

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKIM ANAHTAR EĞRİLERİNİN İRDELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Meteoroloji Müh. Musa KUKUL

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : HİDROLİK VE SU KAYNAKLARI MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2008

AKIM ANAHTAR EĞRİLERİNİN İRDELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Meteoroloji Müh. Musa KUKUL
(501041512)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 31 Aralık 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Ocak 2008

Tez Danışmanı: **Prof.Dr. E. Beyhan YEĞEN**
 Prof Dr. Bihrat ÖNÖZ

Diğer Jüri Üyeleri **Prof.Dr. Kerem CİĞİZOĞLU**

Prof.Dr. Kasım KOÇAK

Prof.Dr. Selahattin İNCECİK

OCAK 2008

ÖNSÖZ

Yapılan bu tez çalışmasının konusu, bir gerekliliğin sonucunda ortaya çıkmıştır. Çalıştığım kurum olan Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nde yapılan akım anahtar eğrisi oluşturma yöntemi el ile yapılan ve sübjektif bir yöntem olması dolayısıyla bu tez çalışması, “akım anahtar eğrisini nasıl daha kolay ve objektif bir yolla elde edebiliriz” sorusuna cevap aramak amaçlı yapılmıştır.

Tez çalışmam süresince yönlendirmeleriyle ve destekleriyle bana yardımcı olan danışmanlarım Sayın Prof. Dr. E. Beyhan Yeğen ve Sayın Prof. Dr. Bihret Önöz'e teşekkür ederim.

Bu çalışmanın yapılması için beni teşvik eden ve her konuda bana yardımcı olan Elektrik İşleri Etüt İdaresi 11. Bölge Şefi Sayın Ali Rıza Koç'a teşekkür ederim.

Çalışmada kullanılan verileri elde etmemde bana yardımcı olan Ankara Elektrik İşleri Etüt İdaresi Değerlendirme Şube çalışanları Sayın Uğur Şirin ve Sayın Yücel Kaya'ya teşekkür ederim.

Çalışmada bana destek olan sayın Enise Neyran Cebe'ye teşekkür ederim.

Aileme sonsuz teşekkürlerimle...

Ocak 2008

Musa KUKUL

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Hidrolojik Çevrim ve İklim Değişimi	2
1.2. Akım Anahtar Eğrisi	6
1.2.1. Seviye Debi İlişkisinin Değişkenliği	6
1.2.2. Akım Anahtar Eğrisini Etkileyen Faktörler	9
1.2.2.1 Yeterli ve Güvenli Akım Ölçüsü	9
1.2.2.2 Akarsu Yatağının Değişkenliği	10
1.3. Akım Anahtar Eğrisinde Daha Önce Yapılmış Çalışmalar	11
2. İSTATİSTİK ANALİZ	15
2.1. Parametrelerin Tahmini	15
2.1.1. Merkez Parametreleri	15
2.1.2. Yayılım Parametreleri	17
2.1.3. Çarpıklık Parametreleri	18
2.2. Regresyon Analizi	19
2.2.1. Basit Doğrusal Regresyon Analizi	21
2.2.2. Çok değişkenli Doğrusal Regresyon Analizi	25
2.2.3. Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi	27
2.3. Yöntemlerin İstatistiksel Olarak Karşılaştırılması	28
2.3.1. Taraflılık (BİAS)	28
2.3.2. Kök Ortalama Karesel Hata (RMSE)	29
2.3.3. Akaike Bilgi Kriteri (AIC)	29
3. ANAHTAR EĞRİSİ ELDE ETMEDE KULLANILAN YÖNTEMLER	30
3.1. El ile Akım Anahtar Eğrisi Oluşturulması (Manuel Yöntem)	30
3.1.1. Akım Anahtar Eğrisinin Uzatılması	30
3.1.1.1. Hız - Alan Metodu	31
3.1.1.2. Manning Metodu	32
3.1.1.3. Stevens Metodu	33
3.2. Akım Anahtar Eğrisinin Üstel Olması Hali	34
3.3. Akım Anahtar Eğrisinin Parabol Olması Hali	35
3.4. Verilere Eğri Uydurularak Akım Anahtar Eğrisi Elde Edilmesi	35
4. UYGULAMA	37
4.1. Çalışmada Kullanılan Veriler	37
4.2. Manuel Yöntem Uygulaması	43
4.3. Akım Anahtar Eğrisinin Üstel Olması Hali Uygulaması	44

