fonksiyonunun Belirlenerek Elde Edilmesi

Günlük ortalama akımların büyükten küçüğe dizilmesiyle elde edilen DSE, artan aşılma oranlarına karşılık, azalan bir grafik göstermektedir. DSE'nin bu genel şekline uygun bir fonksiyon belirlenmesiyle, aşılma oranlarına göre debi değerlerinin değişimi ilişkilendirilmiş olmaktadır. bu ilişkilendirme işlemi başlıca iki ana başlığa ayrılabilir. Bunlardan ilki, debi değerlerinin bir dağılıma uygunluğu araştırılarak, dağılım fonksiyonuyla ifade edilmesidir ve istatistiksel ilişkilerle DSE'nin fonksiyonunun

belirlenmesi olarak isimlendirilebilir. Diğeri ise, DSE'nin genel şekline uygun olan matematiksel bir fonksiyonun tespit edilmesidir.

Bir istasyona ait gözlem değerleri ele alınırken, kayıt süresi boyunca ölçülen debi değerleri bir bütün olarak ele alınabildiği gibi yıllık değişimlerin de göz önüne alındığı çalışmalar yapılmaktadır. Yıllık DSE kullanılırsa, aşılma olasılığına karşılık gelen debiler, olasılıklı hale gelmektedir (Niadas ve Mentzelopoulos, 2008). Böylelikle, DSE'deki aşılma oranlarına karşılık gelen debi değerleri, tek bir değer olmamaktadır. Örneğin, 10 yıl ölçüm değeri bulunan bir istasyonda, 3650 adet değer vardır. Yıllık DSE'nin kullanılması durumunda, her aşılma olasılığına karşılık gelen 10 adet debi değeri görülebilmektedir. Ayrıca, senede sadece bir kez görülebilecek ve aşılma olasılığı çok düşük olan bir debi değeri, bütün kayıt değerleri ele alındığında, daha yüksek bir aşılma olasılığına karşılık gelebilmektedir. Dolayısıyla, ele alınan zaman biriminin göz önünde bulundurulması, yapılacak çalışmalar için çok önemlidir.

#### 1.2.3.2.1.1. DSE'nin Fonksiyonunun İstatistiksel İlişkilerle Belirlenmesi

Her bir debi değerine karşılık gelen aşılma oranlarının elde edilmesi durumunda yapıldığı gibi, debilerin birbirinden bağımsız olduğu durumlarda, debi süreklilik karakteristikleri tek bir olasılık dağılımı ile modellenebilir. Verilere uydurulabilecek pekçok dağılım mevcuttur. Örneğin, günlük akarsu akımları genelde lognormal bir dağılım gösterebilir ancak bazen diğer dağılımlara da uygun olabilmektedir. Bu durumda, uygun bulunan dağılımın parametreleri (ortalama ve standart sapma gibi) belirlenmektedir. Daha sonra, bu değişkenler, ölçümü yapılan akarsuyun bilinen özellikleriyle ilişkilendirilir. Böylece, ölçümü olmayan alanların DSE'si, jeomorfolojik ve iklim özellikleri yardımıyla temin edilebilir.

Bu çalışmalara bir örnek olarak, Fennessey ve Vogel (1990) tarafından  $0.50 \leq p \leq 0.90$  aralığı için yapılan araştırma gösterilebilir. Çalışmada, aşağıda genel şekli görülen iki parametrelili log-normal frekans dağılımı kullanılmıştır:

$$p = P(Z > z_p) = 1 - (2\pi)^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{z_p} \exp\left(-\frac{1}{2}x^2\right) dx \quad (1.3)$$



$$z_p = [\ln(q_p) - \mu]/\sigma \quad (1.4)$$

Burada,

$z_p$ : p aşılma olasılığına sahip standart normal değişkeni,

$q_p$ : p aşılma olasılığına sahip olan ortalama günlük akımı,

$\mu$ : Ortalama günlük akımların logaritmalarının ortalamasının gerçek değeri,

$\sigma$ : Günlük akarsu akımları ortalaması logaritmasının gerçek standart sapma değerini göstermektedir.

Yazarlar geniş bir alanda çalışma yaparak, kalıntıların karelerinin toplamını minimum yapacak şekilde  $\sigma$  ve  $\mu$  değerlerini tahmin etmişlerdir. Daha sonrasında bu değerleri, verisi bulunan havza değerleriyle bölgeselleştirmişlerdir (Castellarin vd., 2004).

#### 1.2.3.2.1.2. DSE'nin Fonksiyonunun Matematiksel Olarak Belirlenmesi

Olasılık teorisi kullanılarak, herhangi bir debi değerinin bir aşılma değerinden büyük olma olasılığı aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$F(x_i) = \int_{-\infty}^{x_i} f(x) dx \quad (1.5)$$

Burada,

$F(x)$  : x'in kümülatif olasılık dağılım fonksiyonu (olasılık  $(X < x_i)$ ).

$X$  : Rastgele değişken

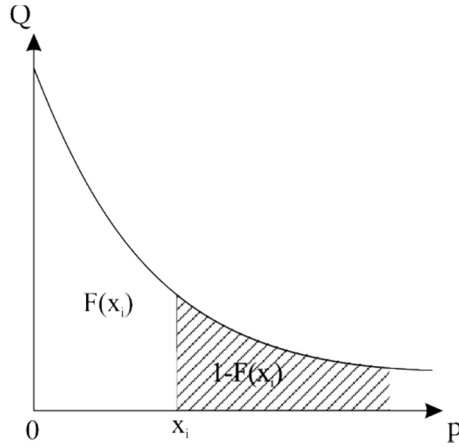
$x_i$  : Aşılma olasılığıdır.

$$Olasılık(X \geq x_i) = 1 - Olasılık(X < x_i) \quad (1.6)$$

Yukarıdaki iki olasılık durumu birleştirildiğinde:

$$Olasılık(X \geq x_i) = 1 - F(x_i) \quad (1.7)$$

yazılır. Herhangi bir değerin, aşıma olasılığından büyük gelme olasılığı, yukarıdaki eşıtliliğin sağ tarafında görölen  $F(x)$  fonksiyonunun kuyruk davranışına bağlı olmaktadır (Şekil 1.4). Bu yüzden, DSE'nin matematiksel formu  $F(x)$ 'in matematiksel formuna bağlı olmaktadır.



Şekil 1.4. Ekspansiyel yoğunluk fonksiyonu ve aşıma olasılığı

DSE'nin genel şekline ve kuyruk fonksiyonuna uyabilecek olan bazı matematiksel formlar, Quimpo vd. (1983)'de aşağıda gösterildiği şekilde ifade edilmektedir.

$$1 - F(x_i) = \tau \cdot \exp(\lambda \cdot x_i) \quad (1.8)$$

$$1 - F(x_i) = v \cdot x_i^\beta \quad (1.9)$$

Burada,

$\tau$ ,  $v$ ,  $\lambda$ ,  $\beta$ : Sabitlerdir.

DSE'nin genel hali de düşünölererek, yukarıda genel halleri verilen ekspansiyel ve üssel fonksiyonların  $\lambda$  ve  $\beta$  parametrelerinin negatif değer olacağı bilinmektedir. Sonuç olarak, DSE'yi parametreleştirmede kullanılabilcek yukarıdaki denklemler aşağıdaki şekilde ifade edilebilmektedir.

$$\hat{Q} = a \cdot \exp^{-b \cdot x} \quad (1.10)$$

$$\hat{Q} = c \cdot x^{-d} \quad (1.11)$$

Burada,

$\hat{Q}$  : Havzada  $x$  değerine karşılık gelen, regresyon denklemiyle hesap edilen debi,

$x$  : Ele alınan zaman aralığındaki aşılma olasılığı,

$e$ : Fiili ordinat ile teorik (regresyon denklemi ile tahmin edilen) ordinat arasındaki fark, hata,

$a, b, c, d$  : Pozitif sabitleri göstermektedir (Quimpo vd., 1983).

Literatürde, Franchini ve Suppo (1996), günlük akımları modellerken, parametreleştirme çalışmalarında, matematiksel yaklaşımları düşünmüştür. Günlük akımların, %30'dan daha yüksek aşılma olasılığına karşılık gelen değerlerini kullanmış ve aşağıdaki üç parametrelili matematiksel ifadenin uygunluğunu araştırmıştır.

$$\hat{Q} = c + a(1 - x)^b \quad (1.12)$$

Burada,

$a, b, c$  : Sıfırdan büyük olan parametreleri göstermektedir.

Mimikou ve Kaemaki (1985), bir kaç matematiksel ifadeyi ele almışlardır. Aylık DSE'yi, aşağıdaki matematiksel ifadeye uydurmuşlardır. Sonuçta, kullanılan dört parametreyi, havzaların ortalama yıllık yağış, drenaj alanı, hipsometrik düşme ve ana akarsu uzunluğuyla regresyon ederek bölgeselleştirme çalışması yapmışlardır.

$$\hat{Q} = a - bx + cx^2 - dx^3 \quad (1.13)$$

Burada,

$a, b, c, d$ : Parametrelerdir.

Bu veya benzeri DSE'yi parametreleştirmek amacıyla düşünülen denklemlerin, verilerle en küçük kareler regresyonu sonucunda, en yüksek belirleme katsayısı ( $r^2$ ) değerine karşılık gelen ve hatalarını düşük veren denklemler arasında değerlendirme yapılmaktadır.

Daha sonra elde edilen denklem katsayıları (parametreleri), havza karakteristikleriyle ilişkilendirilmektedir. Burada çoklu regresyon denklemlerinin güvenli olması için, bölgede yeterli sayıda AGİ'nin verilerinin bulunmasına dikkat edilmelidir.

### 1.2.3.2.2. Belirli Aşılma Olasılığına Sahip Debilerin Tahmini

Bu kısımda, debi süreklilik eğrilerinin modelleme işlemi yerine, belli aşılma oranlarına sahip olan debilerin regresyon analizleri yapılmaktadır. Debi değerleri bulunan alanların içindeki proje alanlarına ait debi değerlerinin tahmin edilmesinde çoklu regresyon denklemleri de kullanılmaktadır. Bölgede ölçülmüş, belli aşılma olasılığına sahip debi değerlerinin, havzanın jeomorfolojik ve iklim karakteristikleri ile regresyonu yapılmaktadır. Kullanılan jeomorfolojik veriler arasında, havza alanı, çevresi, eğimi, alan/çevre oranı ve yüksekliği sayılabilir. İklim verileri ise, sıcaklık, yağış, buharlaşma ve kara ait ortalama ve standart sapma gibi istatistik özelliklerin yanında, bunların yıllık ve aylık değişimleri sayılabilir. (Tübitak Müh. Araş. Grubu, 2009). Yıllık belli aşılma olasılığına sahip olan debilerin ele alınarak bölgeselleştirilmesi ile ilgili daha geniş bilgiye, Beşiktaş (2010) kaynağından ulaşılabilir.

Uygulamadaki çoklu regresyon doğrusal bir ilişki ile ifade edilebiliyorsa, aşağıda genel hali görüldüğü şekilde ifade edilmektedir.

$$\hat{Q} = k + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 \dots \beta_n X_n \quad (1.14)$$

Çoklu regresyon ilişkisi eğrisel bir şekilde ifade edilecekse, aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\hat{Q} = k X_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} \dots X_n^{\beta_n} \quad (1.15)$$

Burada,

$\hat{Q}$ : Ele alınan aşılma yüzdesine karşılık, regresyon denklemi ile hesaplanan debiyi,

$k$ : Regresyon sabitini,

$\beta_n$ :  $n$ . bağımsız değişkene ait regresyon katsayısını,

$X_n$ :  $n$ . bağımsız değişkenini göstermektedir.

Regresyon değişkenleri ve sabitinin güvenilir olarak elde edilebilmesi için 20 veya daha fazla veri setinin bulunması gerekmektedir (Raghunath, 2006).

### 1.2.3.2.3. DSE'nin Alan Oranı Yöntemiyle Belirlenmesi

Akım ölçüm değerleri olmayan veya eksik/yetersiz olan yerlerdeki debi süreklilik eğrilerinin elde edilmesinde, günümüze kadar uygulanan genel yaklaşım, aynı veya komşu havzalardaki mevcut akım verilerinden yararlanarak eksikliklerin giderilmesi ve buna göre bu eğrilerin elde edilmesi şeklindedir. Proje yapılması planlanan yerdeki akımların tahmin edilebilmesi amacıyla, aynı havzada bulunan ve en az 10 yıllık ölçüm verisine sahip bir bölge ile proje yapılması planlanan yerde ölçülmüş kısa süreli debi ölçümleri arasında korelasyon yapılabilmektedir. Bu yöntem uygulanırken; ölçüm istasyonuna ait, en az 10 senelik verilerle her senenin DSE'si çizilir ve ortalaması elde edilir. Daha sonra aynı tarihlerde, proje sahasına kurularak rastgele ölçümlerle elde edilen debi değerleri ile ölçüm istasyonundan elde edilen debi değerleri arasında bir korelasyon kurulur. Elde edilen ilişki yardımıyla, ölçüm istasyonunun ortalama DSE'nin verileri, proje sahasına ait DSE verilerine dönüştürülür.

Bu yaklaşımlar ancak belirli düzeyde akım verilerinin mevcut olması ve eksik verilerin tamamlanması amacıyla kullanılırken, verinin hiç olmaması halinde böyle bir analizin yapılma imkânı bulunmamaktadır. Bu durumda, aşağıda genel şekli ifade edilen, havza drenaj alanı oranlarına dayalı yöntem ise kaba bir yaklaşımdan öteye gidememektedir (Yanık, 2004).

$$Q_{tesis} = Q_{istasyon} \left( \frac{A_{tesis}}{A_{istasyon}} \right)^C \quad (1.16)$$

Burada,

$Q_{tesis}$ : Tesisin inşa edileceği yerin debilerini

$Q_{istasyon}$ : AGİ'nin debilerini

$A_{tesis}$ : Tesis alanını

$A_{istasyon}$ : AGİ'nin alanını

$c$ : 0.6 ile 1.2 arasında değişen bir katsayıyı göstermektedir.

Gulliver ve Arnd (1991),  $c$  değerinin seçimi ile ilgili olarak aşağıdaki yaklaşımların kullanılabileceğini belirtmiştir.

$$0.8 \leq \frac{A_{tesis}}{A_{istasyon}} \leq 1.2 \text{ ise } c = 1 \quad (1.17)$$

$$0.5 \leq \frac{A_{tesis}}{A_{istasyon}} \leq 1.5 \text{ ise,} \quad (1.18)$$

tesisin inşa edileceği yerin yakınında iki akım gözlem istasyonu bulunması durumunda istasyon değerleri arasında ağırlıklı ortalama alınmak suretiyle doğrusal enterpolasyon uygulanması önerilmektedir.

Bu yöntem, sadece sınırlı bir alanda eksik verilerin giderilmesi ve hidroelektrik potansiyelin belirlenmesi hedefine yönelik bir uygulama olabilmektedir. Büyük bir bölge veya ülke ölçeğinde hidroelektrik potansiyelin belirlenmesi ve planlamasına yönelik uygulamanın gündeme gelmesi halinde, bu yöntem ve yaklaşımların hem uygulanması zordur, hem de sonuçları yeterli düzeyde güvenilir olmamaktadır. İşte burada havza veya bölge ölçeğinde debi süreklilik eğrilerinin güvenilir şekilde elde edilmesinin önemi ortaya çıkmaktadır.

### 1.3. Literatür Taraması

Heitz (1981), su kuvveti uygulamalarının hidrolojik analiz kısımlarının ana esaslarını araştırmış, özellikle verisi olmayan düzensiz akarsulardaki debi süreklilik eğrilerinin tahmini üzerinde durmuştur. Verisi bulunmayan bölgelerdeki sentetik debi süreklilik eğrilerinin elde edilebilmesi için uygulanan üç yöntemin, yıllık ortalama akım değerine

bağlı olduğu ve bu akım değerinin ise, normal yıllık yağış verileriyle tahmin edilebildiği gösterilmiştir. Düzenlemeye tabi tutulmuş akarsuların bulunduğu bölgelerde, verisi bulunmayan yerlerdeki debi süreklilik eğrilerinin tahmini üzerinde de durulmuştur. Ayrıca DSE kullanılarak, güç ve enerji hesaplamalarının nasıl yapıldığı da araştırılmıştır.

Quimpo vd. (1983), Filipinler'de, verisi bulunmayan, küçük ölçekli hidroelektrik potansiyelli bölgelerde, mevcut olan su miktarının tahmini için bir bölgeselleştirme tekniği kullanmışlardır. Çalışmalarında, ülkeyi 12 bölgeye ayırdıktan sonra, en az 8 yıl verisi olan, 35 adet akım gözlem istasyonundan faydalanmışlardır. Eksponansiyel ilişkilerle bulunan parametrelerden birisinin coğrafi değişimi, takımadaları içine alacak biçimde haritalanmıştır. Diğer parametre de, regresyon kullanılarak drenaj alanının bir fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. Bu haliyle, bölgeselleştirilmiş harita ve regresyon denklemi, verisi bulunmayan bir alana ait debi süreklilik eğrisinin, sentezlenerek bulunmasında kullanılmıştır.

Fennessey ve Vogel (1990), Massachusetts'deki 23 adet ölçüm verileri bulunan havzalar için bölgesel bir DSE modeli yapmışlardır. %50-%100 aşılma olasılığı aralığındaki günlük ortalama akım verileri lognormal olasılık dağılım fonksiyonuna uydurulmuştur. Daha sonra ilgili dağılım parametreleri jeomorfolojik değişkenlerle bölgeselleştirilmiştir. Drenaj alanı ve yüksekliğin, dağılım parametrelerinin en iyi tahmin edicileri oldukları gösterilmiştir. Bu model, iklim olarak benzer, fakat veri ölçümleri bulunmayan alanlarda, akarsu debilerinin tahmininde, DSE'nin pratik bir uygulamasını sunmuştur.

Fennessey (1994), Amerika'nın kuzeydoğusunda, 166 adet düzenlenmemiş akarsuyun günlük akımlarını kullanarak, bütün gözlem süresince ve yıllık medyanlar kullanılarak oluşturulan debi süreklilik eğrilerini araştırmıştır. Her iki debi süreklilik eğrisi de, üç parametrelili lognormal veya genelleştirilmiş pareto dağılımlarıyla tanımlanabilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, genelleştirilmiş pareto dağılımının en uygun dağılım olduğuna karar vermiştir. İklim ve havza karakteristikleri kullanılarak, genelleştirilmiş pareto dağılımının parametrelerinin her biri için, bölgesel regresyon denklemleri türetilmiştir. Bu bölgesel denklemler, ortalama yıllık yağış ve sıcaklığı içerdiğinden dolayı, veri ölçümü bulunan ve bulunmayan bölgelerdeki iklim değişikliklerinin debi değerleri üzerindeki etkisi de anlaşılabilir. Daha karmaşık olan yağış akış modellemelerinden daha iyi tahminler verdiğini gözlemlemiştir.

Cıgızoğlu (1997), akarsu akımları süreklilik çizgilerinin kullanım alanları ve önemi üzerinde durmuş, debi süreklilik çizgisini etkileyen bileşenleri araştırmış ve bu bileşenlerin debi süreklilik çizgisi üzerindeki etkisini incelemiştir. Debi süreklilik çizgisinin akım modelleri ile ilgisi incelenmiş ve bir akım modeli verildiğinde süreklilik çizgisinin elde edilebilmesi için algoritmalar geliştirilmiştir. Daha sonra süreklilik çizgisinin analitik yoldan elde edilmesi ile ilgili yöntemler geliştirilmiştir.

Kjelstrom (1998), Idaho merkezinde seçilmiş yineleme aralıklarındaki taşkın debilerini ve günlük ortalama debilerini tahmin eden metotları kullanırken, alandaki akarsu gözlem istasyonlarının verilerini kullanmıştır. Verileri ölçülmemiş drenaj havzalarından gelen debilerin alan ve mevsimlik değişimlerinin, her ayda %20, 50 ve 80 aşılma ihtimali olan günlük ortalama debilerin tahmin edilmesiyle tanımlanabileceği gösterilmiştir. 73 adet ölçüm istasyonunun ortalama aylık debileri her ay için günlük ortalama debi süreklilik eğrilerinden üç noktadaki (20, 50 ve 80) akış değerleriyle ilişkilendirilmiştir. Çalışma alanı 6 bölüme ayrılarak regresyon analizleri yapmıştır.

Yu ve Yang (2000), ölçüm yapılamamış alanlarda, yağış-akış modelinin kalibrasyonu için bir strateji ileri sürmüşlerdir. Bu strateji iki ana bileşenden meydana gelmektedir. Bunlardan ilki, ölçüm yapılamamış alanlarda debi süreklilik eğrilerinin sentezlenebilmesi için bölgesel analiz metodunun geliştirilmesi ikincisi ise model kalibrasyonu için sentezlenmiş debi süreklilik eğrilerinden faydalanılmasıdır. Çalışmanın sonuçları, ölçülememiş alanlarda model kalibrasyonu için bölgesel debi süreklilik eğrisi ve stratejisinin çalışma alanında iyi performanslı olduğunu göstermiştir.

Morales (2001), erozyon kontrol programları, akarsu erozyonları, sedimentasyonu ve taşmalarına alternatif çözüm yolları bulmak amacıyla, havzada ölçülmüş debi verileri kullanılarak verileri ölçülmemiş benzer havzalarda akımların tahmin edilebilmesi için hidrolojik modeller geliştirmiştir. Bu amaçla, 30 alt havza oluşturularak bunlar için debi süreklilik eğrileri teşkil edilmiştir. Debi süreklilik eğrisi sonuçlarının bir parametrelili exponansiyel dağılıma uygunluğu test edilmiştir. Bu dağılımdan elde edilen parametrelerin kendi çalışmasında yeterli özelliklere sahip olduğu belirtilmiştir.

Yu vd. (2002), debi süreklilik eğrilerinin su kaynaklarıyla ilgili pek çok projenin geliştirilmesinde ve yönetiminde çok yararlı olduğunu ancak pek çok su kaynakları projesinin akım kayıtları olmayan yerlerde yapılması gerektiğini belirtmektedir. Kayıtları olmayan yerlerde debi süreklilik eğrilerinin sentetik hale getirilmesi ve Tayvan'da üst su toplama alanlarında tahmin edilebilmesi için kullanılan çok terimli ve alan-indeks metotları



burada tanıtılmıştır. Bu iki metodun farklılıkları ve örnek bir uygulama ile hangisinin daha doğru sonuçları olduğu üzerinde araştırma yapılmıştır.

Castellarin vd. (2004), ölçümü olmayan havzalarda debi süreklilik eğrilerinin tahmin edilmesi, etkinliğinin belirlenmesi ve birkaç bölgeselleştirme yaklaşımının güvenilirliği üzerine araştırmalar yapmıştır. İtalya'nın doğusunda geniş bir alanda çalışma yapmış ve bölgesel debi süreklilik eğrilerinin belirsizliğini, kısa döneme ait ampirik debi süreklilik eğrilerinin belirsizliğiyle kıyaslamak için, jack-knife çapraz doğrulama tekniğini kullanmıştır. Bölgesel debi süreklilik eğrilerinin tahmin metodlarını incelemiştir. Sonuçta, ölçülmüş debisi bulunmayan yerlerde, farklı bölgesel debi süreklilik eğrileri modellerinin güvenilirliğini değerlendirmiştir.

Yanık (2004), doğal akışlı hidroelektrik potansiyelin belirlenmesinde etkin rol oynayan debi parametresinin, özellikle akım ölçüm değeri olmayan veya yetersiz olan akarsularda tahmin edilmesinin önemi üzerinde durmuştur. Bölgesel ölçekte hidroelektrik potansiyelin belirlenmesinde yaşanan bu sorunun giderilmesi için, hiyerarşik ve hiyerarşik olmayan küme analiz yöntemlerini kullanarak, bölge homojen alt bölgelere ayrılmıştır ve her bir homojen bölgeye ait özgül debi süreklilik eğrileri elde edilmiştir.

Perry vd. (2004), akarsu verilerinin ölçüldüğü ve ölçülmediği akarsuların ortalama debilerinin ve debi sürekliliklerinin analizinde iklim ve havza karakteristikleri kullanmıştır. Akış verileri olmayan alanların istatistiksel tahminlerinde, drenaj-alan oranı metodu ve çoklu doğrusal regresyon metodu olmak üzere iki metod yaygın olarak kullanılmaktadır. Drenaj-alan oranı metodu, ölçüsü bulunmayan alanın aynı akarsu üzerinde ve ölçüm istasyonlarına yakın olduğu durumlarda, çoklu doğrusal regresyon analizinin ise diğer durumlarda daha uygun olduğu ifade edilmektedir. Tobit analizleri ile birlikte çoklu regresyon teknikleri ile ölçüm verileri bulunmayan ve kontrolsüz akarsu kesimlerinde debi sürekliliği ve ortalama debiyi tahmin edebilmek için denklemler geliştirmiştir.

Bari ve Shaiful İslam (2006), DSE'nin stokastik bir teorik gelişimi ve günlük ortalama debiler için uygun bir olasılık dağılımı ele almıştır. DSE modeli Bangladeş'in kuzey batısında seçilmiş dört akarsudan alınan kayıtlara uygulanmıştır. Görsele de dayanarak  $\chi^2$  ve Kolmogorov-Smirnov uyum derecesi test edilmiş karışık lognormal dağılımının en uygun olduğu gösterilmiştir.

Engeland vd. (2006), debi ölçümleri bulunmayan alanlardaki düşük debi indekslerinin tahmini için kullanılan regresyon metodu ile bölgesel yağış-akış modelinin karşılaştırılmasını amaçlamıştır. Regresyon metodunun ilk adımı olarak, düşük akışların

baskın olduğu zaman dilimine göre (kış, yaz) iki homojen alt bölge belirlenmiştir. Daha sonra düşük akış indeksi ve su toplama havzası arasında ilgili bağlantılar kullanılarak her alt bölge için regresyon denklemleri belirlenmiştir. Bölgesel yağış-akış modeli olarak HBV modelinin gridli versiyonu uygulanmıştır. Regresyon metodu ile HBV modelleri kullanılarak tahmin edilen düşük akış indekslerinin karşılaştırılması sonucunda, regresyon metodunun daha iyi tahminler yaptığı gözlenmiştir.

Krasovskaia vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada, ölçümü olmayan havzaların DSE'nin tahmini ile ilgili bir yöntem geliştirmişlerdir. Çalışmada, Costa Rica'nın günlük akım değerlerinden faydalanmışlardır. Tahmin hatalarının farklı zaman aralıklarındaki değerlerini incelemişlerdir.

Castellain vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada, yıllık DSE, indeks akım ve boyutsuz günlük akımlar olarak iki rastgele değişkene ayırarak araştırmış ve hem yıllık hem de uzun döneme ait DSE'nin elde edilmesi araştırılmıştır.

Archfield (2009), veri ölçümü bulunmayan yerlerde, günlük akarsu akımlarını tahmin etmek amacıyla, akarsu-süreklilik haritası-korelasyon transformasyonu olarak (ASHKT) isimlendirdikleri yeni bir metodolojideki gelişmeler üzerine çalışma yapmıştır. Akarsu akımlarının miktarları arasındaki kuvvetli yapısal ilişki kullanılarak veri ölçümü bulunmayan yerlerde debi süreklilik eğrisinin tahmini için, yeni bir yöntem önermiştir. Eşit aşma olasılıklarına karşılık gelen değerleri, seçilen bir indeks akarsu akım istasyonundan taşıyarak, tahmin edilen debi süreklilik eğrisiyle günlük akımların bir zaman serisini elde etmektedir. İndeks akarsu akım istasyonunun seçiminde, indeks akarsu akım istasyonu olarak seçilen yer ile, verisi olmayan yerin arasında çapraz korelasyon metodu uygulanırken, jeostatistiksel bir yaklaşımla, harita korelasyon metodu kullanarak indeks akarsu akım istasyonunun seçimini yapmıştır. 19 akarsu akım gözlem istasyonunun Jackknife çapraz doğrulama sonuçları ASHKT metodu ile tahmin edilen günlük akarsu akımlarının gözlenen değerlere iyi uyduğunu göstermiştir.

