

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ORTALAMA GÜNLÜK AKIMLARDAN ANLIK PİK
AKIMLARIN TAHMİNİ VE DOĞU KARADENİZ
HAVZASI UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Erkan ÖZCAN**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

**Programı : HİDROLİK VE SU KAYNAKLARI
MÜHENDİSLİĞİ**

EKİM 2006

**ORTALAMA GÜNLÜK AKIMLARDAN ANLIK PİK
AKIMLARIN TAHMİNİ VE DOĞU KARADENİZ
HAVZASI UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Erkan ÖZCAN
(501031508)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28 Eylül 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 16 Ekim 2006**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Bihrat ÖNÖZ
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Mehmetçik BAYAZIT
Doç. Dr. Kasım KOÇAK**

EKİM 2006

ÖNSÖZ

Bu tezin yürütücülüğünü yapan ve çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve yardımları ile yanımda olan sayın hocam Prof. Dr. Bihrat ÖNÖZ'e,

Çalışmalarım sırasında bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan Prof. Dr. Mehmetçik BAYAZIT, Prof. Dr. Beyhan YEĞEN, Doç. Dr. Hafzullah AKSOY ve Doç. Yar. Doç. Dr. N. Erdem ÜNAL'a

Araştırmalarım sırasında yardımcı olan arkadaşım İnş. ve Jeoloji Müh. Mustafa KOÇ'a,

Hesaplama çalışmalarım sırasında yardımcı olan arkadaşım Mak. Müh. Önder TÜRKMEN'e,

Çalışmalarım sırasında her zaman beni destekleyen arkadaşım Semra BRAVO'ya, Gösterdikleri sevgi ve destek dolayısı ile aileme,

Teşekkür ederim.

EYLÜL 2006

Erkan ÖZCAN

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. TARİHSEL BAKIŞ AÇISI	2
3. HİDROLOJİK ÖLÇÜMLER VE ANALİZLER	4
4. OLASILIK TEORİSİ VE İSTATİSTİĞİN HİDROLOJİDEKİ UYGULAMALARI	6
5. ANLIK PİK AKIM TAHMİNLERİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER	8
5.1 Olasılık ve İstatistiksel Yöntemlerin Kullanımı	8
5.1.1 İstatistiksel Yöntemlerin Önemi ve Sınıflandırılması	8
5.2 Deterministik Yöntemlerin Kullanımı	9
5.2.1 Fuller Yöntemi (1914)	10
5.2.2 Silva ve Tucci Yöntemi (1998)	11
5.2.3 Sangal Yöntemi (1983)	12
5.2.4 Ortalama Günlük Akımlardan Anlık PİK Akım Tahmini	13
6. OLASILIK VE İSTATİSTİK YÖNTEMLER	14
6.1 Rastgele Değişken Ve Rastgele Olay	14
6.2 Rastgele Değişkenlerin Dağılımları	14
6.3 Rastgele Değişkenlerin Dağılımlarının Parametreleri	15
6.4 Bir Rastgele Değişkenin İstatistik Momentleri	16

6.4.1 Merkez Parametreleri	16
6.4.2 Yayılm Parametreleri	17
6.4.3 Çarpıklık Parametreleri	18
6.4.4 Sivrilik Parametresi	19
6.5 Korelasyon	19
6.6 Regresyon Analizi	20
6.6.1 Basit Doğrusal Regresyon Analizi	22
6.6.2 Çok Değişkenli Doğrusal Regresyon	28
6.7 İstatistiksel Testler	30
6.7.1 Bias (Taraflılık)	30
6.7.2 Ortalama Karesel Hata (Mean Square Error)	31
6.7.3 Kök Ortalama Karesel Hata (Root Mean Square Error)	31
7. UYGULAMA	33
7.1 Kullanılan Veri	34
8. İSTASYON BAZINDA PİK AKIM TAHMİNİ	37
8.1 Fill Yöntemi	37
8.1.1 Birinci yol (a, b'nin sınırlandırılmış hali)	37
8.1.1.1 Sonuçların Karşılaştırılması	40
8.1.2 İkinci Yol (a, b'nin sınırlandırılmamış hali)	43
8.1.2.1 Sonuçların Karşılaştırılması	44
8.2 Çok Değişkenli Doğrusal Regresyon	46
8.2.1 Sonuçların Karşılaştırılması	48

9. BÖLGESEL PİK AKIM TAHMİNİ	51
9.1 Fill Yöntemi	51
9.2 Regresyon Yöntemi	54
9.3 Sonuçların Karşılaştırılması	56
10. GENEL SONUÇLAR	57
KAYNAKLAR	60
EKLER	62
ÖZGEÇMİŞ	72

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 5.1: Literatürdeki, anlık pik akımın ortalama günlük akıma oranının yağış alanı ile arasındaki ilişkisi.....	11
Tablo 7.1 : İstasyonlara ait fiziksel özellikler ve veri aralıkları.....	35
Tablo 7.2 : İstasyonlara ait anlık pik akımların istatistiksel parametre değerleri.....	35
Tablo 8.1 : 2215 numaralı istasyonunun anlık pik akım değerleri.....	38
Tablo 8.2: Birinci yolun istasyon bazındaki rölatif KOKH değerleri.....	39
Tablo 8.3 : Birinci yolun istasyon bazındaki rölatif BIAS değerleri.....	39
Tablo 8.4 : İstasyon bazındaki Fuller uygulamasının rölatif KOKH ve rölatif BIAS değerleri.....	40
Tablo 8.5 : İstasyon bazındaki Sangal uygulamasının rölatif KOKH ve rölatif BIAS değerleri.....	40
Tablo 8.6 : Birinci yol için istasyon bazındaki karşılaştırmalı rölatif KOKH değerleri.....	41
Tablo 8.7 : Birinci yol için istasyon bazındaki karşılaştırmalı rölatif BIAS değerleri.....	41
Tablo 8.8: İkinci yolun istasyon bazındaki rölatif KOKH değerleri.....	43
Tablo 8.9: İkinci yolun istasyon bazındaki rölatif BIAS değerleri.....	44
Tablo 8.10: İkinci yol için istasyon bazındaki karşılaştırmalı rölatif KOKH değerleri.....	44
Tablo 8.11: İkinci yol için istasyon bazındaki karşılaştırmalı rölatif BIAS değerleri.....	45
Tablo 8.12: 2215 no'lu İstasyonun Regresyon Çalışması Özet Çıktısı.....	47
Tablo 8.13: İstasyon bazındaki regresyon uygulamasının katsayı çıktıları.....	48

Tablo 8.14: Regresyon yöntemi için istasyon bazındaki karşılaştırmalı rölatif KOKH değerleri.....	49
Tablo 8.15: Regresyon yöntemi için istasyon bazındaki karşılaştırmalı rölatif BIAS değerleri.....	49
Tablo 9.1: Bölgesel regresyon çalışmasının özet çıktısı.....	54
Tablo 9.2: Bölgesel rölatif KOKH ve rölatif BIAS değerleri.....	56
Tablo 10.1: İstasyonlarda gözlenen en yüksek akım değerleri ve o yıllara ait her yöntemin istasyon bazındaki çalışması ile tahmin edilen akım değerleri.....	58
Tablo 10.2: İstasyonlarda gözlenen en yüksek akım değerleri ve o yıllara ait her yöntemin bölgesel çalışması tahmin edilen akım değerleri.....	59

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 6.1: X ve Y değişkenleri arasındaki doğrusal ilişki.....	23
Şekil 6.2: Y'nin X'e göre regresyon doğrusu.....	24
Şekil 6.3: İki değişken arasındaki ilişkinin şekilleri.....	27
Şekil 7.1 : Doğu Karadeniz Havzası Haritası.....	34
Şekil 8.1: Birinci yol için yağış alanlarına göre karşılaştırmalı rölatif KOKH değerleri.....	42
Şekil 8.2: Birinci yol için yağış alanlarına göre karşılaştırmalı rölatif BIAS değerleri.....	42
Şekil 8.3: İkinci yol için yağış alanlarına göre karşılaştırmalı rölatif KOKH değerleri.....	45
Şekil 8.4: İkinci yol için yağış alanlarına göre karşılaştırmalı rölatif BIAS değerleri.....	46
Şekil 8.5: Regresyon yöntemi için yağış alanlarına göre karşılaştırmalı rölatif KOKH değerleri.....	50
Şekil 8.6: Regresyon yöntemi için yağış alanlarına göre karşılaştırmalı rölatif BIAS değerleri.....	50
Şekil 8.7: Hidrograf biçim faktörü (x) ile düzeltme faktörü (k) arasındaki regresyon.....	52

SEMBOLLER

Q_t	: Tahmin edilen anlık pik akım değeri
$Q_{anlık}$: Gözlenen anlık pik akım değeri
Q_1, Q_2, Q_3	: Ortalama günlük akım değerleri
a, b	: Sabit katsayılar
A	: Alan
μ_x	: Ortalama parametresi
σ_x	: Standart sapma
C_{sx}	: Çarpılık katsayısı
r	: Korelasyon katsayısı

ORTALAMA GÜNLÜK AKIMLARDAN ANLIK PİK AKIMLARIN TAHMİNİ VE DOĞU KARADENİZ HAVZASI UYGULAMASI

ÖZET

Hidrolik yapıların tasarımı ve işletilmesi genellikle hazneye gelen anlık akım değerlerine dayanmaktadır. Ortalama akım değerlerinin hidrolik yapı tasarımlarında kullanımı, yapı kapasitelerinde yetersizliğe neden olabilir. Özellikle hidrolik yapıların taşkın debilerinin tahmininde, anlık pik akımların tespitine ihtiyaç duyulmaktadır, çünkü küçük zaman aralıklarında çok büyük nehir akımı dalgalanmaları gözlenebilir. Bu çalışmada Prof. Dr. Heinz Dieter Fill ve Alexandere Arns Steiner'ın ortalama günlük akım değerlerinden anlık pik akım tahmini üzerine öne sürdüğü yeni bir yöntemin Doğu Karadeniz Havzası üzerine uygulaması yapılmıştır. Yöntem Doğu Karadeniz Havzası'ndaki Elektrik İşleri Etüt İdaresine ait 11 istasyondan alınan akım serilerine uygulanmıştır. Yöntemi desteklemek için literatürdeki geleneksel yöntemlerin de Doğu Karadeniz Havzası üzerindeki uygulamaları ve sonuçları incelenmiştir. Yapılan çalışmaların sonucunda bu yöntemin Doğu Karadeniz Havzası üzerindeki uygulaması diğer geleneksel yöntemlerden daha başarılı sonuçlar vermediği görülmüştür. Bu nedenle çalışmada ayrıca alternatif yöntem olarak çok değişkenli doğrusal regresyon yöntemi denenmiş ve iyi sonuçlar elde edilmiştir.

ESTIMATING INSTANTANEOUS PEAK FLOW FROM MEAN DAILY FLOW DATA AND EASTERN BLACKSEA BASIN APPLICATION

SUMMARY

The design and operation of hydraulic structures often depends on knowledge of instantaneous reservoir inflows. If hydraulic structures are designed by using mean flow series, may cause an underdesign of the structure capacity with risk of failure. In particular, estimation of the design floods of hydraulic structures requires the determination of instantaneous peak flows because there may be significant streamflow fluctuations within hours or even minutes. This paper is for developing a new method of Prof. Dr. Heinz Dieter Fill and Alexandre Arns Steiner, application on Eastern Blacksea Basin. This methodology was applied to a series flow information from 11 gauging stations in Eastern Blacksea Basin. The traditional methods in the literature applied on the basin to compare the results. In conclusion, the application of new method on Eastern Blacksea Basin was not successful than the traditional. Therefore in the study an alternative method which is multivariate linear regression analysis was tried and it gave succesfull outputs.

1. GİRİŞ

Hidrolik yapıların tasarımında kullanılan akım değerleri genellikle ortalama günlük akım serilerinin olasılık modellemeleri ile elde edilir, fakat tasarım aşamasındaki bir yapının kapasitesini bu şekilde belirlemek hata yapma riskini mümkün kılmaktadır, çünkü anlık pik akımlar kayda değer ölçüde günlük akım ortalamalarından fazla olabilir. Bu yüzden hidrolik yapıların tasarımında anlık pik akımlardan faydalanılmalıdır.

Dünya genelinde, akarsu havzalarında her noktada ölçüm yapma şansı çok düşüktür. Yapılan ölçümlerin ise güvenilirliği tartışılabilir. Günlük ortalama debileri çok sıklıkla kayıt altına alınabilir, fakat her zaman anlık pik akımı aynı kolaylıkla ölçülemeyebilir. Ülkemizdeki ölçümleri göz önüne alacak olursak birtakım sebeplerden dolayı çok sayıda ölçüm istasyonunun kullanılmadığı, yeteri kadar ölçüm yapılmadığı ve hatta ölçümler kayıt altına alınırken yanlış yazıldığı bile gözlenebilir. Özellikle de anlık pik akım ölçümlerine dikkat çekecek olursak verilerin ne derece yetersiz olduğu anlaşılabilir. Verilen bir ölçüm istasyonu için her yıl, sadece bir adet pik değer gözlemi; hidrolik karakterli bir yapıyı tasarlayan ve hazne işletmelerini simule eden mühendisler için hem güvenilir hem de yeterli olamaz. Özellikle alanı küçük olan havzalarda, birkaç saat hatta birkaç dakika içinde çok büyük pik akımlar görülebilir. Bu sebeple, anlık pik akım tahmini mühendisler açısından zorunludur.

Anlık pik akımlara yalnızca hidrolik yapı tasarımı ve işletmesinde değil daha farklı konularda da ihtiyaç duyulabilir. Amerika ve Avrupa'daki akarsu taşımacılığı yapan şirketler bu konudaki araştırmalara destek vermekte hatta kendi bünyelerinde araştırmalar yapmaktadır[1].

Görülüyor ki anlık pik akım tahmini bir çok amaç için faydalı olmakla beraber ülkemizde yapılan araştırmaların azlığı ve ölçümlerin yetersizliği bu konuda kaynak ve veri sıkıntısı olduğunu ortaya koymaktadır.

Anlık pik akım tahmini için değişik yöntemler, modellemeler ve hesaplamalar birçok araştırmacı tarafından ortaya konmuştur. Bu çalışmada deterministik bir yöntem kullanılarak Doğu Karadeniz Havzası'nda anlık pik akım tahmini yapılacaktır. Elde edilen sonuçları desteklenme amacı ile literatürdeki diğer araştırmacıların öne sürdüğü yöntemlerle karşılaştırılacaktır.

2. TARİHSEL BAKIŞ AÇISI

Barajların projelendirilmesinde sıra ile hidrolojik, hidroluk ve yapısal dizayn aşamaları birbirini izler. Mühendislik hidrolojisi teknikleri uygulanarak tamamlanan hidrolojik tasarım aşamaları çok önemlidir. Dünyada yıkılan barajların yıkılma nedeni %90 oranında hidrolojik tasarım aşamasındaki eksiklik ve yanlışlardandır. Barajların taşkın kontrol ve derivasyon yapıları için toplam yatırımın ortalama üçte biri oranında harcama yapılmaktadır. Dünyadaki baraj yıkılmalarının yaklaşık üçte birinin taşkın anında suyun barajın kretinden aşarak meydana gelmesi nedeniyle barajların taşkınlara karşı korunması, gerek proje mühendislerinin gerekse işletenlerin konusu haline gelmiştir [2].

Dünyada meydana gelen baraj yıkılmalarının büyük bir bölümü proje taşkınlarının küçük tahmin edilmesinden kaynaklanmaktadır. Örneğin Hindistan'da Machhu nehri üzerinde 1967-1972 yılları arasında sulama amaçlı yapılan Machhu II Barajı, 11 Ağustos 1979 taşkınında yıkıldığı için barajın 9 km aşağısındaki Morbi Kasabası 3-4 m su altında kalmıştır. 2000 insan ölmüş, 12.700 ev yıkılmış ve 6.700 ev hasara uğramıştır. On beş milyar dolar değerinde tarımsal zarar olmuştur. Yaklaşık 153.000 insan bu taşkından etkilenmiştir. Tasarım kapasitesi $26.650 \text{ m}^3/\text{s}$ seçilerek tekrar inşa edilmiştir. Drenaj alanı 520 km^2 olan İsveç'teki Noppikoski Barajı, hidroelektrik enerji üretmek amacıyla 1967 yılında yapılmıştır. 7 Eylül 1985 tarihi taşkınında tasarım kapasitesi küçük seçildiği için yıkılmıştır. Dizayn kapasitesi $350 \text{ m}^3/\text{s}$ seçilerek baraj yeniden inşa edilmiştir. ABD'de 1852 yılında tamamlanan South Fork Barajı ise 31 Mayıs 1889'daki tarihi taşkında yıkılmıştır. Bu taşkında 2209 insan ölmüş, yüzlerce ev ve işyeri sular altında kalmıştır. Tahmin edilen zararın bugünkü yaklaşık değeri 500 milyon dolar'dır. Yine Amerika'daki Gibson Barajı ise 8 Haziran 1964 taşkınında dizayn debisi küçük seçildiği için yıkılmıştır. Avustralya'daki Briseis Barajı 4 Nisan 1929 taşkınında, Brezilya'daki Euclides Da Cunha Barajı ise 19 Ocak 1977 taşkınında aynı nedenle tasarım debisi küçük seçildiği için yıkılmıştır. Diğer taraftan Güney Afrika'daki 1974 yılında tamamlanan Spitskop Barajı, frekans analizi ile hesaplanan 1000 yıllık taşkın debisi $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ 'ye göre yeniden inşa edilmiştir. 23-24 Şubat 1988 taşkınında Baraj haznesine 2400 m^3/s debi girmiştir. Baraj yıkılmamış, ancak tamirat masrafı 1990 yılı için 5 milyon dolar hesaplanmıştır. İtalya'daki 1919-1925 yılları arasında yapılan Sello Zebirino

Barajının amacı ise elektrik enerjisi üretmektir. 13 Ağustos 1935 tarihi taşkınında 810 m³/s 'lik tasarım kapasitesinin yetersiz olduğu ortaya çıkmıştır. Yüzden fazla insan ölmüş, tarım alanları su altında kalmıştır. Baraj yeniden inşa edilmemiştir. Bu tarihi taşkının debisi 2500 m³/s olarak hesaplanmıştır [2-4].

Ülkemizde henüz bu tür ciddi bir baraj yıkılma olayı ile karşılaşmamıştır. Bununla birlikte 1980 yılında Seyhan nehrinin taşkını bu nehir üzerindeki Seyhan Barajı'nın dolu savak proje tasarım kapasitesini aşmışsa da, DSİ mühendislerinin cesur müdahaleleri ile en az zararlar ve baraj yıkılmadan atlattırılmıştır. Ancak derivasyon yapılarındaki kapasite yetersizliği nedeni ile taşkınlardan dolayı yıkılan yapıların sayısı fazladır [3,4].

Bu örneklerden görüldüğü gibi çoğu durumda baraj yıkılmalarının sonuçlarının etkisi genellikle çok büyüktür. Tasarım kapasitesi için herhangi bir risk seviyesi (aşma ihtimali) düşünülmez ve baraj gövdesi, haznesinde taşıyabileceği maksimum su seviyesine kadar kullanılmaya çalışılır. Ancak yıkılma sonuçlarının ciddi olduğu durumlarda belli bir risk seviyesi kabul edilmeli veya barajın korunma masraflarının daha az olduğu durumlarda belli bir risk düşünülmalıdır. Gerçekte bir baraj asla kesin güvenilir olarak tasarlanamaz. Belli bir risk seviyesi kabul edilmesi gerekir. Bu çok düşük risk genellikle barajın güvenlik derecesine bağlı olmakla beraber mühendislik-ekonomik kabullere ve çevrenin doğal şartlarına bağlı olarak belirlenir. Pratikte ise insan hayatı ve geçmişten alınan dersler dikkate alınmalıdır[3-5].

Taşkınlara, mühendislik hidrolojisinin en karmaşık problemlerini oluşturur, kuraklığın aksine taşkınlara su fazlalığını ifade eder. Taşkın kontrol ve koruma, su kaynakları yönetiminin bir alt bölümü olan taşkın yönetimi yaklaşımı ile daha başarılı olur [5].

3. HİDROLOJİK ÖLÇÜMLER VE ANALİZLER

Bütün hidrolojik çalışmalarda ilk adım gerekli doğal verilerin toplanması için ölçmeler yapılmasıdır. Hidrolojik olayları laboratuarda benzeştirmek bugün için mümkün olmadığından ölçmelerin doğrudan doğruya doğada yapılması gerekmektedir. Bunun için yeter sıklıkta bir ölçme ağının kurulması, bu ağdaki istasyonların yeterli prezisyonu olan araçlarla donatılması ve bu ölçüklerin itinalı bir şekilde okunması gerekir. Hidrolojik veriler gerek zamanla gerekse yerden yere çok değıştikleri için ölçmelerin sık noktalarda ve sürekli olarak yapılması gereklidir. Son yıllarda hidrolojik ölçmelerde prezisyonu arttıran araçlar kullanılmaktadır, bu arada nükleer tekniklerin kullanılması gittikçe yaygınlaşmaktadır. Ölçmeler sonunda elde edilen bilgiler çok sayıda ve dağınıktır. Bu verilerin insan eliyle kaydedilmesi yerine otomatik olarak kartlara, şeritlere geçirilmesi ve veri tabanları halinde saklanması uygundur. Bu kayıtları en iyi şekilde yararlanılabilecek hale getirmek gerekir. Bu iş için günümüzde ileri bilgi işlem yöntemleri kullanılmakta, işlemler bilgisayarlarla yapılmaktadır [6].