4.4. Akım Anahtar Eğrisinin Parabol Olması Hali Uygulaması	45
4.5. Verilere Eğri Uydurulması	48
4.6 Yöntemlerin İstatistiksel Olarak Karşılaştırılması	52
5. SONUÇLAR	61
KAYNAKLAR	63
EKLER	65
ÖZGEÇMİŞ	72

KISALTMALAR

AGİ	: Akım Gözlem İstasyonu
AIC	: Akaike Information Criteria
BIAS	: Taraflılık değeri
EİEİ	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
DSİ	: Devlet Su İşleri
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri
KOKH	: Kök Ortalama Karesel Hata

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1 Çalışmada kullanılan akım gözlem istasyonları ve bu istasyonların bazı özellikleri.....	38
Tablo 4.2 Akım gözlem istasyonları ve akım anahtar eğrileri oluşturulan gözlem aralıkları.....	40
Tablo 4.3 İstasyonlara ait istatistiksel değerler.....	42
Tablo 4.4 Akım anahtar eğrisi açılım tablosu.....	44
Tablo 4.5 Regresyon istatistik tablosu.....	45
Tablo 4.6 Varyans analizi tablosu.....	46
Tablo 4.7 Anahtar regresyon çıkışı tablosu.....	47
Tablo 4.8 Kullanılan yöntemlerin en küçük ve en büyük debi tahminleri.....	49
Tablo 4.9 En büyük ve en küçük debi tahmininde kök ortalama karesel hata değerleri.....	52
Tablo A.1 Kullanılan akım anahtar eğrisi oluşturma yöntemlerine göre kök ortalama karesel hata değerleri.....	66
Tablo B.1 Kullanılan akım anahtar eğrisi oluşturma yöntemlerine göre taraflılık (Bias) değerleri.....	68
Tablo C.1 Kullanılan akım anahtar eğrisi oluşturma yöntemlerine göre Akaike bilgi kriteri (AIC) değerleri.....	70

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Hidrolojik çevrim.....	3
Şekil 1.2 : Güneş radyasyonu çevrimi.....	4
Şekil 1.3 : Akarsu kesiti değişkenliği.....	7
Şekil 1.4 : Debi ölçümü şeması.....	8
Şekil 1.5 : Akım anahtar eğrisinin belirlenmesi.....	9
Şekil 2.1 : Simetrik çarpıklık.....	18
Şekil 2.2 : Pozitif çarpıklık.....	19
Şekil 2.3 : Negatif çarpıklık.....	19
Şekil 2.4 : X ve Y değişkenleri arasındaki doğrusal ilişki.....	23
Şekil 2.5 : Y'nin X'e göre regresyon doğrusu.....	23
Şekil 3.1 : Akım anahtar eğrisinin uzatılması.....	31
Şekil 4.1 : Türkiye akarsuları havza haritası.....	37
Şekil 4.2 : Kök ortalama karesel hata değerlerinin yöntemler bazında sonuçları.....	52
Şekil 4.3 : Tarafılık (Bias) değerlerinin yöntemler bazında sonuçları.....	53
Şekil 4.4 : Akaike bilgi kriteri değerlerinin yöntemler bazında sonuçları....	54
Şekil 4.5 : Kök ortalama karesel hata değerleri dağılım grafiği.....	56
Şekil 4.6 : Tarafılık (Bias) değerleri dağılım grafiği	57
Şekil 4.7 : Akaike bilgi kriteri (AIC) değerleri dağılım grafiği.....	59