Karaaslan (2010), Doğu Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Karadere ve Solaklı havzalarındaki potansiyel küçük ölçekli hidroelektrik santrallerin özgül debi süreklilik eğrilerinin tahmin edilmesi için, CBS yöntemleri kullanılarak çıkarılan topoğrafik, morfolojik ve hidro-meteorolojik parametrelerle kurulan lineer ve çok değişkenli istatistiki modellemelerin geliştirilmesini gaye edinmiştir. Hidro-meteorolojik parametrelerin yıllık değerleri kullanılarak bir regresyon modeli geliştirdiği gibi; ortalama hava sıcaklığını karla kaplı alan parametresi yerine kullanarak, diğer havza parametrelerine ilaveten mevsimsel

(ilkbahar) modeli de geliştirmiştir. İlkbahar modelini kurarak, farklı parametrelerin etkisini test etmiş ve sonuçları değerlendirmiştir.

Beşiktaş (2010), Doğu Karadeniz’de 16 adet akım gözlem istasyonunun günlük debilerinin aylık ve yıllık ölçekte %5, 50 ve 95 aşılma olasılığına karşılık gelen debi değerlerinin ortalama alan, ortalama alan yağışı, ortalama eğim ve ortalama yükseklik gibi havza özellikleriyle ilişkilendirmiştir.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

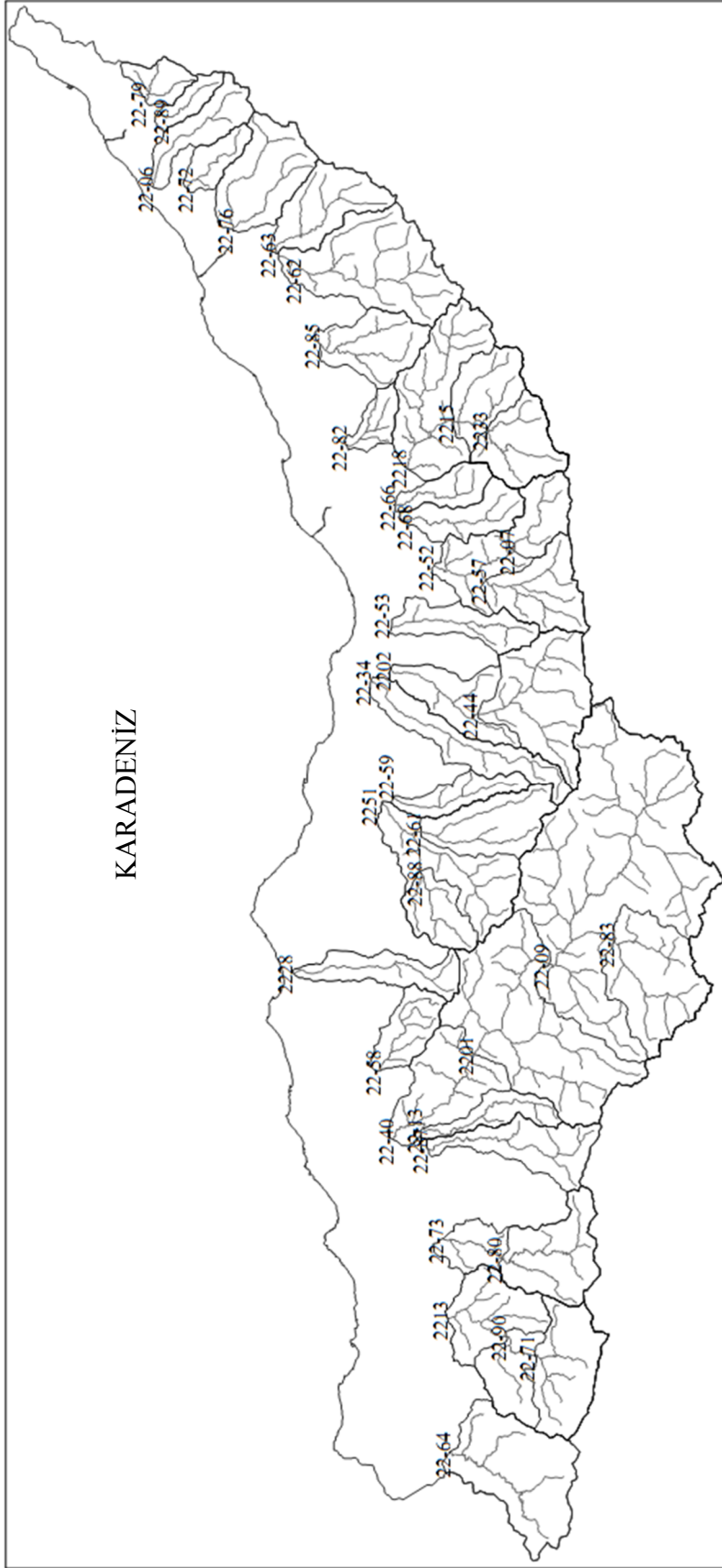
### 2.1. Çalışma Alanının Tanıtılması

Türkiye’de en çok yağış alan bölge olan Doğu Karadeniz Havzası’nın ortalama yağış yüksekliği 1200 ile 1300 mm arasındadır. Toplam alanı 24077 km<sup>2</sup> olan havza, yılda ortalama 14,9 km<sup>3</sup> yüzeysel su potansiyeli ile Türkiye potansiyelinin % 7,9’unu sağlamaktadır. Birim alandan sağlanan debi değeri 19,6 lt/sn/km<sup>2</sup> olup havza, Antalya Havzası’ndan sonra 2. sırada yer almaktadır (Şekil 2.1) (Yüksek vd., 2008). Yüksek vd. (2007) tarafından yapılan araştırmada, Doğu Karadeniz Bölgesinin, Türkiye’deki 433 milyar kWh olan toplam brüt hidroelektrik potansiyelinin, yaklaşık olarak %11.2’sine (49 milyar kWh) sahip olduğu belirtilmiştir.



Şekil 2.1. Doğu Karadeniz Havzası

Çalışmaya konu olan alan ise, Doğu Karadeniz Havzasının 22. Bölge sınırları içinde kalmakta, batıda 22-64 istasyonundan, doğuda 22-79 istasyonuna kadar olan AGİ’leri içermektedir. Çalışma alanı 17143 km<sup>2</sup> toplam alana sahiptir. Çalışma alanını içine alan bölgenin 1/100000’lik standart topoğrafik haritalar üzerinde AGİ’lerin drenaj alanları çizilerek alt havzalar belirlenmiştir. Daha sonra bölgeyi içine alan 116 adet 1/25000’lik standart topoğrafik harita yardımıyla drenaj alanları kontrol edilmiştir. AGİ’lerin drenaj alanlarındaki akarsu kolları çizilmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Çalışma alanındaki 39 adet AGİ'nin drenaj alanları ve akarsu ağlarının görünümü

## 2.2. Çalışmada Kullanılan Veriler

### 2.2.1. Debi Verileri

Çalışma alanında bulunan AGİ'lerden, 10 yıllık veri ölçümü bulunan istasyonlar belirlenmiştir. Bu istasyonlardan, aynı akarsuda bulunan ve akarsu boylarındaki farklılığın fazla olmadığı durumlarda, bir istasyon tercih edilmiştir. Böylece, çalışma alanında 39 adet istasyon belirlenmiş ve günlük ortalama akım ölçümleri ( $m^3/sn$ ) elde edilmiştir. Havzada bulunan AGİ'lerdeki debi ölçümleri, DSİ ve EİE tarafından yürütülmektedir.

Çalışmada kullanılan AGİ'lerin 10 yıllık gözlem sürelerinin yıllara göre dağılımı Tablo 2.1'de görülmektedir. Çalışmada kullanılan AGİ'lerin istasyon isimleri, koordinatları ve diğer bazı özellikleri Tablo 3.2'de verilmiştir. Bu istasyonlar ve kullanılan gözlem yılları seçilirken, akarsu akım doğallığının bozulmamış, yani düzenlenmemiş olmasına özen gösterilmiştir. Bu maksatla, Torul ve Kürtün barajlarını içinde barındıran Harşit Çayı'ndaki istasyonların AGİ ölçümleri, 2001 yılından önceki veriler kullanılarak ele alınmıştır.

Her bir AGİ'ye ait 10 yıllık, 3650 adet ölçüm değerleri ilgili kurumlardan ve akım yıllıklarından elde edilmiştir. Toplamda 39 istasyona ait 142350 adet veri, dijital ortamda araştırılmıştır. Günlük akarsu akımları sürekli olup, yıl boyunca sıfır değerine düşmemektedir. DSE değerlendirilirken yıllık baz dikkate alınmıştır. Her yılda ölçülen debi değerleri, büyükten küçüğe sıralanarak, aşılma yüzdeleri hesaplanmıştır.

Tablo 2.1. Çalışmada kullanılan AGİ'lerin 10 yıllık gözlem süreleri

İst.No	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
2201																																
2202																																
2213																																
2215																																
2218																																
2228																																
2233																																
2251																																
22-06																																
22-07																																
22-09																																
22-13																																
22-34																																
22-40																																
22-44																																
22-52																																
22-53																																
22-57																																
22-58																																
22-59																																
22-61																																
22-62																																
22-63																																
22-64																																
22-66																																
22-68																																
22-71																																
22-72																																
22-73																																
22-76																																
22-79																																
22-80																																
22-82																																
22-83																																
22-85																																
22-87																																
22-88																																
22-89																																
22-90																																

### 2.2.2. Havzanın Topoğrafik ve İklim Verileri

Su kaynakları ile ilgili çalışmalarda kullanılan havza karakteristikleri, topoğrafik ve iklimsel (meteorolojik) veriler olarak iki ana gruba ayrılabilir. Bu çalışmada, Doğu Karadeniz Havzasının yağış, sıcaklık, drenaj alanları, kotu, koordinatları gibi iklimsel ve topoğrafik verileri kullanılmıştır. Bu verilere ek olarak, bazı değişkenler de tanımlanmıştır. İhtiyaç duyulan veriler, DSİ, DMI ve EİE'ye ait çeşitli kaynaklardan elde edilmiştir.

Yüzeysel akışı etkileyen bazı tipik topoğrafik veriler arasında, drenaj alanı, havza eğimi, akarsuların sayısı, akarsuların uzunluğu, ortalama akarsu eğimi, akarsu yoğunluğu

ve drenaj yoğunluğu sayılabilir. Çalışmada kullanılan havza özellikleri aşağıda anlatılmaktadır.

Drenaj yoğunluğu, birim alana ait toplam akarsu uzunluğunu ifade etmektedir ve alansal kanal gelişimini ifade eden bir değerdir. 1/25000' lik haritalar kullanılarak her bir AGİ'nin drenaj alanları ve toplam akarsu uzunlukları belirlenmiştir. Daha sonra bu değerler kullanılarak drenaj yoğunluğu değerleri, aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$Y_d = \frac{L_{top}}{A} \quad (2.1)$$

Burada,

$Y_d$ : Drenaj yoğunluğunu,  $m/km^2$ ,

$L_{top}$ : Toplam akarsu uzunluğunu,

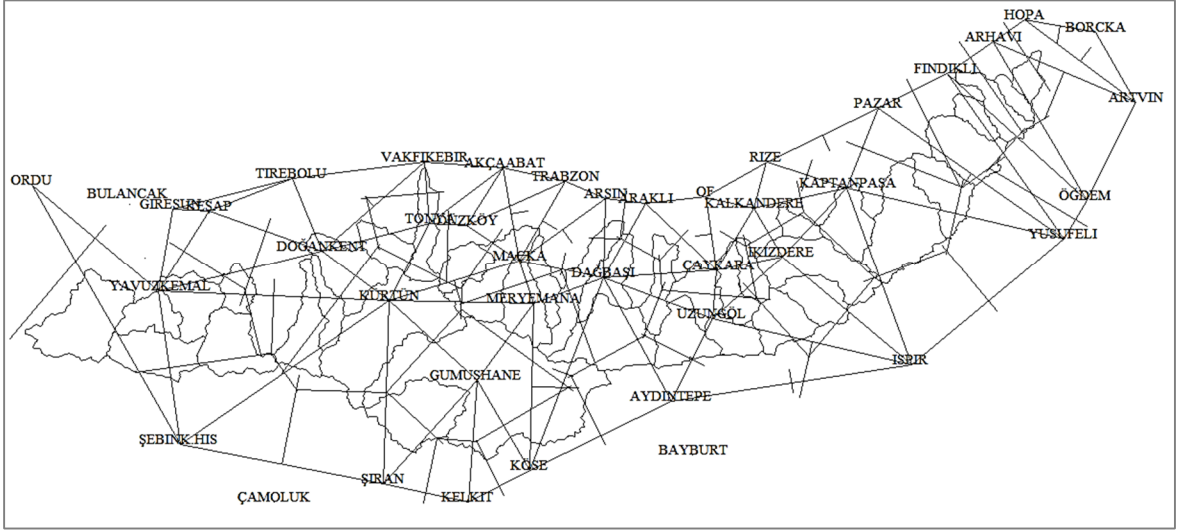
$A$ : Drenaj alanını göstermektedir.

Drenaj yoğunluğu havzanın drenaj etkinliğini ifade etmektedir. Drenaj yoğunluğunun yüksek değerlerde olması, etkili taşkınlara sebep olan şiddetli akışa geçen drenaj özelliğini göstermektedir. Bu değer düşük olması ise, ılımlı bir akışı ve yüksek permeabiliteye sahip alanları ifade etmektedir (Raghunath, 2006).

Bu değerlere ek olarak, bütün akarsu kollarından, belli mesafelerde kot değerleri de okunarak akarsu kollarının eğimleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu kolların eğimlerinin harmonik ortalaması alınarak, drenaj alanının ortalama eğimi belirlenmiştir. Toplam akarsu uzunluğu değeri, ilerideki bölgeselleştirme işlemlerinde, kilometre olarak hesaplara katılmıştır.

1929 yılından 2007 yılına kadarki verileri de içine alarak yapılan araştırmalar sonucunda, bölgedeki meteoroloji istasyonları değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında, DSİ tarafından işletilmiş 23 adet, DMİ tarafından işletilmiş 68 adet istasyon incelenmiştir. Bu istasyonlardan, yağış ve sıcaklık verilerinden herhangi biri olmayanlar veya veri ölçümü 5 yıldan daha az olan istasyonlar çıkarılmıştır. Sıcaklık verilerinin yetersiz oluşu sebebiyle, DSİ tarafından işletilen istasyonlar kullanılmamıştır (Şekil 2.3).





Şekil 2.3. Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonları ve Thiessen çokgenleri

DSE'nin bölgeselleştirilmesi için akımlar ile çeşitli havza karakteristiklerinin ve iklimsel bazı özelliklerin her bir istasyon alanına ait olan değerleri kullanılmalıdır. İklim özellikleri açısından, yağış ve sıcaklık değerlerinin akarsu akımları üzerinde etkili olduğu düşünülmüş ve AGİ'lere ait ortalama yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama sıcaklık değerleri hesaplanmıştır. Bu maksatla, Thiessen metodu uygulanmıştır. Çalışma alanında seçilen meteoroloji gözlem istasyonları, doğrularla birleştirilmiştir. Daha sonra bu doğrulardan orta dikmeler çizilerek her bir AGİ'ye ait Thiessen alanları belirlenmiştir (Şekil 2.3). Böylece, meteoroloji istasyonlarının yağış ve sıcaklık verileri (Tablo 2.2), AGİ'lerin sahip olduğu drenaj alanlarına göre hesaplanmış ve her bir istasyona ait ortalama yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama sıcaklık değerleri elde edilmiştir.

Tablo 2.2. Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının bazı özellikleri

İstasyon Adı	İstasyonların Koordinatları	Yıllık Ortalama Toplam Yağış (mm)	Yıllık Ortalama Sıcaklık (C°)
Araklı	40° 56' 00"K-40° 03' 60"D	1072.29	14.2
Arhavi	41° 20' 60"K-41° 18' 60"D	2355.78	13.7
Arsin	40° 56' 58"K-39° 55' 34"D	907.06	13.4
Aydıntepe	40° 23' 60"K-40° 08' 60"D	436.81	6.5
Çaykara	40° 45' 00"K-40° 19' 00"D	983.66	12.4
Dağbaşı	40° 43' 60"K-39° 54' 60"D	710.84	12.34
Doğankent	40° 48' 33"K-38° 55' 09"D	1267.52	13.1
Düzköy	40° 52' 46"K-39° 25' 48"D	686.56	11.1
Fındıklı	41° 16' 00"K-41° 08' 60"D	2180.62	13.2
Gümüşhane	40° 27' 27"K-39° 27' 53"D	455.93	9.5
Hopa	41° 24' 24"K-41° 25' 59"D	2171.97	14.3
İkizdere	40° 47' 00"K-40° 32' 60"D	1090.62	11.1
İspir	40° 29' 13"K-40° 59' 59"D	472.1	10.36
Kalkandere	40° 54' 60"K-40° 27' 00"D	2055.11	13
Kaptanpaşa	40° 58' 00"K-40° 47' 60"D	1556.58	10.6
Kelkit	40° 07' 44"K-39° 26' 23"D	362.03	6.7
Keşap	40° 54' 60"K-38° 31' 00"D	1443.37	13.6
Köse	40° 13' 00"K-39° 38' 60"D	358	5.8
Kürtün	40° 40' 29"K-39° 09' 18"D	716.29	9.6
Maçka	40° 46' 59"K-39° 37' 00"D	690.54	12.4
Meryemana	40° 39' 60"K-39° 39' 60"D	755.11	9.4
Öğdem	40° 54' 60"K-41° 37' 60"D	383.1	7.13
Pazar	41° 10' 40"K-40° 53' 57"D	2031.03	13.3
Şebinkarahisar	40° 17' 15"K-38° 25' 09"D	573	9.1
Şiran	40° 11' 01"K-39° 08' 02"D	498.3	7.1
Tonya	40° 52' 60"K-39° 17' 60"D	1007.71	9.05
Uzungöl	40° 37' 09"K-40° 17' 58"D	1031.65	8.4
Vakfikebir	41° 02' 59"K-39° 16' 60"D	1255.4	14.2
Yavuzkemaal	40° 41' 59"K-38° 20' 22"D	1167.93	6.1
Yusufeli	40° 49' 05"K-41° 32' 21"D	322.69	14.2

Tablo 2.2'de görülen meteoroloji istasyonlarının yıllık ortalama sıcaklık değerleri elde edilirken kullanılan istasyonların gözlem sürelerinin yıllara göre dağılımı Tablo 2.3'te görülmektedir.

Tablo 2.2'de görülen meteoroloji istasyonlarının yıllık toplam yağış değerlerinin ortalamaları elde edilirken kullanılan istasyonların gözlem sürelerinin yıllara göre dağılımı ise, Tablo 2.4'te görülmektedir. Thiessen metodu kullanılarak hesaplanan, her bir AGİ'ye ait ortalama yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama sıcaklık değerlerinin istasyonlara göre değişimi, bulgular bölümünde verilmiştir.





### 2.3. DSE'nin Matematiksel Fonksiyonlarının Belirlenmesi

Bu çalışmada debi değerleri  $m^3/sn$  olarak kullanılmıştır. Her bir AGİ'ye ait 10 yıllık veri değerleri göz önüne alınmıştır. Aşılma oranları hesaplanırken, 10 yıllık gözlem süresince meydana gelen değerler yerine, her yıla ait aşılma oranları belirlenmiştir. Her bir AGİ'ye ait yıllık DSE elde edildikten sonra, parametreleştirme işlemine geçilmektedir.

Çalışmada, aşılma olasılıklarının üç ayrı aralığı için regresyon denklemleri araştırılmıştır. Basit eğrisel regresyon metodu ile uygun olan fonksiyonların belirlenmesi sonrasında, DSE'nin regresyon denkleminin katsayıları belirlenmiş olmaktadır.

%0-%100 aşılma olasılığı aralığındaki debi değerleri ele alındığında, her istasyonun DSE'sinde, 3650 adet debi değeri bulunmaktadır. %20-%100 aşılma olasılığı aralığındaki debi değerleri ele alındığında, her istasyonun DSE'sinde, 2920 adet debi değeri bulunmaktadır. %30-%100 aşılma olasılığı aralığındaki debi değerleri ele alındığında, her istasyonun DSE'sinde, 2560 adet debi değeri bulunmaktadır. Bahsedilen üç aşılma olasılığı aralığında da, debi değerlerine en küçük kareler regresyonu uygulanarak eğri uydurma işlemi yapılmış ve parametreler elde edilmiştir.

Farklı aşılma olasılığı aralıklarındaki debi değerlerine eğri uydurma çalışmalarında, doğrusal polinom, çok terimli üçüncü derece ve dördüncü derece polinomları, üssel, eksponansiyel ve logaritmik fonksiyonlara uygunluğu gözden geçirilmiştir. Belirleme katsayısı, daha yüksek ve standart hataları daha az değerler veren eksponansiyel ve logaritmik fonksiyonlar olmuştur.

Aşılma olasılığı düşük olan yüksek debilerin verilerin dağılımı üzerinde etkin olduğu görülmektedir. Bu nedenle, aşılma olasılığının değişik aralıklarında DSE'ye uydurulan regresyon denklemlerinin durumlarının da değerlendirilmesine karar verilmiştir. Aşılma olasılığı %20-%100 arasında olan debilerin regresyon denklemlerine uyumları da araştırılmıştır. İstasyonlara ait her yılın 292 günlük ortalama debileri analizde kullanılmıştır. 39 istasyonun toplamında, 113880 adet veri göz önüne alınarak uygulanan basit eğrisel regresyon metodu sonuçları, bulgular bölümünde Tablo 3.4'te görülmektedir.

Aşılma olasılığı %30-%100 arasında olan debilerin regresyon denklemlerine uyumları da araştırılmıştır. İstasyonlara ait her yılın 256 günlük ortalama debileri analizde kullanılmıştır. 39 istasyonun toplamında, 99840 adet veri göz önüne alınarak uygulanan basit eğrisel regresyon metodu sonuçları Tablo 3.5'te görülmektedir.

### 2.3.1. Eksponansiyel Dönüşümle DSE'nin Fonksiyonlarının Belirlenmesi

Aşılma olasılığının artışına karşın azalan bir eğri olarak görülen DSE, eksponansiyel denklemle ifade edilmek istenirse, regresyon denkleminin genel şekli aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$\hat{Q} = a_e \cdot \exp^{-b_e x} \quad (2.2)$$

Burada,

$a_e, b_e$ : Eksponansiyel dönüşümlü regresyon denklemi pozitif parametrelerini,

$\hat{Q}$ : Regresyon denklemi ile tahmin edilen debi değerlerini ifade etmektedir.

### 2.3.2. Logaritmik Dönüşümle DSE'nin Fonksiyonlarının Belirlenmesi

DSE verilerinin normal dağılım göstermediği, frekans dağılımından açıkça anlaşılmaktadır. Ancak logaritmik bazı dönüşümlerle verilerin normal dağılıma yaklaşması denenebilmektedir. Bu dönüşümler yapılırken aşağıda görüldüğü gibi kısmi dönüşümle bağımlı veya bağımsız değişkenlerden birisinin dönüşümü denenebileceği gibi, her iki değişkenin de dönüşümü denenebilmektedir. Aşağıda görülen logaritmik dönüşüm, farklı aşılma olasılığı aralıklarında iyi uyum göstermiştir.

$$\hat{Q} = a_l + b_l \cdot \ln x \quad (2.3)$$

Burada,

$a_l, b_l$ : Logaritmik dönüşümlü regresyon denklemi parametrelerini göstermektedir.

### 2.4. Çoklu Regresyon Modelleri ile Parametrelerin Bölgeselleştirilmesi

Bölgeselleştirme analizinin yapılabilmesi amacıyla, bölgedeki 39 adet AGİ'lerin belirlenen coğrafi ve iklimsel karakteristikler kullanılmıştır. Evsel, endüstriyel veya sulama maksatlı olarak akarsulardan alınan su miktarları, ilgili bir veri olmadığından, ihmal edilmiştir. Havza özellikleriyle ilişkilendirilecek parametrelerin, eksponansiyel

fonksiyonlarla parametreleştirilen 39 AGİ'ye ait a ve b değişkenleri olmasına karar verilmiştir. Bu maksatla çoklu regresyon denklemleri kurulmuştur.

Bu analizde bağımsız değişkenler olarak kullanılan havza özellikleri, NetCAD yardımıyla her AGİ'ye ait elde edilen drenaj alanları ( $A$ ,  $\text{km}^2$ ), toplam akarsu uzunlukları ( $L_{top}$ ,  $\text{km}$ ), drenaj yoğunluğu ( $Y_d$ ,  $\text{m}/\text{km}^2$ ), drenaj alanındaki tüm akarsuların ortalama eğimi ( $E_a$ , %), Thiessen metodu yardımıyla elde edilen ortalama yıllık toplam yağış ( $Y_{top}$ ,  $\text{mm}$ ) ve yıllık ortalama sıcaklık ( $S_{ort}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ) değerleridir.

Bağımsız değişkenler olarak çoklu regresyon modeline girilen havza karakteristiklerinden, hangilerinin modelde kullanılacağına karar verebilmek amacıyla adım adım regresyon yöntemi kullanılmıştır. Ancak bu yöntemle bulunan sonuçların yetersizliği durumunda, modelin sonuçlarının iyileştirilmesi için elle müdahaleler yapılmıştır. Çoklu regresyon denklemlerinin değerlendirilmesine bir örnek olması açısından, aşılma olasılığı %0-%100 aralığına ait  $a_e$  parametresi analiz sonuçlarının değerlendirilmesi aşağıda irdelenmiştir.

Aşılma oranları %0-%100 arasındaki debilerle elde edilen  $a_e$  parametresi, yukarıdaki altı adet havza karakteristikleriyle adım adım regresyon yöntemi ile değerlendirilmiştir. Uygulanan bu yöntemle, her değişken modele sırayla eklenir ve model değerlendirilir. Böylece en az sayıda değişkenle model belirlenmeye çalışılır. Eğer eklenen değişken modele katkı sağlıyorsa, modelde kalır. Eğer önemli derecede katkı sağlamıyorlarsa, modelden çıkarılır. Model sonuçlarında görülen p-değeri, belirli bir sonucun tesadüfen ortaya çıkma olasılığını göstermektedir. Eğer p-değeri, 0.05'den düşükse, bir bulgunun tesadüfen ortaya çıkma olasılığı %5'ten az demek oluyor. Böylece istatistiksel olarak önemli olduğuna karar veriliyor.  $a_e$  parametresi için öngörülen çoklu regresyon modelinin genel şekli aşağıda görülmektedir.

$$a_e = b_0 + b_1A + b_2L_{top} + b_3Y_d + b_4E_a + b_5Y_{top} + b_6S_{ort} + e \quad (2.4)$$

Burada,

$b_0$ : Regresyon denklemi sabitini

$b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$ : Tahmin edilecek regresyon denklemi katsayıları

$e$ : Modelin stokastik bileşeni olan ve modele dahil edilmeyen değişkenleri ifade eden hata terimidir.

Tablo 2.5.  $a_{e,0-100}$  parametresinin çoklu regresyon varyans analizi tablosu

Model		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	p-değeri
1	Regresyon	13159.936	1	13159.936	203.942	.000 <sup>a</sup>
	Kalıntı	2387.532	37	64.528		
	Toplam	15547.467	38			
2	Regresyon	13521.437	2	6760.718	120.129	.000 <sup>b</sup>
	Kalıntı	2026.030	36	56.279		
	Toplam	15547.467	38			
3	Regresyon	13786.575	3	4595.525	91.342	.000 <sup>c</sup>
	Kalıntı	1760.892	35	50.311		
	Toplam	15547.467	38			

a) tahmin ediciler:  $b_0, A$ b) tahmin ediciler:  $b_0, A, L_{top}$ c) tahmin ediciler:  $b_0, A, L_{top}, Y_{top}$ 

Regresyon denkleminde görülen denklem değişkenlerinin neler olduğu yukarıda bahsedilmiştir. Ele alınan %0-%100 aşılma olasılığına sahip olan debilerin adım adım regresyon metodu ile analiz edilmesi sonucunda, 3 ayrı modelin anlamlı olduğu görülmektedir (Tablo 2.5). Ancak, çoklu doğrusal regresyonun bazı şartlarının irdelenmesi gerekmektedir. Daha geniş bilgi Işık (2006)'dan alınabilir.