Ülkemizde bu görevi Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) ve Devlet Su İşleri (DSİ) üstlenmektedir. Hidroelektrik potansiyelin belirlenmesi için küçük sularda istasyon açılmasını ve işletilmesini, hidroelektrik potansiyelin hesaplanması için gerekli görülen yerlerde müteferrik ölçümler yapılmasını, küçük akarsularda hidroelektrik potansiyel araştırmaları için gerekli akım çalışmalarını, küçük akarsularla üzerindeki istasyonların değerlendirilmiş akım değerlerini toplar, analiz yapar, diğer istasyonlarla arasındaki ilişkileri araştırır. Bu kurumlar yukarıda belirtilen görevlerini yerine getirmek için uygun görülen yerlerde hidrolojik ve meteorolojik istasyonlar kurarak işletir. EİE Günümüze kadar Türkiye genelinde toplam 691 tane AGİ (Akarsu gözlem İstasyonu) ve 369 tane AAGİ (Aylık Akarsu Gözlem İstasyonu) kurarak işletmiştir [7].

Ülkemizdeki hidrolojik ölçümler Cumhuriyet döneminden itibaren sistemli bir şekilde başlatılmıştır. Bu ölçümler Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ), (EİE), (DSİ) ve Köy Hizmetleri Genel Müdürlükleri tarafında klasik yöntemlerle yapılmakta olup, elektronik ölçü sistemleri henüz yaygın şekilde uygulamaya girmemiştir. EİE İdaresi yalnız yüzeysel sularla ilgili ölçümleri -hidrometrik ölçümler- yapar. Baz hidrometri

ağını oluşturan EİE hidrometri istasyonlarının ülke yüzeyindeki dağılımlı orta ve büyük yağış alanlı (500km² ve büyük) akarsu havzalarında herhangi bir yerdeki hidrolik yapının hidrolojik tasarımında gerekli verileri elde etmek için yeterlidir. Ancak küçük yağış alanlı hidrolik yapılar için hidrometrik veri temininde sorunlarla karşılaşılmaktadır. Bu sorunları sistemli bir şekilde zmemk amacıyla ilgili kamu kuruluşları arasındaki eşgüdüm yanında üniversitelerin de katkıları ile seminer, kurs ve sempozyumlar düzenlenmektedir [7].

Hidrolojik lm sonuçlarına göre Türkiye'nin yıllık ortalama yağışı 652 mm ve yıllık ortalama akımı 186,5 milyar m³ hesaplanmıştır [7].

Modern hidrolojik ölçüm sistemlerinin uygulamaya konulmaması, fırtına yağışı ile taşkın akımı arasındaki bağıntının ülkemiz akarsu havzaları için beklenen iyileştirme sonucunu geciktirmektedir, ayrıca matematik prensipler ve modellerin (deterministik ve stokastik) uygulamasını, öngörü (forecast) ve tahminlerin (prediction) güven ve doğruluk derecesini sınırlamaktadır. Hidrolojik lmler için kullanılan delgili ve manyetik bantlı kaydediciler, telemetre sistemleri, eşik ve savaklar, eriyiklerle (kimyasal yöntem) debi lme, kar ölümü için radyoizotop cihazları, kar yastıkları, uydular, veri bankası gibi tekniklerin DMI, EİE, DSİ gibi kuruluşlarda yaygın bir şekilde uygulanmaya konmasının zamanı gelmiştir. Ayrıca bu kuruluşlarda veri otomasyonu sağlanmalıdır [3,7].

Hidrolojik lm ve analizler insanlık tarihi kadar eskidir. Hidrolojinin tarihçesi tarih öncesi, klasik, modern devir diye e ayrılabilir. Klasik devire geçiş 50 yıl önce, klasikten moderne geçiş ise 30 yıl önce başlamıştır. Radarla yağış ölümü, ultrasonşk yöntemlerle debi lme, izotopların ölçümlerde kullanılması, uzaktan algılama gibi yeni ölçüm teknikleri bilgisayar, araştırmaları hızlandırmıştır. Böylece lineer teoriden sistem analizine geçilmiş, hidrolojik öngörü ve tahmin teknikleri geliştirilmiş, matematik modeller uygulanmaya başlanmıştır [3,4].

4. OLASILIK TEORİSİ VE İSTATİSTİĞİN HİDROLOJİDE UYGULAMALARI

Hidrolojik olaylar çok sayıda etkene bağlı oldukları için bunların hepsini birden göz önüne almak mümkün olmaz. Bu nedenle hidrolojik olaylardaki değişkenler arasında kesinlikle belirlenebilen deterministik (gerekirci bağıntılar çoğu zaman elde edilemez. Örneğin bir ölçekteki yıllık yağış yüksekliğinin veya bir akarsu kesitindeki taşkın debisinin herhangi bir yılda alacağı değeri önceden belirlemek mümkün değildir. Rastgele bir karakter taşıyan bu gibi olayların incelenmesinde ancak olasılıkların belirlenmesi söz konusu olabilir, böylece olaya probabilistik (olasılıkçı) açıdan bakılmış olur. Bu da olasılık teorisi ve istatistik yöntemleri kullanarak yapılabilir. Bu yöntemler yardımıyla yukarıdaki örnekteki taşkın debisinin belli bir değeri aşması olasılığı belirlenebilir [8].

Olasılık teorisi matematiğin rastgele karakterdeki olayları inceleyen dalıdır. Gözlemler sonunda toplanan verileri analiz ederek rastgele değişkenlere ait hükümlere varan bilime de istatistik denir. Bu bilimler hızla gelişmekte ve son yıllarda çeşitli konularda uygulama alanları bulmaktadır. İstatistik yöntemler sayesinde geçmişte gözlenmiş olan hidrolojik verilerden mümkün olan en fazla bilgi elde edilebilir [8].

Hidrolojik olayların incelenmesinde deterministik yaklaşımla probabilistik yaklaşımı bir arada kullanmak gerekir. Böylelikle hem olayların fiziksel yönü göz önüne alınmış, hem de gözlemlerle toplanan veriler en iyi şekilde değerlendirilmiş olur. Örneğin bir havzanın akış-yağış ilişkisinin belirlenmesinde havzanın davranışı birim hidrograf metodu ile deterministik bir yaklaşımla incelenirken yağışların, akışların ve havza özelliklerinin rastgele karakteristiklerinin de göz önüne alınması uygun olacaktır. Böylece çok çeşitli etkenlere bağlı ve çok değişik yapıda olan bu ilişki gerçekte probabilistik karakterde olduğu halde incelemeyi kolaylaştırmak için deterministik olarak düşünülmekte, fakat yeri gelince olasılık kavramları da işin içine sokulmaktadır [9].

Günümüzde hidrolojide deterministik ve probabilistik yöntemler yan yana birbirini tamamlayacak şekilde kullanılmaktadır. Zamanla toplanan verilerin artması ve araştırma yöntemlerinin ilerlemesi sonunda hidrolojik olaylar hakkındaki fiziksel

bilgilerimiz geliştiği ve başarılı matematik modeller kurabildiğimiz ölçüde hidrolojik olayların incelenmesinde deterministik yaklaşımın ağırlığının artması beklenebilir. Ancak hidrolojik olaylardaki etkenlerin hepsini birden göz önüne almaya imkan olmadığı için tam bir deterministik incelemenin hiçbir zaman mümkün olmayacağı anlaşılır. Söz konusu rastgele değişken olaydan olaya fazla değişmiyorsa ve aynı zamanda değişimin etkileri önemli değilse değişimini göz önüne almayıp deterministik bir yaklaşım uygulamak yeterli olabilir. Fakat birçok hidrolojik büyüklük için durum böyle olmadığından hidrolojide olasılık teorisi ve istatistik yöntemleri büyük önem taşımaktadır [8,9].

5. ANLIK PİK AKIM TAHMİNİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Hidrolojik olayların incelemesinde değişkenlerin çokluğu ve aralarındaki ilişkilerin karmaşıklığı yúzünden teorik bir analiz çoğu zaman mümkün olmadığından yaklaşık yöntemler kullanmak gerekir. Bu sebeple birçok problemlerin çözümü için birden fazla yöntem kullanılabilereği görölür. Bunların arasında uygun bir seçim yapmak bilgi ve deneyimi gerektirir. Kullanılacak yöntem incelenen olayın zaman ölçeğiyle de ilişkilidir [10].

Anlık pik debi tahmininde literatüre bakıldığında iki çeşit yol izlendiği gözlemlenmektedir. Son yúz yıl içerisinde araştırmacıların yaptığı çalışmalar incelenecek olursa anlık pik debilerin bir bölümünün olasılık ve istatistiksel yöntemlerle diğer bölümünün ise tamamen deterministik yöntemlerle tahmin edildiğini görebiliriz [1,10].

5.1. Olasılık ve İstatistiksel Yöntemlerin Kullanımı

Hidrolojik olaylar değerleri zaman içinde değişen çok sayıda değişkenin etkisi altında meydana geldikleri için önceden kesinlikle belirlenemeyen bir nitelik taşırlar. Örneğin elde bulunan 30 yıllık ölçme sonuçlarını kullanarak bir akarsuda gelecek 100 yıl içinde görülecek en büyük taşkını kesin olarak belirlemek mümkün değildir. Bu bakımdan olasılık teorisi ve istatistiğin hidrolojide kullanılması büyük önem taşır. Ancak bu bilimler yardımıyla 100 yıllık taşkın debisi için tahminler yapmak mümkün olabilir. Bu bilimlerin hidrolojideki önemleri son yıllarda daha iyi anlaşılmış ve hidroloji öğretiminde bu gibi yöntemlere büyük bir yer verilmeye başlanmıştır. Ancak unutulmaması gereken bir nokta bu yöntemleri gözü kapalı olarak uygulamamak, daima önce hidrolojik olayın fiziksel yönlerini incelemek zorunluluğudur [11-13].

5.1.1 İstatistiksel Yöntemlerin Önemi ve Sınıflandırılması

Hidrolojik büyüklüklerin birçoğu fizik yasalarıyla tam olarak açıklanamayan rastgele değişken niteliği taşırlar. Bunların en önemli nedeni yağışın rastgele karakteridir; bu nedenle yağışla ilişkili olan akım değişkenlerinde de rastgelelik görölür. Hidrolojik sistemin rastgele karakteri; hidrolojik verilerdeki örnekleme hataları ve hidrolojik süreç için kabul edilen modeldeki hatalar hidrolojik

değişkenlerin rastgele nitelik taşımaya neden olur. Bir hidrolojik büyüklüğün rastgele değişkenliği önemli değilse bu yanı ihmal edilip ortalama değeri ile çalışılarak olay deterministik bir yaklaşımla incelenebilir. Ancak bazı büyüklükler için (taşkın debisi gibi) böyle bir yaklaşım anlamlı olmaz, bu durumda olasılık teorisi ve istatistik bilimlerine dayanan, olasılıkların işin içine girdiği modeller kullanmak gerekir [11-13].

Hidrolojide istatistik modellerin kullanıldığı yerler şu şekilde sınıflandırılabilir.

1) Hidrolojik verilerin istatistik analizi: Frekans analizi, parametrelerin analizi ve güven aralıklarının belirlenmesi, dağılım fonksiyonunun belirlenmesi.

2) Taşkın debisinin dağılım modellemesi: Hidrolik tasarımda özel bir önem taşıyan taşkın debileri için uygun dağılım fonksiyonlarının belirlenmesi ve bunlarla proje dönüş aralığına karşı gelen taşkın debisinin tahmini için geliştirilen modeller.

3) Korelasyon ve regresyon modelleri: İki yada daha fazla hidrolojik değişken arasında istatistik ilişkiyi belirleyen bir model yardımıyla değişkenlerden biri için eksik verilerin tamamlanması yada kısa verilerin uzatılması.

4) Hipotez test modelleri: Hidrolojik değişkenlerin tahmin edilen parametreleri ve dağılım fonksiyonları için yapılan kabullerin uygunluğunun gözlemlerle karşılaştırılarak kontrolü.

5) Hidrolojik süreç (zaman serisi) modelleri: Zaman içinde değişken bir hidrolojik büyüklüğün (akımın) stokastik yapısının modellenmesi, kurulan modellerin simülasyon ve akım tahminlerinde kullanılması [1,2,13,15].

5.2 Deterministik Yöntemlerin Kullanımı

Deterministik yöntemler genellikle ortalama günlük akım değerlerine dayanan çalışmalar sonucu ortaya çıkarılmış yöntemlerdir. Son yüzyılda yapılan çalışmaları inceleyecek olursak deterministik yöntemleri de kendi arasında ikiye ayırabiliriz. Anlık pik akım tahmininde deterministik yöntem geliştiren araştırmacıların bir kısmının anlık pik akım ile havzanın fiziksel coğrafyası arasında bir bağıntı elde ettiğini gözlemleyebiliriz. Bu konuda araştırma yapan hidrolojistlerin diğer kısmının ise ardışık günlerdeki ortalama akımları kullanarak deterministik bir bağıntı ortaya koyduğu gözlemlenebilir [9,10]

Anlık pik akım tahmininde deterministik yöntem birçok araştırmacı tarafından öngörülmüştür. Bu çalışmada Fuller, Sangal yöntemlerine ve uygulanan yöntem olan

Heinz Dieter Fill ve Alexander Arns Steiner'in öngördüğü yönteme daha çok yer verilmektedir. Bu yüzden bu çalışmaları daha detaylı olarak açıklanacaktır.

5.2.1 Fuller Yöntemi (1914)

Fuller'in çalışması belki de bu alanda yapılan ilk çalışmalardan olup hala günümüzdeki araştırmalara öncülük ettiği söylenebilir. Daha sonraları hidrolojistler Fuller'in yapmış olduğu çalışmayı geliştirerek kendi ülkelerindeki havzalarda uygulamışlardır[1,14].

Fuller, yağış alanı 3,06 ile 151.592 km² arasında değişen 24 nehir havzasında yaptığı araştırma sonucunda; yağış alanı ile anlık pik akım arasında şöyle bir bağıntı elde etmiştir;

$$Q_t = Q(1 + 2,66A^{-0,3}) \quad (5.1)$$

Q_t : tahmin edilen anlık pik akım (m³/s), Q : maksimum ortalama günlük akım (m³/s) ve A : yağış alanı (km²).

Daha sonraları birçok araştırmacı Fuller'in öne sürmüş olduğu yöntemi geliştirerek çalıştıkları bölgelere ait farklı denklemler elde etmişlerdir. Bu çalışmaların bir kısmı Tablo(5.1)'de verilmiştir. Tabloda geçen değişkenler aşağıdaki gibidir:

A : Yağış alanı (km²), A^* : Yağış alanı (mi²)

Q_{max} : pik akım

Q_d : gözlenmiş olan en yüksek akım

Q_m : maksimum ortalama günlük akım'dır [1,14].

Tablo 5.1: Literatürdeki, anlık pik akımın ortalama günlük akıma oranının yağış alanı ile arasındaki ilişkisi [16].

Yazar	Bölge	İfade
Gray(1973)	Rocky Mountains	$Q_{\max}/Q_d=3,90A^{*-0,22}$
Gray(1973)	Cypress Hills	$Q_{\max}/Q_d=10A^{*-0,46}$
Gray(1973)	Central Plains	$Q_{\max}/Q_d=11A^{*-0,26}$
Gray(1973)	Manitoba Encarp.	$Q_{\max}/Q_d=3,70A^{*-0,38}$
Correia(1983)	Portugal	$Q_{\max}/Q_d=1+1,20A^{-0,036}$
Tonini(1939)	Italy	$Q_{\max}/Q_m=1+68A^{-0,50}$
Cottechia(1965)	Italy($A<120\text{km}^2$)	$Q_{\max}/Q_m=32A^{-0,313}$
Cottechia(1965)	Italy($A>120\text{km}^2$)	$Q_{\max}/Q_m=16A^{-0,190}$
Tonini(1969)	Italy	$Q_{\max}/Q_m=2,39A^{-0,112}$
Tucci(1991)	Brazil	$Q_{\max}/Q_d=1+15,03A^{-0,59}$

5.2.2 Silva ve Tucci Yöntemi (1998)

Silva ve Tucci yaptıkları çalışmada anlık pik akım ile ortalama günlük akımlar arasında bir pik akım katsayısı tahminine ulaşmak için hidrolojik bir model tasarlamışlardır. Sahalardan alınan verileri analiz etmek için iki method kullanmışlardır [17].

- 1) Tüm gözlenen verilere grafiksel analiz ve regresyon uygulaması.
- 2) Pik akım ile ortalama günlük akım verilerinin istatistiksel analizi.

Silva ve Tucci hem tüm fiziksel coğrafik değişkenleri içeren grafiksel analizi hem de çoklu regresyon analizi uygulayarak klasik loglineer model geliştirmişlerdir:

$$C = aA^b L^c D^d T^e \quad (5.2)$$

Bu eşitlikte C anlık pik akım ile ortalama günlük akım arasındaki oran, A, L, D ve T havzanın fiziksel ve coğrafik karakteristikleri, a = regresyon sabitini, b, c, d ve e ise regresyon katsayılarını göstermektedir [1,17].

Silva ve Tucci'nin öngördüğü denklemin üzerine araştırmacılar havzanın fiziksel ve coğrafik karakteristiklerinin yerine konsantrasyon zamanını kullanmayı denemişler ancak sonuç alamamışlardır.

5.2.3 Sangal Yöntemi (1983)

Deterministik tahmin yöntemlerinde ikinci tip yaklaşımlar yani ardışık günlük ortalama akımların kullanımında Linsley ve diğerlerinde (1949) iki tane öncülük edecek yöntem tanımlanmıştır. İlki Jarvis(1936) diğeri ise Langbein(1944) tarafından öngörülmüştür. Günümüze daha yakın zamanda ise araştırmacılar tarafından iyi bilinen teknik Sangal (1983) tarafından öngörülmüştür [18].

Langbein'in methodu Linsley ve diğerlerinde (1949) bir diyagram ile temsil edilmektedir. Diyagramda pik akım ile maksimum günlük akımın oranı, önceki ve sonraki günlerin maksimum akımlar oranının bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Jarvis ise çok sayıda pik boşalımları, anlık pik akımların görüldüğü günleri ve 24 saat içindeki maksimum dönüş noktası verileri sunmuştur, fakat bu veriler genellendirilmiş bir sonuç ortaya koymasına yetmemiştir [18].

Sangal(1983) öngörüsünü üçgensel hidrografa dayandırarak;

$$Q_t = (4Q_2 - Q_1 - Q_3)/2 \quad (5.3)$$

denklemleriyle ortaya koymuştur.

Q_t : tahmin edilen anlık pik akım(m^3/s), Q_2 : anlık pik akımın ölçüldüğü günkü gözlenen ortalama günlük akım(m^3/s), Q_1 ve Q_3 : sırasıyla bir önceki ve bir sonraki günlerin ortalama günlük akım(m^3/s) değerleridir.

Sangal, çalışmasında birbirini takip eden üç günün ortalama günlük akım değerlerini kullanmıştır. Yöntemini Kanada'nın Ontario eyaletindeki akarsular üzerindeki 387

gözlem istasyonundan aldığı 3.946 istasyon-yıl akım verisi ile test etmiştir. Yöntem, makul düzeyde doğrulukla ama daha çok aşağı meyilli küçük havzalarda iyi sonuçlar vermiştir [1, 18].

Sangal'ın kullandığı verilerin neredeyse yarısının donma-erime akışlarından alınmasına rağmen yöntem, Güney Brezilya'daki hidroelektrik santrallerin hazne fizibilite çalışmalarında geniş anlamda tatbik edilmiştir.

Yağış alanı 1.000 km² 'den fazla olan havzalarda Sangal yöntemi uygulandığında hesaplanan anlık pik akım değerlerinin (yaklaşık %50) gözlenenlerden büyük ölçüde fazla sonuç verdiği saptanmıştır. Bu, yüksek anlık pik akım tahminlerinin araştırmacıları Sangal methodunu revize etmeye yöneltmiştir [18].

5.2.4 Ortalama Günlük Akımlardan Anlık Pik Akım Tahmini

Profesör Heinz Dieter Fill ve Araştırma Görevlisi Alexandre Arns Steiner 2002 yılında bu alanda Brezilya'da yaptıkları araştırmada, Sangal methoduna benzer bir yaklaşımla 3 ardışık günlük ortalama günlük akımları kullanarak Sangal methodunu bir bakıma geliştirmişlerdir. Yaklaşımlarında, anlık pik akımı, üç ardışık günün ortalama günlük verilerinin bir lineer kombinasyonu olduğunu öne sürmüşlerdir [1].

$$Q_t = aQ_2 + b(Q_1 + Q_3) \quad (5.4)$$

Denklemlerle çalışmalarını yürütmüşlerdir. Q_t : tahmin edilen anlık pik akım(m³/s), Q_2 : anlık pik akımın ölçüldüğü günlük gözlenen ortalama günlük akım(m³/s), Q_1 ve Q_3 : sırasıyla bir önceki ve bir sonraki günlerin ortalama günlük akım(m³/s) değerleridir. a ve b ise sabit katsayılarıdır [1].

6. OLASILIK VE İSTATİSTİK YÖNTEMLER

6.1 Rastgele Değişken Ve Rastgele Olay

Rastgele değişken gelecekteki bir gözlemede alacağı değerler önceden kesinlikle bilinmeyen bir değişkendir. Bir yağış ölçüğünde herhangi bir gün gözlenecek yağış yüksekliğini önceden bilmek mümkün olmadığına göre günlük yağış yüksekliği rastgele bir değişkendir. Hirolojide aralarında istatistik bağımlılık bulunan rastgele değişkenlerle sık karşılaşılır. Örnek olarak bir akarsu havzasında çeşitli istasyonlarda ölçülen yağışlar ve akımlar, bir taşkının pik debisi, hacmi ve süresi, bir istasyondaki akımla havzanın çeşitli fiziksel değişkenleri, yeraltı suyu akımı ile hidrojeolojik değişkenler sayılabilir [19].

Rastgele değişkenlerdeki belirsizlik bu değişkenlerin alacağı değerlerin, değerleri önceden tahmin edilemeyen çok sayıda etkene bağlı olmasından ileri gelir. Belirsizlik yağış ve akışta olduğu gibi doğal olaylardaki değişimlerden kaynaklanabilir ya da olay hakkındaki bilgilerimizin yetersizliğinden ileri gelebilir. Böyle değişkenleri deterministik bir yaklaşımla incelemek mümkün değildir. Yani değişkenin alacağı değeri önceden kesinlikle belirleyebilen yasalar elde edilemez.