SEMBOL LİSTESİ

a, b, b₁, b₂...	: Regresyon katsayılarının istatistikleri
A	: Akarsu en kesit alanı
B	: Hidrolik yarıçap
C_s	: Çarpıklık katsayısı
C_v	: Değişim katsayısı
D	: Akarsu en kesiti derinliği
E(.)	: Beklenen değer operatörü
h	: Akarsu seviye değeri
H₀	: Sıfır hipotezi
H₁	: Karşıt hipotez
h₀, s, K	: Akarsu gözlem istasyonuna ait sabit değerler
J	: Akarsu su yüzü eğimi
L	: Akarsu en kesit genişliği
N	: Akarsu pürüzlülük katsayısı
n	: Toplam gözlem sayısı
P	: Islak çevre
Q_g	: Gözlenen debi değeri
Q_t	: Tahmin edilen debi değeri
r	: Korelasyon katsayısı
R²	: Determinasyon katsayısı
S	: Standart sapma istatistiği
V	: Akarsu dikey kesitinde ortalama hız değeri
X₁, X₂...	: Regresyon analizinde bağımsız değişkenler
Y	: Regresyon analizinde bağımlı değişken
z	: Anlamlılık düzeyi
μ	: Ortalama parametresi
σ	: Standart sapma parametresi
ρ	: Korelasyon katsayısı parametresi

AKIM ANAHTAR EĞRİLERİNİN İRDELENMESİ

ÖZET

Veri noktalarını en iyi ifade eden eğri en uygun eğri olarak tanımlanırsa, akım seviyesinden debiyi hesaplamak için kullanılan en uygun eğriye akım anahtar eğrisi denir. Ayrıca akarsu tahminlerinde kullanılan en önemli araçlardan biri seviye-debi ilişkisini açıklayan akım anahtar eğrisidir. Akım anahtar eğrisi aracılığıyla akarsu akım değerleri türetilir. Diğer bir deyişle, akarsu akım değerlerini tahmin etmek için akım anahtar eğrisi kullanılır. Akarsu akım değerleri bir çok hidrolojik modelin temelini oluşturmaktadır. Ayrıca debi değerlerini doğrudan ölçmek pahalı olduğu için, debiyi seviye değerlerini kullanarak dolaylı yollardan belirlemek için akım anahtar eğrisi oluşturulur. Hidrolojik modellerin güvenilirliği akarsu akım değerlerinin güvenilirliğine bağlıdır. Akarsu akım değerlerini üretmeye yarayan akım anahtar eğrisinin bir önemi de bundan dolayı ortaya çıkmaktadır. Sonuçta akım anahtar eğrisi oluşturulması akarsu akım tahminlerinde, taşkın kontrolünde ve tarımsal veya endüstriyel kullanım için su kaynaklarında önem taşımaktadır.

Bu çalışmada Türkiye’de bazı akım gözlem istasyonlarında yapılan ölçümler kullanılarak akım anahtar eğrileri oluşturulmuştur. Akım anahtar eğrisi oluşturmak için dört metot kullanılmıştır. Bu metotlar Türkiye’de 7 havzada bulunan 17 akım gözlem istasyonuna ait ölçülmüş seviye-debi değerlerine uygulanmıştır. Öncelikle Türkiye’de genel olarak uygulanmakta olan el ile akım anahtar eğrisi oluşturma metodu kullanılmıştır. İkinci olarak $Q = K(h - h_0)^s$ denklemi kullanılarak akım anahtar eğrisi oluşturulmuştur. Üçüncü kullanılan metotta akım anahtar eğrisinin ikinci dereceden parabol olduğu varsayımıyla $Q = b_0 + b_1h + b_2h^2$ denklemi kullanılarak akım anahtar eğrisi oluşturulmuştur. Bu denklemlerde K, s, h_0 , b_0 , b_1 , b_2 , katsayıları parametreleri, Q değeri debiyi, h değeri ise seviyeyi ifade etmektedir. Kullanılan dördüncü metot ise polinomun derecesini iki ile beş arasında seçerek uygulanan eğri uydurma metodudur.