Tablo 2.6.  $a_{e,0-100}$  parametresinin çoklu regresyon model özeti

Model	R	R <sup>2</sup>	Ayarlanmış R <sup>2</sup>	Tahminin Standart Hatası	Değişim İstatistikleri				Durbin-Watson
					R <sup>2</sup> Değişimi	F Değişimi	Serbestlik Der.	Sig. F Değişimi	
1	.920 <sup>a</sup>	.846	.842	8.032925	.846	203.942	37	.000	
2	.933 <sup>b</sup>	.870	.862	7.501908	.023	6.423	36	.016	
3	.942 <sup>c</sup>	.887	.877	7.093040	.017	5.270	35	.028	1.677

a) tahmin ediciler:  $b_0, A$ b) tahmin ediciler:  $b_0, A, L_{top}$ c) tahmin ediciler:  $b_0, A, L_{top}, Y_{top}$ 

Yukarıdaki tablodan, kurulan üç modelin de, F ve p-değerlerinin önemli görüldüğü anlaşılmaktadır. Tablo 2.6'da ise, her üç modelin de, çok iyi derecede çoklu korelasyon gösterdikleri, alandan sonra eklenen, akarsu toplam uzunluğu ve yıllık ortalama toplam yağış değerleriyle, çoklu belirleme ve ayarlanmış çoklu belirleme katsayılarının arttığı görülmüştür. Tahminin standart hatalarının da düştüğü görülmektedir. Tablonun sağ tarafındaki Durbin-Watson katsayısı yardımıyla otokorelasyon test edilmektedir. Bu



değerin 1.5 ile 2.5 arasında olması istenir ki, otokorelasyonun olmadığını göstermektedir. Durbin-Watson katsayısı, 1.677 değeri ile, regresyon denklemindeki değişkenler arasında otokorelasyonun olmadığını göstermektedir.

Tablo 2.7.  $a_{e,0-100}$  parametresinin çoklu regresyon katsayılar tablosu

Model		Katsayılar		b için 95.0% Güven Aralıkları		Çoklu Bağlantı İstatistikleri	
		b	Std. Hata	Alt Sınır	Üst Sınır	Tolerans	VAF
1	Sabit	12.204	1.596	8.971	15.438		
	$A$	.028	.002	.024	.032	1.000	1.000
2	Sabit	11.218	1.540	8.094	14.342		
	$A$	.080	.021	.038	.122	.008	<b>129.618</b>
	$L_{top}$	-.197	.078	-.355	-.039	.008	<b>129.618</b>
3	Sabit	3.880	3.512	-3.250	11.011		
	$A$	.077	.020	.037	.117	.008	<b>130.255</b>
	$L_{top}$	-.179	.074	-.329	-.028	.008	<b>131.169</b>
	$Y_{top}$	.006	.003	.001	.011	.828	1.208

Çoklu regresyon analizi, girilen bağımsız değişkenlerin birbiriyle doğrusal bir ilişki olmadığı varsayılarak yapılmaktadır. Dolayısıyla, bağımsız değişkenler arasında yüksek bir korelasyonun olmaması gerekmektedir. Tablo 2.7'deki katsayılar tablosunun sağ tarafında görülen çoklu doğrusal bağlantı istatistikleri kontrol edilirse, küçük tolerans değeri ile yüksek varyans artış faktörü ( $VAF > 10$ ) görülen,  $A$  ile  $L_{top}$  değerleriyle ilgili bir sorun olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 2.8.  $a_{e,0-100}$  parametresi ile bağımsız değişkenlerin kısmi korelasyon tablosu

	$a_e$	$A$	$Y_{top}$	$S_{ort}$	$Y_d$	$E_a$	$L_{top}$
$a_e$	1.000						
$A$	.920	1.000					
$Y_{top}$	-.237	-.403	1.000				
$S_{ort}$	-.247	-.280	.539	1.000			
$Y_d$	-.186	-.070	-.122	.186	1.000		
$E_a$	-.306	-.413	.629	.657	.149	1.000	
$L_{top}$	.903	<b>.996</b>	-.410	-.251	.006	-.391	1.000

Bu sorunun var olup olmadığını kontrol etmek amacıyla,  $A$  ile  $L_{top}$  arasındaki korelasyon katsayısı, Tablo 2.8'deki korelasyon tablosundan da görüleceği üzere 0.996

korelasyon değeriyle birbiriyle ilişkili olduğu görülmektedir. Bu nedenle bu bağımsız değişkenlerden birisinin modelden çıkarılması gerekmektedir.

Sonuçta, drenaj alanının toplam akarsu uzunluklarına göre daha önemli olduğuna karar verilmiş ve toplam akarsu uzunluğunun modelden çıkarılmasına karar verilmiştir. O halde kurulacak modelde,  $A$  ve  $Y_{top}$  bağımsız değişkenleri kullanılmıştır. Bu şekilde kurulan modelle, Durbin-Watson katsayısı 1.914 ve düşük VAF katsayısı değerleri göstermişlerdir. Ayrıca standartlaştırılmış kalıntı değerleri ile bağımlı değişken arasında rastgeleselliğin olduğu ve standartlaştırılmış kalıntıların frekans dağılımları ile normal dağılım gösterdiği de kontrol edilmiştir.

Bahsi geçen analizler, diğer aşılma olasılığı aralıklarındaki  $a_{e,20-100}$  ve  $a_{e,30-100}$  değerleri için de, adım adım regresyon metodu ile uygulanmıştır. Sonuçta varsayımları doğrulayan ve güvenli olan  $a_e$ 'nin çoklu regresyon denkleminin katsayıları elde edilerek bulgular bölümündeki Tablo 3.6'da gösterilmiştir.

%0-%100 aşılma olasılığı aralığı  $b_e$  değişkeninin, adım adım regresyon yöntemi ile çoklu regresyon denklemi kurulduğunda, bağımsız değişkenlerden sadece  $Y_{top}$  değeriyle ilişkisi olduğu görülmüştür. Bu halde oluşturulan regresyon denkleminin çoklu belirleme katsayısının, 0.364, Durbin Watson katsayısının 1.478 olduğu görülmüştür. Bunun üzerine aşağıda görülen, üstel bir ilişkinin uyumu da araştırılmıştır.

$$\hat{b}_e = c_0 \cdot A^{c_1} \cdot L_{top}^{c_2} \cdot Y_d^{c_3} \cdot E_a^{c_4} \cdot Y_{top}^{c_5} \cdot S_{ort}^{c_6} \quad (2.5)$$

Burada,

$\hat{b}_e$ :  $b_e$  parametresinin regresyon denklemi ile tahmin edilen değeri

$c_0$ : regresyon denklemi sabitini

$c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6$ : tahmin edilecek çoklu eğrisel regresyon denklemi katsayılarını göstermektedir.

Bu durumda aşağıda görülen logaritmik dönüşüm yapılarak, çoklu doğrusal regresyon denklemi haline dönüştürülerek araştırılmıştır.

$$\log \hat{b}_e = \log c_0 + c_1 \log A + c_2 \log L_{top} + c_3 \log Y_d + c_4 \log E_a + c_5 \log Y_{top} + c_6 \log S_{ort} \quad (2.6)$$

Bu regresyon denklemi değişkenlerinden de, sadece  $\log Y_{top}$  değerinin bağımlı değişkenle ilişkili olduğu, adım adım regresyon metoduyla belirlenmiştir. Ancak belirleme katsayısının düşüklüğü, bizi hataların da irdelenmesi gerektiğini hatırlatmaktadır. Diğer bağımsız değişkenlerin eklenmesiyle, ifade edilebilen bağımlı değişken oranının artırılması araştırılmıştır. Bulgular kısmındaki Tablo 3.7’de, çoklu regresyon denklemi sonuçları görölmektedir.

### **2.5. Regresyon Analizleri ile Belli Aşılma Oranlarındaki Debilerin Tahmini**

Her istasyonun 10 senelik debi değerleri ile yıllık DSE oluşturulmuştu. Yani her istasyonda, her bir aşılma olasılığına karşılık 10 adet debi değeri görölmekteydi. Bu on değerin medyan değerleri alınarak her bir istasyona ait medyan DSE değerleri elde edilmiştir. Belli aşılma oranlarına karşılık gelen 39 adet istasyonun medyan değerleri ile havza karakteristikleri arasında çoklu regresyon denklemleri kurulmuştur. Toplam akarsu uzunluğu ile drenaj alanı arasındaki yüksek korelasyon sebebiyle, toplam akarsu uzunluğu değeri regresyon denkleminde çıkarılmıştır. Elde edilen bulgular, Tablo 3.8 ve Tablo 3.9’da verilmiştir.

### 3. BULGULAR

#### 3.1. Kullanılan Veriler

İlgili kurumlardan (DSİ, EİE ve DMİ), 39 adet AGİ'nin günlük ortalama debileri ( $m^3/sn$ ) ve bölgedeki meteoroloji istasyonlarının verileri elde edilmiştir. Çoklu regresyon analizlerinde, NetCAD'de modellenen AGİ'lerin drenaj alanları ( $A, km^2$ ) kullanılmıştır.

Toplam akarsu uzunlukları ( $L_{top}, km$ ) ve drenaj alanındaki tüm akarsuların ortalama eğimi ( $E_a, \%$ ) NetCAD programı yardımıyla hesaplanmıştır.

Drenaj yoğunluğu ( $Y_d, m/km^2$ ) (2.1) formülüyle hesaplandı. Thiessen metodu yardımıyla elde edilen ortalama yıllık toplam yağış ( $Y_{top}, mm$ ) ve yıllık ortalama sıcaklık ( $S_{ort}, C^\circ$ ) değerleri de çoklu regresyon metodunda kullanılmıştır.

Yukarıda bahsedilen havza özellikleri, çoklu regresyon analizinde bağımsız değişkenler olarak modele girmiştir. Bu değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri Tablo 3.1'de, istasyonlara göre değerleri ise Tablo 3.2'de görülmektedir.

Tablo 3.1. Çoklu regresyon bağımsız değişkenlerinin tanımlayıcı istatistikleri

	N	Aralık	Min.	Maks.	Ortalama	Std. Sapma
$A, km^2$	39	3104.40	68.50	3172.90	484.9641	668.92950
$Y_{top}, mm$	39	1883.91	471.87	2355.78	1126.5667	496.85954
$S_{orb}, C^\circ$	39	7.68	6.10	13.78	10.1600	2.09107
$L_{top}, km$	39	839.61	17.72	857.33	123.5476	178.00083
$Y_d, m/km^2$	39	279.10	167.20	446.30	260.0872	56.78100
$E_a, \%$	39	8.506	2.205	10.711	5.34274	1.843050

Tablo 3.2. Bu çalışmada kullanılan istasyonlara ait, bazı havza özellikleri

İstasyon No (Adı)	İstasyon Koordinatları	Kotu	Drenaj Alanı, NetCAD den [1]	Yağış Alanı (km <sup>2</sup> )	Harita Pafta No	Toplam Akarsu Uzunluğu (m) [2]	Drenaj Yoğunluğu (m/km <sup>2</sup> ) [2/1]	Yıllık Ortalama Yağış (mm)	Yıllık Ort. Sıcaklık (C°)	Ort. Akarsu Eğimi	Ölçüm Yapan Kurum
2201 (Harıtış Çayı)	40° 40' 29"K-39° 07' 58"D	400	2740.8	2750	G42-d1	723234	263.9	544.5	8.86	0.033	EİE
2202 (Kara Dere)	40° 51' 08"K-40° 00' 27"D	78	639.5	635.7	G44-a4	160577	251.1	677.14	10.97	0.043	EİE
2213 (Aksu)	40° 44' 52"K-38° 26' 44"D	248	713.9	713	G40-c2	155420	217.2	1140.36	6.24	0.022	EİE
2215 (Çamlik Dere)	40° 43' 44"K-40° 35' 52"D	942	425.5	445.2	G45-d1	90430	212.5	1068.24	10.51	0.061	EİE
2218 (Iyidere)	40° 48' 56"K-40° 29' 33"D	308	834.9	834.9	G44-b3	198453	237.7	1065	10.77	0.064	EİE
2228 (Fol Deresi)	41° 01' 51"K-39° 16' 43"D	17	183.3	191.4	F42-c4	51238	279.5	989.4	9.76	0.035	EİE
2233 (Tozköy Deresi)	40° 39' 57"K-40° 34' 44"D	1296	220.6	223.1	G45-d1	45321	205.4	1066.26	9.98	0.07	EİE
2251 (Değirmendere)	40° 52' 29"K-39° 41' 09"D	155	726.5	729.6	G43-a3	186255	256.4	718.96	10.84	0.047	EİE
22-06 (Köprübaşı)	41° 13' 50"K-41° 15' 30"D	60	170.7	156	F46-a3	37008	216.8	1172.2	13.15	0.065	DSİ
22-07 (Şerab)	40° 37' 20"K-40° 17' 20"D	1114	150.4	154.7	G44-c4	33955	225.8	1031.65	8.4	0.041	DSİ
22-09 (Torul)	40° 33' 30"K-39° 17' 50"D	925	1945.9	1900.4	G42-c4	505606	259.8	483.78	8.59	0.032	DSİ
22-13 (Sırttaşı)	40° 47' 40"K-39° 54' 30"D	470	126	124.9	G41-b3	49594	393.6	975.05	11.24	0.041	DSİ
22-34 (Fındıklıh)	40° 53' 30"K-39° 59' 10"D	90	257.9	258.6	G43-b2	73253	284	756.63	11.3	0.038	DSİ
22-40 (Eymür)	40° 51' 00"K-38° 52' 30"D	120	3172.9	3132.8	G41-b3	857330	270.2	612.08	9.23	0.033	DSİ
22-44 (Aytaş)	40° 41' 15"K-39° 54' 00"D	500	427.7	421.2	G43-c2	107007	250.2	654.45	10.29	0.048	DSİ
22-52 (Ulucami)	40° 46' 00"K-40° 15' 20"D	275	570.2	576.8	G44-b4	149993	263.1	977.99	8.88	0.058	DSİ
22-53 (Ortaköy)	40° 51' 00"K-40° 06' 30"D	150	177.8	173.6	G44-a4	50768	285.5	930.18	11.61	0.056	DSİ
22-57 (Alaçköprü)	40° 40' 15"K-40° 12' 45"D	650	244.9	242.6	G44-d2	109302	446.3	923.61	8.05	0.074	DSİ
22-58 (Çücenköprü)	40° 53' 15"K-39° 00' 45"D	300	149.7	162.7	G42-a1	49177	328.5	1026.41	10.62	0.054	DSİ
22-59 (Çiftidere)	40° 51' 00"K-39° 41' 55"D	250	127.4	121.5	G43-a3	40397	317.1	728.31	10.65	0.068	DSİ
22-61 (Ortaköy)	40° 47' 50"K-39° 37' 00"D	380	260.1	261	G43-a4	61508	236.5	740.7	10.07	0.056	DSİ
22-62 (Konaklar)	41° 02' 00"K-41° 00' 30"D	300	509.4	496.7	F46-d4	127600	250.5	1535.07	10.63	0.065	DSİ
22-63 (Mikronköprü)	41° 02' 45"K-41° 01' 45"D	325	243.8	239.2	F46-d4	55077	225.9	1482.27	12.01	0.084	DSİ
22-64 (Kovanlık)	40° 44' 40"K-38° 07' 45"D	530	473.6	468	G40-d2	79177	167.2	1167.93	6.1	0.029	DSİ
22-66 (Cevizlik)	40° 50' 30"K-40° 47' 00"D	400	114.3	115.9	G44-b3	26481	231.7	1120.47	11.83	0.071	DSİ
22-68 (Yeniköy)	40° 49' 00"K-40° 20' 00"D	470	167.9	171.6	G44-b4	35310	210.3	1003.95	10.71	0.056	DSİ
22-71 (İksu)	40° 34' 45"K-38° 21' 10"D	990	297.3	292.7	G40-c4	58735	197.6	1100.65	6.44	0.049	DSİ
22-72 (Arılı)	41° 12' 30"K-41° 10' 00"D	175	94.7	92.2	F46-d2	21591	228	2180.62	13.2	0.067	DSİ
22-73 (Tuğlacık)	40° 45' 30"K-39° 38' 20"D	400	406.5	397.9	G41-a3	106466	261.9	1063.65	7.62	0.031	DSİ
22-76 (Kemerköprü)	41° 07' 30"K-41° 04' 00"D	230	305.7	302	F46-d4	58884	192.6	2045	13.1	0.065	DSİ
22-79 (Çamlıca)	41° 22' 30"K-41° 16' 20"D	300	87.9	89.7	F46-b3	28241	321.3	2330.81	13.78	0.08	DSİ
22-80 (Sınırköy)	40° 40' 30"K-38° 36' 30"D	750	295.5	296.9	G41-d1	76426	258.6	1002.48	6.96	0.031	DSİ
22-82 (Kömitüçler)	40° 56' 40"K-40° 32' 40"D	290	81.8	83.3	G45-a1	31815	388.9	1348.71	11.61	0.071	DSİ
22-83 (Gümüskaya)	40° 28' 00"K-39° 22' 20"D	1150	397.5	410.8	H42-b1	98923	248.9	471.87	8.6	0.041	DSİ
22-85 (Kapıpaşa)	40° 58' 10"K-40° 47' 45"D	400	230.6	231.2	G45-b1	60303	261.5	1527.71	10.63	0.071	DSİ
22-87 (Hasansah)	40° 47' 20"K-38° 51' 10"D	355	248.5	256.8	G41-b4	70615	284.2	1081.95	11.92	0.034	DSİ
22-88 (Ormantüstü)	40° 48' 00"K-39° 31' 15"D	710	154.9	150	G43-a4	41261	266.4	708.04	11.08	0.051	DSİ
22-89 (Kıçıköy)	41° 22' 10"K-41° 16' 10"D	400	68.5	66.4	F46-b4	17719	258.7	2355.78	13.7	0.107	DSİ
22-90 (Alancık)	40° 39' 10"K-38° 24' 20"D	700	468.6	470.2	G40-c2	87907	187.6	1126.24	6.31	0.04	DSİ

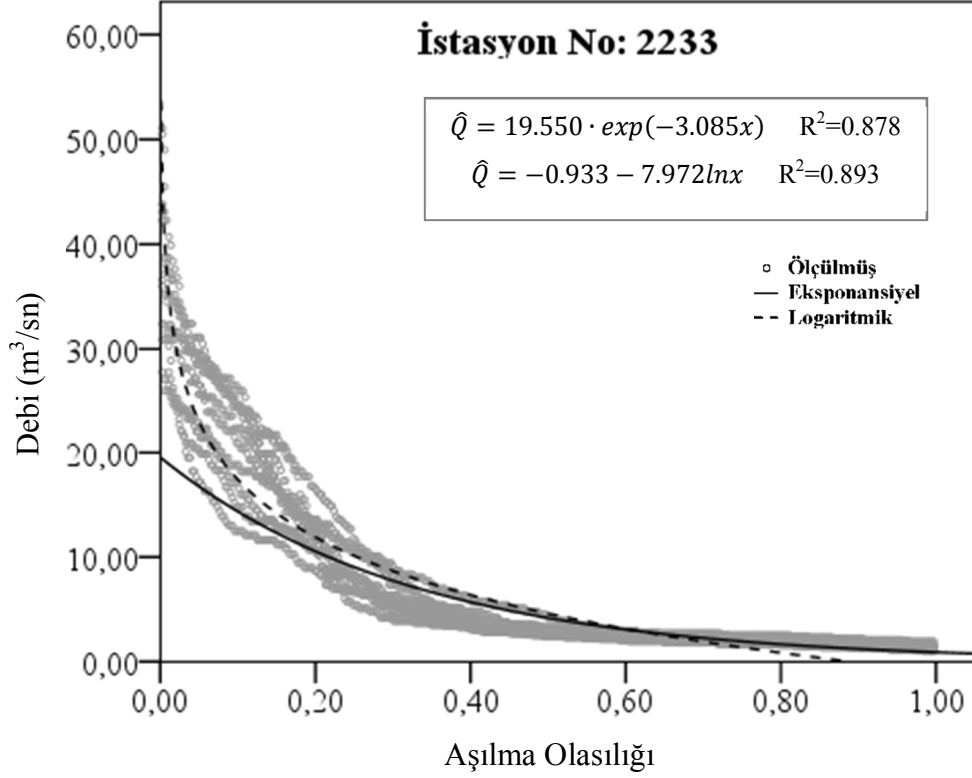
### 3.2. Matematiksel Fonksiyonlara Uydurulan DSE Bulguları

%0-%100 aşılma olasılığı aralığındaki debilerin, eksponansiyel ve logaritmik dönüşümlerle eğri uydurma metodu bulguları Tablo 3.3'te görülmektedir.

Tablo 3.3. Aşılma oranları %0-100 olan debi değerlerinin regresyon analizi sonuçları

İstasyon	Eksponansiyel [ $\hat{Q} = a_e \cdot \exp(-b_e \cdot x)$ ]				Logaritmik [ $\hat{Q} = a_l + b_l \cdot \ln x$ ]			
	r <sup>2</sup>	Tahminin Standart Hatası	Parametreler		r <sup>2</sup>	Tahminin Standart Hatası	Parametreler	
			a <sub>e</sub>	b <sub>e</sub>			a <sub>l</sub>	b <sub>l</sub>
2228	.931	.259	12.380	3.307	.837	2.078	-.861	-4.857
2202	.881	.290	27.790	2.737	.881	3.928	-.411	-11.012
2233	.878	.331	19.550	3.085	.893	2.676	-.933	-7.972
22-64	.896	.327	32.166	3.324	.836	5.486	-2.166	-12.777
22-68	.869	.273	13.335	2.438	.862	1.736	.891	-4.483
2251	.868	.326	32.462	2.911	.865	5.237	-1.552	-13.702
2201	.864	.375	82.556	3.287	.868	12.063	-3.922	-31.969
22-79	.813	.334	14.200	2.420	.792	2.355	1.008	-4.746
22-06	.919	.196	20.989	2.293	.897	2.075	2.205	-6.331
22-07	.909	.276	11.457	3.039	.864	1.599	-.169	-4.158
2213	.810	.388	40.568	2.786	.715	9.489	.057	-15.524
22-40	.873	.352	103.945	3.211	.801	20.428	-6.476	-42.361
2215	.870	.294	35.600	2.644	.885	4.662	.583	-13.324
22-57	.861	.389	16.897	3.358	.750	4.078	-1.443	-7.299
22-85	.873	.217	23.953	1.981	.840	2.809	4.116	-6.652
2218	.880	.233	62.921	2.194	.875	7.828	5.907	-21.352
22-80	.806	.383	15.331	2.713	.789	3.698	-1.124	-7.389
22-82	.871	.215	10.130	1.946	.821	1.756	.877	-3.885
22-73	.862	.330	25.010	2.863	.843	4.041	-.470	-9.676
22-63	.873	.225	22.985	2.041	.863	2.852	2.914	-7.398
22-59	.885	.289	7.221	2.782	.865	.984	.084	-2.571
22-58	.881	.364	17.577	3.443	.863	2.410	-.832	-6.235
22-44	.847	.433	20.456	3.545	.870	3.358	-2.018	-8.976
22-87	.873	.360	17.167	3.281	.698	5.158	-2.019	-8.100
22-34	.904	.260	13.157	2.759	.891	1.441	.469	-4.256
22-52	.863	.265	33.286	2.311	.887	4.162	1.992	-12.047
22-53	.839	.314	13.581	2.488	.865	1.779	.698	-4.657
22-61	.899	.277	13.140	2.867	.884	1.675	-.019	-4.769
22-62	.910	.230	45.835	2.545	.898	4.839	2.848	-14.786
22-66	.829	.266	11.540	2.034	.819	1.777	1.337	-3.896
22-72	.902	.227	15.630	2.387	.814	2.723	.512	-5.872
22-83	.835	.459	16.793	3.589	.738	4.475	-2.067	-7.759
22-89	.897	.255	10.063	2.612	.879	1.260	.321	-3.508
22-90	.862	.362	25.018	3.141	.829	4.903	-2.030	-11.128
22-71	.883	.324	20.846	3.090	.897	2.614	-.651	-7.980
22-88	.851	.447	8.349	3.715	.704	2.025	-.605	-3.225
22-09	.825	.480	49.212	3.616	.819	9.211	-3.887	-20.237
22-13	.920	.298	9.041	3.517	.839	1.398	-.507	-3.298
22-76	.792	.227	30.009	1.541	.817	4.084	7.069	-8.914

Örnek olarak seçilen 2233 istasyonuna ait aşılma olasılığı aralığı %0-%100 arasındaki debi değerleri ve elde edilen regresyon denklemleri Şekil 3.1'de görülmektedir. Diğer AGİ'lere ait olan 10 yıllık debi değerleri ile regresyon denklemleri, Ek.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. 2233 istasyonunun aşılma olasılığı %0-100 olan 10 yıllık günlük ortalama akımlar ve regresyon denklemleri

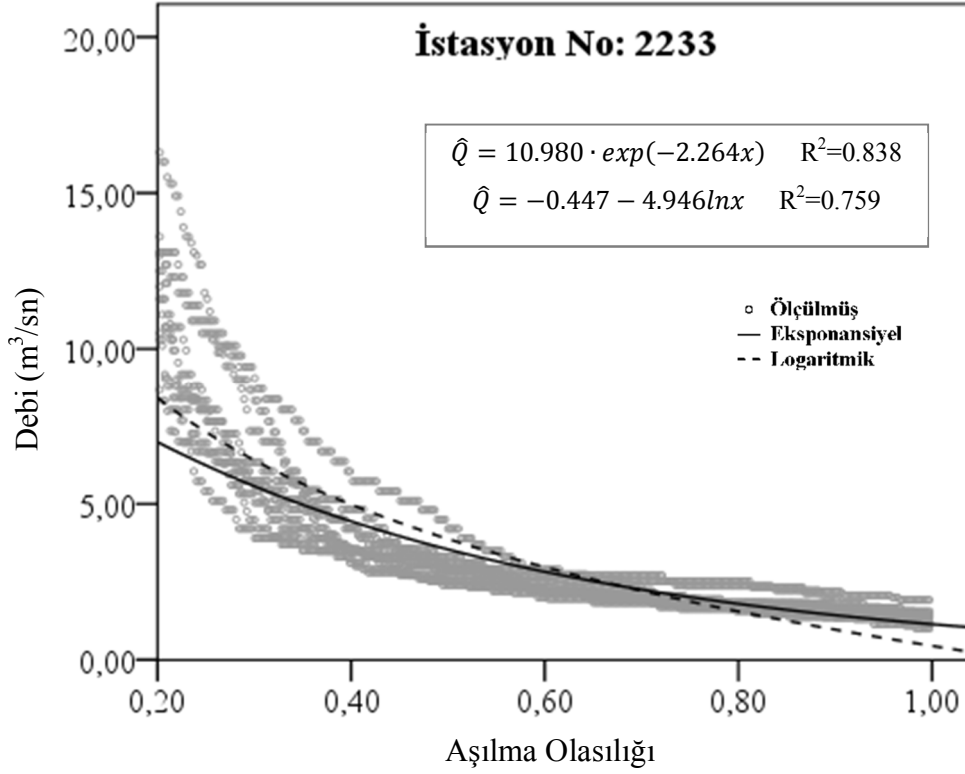
Aşılma olasılığı aralığı %20-%100 arasındaki debi değerlerinin basit eğrisel regresyon metodu ile elde edilen bulguları Tablo 3.4'te verilmektedir.