Bir rastgele değişkenin gelecekteki bir gözlem sırasında alacağı değer kesin olarak bilinmeyeceğine göre ancak değişkenin belli bir değer alması şansı belirlenebilir. Bir rastgele değişkenin bir gözlem sırasında belli bir değeri almasına rastgele olay denir. Buna göre hangi rastgele olayın görüleceği önceden kesinlikle bilinmemekle birlikte herhangi bir rastgele olayın görülme şansını belirlemek mümkündür [19].

6.2 Rastgele Değişkenlerin Dağılımları

Bir rastgele değişkene ait çeşitli rastgele olayların olasılıklarını toplu bir şekilde bir dağılım fonksiyonu ile ifade edebiliriz. Bu fonksiyonun gösterilişi değişkenin kesikli ya da sürekli oluşuna göre biraz farklı şekillerde yapılır [19,20].

Basit rastgele olayların olasılıklarının tanımlanması açısından rastgele değişkenleri iki sınıfa ayırarak incelemek gerekir:

1. Kesikli Değişkenler: Örnek uzayındaki eleman (basit olay) sayısı sonludur (bir kavşağa bir dakikada gelen araba sayısı gibi).

2. Sürekli değişkenler: Örnek uzayındaki eleman (basit olay) sayısı sonsuzdur (bir noktadaki rüzgar hızı, bir akarsudaki akımın debisi gibi).

Birçok rastgele değişken belli bir aralık içinde kalsa bile, sürekli olarak değiştiğinden basit olayların sayısı sonsuzdur. Ancak pratikte rastgele değişkenin değişme bölgesi genellikle alt ve üstten sınırlı olduğu gibi ölçümle de belli bir prezisyonla yapılabildiği için, değişkeni sonlu sayıda değerden birini alabilen bir değişken gibi düşünmek daha anlamlı olabilir [19,20].

6.3 Rastgele Değişkenlerin Dağılımlarının Parametreleri

Bir rastgele değişkenin herhangi bir gözlem sırasında alacağı değer önceden bilinemez, fakat dağılım fonksiyonu bu değişkenin davranışı ile ilgili bütün bilgileri kapsar. Bazı durumlarda dağılım fonksiyonunun vereceği bilgilerin tümünün bilinmesi gerekmez, ya da bu bilgileri elde etmek mümkün olmayabilir. Bu durumda rastgele değişkenin davranışının başlıca özelliklerini birkaç sayı yardımıyla özetlemek mühendislik problemlerinde yeterli olabilir. Değişkenin dağılım fonksiyonunun belli özelliklerini yansıtan bu sayılara dağılımın parametreleri denir. Parametrelerin eldeki verilerden tahmin edilmesi ve kullanılması dağılım fonksiyonunun tahmin edilip kullanılmasına göre çok daha kolay olur. Bu nedenle yaklaşık da olsa çabuk cevapların elde edilmesi gereken mühendislik problemlerinde parametreleri kullanmak gerekir [19,20].

Parametreler dağılımın şu gibi özelliklerini belirtirler:

1. Dağılımın merkezini, yani rastgele değişkenin çeşitli gözlemlerde alabileceği değerlerin çevresinde kümelendiği değeri,
2. Çeşitli gözlemlerde rastgele değişkenin alacağı değerlerin bu merkez çevresindeki yayılmasının büyüklüğü,
3. Dağılımın çarpıklığını,
4. Dağılımın sivriliğini.

Bir rastgele değişkenin dağılımının bu gibi özelliklerinden herhangi birinin ölçüsü olan parametreyi çeşitli şekillerde tanımlamak mümkündür [19,20].

6.4 Bir Rastgele Değişkenin İstatistik Momentleri

6.4.1 Merkez Parametreleri

Bir rastgele değişimin dağılımının en önemli karakteristiği dağılımın merkez değeridir. Çeşitli gözlemler sırasında değişkenin alacağı değerlerin çevresinde kümelendeği merkez değer için farklı tanımlar kullanılabilir. Ancak bunların içinde en çok kullanılanı ortalama ya da beklenen değer olarak adlandırılan ve aşığıdaki şekilde tanımlanan değerdir.

Elimizde X rastgele değişkeninin toplumundan alınmış n elemanlı bir örnek bulunsun $(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$. μ_x ortalama parametresine karşı gelen x istatistiği:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n \quad (6.1)$$

Şeklinde hesaplanır. Ortalama, dağılımın merkezini ifade etmek için en çok kullanılan parametredir [19,20].

Dağılımın merkezini gösteren kuantil tipi parametre ise medyandır. $med_x = x_{0,5, p=0,5}$ olasılığına karşı gelen kuantil olup medyayı eldeki örnekten tahmin etmek için önce örnekteki değerler büyüklük sırasına dizilerek $(x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n)$ düzenlenmiş örnek haline getirilir. Medyan düzenlenmiş örnekten şu şekilde tahmin edilir:

$$med_x = x_{0,50} = \begin{cases} x_{(n+1)/2} & n \text{ tek ise} \\ \frac{1}{2}[x_{n/2} + x_{n/2+1}] & n \text{ çift ise} \end{cases} \quad (6.2)$$

Yani örnekteki eleman sayısı n tek ise düzenlenmiş örnekte ortada kalan eleman medyan olarak alınır, n çift ise ortadaki iki elmanın ortalaması medyayı verir.

Rastgele değişkenin dağılımı simetrik ise ortalama ve medyanın değerleri aynıdır. Sağa doğru (pozitif) arpık dağılımlarda ortalama medyandan büyük, sola doğru (arpık) dağılımlarda ise küçüktür. Ancak bunun bu parametrelerin toplum değerleri için olduğu, eldeki örnekten tahmin edilen istatistik değerlerinin ise farklı şekillerde davranabileceği unutulmamalıdır. Medyanın ortalamaya üstünlüğü örnekteki aykırı değerlerden fazla etkilenmeyişidir. Bu nedenle medyan dayanıklı (robüst) bir parametredir. Ortalama ise aykırı değerlerden çok etkilenir. x_j aykırı değeri çıkarıldıktan sonra geriye kalan örnekten hesaplanan ortalama \bar{x}_j denirse:

$$\bar{x} = \bar{x}_j + (x_j - \bar{x}_j) \frac{1}{n} \quad (6.3)$$

olur.

Geometrik ortalama gözlenen değerlerin logaritmalarının ortalamasını kullanarak

$$\bar{x}_G = \exp \left(\overline{\ln x_i} \right) \quad (6.4)$$

şeklinde hesaplanır. \bar{x}_G değeri genellikle medyanın değerine yakın olduğundan medyan yerine kullanılabilir [19,20].

6.4.2 Yayılım Parametreleri

Merkez parametreleri, bir rastgele değişkenin merkezsiz değerini göstermekle birlikte bu değer çevresindeki yayılmanın büyüklüğü hakkında bir bilgi vermez. Bu yayılmayı ölçmek için çok kullanılan parametre varyanstır ve:

$$\text{Var}(X) = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1) \quad (6.5)$$

denklemleriyle hesaplanır [19,20].

Varyansın büyük olması değişkenin ortalama çevresindeki yayılmasının büyük olduğunu gösterir. Varyansın boyutu rastgele değişkenin boyutunun karesine eşittir. Bu çoğu zaman fiziksel açıdan anlamlı olmadığından varyans yerine varyansın karekökü olan standart sapmayı kullanmak yoluna gidilir:

$$\sigma_x = (\text{Var}(X))^{1/2} \quad (6.6)$$

Standart sapma rastgele değişken ile aynı boyutta olduğu için daha anlamlıdır. Ancak ortalamaları farklı olan iki değişkenin hangisinde yayılmanın daha büyük olduğunu anlamak için standart sapmalarını karşılaştırmak yeterli olmaz. Bu durumda boyutsuz bir katsayı olan değişim (varyasyon) katsayısını kullanmak uygun olur:

$$C_{vX} = \frac{\sigma_x}{\mu_x} \quad (6.7)$$

Değişim katsayısı iki rastgele değişkenin yayılımlarını doğrudan karşılaştırmamıza imkan verir. Hangi değişkenin değişim katsayısı daha büyük ise o değişkenin yayılması ortalamasının daha büyük bir yüzdesinde eşit demektir.

Birçok hallerde sadece ortalama ve standart sapmayı bilmek rastgele değişkenin dağılımı hakkında hüküm vermek için yeterli olur. Ancak standart sapma da ortalama gibi aykırı değerlerden çok etkilenir. daha dayanıklı bir parametre kuartil denen $x_{0,25}$ ve $x_{0,75}$ kuantilleri cinsinden tanımlanan kuartiller arası uzaklık (IQR, interquartile range) parametresidir:

$$IQR = x_{0,75} - x_{0,25} \quad (6.8)$$

$x_{0,25}$ ve $x_{0,75}$ kuartilleri düzenlenmiş örnekte sırasıyla $i=0,25n$ ve $i=0,75n$ 'e en yakın olan elemanlardır. Normal dağılmış bir değişkende $IQR=4/3 \sigma_x$ olur, bu eşitlik yine parametrelerin toplum değerleri için gereklidir [19,20].

Yayılm ile ilgili bir diğer dayanıklı parametre de medyan mutlak sapmadır(MAD):

$$MAD = \text{med}|x_i - \text{med}_x| \quad (6.9)$$

6.4.3 Çarpıklık Parametreleri

Rastgele değişkenin dağılımının çarpıklığı C_{sX} çarpıklık katsayısı ile ölçülebilir:

$$C_{sX} = \frac{\mu_x^{(3)}}{\sigma_x^3} \quad (6.10)$$

Bu boyutsuz katsayının 0 olması dağılımın simetrik, pozitif olması sağa çarpık, negatif olması ise sola çarpık olduğunu gösterir. Çarpıklık katsayısının istatistik değeri:

$$C_{sx} = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{\sigma_x^3} \quad (6.11)$$

denklemlerle hesaplanır [19,20].

Diğer istatistik moment tipi parametreler gibi aykırı değerlerden çok etkilenen C_{sx} yerine daha dayanıklı olan kuartil çarpıklık katsayısı (q_{sx}) kullanılabilir [19,20].

$$q_{sx} = \frac{x_{0,75} - x_{0,50} - (x_{0,50} - x_{0,25})}{x_{0,75} - x_{0,25}} \quad (6.12)$$

6.4.4 Sivrilik Parametresi

4. mertebeden merkezsiz momenti kullanarak dağılımın sivrilikliğini gösteren kurtosis katsayısı tanımlanabilir:

$$k_x = \frac{\mu_x^{(4)}}{\sigma_x^4} \quad (6.13)$$

Kurtosis katsayısının değeri dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonunun sivrilikliği ile birlikte artar [19,20].

6.5 Korelasyon

Bazı mühendislik problemlerinde iki rastgele değişken arasında istatistik bir ilişki bulunduğunu, yani bu iki değişkenin birbirlerine karşı gelen değerlerinin bağımsız olmadığını görürüz. İki değişken arasında ilişki bulunması bunlardan birinin diğerinden etkilenmesi, ya da her iki değişkenin başka değişkenlerden birlikte etkilenmelerinden kaynaklanabilir. Birbiriyle ilişkili olan rastgele değişkenlere örnek olarak komşu iki havzadaki akımları, bir havzaya düşen yağışla o havzadan çıkan akımı, zeminin sıkışma indisiyle boşluk oranını, betonun 7 günlük direnciyle 28 günlük direncini, trafik yoğunluğuyla trafik hızını gösterebiliriz [19,20].

Yukarıda sözü geçen ilişkiler fonksiyonel (deterministik) nitelikte değildir, yani değişkenlerden biri belli bir değer aldığı anda diğerinin her zaman aynı değeri alacağı söylenemez. İstatistik ilişkide bir değişkenin belli bir değerine diğer değişkenin belli bir değeri yerine bir dağılım karşı gelir [19,20].

İki rastgele değişken arasındaki ilişki nasıl ölçülebilir? Değişkenlerin arasındaki ilişkinin doğrusal olması halinde bu ilişki için en çok kullanılan ölçü (Pearson) korelasyon katsayısıdır. Normal dağılmış X ve Y değişkenleri için n elemanlı (xi,yi) çiftlerinden oluşan bir örnekten r korelasyon katsayısı şu denklemle tahmin edilir:

$$r = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{x_i - \bar{x}}{s_x} \frac{y_i - \bar{y}}{s_y} \quad (6.14)$$

r'nin toplum değeri -1 ile 1 arasında değişebilir. Mutlak değerin 1 olması iki değişken arasında fonksiyonel bir ilişki bulunduğunu, 0 olması ise değişkenlerin bağımsız olduğunu gösterir. r'nin mutlak değeri 0'dan 1'e büyüdükçe ilişki kuvvetlenir. r'nin eksi işaretli olması değişkenlerden birinin artmasıyla diğerinin azaldığını gösterir (trafik yoğunluğu ile trafik hızı arasındaki ilişkide olduğu gibi) [19,20].

r korelasyon katsayısı normal dağılmış değişkenler arasındaki bağımlılığın iyi bir ölçüsüdür [20].

6.6 Regresyon Analizi

Birçok mühendislik problemlerinde iki (ya da daha çok sayıda rastgele değişkenin aynı gözlem sırasında aldıkları değerlerin birbirinden istatistik bakımdan bağımsız olmadığını, dolayısıyla bu değişkenler arasında bir ilişki bulunduğunu görürüz. İki değişken arasında bir ilişki bulunması bunlardan birinin diğerinden etkilenmesi, ya da her iki değişkenin başka değişkenlerden birlikte etkilenmelerinden kaynaklanır. Örneğin bir akarsu havzasındaki akışla yağış arasındaki ilişki akışın yağışın etkisiyle ortaya çıkmasından doğar. Komşu iki havzada akışlar arasındaki ilişki ise her ikisinin de o bölgedeki yağıştan etkilenmelerine bağlıdır [19,21,22].

Ancak söz konusu ilişkiler deterministik (fonksiyonel) nitelikte değildir, yani değişkenlerden biri belli bir değer aldığı anda diğerinin her zaman aynı değeri alacağı

söylenemez. Söz konusu ilişkide göz önüne almadığımız diğer değişkenlerin etkisiyle bu değer çeşitli gözlemlerde az çok farklı olabilir. Örneğin komşu iki havzanın birinde akım belli bir değeri aldığı anda diğerindeki akım her zaman aynı değerde olmaz. Yine de değişkenler arasındaki fonksiyonel olmayan bağıntının varlığının ortaya çıkarılması ve biçiminin belirlenmesi pratikte önem taşır. Zira bu bağıntıyı kullanarak bir değişkenin alacağı değeri diğer bir (ya da birden fazla) değişkenin bilinen değerlerine bağlı olarak tahmin etmek mümkün olur. Bu tahmin söz konusu değişkenin alacağı gerçek değeri kesin olarak vermemekle birlikte bu değere yakın en iyi tahmin olur. Tahmin edilen değer gerçeğe değerden olan farkının (hata) belli bir olasılıkla hangi sınırlar içinde kalacağı söylenebilir [19].

Yukarıda sözü edilen tipten bir bağıntıyı gösteren matematik ifadeye regresyon denklemi denir. Regresyon analizinin amacı göz önüne alınan değişkenler arasında anlamlı bir ilişki bulunup bulunmadığını belirlemek, böyle bir ilişki varsa bu ilişkiyi ifade eden regresyon denklemini elde etmek ve bu denklemi kullanarak yapılacak tahminlerin güven aralıklarını hesaplamaktır [19,22,23].

Regresyon analizinin inşaat mühendisliğinde kullanımına örnek olarak iki komşu havzada aynı yılda ölçülen akımlar arasındaki ilişki gösterilebilir. Her iki akım da o yıl içinde bölgeye düşen yağıştan etkilendikleri için aralarında fonksiyonel olmayan bir ilişki vardır. Bu ilişkiyi gösteren regresyon denklemi elde edilebilirse bu denklemi kullanılarak geçmişte havzalardan birinde ölçülmemiş olan eksik akım verilerini diğer havzada aynı yıllarda ölçülmüş olan akımlara bağlı olarak tahmin edilebilir. Tahmin edilen değerler gerçeğe görülmüş olan değerlere eşit olmamakla birlikte yapılabilecek en iyi tahminler olurlar. Gerçek değer tahmin edilen değerden farkı belli olasılıkla hangi aralıkta kalacağı da hesaplanabilir. [19,23].

Diğer bir örnek olarak betonun 28 gün sonra elde edeceği basınç direncinin daha kısa bir süre içinde elde edeceği dirence dayanarak tahmin edilmesi gösterilebilir. Bu iki direnç arasındaki istatistik ilişkiyi ifade eden regresyon denklemi elde edilebilirse ölçülen kısa süreli dirence dayanarak 28 günlük direnç için bir tahmin yapılabilir.

Regresyon analizine başlarken aralarında bir ilişki aranacak olan iki (ya da daha fazla sayıda) değişkenin hangileri olduğuna karar vermek, sonra da bu değişkenler

arasındaki ilişkiyi gösteren denklemin biçimi için bir kabul yapmak gerekir. Buna göre regresyon analizi şu şekilde sınıflandırılabilir.

1. Basit Doğrusal Regresyon Analizi: En çok kullanılan bu en basit analizde iki değişken arasında doğrusal bir ilişki bulunduğu kabul edilir.
2. Çok Değişkenli Doğrusal Regresyon Analizi: İki'den fazla sayıda değişken arasında doğrusal bir ilişki bulunduğu kabul edilir.
3. Doğrusal olmayan (nonlinear) regresyon analizi: Burada iki ya da daha fazla sayıda değişken arasında doğrusal olmayan ve biçimi önceden seçilen denklemlerle ifade edilen bir ilişkinin varlığı kabul edilir [8,19].

6.6.1 Basit Doğrusal Regresyon Analizi

Regresyon analizinin en basit şekli iki değişken arasındaki basit doğrusal regresyondur. Burada X ile Y arasındaki ilişkinin

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i \quad (6.15)$$

şeklinde olduğu kabul edilmektedir. X değişkeninin verilen bir x_0 değeri için Y'nin beklenen değeri:

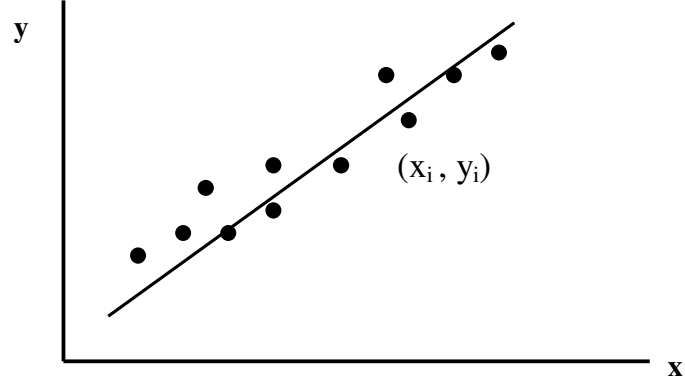
$$E[Y|X = x_0] = \beta_0 + \beta_1 x_0 \quad (6.16)$$

olup ε_i , beklenen değeri 0 olan kalıntı terimidir. Buna göre Y'nin X'e göre regresyon denklemi:

$$y = b_0 + b_1 x \quad (6.17)$$

şeklinde yazılabilir. b_0 ve b_1 , β_0 ve β_1 regresyon katsayılarının eldeki örneklerden hesaplanan değerlerdir. $X=x_i$ için Y değişkeninin y_i en iyi tahmini (6.17) denkleminde hesaplanır:

$$\hat{y}_i = b_0 + b_1 x_i \quad (6.18)$$



Şekil 6.1: X ve Y değişkenleri arasındaki doğrusal ilişki [20].

X ile Y arasında doğrusal bir ilişki bulunup bulunmadığını görmek için örnekteki (x_i, y_i) gözlem çiftleri x - y düzleminde noktalanır. Noktaların bir doğru çizgi çevresinde az bir dağınıklık ile yayılmaları böyle bir ilişkinin varlığına işaret eder. İlişkinin doğrusal olmadığı anlaşılırsa değişkenlere dönüşüm uygulayarak doğrusal bir ilişki elde etmeye çalışılır [20].

Y'nin X'e göre regresyon doğrusunun (6.17) denklemindeki b_0 ve b_1 regresyon katsayıları gözlenen y_i değerleri ile (6.18) denklemiyle tahmin edilecek \hat{y}_i değerlerinin farklarının $e_i = y_i - \hat{y}_i$ karelerinin toplamını en küçük yapacak şekilde hesaplanır.

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}), \quad (6.19)$$

$$SS_x = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (6.20)$$

$$SS_y = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (6.21)$$

şeklinde tanımlanırsa:

$$b_1 = \frac{S_{xy}}{SS_x} = r \sqrt{\frac{SS_y}{SS_x}} \quad (6.22)$$

$$b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x} \quad (6.23)$$

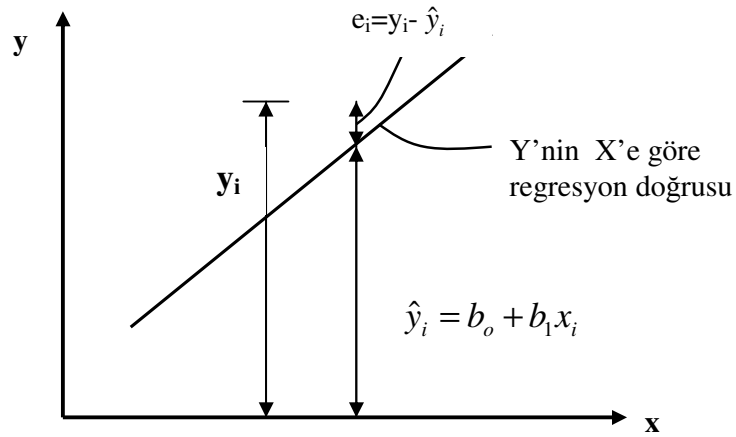
olarak elde edilir, burada r , X ve Y değişkenleri arasında korelasyon katsayısıdır, n eldeki örnekte yer alan gözlem çiftleri sayısıdır. Y denklemindeki ϵ_i kalıntı terimlerinin varyansı:

$$\text{Var}[Y|X = x_o] = \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-2} = \frac{SS_y - b_1 S_{xy}}{n-2} \quad (6.24)$$

olur. b_0 ve b_1 istatistiklerinin örnekleme dağılımlarının varyansları:

$$\text{Var}[b_0] = \sigma^2 / SS_x \quad (6.25)$$

$$\text{Var}[b_1] = \sigma^2 \left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{SS_x} \right) \quad (6.26)$$



Şekil 6.2: Y'nin X'e göre regresyon doğrusu [20].