Kullanılan akım anahtar eğrisi oluşturma metotlarının hangisinin en iyi debi tahmini yaptığını görmek için, bazı istatistiksel büyüklükler kullanılmıştır. Bunlar kök ortalama karesel hata (KOKH), taraflılık (Bias) ve Akaike bilgi kriteridir. KOKH ve taraflılık, akım anahtar eğrisi oluşturma metotlarından elde edilen tahmini debilerle, akım gözlem istasyonlarından elde edilen ölçülmüş debilerin farklarıyla (kalıntılar) çalışır. Akaike bilgi kriteri ise bu kalıntıların varyansını kullanır.

Kullanılan istatistik büyüklükler karşılaştırılarak, eğri uydurma metodunun akım anahtar eğrisi oluşturma metotları içinde en başarılı yöntem olduğu görülmüştür. Eğri uydurma metodundan sonra ikinci başarılı metot ise el ile akım anahtar eğrisi oluşturulması metodu olmuştur.

INVESTIGATION OF FLOW RATING CURVES

SUMMARY

It could be said that a curve representing the position of the data points best, is the best curve. This curve can be represented by an equation which can be used to calculate stream discharge from the stream stage. The best curve for stream discharge and stage is the flow rating curve. Furthermore, one of the most important tools used in river flow forecasting is the flow rating curve which describes the relationship between discharge and the stage (water level). Flow rating curve produces stream flow data. In other words, flow rating curve is used to estimate stream flow. The stream flow data is the basis of most hydrological modeling. In addition, direct measurement of discharge in river channels is costly, so flow is estimated indirectly by constructing curve relating stage to discharge. The reliability of most of the hydrological models (drought or flood models) depends on quality of stream flow and this shows importance of flow rating curve too. In conclusion construction of flow rating curve is important work for river flow forecasting, flood control and water supply for agricultural or industrial uses.

In this work, using measurements of gauging stations in Turkey, flow rating curves are constructed. To construct flow rating curves, four methods are used. These methods have been applied to the measured stage and discharge data of 17 stations in 7 basins in Turkey. Firstly manual method, generally used in Turkey, is used to construct the flow rating curve. Secondly, $Q = K(h - h_0)^s$ equation is used constructing flow rating curve. Thirdly assuming that flow rating curve is a second degree polynomial function, $Q = b_0 + b_1h + b_2h^2$ equation is used to construct it. In these forms of flow rating curve, K, s, h_0 , b_0 , b_1 , b_2 are parameters, h is the stage and Q is the discharge. In addition to these three methods, selecting degree of polynomial between two and five, flow rating curve is constructed also with curve fitting method.

In order to see which method of flow rating curve construction makes the best estimation of discharge, some statistical tests are used. These tests are root mean square error (RMSE), Bias and Akaike information criteria (AIC). RMSE and Bias uses the difference between estimated discharges which are found using methods of flow rating curve construction and measured discharge from gauging stations (residuals). AIC uses variance of these residuals.

Statistical tests which are used showed that, curve fitting method is the most successful method to construct flow rating curves. After curve fitting method, manual method is second successful method to construct flow rating curves.