Tablo 3.4. Aşılma oranları %20-100 olan debi değerlerinin regresyon analizi karakteristikleri

İstasyon	Eksponansiyel [ $\hat{Q} = a_e \cdot \exp(-b_e \cdot x)$ ]				Logaritmik [ $\hat{Q} = a_l + b_l \cdot \ln x$ ]			
	r <sup>2</sup>	Tahminin Standart Hatası	Parametreler		r <sup>2</sup>	Tahminin Standart Hatası	Parametreler	
			a <sub>e</sub>	b <sub>e</sub>			a <sub>l</sub>	b <sub>l</sub>
2228	.915	.213	10.166	3.019	.886	.498	.228	-3.186
2202	.830	.227	18.822	2.178	.752	1.889	1.465	-7.560
2233	.838	.230	10.980	2.264	.759	1.214	.447	-4.946
22-64	.830	.298	23.290	2.859	.790	1.917	.340	-8.532
22-68	.790	.248	10.445	2.087	.719	1.133	.996	-4.170
2251	.809	.248	19.888	2.211	.750	2.177	1.129	-8.666
2201	.762	.338	51.838	2.624	.656	6.843	.962	-21.705
22-79	.721	.326	12.871	2.274	.680	1.294	1.332	-4.331
22-06	.893	.173	19.318	2.171	.870	1.127	2.007	-6.701
22-07	.866	.227	7.873	2.504	.805	.684	.248	-3.194
2213	.689	.362	29.787	2.343	.586	4.218	2.167	-11.517
22-40	.813	.304	75.404	2.748	.742	7.097	2.054	-27.659
2215	.807	.223	22.281	1.976	.776	2.273	2.049	-9.710
22-57	.789	.318	10.467	2.673	.714	1.166	.179	-4.238
22-85	.813	.211	22.826	1.909	.761	1.899	3.491	-7.782
2218	.845	.165	43.756	1.676	.815	3.750	6.841	-18.068
22-80	.698	.302	9.293	1.993	.678	1.171	.969	-3.900
22-82	.885	.136	8.154	1.629	.868	.480	1.627	-2.832
22-73	.770	.300	17.953	2.387	.752	1.716	1.127	-6.853
22-63	.803	.196	18.389	1.720	.799	1.504	3.124	-6.882
22-59	.816	.268	5.722	2.447	.732	.567	.322	-2.153
22-58	.803	.372	15.502	3.257	.814	.927	.320	-4.446
22-44	.740	.359	10.797	2.634	.637	1.639	-.025	-4.986
22-87	.815	.280	10.315	2.551	.779	.977	.273	-4.212
22-34	.846	.253	11.609	2.576	.805	.829	.705	-3.863
22-52	.786	.215	23.059	1.785	.778	2.113	3.413	-9.079
22-53	.739	.310	11.636	2.262	.741	1.015	1.176	-3.943
22-61	.861	.224	9.620	2.420	.816	.754	.527	-3.645
22-62	.855	.205	35.129	2.165	.802	2.909	3.098	-13.461
22-66	.729	.249	9.631	1.771	.747	.855	1.699	-3.371
22-72	.883	.178	13.027	2.120	.844	.884	1.361	-4.718
22-83	.730	.405	10.310	2.890	.740	1.049	.026	-4.068
22-89	.846	.228	8.219	2.319	.833	.593	.600	-3.040
22-90	.804	.269	14.519	2.365	.704	1.767	.571	-6.264
22-71	.811	.270	13.101	2.429	.738	1.506	.322	-5.802
22-88	.761	.423	6.155	3.279	.649	.695	-.056	-2.173
22-09	.697	.444	30.263	2.921	.569	4.767	-.067	-12.575
22-13	.875	.268	6.645	3.076	.788	.516	.028	-2.286
22-76	.690	.196	24.897	1.271	.635	2.814	7.293	-8.525

2233 istasyonuna ait aşılma olasılığı aralığı %20-%100 arasındaki debi değerleri ve elde edilen regresyon denklemleri Şekil 3.2’de görülmektedir. Diğer AGİ’lere ait olan 10 yıllık debi değerleri ile regresyon denklemleri, Ek.2’de verilmiştir.





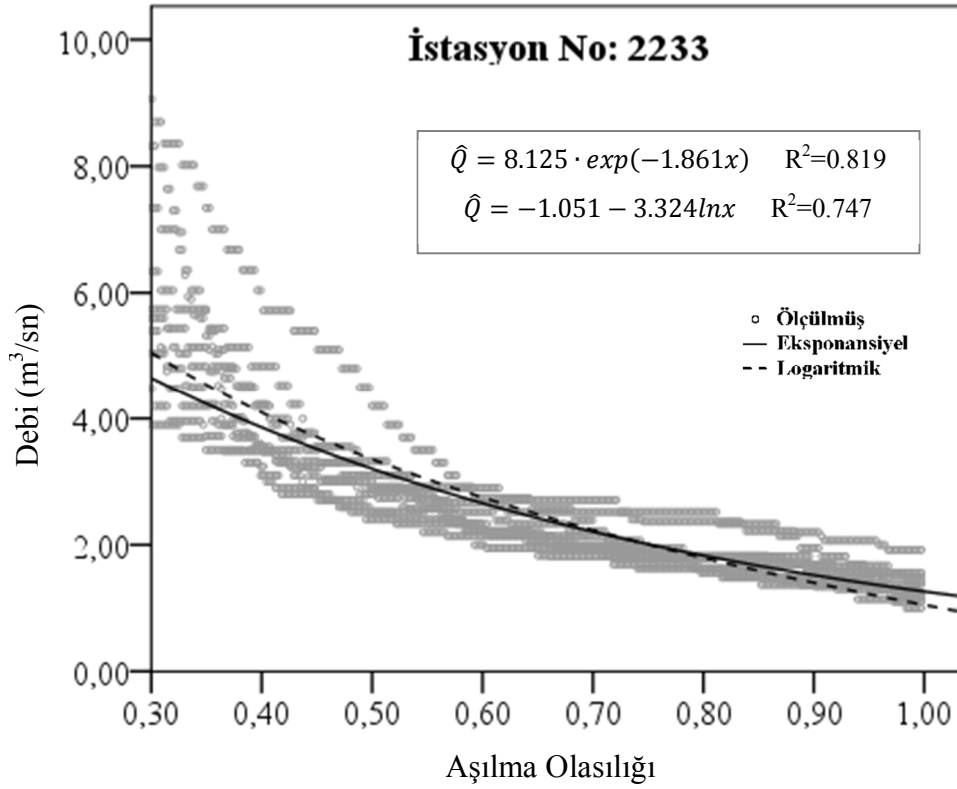
Şekil 3.2. 2233 istasyonunun aşılma oranları %20-100 olan 10 yıllık günlük ortalama akımlar ve regresyon denklemleri

Aşılma olasılığı aralığı %30-%100 arasındaki debi değerlerinin basit eğrisel regresyon metodu ile elde edilen bulguları Tablo 3.5'te görülmektedir.

Tablo 3.5. Aşılma oranları %30-100 olan debi değerlerinin regresyon analizi karakteristikleri

İstasyon	Ekspansiyonel [ $\hat{Q} = a_e \cdot \exp(-b_e \cdot x)$ ]				Logaritmik [ $\hat{Q} = a_l + b_l \cdot \ln x$ ]			
	$r^2$	Tahminin Standart Hatası	Parametreler		$r^2$	Tahminin Standart Hatası	Parametreler	
			$a_e$	$b_e$			$a_l$	$b_l$
2228	.891	.215	10.371	3.045	.861	.409	.288	-3.026
2202	.785	.208	16.051	1.965	.752	1.163	2.031	-6.028
2233	.819	.177	8.125	1.861	.747	.649	1.051	-3.324
22-64	.764	.296	19.707	2.636	.712	1.412	1.047	-6.615
22-68	.742	.230	9.292	1.930	.687	.807	1.222	-3.560
2251	.762	.211	15.380	1.868	.715	1.301	2.068	-6.135
2201	.678	.321	40.785	2.303	.576	4.479	3.266	-15.548
22-79	.675	.328	13.541	2.342	.639	1.118	1.295	-4.434
22-06	.868	.171	19.224	2.165	.851	.918	2.069	-6.530
22-07	.828	.206	6.409	2.229	.772	.450	.517	-2.468
2213	.596	.363	26.339	2.178	.500	3.156	2.961	-9.390
22-40	.755	.299	67.612	2.602	.705	5.008	3.776	-23.031
2215	.750	.193	17.485	1.652	.734	1.435	3.031	-7.089
22-57	.735	.293	8.637	2.416	.691	.704	.593	-3.134
22-85	.772	.213	23.334	1.938	.717	1.680	3.428	-7.957
2218	.827	.131	35.978	1.414	.801	2.292	8.473	-13.702
22-80	.615	.282	7.821	1.763	.590	.856	1.282	-3.059
22-82	.856	.133	8.009	1.605	.851	.395	1.634	-2.812
22-73	.696	.297	15.888	2.224	.677	1.330	1.543	-5.729
22-63	.730	.196	16.757	1.596	.714	1.318	3.374	-6.202
22-59	.757	.264	5.162	2.309	.678	.430	.431	-1.857
22-58	.753	.386	16.511	3.341	.747	.835	.385	-4.273
22-44	.683	.307	7.993	2.232	.627	.839	.628	-3.236
22-87	.748	.263	8.160	2.238	.740	.609	.703	-3.058
22-34	.803	.259	11.657	2.582	.750	.715	.768	-3.690
22-52	.716	.203	19.989	1.594	.692	1.671	4.019	-7.459
22-53	.680	.315	11.749	2.274	.696	.841	1.232	-3.790
22-61	.824	.211	8.540	2.261	.817	.482	.754	-3.030
22-62	.809	.199	31.571	2.022	.749	2.282	3.743	-11.731
22-66	.641	.261	9.316	1.727	.622	.868	1.721	-3.312
22-72	.855	.172	12.562	2.072	.820	.709	1.439	-4.503
22-83	.638	.395	8.262	2.594	.701	.643	.449	-2.929
22-89	.796	.226	7.564	2.208	.800	.454	.724	-2.702
22-90	.763	.230	11.360	2.036	.687	.983	1.290	-4.340
22-71	.772	.222	9.636	2.018	.747	.733	1.086	-3.746
22-88	.692	.421	5.476	3.122	.597	.479	.108	-1.734
22-09	.619	.422	24.885	2.659	.483	3.230	1.157	-9.292
22-13	.843	.256	5.982	2.936	.783	.324	.195	-1.833
22-76	.616	.195	24.069	1.226	.553	2.595	7.269	-8.588

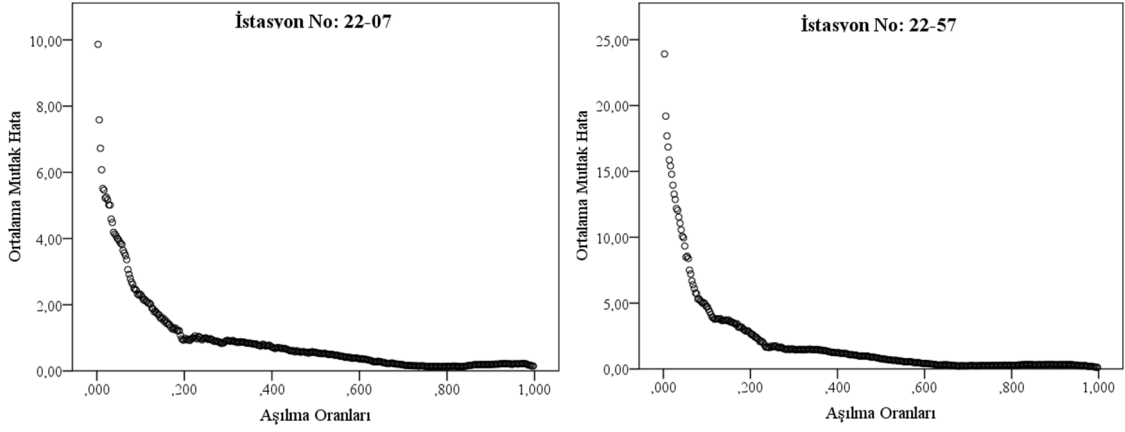
2233 istasyonuna ait aşılma olasılığı aralığı %30-%100 arasındaki debi değerleri ve elde edilen regresyon denklemleri Şekil 3.3'de görülmektedir. Diğer AGİ'lere ait olan 10 yıllık debi değerleri ile regresyon denklemleri, Ek.3'de verilmiştir.



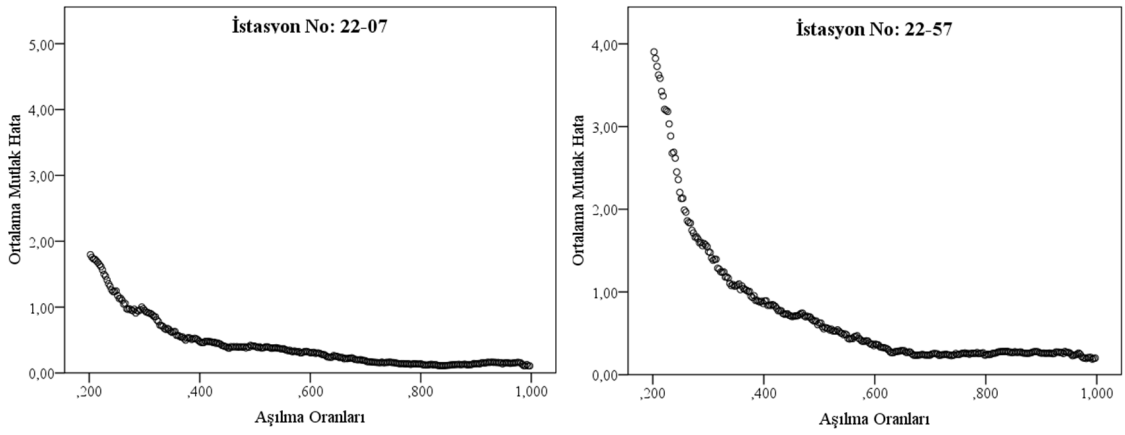
Şekil 3.3. 2233 istasyonunun aşılma oranları %30-100 olan 10 yıllık günlük ortalama akımlar ve regresyon denklemleri

### 3.3. Eksponansiyel Fonksiyona Uydurulan DSE'nin Hataları

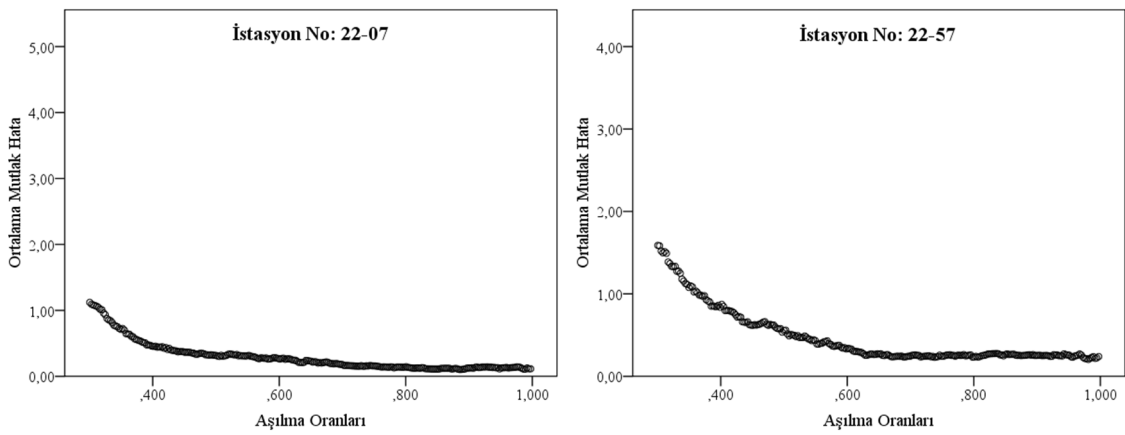
Yukarıda görülen eğri uydurma işlemlerinin, farklı aşılma olasılığı aralıklarındaki farklılığını göstermesi açısından, hata terimlerinin aşılma oranlarına göre değişimi de incelenmiştir. Örnek olarak seçilen 22-07 ve 22-57 istasyonlarının eksponansiyel fonksiyonlarının farklı aşılma oranlarındaki ortalama mutlak hata değerlerinin değişimi Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da görülmektedir. Eksponansiyel fonksiyonun aşılma olasılığı düşük olan değerlerde, daha büyük hatalar gösterdiği görülmektedir. Grafiklerdeki mutlak hatalar, tahmin edilen değerle her bir yılın ölçülen değeri arasındaki farkların mutlak değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.4. %0-%100 aşılma oranları arasındaki debilerin eksponansiyel denkleme göre ortalama mutlak hataları



Şekil 3.5. %20-%100 aşılma oranları arasındaki debilerin eksponansiyel denkleme göre ortalama mutlak hataları



Şekil 3.6. %30-%100 aşılma oranları arasındaki debilerin eksponansiyel denkleme göre ortalama mutlak hataları

### 3.4. Eksponansiyel Fonksiyon Parametrelerinin Havza Özellikleriyle İlişkisi

Eksponansiyel denklemin havza karakteristikleriyle çoklu regresyon analizi sonuçları aşağıda görülmektedir. (2.4) denkleminde genel şekli görülen  $a_e$  katsayısının çoklu regresyon analizi sonrası etkili olmayan bağımsız değişkenler denklemden çıkarılmıştır (Tablo 3.6).

Tablo 3.6.  $a_e$  katsayısının çoklu regresyon denklemi sonuçları

		$\hat{a}_e = b_0 + b_1A + b_2Y_{top}$				
		$b_0$	$b_1$	$b_2$	$R^2$	$RH_{ort}$ (%)
$a_{e,0-100}$	(a)	12.20442	0.02782	-	0.846	28.21
	(b)	3.92451	0.02977	0.00651	0.868	24.45
$a_{e,20-100}$	(a)	9.48294	0.01819	-	0.768	34.05
	(b)	0.28278	0.02036	0.00723	0.824	25.44
$a_{e,30-100}$	(a)	8.7834	0.01505	-	0.702	38.98
	(b)	-1.00563	0.01735	0.0077	0.787	28.81

Tablodaki rölatif hata ve ortalaması hesaplanırken aşağıdaki formüller kullanılmıştır.

$$RH = \frac{|Q - \hat{Q}|}{Q} \cdot 100 \quad 3.1$$

Burada,

$Q$ : ölçülen debi değerini

$\hat{Q}$ : tahmin edilen debi değerini göstermektedir.

$$RH_{ort} = \frac{\sum RH}{N} \quad 3.2$$

$a_{e,0-100}$  katsayısı 7.221 ile 103.945 değerleri arasında değişir, ortalaması 25.70, standart sapması 20.23'tür. %95 güven aralığında, alt limiti 19.14, üst limiti 32.25 olmaktadır.

$a_{e,20-100}$  katsayısı 5.722 ile 75.404 değerleri arasında değişir, ortalaması 18.31, standart sapması 13.89'tür. %95 güven aralığında, alt limiti 13.80, üst limiti 22.81 olmaktadır.

$a_{e,30-100}$  katsayısı 5.16 ile 67.61 değerleri arasında değişir, ortalaması 16.08, standart sapması 12.02'tür. %95 güven aralığında, alt limiti 12.19, üst limiti 19.98 olmaktadır.

Aşağıdaki tabloda,  $b_e$  değişkenin çoklu regresyon sonuçları gösterilmektedir. Çoklu belirlilik katsayılarının yükseltilmesi için eğrisel ilişkiler de göz önüne alınmıştır.

Tablo 3.7.  $b_e$  katsayısının çoklu regresyon denklemi sonuçları

		Regresyon Denklemi	$R^2$	$RH_{ort}$ (%)
$b_{e,0-100}$	(a)	$24.894 \cdot Y_{top}^{-0.3167}$	0.400	13.6
	(b)	$3.27629 + 0.00102Y_d - 0.00064Y_{top}$	0.375	14.2
	(c)	$3.55632 - 0.00066Y_{top}$	0.364	14.4
	(d)	$41.7815 \cdot A^{-0.0626} \cdot E_a^{-0.224} Y_{top}^{-0.2875}$	0.497	12.2
	(e)	$19.059 \cdot A^{-0.0528} \cdot Y_d^{0.1037} E_a^{-0.2342} Y_{top}^{-0.2628}$	0.505	12.2
$b_{e,20-100}$	(a)	$2.4469 - 0.000027A + 0.0025Y_d - 0.1064E_a - 0.00015Y_{top}$	0.351	13.1
	(b)	$8.1855 \cdot A^{-0.0816} \cdot Y_d^{0.1927} E_a^{-0.2753} Y_{top}^{-0.2049}$	0.436	12.4
$b_{e,30-100}$	(a)	$1.9208 - 0.00004A + 0.0034Y_d - 0.1169E_a + 0.000011Y_{top}$	0.308	13.8
	(b)	$2.9238 \cdot A^{-0.1002} \cdot Y_d^{0.3129} E_a^{-0.3192} Y_{top}^{-0.1384}$	0.427	12.9

$b_{e,0-100}$  katsayısı 1.541 ile 3.715 değerleri arasında değişir, ortalaması 2.82, standart sapması 0.54'tür. %95 güven aralığında, alt limiti 2.64, üst limiti 2.99 olmaktadır.

$b_{e,20-100}$  katsayısı 1.27 ile 3.28 değerleri arasında değişir, ortalaması 2.35, standart sapması 0.46'dır. %95 güven aralığında, alt limiti 2.21, üst limiti 2.50 olmaktadır.

$b_{e,30-100}$  katsayısı 1.226 ile 3.341 değerleri arasında değişir, ortalaması 2.18, standart sapması 0.47'dir. %95 güven aralığında, alt limiti 2.03, üst limiti 2.34 olmaktadır.

### 3.5. Belli Aşılma Oranlarına Karşılık Gelen Debi Değerlerinin Regresyon Analizi Bulguları

Her bir istasyonda, aşılma oranlarına karşılık gelen 10 adet debi değerinin ( $m^3/sn$ ) medyanları alınmıştır. Her bir aşılma olasılığına karşılık gelen 39 adet medyan değeriyle çoklu regresyon metodu uygulanmış ve havza özellikleriyle ilişkileri analiz edilmiştir.

Tablo 3.8.  $Q_{10}$ ,  $Q_{20}$  ve  $Q_{30}$  medyan debilerinin çoklu regresyon sonuçları

Aşılma Oranları		$\hat{Q} = d_0 + d_1A + d_2Y_d + d_3Y_{top} + d_4E_a$					$R^2$	$RH_{ort}$ (%)
		$d_0$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$		
$\hat{Q}_{10}$ $\bar{Q}_{10} = 22.65$ $s_Q = 18.17$	(a)	10.755	0.025	-	-	-	0.816	33.13
	(b)	23.338	0.024	-0.048	-	-	0.838	27.62
	(c)	17.768	0.025	-0.043	0.003	-	0.845	24.98
$\hat{Q}_{20}$ $\bar{Q}_{20} = 15.08$ $s_Q = 11.89$	(a)	7.691	0.015	-	-	-	0.735	36.36
	(b)	2.098	0.017	-	0.004	-	0.763	29.69
	(c)	10.472	0.016	-0.029	0.004	-	0.782	28.83
$\hat{Q}_{30}$ $\bar{Q}_{30} = 9.67$ $s_Q = 7.22$	(a)	5.129	0.010	-0.017	0.004	-	0.736	31.89
	(b)	4.605	0.010	-0.02	0.003	0.398	0.742	29.76

$Q_{10}$ ,  $Q_{20}$  ve  $Q_{30}$  medyan debilerinin çoklu regresyon ilişkilerinin doğrusal olarak ifade edilmesiyle elde edilen bulgular yukarıdaki tabloda görülmektedir.

$Q_{40}$ ,  $Q_{50}$ ,  $Q_{60}$ ,  $Q_{70}$ ,  $Q_{80}$  ve  $Q_{90}$  medyan debilerinin havza özellikleriyle doğrusal ilişkilerinin analiz edilmesi sonucu, çoklu belirleme katsayılarının 0.70 değerinden aşağı düştüğü görülmüştür. Bu nedenle, havza karakteristikleri ile eğisel ilişkileri incelenmiştir. Regresyon sabitinin daha anlamlı ve büyük değerler vermesi amacıyla, logaritmik dönüşümde, debi değerlerinin 100 ile çarpılmış verileri kullanılmıştır. Ele alınan bu ilişkilerin bulguları da aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Tablo 3.9. Q<sub>40</sub>, Q<sub>50</sub>, Q<sub>60</sub>, Q<sub>70</sub>, Q<sub>80</sub> ve Q<sub>90</sub> medyan debilerinin çoklu regresyon sonuçları

		<i>Regresyon Denklemi</i>	$R^2$	$RH_{ort}$ (%)
$100 \cdot \hat{Q}_{40}$ $\bar{Q}_{40} = 6.94$ $s_Q = 5.22$	(a)	$0.001945 \cdot A^{0.805} Y_{top}^{1.150}$	0.841*	22.05
	(b)	$0.0005 \cdot A^{0.861} Y_{top}^{1.093} S_{ort}^{0.624}$	0.876*	17.73
$100 \cdot \hat{Q}_{50}$ $\bar{Q}_{50} = 5.46$ $s_Q = 4.22$	(a)	$0.00071 \cdot A^{0.825} Y_{top}^{1.241}$	0.826*	23.21
	(b)	$0.00018 \cdot A^{0.883} Y_{top}^{1.183} S_{ort}^{0.636}$	0.860*	19.81
$100 \cdot \hat{Q}_{60}$ $\bar{Q}_{60} = 4.54$ $s_Q = 3.50$	(a)	$0.00031 \cdot A^{0.853} Y_{top}^{1.311}$	0.811*	26.01
	(b)	$0.000073 \cdot A^{0.912} Y_{top}^{1.251} S_{ort}^{0.657}$	0.844*	21.84
$100 \cdot \hat{Q}_{70}$ $\bar{Q}_{70} = 3.77$ $s_Q = 2.92$	(a)	$0.00022 \cdot A^{0.851} Y_{top}^{1.331}$	0.796*	26.51
	(b)	$0.00017 \cdot A^{0.927} Y_{top}^{1.190} E_a^{0.506}$	0.834*	24.41
$100 \cdot \hat{Q}_{80}$ $\bar{Q}_{80} = 3.14$ $s_Q = 2.54$	(a)	$0.00011 \cdot A^{0.864} Y_{top}^{1.393}$	0.790*	27.45
	(b)	$0.00008 \cdot A^{0.955} Y_{top}^{1.224} E_a^{0.603}$	0.842*	23.74
$100 \cdot \hat{Q}_{90}$ $\bar{Q}_{90} = 2.59$ $s_Q = 2.16$	(a)	$0.00005 \cdot A^{0.872} Y_{top}^{1.469}$	0.744*	32.13
	(b)	$0.000033 \cdot A^{0.989} Y_{top}^{1.251} E_a^{0.779}$	0.824*	26.65

\* Logaritmik dönüşümle çoklu doğrusal regresyon sonucu



#### 4. İRDELEME

Aşılma olasılığı %0-100 aralığına karşılık gelen debiler ele alındığında, her bir istasyona basit eğrisel regresyon analizi ile uydurulan fonksiyonların ortalama belirleme katsayısı; logaritmik dönüşümle 0.837, eksponansiyel dönüşümle 0.869 olarak hesaplanmıştır. Logaritmik dönüşümün uygulanmasıyla; belirleme katsayıları 0.698 ile 0.898 arasında değerler almıştır. Eksponansiyel dönüşümün uygulanmasıyla; belirleme katsayıları 0.792 ile 0.931 arasında değerler almıştır. Tahminin standart hatasının ortalaması ise, logaritmik dönüşümde 4.132, eksponansiyel dönüşümde 0.312 olarak bulunmuştur. Bu standart hataların değişim aralıkları ise, logaritmik dönüşüm için 0.984-20.428, eksponansiyel dönüşüm için 0.196-0.480 olarak belirlenmiştir.