Hesaplanan b_0 ve b_1 katsayılarının anlamlı olup olmadıklarını anlamak için testler uygulanır. $H_0: \beta_1=0$ hipotezini kontrol etmek için

$$t = \frac{b_1}{\sigma / \sqrt{SS_x}} = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (6.27)$$

İstatistiğinin örnekleme dağılımının serbestlik derecesi $n-2$ olan t dağılımı olduğu bilinmektedir. $\beta_1=0$ hipotezinin $\rho=0$ hipotezi gibi değişkenlerin bağımsız olduğunun kabulü anlamına geldiğine dikkat edilmelidir.

$H_0 : \beta_0 = 0$ hipotezini kontrol etmek için:

$$t = \frac{b_o}{\sigma \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{SS_x}}} \quad (6.28)$$

İstatistiğinin örnekleme dağılımının serbestlik derecesi $n-2$ olan t dağılımı olduğu bilinmektedir [20].

(6.24) denklemiyle hesaplanan ε_i kalıntılarının varyansının güven aralığının sınırları:

$$(n-2)\sigma^2 / \chi_{1-\alpha/2}^2 \quad (6.29)$$

$$(n-2)\sigma^2 / \chi_{\alpha/2}^2 \quad (6.30)$$

Basit doğrusal regresyonda $X=x_o$ için Y 'nin beklenen değerinin güven aralığının sınırları:

$$\hat{y}_o \pm t_\alpha \sigma \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(x_o - \bar{x})^2}{SS_x}} \quad (6.31)$$

$x_o = \bar{x}$ için güven aralığının en dar olduğu, x_o değeri ortalamadan uzaklaştıkça güven aralığının genişlediği görülmektedir.

(6.18) denklemi ile tahmin edilen değerinin güven aralığının sınırları:

$$\hat{y}_i \pm t_\alpha \sigma \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_o - \bar{x})^2}{SS_x}} \quad (6.32)$$

\hat{y}_i tahmininin güven aralığının da $x_i = \bar{x}$ için en dar olduğu, ortalamadan uzaklaştıkça genişlediği görülmektedir. (6.31) denklemi ile verilen güven aralığı sınırlarını belirlerken ε_i kalıntılarının normal dağılmış, aralarında bağımsız ve bütün x_i değerleri için varyanslarının eşit (homosedastik) oldukları kabul edilmiştir. Bu kabullerin doğru olmaması halinde değişkenler bir dönüşüm uygulayarak kabullere uyan kalıntılara geçmeye çalışılabilir [20].

\hat{y}_i tahminleri için değişkenlerin dağılımından bağımsız olan nonparametrik bir güven aralığı şöyle belirlenebilir. Gözlenmiş verilerin ϵ_i kalıntıları büyüklük sırasına dizilerek küçük kalma olasılığı $\alpha/2$ olan e_L ve aşılma olasılığı $\alpha/2$ olan e_U kuantilleri belirlenir. Buna göre güven aralığının sınırları:

$$\hat{y}_i - e_L, \hat{y}_i + e_U \quad (6.33)$$

r korelasyon katsayısının karesine eşit olan r^2 determinasyon katsayısı Y karşılık (bağımlı) değişkeninin varyansının X açıklayıcı (bağımsız) değişkeninin değişiminden kaynaklanan yüzdesini gösterir. Bu nedenle r^2 regresyon bağıntısının anlamlılığının bir ölçüsüdür, değeri 1'e yaklaştıkça regresyonun anlamlılığı giderek artar. Gözlemlerin regresyon doğrusunun anlamlılığını gösterir. (6.27) denkleminde verilen t değeri de b_1 katsayısının sıfırdan farklılığına işaret ettiğinden X ile Y'nin arasındaki ilişkinin sadece şanstı mı kaynaklandığının bir ölçüsü olur. Bütün bu katsayıların ancak iki değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi ifade ettiklerine, doğrusal olmayan ilişkiler için ölçü olmadıklarına ve aykırı değerlerden büyük ölçüde etkilendiklerine dikkat edilmelidir. Şekil (6.3)'de bütün veriler için bu katsayının değerleri aynıdır. a'daki ilişki doğrusal bir istatistik ilişkidir. b'deki ilişki fonksiyonel olduğu halde doğrusal olmadığı için r^2 değeri 1'den küçüktür. c'de aykırı değerlerin varlığı r^2 'yi küçültmektedir. d'de ise X değişkeni sadece iki değer aldığından veriler regresyon analizi için yetersizdir [20].

Değişkenlerin normal dağılmamış halde olmaması halinde normal dağılıma varmak için en çok kullanılan dönüşüm logaritmik dönüşümdür. Bu dönüşümün kullanılması halinde dikkat edilmesi gereken bir nokta dönüşümün ortalamasının tahmini üzerine olan etkisidir. Logaritmik dönüşüm yapıldıktan sonra

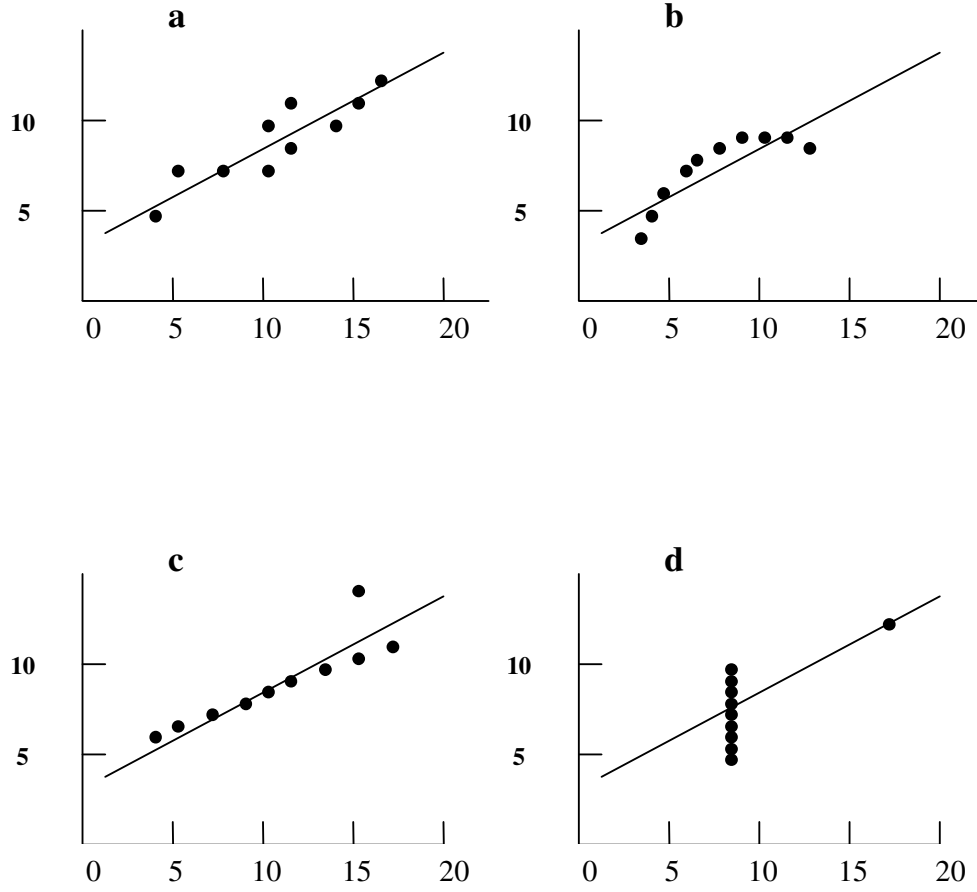
$$\ln \hat{y}_i = b_0 + b_1 \ln x_i \quad (6.34)$$

Denklemini kullanarak elde edilen $\ln \hat{y}_i$ değerlerinden hesaplanan \hat{y}_i değerlerinin ortalaması $E[Y|x_i]$ 'yi değil, $E[\ln Y|x_i]=\text{med}_y|x_i$ değerini verir ki bu $E[Y|x_i]$ 'den küçüktür. $n>30, \sigma<0,5$ için

$$E[Y|x_i] \cong \exp[b_0 + b_1 \ln x_i + 0,5\sigma^2] \quad (6.35)$$

formülü kullanılabilir. Ya da nonparametrik bir yaklaşımla

$$E[Y|x_i] \cong \exp[b_0 + b_1 \ln x_i] \frac{\sum_{i=1}^n \exp(e_i)}{n} \quad (6.36)$$



Şekil 6.3: İki değişken arasındaki ilişkinin şekilleri [20].

6.6.2 Çok Değişkenli Doğrusal Regresyon

Y bağımlı (karşılık) değişkeni ile X_1, X_2, \dots, X_k bağımsız (açıklayıcı) değişkenleri arasındaki doğrusal regresyon ($k \geq 2$):

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (6.37)$$

denklemi ile verilir. Burada β katsayıları yine $y_i - \hat{y}_i$ farklarının karelerinin toplamı en küçük olacak şekilde tahmin edilir [20,21].

(6.37) denkleminin anlamlı bir ilişkiyi ifade edip etmediği bazı testlerle kontrol edilebilir. Bağımsız değişken sayısı m olan daha karmaşık bir modelin bağımsız değişken sayısı $k < m$ olan daha basit bir modele göre Y'nin değişimini daha iyi açıklayıp açıklamadığını kontrol etmek için $H_0 : \beta_{k+1} = \beta_{k+2} = \dots = \beta_m = 0$ hipotezi en az bir β_{k+i} katsayısının sıfıra eşit olmadığı karşıt hipotezine göre test edilir. Basit modelin kalıntılarının karelerinin toplamı SSE_S ile, karmaşık modelin kalıntılarının karelerinin toplamı $SSE_C (< SSE_S)$ ile gösterilirse

$$F = \frac{(SSE_S - SSE_C)/(m - k)}{SSE_S / [n - (m + 1)]} \quad (6.38)$$

İstatistiğinin dağılımı serbestlik dereceleri pay ve payda için sırayla $m-k$ ve $n-(m+1)$ olan F dağılımıdır. F dağılımının tablosu Ekler kısmında Tablo A1'de verilmiştir. (6.38) denkleminde hesaplanan F istatistiği tablodan okunan kritik değerden büyük çıkarsa H_0 hipotezi reddedilir, bu karmaşık modelin daha iyi olduğunun kabul edilebileceği anlamına gelir [20,21].

Aynı testi değişken sayısı k ve $m=k+1$ denklemlere uygulayarak X_{k+1} değişkenini k değişkenli modele katmanın uygun olup olmadığı belirlenebilir. Burada $t^2 = F$ olmak üzere serbestlik derecesi $n-(m+1)$ olan t dağılımı da kullanılabilir [20,21].

(6.37) denklemindeki k değişken sayısı arttıkça Y'nin açıklanan varyans yüzdesi (R^2 determinasyon katsayısı) büyüyecektir. Ancak buna karşılık serbestlik derecesi azalacağından en iyi denklemin belirlenmesi gerekir. Açıklayıcı değişkenler arasından sayısı mümkün olduğu kadar küçük olan öyle bir takım seçilmelidir ki elde edilecek regresyon denklemi yeterli bir güvenle tahmin yapılmasını sağlasın. Bunun için ileriye ya da geriye adım adım ilerlenir. İleriye doğru giderken en basit

denklemden (Y ile korelasyon katsayısı en büyük olan X değişkeni için) başlayarak çeşitli değişkenleri denkleme eklemenin uygun olup olmadığı F testi ile birer birer belirlenir ve en büyük artışa neden olan değişken denkleme katılır. Geriye doğru giderken bütün değişkenlerin bulunduğu karmaşık denklemden başlayarak F'in en küçük değerine karşı gelen değişken araştırılıp denklemden çıkarılır. Her seferinde bir değişken çıkararak devam edilir. En uygunu sırasıyla bir değişken ekleyip diğer bir değişkeni çıkararak yapılan adım adım regresyondur [20,21].

Basit doğrusal regresyonda açıklanan varyans yüzdesinin r^2 determinasyon katsayısına eşit olduğunu görmüştük. Çok değişkenli regresyonda ise determinasyon katsayısı $SSE = \sum e_i^2$, $SS_y = \sum (y_i - \bar{y})^2$ olmak üzere

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SS_y} \quad (6.39)$$

şeklinde tanımlanır. R'nin değerinin 1'e yaklaşması regresyon denkleminin ifade ettiği ilişkinin deterministik bir ilişkiye yaklaştığını gösterir. Regresyon denklemindeki m bağımsız değişken sayısı arttıkça R'nin değeri de artar. Ancak bu durumda regresyon denkleminin yapılacak tahminlerdeki hata N-(m+1)'e eşit olan serbestlik derecesinin azalması yüzünden artabileceği için bağımsız değişken sayısının artmasıyla regresyon denkleminin daha az hatalı tahminler verebilmesi ancak R'nin m ile hızlı bir şekilde artması halinde mümkün olur.

H_0 : hipotezini kontrol etmek için:

$$F = \frac{R^2 / m}{(1 - R^2) / (N - m - 1)} \quad (6.40)$$

Şeklinde tanımlanan F istatistiği denklemi de kullanılır. Bu istatistiğin dağılımı s.d.=m, N-m-1 olan F dağılımıdır [19].

Ancak yukarıda belirtildiği gibi denklemden çıkarılan k değişken sayısı arttıkça R^2 de büyüyeceğinden sadece R^2 'nin değerine bakarak hangi denklemin en uygun olduğu belirlenemez. Bunun yerine

$$R_a^2 = 1 - \frac{(n-1) SSE}{(n-k-1) SS_y} \quad (6.41)$$

katsayısı en büyük olan denklem seçilebilir. R_a^2 yerine Mallow C_p katsayısını kullanmak daha uygun olur. Bu katsayı

$$C_p = k + 1 + \frac{(n - k - 1)(S_p^2 - \hat{\sigma}^2)}{\hat{\sigma}^2} \quad (6.42)$$

şeklinde tanımlanmıştır. S_p^2 göz önüne alınan denklemin Σe_i^2 değeri, $\hat{\sigma}^2$ ise S_p^2 'lerin en küçüğüdür. C_p katsayısı en küçük olan denklem en uygun olan denklemdir [21].

6.7 İstatistiksel Testler

İstatistiksel çalışmalarda beklenen veya tahmin edilen sonuçların gözlenen değerlere ne kadar yakın olduğu ne gibi sonuçlar verdiği bir takım testler yapılarak yorumlanmaktadır.

6.7.1 Bias (Taraflılık)

Bir istatistik modelden parametre tahmini yaparken en önemli konu tahminin gerçek değerinden ne kadar saptığının ölçülmesidir. Bu sapmalar değişik nedenlerden dolayı olabilir. Sapmalar genellikle, rastgele olayların doğasından kaynaklanan rastgele hatalardır. Örneğin bir parayı 100 kez attığımızda beklenen parametresi 50 olmasına rağmen 51 kere tura gelebilir. Aradaki fark ise para atmanın rastgele doğasından beklenen değerdir.

Bias' ın tanımını örneklendirecek olursak, bir akarsu havzasındaki herhangi bir gündeki gözlenen debiye Q_g beklenen veya tahmin edilen debiye Q_t dersek, bu iki değer arasındaki Bias ilişkisi matematiksel olarak:

$$BIAS = Q_t - Q_g \quad (6.47)$$

olur. Tabi bu bir gözlem için söylenebilecek Bias değeridir. n günlük gözlem değeri için n günlük tahminler yaparsak buna karşılık gelen Bias değeri:

$$BIAS = \frac{\sum Q_t - Q_g}{n} \quad (6.48)$$

şeklinde yazılabilir. Burada çıkan değer hesabı yapılan parametrenin boyutunda olacaktır. Çıkan sonucu boyutsuz hale getirmek istersek bunu denklemi Q_g ye bölerek yapabiliriz.

$$BIAS = \frac{\sum Q_t / Q_g}{n} - 1 \quad (6.47)$$

Bu denklem Q_g değerine göre göreceli bir sonuç vermektedir, o yüzden rölatif BIAS olarak adlandırılır [1].

6.7.2 Ortalama Karesel Hata (Mean Square Error)

BIAS' ta farkları toplayıp gözlem sayısına bölünmüştü, fakat burada gözden kaçırılmaması gereken bir konu farkları topladığımız zaman pozitif ve negatif değerlerin birbirlerini götürüp sonucu küçülttüğüdür. Ortalama karesel hata (OKH) da bu durumu ortadan kaldırmak için isminden de anlaşılacağı gibi farkların kareleri ile çalışılır. Bir bakıma grafik olarak bakıldığında birbirine karşı gelen iki değer arasındaki uzaklığın karesini ifade etmektedir.

Aynı örnek üzerinde tanımlanacak olursa:

$$OKH = \frac{\sum (Q_t - Q_g)^2}{n} \quad (6.50)$$

şeklinde bir denklem ile ifade edilir. Bu şekilde OKH' nin boyutu parametrenin boyutunun karesi olacaktır.

6.7.3 Kök Ortalama Karesel Hata (Root Mean Square Error)

Kök ortalama karesel hata (KOKH) isminden de anlaşılacağı gibi ortalama karesel hatanın kareköküdür. Grafikselleştirilerek bakıldığında verilere birebir karşı gelen değerler arasındaki uzaklıkların toplamının ortalaması olarak da düşünülebilir ve boyutu parametrenin boyutu ile aynıdır.

$$KOKH = \sqrt{\frac{\sum (Q_t - Q_g)^2}{n}} \quad (6.51)$$

Yine Bias'ta olduğu gibi değeri Q_g ' ye gore goreceli bir biçimde boyutsuz hale getirmek istersek denklemi Q_g 'ye bolerek:

$$KOKH = \sqrt{\frac{\sum (Q_i / Q_g - 1)^2}{n}} \quad (6.52)$$

Şeklinde rolatif KOKH denklemi elde edilir [1].

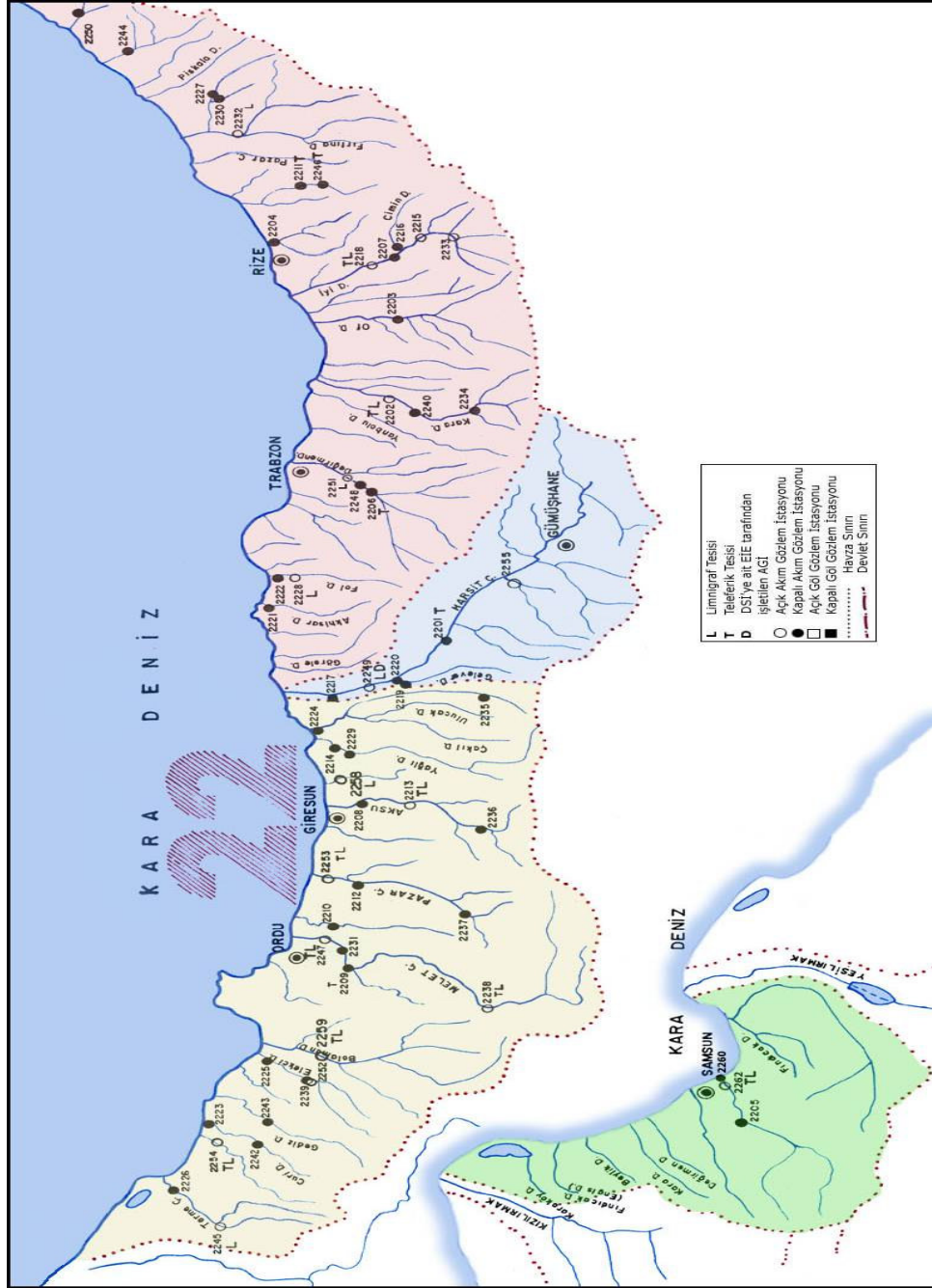
7. UYGULAMA

Doğu Karadeniz bölgesi, Samsun ile Artvin illeri arasında uzanan dar bir sahil şeridi ve bu şeridin paralelindeki yüksek dağlarla çevrilidir. Bu dağ silsilesinin arka yüzeyinde kalan Gümüşhane ve Bayburt illeri, farklı iklim ve topografik şartlarıyla ayrı bir özellik arz eder. Doğu Karadeniz Havzası'nın iklim özellikleri, her bir vadideki akarsuların akış şartlarının farklılığı ve vadilerdeki arazinin kullanım şartları, sorunların ortaya çıkış biçimlerinde önemli farklılıklar yaratır. Bu şartların yanı sıra, bölgenin Karadeniz sahil şeridi boyunca uzanan kesimleri, ülkemizin m² başına düşen yağış ortalamasının çok üzerinde yağış alır. Doğu Karadeniz sahili boyunca havzası büyük olan 17 ve havzası küçük olan yüzlerce dere yer alır. Bu derelerin en önemli ortak özelliklerinden biri, havzalarının yüksek mecra eğimine sahip olması ve akış rejimlerinin düzensizliğidir. Dik ve derin vadiler boyunca ilerleyen ve akış rejimi düzensiz olan bu akarsular, vadi tabanlarındaki sınır düzlük sahalarda yer alan yerleşim alanlarına ve tarım arazilerine zaman zaman büyük zararlar verir. Aşırı yağış alan bölgede; vadiler boyunca, zayıf bitki örtüsü ve mevcut jeolojik şartlar sebebiyle heyelanlar da sıklıkla yaşanır [6].