1. GİRİŞ

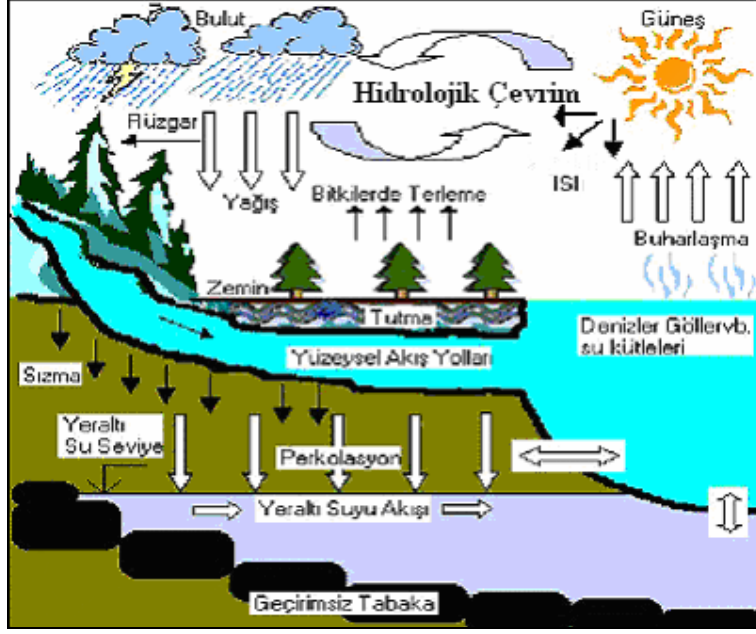
Hidroloji suyun yer küresindeki dağılımını ve özelliklerini inceler. A. B. D. Bilim ve Teknoloji Federal Konseyi Bilimsel Hidroloji Komisyonu tarafından 1962 yılında önerilen tanıma göre hidroloji yer yüzeyi, yeraltı ve atmosferdeki (yer küresindeki) suyun çevrimini, dağılımını, fiziksel ve kimyasal özelliklerini, çevreyle ve canlılarla olan ilişkilerini inceleyen temel ve uygulamalı bir bilimdir (Bayazıt, 1999). İstatistik ise geçmiş ve şimdiki durumla ilgili toplanmış sayısal verileri geliştirilmiş olan bazı tekniklerle analiz ederek gelecek hakkında karar vermemizi kolaylaştıran bir bilim dalıdır. Hidrolojinin metotları gerekli doğal verilerin toplanması için ölçmeler yapmak, verilerin işlenmesi, matematiksel modeller kurulması, olasılık hesabı ve istatistik metotların kullanılması olarak sıralanabilir. Bu sıralamada olasılık hesabı ve istatistik çok önemli bir yer tutar. Hidrolojik olaylar, değerleri zaman içinde değişen çok sayıda rastgele değişkenin etkisi altında meydana geldikleri için önceden kesinlikle belirlenemeyen bir nitelik taşır. Bu yüzden istatistiğin hidrolojide kullanılması çok önemli bir yer tutmaktadır. Hidrolojik çalışmaların ilk adımını oluşturan doğal verilerin toplanması ise ölçümler yapmakla başlar. Hidrolojik veriler gerek zamanla gerekse yerden yere çok değiştikleri için ölçmelerin sık noktalarda ve sürekli yapılması gerekir. Son yıllarda hidrolojik ölçmelerde prezisyonu arttıran araçlar kullanılmaktadır. Ölçmeler sonunda elde edilen bilgiler çok sayıda ve dağınıktır. Bu verilerin insan eliyle kaydedilmesi yerine otomatik kartlara, şeritlere geçirilmesi ve veri tabanları halinde saklanması daha uygun olmaktadır. Bu kayıtları en iyi şekilde yararlanılabilecek hale getirmek gerekir. Bu iş için günümüzde ileri bilgi işlem yöntemleri kullanılmakta, işlemler bilgisayarlarla yapılmaktadır.

Ülkemizde hidrolojik ölçümler yapma görevini ilk olarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) üstlenmiştir. Hidrolojik ölçümlere EİEİ tarafından 1935 yılında Sakarya Nehri Göksu kolu Hayriye Köyde kurulan akım gözlem istasyonu (AGİ) başlanmıştır.

Genel olarak yapılan çalışmalar hidroelektrik potansiyelin belirlenmesi için k sulara istasyon açılması ve işletilmesi, hidroelektrik potansiyelin hesaplanması için gerekli görülen yerlerde müteferrik ölçümlerin yapılması, k akarsularda hidroelektrik potansiyeli için gerekli akım çalışmaları, k akarsularla bu akarsular üzerindeki istasyonların değerlendirilmiş akım değerlerinin toplanması ve analizi ile diğer istasyonlarla ilişkileri araştırmak şeklindedir. EİEİ, bu görevleri yerine getirmek için uygun görülen yerlerde hidrolojik ve meteorolojik istasyonlar kurarak işletir. Hidrolojik çalışmalara daha sonra Devlet Su İşleri (DSİ), Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) ve Köy Hizmetleri Genel Müdürlükleri gibi kurumlar dahil olmuştur. Günümüzde ise EİEİ, DSİ ve DMİ bu görevi sürdürmektedir. (zcan, 2006).