Aşılma olasılığı %20-100 aralığına karşılık gelen debiler ele alındığında, her bir istasyona basit eğrisel regresyon analizi ile uydurulan fonksiyonların ortalama belirleme katsayısı; logaritmik dönüşümle 0.751, eksponansiyel dönüşümle 0.801 olarak hesaplanmıştır. Logaritmik dönüşümün uygulanmasıyla; belirleme katsayıları 0.569 ile 0.886 arasında değerler almıştır. Eksponansiyel dönüşümün uygulanmasıyla; belirleme katsayıları 0.689 ile 0.915 arasında değerler almıştır. Tahminin standart hatasının ortalaması ise, logaritmik dönüşümde 1.826, eksponansiyel dönüşümde 0.268 olarak bulunmuştur. Bu standart hataların değişim aralıkları ise, logaritmik dönüşüm için 0.480-7.097, eksponansiyel dönüşüm için 0.136-0.444 olarak belirlenmiştir.

Aşılma olasılığı %30-100 aralığına karşılık gelen debiler ele alındığında, her bir istasyona basit eğrisel regresyon analizi ile uydurulan fonksiyonların ortalama belirleme katsayısı; logaritmik dönüşümle 0.707, eksponansiyel dönüşümle 0.747 olarak hesaplanmıştır. Logaritmik dönüşümün uygulanmasıyla; belirleme katsayıları 0.483 ile 0.861 arasında değerler almıştır. Eksponansiyel dönüşümün uygulanmasıyla; belirleme katsayıları 0.596 ile 0.891 arasında değerler almıştır. Tahminin standart hatasının ortalaması ise, logaritmik dönüşümde 1.297, eksponansiyel dönüşümde 0.256 olarak bulunmuştur. Bu standart hataların değişim aralıkları ise, logaritmik dönüşüm için 0.324-5.008, eksponansiyel dönüşüm için 0.131-0.422 olarak belirlenmiştir.

Aşılma olasılığı %0-%100 arasında olan debi değerlerine uydurulan, eksponansiyel dönüşümlü regresyon denklemi standart hatalarının, (22-58 istasyonu haricinde) diğer

aşılma olasılığı aralıklarındakinden daha fazla olduğu görülmüştür. Aşılma olasılığı %20-%100 olan debi değerleri standart hatalarının da, genellikle %30-%100 aşılma olasılığındaki standart hatalardan daha yüksek çıktığı görülmüştür. Sadece 7 istasyonda daha düşük değerler vermiştir.

$a_e$  katsayısının, %0-%100 aşılma olasılığı aralığında 7.221 ile 103.945 arasında değerler aldığı ve ortalamasının 25.696 olduğu, %20-%100 aşılma olasılığı aralığında 5.722 ile 75.404 arasında değerler aldığı ve ortalamasının 18.307 olduğu, %30-%100 aşılma olasılığı aralığında ise 5.162 ile 67.612 arasında değerler aldığı ve ortalamasının 16.082 olduğu belirlenmiştir.

$b_e$  katsayısının ise, %0-%100 aşılma olasılığı aralığında 1.541 ile 3.715 arasında değerler aldığı ve ortalamasının 2.816 olduğu, %20-%100 aşılma olasılığı aralığında 1.271 ile 3.279 arasında değerler aldığı ve ortalamasının 2.353 olduğu, %30-%100 aşılma olasılığı aralığında ise 1.226 ile 3.341 arasında değerler aldığı ve ortalamasının 2.184 olduğu belirlenmiştir.

$a_e$  katsayısının çoklu regresyon denklemi sonuçları göz önüne alındığında, rölatif hatanın,  $a_{e,0-100}$  için (a) denklemi uygulandığında, %0.14 ile %118.1 değerleri arasında değiştiği, ortalamasının ise %28.21 olduğu, (b) denkleminin uygulanmasıyla, rölatif hataların %0.75 ile %111.69 değerleri arasında değiştiği, ortalamasının ise %24.45 olduğu gözlenmiştir.

$a_{e,20-100}$  için (a) deklemi uygulandığında rölatif hataların, %5.98 ile %106.24 değerleri arasında değiştiği, ortalamasının ise %34.05 olduğu, (b) denkleminin uygulanmasıyla, rölatif hataların %0.81 ile %127.78 değerleri arasında değiştiği, ortalamasının ise %25.44 olduğu gözlenmiştir.

$a_{e,30-100}$  için (a) deklemi uygulandığında rölatif hataların, %2.47 ile %107.38 değerleri arasında değiştiği, ortalamasının ise %38.98 olduğu, (b) denkleminin uygulanmasıyla, rölatif hataların %2.83 ile %142.28 değerleri arasında değiştiği, ortalamasının ise %28.81 olduğu gözlenmiştir.

$b_e$  değişkeninin çoklu regresyon denklemi sonuçları göz önüne alındığında, rölatif hatanın,  $b_{e,0-100}$  için (a) denklemi uygulandığında, %1.3 ile %44.48 değerleri arasında değiştiği, ortalamasının ise %13.55 olduğu, (b) denkleminin uygulanmasıyla, rölatif hataların %0.01 ile %44.39 değerleri arasında değiştiği, ortalamasının ise %14.24 olduğu, (c) denkleminin uygulanmasıyla, rölatif hataların %0.12 ile %43.62 değerleri arasında değiştiği, ortalamasının ise %14.4 olduğu, (d) denkleminin uygulanmasıyla, rölatif

hataların %0.33 ile %38.99 değerleri arasında değiştiği, ortalamasının ise %12.22 olduğu, (e) denkleminin uygulanmasıyla, rölatif hataların %1.48 ile %37.04 değerleri arasında değiştiği, ortalamasının ise %12.15 olduğu gözlenmiştir.

$b_{e,20-100}$  için (a) deklemini uygulandığında rölatif hataların, %0.87 ile %50.94 değerleri arasında değiştiği, ortalamasının ise %13.05 olduğu, (b) denkleminin uygulanmasıyla, rölatif hataların %0.89 ile %47.29 değerleri arasında değiştiği, ortalamasının ise %12.42 olduğu gözlenmiştir.

$b_{e,30-100}$  için (a) denklemini uygulandığında rölatif hataların, %0.11 ile %51.07 değerleri arasında değiştiği, ortalamasının ise %13.83 olduğu, (b) denkleminin uygulanmasıyla, rölatif hataların %0.58 ile %49.37 değerleri arasında değiştiği, ortalamasının ise %12.89 olduğu gözlenmiştir.

Belirli aşılma olasılığına sahip olan değerlerin çoklu regresyon analizleri göz önüne alınırsa,  $Q_{10}$  debilerinin  $5.76 \text{ m}^3/\text{sn}$  ile  $84.6 \text{ m}^3/\text{sn}$  değerleri arasında değiştiği, ortalamasının  $22.65 \text{ m}^3/\text{sn}$  olduğu belirlenmiştir. Çoklu regresyon denklemlerinden elde edilen (a) denklemini uygulandığında, çoklu belirleme katsayısı 0.816, rölatif hatası %0.79 ile %142 arasında değişmekte, ortalaması %33.13 olmaktadır. (b) denklemini uygulandığında, çoklu belirleme katsayısı 0.838, rölatif hatası %0.13 ile %123.64 arasında değişmekte, ortalaması %27.62 olmaktadır. (c) denklemini uygulandığında, çoklu belirleme katsayısı 0.845, rölatif hatası %0.25 ile %92.94 arasında değişmekte, ortalaması %24.98 olmaktadır.

$Q_{20}$  debilerinin  $4.2 \text{ m}^3/\text{sn}$  ile  $54.5 \text{ m}^3/\text{sn}$  değerleri arasında değiştiği, ortalamasının  $15.08 \text{ m}^3/\text{sn}$  olduğu belirlenmiştir. Çoklu regresyon denklemlerinden elde edilen (a) denklemini uygulandığında, çoklu belirleme katsayısı 0.735, rölatif hatası %0.83 ile %133.98 arasında değişmekte, ortalaması %36.36 olmaktadır. (b) denklemini uygulandığında, çoklu belirleme katsayısı 0.763, rölatif hatası %1.02 ile %128.57 arasında değişmekte, ortalaması %29.69 olmaktadır. (c) denklemini uygulandığında, çoklu belirleme katsayısı 0.782, rölatif hatası %0.41 ile %143 arasında değişmekte, ortalaması %28.83 olmaktadır.

$Q_{30}$  debilerinin  $2.17 \text{ m}^3/\text{sn}$  ile  $36.5 \text{ m}^3/\text{sn}$  değerleri arasında değiştiği, ortalamasının  $9.67 \text{ m}^3/\text{sn}$  olduğu belirlenmiştir. Çoklu regresyon denklemlerinden elde edilen (a) denklemini uygulandığında, çoklu belirleme katsayısı 0.736, rölatif hatası %0.95 ile %153.85 arasında değişmekte, ortalaması %31.89 olmaktadır. (b) denklemini

uygulandığında, çoklu belirleme katsayısı 0.742, rölatif hatası %0.57 ile %168.06 arasında değişmekte, ortalaması %29.76 olmaktadır.

$Q_{40}$  debilerinin  $1.5 \text{ m}^3/\text{sn}$  ile  $25.5 \text{ m}^3/\text{sn}$  değerleri arasında değiştiği, ortalamasının  $6.94 \text{ m}^3/\text{sn}$  olduğu belirlenmiştir. Çoklu regresyon denklemlerinden elde edilen (a) denklemi uygulandığında, çoklu belirleme katsayısı 0.841, rölatif hatası %0.41 ile %73.05 arasında değişmekte, ortalaması %22.05 olmaktadır. (b) denklemi uygulandığında, çoklu belirleme katsayısı 0.876, rölatif hatası %0.87 ile %58.61 arasında değişmekte, ortalaması %17.73 olmaktadır.

$Q_{50}$  debilerinin  $1.19 \text{ m}^3/\text{sn}$  ile  $19.75 \text{ m}^3/\text{sn}$  değerleri arasında değiştiği, ortalamasının  $5.46 \text{ m}^3/\text{sn}$  olduğu belirlenmiştir. Çoklu regresyon denklemlerinden elde edilen (a) denklemi uygulandığında, çoklu belirleme katsayısı 0.826, rölatif hatası %1.19 ile %64.6 arasında değişmekte, ortalaması %23.21 olmaktadır. (b) denklemi uygulandığında, çoklu belirleme katsayısı 0.860, rölatif hatası %0.39 ile %71.55 arasında değişmekte, ortalaması %19.81 olmaktadır.

$Q_{60}$  debilerinin  $0.87 \text{ m}^3/\text{sn}$  ile  $15 \text{ m}^3/\text{sn}$  değerleri arasında değiştiği, ortalamasının  $4.54 \text{ m}^3/\text{sn}$  olduğu belirlenmiştir. Çoklu regresyon denklemlerinden elde edilen (a) denklemi uygulandığında, çoklu belirleme katsayısı 0.811, rölatif hatası %1.39 ile %71.27 arasında değişmekte, ortalaması %26.01 olmaktadır. (b) denklemi uygulandığında, çoklu belirleme katsayısı 0.844, rölatif hatası %0.56 ile %65.32 arasında değişmekte, ortalaması %21.84 olmaktadır.

$Q_{70}$  debilerinin  $0.71 \text{ m}^3/\text{sn}$  ile  $13.25 \text{ m}^3/\text{sn}$  değerleri arasında değiştiği, ortalamasının  $3.77 \text{ m}^3/\text{sn}$  olduğu belirlenmiştir. Çoklu regresyon denklemlerinden elde edilen (a) denklemi uygulandığında, çoklu belirleme katsayısı 0.796, rölatif hatası %0.46 ile %72.85 arasında değişmekte, ortalaması %26.51 olmaktadır. (b) denklemi uygulandığında, çoklu belirleme katsayısı 0.834, rölatif hatası %0.73 ile %83.94 arasında değişmekte, ortalaması %24.41 olmaktadır.

$Q_{80}$  debilerinin  $0.54 \text{ m}^3/\text{sn}$  ile  $11.85 \text{ m}^3/\text{sn}$  değerleri arasında değiştiği, ortalamasının  $3.15 \text{ m}^3/\text{sn}$  olduğu belirlenmiştir. Çoklu regresyon denklemlerinden elde edilen (a) denklemi uygulandığında, çoklu belirleme katsayısı 0.790, rölatif hatası %0.06 ile %65.05 arasında değişmekte, ortalaması %27.45 olmaktadır. (b) denklemi uygulandığında, çoklu belirleme katsayısı 0.842, rölatif hatası %0.07 ile %93.81 arasında değişmekte, ortalaması %23.74 olmaktadır.

$Q_{90}$  debilerinin  $0.4 \text{ m}^3/\text{sn}$  ile  $10.35 \text{ m}^3/\text{sn}$  değerleri arasında değiştiği, ortalamasının  $2.59 \text{ m}^3/\text{sn}$  olduğu belirlenmiştir. Çoklu regresyon denklemlerinden elde edilen (a) denklemleri uygulandığında, çoklu belirleme katsayısı  $0.744$ , rölatif hatası  $\%0.38$  ile  $\%98.67$  arasında değişmekte, ortalaması  $\%32.13$  olmaktadır. (b) denklemleri uygulandığında, çoklu belirleme katsayısı  $0.824$ , rölatif hatası  $\%0.7$  ile  $\%102.1$  arasında değişmekte, ortalaması  $\%26.65$  olmaktadır.

## 5. SONUÇLAR

Ele alınan aşılma olasılığı aralıklarının her üçünde (%0-%100, %20-%100, %30-%100), basit eğrisel regresyon analizinde eksponansiyel denklemin uygulanmasıyla, genelde, daha yüksek belirleme katsayıları bulunmuş ve tahminin standart hatasının ise bütün istasyonlar için daha düşük olduğu görülmüştür. Sonuçta, eksponansiyel denklemin değişkenleriyle, DSE'nin daha iyi ifade edileceği belirlenmiş ve havza karakteristiklerini ilişkilendirmek için bu fonksiyonun parametreleri seçilmiştir. Ayrıca, logaritmik dönüşüm uygulandığında, aşılma olasılığı 1'e yaklaşan debi değerlerinin negatif değerler verdiği de görülmüştür.

Basit eğrisel regresyon metodları sonucunda, eksponansiyel dönüşüm uygulanarak, farklı aşılma olasılığı aralıklarındaki ortalama mutlak hata değerlerine bakıldığında; aşılma olasılığı düşük olan değerlerdeki yüksek debi değerlerine karşılık mutlak hatanın ortalama değerinin büyüklüğü göze çarpmaktadır. Ancak aşılma olasılığı aralığı küçültüldükçe, bu mutlak hata ortalamalarının da düştüğü görülmektedir. Sonuçta, aşılma olasılığı aralığı küçüldükçe, daha doğru bir yaklaşım ortaya konduğu anlaşılmaktadır.

Eksponansiyel denklemin hatalarının değişimi ve standart hatalarının değişimi göz önüne alınırsa, %30-%100 aralığının, %20-%100 aralığından, %20-%100 aralığının ise %0-%100 aralığından daha güvenilir olduğu görülmektedir.

Eksponansiyel fonksiyonla parametreleştirme işlemi ile elde edilecek DSE'nin, aşılma olasılığının düşük olduğu yüksek debi değerlerine iyi uyum sağlayamadığı, genelde %20'den daha yüksek aşılma olasılıklarında daha iyi uyum sağladığı anlaşılmıştır. Hidroelektrik santrallerin değerlendirilmesinde göz önüne alınan %30-%100 aralığında, havza karakteristikleri yardımıyla eksponansiyel parametrelerin bulunmasıyla DSE'nin elde edilmesinin yeterli olduğu belirlenmiştir.

Drenaj alanı ile toplam akarsu uzunluğu arasında yüksek bir korelasyon olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle, toplam akarsu uzunluğu regresyon analizlerinden çıkartılmıştır. Çoklu regresyon analizinde kullanılacak değişkenlerin, kısmi korelasyonlarının düşük olmasına özen gösterilmelidir.

Basit eğrisel denklem değişkeni  $a_e$ 'nin havza karakteristikleri ile çoklu regresyon denklemleri kurulmuştur.  $a_e$  değişkeninin havza alanı ve yıllık toplam yağış değişkenleri

ile daha yüksek bir ilişkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Her bir aşılma olasılığı aralığı için iki farklı model belirlenmiştir. Bunlardan birisinde değişken olarak sadece drenaj alanı, diğerinde ise, drenaj alanı ile yıllık toplam yağış miktarı kullanılmıştır. Çoklu belirleme katsayıları 0.702 ile 0.868 değerleri arasında değişmektedir. Bütün aşılma olasılığı aralıklarında, drenaj alanı ile yıllık toplam yağış miktarlarının kullanıldığı modeller daha yüksek çoklu belirleme katsayısı değeri göstermişlerdir. Drenaj alanının regresyon denklemindeki etkisi bütün aşılma olasılıklarında, daha yüksektir.

$a_e$  katsayısının çoklu regresyon denkleminin çoklu belirleme katsayısı, aşılma yüzdelerinin oranı daraldıkça, daha düşük değerler göstermektedir. Hatalarla ifade edilen hata kareleri toplamı kısmında düşme olmasına rağmen, toplam regresyonla ifade edilen toplam kareler toplamı ve regresyon kareleri toplamı değerlerinde de düşme olmaktadır. Bu nedenle, çoklu belirleme katsayısı değerinde daha düşük sonuçlar görülmektedir. Hataların arttığı anlamına gelmemekte, ancak regresyon denklemiyle ifade edilen kısmın oranının daha düşük bir değer verdiğini göstermektedir.

$b_e$  katsayısının elde edilmesinde ortalama yıllık toplam yağış değeri bütün aşılma olasılığı aralıklarında önemli olmaktadır. Bu değere ek olarak drenaj alanı, drenaj yoğunluğu, akarsuların ortalama eğimi de önemli olmaktadır.

Belirli aşılma olasılıklarına karşı gelen debi değerlerinin regresyon denklemleri incelendiğinde, drenaj alanının bütün denklemlerde önemli olduğu görülmektedir.  $Q_{10}$ ,  $Q_{20}$  ve  $Q_{30}$  debileri göz önüne alınırsa, drenaj yoğunluğu ile ortalama yıllık toplam yağış değerlerinin de önemli olduğu belirlenmiştir.  $Q_{40}$ ,  $Q_{50}$ ,  $Q_{60}$ ,  $Q_{70}$ ,  $Q_{80}$  ve  $Q_{90}$  debi değerlerinin regresyon denklemleri göz önüne alınırsa, drenaj alanı ve ortalama yıllık toplam yağış değerlerinin önemli olduğu görülmektedir. Bunlara ek olarak, bazı debi değerlerinde yıllık ortalama sıcaklık ile akarsuların ortalama eğim değerleri de kullanılabilir.

Bu analiz yöntemleri ile, çalışma alanında, verisi bulunmayan yerlere ait düzenlenmemiş akarsular için DSE'nin veya belli aşılma oranlarına ait debi değerlerinin havza özellikleriyle elde edilmesi için gerekli regresyon modelleri bulunmuştur.

## 6. ÖNERİLER

Günlük debi değerlerinin zaman ile olan ilişkisi göz önüne alınarak, zaman serisi analizleri yapılabilir, korelasyon yapısı belirlenerek, hata oranı ve tahmin sonuçları, matematiksel modelle kıyaslanabilir.

Zaman serisi analizleri, bulanık mantık, yapay sinir ağları ve verilerin istatistiksel dağılımlara uygunluğu gibi yöntemlerle de DSE'nin elde edilmesi çalışmaları yapılarak, metodların kıyaslamaları yapılabilir.

Zemin özellikleri gibi yağıştan akışa geçen su miktarını etkileyen bazı değişkenlerin belirlenmesi çalışmaları yapıldıktan sonra, ilgili değişkenler de göz önüne alınarak regresyon modeli ve sonuçlar daha da iyileştirilebilir.

Havza ortalama yüksekliği vb. havza parametrelerinin modele eklenmesi ile regresyon analizleri ilerletilebilir. Homojen bölgelere ayırmada etkin olup olmadıkları da araştırılabilir.

Akarsu debi değişiminin mevsimselliği de araştırılabilir. Böylece, bölge hidrolojik yapısının ve ikliminin akım değerleri üzerinde etkileri daha belirgin olarak ele alınabilir. Mevsimsel modellerle senelik modelin arasında değerlendirmeler yapılabilir.

Bütünleştirilmiş havza yönetimi planlamalarının yapılarak, verilerin toplu halde daha güvenilir bir şekilde elde edilmesi sağlanmalıdır. Gözlem istasyonlarının koordinat, kot bilgileri ile haritaların güncelleme çalışmaları yapılmalıdır. Kurak ve sulak geçen yıllarla ilgili analizler de yapılarak, HES potansiyeli ve diğer çalışmalarda kullanılabilir.

Debilerin, drenaj alanlarına bölünmesiyle özgül debi değerlerini kullanacak olan araştırmalarda, zemin örtüsünün farklı özelliklere sahip olma ihtimali, göz önünde tutulmalıdır. Bitki örtüsü, analizde kullanılacak bölgeler arasında çok fazla değişebilir ve sızma ve su tutma miktarları farklılık gösterebilir. Dolayısıyla, bitki örtüsüyle ilgili çalışmalar yapıldıkça, modele eklenmeli ve etkileri araştırılmalıdır.

Kar sebebiyle akışa geçen miktarlar üzerine daha iyi araştırmalar yapılabilir. Taşkınlara sebep olabilecek, debi değerlerinde görülen pik değerlerin zamanlarına göre araştırmalar yapılabilir.

Doğu Karadeniz'in bir kısmına uygulanan bu model, daha da genişletilmeli ve değişkenler daha fazla irdelenmelidir. Bölgeselleştirilecek verilerin, hücre analizi gibi



yaklaşımlarla bölgeselleştirme çalışmaları yapılması ve bu değişimlerin havzanın bazı karakteristikleriyle ilişkileri incelenebilir. Böylece, havza daha homojen alt bölgelere ayrılabilir.

Regresyon metodları uygulanırken, kabullerin sağlanıp sağlanmadığına özen gösterilmelidir. Aksi halde, kurulan modelin güvenilirliği düşük olabilmektedir.

Basit eğrisel regresyon denklemi standart hatalarının aşılma oranlarındaki değişimi incelenerek, sınıflandırma kriteri olarak etkinliği değerlendirilebilir. Böylece, bölge daha alt bölgelere de ayrılabilir.

Düzenlenmemiş akarsularda yapılan bu araştırmanın, düzenlemeye tabi tutulmuş olan bölgelerdeki değişimleri de araştırılabilir. Böylece düzenlemeye tabi tutulmuş yerlerde, DSE'nin tahmini üzerinde araştırmalar yapılabilir.

Bölgeselleştirme çalışması sonuçlarının etkinliğini daha iyi belirleyebilmek için yeterli veri uzunluğuna sahip olan bazı istasyonlar analizden çıkartılarak, elde edilen regresyon denklemleri ile olan uyumları araştırılabilir.

## 7. KAYNAKLAR

- Archfield, S., A., 2009. Estimation of Continuous Daily Streamflow at Ungauged Locations in Southern New England, PhD, Tufts University.
- Bari, M., F. and Shaiful İslam, KH., 2006. Stochastic Model of Flow Duration Curves for Selected Rivers in Bangladesh, Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference held at Havana, Cuba, 99-104.
- Beşiktaş, M., 2010. Doğu Karadeniz’de Debi Süreklilik Eğrilerinin Regresyon Analizi ile Belirlenmesi ve Akım Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Castellarin, A., Camorani, G. and Brath, A., 2007. Predicting Annual and Long-Term Flow-Duration Curves in Ungauged Basins, Advances in Water Resources, 30, 937-953.
- Castellarin, A., Galeati, G., Brandimarte, L., Montanari, A. and Brath, A., 2004. Regional Flow-Duration Curves: Reliability for Ungauged Basins, Advances in Water Resources, 27, 953–965.
- Castellarin, A., Vogel, R.,M. and Brath, A., 2004. A Stochastic Index Flow Model of Flow Duration Curves, Water Resources Research, 40, W03104, doi:10.1029/2003WR002524.
- Chapra, S.,C. ve Canale, R., P., 2003. Mühendisler İçin Sayısal Yöntemler, 4. Basımdan Çeviri, Literatür Yayıncılık, 1004 sy.
- Copestake P. and Young A., R., 2008. How Much Water Can a River Give? Uncertainty and The Flow Duration Curve, BHS 10th National Hydrology Symposium, 59-66.
- Croker, K., M., Young, A., R. and Zaidman, M., D., 2003. Flow Duration Curve Estimation in Ephemeral Catchments in Portugal, Hyrol. Sci. J., 48, 3, 427-439.
- Cıgızoğlu, H., K., 1997. Debi Süreklilik Çizgisinin Matematik Modelleri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Engeland, K., Hisdal, H. and Beldring, S., 2006. Predicting Low Flows in Ungaged Cacthments, Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference held at Havana, Cuba, 163-168.
- Fennessey, N.,M. and Vogel, R.,M., 1990. Regional Flow-Duration Curves for Ungauged Sites in Massachusetts, J. Water Resour. Plann. Manage., ASCE, 116, 4, 531-549

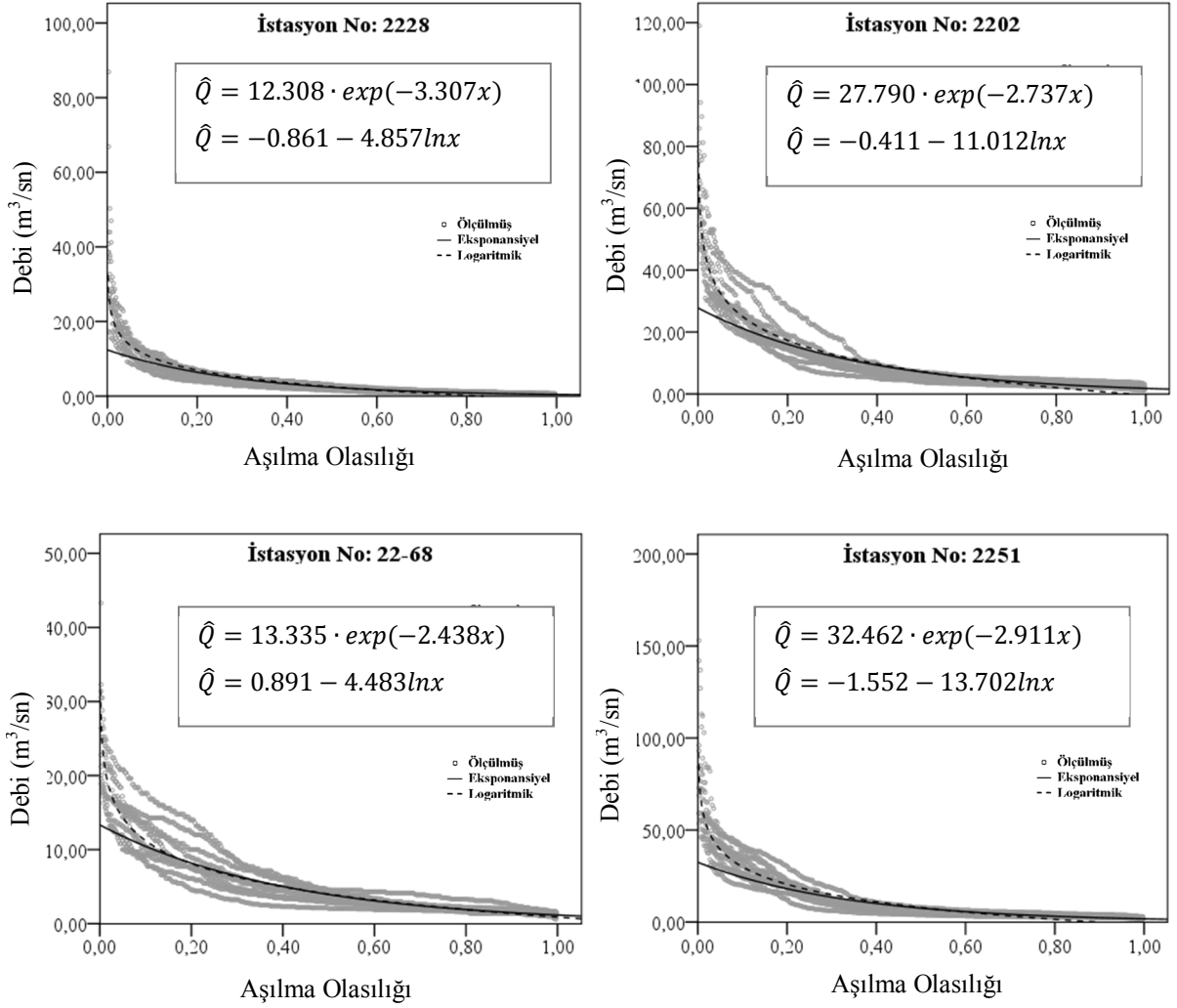
- Fennessey, N.,M. 1994. A Hydro-Climatological Model of Daily Streamflow for The Northeast United States, PhD, Tufts University.
- Franchini, M. and Suppo, M., 1996. Regional Analysis of Flow Duration Curves for a Limestone Region, Water Resour. Manage., 10, 199–218.
- Gulliver, J., S. and Arndt, R., E., A., 1991. Hydropower Engineering Handbook, U.S.A.
- Heitz, L., F., 1981. Hydrologic Evaluation Methods for Hydropower Studies, PhD, University of Idaho Graduate School.
- Işık, A., 2006. Uygulamalı İstatistik II, Beta Basın A.Ş., 700 s.
- Karaaslan, H., N., 2010. Estimation of Specific Flow Duration Curves Using Basin Characteristics of Rivers in Solaklı and Karadere Basins, MsC, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara.
- Kjelstrom, L., C., 1998. Methods for Estimating Selected Flow-Duration and Flood-Frequency Characteristics at Ungaged Sites in Central Idaho, Water-Resources Investigations Report 94-4120, Idaho.
- Krasovskaia, I., Gottschalk, L., Leblois, E. and Pacheco, A., 2006. Regionalization of Flow Duration Curves, Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference held at Havana, Cuba, 105-110.
- LeBoutillier, D., W. and Waylen, P., R., 1993a. A Stochastic Model of Flow Duration Curves, Water Resources Research, 29, 10, 3535-3541.
- LeBoutillier, D., W. and Waylen, P., R., 1993b. Regional Variations in Flow Duration Curves for Rivers in British Columbia, Canada, Phys. Geogr., 14, 4, 359-378.
- McMohan, T.,A. and Arenas, A.,D., 1982. Methods o Computation o Low Flow Streamflow, Unesco, 36p.
- Mimikou, M. and Kaemaki, S., 1985. Regionalization of Flow Duration Characteristics, Journal of Hydrology, 82, 77-91.
- Morales, R., A., R., 2001. Hydrologic Characterization of Goodwin Creek, Mississippi, MsC, University of Puerto Rico.
- Niadas, I., A. and Mentzelopoulos, P., G., 2008. Probabilistic Flow Duration Curves for Small Hydro Plant Design and Performance Evaluation, Water Resources Management, 22, 509-523.