Bölgede, mevcut arazilerin kullanım şekli de sorunların ortaya çıkmasına etken rol oynamaktadır. Toplam alanın %41'i orman ve fundalıkla kaplıdır. Bölge havzalarının engebeli ve yüksek eğimli olması, arazinin önemli bir kısmının teknik gereklilik dışında tarım alanı olarak kullanılması, vadilerdeki yüzey erozyonunu hızlandırır [6].

Doğu Karadeniz Havzası birbirine çok bağlı olmayan denize dik akan ve genellikle yağış alanları 1000 km²'den küçük olan akarsular içermektedir. Doğu Karadeniz Havzasının yüz ölçümü 33.202,7 km²'dir. Yıllık ortalama yağış 1.019 mm, toplam su potansiyeli 22.125 hm³/yıl'dır. Bunun 21.700 hm³/yıl'ı yer üstü suyu 425 hm³/yıl'ı ise yer altı suyudur. Buna göre toplam enerji potansiyeli ise 9.149 Gwh/yıl'dır. Fakat bunun sadece 714,5 Gwh/yıl'ı işletme aşamasındadır [24].

Doğu Karadeniz Havzasında 19 adet açık 40 adet kapalı olmak suretiyle toplam 59 adet gözlem istasyonu bulunmaktadır.



Şekil 7.1 : Doğu Karadeniz Havzası Haritası.

7.1 Kullanılan Veri

Çalışma Doğu Karadeniz Havzası'ndaki 11 adet EİE'ye ait gözlem istasyonundaki veriler kullanılarak yapılmıştır. Bu istasyonlara ait belirli yıllar arasında kaydedilen ortalama günlük akımlar ile aynı yıllara ait anlık pik akım ölçümleri mevcuttur.

İstasyonlara ait yağış alanı, kot değerleri ve veri aralıkları aşağıdaki Tablo (7.1) 'de verilmiştir.

Tablo 7.1 : İstasyonlara ait fiziksel özellikler ve veri aralıkları.

İSTASYON ADI	İST NO	Yağış alanı(Km ²)	Kot(m)	Veri Aralığı	Eksik Veri
KARA DERE - DEĞİRMENCİK KÖYÜ	2202	635,7	78	1943-1991	1959-1966
AKSU - DERELİ	2213	713	248	1962-1991	-
ÇAMLIK DERE - DEREKÖY	2215	445,2	942	1965-1991	-
İYİ DERE - ŞİMŞİRLİ	2218	834,9	307	1963-1991	-
FOL DERESİ - BAHADIRLI	2228	191,44	17	1962-1991	1967
FIRTINA DERESİ - TOPLUCA	2232	763,2	233	1964-1991	-
TOZKÖY DERESİ - TOZKÖY	2233	223,1	1296	1964-1991	-
MELET ÇAYI - ARICILAR	2238	1024,4	949	1965-1991	-
ELEKÇİ DERESİ - BADALLI KÖPRÜSÜ	2239	271,6	124	1965-1991	-
TERME ÇAYI - GÖKÇELİ KÖPRÜSÜ	2245	232,8	66	1969-1991	-
MELET ÇAYI - GOCALLI KÖPRÜSÜ	2247	1859,2	41	1970-1991	-

Tablo(7.1)'den görüleceği gibi istasyonların yağış alanları genellikle 1000 km²'den kotları ise 1000 m'den düşüktür.

İstasyonların karakteristikleri hakkında bir fikir vermesi açısından her yıla ait anlık pik akımlarına göre elde edilen istatistiksel parametreler Tablo 7.2' de verilmiştir.

Tablo 7.2 : İstasyonlara ait anlık pik akımların istatistiksel parametre değerleri.

İSTASYON ADI	İST NO	Akım Sayısı	Ortalama μ_x (m ³ /s)	Standart sapma σ_x (m ³ /s)	Çarpıklık C_{sx}
KARA DERE - DEĞİRMENCİK KÖYÜ	2202	41	97,57	37,20	1,15
AKSU - DERELİ	2213	30	134,43	76,95	1,72
ÇAMLIK DERE - DEREKÖY	2215	27	88,72	26,90	1,53
İYİ DERE - ŞİMŞİRLİ	2218	29	185,96	96,63	1,83
FOL DERESİ - BAHADIRLI	2228	29	81,47	78,96	3,02
FIRTINA DERESİ - TOPLUCA	2232	28	182,50	97,55	2,88
TOZKÖY DERESİ - TOZKÖY	2233	28	44,09	9,90	0,89
MELET ÇAYI - ARICILAR	2238	27	171,60	78,24	0,62
ELEKÇİ DERESİ - BADALLI KÖPRÜSÜ	2239	27	140,39	112,41	1,35
TERME ÇAYI - GÖKÇELİ KÖPRÜSÜ	2245	23	285,54	149,87	0,72
MELET ÇAYI - GOCALLI KÖPRÜSÜ	2247	22	498,27	252,37	0,68

Parametrele bakarak şu yorumlar yapılabilir. Ortalamalarına baktığımız zaman aynı havza içindeki 11 istasyonun çok değişik akım rejimlerine sahip olduğu söylenebilir. Ortalamalar 81-498 m³/s arasında değişmektedir. Standart sapmalarına göre yorumda bulunacak olursak hemen hemen hepsinde büyük standart sapma gözlenmektedir. Bu da gözlemlerin ortalama etrafında fazla değiştiği düzensiz akımların mevcut olduğu anlamına gelmektedir. Çarpıklık katsayılarına dikkat

ettiğimiz zaman ise hepsinin pozitif olduğu gözlenmektedir. Bu da değişkenin dağılımının pozitif çarpık olduğu anlamına gelmektedir, yani dağılımın ortalamadan daha büyük bir değer çevresinde değiştiğini göstermektedir.

8. İSTASYON BAZINDA PİK AKIM TAHMİNİ

8.1 Fill Yöntemi

Bu bölümde pik akım tahmini 11 istasyon için ayrı ayrı yürütülmüştür.

8.1.1 Birinci yol (a, b'nin sınırlandırılmış hali)

Bu çalışmada daha önce sözü edilen yöntemler arasında Heinz Dieter Fill ve Alexandre Arns Steiner'in ortaya koyduğu yöntem Doğu Karadeniz Havzası üzerinde uygulanmıştır. Öngörülen pik debi tayin etme yönteminde ortalama günlük akımlardan yararlanılmıştır. Fakat gerekli olan her yıl için 3 tane ortalama günlük akım değerleridir. Bu değerler, anlık pik debinin gözlemlendiği günkü gözlenen ortalama günlük akım değeri ile bir önceki ve bir sonraki günün ortalama günlük akım değerleridir. Denklem (5.4)'ü tekrar dikkate alalım.

$$Q_t = aQ_2 + b(Q_1 + Q_3) \quad (5.4)$$

Bu denklemde Q_t tahmin edilen anlık pik akım (m^3/s), Q_2 anlık pik akımın ölçüldüğü günkü gözlenen ortalama günlük akım (m^3/s), Q_1 ve Q_3 sırasıyla bir önceki ve bir sonraki günlerin ortalama günlük akım (m^3/s) değerleridir. Denklemde yer alan a ve b , değeri 1'den küçük pozitif sabit katsayılardır.

Tahmin edilecek anlık pik akımlar için öncelikle a ve b katsayılarını belirlemek gerekmektedir. Denklemde yer alan a ve b katsayıları şu şekilde belirlenmektedir:

a ile b 'ye 0,05 aralıklarla değerler verilerek her a, b çifti için bir Q_t serisi elde edilir. Sonra elde edilen Q_t serileri gözlenen anlık pik akım serileri ile karşılaştırılarak uygun a, b çifti belirlenir.

Bu serileri karşılaştırmak ve en iyi seriyi tayin etmek için birçok yöntem uygulanabilir. Bu yöntemde ise, rölatif KOKH'yi minimum kılan serinin a, b değerleri istenen sonuçlar olacaktır.

Örnek üzerinde anlatacak olursak:

2215 numaralı Çamlık Dere – Dereköy istasyonunda $a=0,95$ ve $b=0,2$ katsayıları kullanıldığında işlem sırası aşağıda anlatıldığı gibi olur.

Tablo 8.1 : 2215 numaralı istasyonunun anlık pik akım değerleri.

Yıl	Q_1	Q_2	Q_3	$Q_{Anlık}$	Q_t
1	34,90	55,40	42,10	65,00	68,03
2	69,20	83,50	77,60	109,00	108,685
3	66,40	70,60	56,60	97,40	91,67
4	49,40	67,80	47,00	85,00	83,69
5	59,20	94,00	92,00	184,00	119,54
6	41,50	48,40	40,40	51,10	62,36
7	65,00	69,80	51,10	81,00	89,53
8	40,10	53,90	59,40	114,00	71,105
9	44,50	62,20	56,70	98,00	79,33
10	37,20	57,60	56,30	105,00	73,42
11	59,30	54,40	47,80	74,40	73,1
12	42,10	55,50	66,80	85,70	74,505
13	18,40	66,80	41,00	101,00	75,34
14	66,20	75,80	64,80	105,00	98,21
15	45,20	54,40	54,40	85,70	71,6
16	92,50	77,60	76,00	105,00	107,42
17	45,60	64,30	66,80	84,00	83,565
18	42,70	65,50	43,60	71,20	79,485
19	59,00	75,60	72,80	77,00	98,18
20	47,70	51,00	44,40	54,60	66,87
21	62,20	69,90	52,00	79,80	89,245
22	41,00	60,00	72,10	116,00	79,62
23	19,50	43,70	29,00	64,40	51,215
24	63,30	65,50	64,40	67,70	87,765
25	58,00	53,00	56,00	88,60	73,15
26	45,50	59,00	72,10	98,50	79,57
27	31,80	38,50	34,20	47,30	49,775

Çamlık Dere – Dereköy istasyonunda 27 yıllık Q_1 , Q_2 , Q_3 , $Q_{anlık}$ ve $a= 0,95$ $b= 0,2$ katsayıları için (5.4) denklemi ile elde edilen Q_t değerleri Tablo (8.1)'de verilmiştir. $Q_{anlık}$ her yıl için gözlenen anlık pik akım (m^3/s) değerleridir.

Q_t ve $Q_{anlık}$ serileri için (6.52) denklemi uygulanacak olursa elde edilen değer 0,194576 'dır. Bu değer, diğer a , b çiftleri arasındaki minimum rölatif KOKH değeridir.

Eğer her istasyon için aynı işlem sırasını tekrarlırsak elde edilecek en uygun a , b katsayı çifti ve bu çiftlere karşılık gelen rölatif KOKH değerleri Tablo (8.2)'de verilmiştir.

Tablo 8.2: Birinci yolun istasyon bazındaki rölatif KOKH değerleri.

İSTASYON ADI	İST NO	Yağış alanı(Km ²)	Veri	a	b	KOKH
KARA DERE - DEĞİRMENCİK KÖYÜ	2202	635,7	41	1	0,15	0,243416
AKSU - DERELİ	2213	713	30	1	0,2	0,290195
ÇAMLIK DERE - DEREKÖY	2215	445,2	27	0,95	0,2	0,194576
İYİ DERE - ŞİMŞİRLİ	2218	834,9	29	1	0,2	0,253903
FOL DERESİ - BAHADIRLI	2228	191,44	29	1	0,4	0,435525
FIRTINA DERESİ - TOPLUCA	2232	763,2	28	1	0,3	0,288557
TOZKÖY DERESİ - TOZKÖY	2233	223,1	28	1	0,1	0,221185
MELET ÇAYI - ARICILAR	2238	1024,4	27	1	0,25	0,467101
ELEKÇİ DERESİ - BADALLI KÖPRÜSÜ	2239	271,6	27	1	0,85	0,361729
TERME ÇAYI - GÖKÇELİ KÖPRÜSÜ	2245	232,8	23	1	1	0,383052
MELET ÇAYI - GOCALLI KÖPRÜSÜ	2247	1859,2	22	1	0,35	0,245328

Elde edilen en uygun serilerin (6.50) denklemi ile hesaplanan BIAS değerleri Tablo (8.3') te verilmiştir.

Tablo 8.3 : Birinci yolun istasyon bazındaki rölatif BIAS değerleri.

İSTASYON ADI	İST NO	Yağış alanı(Km ²)	Veri	a	b	BIAS
KARA DERE - DEĞİRMENCİK KÖYÜ	2202	635,7	41	1	0,15	-0,059101
AKSU - DERELİ	2213	713	30	1	0,2	-0,119684
ÇAMLIK DERE - DEREKÖY	2215	445,2	27	0,95	0,2	-0,049552
İYİ DERE - ŞİMŞİRLİ	2218	834,9	29	1	0,2	-0,106172
FOL DERESİ - BAHADIRLI	2228	191,44	29	1	0,4	-0,247751
FIRTINA DERESİ - TOPLUCA	2232	763,2	28	1	0,3	-0,108096
TOZKÖY DERESİ - TOZKÖY	2233	223,1	28	1	0,1	-0,025923
MELET ÇAYI - ARICILAR	2238	1024,4	27	1	0,25	-0,083656
ELEKÇİ DERESİ - BADALLI KÖPRÜSÜ	2239	271,6	27	1	0,85	-0,149313
TERME ÇAYI - GÖKÇELİ KÖPRÜSÜ	2245	232,8	23	1	1	-0,285962
MELET ÇAYI - GOCALLI KÖPRÜSÜ	2247	1859,2	22	1	0,35	-0,113121

Bulunan a değerlerinin genellikle 1 çıktığı gözlemlenmektedir. Buradan aslında a ve b için sınır değer tayin etmenin doğru olmadığı görülmektedir. Elde edilen sonuçları değerlendirebilmek için daha önce de sözü edilen Fuller ve Sangal yöntemlerini de Doğu Karadeniz Havzası üzerindeki çalışması yapılacaktır. Çıkan sonuçlar ise hem rölatif KOKH hem de rölatif BIAS değerleri karşılaştırılacaktır.

(5.1) denklemini kullanarak her istasyona ait Fuller, (5.3) denklemini kullanarak da Sangal tahminlerini elde etmek mümkündür. Ortaya çıkan değerlerden oluşan serilere sırasıyla (6.53) ve (6.50) denklemlerini uygulayıp her istasyona ait rölatif KOKH ve rölatif BIAS değerlerini elde edilmiştir.

Aşağıda sırasıyla Tablo 8.4'te Fuller uygulamasının Tablo 8.5'te ise Sangal Uygulamasının KOKH ve BIAS değerleri verilmektedir.

Tablo 8.4 : İstasyon bazındaki Fuller uygulamasının rölatif KOKH ve rölatif BIAS değerleri.

İSTASYON ADI	İST NO	Yağış alanı(Km2)	Veri	KOKH	BIAS
KARA DERE - DEĞİRMENCİK KÖYÜ	2202	635,7	41	0,234054	0,101361
AKSU - DERELİ	2213	713	30	0,264390	-0,039818
ÇAMLIK DERE - DEREKÖY	2215	445,2	27	0,210692	0,089491
İYİ DERE - ŞİMŞİRLİ	2218	834,9	29	0,221762	-0,071451
FOL DERESİ - BAHADIRLI	2228	191,44	29	0,363952	-0,157270
FIRTINA DERESİ - TOPLUCA	2232	763,2	28	0,256935	-0,135940
TOZKÖY DERESİ - TOZKÖY	2233	223,1	28	0,286088	0,203152
MELET ÇAYI - ARICILAR	2238	1024,4	27	0,162070	-0,022623
ELEKÇİ DERESİ - BADALLI KÖPRÜSÜ	2239	271,6	27	0,341136	-0,251390
TERME ÇAYI - GÖKÇELİ KÖPRÜSÜ	2245	232,8	23	0,351230	-0,291601
MELET ÇAYI - GOCALLI KÖPRÜSÜ	2247	1859,2	22	0,232695	-0,161292

Tablo 8.5 : İstasyon bazındaki Sangal uygulamasının rölatif KOKH ve rölatif BIAS değerleri.

İSTASYON ADI	İST NO	Yağış alanı(Km2)	Veri	KOKH	BIAS
KARA DERE - DEĞİRMENCİK KÖYÜ	2202	635,7	41	0,264281	-0,044140
AKSU - DERELİ	2213	713	30	0,289692	-0,111340
ÇAMLIK DERE - DEREKÖY	2215	445,2	27	0,252669	-0,150888
İYİ DERE - ŞİMŞİRLİ	2218	834,9	29	0,221444	-0,156136
FOL DERESİ - BAHADIRLI	2228	191,44	29	0,371090	-0,226197
FIRTINA DERESİ - TOPLUCA	2232	763,2	28	0,305452	-0,229997
TOZKÖY DERESİ - TOZKÖY	2233	223,1	28	0,202085	-0,117060
MELET ÇAYI - ARICILAR	2238	1024,4	27	0,298289	-0,059588
ELEKÇİ DERESİ - BADALLI KÖPRÜSÜ	2239	271,6	27	0,420857	-0,300529
TERME ÇAYI - GÖKÇELİ KÖPRÜSÜ	2245	232,8	23	0,435308	-0,288802
MELET ÇAYI - GOCALLI KÖPRÜSÜ	2247	1859,2	22	0,213724	-0,016958

8.1.1.1 Sonuçların Karşılaştırılması

Her üç yöntem için elde edilen rölatif KOKH ve rölatif BIAS değerleri aşağıdaki Tablo (8.6) ve Tablo (8.7)'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 8.6:Birinci yol için istasyon bazındaki karşılaştırmalı rölatif KOKH değerleri.

Rölatif KOKH				
İSTASYON ADI	İstasyon No	FULLER	SANGAL	FILL
KARA DERE - DEĞİRMENCİK KÖYÜ	2202	0,2341	0,2643	0,2379
AKSU - DERELİ	2213	0,2644	0,2897	0,2902
ÇAMLIK DERE - DEREKÖY	2215	0,2107	0,2527	0,1946
İYİ DERE - ŞİMŞİRLİ	2218	0,2218	0,2214	0,2539
FOL DERESİ - BAHADIRLI	2228	0,3640	0,3711	0,4355
FIRTINA DERESİ - TOPLUCA	2232	0,2569	0,3055	0,2886
TOZKÖY DERESİ - TOZKÖY	2233	0,2861	0,2021	0,1869
MELET ÇAYI - ARICILAR	2238	0,1621	0,2983	0,2528
ELEKÇİ DERESİ - BADALLI KÖPRÜSÜ	2239	0,3411	0,4209	0,3617
TERME ÇAYI - GÖKÇELİ KÖPRÜSÜ	2245	0,3512	0,4353	0,3831
MELET ÇAYI - GOCALLI KÖPRÜSÜ	2247	0,2327	0,2137	0,2453

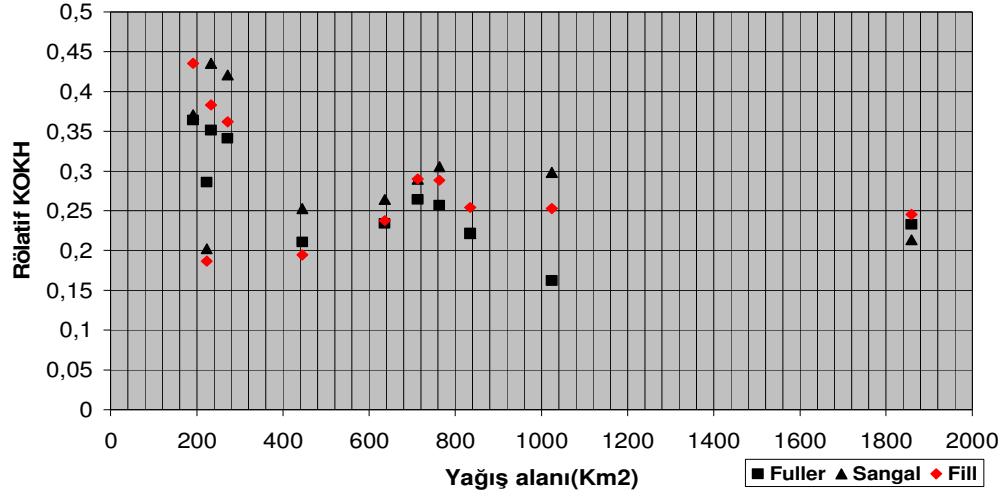
Tablo (8.6)'daki koyu renkli değerler o istasyondaki en iyi sonucu vermektedir. Fuller yöntemi Rölatif KOKH değeri açısından 6 istasyonda en iyi sonucu vermektedir. Bu yöntemi 3 istasyonda Sangal ve 2 istasyon ile de çalışmada öncelikle kullanılan Fill yöntemi takip etmektedir.

Tablo 8.7: Birinci yol için istasyon bazındaki karşılaştırmalı rölatif BIAS değerleri.