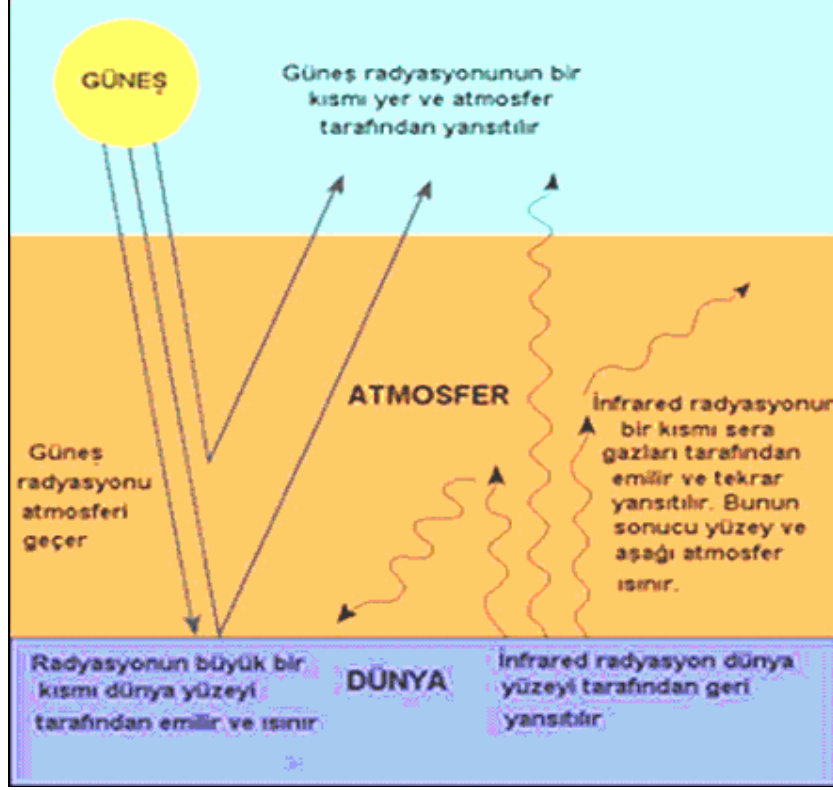
1.1 Hidrolojik evrim ve İklım Değişimi

Suyun doğadaki dolaşımına hidrolojik çevrim denir. Hidrolojik çevrime atmosferden başlayacak olursak, atmosferde buhar halinde bulunan su yoğunlaşarak yağış şeklinde yeryüzüne düşer. Karalar zerine düşen suyun büyük bir kısmı (%60-%75) zeminden ve su yüzeylerinden buharlaşma ve bitkilerden terleme yoluyla denizlere erişmeden atmosfere geri döner, bir kısmı bitkiler tarafından alı konur (tutma), bir kısmı zeminden süzülerek yeraltına geçer (sızma). Geriye kalan su ise yerçekimi etkisiyle hareket ederek akarsulara ve akarsular yoluyla denizlere ulaşır (yüzeysel akış). Yeraltına sızan su ise yer altı akışı yoluyla yeryüzüne çıkararak yüzeysel akışa katılır. Denizlere ulaşan su da buharlaşarak atmosfere geri döner. Böylece hidrolojik çevrim tamamlanmış olur (www.akdeniz.edu.tr). Yer küresinin iklim sistemi ile yakından ilişkili olan hidrolojik çevrim, günlük ve yıllık periyotları olan bir süreçtir (şekil 1.1).



Şekil 1.1: Hidrolojik Çevrim (www.akdeniz.edu.tr).

Hidrolojik çevrimin dengesinde önemli değişikliklere sebep olan sera etkisini anlamak için öncelikle güneşten gelen radyasyonu incelemek gerekir. Güneşten gelen radyasyonun bir kısmı yeryüzünde, bir kısmı da alt atmosfer denilen atmosferin troposfer bölgesinde soğurulur. Diğer bir kısmı ise yer yüzeyinden ve atmosferden yansarak uzaya geri döner. Yüzeyde ve troposferde tutulan radyasyon yeryüzüne dağılır ve uzun dalgalı radyasyon olarak atmosfere geri döner. Atmosferdeki gazlar, gelen güneş ışınımına karşı geçirgen, buna karşılık yer yüzeyinden yansıyan uzun dalgalı radyasyona karşı daha az geçirgendir. Bu nedenle yer yüzeyi beklenenden daha fazla ısınır. Yerkürenin beklenenden daha fazla ısınmasını sağlayan ve bütün bu süreçlerle birlikte ısı dengesini düzenleyen bu sürece sera etkisi denir (Yıldız ve Malkoç, 2000).