- Patel, J., A., 2007. Evaluation of Low Flow Estimation Techniques for Ungauged Catchments, Water and Environment Journal, 21, 41-46.
- Perry, C., A., Wolock, D., M. and Artman, J., C., 2004. Estimates of Flow Duration, Mean Flow and Peak-Discharge Frequency Values for Kansas Stream Locations, Scientific Investigations Report, Kansas Department of Health and Environment and the Kansas Department of Transportation.
- Quimpo, R., G., Asce, M., Alejandrino, A., A. and McNally, T., A., 1983. Regionalized Flow Duration for Philippines, Journal of Water Resources Planning and Management, 109, 4.
- Raghnath, H.,M., 2006. Hydrology: Principles, Analysis, and Design, New Age International Publisher.
- Richards, K., S., 1982. Rivers: Form and Processes in Alluvial Channel, London:Methuen.
- Searcy, J., K., 1959. Flow-Duration Curves, Manual of Hydrology-Part 2, Low Flow Techniques, US Geological Survey Water-Supply Paper, 1542A, 33p.
- Shaw, E., M., 1988. Hydrology in Practice, Chapman and Hall, Second edition, 539p.
- Singh, R., D., Mishra, S., K. and Chowdhary, H., 2001. Regional Flow-Duration Models for Large Number of Ungauged Himalayan Catchments for Planning Microhydro Projects, Journal of Hydrologic Engineering, 6, 4, 310-316.
- Smakhtin, V., Y., Hughes, D., A. and Creuse-Naudine, E., 1997. Regionalization of Daily Flow Characteristics in Part of The Eastern Cape, South Africa, Hydrol. Sci. J., 42, 6, 919-936.
- Smakhtin, V., Y., 2001. Low Flow Hydrology: A Review, J. Hydrol., 240, 147-186.
- Şen, Z., 2002. Temiz Enerji ve Kaynakları, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Tübitak Mühendislik Araştırma Grubu, 2009. Akım Ölçümleri Olmayan Akarsu Havzalarında Teknik Hidroelektrik Potansiyelin Belirlenmesi, Program Kodu: 1001, Proje No: 106M043, İstanbul.
- Vogel, R., M. and Fennessey, N., M., 1994. Flow-Duration Curves I: New Interpretation and Confidence Intervals, Journal of Water Resources Planning and Management, 120, 4, 485-504.
- Vogel, R., M. and Fennessey, N., M., 1995. Flow-Duration Curves II: A Review of Applications in Water Resources Planning, Water Resources Bulletin, 31, 6, 1029-1039.

- Wisler, C. ve O. Brater, E., F., 1959. Hydrology, Wiley, 408p.
- Yanık, B., 2004. Doğal Akışlı Hidroelektrik Potansiyelin Belirlenmesinde Bölgesel Analiz Yaklaşımı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Young, A., R., 2002. Technical Report 3. Sampling Errors in The Estimation of Mean Flow and Flow Duration Statistics from Gauged Records in The UK., Environment Agency R&D Project 0638 and W6-021.
- Yu, P., S. and Yang, T., C., 2000. Using Synthetic Flow Duration Curves for Rainfall-Runoff Model Calibration at Ungauged Sites, Hydrological Processes, 14,1, 117-133.
- Yu, P., S., Yang T., C. and Wang, Y., C., 2002. Uncertainty Analysis of Regional Flow Duration Curves, Journal of Water Resources Planning and Management, 128,6, 424.
- Yüksek, Ö. ve Üçüncü, O., 1999. Çözülmüş Problemlerle Temel Hidroloji, Akoluk Bas., 141s.
- Yüksek, Ö., Kankal, M., Kömürcü, M., İ., Önsoy H. ve Akpınar, A., 2007. The Importance of Hydropower Plants in Turkey's Energy Planning, International Congress River Basin Management, I, DSİ, Antalya, Türkiye.
- Yüksek, Ö., Kankal, M., Önsoy, H. ve Filiz, M.,H., 2008. Doğu Karadeniz Taşkınları Üzerine Genel Bir Değerlendirme, Taşkın, Heyelan ve Dere Yataklarının Korunması Konferansı, Trabzon.

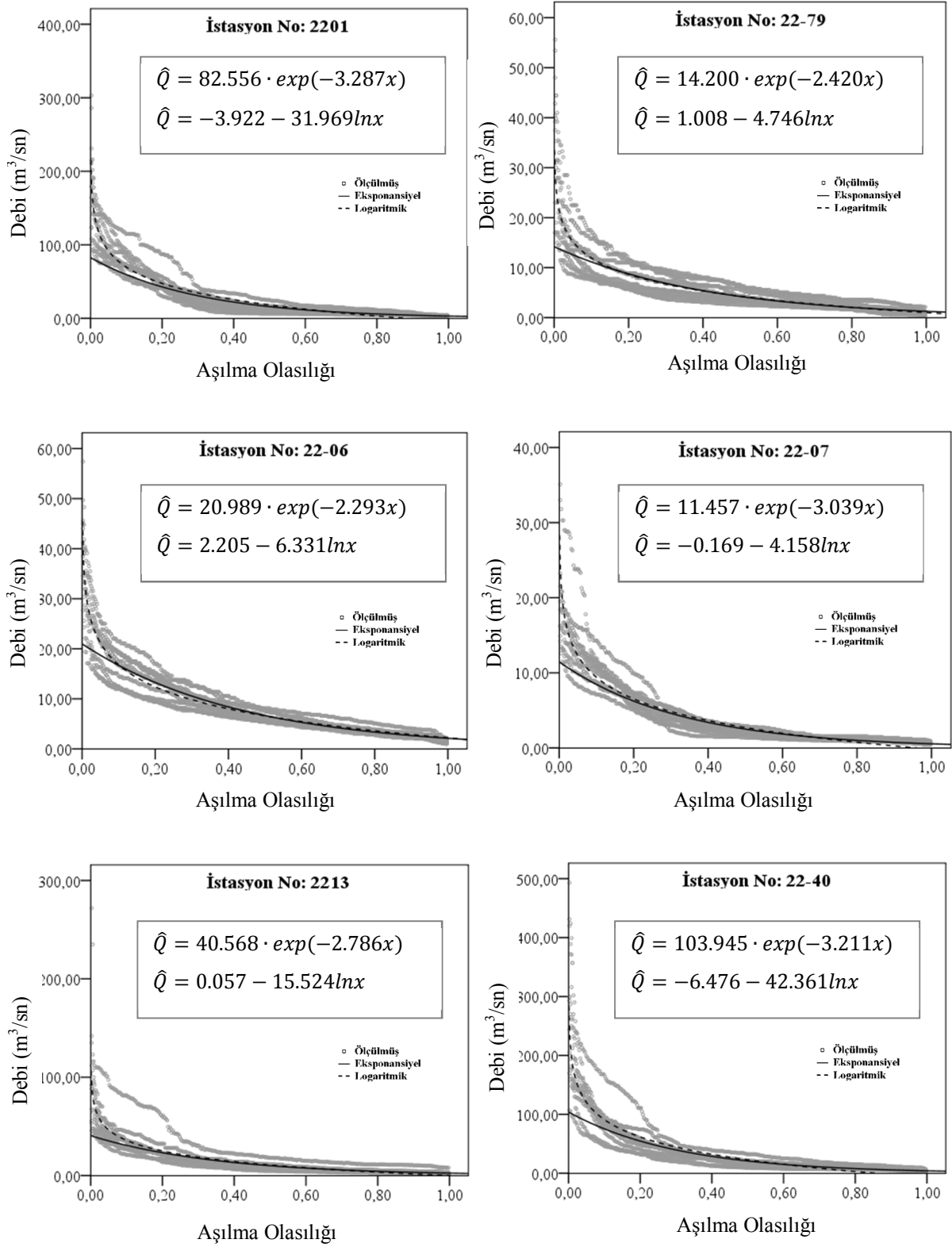
## 8. EKLER

**Ek 1. Aşılma Olasılığı %0-%100 Aralığındaki 10 Yıllık Debiler ve Regresyon Denklemleri**



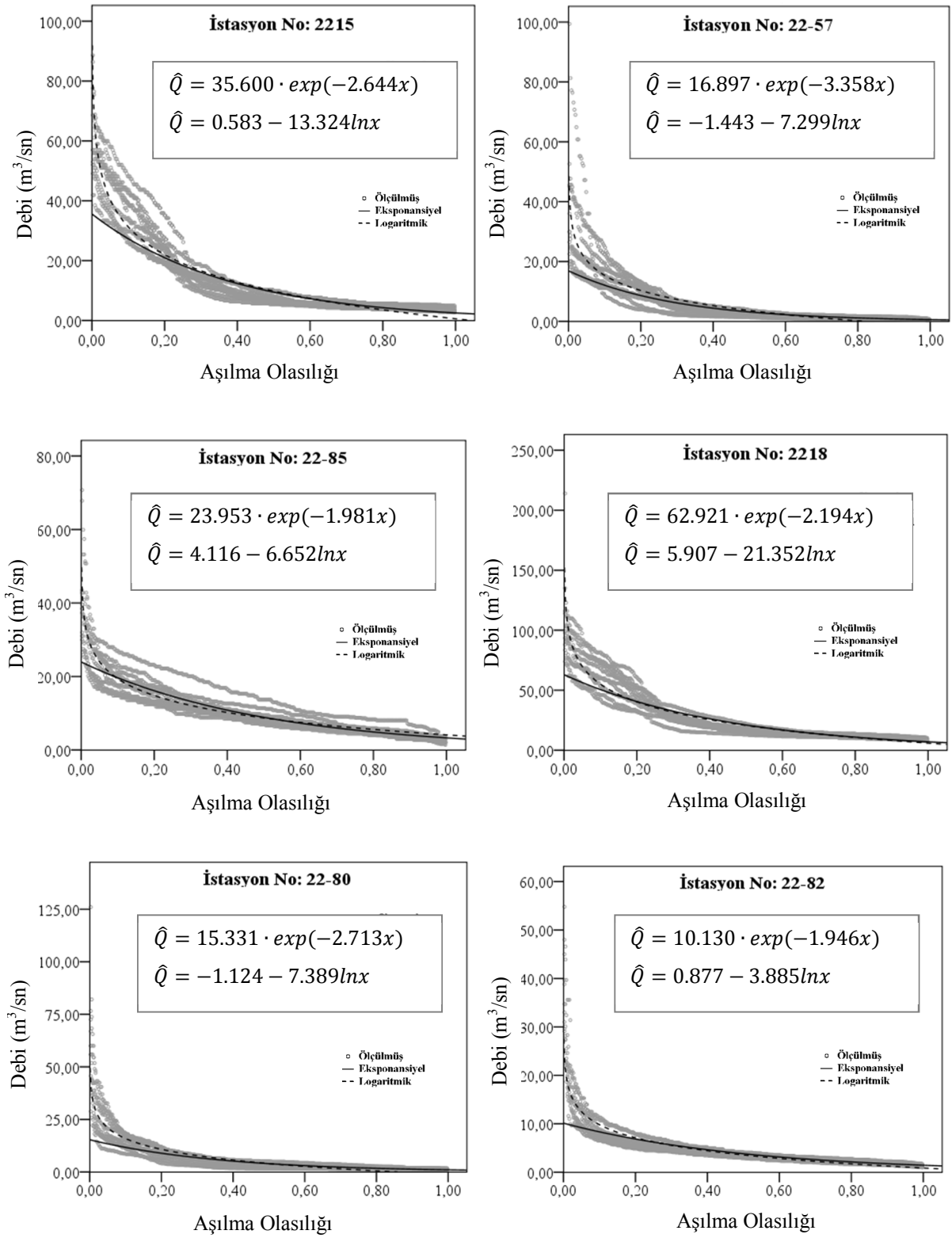
**Ek Şekil 1. 2228, 2202, 22-68 ve 2251 istasyonlarının %0-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri**

Ek-1'in devamı



Ek Şekil 2. 2201, 22-79, 22-06, 22-07, 2213 ve 22-40 istasyonlarının %0-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri

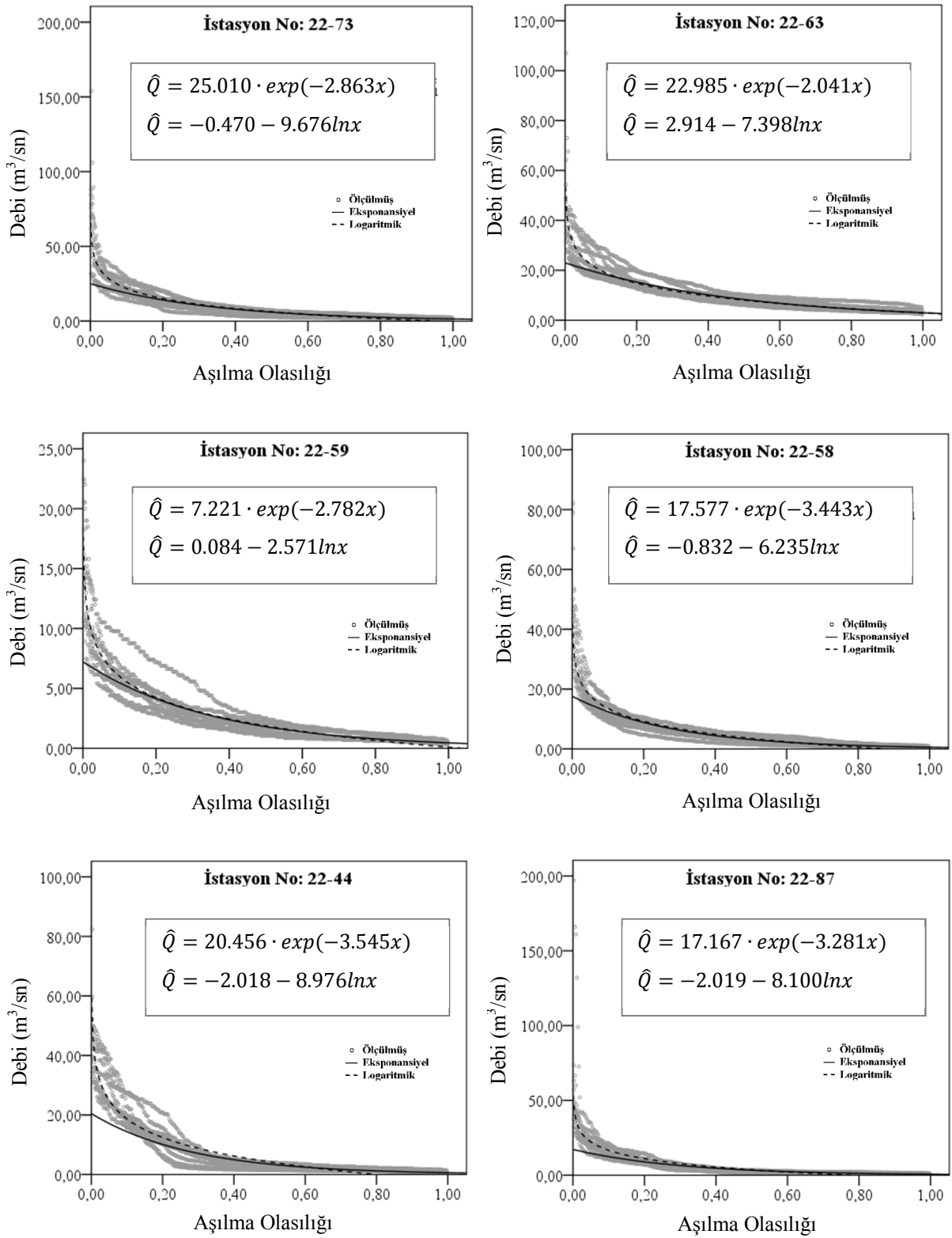
Ek-1'in devamı



Ek Şekil 3. 2215, 22-57, 22-85, 2218, 22-80 ve 22-82 istasyonlarının %0-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri

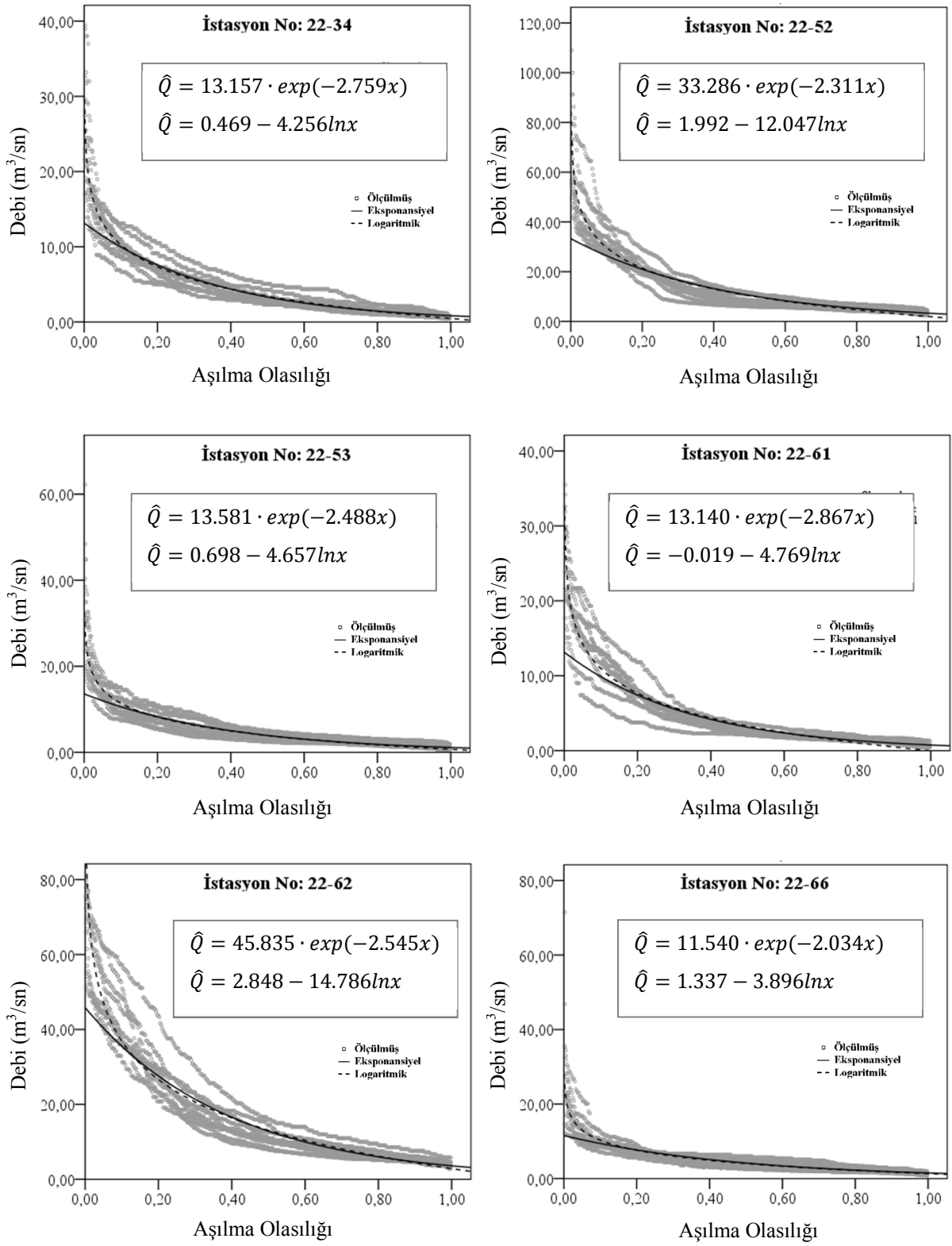


Ek-1'in devamı



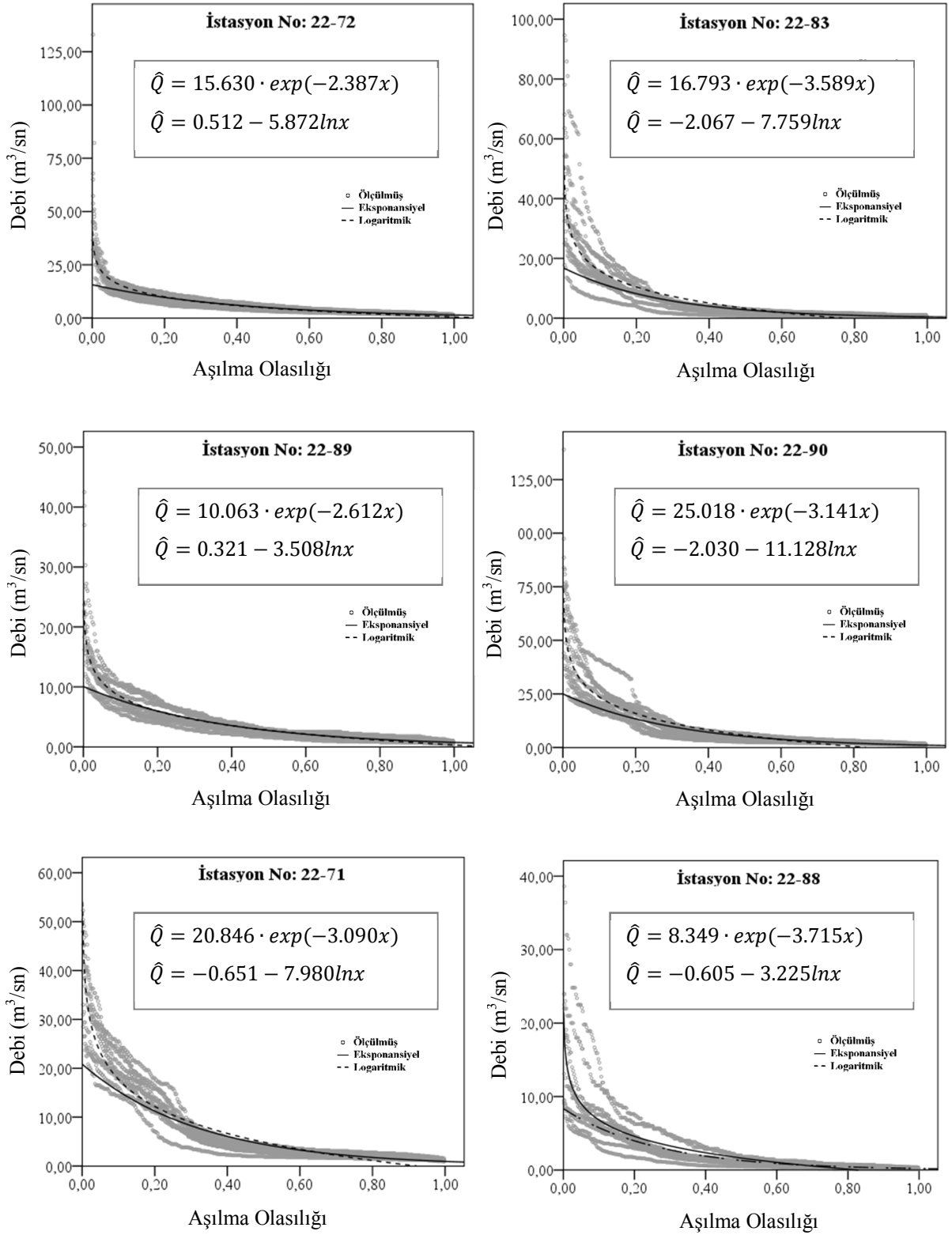
Ek Şekil 4. 22-73, 22-63, 22-59, 22-58, 22-44 ve 22-87 istasyonlarının %0-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri

Ek-1'in devamı



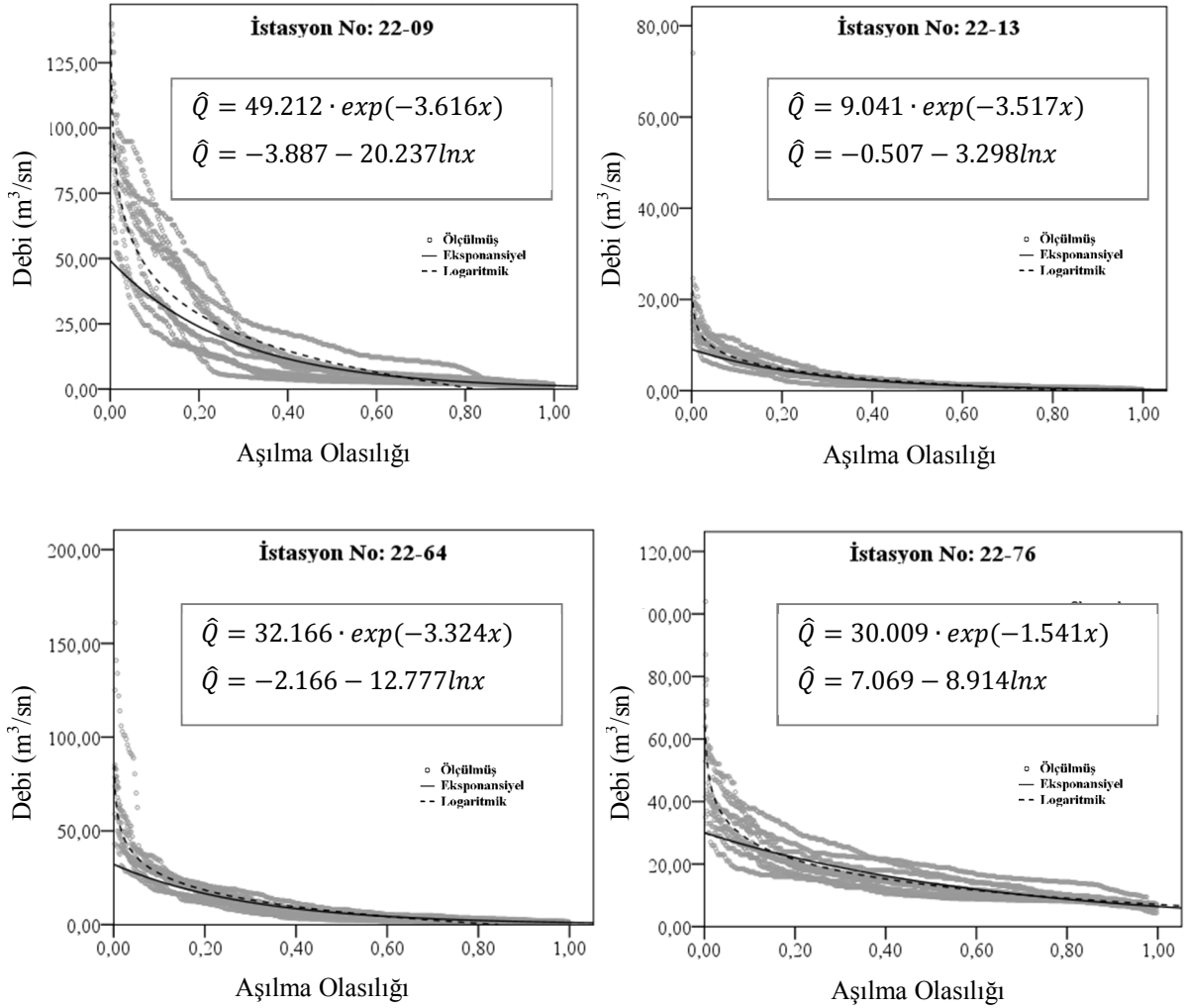
Ek Şekil 5. 22-34, 22-52, 22-53, 22-61, 22-62 ve 22-66 istasyonlarının %0-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri

Ek-1'in devamı



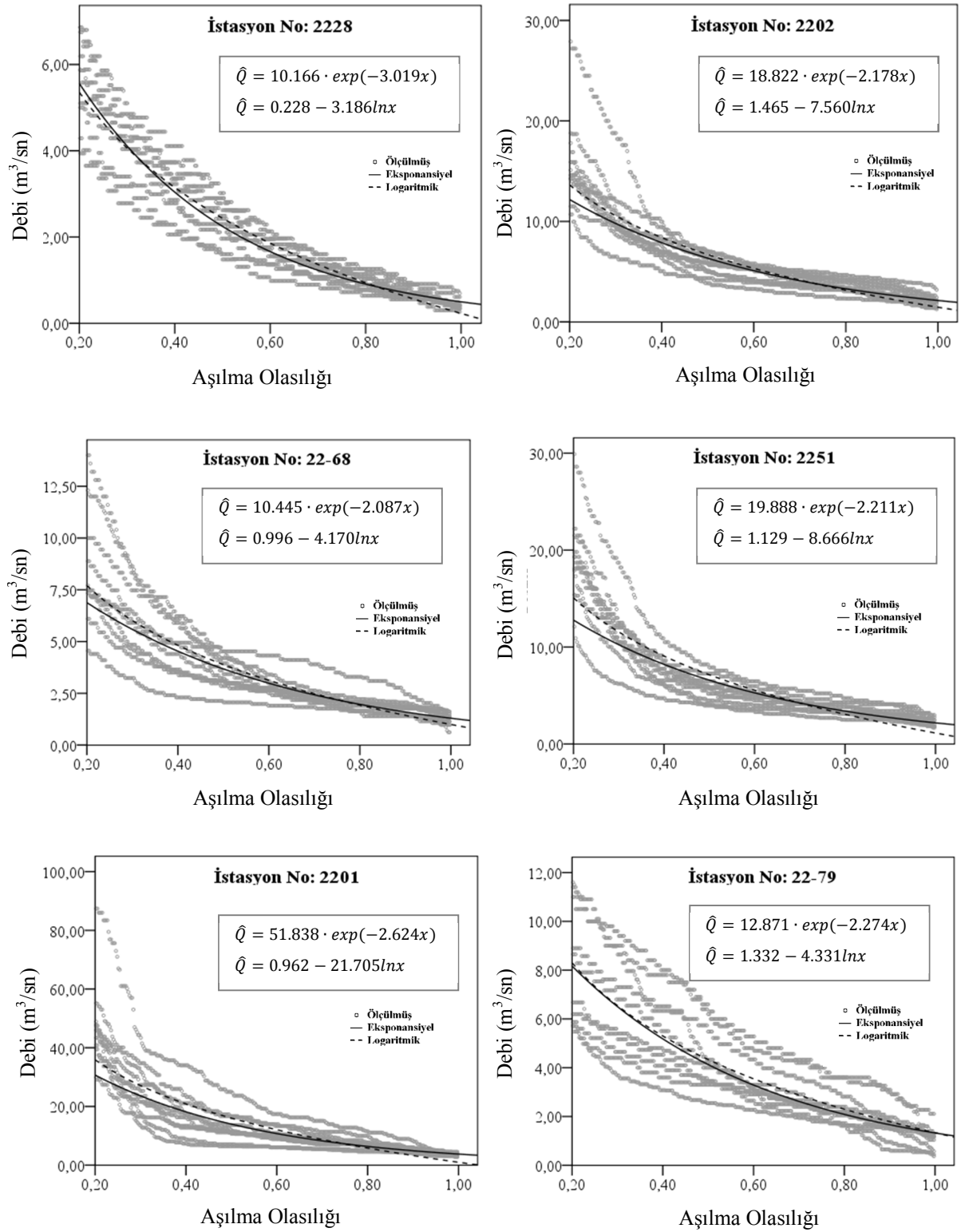
Ek Şekil 6. 22-72, 22-83, 22-89, 22-90, 22-71 ve 22-88 istasyonlarının %0-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri

Ek-1'in devamı



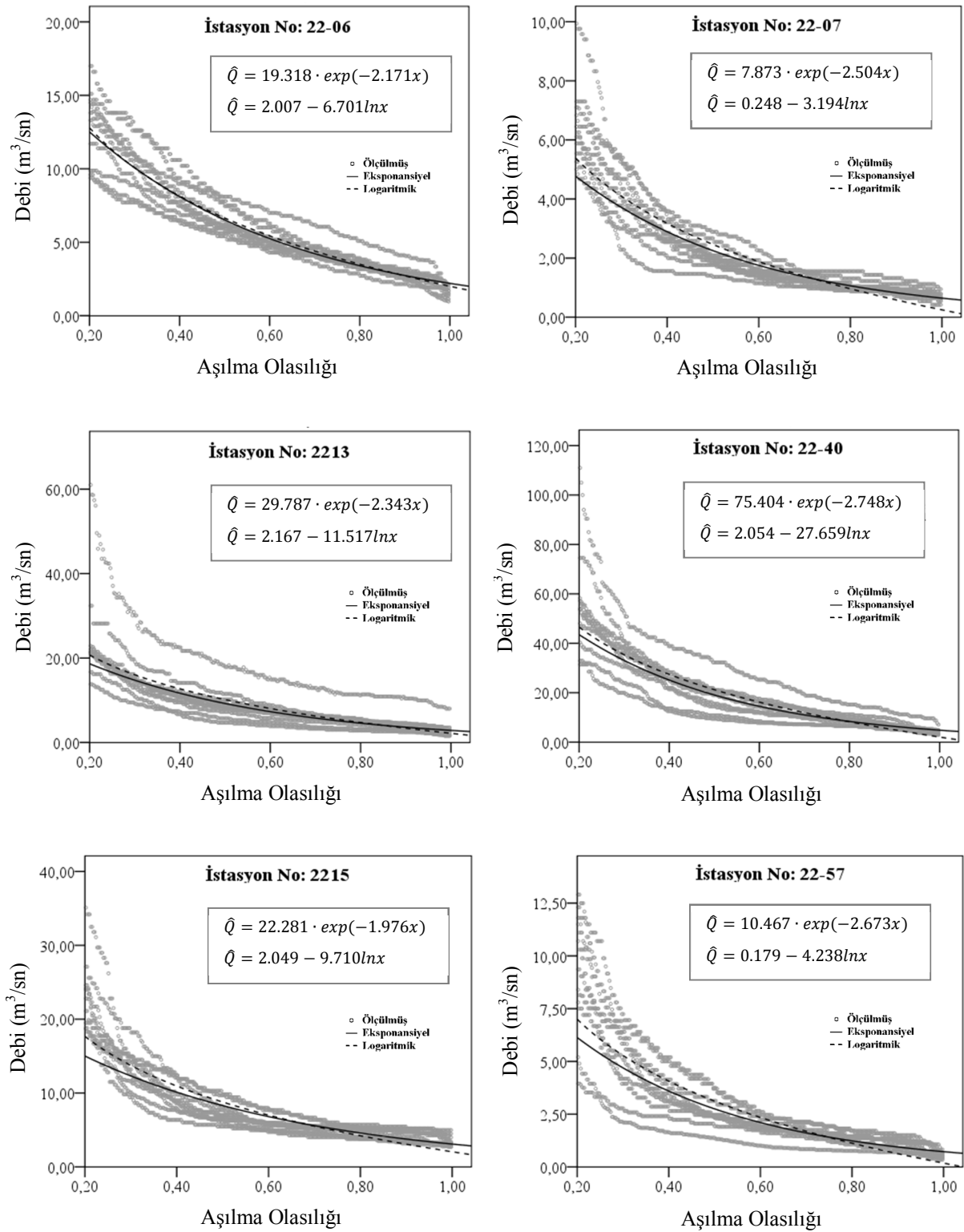
Ek Şekil 7. 22-09, 22-13, 22-64 ve 22-76 istasyonlarının %0-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri

## Ek 2. Aşılma Olasılığı %20-%100 Aralığındaki 10 Yıllık Debiler ve Regresyon Denklemleri



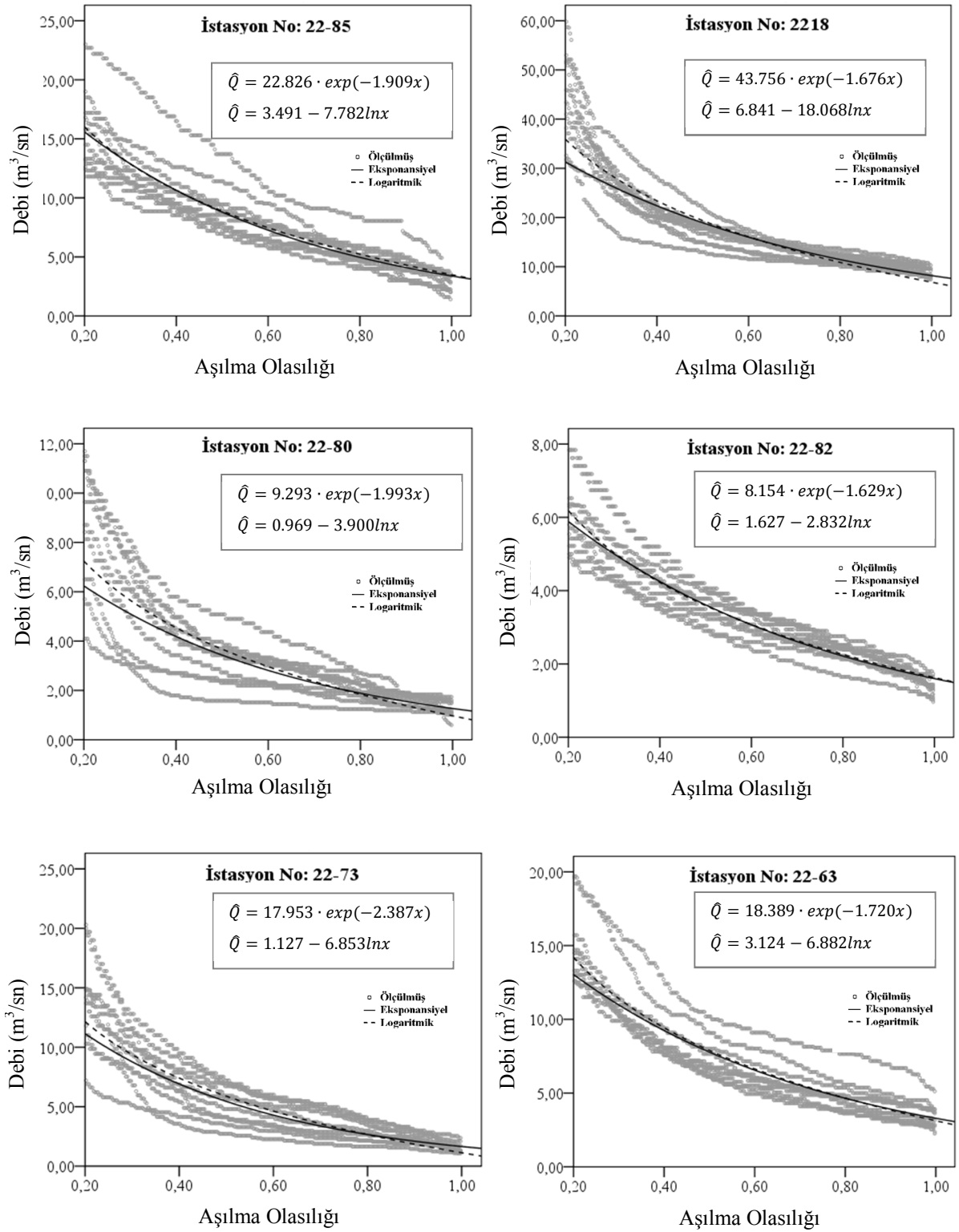
Ek Şekil 8. 2228, 2202, 22-68, 2251, 2201 ve 22-79 istasyonlarının %20-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri

## Ek-2'nin devamı



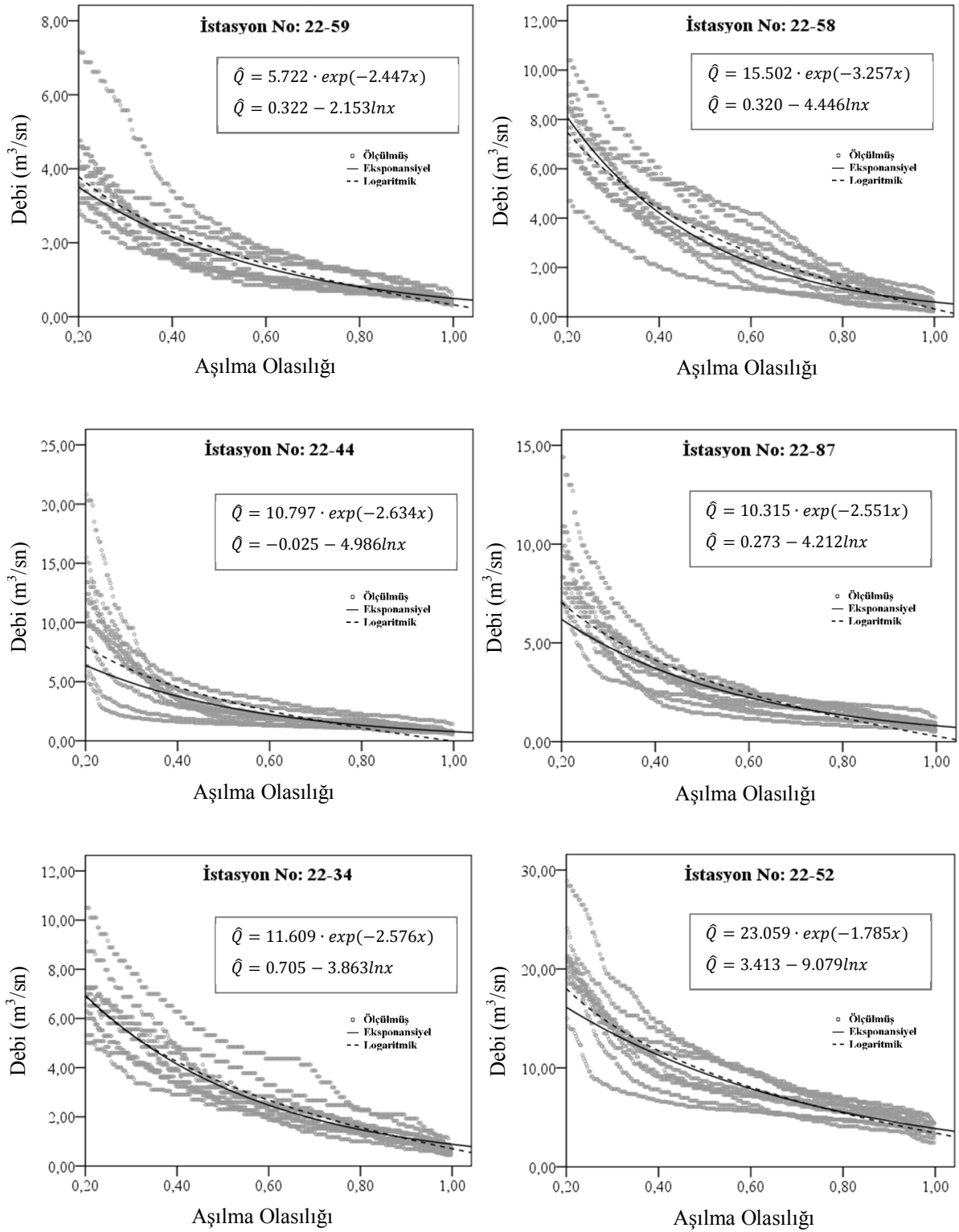
Ek Şekil 9. 22-06, 22-07, 22-13, 22-40, 22-15 ve 22-57 istasyonlarının %20-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri

## Ek-2'nin devamı



Ek Şekil 10. 22-85, 2218, 22-80, 22-82, 22-73 ve 22-63 istasyonlarının %20-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri

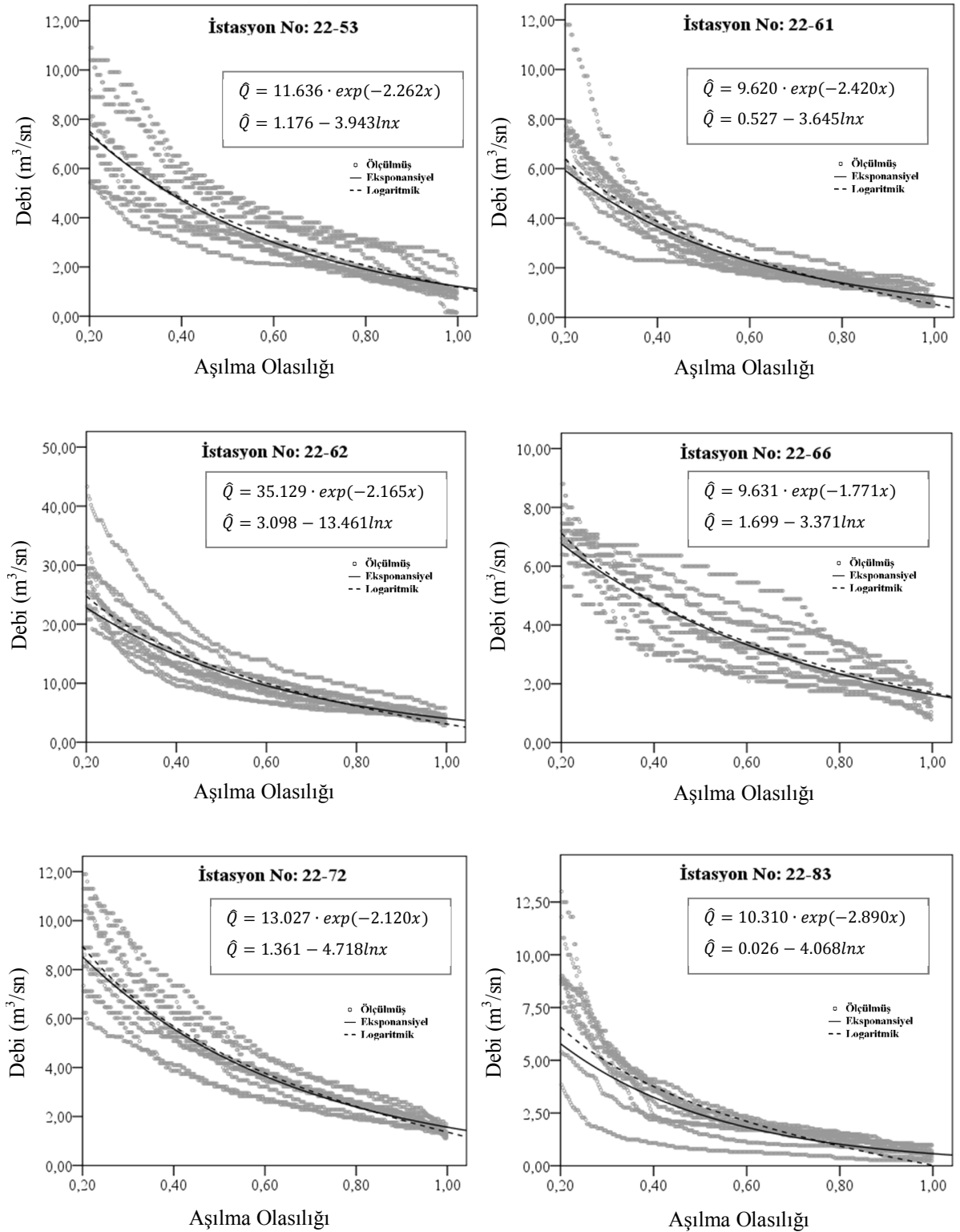
## Ek-2'nin devamı



Ek Şekil 11. 22-59, 22-58, 22-44, 22-87, 22-34 ve 22-52 istasyonlarının %20-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri

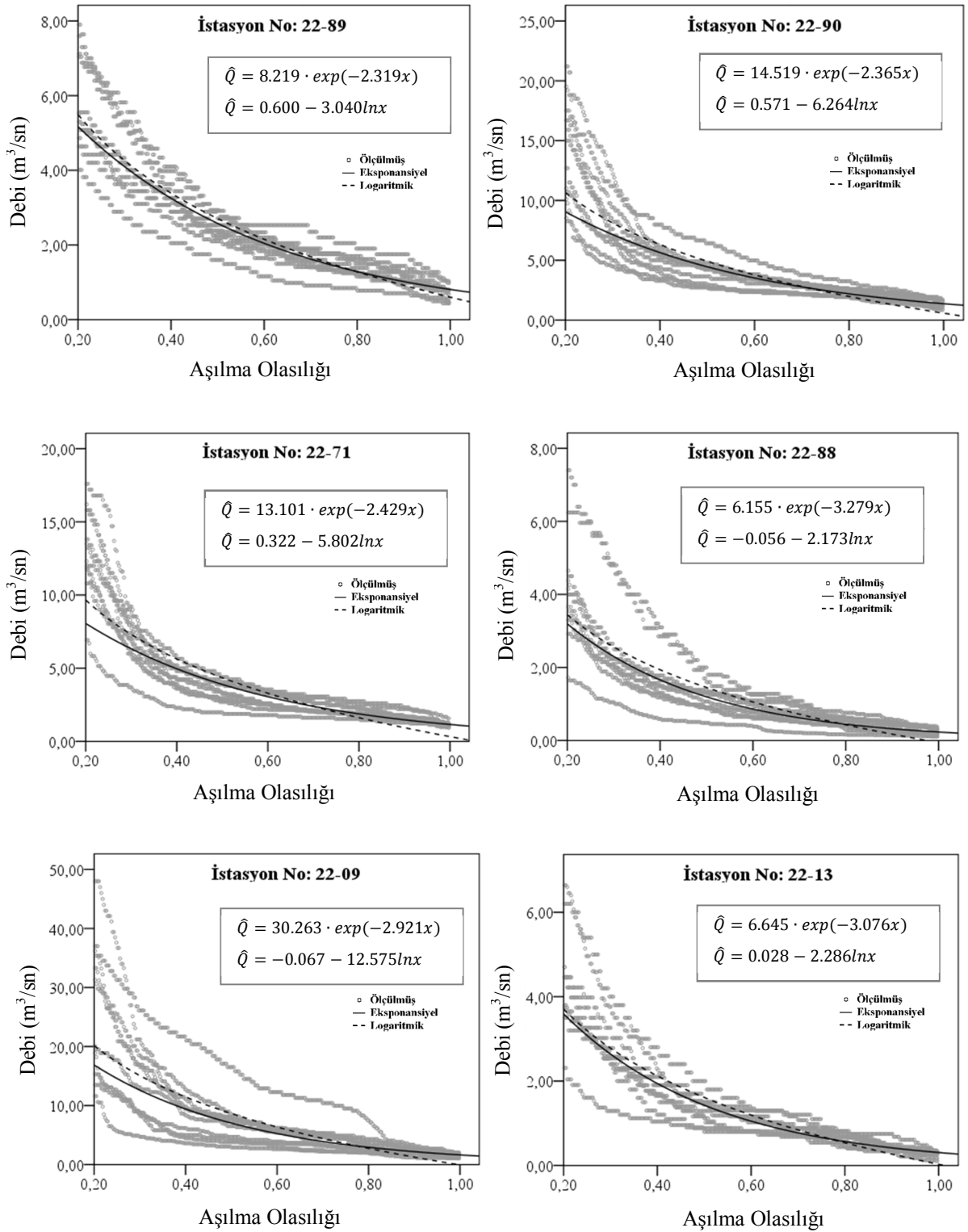


Ek-2'nin devamı



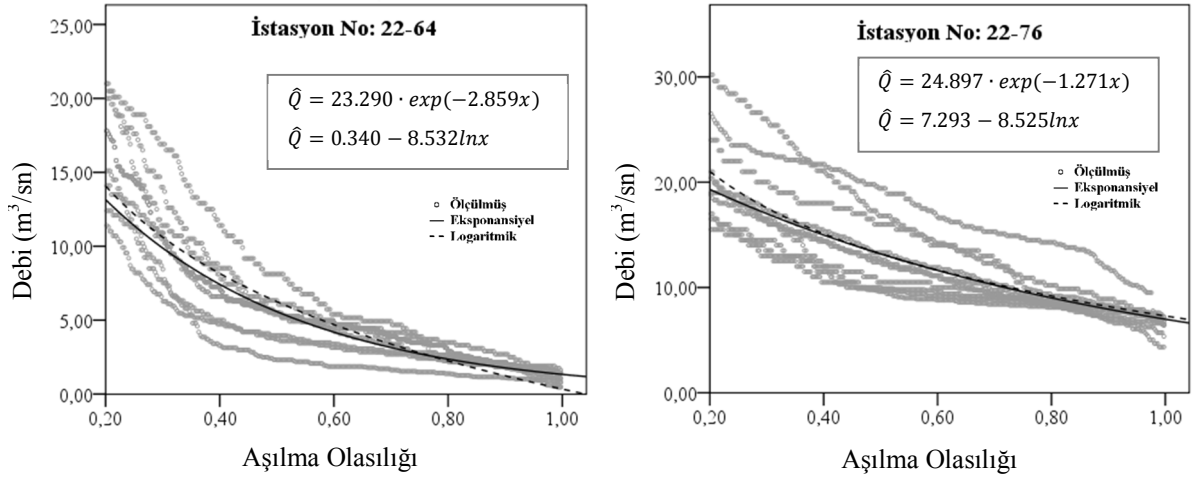
Ek Şekil 12. 22-53, 22-61, 22-62, 22-66, 22-72 ve 22-83 istasyonlarının %20-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri

Ek-2'nin devamı



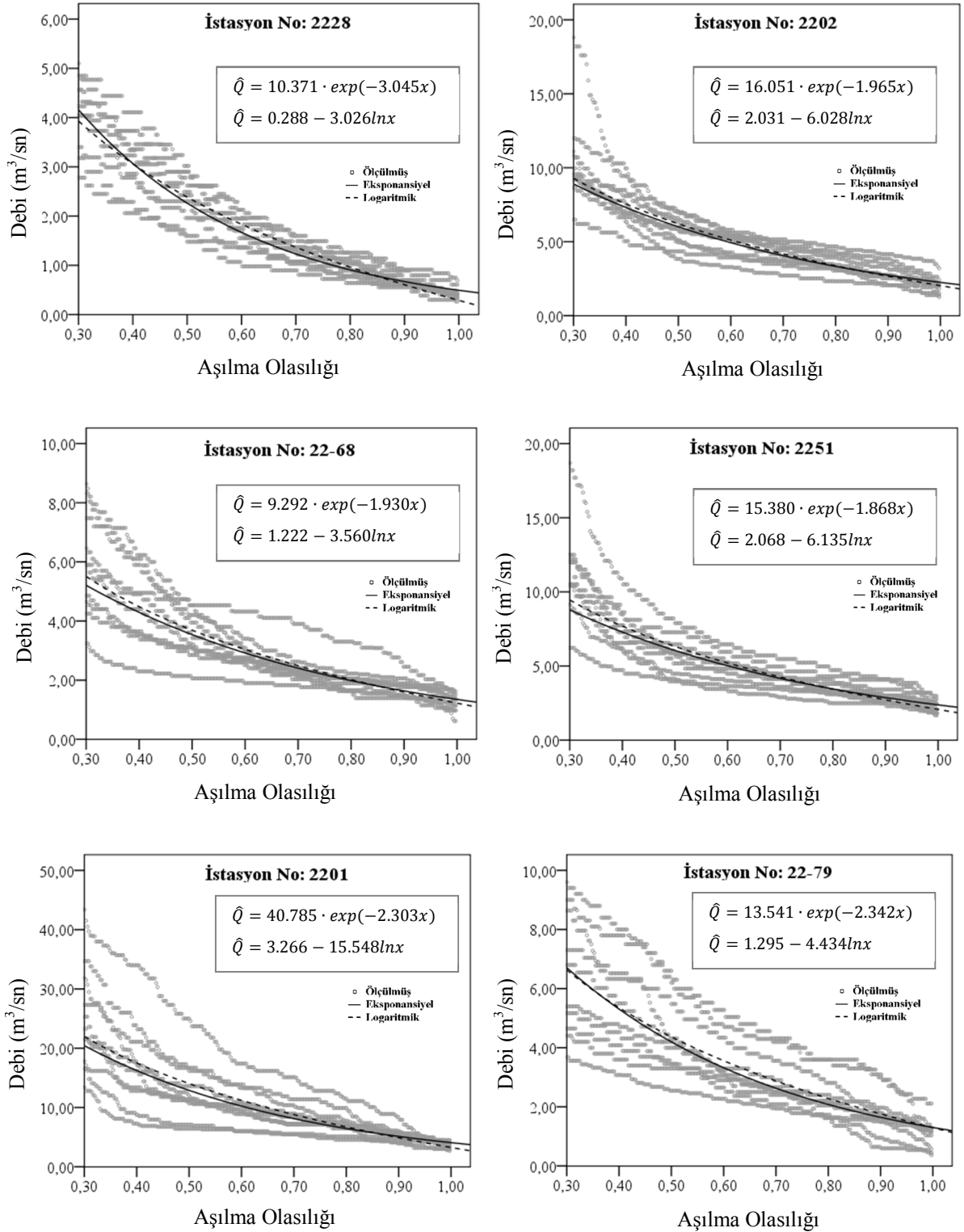
Ek Şekil 13. 22-89, 22-90, 22-71, 22-88, 22-09 ve 22-13 istasyonlarının %20-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri

Ek-2'nin devamı



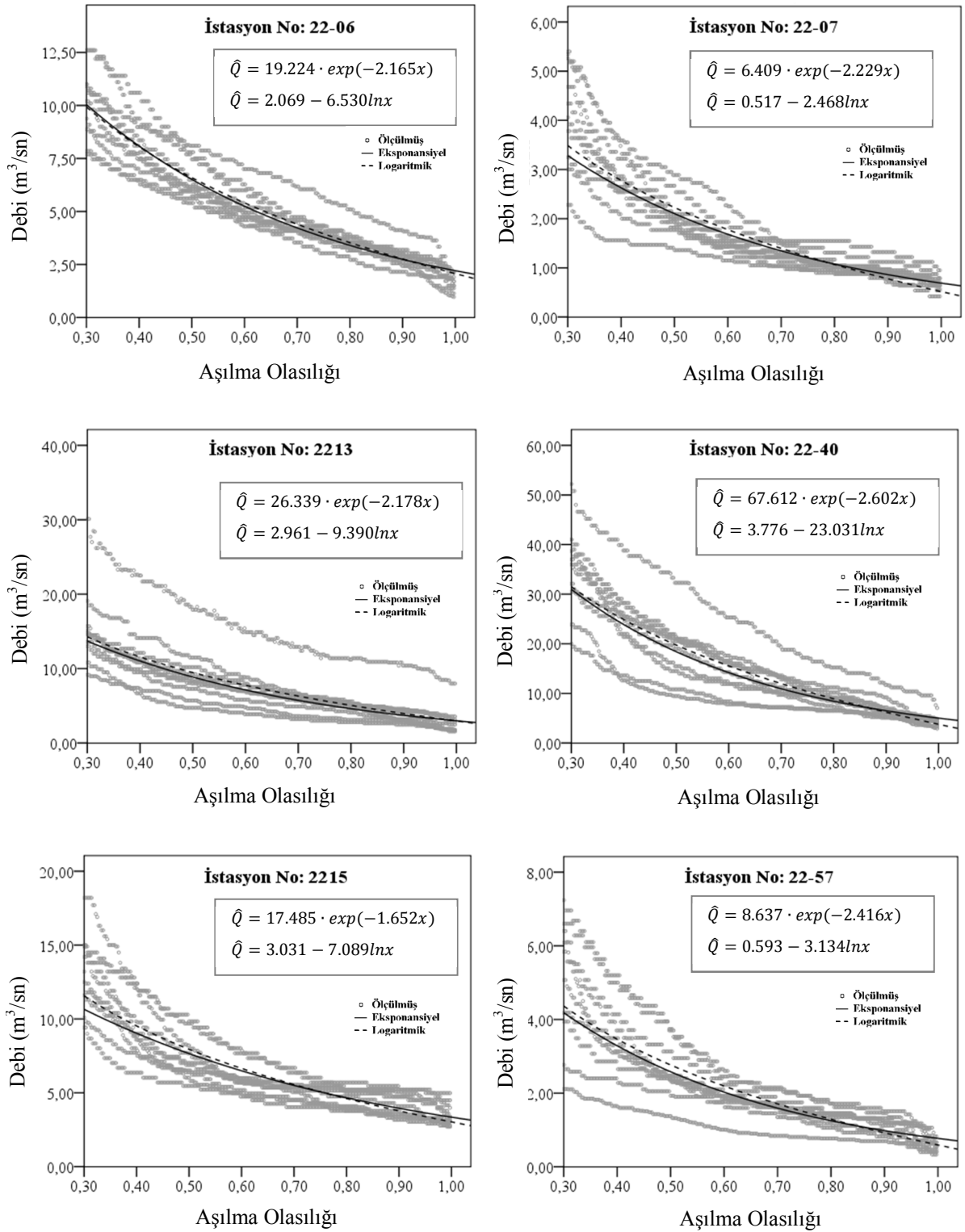
Ek Şekil 14. 22-64 ve 22-76 istasyonlarının %20-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri

### Ek 3. Aşılma Olasılığı %30-%100 Aralığındaki 10 Yıllık Debiler ve Regresyon Denklemleri



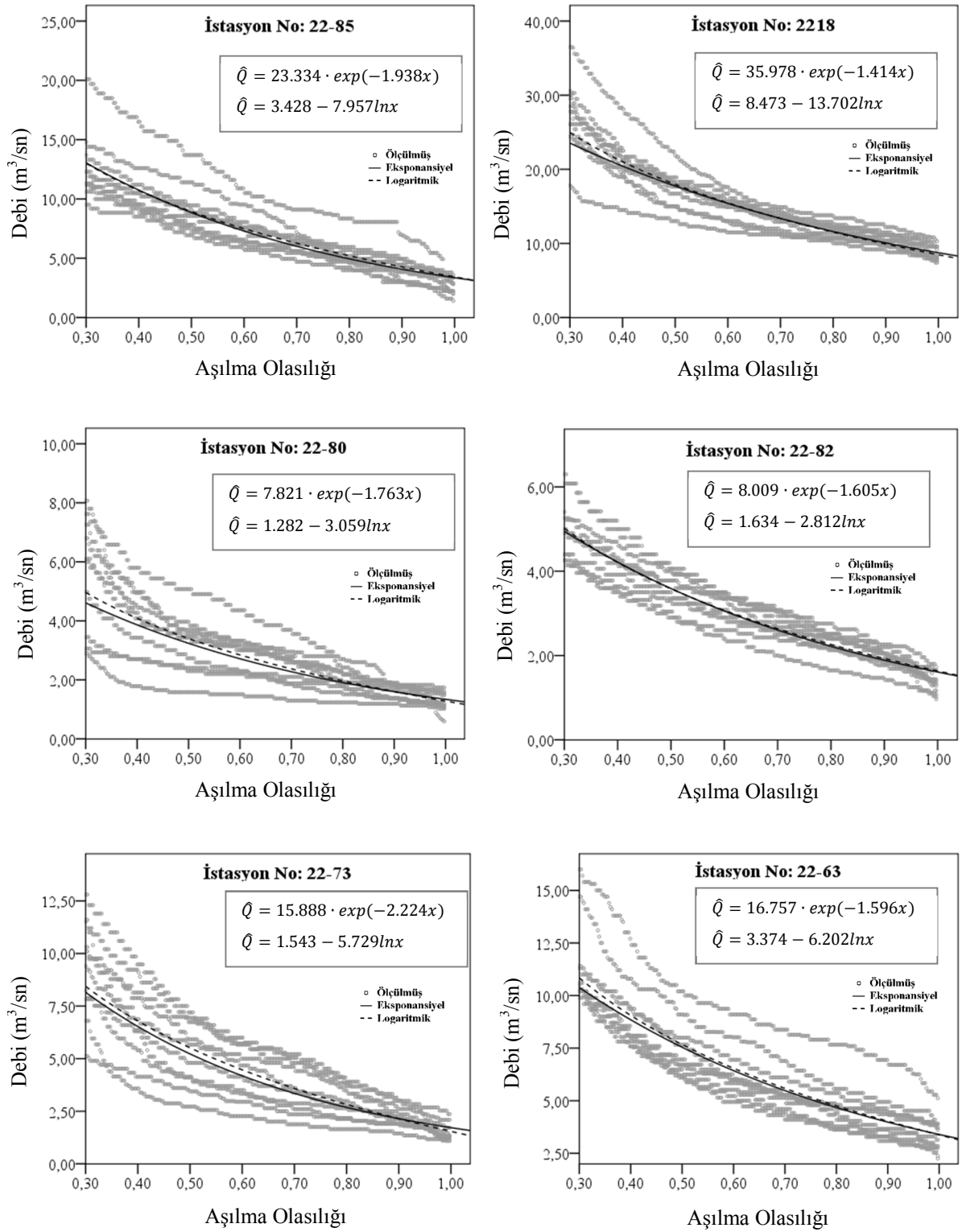
Ek Şekil 15. 2228, 2202, 22-68, 2251, 2201 ve 22-79 istasyonlarının %30-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri

Ek-3'ün devamı



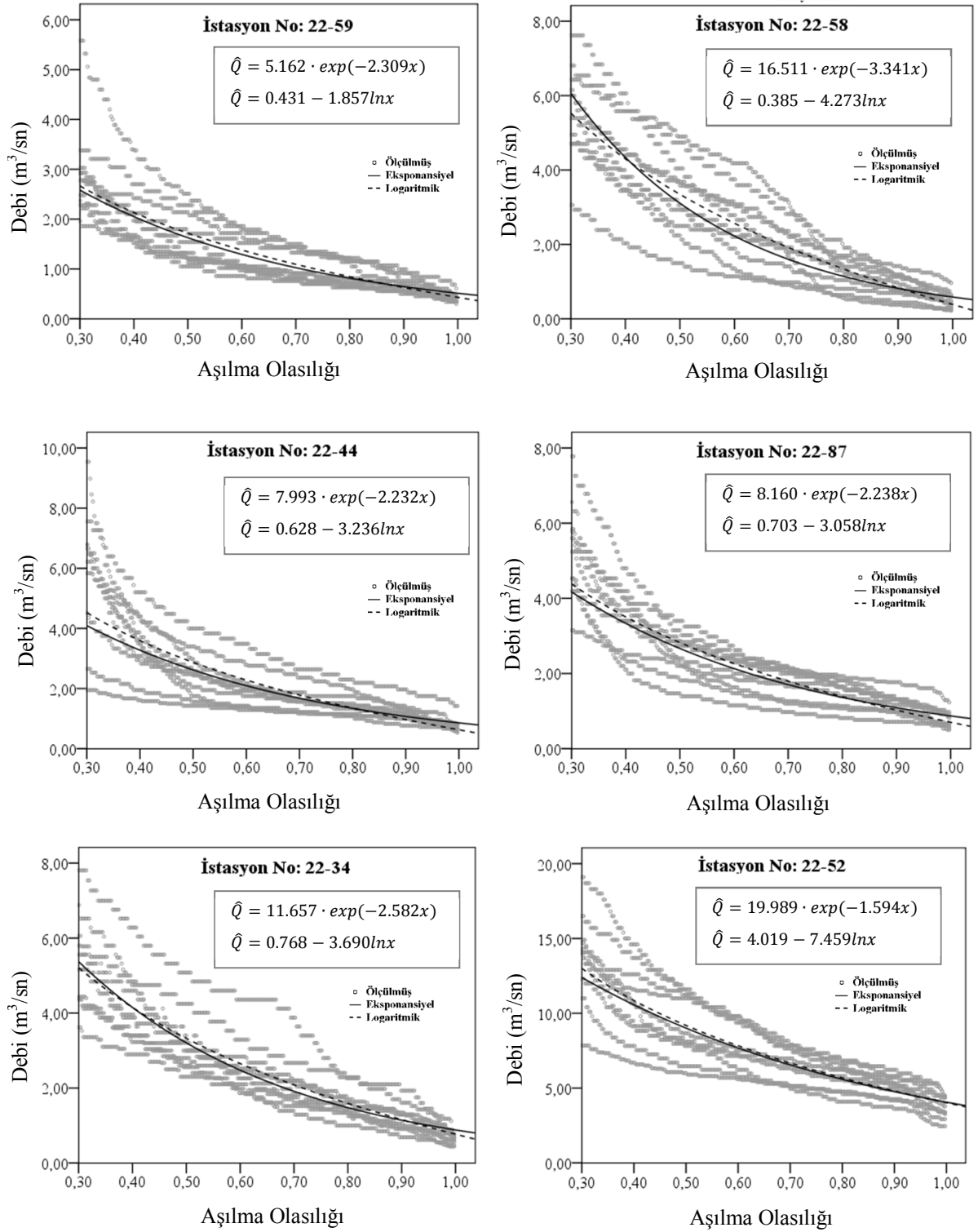
Ek Şekil 16. 22-06, 22-07, 22-13, 22-40, 22-15 ve 22-57 istasyonlarının %30-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri

Ek-3'ün devamı



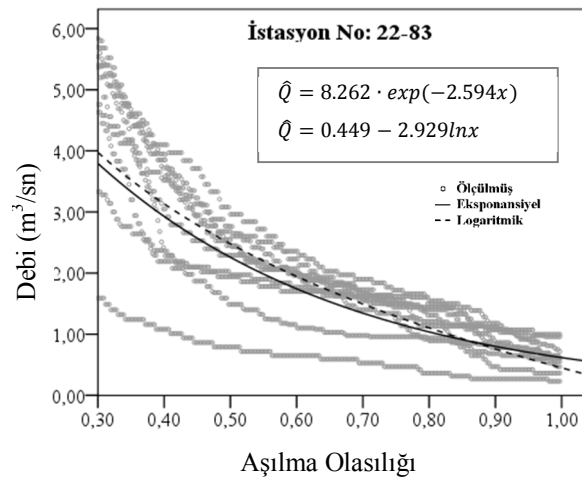
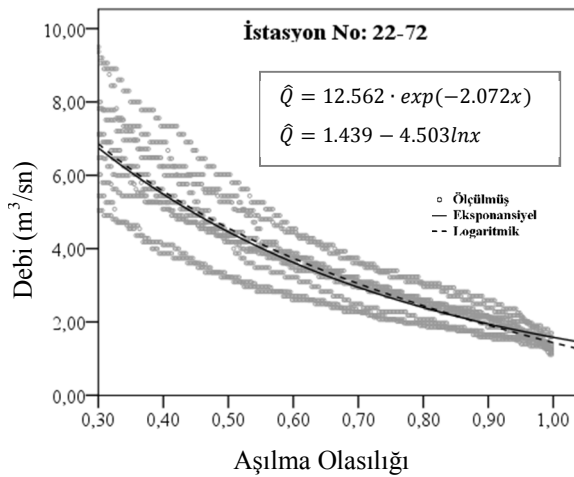
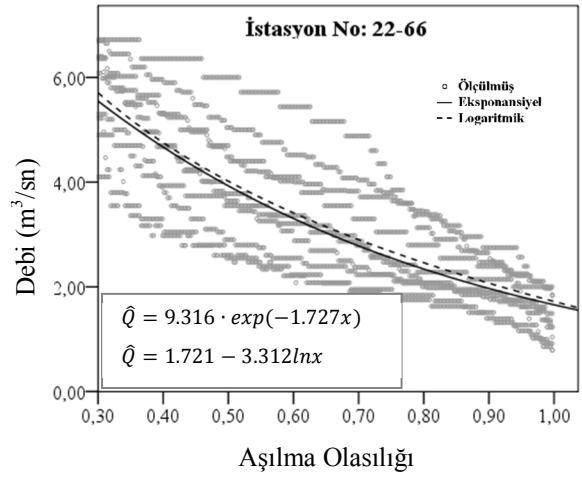
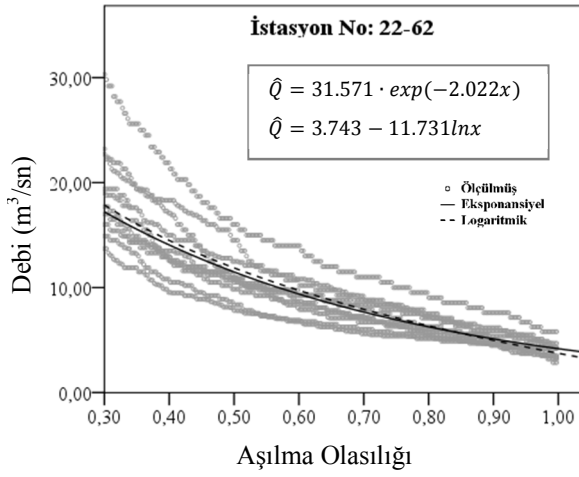
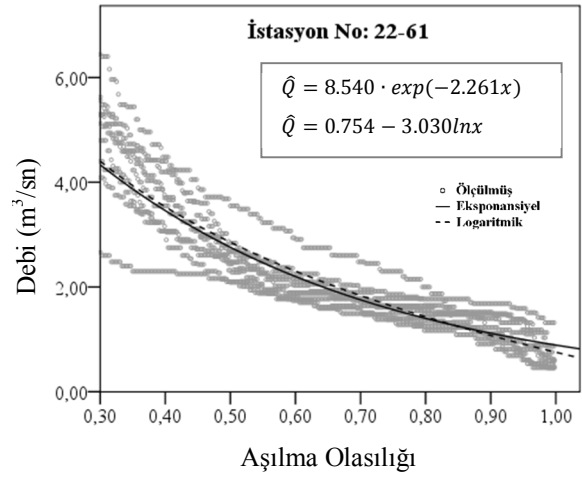
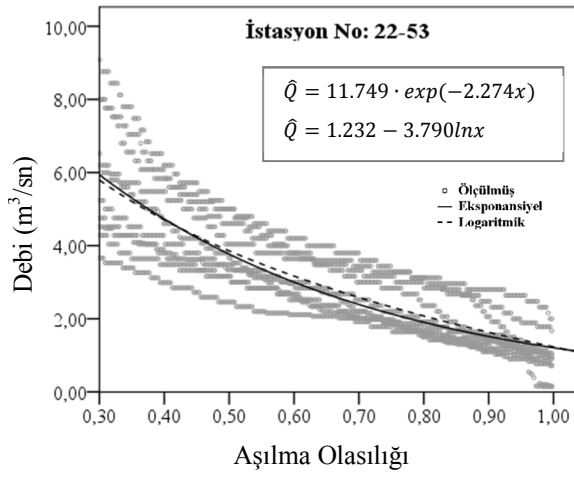
Ek Şekil 17. 22-85, 2218, 22-80, 22-82, 22-73 ve 22-63 istasyonlarının %30-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri

## Ek-3'ün devamı



Ek Şekil 18. 22-59, 22-58, 22-44, 22-87, 22-34 ve 22-52 istasyonlarının %30-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri

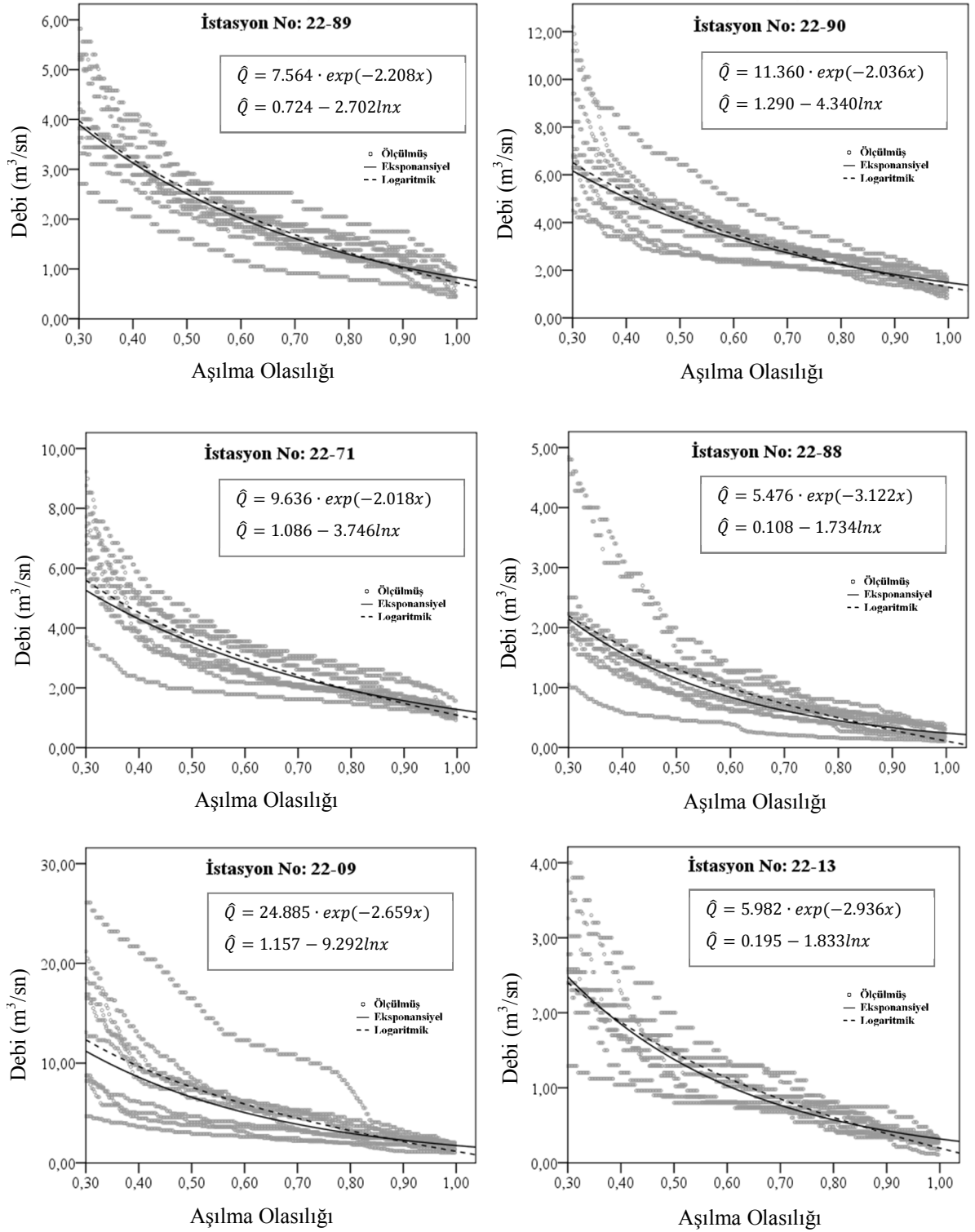
Ek-3'ün devamı



Ek Şekil 19. 22-53, 22-61, 22-62, 22-66, 22-72 ve 22-83 istasyonlarının %30-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri

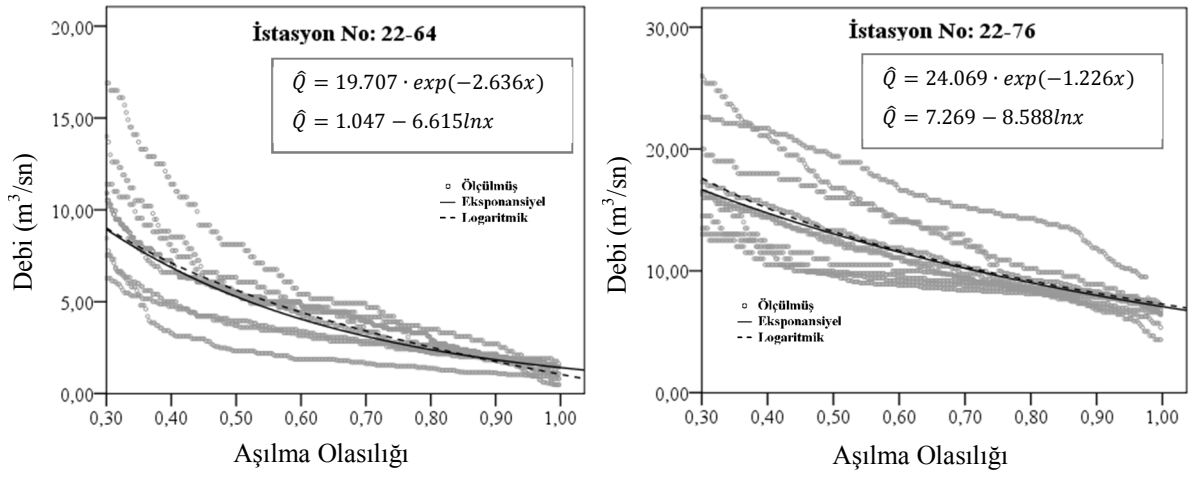


Ek-3'ün devamı



Ek Şekil 20. 22-89, 22-90, 22-71, 22-88, 22-09 ve 22-13 istasyonlarının %30-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri

Ek-3'ün devamı



Ek Şekil 21. 22-64 ve 22-76 istasyonlarının %30-100 aralığındaki 10 yıllık debileri ve uydurulmuş regresyon denklemleri

## ÖZGEÇMİŞ

01.02.1980 tarihinde Almanya'nın Moers kentinde doğan Fatih SAKA, 1984 yılında Türkiye'ye kesin dönüş yapan ailesiyle birlikte İstanbul'a yerleşti. İlk, orta ve lise öğrenimini, Tuzla'daki Peyami Safa İlköğretim Okulu ve Tuğrul Bey Lisesi'nde tamamladı. Lise bitiminin akabinde 1997 yılında KTÜ Gümüşhane Müh. Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 2001 yılında mezun oldu. Aynı yıl KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı ve KTÜ Gümüşhane Müh. Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2005 yılında yüksek lisans öğrenimini tamamladı ve KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora öğrenimine başladı. Gümüşhane Üniversitesi'nin kuruluşu ile birlikte, Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Anabilim dalında araştırma görevlisi kadrosuna atandı. Evli ve Mehmet Emin ile Osman Taha isimli iki oğlu olan Fatih SAKA, iyi derecede İngilizce bilmekte ve halen Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.