Rölatif BIAS				
İSTASYON ADI	İstasyon No	FULLER	SANGAL	FILL
KARA DERE - DEĞİRMENCİK KÖYÜ	2202	0,1014	-0,0441	-0,0591
AKSU - DERELİ	2213	-0,0398	-0,1113	-0,1197
ÇAMLIK DERE - DEREKÖY	2215	0,0895	-0,1509	-0,0496
İYİ DERE - ŞİMŞİRLİ	2218	-0,0715	-0,1561	-0,1062
FOL DERESİ - BAHADIRLI	2228	-0,1573	-0,2262	-0,2478
FIRTINA DERESİ - TOPLUCA	2232	-0,1359	-0,2300	-0,2478
TOZKÖY DERESİ - TOZKÖY	2233	0,2032	-0,1171	-0,0259
MELET ÇAYI - ARICILAR	2238	-0,0226	-0,0596	-0,0837
ELEKÇİ DERESİ - BADALLI KÖPRÜSÜ	2239	-0,2514	-0,3005	-0,1493
TERME ÇAYI - GÖKÇELİ KÖPRÜSÜ	2245	-0,2916	-0,2888	-0,2860
MELET ÇAYI - GOCALLI KÖPRÜSÜ	2247	-0,1613	-0,0170	-0,1131

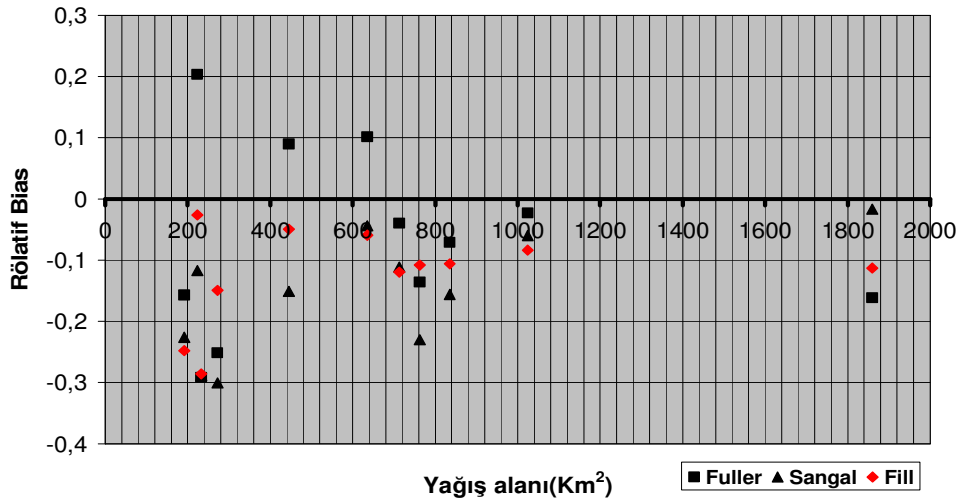
Tablo (8.7)'deki koyu renkli değerler o istasyon için bulunan en iyi rölatif BIAS değerlerini işaret etmektedir. En küçük rölatif BIAS değerlerine göre ise 5 istasyon ile Fuller, 4 istasyonla Fill, 2 istasyon ile Sangal yöntemi en iyi sonucu vermektedir.

İstasyon alanlarını da içine alacak şekilde sonuçları karşılaştırmalı olarak grafik üstünde gösterimi Şekil(8.1)'de verilmiştir.



Şekil 8.1: Birinci yol için yağış alanlarına göre karşılaştırmalı rölatif KOKH değerleri.

Şekil (8.1)'deki rölatif KOKH değerlerine göre 1000 km²' ye kadar olan bölgelerde 2 istasyonda Fill, 9 istasyonda ise Fuller yönteminin daha düşük sonuçlar verdiği söylenebilir.



Şekil 8.2: Birinci yol için yağış alanlarına göre karşılaştırmalı rölatif BIAS değerleri.

Şekil (8.2)'de ki rölatif BIAS değerlerine göre 0 ile 500 km² arasında Fill yöntemi daha düşük sonuçlar vermektedir.

8.1.2 İkinci Yol (a, b'nin sınırlandırılmamış hali)

Bu bölümde *a*, *b* katsayılarına sınır getirilmeksizin hesap yapılmıştır. Rölatif KOKH değerleri Tablo (8.8)'de verilmiştir.

Tablo 8.8: İkinci yolun istasyon bazındaki rölatif KOKH değerleri.

İSTASYON ADI	İST NO	Yağış alanı(Km ²)	Veri	a	b	KOKH
KARA DERE - DEĞİRMENCİK KÖYÜ	2202	635,7	41	1,05	0,1	0,2375
AKSU - DERELİ	2213	713	30	1,2	0,1	0,2812
ÇAMLIK DERE - DEREKÖY	2215	445,2	27	0,95	0,2	0,1946
İYİ DERE - ŞİMŞİRLİ	2218	834,9	29	1,25	0,05	0,2327
FOL DERESİ - BAHADIRLI	2228	191,44	29	1,55	0,05	0,3860
FIRTINA DERESİ - TOPLUCA	2232	763,2	28	1,45	0,05	0,2583
TOZKÖY DERESİ - TOZKÖY	2233	223,1	28	1,15	0,05	0,1780
MELET ÇAYI - ARICILAR	2238	1024,4	27	1,2	0,1	0,2491
ELEKÇİ DERESİ - BADALLI KÖPRÜSÜ	2239	271,6	27	1,65	0,25	0,3338
TERME ÇAYI - GÖKÇELİ KÖPRÜSÜ	2245	232,8	23	1,75	0,55	0,3159
MELET ÇAYI - GOCALLI KÖPRÜSÜ	2247	1859,2	22	1,4	0,05	0,1996

Aynı çalışmayı sınırları kaldırıp yapıldığında ilkine göre daha iyi rölatif KOKH değerleri elde edilmiştir. Fakat Tablo (8.8)'deki katsayılar incelenirse *a* katsayısının çok daha etkin olduğu görülmektedir. Bu da Doğu Karadeniz Havzasında'ki anlık pik akımın gözlemlendiği günkü ortalama günlük akım değerleri, büyük ölçüde sonuca etki etmektedir. Önceki ve sonraki günlerin pik akıma katkısının çok da fazla olmadığı *b* katsayılarının büyük çoğunluğunun 0'a yakın olmasından anlaşılmaktadır.

Aynı şekilde BIAS değerleri de elde edilmiştir. *a* ve *b* katsayılarının sınırları kaldırılmış şekilde yapılan çalışmanın BIAS değerleri Tablo (8.9)'da verilmiştir.

Tablo 8.9: İkinci yolun istasyon bazındaki rölatif BIAS değerleri.

İSTASYON ADI	İST NO	Yağış alanı(Km ²)	Veri	a	b	BIAS
KARA DERE - DEĞİRMENCİK KÖYÜ	2202	635,7	41	1,05	0,1	-0,0786
AKSU - DERELİ	2213	713	30	1,2	0,1	-0,0793
ÇAMLIK DERE - DEREKÖY	2215	445,2	27	0,95	0,2	-0,0496
İYİ DERE - ŞİMŞİRLİ	2218	834,9	29	1,3	0,05	-0,0924
FOL DERESİ - BAHADIRLI	2228	191,44	29	1,55	0,05	-0,1544
FIRTINA DERESİ - TOPLUCA	2232	763,2	28	1,45	0,05	-0,0616
TOZKÖY DERESİ - TOZKÖY	2233	223,1	28	1,15	0,05	-0,0429
MELET ÇAYI - ARICILAR	2238	1024,4	27	1,2	0,1	-0,0788
ELEKÇİ DERESİ - BADALLI KÖPRÜSÜ	2239	271,6	27	1,65	0,25	-0,1212
TERME ÇAYI - GÖKÇELİ KÖPRÜSÜ	2245	232,8	23	1,75	0,55	-0,0945
MELET ÇAYI - GOCALLI KÖPRÜSÜ	2247	1859,2	22	1,4	0,05	-0,0483

8.1.2.1 Sonuçların Karşılaştırılması

Sonuçlar incelendiğinde ilk çalışmaya göre tahminlerin hatasının daha az olduğu görülmektedir.

Bu sonuçlar Fuller ve Sangal yöntemlerinin çıktıları ile de Tablo(8.10) ve Tablo(8.11)'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 8.10: İkinci yol için istasyon bazındaki karşılaştırmalı rölatif KOKH değerleri.

Rölatif KOKH				
İSTASYON ADI	İstasyon No	FULLER	SANGAL	FILL
KARA DERE - DEĞİRMENCİK KÖYÜ	2202	0,2341	0,2643	0,2375
AKSU - DERELİ	2213	0,2644	0,2897	0,2812
ÇAMLIK DERE - DEREKÖY	2215	0,2107	0,2527	0,1946
İYİ DERE - ŞİMŞİRLİ	2218	0,2218	0,2214	0,2289
FOL DERESİ - BAHADIRLI	2228	0,3640	0,3711	0,3860
FIRTINA DERESİ - TOPLUCA	2232	0,2569	0,3055	0,2583
TOZKÖY DERESİ - TOZKÖY	2233	0,2861	0,2021	0,1780
MELET ÇAYI - ARICILAR	2238	0,1621	0,2983	0,2491
ELEKÇİ DERESİ - BADALLI KÖPRÜSÜ	2239	0,3411	0,4209	0,3338
TERME ÇAYI - GÖKÇELİ KÖPRÜSÜ	2245	0,3512	0,4353	0,3159
MELET ÇAYI - GOCALLI KÖPRÜSÜ	2247	0,2327	0,2137	0,1996

3 yönteminde sonuçları Tablo (8.10)'da verilmektedir. Fill yöntemi ile 5 istasyonda diğer yöntemlerden daha küçük rölatif KOKH değerleri elde edildiği görülmektedir.

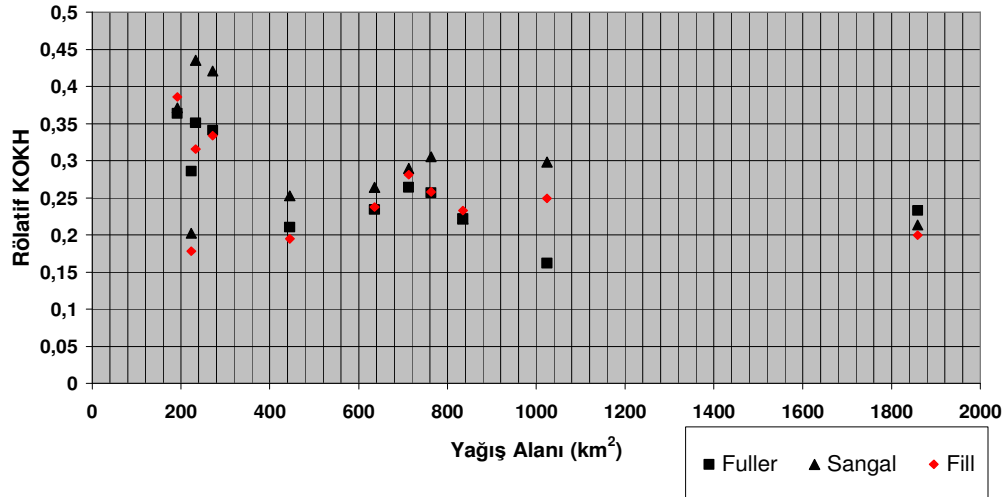
Sınırların kaldırılmış şekilde yapılan çalışmanın ilk çalışmaya göre daha az hatalı sonuçlar vermiştir.

Tablo 8.11: İkinci yol için istasyon bazındaki karşılaştırmalı rölatif BIAS değerleri.

Rölatif BIAS				
İSTASYON ADI	İstasyon No	FULLER	SANGAL	FILL
KARA DERE - DEĞİRMENCİK KÖYÜ	2202	0,1014	-0,0441	-0,0786
AKSU - DERELİ	2213	-0,0398	-0,1113	-0,0793
ÇAMLIK DERE - DEREKÖY	2215	0,0895	-0,1509	-0,0496
İYİ DERE - ŞİMŞİRLİ	2218	-0,0715	-0,1561	-0,0924
FOL DERESİ - BAHADIRLI	2228	-0,1573	-0,2262	-0,1544
FIRTINA DERESİ - TOPLUCA	2232	-0,1359	-0,2300	-0,0616
TOZKÖY DERESİ - TOZKÖY	2233	0,2032	-0,1171	-0,0429
MELET ÇAYI - ARICILAR	2238	-0,0226	-0,0596	-0,0788
ELEKÇİ DERESİ - BADALLI KÖPRÜSÜ	2239	-0,2514	-0,3005	-0,1212
TERME ÇAYI - GÖKÇELİ KÖPRÜSÜ	2245	-0,2916	-0,2888	-0,0945
MELET ÇAYI - GOCALLI KÖPRÜSÜ	2247	-0,1613	-0,0170	-0,0483

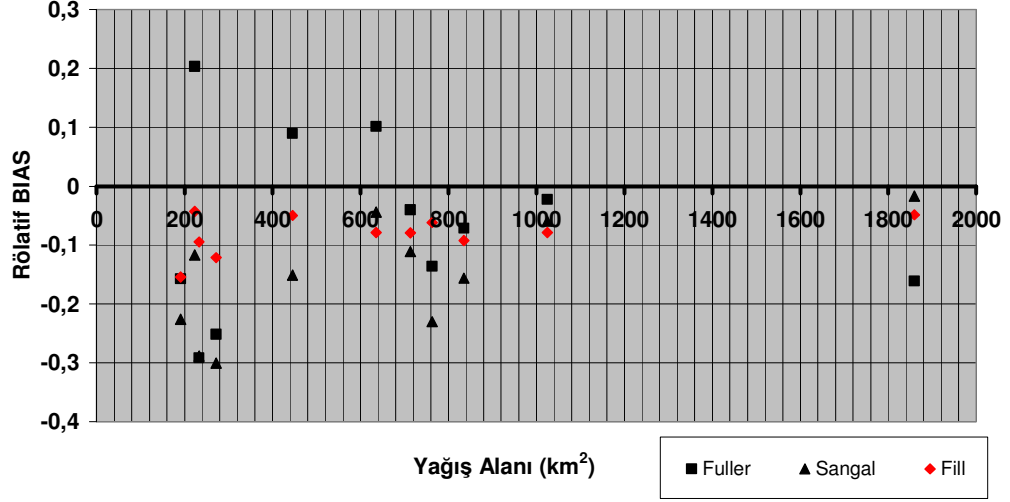
Benzer şekilde Tablo (8.11)'deki rölatif BIAS değerleri açısından da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Tablo(8.11) incelendiğinde 7 istasyonda diğer geleneksel yöntemlere nazaran daha küçük rölatif BIAS değerleri bulunmuştur.

Sonuçların grafik üstünde alanlara yayılımına bakılacak olunursa:



Şekil 8.3: İkinci yol için yağış alanlarına göre karşılaştırmalı rölatif KOKH değerleri.

Şekil (8.3)'e bakıp şunlar söylenebilir. Yağış alanı 500 km²'den küçük bölgeler için Fill yöntemi diğerlerine nazaran daha iyi sonuçlar vermektedir. 500 ile 1000 km² arasındaki bölgelerde ise Fuller yöntemi daha iyi sonuçlar vermektedir.



Şekil 8.4: İkinci yol için yağış alanlarına göre karşılaştırmalı rölatif BIAS değerleri.

Şekil (8.3)'deki rölatif BIAS değerlerine göre 0 ile 500 km² arasındaki bölgelerde Fill yöntemi daha düşük sonuçlar vermektedir.

8.2 Çok Değişkenli Doğrusal Regresyon

Çalışmanın bu bölümünde anlık pik akımların tahmini için çok değişkenli doğrusal regresyon analizi yapılmıştır.

Diğer yöntemlerle karşılaştırabilmek için benzer şekilde anlık pik akımlar, olduğu günün, önceki ve sonraki günlerin ortalama günlük akımlarına bağlı olduğu kabulü ile,

$$Q_t = aQ_1 + bQ_2 + cQ_3 \quad (8.1)$$

Denklemleri ile tanımlanmıştır.

Denklemden Q_1 tahmin edilen anlık pik akım(m^3/s), Q_2 anlık pik akımın ölçüldüğü günlük gözlenen ortalama günlük akım(m^3/s), Q_1 ve Q_3 sırasıyla bir önceki ve bir sonraki günlerin ortalama günlük akım(m^3/s) değerleridir. a , b ve c ise sabit katsayılarıdır.

Regresyon Denklemi ile sabit değeri sıfır kabul ederek çalışma yapılmıştır. Sabitin sıfır alınmasının nedeni yalnızca elimizdeki değişkenlere bağlı bir sonuç elde edilmek istenmesidir.

2215 no'lu istasyona genel regresyon denklemi olan (6.36) denklemini uygularsak gözlenen akım (Q_g) ile tahmin edilen akım (Q_t) farklarının kareleri toplamı en küçük olacak şekilde sonuçları elde edilebilir. Excell de yapılan regresyon çalışmasının özet çıktısı Tablo (8.12)'de verilmiştir.

Tablo 8.12: 2215 no'lu İstasyonun Regresyon Çalışması Özet Çıktısı

2215 no'lu İstasyonun Regresyon Çalışması Özet Çıktısı

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,988
R Kare	0,976
Ayarlı R Kare	0,932
Standart Hata	15,271
Gözlem	27

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>
Kesişim	0,000	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK
X Değişkeni 1	-0,719	0,248	-2,895	0,008	-1,232	-0,207
X Değişkeni 2	0,946	0,301	3,144	0,004	0,325	1,567
X Değişkeni 3	1,152	0,300	3,838	0,001	0,533	1,772

Tablodaki koyu renkli olan katsayılar kullanılarak 2215 no'lu istasyon için

$$Q_{tah\ min} = -0,72Q_1 + 0,95Q_2 + 1,15Q_3 \quad (8.2)$$

denklemini elde edilmiştir.

Yine aynı şekilde diğer istasyonlar için de çalışmayı yürütüp sonuçları elde edilmiştir. Diğer istasyonlar için yapılan regresyon özet çıktıları Ek'te verilmiştir.

Denklem (6.40)'ı uygulayarak F istatistiğine göre H_0 hipotezi kontrol edilecek olunursa, $F=311.78$ çıkmaktadır ve $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyindeki $F_{0,05}=2.95$ kritik değerinden büyük olduğunda $H_0:R=0$ hipotezi reddedilir. Bu da regresyon denkleminin anlamlı bir ilişkiyi gösterdiği anlamına gelir.

İstasyonlara ait özet bilgiler Tablo(8.13)'de verilmiştir..

Tablo 8.13: İstasyon bazındaki regresyon uygulamasının katsayı çıktıları.

İSTASYON ADI	İST NO	Yağış alanı(Km ²)	Veri	a	b	c
KARA DERE - DEĞİRMENCİK KÖYÜ	2202	635,7	41	-0,7	1,48	0,36
AKSU - DERELİ	2213	713	30	-1,16	1,6	0,81
ÇAMLIK DERE - DEREKÖY	2215	445,2	27	-0,72	0,85	1,15
İYİ DERE - ŞİMŞİRLİ	2218	834,9	29	-1,7	2,25	0,63
FOL DERESİ - BAHADIRLI	2228	191,44	29	-1,57	2,15	0,78
FIRTINA DERESİ - TOPLUCA	2232	763,2	28	-1,86	2,42	0,6
TOZKÖY DERESİ - TOZKÖY	2233	223,1	28	-0,44	1,78	-1,16
MELET ÇAYI - ARICILAR	2238	1024,4	27	-0,25	1,37	0,32
ELEKÇİ DERESİ - BADALLI KÖPRÜSÜ	2239	271,6	27	0,75	1,85	0,45
TERME ÇAYI - GÖKÇELİ KÖPRÜSÜ	2245	232,8	23	-0,85	2,11	1,17
MELET ÇAYI - GOCALLI KÖPRÜSÜ	2247	1859,2	22	0,24	1,53	-0,12

Katsayıların dağılımı oldukça değişken ve çoğunluğunda anlık pik akımın gözlemlendiği günlük ortalama günlük akım değerinin katsayısının ağırlıklı olduğu görülmektedir. Regresyon çalışması sonucunda daha önceki uygulamalara göre daha dengeli ve birbirine yakın katsayılara ulaşıldığı söylenebilir.

Bulunan regresyon katsayıları kullanılarak anlık pik debiler elde edilmiştir. Sonuçlar diğer yöntemlerle alttaki başlıkta karşılaştırılmıştır.

8.2.1 Sonuçların Karşılaştırılması

Bu bölümde Tablo (8.13)'deki katsayılar kullanılarak yapılan tahminlerin rölatif KOKH ve rölatif BIAS değerleri elde edilmiş ve bu değerler diğer yöntemlerin rölatif KOKH ve rölatif BIAS değerleri ile Tablo(8.14) ve Tablo(8.15)'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 8.14: Regresyon yöntemi için istasyon bazındaki karşılaştırmalı rölatif KOKH değerleri.

Rölatif KOKH					
İstasyon Adı	İstasyon No	FULLER	SANGAL	FILL	Regresyon
KARA DERE - DEĞİRMENCİK KÖYÜ	2202	0,2341	0,2643	0,2375	0,2178
AKSU - DERELİ	2213	0,2644	0,2897	0,2812	0,2794
ÇAMLIK DERE - DEREKÖY	2215	0,2107	0,2527	0,1946	0,1686
İYİ DERE - ŞİMŞİRLİ	2218	0,2218	0,2214	0,2289	0,1683
FOL DERESİ - BAHADIRLI	2228	0,3640	0,3711	0,3860	0,3987
FIRTINA DERESİ - TOPLUCA	2232	0,2569	0,3055	0,2583	0,2657
TOZKÖY DERESİ - TOZKÖY	2233	0,2861	0,2021	0,1780	0,1667
MELET ÇAYI - ARICILAR	2238	0,1621	0,2983	0,2491	0,2347
ELEKÇİ DERESİ - BADALLI KÖPRÜSÜ	2239	0,3411	0,4209	0,3338	0,4169
TERME ÇAYI - GÖKÇELİ KÖPRÜSÜ	2245	0,3512	0,4353	0,3159	0,3222
MELET ÇAYI - GOCALLI KÖPRÜSÜ	2247	0,2327	0,2137	0,1996	0,2120

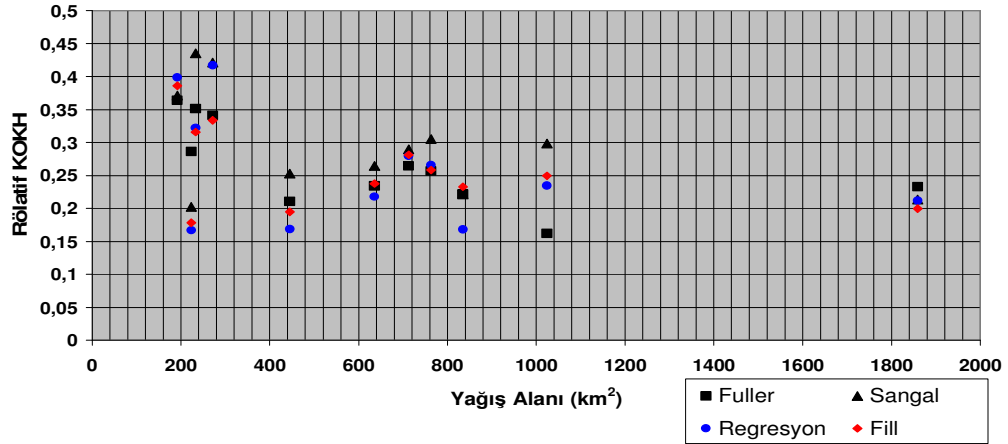
Tabloda koyu renkli tahminler o istasyondaki en küçük rölatif KOKH değerlerini göstermektedir. Sonuçlar gösteriyor ki regresyon çalışması ve Fuller yöntemi diğer yöntemlere göre daha iyi sonuç vermektedirler. Regresyon yönteminin başarısı her üç değişkenin de ayrı bir katsayı ile temsil edilmiş olması ile açıklanabilir.

Tablo 8.15: Regresyon yöntemi için istasyon bazındaki karşılaştırmalı rölatif BIAS değerleri.

Rölatif BIAS					
İstasyon Adı	İstasyon No	FULLER	SANGAL	FILL	Regresyon
KARA DERE - DEĞİRMENCİK KÖYÜ	2202	0,1014	-0,0441	-0,0786	-0,0101
AKSU - DERELİ	2213	-0,0398	-0,1113	-0,0793	0,0345
ÇAMLIK DERE - DEREKÖY	2215	0,0895	-0,1509	-0,0496	0,0305
İYİ DERE - ŞİMŞİRLİ	2218	-0,0715	-0,1561	-0,0924	0,0265
FOL DERESİ - BAHADIRLI	2228	-0,1573	-0,2262	-0,1544	0,0869
FIRTINA DERESİ - TOPLUCA	2232	-0,1359	-0,2300	-0,0616	0,0027
TOZKÖY DERESİ - TOZKÖY	2233	0,2032	-0,1171	-0,0429	-0,0058
MELET ÇAYI - ARICILAR	2238	-0,0226	-0,0596	-0,0788	0,0295
ELEKÇİ DERESİ - BADALLI KÖPRÜSÜ	2239	-0,2514	-0,3005	-0,1212	0,1114
TERME ÇAYI - GÖKÇELİ KÖPRÜSÜ	2245	-0,2916	-0,2888	-0,0945	0,0330
MELET ÇAYI - GOCALLI KÖPRÜSÜ	2247	-0,1613	-0,0170	-0,0483	0,0276

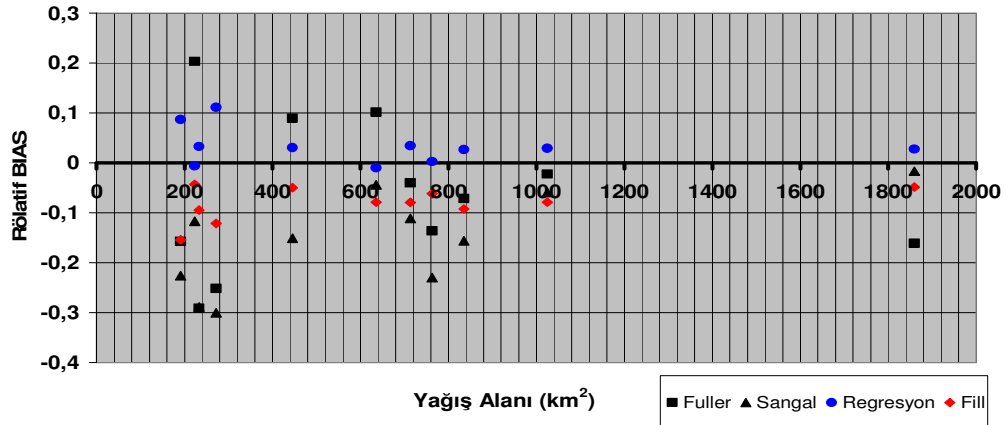
Tablo(8.15) incelendiğinde regresyon yöntemi diğer yöntemlere göre hemen hemen her istasyonda en iyi sonucu vermiştir.

Daha önce de yaptığımız gibi sonuçların yağış alanlarına göre dağılımlarını çizelim.



Şekil 8.5: Regresyon yöntemi için yağış alanlarına göre karşılaştırmalı rölatif KOKH değerleri.

Şekil (8.5) irdelenecek olunursa yağış alanı 0 ile 400 km² arasındaki bölgelerde Fill çalışmasının 400 ile 1000 km² kare arasındaki bölgeler için ise regresyon yönteminin daha düşük rölatif KOKH değerleri verdiği görülmektedir.



Şekil 8.6: Regresyon yöntemi için yağış alanlarına göre karşılaştırmalı rölatif BIAS değerleri.

Şekil (8.6)'daki rölatif BIAS değerlerine göre regresyon yöntemi bir istasyon hariç diğer tüm istasyonlarda daha düşük sonuçlar vermiştir.

9. BÖLGESEL PİK AKIM TAHMİNİ

Bu bölümde Fill yöntemi ve regresyon yöntemi bölgesel olarak uygulanmıştır. Öncelikle Fill tarafından geliştirilen yöntem ile çalışma yürütülüp daha sonra regresyon yöntemiyle karşılaştırması yapılacaktır.

9.1 Fill Yöntemi

Önceki kısımlarda yöntemlerimizi hep noktasal (istasyon bazında) olarak ele alıp her istasyon için ayrı a,b çiftleri tayin edip anlık pik debi tahminleri yapılmıştı. Bu bölümde ise çalıştığımız bölgenin tamamı için bir tane a,b çifti elde edilecektir. Bölgesel çalışmanın getirisi, bulunacak deterministik denklem ile o bölgede gözlem yapılmayan bir noktadaki anlık pik akımı tayin edebilmek olacaktır.

Sırasıyla daha önceden uyguladığımız işlem sırasını takip ederek tüm veriler (5.4) denkleminde konularak en iyi seri yine rölatif KOKH değerlerine göre belirlenip a,b katsayılarını bulunacaktır.

İşlem sırası takip edildiği zaman bulduğumuz a,b çifti değeri a=1,15 b=0,15 şeklinde olmuştur.

Bölgesel denklem ise:

$$Q_t = 1.15Q_2 + 0,15(Q_1 + Q_3) \quad (8.3)$$

şeklinde olacaktır.

Elde edilen a,b çiftini kullanarak bulduğumuz tahmin anlık pik debileri gözlenen değerleri ile rölatif KOKH ve rölatif BIAS karşılaştırmalarını yaparsak ortaya çıkacak olan değerler şu şekilde olacaktır.

KOKH = 0,317458 BIAS = -0,121 olmuştur.

Yukarıda bulunan değerleri karşılaştırabilmek için Fuller ve Sangal Yöntemleri de bölgesel olarak uygulanmıştır.

Fuller ve Sangal yöntemleri için bu değerler:

Fuller için KOKH = 0,335135 BIAS = -0,232131'dir.

Sangal için KOKH = 0,304438 BIAS = -0,150379 'dur.

Üç yöntemin de değerlerini karşılaştırdığımızda bölgesel olarak diğer iki yöntemden daha iyi bir sonuç elde edildiği söylenebilir.

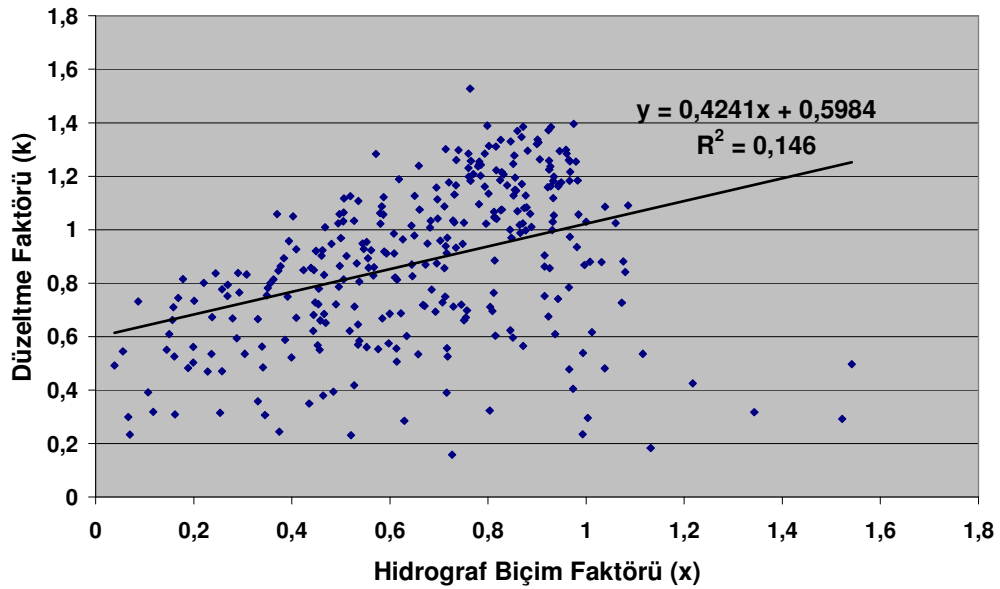
Bölgesel çalışmada istasyonlara göre çok daha fazla sayıda veri kullanıldığı için elde edilen denklemin sonuçları tartışılabilir, o nedenle bir güven aralığı tayin edilmesi çalışma açısından faydalı olacaktır. Güven aralığı aşağıda anlatılan şekilde belirlenmiştir. Gözlenen değerle tahmin edilen değer arasında k gibi bir düzeltme faktörü tayin edildiğinde denklem:

$$Q_t = [1.15Q_2 + 0,15(Q_1 + Q_3)]/k \quad (8.4)$$

şeklinde yazılabilir. k düzeltme faktörünü hidrograf biçim faktörü x ile k'nın 11 istasyondaki 311 olayın arasındaki lineer regresyondan elde edilebilir. Hidrograf biçim faktörü,

$$x = (Q_1 + Q_3)/2Q_2 \quad (8.5)$$

şeklinde tanımlanırsa, k ile x arasındaki ilişki şu şekilde olacaktır.



Şekil 8.7: Hidrograf biçim faktörü (x) ile düzeltme faktörü (k) arasındaki regresyon.

Şekilde düzeltme için formüle dahil edilen 311 verinin regresyon dağılımı, denklemi ve determinasyon katsayısı $R^2=0,146$ verilmektedir. k 'nın determinasyon katsayısı $s_k = 0,2703$ bulunmuştur.

Tahmin düzeltme faktörü için regresyon denklemi şu şekilde yazılır:

$$k = 0,4241x + 0,5984 + \varepsilon \quad (8.6)$$

Burada x hidrograf biçim faktörü ε ise kalıntıdır.

k düzeltme faktörü için güven aralığını k 'nın x üzerindeki değişiminin varyansını hesaplayarak bulunur:

$$Var(\hat{k}) = \sqrt{s_k^2 \left(1 + \frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{\sum (x - \bar{x})^2} \right)} \quad (8.7)$$

denklemde s_k k düzeltme faktörünün determinasyon katsayısı x hidrograf biçim faktörü \bar{x} ise hidrograf biçim faktörünün ortalamasıdır, n ise gözlem sayısıdır. Denklem daha önceki 6. bölümde değinilen (6.32) denkleme benzerliği açıkça görülmektedir. Student's t dağılımına göre k için bir güven aralığı belirlenebilir. % 90 anlamlılık düzeyinde, 309 serbestlik derecesi için $t_{0,05} \approx 1,65$ dir. Buna göre k düzeltme faktörünün güven aralığı aşağıdaki şekilde yazılır.

$$k = 0,4241x + 0,5984 \pm 0,2703 * 1,65 \sqrt{1 + \frac{1}{311} + \frac{(x - 0,162)^2}{100,488}} \quad (8.8)$$

Pratik Örnek:

2202 no'lu istasyonun 1978 yılındaki ölçülmüş ortalama günlük akım verilerini kullanarak tahminde bulunalım.

$Q_1=65,50 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_2= 117,0 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_3= 91,90 \text{ m}^3/\text{s}$. Bu değerlere göre:

$$Q_t = [1.15 * 117,0 + 0,15(65,50 + 91,90)] / k = 158,16 / k \quad (8.9)$$

$$x = 0,6726$$

$$k = 0,8836 \pm 0,4473$$

Bulduğumuz k değerlerini denklemden yerine koyarak:

$$\hat{Q}_t = 158,16/0,8836 = 179m^3 / s \quad \text{beklenen değeri}$$

$$\hat{Q}_t = 158,16/(0,8836 - 0,4473) = 362,5m^3 / s \quad \text{üst sınır}$$

$$\hat{Q}_t = 158,16/(0,8836 + 0,4473) = 118,56m^3 / s \quad \text{alt sınır}$$

O yıla ait gözlenen anlık pik akım $Q_g=182,0 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir. Sonuçlara bakıldığında şu yorumlar yapılabilir. Şekil(8.4)'ten de görüldüğü üzere verilerin dağılımı fazla olup güven aralığında geniş bir aralıkta değişmektedir. Düzeltme faktörünün beklenen değeri bizi gözlenen sonuca oldukça yaklaştırmıştır.

9.2 Regresyon Yöntemi

Uyguladığımız yönteme alternatif olarak seçtiğimiz çok değişkenli doğrusal regresyon çalışmasının bölgesel olarak uygulanışının sonuçları aşağıda verilmiştir. 311 veri için regresyon çalışmasının Excell çıktıları şu şekildedir.

Tablo 9.1: Bölgesel regresyon çalışmasının özet çıktısı.

Bölgesel Regresyon Çalışmasının Özet Çıktısı

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,955
R Kare	0,911
Ayarlı R Kare	0,908
Standart Hata	66,045
Gözlem	311

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>
Kesişim	0,000	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK
X Değişkeni 1	-0,545	0,127	-4,280	0,000	-0,795	-0,294
X Değişkeni 2	1,789	0,061	29,279	0,000	1,669	1,909
X Değişkeni 3	0,142	0,106	1,339	0,181	-0,066	0,350

Çalışma sonucunda elde edilen katsayılar koyu renkle gösterilmiştir. Katsayılar kullanıldığında denklem şu şekilde olacaktır:

$$Q_t = -0,545Q_1 + 1,789Q_2 + 0,142Q_3 \quad (8.10)$$

Denklem (6.40) kullandığımızda elde ettiğimiz F değeri $F=1047,48$ dir ve $F_{0,05}=2,60$ 'dan büyüktür. Bu durumda $H_0:R=0$ hipotezi reddedilir. Regresyon denklemini anlamlı bir ilişki olduğunu göstermektedir.

Elde edilen denklemden bulduğumuz tahmin pik debileri gözlenen değerleri ile KOKH ve BIAS karşılaştırmalarını yaparsak ortaya çıkacak olan değerler:

$$KOKH = 0,287107 \quad BIAS = 0,014749 \text{ 'dur.}$$

Fuller ve Sangal yöntemleri için bu değerler:

$$\text{Fuller için } KOKH = 0,335135 \quad BIAS = -0,232131 \text{ idi.}$$

$$\text{Sangal için } KOKH = 0,304438 \quad BIAS = -0,150379 \text{ idi.}$$

KOKH ve BIAS değerlerini karşılaştırdığımızda daha önceki yönteme göre regresyon analizi çok daha başarılıdır.

Tabloda %95 anlamlılık düzeyinde alt ve üst sınır için katsayılar verilmektedir. Bu katsayıları kullanarak güven aralığı tayin edebiliriz.

Pratik Örnek:

Bir önceki bölgesel çalışmada kullanılan örneği regresyon çalışması için test edelim.

$Q_1=65,50 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_2= 117,0 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_3= 91,90 \text{ m}^3/\text{s}$. Bu değerlere göre:

$$Q_t = -0,545 * 65,50 + 1,789 * 117,0 + 0,142 * 91,9 = 186,67 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$Q_t = -0,294 * 65,50 + 1,909 * 117,0 + 0,350 * 91,9 = 236,26 \text{ m}^3 / \text{s} \quad \text{üst sınır.}$$

$$Q_t = -0,795 * 65,50 + 1,669 * 117,0 - 0,066 * 91,9 = 137,14 \text{ m}^3 / \text{s} \quad \text{alt sınır.}$$

O yıla ait gözlenen anlık pik akım $Q_g=182,0 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir.

9.3 Sonuçların Karşılaştırılması

Bu bölümde bölgesel olarak yapılan çalışmanın sonuçları karşılaştırılacaktır. Rölatif KOKH ve rölatif BIAS değerleri Tablo(9.2)'de verilmiştir.

Tablo 9.2: Bölgesel rölatif KOKH ve rölatif BIAS değerleri.

Bölgesel	Fuller	Sangal	Fill	Regresyon
Rölatif KOKH	0,33514	0,30444	0,31746	0,28711
Rölatif BIAS	-0,23213	-0,15038	-0,12100	0,01475

Tablo (9.2)' deki değerlere bakıldığında en küçük rölatif KOKH ve rölatif BIAS değerlerini regresyon yöntemi vermiştir.

10. GENEL SONUÇLAR

Çalışmada Doğu Karadeniz Havzası için iki farklı yöntem ile anlık pik akım tahminleri hem istasyon bazında hem de bölgesel olarak yapılmış (çıktıları tablo halinde Ek'te verilmiştir) ve literatürde kabul gören iki yöntem olan Fuller ve Sangal uygulamaları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda regresyon yönteminin daha iyi sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır. Heinz Dieter Fill ve Alexandre Arns Steineir'in öngördüğü yöntem ise Fuller yöntemi ile aynı düzeyde sonuçlar vermiştir. Fakat Fuller yöntemi ile olan arasındaki farkları göz ardı etmemek gerekmektedir. Fuller yöntemi tamamen çalışılan bölgenin karakteristik özelliği olan yağış alanına bağlı öngörüler sunarken Fill yöntemi ortalama günlük akım değerlerini kullanmaktadır. Fuller yönteminin göz ardı edilmeyecek bir eksiği ise zamandan bağımsız olmasıdır. Yani Fuller yöntemi ile herhangi bir günün anlık pik akım tahminini yapmak olası değildir. Uyguladığımız yöntemlerde hep kullandığımız ortalama günlük akım değerlerinin ölçüldüğü günkü anlık pik akım tahminlerini yapabiliriz. Fakat Fuller yöntemi ortalama günlük akımların maksimum değeri ile uygulanmaktadır. Her zaman anlık pik akım ortalama günlük akım değerinin maksimum görüldüğü gün oluşmayabilir. Bu nedenle gözlemlerin eksik olduğu tarihlerde tahminler yaparken Fuller yönteminin etkili olması beklenemez. Aslında tekil sonuçlara baktığımız zaman çalışmada uygulanan yöntemlerin iyi sonuçlar verdiği istasyonlarda kullanılması doğru olabilir. Ama tek bir yöntemde karar kılınacaksa o da genelde daha az hatalı sonuç çıktıları veren regresyon yöntemi olmalıdır.

Su kaynakları mühendisliği açısından çalışmayı yorumlanacak olursa, istenilen genelde en büyük akımın tahmin edilmesidir. Çünkü mühendislik problemlerinde en önemli konu gelebilecek en büyük pik akımın tahmin edilmesidir. Akarsu üzerinde veya kenarında bir su yapısı tasarlanacak ise en güvenilir şekilde yapılması gerekecektir. Bu nedenle çalışmalarını en büyük akıma en yaklaşık sonucu veren ve hatta bu değer altında kalmayan çıktılarını sunan yöntemi belirlemek isteyecek ve bunun sınıflandırmasını yapacaktır. Tablo (10.1)'de bu sınıflandırmayı yapabilmek amacı ile her istasyonda gözlenen en büyük akım değerleri ile gözlemlendiği yıla ait anlık pik akım tahminleri verilmektedir.

Tablo 10.1: İstasyonlarda gözlenen en yüksek akım değerleri ve o yıllara ait her yöntemin istasyon bazındaki çalışması ile tahmin edilen akım değerleri.

İstasyon Adı	Maksimum Q (m ³ /s)	Ortalama (m ³ /s)	Fuller (m ³ /s)	Sangal (m ³ /s)	Fill (m ³ /s)	Regresyon (m ³ /s)	Yağış alanı(Km ²)
KARA DERE - DEĞİRMENCİK KÖYÜ	195	97,57	232,45	215	200,6	204,97	635,7
AKSU - DERELİ	400	134,43	63,6	59,1	62,42	84,81	713
ÇAMLIK DERE - DEREKÖY	184	88,72	134,12	112,4	119,54	152,35	445,2
İYİ DERE - ŞİMŞİRLİ	504	185,96	343,79	359,5	332,35	440,97	834,9
FOL DERESİ - BAHADIRLI	412	81,47	325,47	388,45	328,66	431,83	191,44
FIRTINA DERESİ - TOPLUCA	560	182,5	294,44	382,7	318,13	493,62	763,2
TOZKÖY DERESİ - TOZKÖY	69,8	44,09	71,07	68,4	56,07	70,19	223,1
MELET ÇAYI - ARICILAR	345	171,6	314,46	414,35	294,73	345,96	1024,4
ELEKÇİ DERESİ - BADALLI KÖPRÜSÜ	442	140,39	411,16	526,15	465,68	535,62	271,6
TERME ÇAYI - GÖKÇELİ KÖPRÜSÜ	598	285,54	232,33	295,83	278,94	330,79	232,8
MELET ÇAYI - GOCALLI KÖPRÜSÜ	1140	498,27	987,91	1408,5	1095,95	1191,43	1859,2

Tablo (10.1) incelendiğinde, tüm yöntemlerle yapılan anlık pik akım tahminleri 5 istasyonda gözlenen değerden daha düşük çıkmaktadır, bunların ikisinde tahminle gözlenen arasında çok büyük fark olmuştur. En büyük pik akımlara 2 istasyonda Fill yöntemi diğer 9 istasyonda ise regresyon yöntemi en yakın tahminleri vermektedir. Regresyon yöntemi 6 istasyon ile en fazla güvenli tarafta kalan yöntemdir, bunu 4 istasyon ile Sangal ikişer istasyon ile de Fuller ve Fill yöntemleri takip etmektedir.

Bölgesel yapılan çalışmalarla da aynı karşılaştırmalar yapılmıştır ve sonuçlar Tablo (10.2)'de verilmiştir. İstasyonlardan farklı olarak bölgesel çalışma da tüm havza için hem Fill hem de Regresyon yöntemleri ile tek bir denklem bulunmuştu. Elde edilen denklemler ile anlık pik akım tahminleri yapılarak istasyonlarda gözlenen maksimum anlık pik akımlarla karşılaştırılmıştır.

Tablo 10.2: İstasyonlarda gözlenen en yüksek akım değerleri ve o yıllara ait her yöntemin bölgesel çalışması tahmin edilen akım değerleri.

İstasyon Adı	Maksimum Q (m ³ /s)	Ortalama (m ³ /s)	Fuller (m ³ /s)	Sangal (m ³ /s)	Fill (m ³ /s)	Regresyon (m ³ /s)	Yağış alanı(Km ²)
KARA DERE - DEĞİRMENCİK KÖYÜ	195	97,57	232,45	215	229,5	249,73	635,7
AKSU - DERELİ	400	134,43	63,6	59,1	63,47	77,19	713
ÇAMLIK DERE - DEREKÖY	184	88,72	134,12	112,4	130,78	148,96	445,2
İYİ DERE - ŞİMŞİRLİ	504	185,96	343,79	359,5	336,65	402,46	834,9
FOL DERESİ - BAHADIRLI	412	81,47	325,47	388,45	250,97	364,61	191,44
FIRTINA DERESİ - TOPLUCA	560	182,5	294,44	382,7	263,19	375,71	763,2
TOZKÖY DERESİ - TOZKÖY	69,8	44,09	71,07	68,4	61,03	78,59	223,1
MELET ÇAYI - ARICILAR	345	171,6	314,46	414,35	288,70	421,06	1024,4
ELEKÇİ DERESİ - BADALLI KÖPRÜSÜ	442	140,39	411,16	526,15	323,41	488,26	271,6
TERME ÇAYI - GÖKÇELİ KÖPRÜSÜ	598	285,54	232,33	295,83	179,00	271,30	232,8
MELET ÇAYI - GOCALLI KÖPRÜSÜ	1140	498,27	987,91	1408,5	930,2	1346,44	1859,2

Tablo (10.2)'ye göre gözlenen anlık pik akımlara bölgesel çalışma ile yapılan tahminleri ile 6 istasyonda Regresyon, 1 istasyon ile Fill, 3 istasyon ile Sangal ve 1 istasyon ile Fuller yöntemi en yakın sonuçları vermiştir. Bölgesel çalışmada da en iyi yöntemin Regresyon yöntemi olduğu görülmüştür.

Doğu Karadeniz Havzası için yürütülen bu çalışmanın sonucunda diğer yöntemlere nazaran regresyon uygulamasının iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Mühendisler açısından pik akım tahmini yapmak için kullanılabilir yöntem olarak diğer uygulamalardan ziyade regresyon uygulaması önerilmektedir. Daha sağlıklı sonuçlar elde etmek açısından araştırmacılar için, bu çalışma bir adım daha ilerletilerek, hem yağış alanını hem de ortalama günlük akım değerlerini kapsayacak karmaşık yapıda bir yöntem geliştirilmesi öneri olarak ortaya konulabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Fill, H.D., Steiner, A.A.**, 2003. Estimating Instantaneous Peak Flow From Mean Daily Flow Data, *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 8, No. 6, November 1, 2003, pp. 365-369.
- [2] **Kutoğlu, H.Y., Yılmaz T.**, 2001. Su Yüzü Profiline Örnek Uygulama, I. Türkiye Su Kongresi, İstanbul.
- [3] **Kutoğlu, H.Y., Basmacı E.**, 2001. Taşkın Koruma Projesi Planlama Çalışmaları, I. Türkiye Su Kongresi, İstanbul.
- [4] **Kutoğlu, H.Y. 1987.** Su Kaynakları Mühendisliğinde Hidrolojik Tasarım, İ.M.O IX, Teknik Kongre, Ankara.
- [5] **Carlier, M.A.**, 1992 (Chairman of Committee on Design Flood) : Selection of Design Flood, Paris, 233p.
- [6] **DSİ Vakfı**, 2005. *Su dünyası dergisi*, Eylül 2005 sayı 26, Ankara.
- [7] **EİE İdaresi**, 1983. Ülkemiz Su Kaynaklarının Geliştirilmesinde Hidrolojinin Yeri Ve Önemi Panel Toplantısı, DSİ Bolu Gököy Eğitim Merkezi, Ankara.
- [8] **Bayazıt M.**, 1999. Hidroloji, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [9] **Bayazıt M.**, 1981. Hidrolojide İstatistik Yöntemler, İTÜ, İstanbul.
- [10] **Bulu, A.**, 1976. Günlük debilerin stokastik yapısı dikkate alınarak taşkın tekerrür analizleri, *Doktora Tezi*, İTÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- [11] **Shaban, F.**, 1995. Türkiye akarsularının taşkın debilerine en uygun dağılımın araştırılması, *Yüksek lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] **Özkan, S.**, 1988. Türkiye akarsularında taşkın periyotları, *Yüksek lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [13] **Kaynar, L.**, 2005. Doğu Karadeniz Bölgesi Yıllık Maksimum Akımlarının İstatistik Metotlarla Analizi, *Yüksek lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [14] **Fuller, W.E.**, 1914. Flood Flows, *Trans. Am. Soc. Civ. Eng.*, 77, pp. 564-617.
- [15] **Jarvis, C.S.**, 1936. Floods in United States, Water Supply Paper, U.S. Geological Survey, Reston, Va.
- [16] **Langbein, W.B.**, 1944 Peak Discharge From Daily Records, *Water Resource Bulletin*, 145.
- [17] **Linsley, R.K., Jr., Kohler, M.A., and Paulhus, J.L.H.**, 1949. Applied Hydrology, McGraw-Hill, New York, pp. 223-224.
- [18] **Sangal, B.P.**, 1983. Practical Method of Estimating Peak Flow, *Journal of Hyraulogic Engineering*, 109(4), pp. 549-563
- [19] **Bayazıt, M., Oğuz, B.Y.** 2005. Mühendisler İçin İstatistik, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [20] **Bayazıt, M.**, 1996. İnşaat Mühendisliğinde Olasılık Yöntemleri, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [21] **Bayazıt, M.**, 2006. Çok Değişkenli İstatistik Analiz Ve Hidrolojide Uygulamaları, Su Vakfı Yayıncılık, İstanbul.
- [22] **Bayazıt M.**, 1994. Su Kaynakları Sistemleri, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [23] **Bayazıt, M.**, 1997. Biriktirme Haznelerinin Tasarımı Ve İşletilmesi, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [24] **DSİ Genel Md.**, 2004. Suyu Bağlı Afetlerin Etkilerinin Azaltılmasında Yaşanan Sorunlar ve Çözüm Yolları, 22 Mart Dünya Su Günü, Panel, İstanbul.

EKLER

Tablo A.1: F dağılımı tablosu.

TABLO 1.12
F(FİŞİER) DAĞILIMI
F0.05 DEĞERLERİ

	m: payda serbestlik derecesi																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	161	200	216	225	230	234	237	238	241	243	244	246	248	249	250	251	253	253	254
2	18.5	19.0	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
3	10.1	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.37
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.44	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.92
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.41
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.62	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.88	1.84	1.79	1.74	1.69	1.63
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.19	2.12	2.06	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.26	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

n: payda'nın serbestlik derecesi

Tablo A.2: Student's t-dağılım tablosu.

ν	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001
1.	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	318.313
2.	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	22.327
3.	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	10.215
4.	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	7.173
5.	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5.893
6.	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.208
7.	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.782
8.	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	4.499
9.	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.296
10.	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.143
11.	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.024
12.	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.929
13.	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.852
14.	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.787
15.	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.733
16.	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.686
17.	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.646
18.	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.610
19.	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.579
20.	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.552
21.	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.527
22.	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.505
23.	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.485
24.	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.467
25.	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.450
26.	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.435
27.	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.421
28.	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.408
29.	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.396
30.	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.385
31.	1.309	1.696	2.040	2.453	2.744	3.375
32.	1.309	1.694	2.037	2.449	2.738	3.365
33.	1.308	1.692	2.035	2.445	2.733	3.356
34.	1.307	1.691	2.032	2.441	2.728	3.348
35.	1.306	1.690	2.030	2.438	2.724	3.340
36.	1.306	1.688	2.028	2.434	2.719	3.333
37.	1.305	1.687	2.026	2.431	2.715	3.326
38.	1.304	1.686	2.024	2.429	2.712	3.319
39.	1.304	1.685	2.023	2.426	2.708	3.313
40.	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.307
41.	1.303	1.683	2.020	2.421	2.701	3.301
42.	1.302	1.682	2.018	2.418	2.698	3.296
43.	1.302	1.681	2.017	2.416	2.695	3.291
44.	1.301	1.680	2.015	2.414	2.692	3.286
45.	1.301	1.679	2.014	2.412	2.690	3.281
46.	1.300	1.679	2.013	2.410	2.687	3.277
47.	1.300	1.678	2.012	2.408	2.685	3.273
48.	1.299	1.677	2.011	2.407	2.682	3.269
49.	1.299	1.677	2.010	2.405	2.680	3.265
50.	1.299	1.676	2.009	2.403	2.678	3.261
51.	1.298	1.675	2.008	2.402	2.676	3.258

52.	1.298	1.675	2.007	2.400	2.674	3.255
53.	1.298	1.674	2.006	2.399	2.672	3.251
54.	1.297	1.674	2.005	2.397	2.670	3.248
55.	1.297	1.673	2.004	2.396	2.668	3.245
56.	1.297	1.673	2.003	2.395	2.667	3.242
57.	1.297	1.672	2.002	2.394	2.665	3.239
58.	1.296	1.672	2.002	2.392	2.663	3.237
59.	1.296	1.671	2.001	2.391	2.662	3.234
60.	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.232
61.	1.296	1.670	2.000	2.389	2.659	3.229
62.	1.295	1.670	1.999	2.388	2.657	3.227
63.	1.295	1.669	1.998	2.387	2.656	3.225
64.	1.295	1.669	1.998	2.386	2.655	3.223
65.	1.295	1.669	1.997	2.385	2.654	3.220
66.	1.295	1.668	1.997	2.384	2.652	3.218
67.	1.294	1.668	1.996	2.383	2.651	3.216
68.	1.294	1.668	1.995	2.382	2.650	3.214
69.	1.294	1.667	1.995	2.382	2.649	3.213
70.	1.294	1.667	1.994	2.381	2.648	3.211
71.	1.294	1.667	1.994	2.380	2.647	3.209
72.	1.293	1.666	1.993	2.379	2.646	3.207
73.	1.293	1.666	1.993	2.379	2.645	3.206
74.	1.293	1.666	1.993	2.378	2.644	3.204
75.	1.293	1.665	1.992	2.377	2.643	3.202
76.	1.293	1.665	1.992	2.376	2.642	3.201
77.	1.293	1.665	1.991	2.376	2.641	3.199
78.	1.292	1.665	1.991	2.375	2.640	3.198
79.	1.292	1.664	1.990	2.374	2.640	3.197
80.	1.292	1.664	1.990	2.374	2.639	3.195
81.	1.292	1.664	1.990	2.373	2.638	3.194
82.	1.292	1.664	1.989	2.373	2.637	3.193
83.	1.292	1.663	1.989	2.372	2.636	3.191
84.	1.292	1.663	1.989	2.372	2.636	3.190
85.	1.292	1.663	1.988	2.371	2.635	3.189
86.	1.291	1.663	1.988	2.370	2.634	3.188
87.	1.291	1.663	1.988	2.370	2.634	3.187
88.	1.291	1.662	1.987	2.369	2.633	3.185
89.	1.291	1.662	1.987	2.369	2.632	3.184
90.	1.291	1.662	1.987	2.368	2.632	3.183
91.	1.291	1.662	1.986	2.368	2.631	3.182
92.	1.291	1.662	1.986	2.368	2.630	3.181
93.	1.291	1.661	1.986	2.367	2.630	3.180
94.	1.291	1.661	1.986	2.367	2.629	3.179
95.	1.291	1.661	1.985	2.366	2.629	3.178
96.	1.290	1.661	1.985	2.366	2.628	3.177
97.	1.290	1.661	1.985	2.365	2.627	3.176
98.	1.290	1.661	1.984	2.365	2.627	3.175
99.	1.290	1.660	1.984	2.365	2.626	3.175
100.	1.290	1.660	1.984	2.364	2.626	3.174
☐	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.090

Tablo A.3: Çalışmada Fill yöntemi ile bulunan katsayı değerleri.

$Q_1=a*Q_2+b*(Q_1+Q_3)$		
İstasyon Adı	a	b
KARA DERE - DEĞİRMENCİK KÖYÜ	1,05	0,1
AKSU - DERELİ	1,2	0,1
ÇAMLIK DERE - DEREKÖY	0,95	0,2
İYİ DERE - ŞİMŞİRLİ	1,3	0,05
FOL DERESİ - BAHADIRLI	1,55	0,05
FIRTINA DERESİ - TOPLUCA	1,45	0,05
TOZKÖY DERESİ - TOZKÖY	1,15	0,05
MELET ÇAYI - ARICILAR	1,2	0,1
ELEKÇİ DERESİ - BADALLI KÖPRÜSÜ	1,65	0,25
TERME ÇAYI - GÖKÇELİ KÖPRÜSÜ	1,75	0,55
MELET ÇAYI - GOCALLI KÖPRÜSÜ	1,4	0,05

Tablo A.4: Çalışmada Regresyon yöntemi ile bulunan katsayı değerleri.

$Q_1=a*Q_1+b*Q_2+c*Q_3$			
İstasyon Adı	a	b	c
KARA DERE - DEĞİRMENCİK KÖYÜ	-0,7	1,48	0,36
AKSU - DERELİ	-1,16	1,6	0,81
ÇAMLIK DERE - DEREKÖY	-0,72	0,95	1,15
İYİ DERE - ŞİMŞİRLİ	-1,7	2,25	0,63
FOL DERESİ - BAHADIRLI	-1,57	2,15	0,78
FIRTINA DERESİ - TOPLUCA	-1,86	2,42	0,6
TOZKÖY DERESİ - TOZKÖY	-0,44	1,78	-1,16
MELET ÇAYI - ARICILAR	-0,25	1,37	0,32
ELEKÇİ DERESİ - BADALLI KÖPRÜSÜ	0,75	1,85	0,45
TERME ÇAYI - GÖKÇELİ KÖPRÜSÜ	-0,85	2,11	1,17
MELET ÇAYI - GOCALLI KÖPRÜSÜ	0,24	1,53	-0,12

Tablo A.5: 2202 no'lu İstasyonun Regresyon Çalışması Özet Çıktısı

2202 no'lu İstasyonun Regresyon Çalışması Özet Çıktısı

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,980
R Kare	0,961
Ayarlı R Kare	0,933
Standart Hata	20,833
Gözlem	41,000

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P- değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>
Kesişim	0,000	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK
X Değişkeni 1	-0,696	0,197	-3,539	0,001	-1,094	-0,298
X Değişkeni 2	1,482	0,189	7,825	0,000	1,099	1,866
X Değişkeni 3	0,358	0,175	2,046	0,048	0,004	0,712

Tablo A.6: 2213 no'lu İstasyonun Regresyon Çalışması Özet Çıktısı

2213 no'lu İstasyonun Regresyon Çalışması Özet Çıktısı

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,901
R Kare	0,812
Ayarlı R Kare	0,761
Standart Hata	70,517
Gözlem	30,000

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P- değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>
Kesişim	0,000	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK
X Değişkeni 1	-1,160	0,687	-1,688	0,103	-2,570	0,250
X Değişkeni 2	1,603	0,584	2,744	0,011	0,404	2,802
X Değişkeni 3	0,809	0,626	1,292	0,207	-0,476	2,094

Tablo A.7: 2218 no'lu İstasyonun Regresyon Çalışması Özet Çıktısı

2218 no'lu İstasyonun Regresyon Çalışması Özet Çıktısı

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,989
R Kare	0,977
Ayarlı R Kare	0,937
Standart Hata	33,318
Gözlem	29,000

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>
Kesişim	0,000	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK
X Değişkeni 1	-1,696	0,302	-5,610	0,000	-2,317	-1,075
X Değişkeni 2	2,255	0,210	10,760	0,000	1,824	2,685
X Değişkeni 3	0,629	0,392	1,607	0,120	-0,176	1,434

Tablo A.8: 2228 no'lu İstasyonun Regresyon Çalışması Özet Çıktısı

2228 no'lu İstasyonun Regresyon Çalışması Özet Çıktısı

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,941
R Kare	0,885
Ayarlı R Kare	0,838
Standart Hata	40,277
Gözlem	29,000

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>
Kesişim	0,000	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK
X Değişkeni 1	-1,573	1,088	-1,446	0,160	-3,808	0,663
X Değişkeni 2	2,150	0,270	7,961	0,000	1,595	2,705
X Değişkeni 3	0,777	0,564	1,377	0,180	-0,383	1,936

Tablo A.9: 2232 no'lu İstasyonun Regresyon Çalışması Özet Çıktısı

2232 no'lu İstasyonun Regresyon Çalışması Özet Çıktısı

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,972
R Kare	0,946
Ayarlı R Kare	0,901
Standart Hata	50,880
Gözlem	28,000

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>
Kesişim	0,000	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK
X Değişkeni 1	-1,862	0,367	-5,069	0,000	-2,618	-1,105
X Değişkeni 2	2,422	0,258	9,381	0,000	1,891	2,954
X Değişkeni 3	0,597	0,348	1,718	0,098	-0,119	1,313

Tablo A.10: 2233 no'lu İstasyonun Regresyon Çalışması Özet Çıktısı

2233 no'lu İstasyonun Regresyon Çalışması Özet Çıktısı

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,976
R Kare	0,953
Ayarlı R Kare	0,909
Standart Hata	10,448
Gözlem	28,000

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>
Kesişim	0,000	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK
X Değişkeni 1	-0,437	0,368	-1,189	0,246	-1,194	0,320
X Değişkeni 2	1,776	0,329	5,407	0,000	1,100	2,453
X Değişkeni 3	-0,157	0,430	-0,364	0,719	-1,043	0,729

Tablo A.11: 2238 no'lu İstasyonun Regresyon Çalışması Özet Çıktısı

2238 no'lu İstasyonun Regresyon Çalışması Özet Çıktısı

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,979
R Kare	0,959
Ayarlı R Kare	0,914
Standart Hata	38,785
Gözlem	27,000

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	3	850971,570	283657,190	188,567	0,000
Fark	24	36102,590	1504,275		
Toplam	27	887074,160			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>
Kesişim	0,000	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK
X Değişkeni 1	-0,254	0,292	-0,870	0,393	-0,856	0,348
X Değişkeni 2	1,372	0,187	7,337	0,000	0,986	1,758
X Değişkeni 3	0,318	0,217	1,468	0,155	-0,129	0,766

Tablo A.12: 2239 no'lu İstasyonun Regresyon Çalışması Özet Çıktısı

2239 no'lu İstasyonun Regresyon Çalışması Özet Çıktısı

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,954
R Kare	0,911
Ayarlı R Kare	0,862
Standart Hata	56,540
Gözlem	27,000

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>
Kesişim	0,000	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK
X Değişkeni 1	0,755	0,518	1,458	0,158	-0,314	1,824
X Değişkeni 2	1,852	0,203	9,109	0,000	1,433	2,272
X Değişkeni 3	0,454	0,487	0,932	0,361	-0,551	1,460

Tablo A.13: 2245 no'lu İstasyonun Regresyon Çalışması Özet Çıktısı

2245 no'lu İstasyonun Regresyon Çalışması Özet Çıktısı

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,949
R Kare	0,901
Ayarlı R Kare	0,841
Standart Hata	108,428
Gözlem	23,000

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>
Kesişim	0,000	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK
X Değişkeni 1	-0,847	0,665	-1,273	0,218	-2,235	0,541
X Değişkeni 2	2,109	0,261	8,066	0,000	1,564	2,654
X Değişkeni 3	1,165	0,492	2,371	0,028	0,140	2,191

Tablo A.14: 2247 no'lu İstasyonun Regresyon Çalışması Özet Çıktısı

2247 no'lu İstasyonun Regresyon Çalışması Özet Çıktısı

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,980
R Kare	0,960
Ayarlı R Kare	0,903
Standart Hata	119,278
Gözlem	22,000

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>
Kesişim	0,000	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK	#YOK
X Değişkeni 1	0,243	0,379	0,641	0,529	-0,551	1,037
X Değişkeni 2	1,532	0,164	9,329	0,000	1,188	1,875
X Değişkeni 3	-0,117	0,294	-0,399	0,695	-0,732	0,498

ÖZGEÇMİŞ

Erkan ÖZCAN, 1980 yılında Adana' da doğdu. Orta ve Lise öğrenimini Adana Anadolu Lisesinde tamamladı. 1998 yılında İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girdi. 1998-1999 öğretim yılında başladığı lisans öğrenimini 2003 yılında tamamladı. 2003 yılında İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Hidrolik Anabilimdalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Dalında tez çalışmalarına devam etmektedir.