Şekil 1.2: Güneş Radyasyonunun Çevrimi (www.kureseletkiler.com).

Normal şartlarda güneşten gelen kısa dalgalı radyasyon ve geri dönen uzun dalgalı radyasyon denge halindedir. Güneş ile yer arasındaki bu dengenin değişmesi iklimin de değişmesi anlamına gelmektedir. Şekil 1.2’de gösterilen yerkürenin radyasyon dengesi, özellikle sanayi devriminden itibaren bozulmaya başlamıştır. Bu dengenin bozulmasına doğal sera etkisini arttıran fosil yakıt yakılması, sanayi süreçleri, arazi kullanımındaki değişiklikler ve ormansızlaşma gibi insan bazlı etmenlerin sebep olduğu düşünülmektedir. Bu etmenlerle birlikte atmosfere salınan ve sera gazları denilen karbondioksit, metan, diazotmonoksit gibi gazların atmosferde birikmesiyle birlikte radyasyon dengesinde bozulmalar gözlenmiştir. Bu dengenin bozulması sonucunda iklimde bazı değişimler meydana gelmiştir. Bu etkilerden en önemli ve en belirgin yerküredeki sıcaklıkta artış eğilimi gözlenmesidir. 19. yüzyıl sonlarında başlayan ve atmosferde birikmeye devam eden sera gazları nedeniyle kuvvetlenen sera etkisinin ortaya çıkardığı küresel ısınma, özellikle 1980’li yıllardan sonra daha da belirginleşmiş ve 1990’lı yıllarda en yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu küresel ısınma eğiliminin 40 °K ve 70 °K enlemleri arasındaki anakaralardaki etkisinin en yüksek olduğu gözlenmiştir. Bununla beraber ülkemizi de içine alan Doğu Akdeniz ve Karadeniz havzalarında ve Atlas Okyanusu’nda ortalama yüzey sıcaklıklarında

azalma eğilimi gözlenmiştir. Bu bölgelerde gelecek yüzyıl için yapılan tahminlerde, diğer bölgelere göre daha az olmakla birlikte, ortalama yüzey sıcaklıklarında artış olacağı tahmin edilmektedir. 1980'li yıllardan başlayarak çeşitli yüzey ve atmosfer değişkenlerini ve insan etkinlikleri sonucunda atmosferdeki birikimleri artma eğilimine giren sera gazlarındaki artışlardan kaynaklanan küresel ortalama yüzey sıcaklığında 2100 yılına kadar 1990'a göre yaklaşık 1 °C ile 3.5 °C arasında bir artış olması beklenmektedir. Ülkemiz, küresel ısınmadan kaynaklanan değişimlerle özellikle su kaynaklarının azalması, orman yangınları, kuraklık ve çölleşme ile bunlara bağlı ekolojik bozulmalar gibi öngörülen olumsuzluklardan etkilenecektir. Yer ve atmosfer sistemindeki küresel sıcaklıklarda ortaya çıkan artışlar, yine yer ve atmosfer sisteminde oluşumunu gerçekleştiren hidrolojik çevrimde de önemli değişiklikler yapacaktır. Bunların kara ve deniz buzullarının erimesi, iklim kuşaklarının yer değiştirmesi ve deniz seviyesi yükselmesi gibi ekolojik dengeyi ve insan yaşamını temelden etkileyen önemli değişimler olacağı tahmin edilmektedir. Küresel ısınma sebebiyle dağ buzullarının, yarı donmuş toprakların ve kar örtüsünün yayılışında beklenen azalma hidrolojik sistemleri etkileyecektir (Türkeş, 1998).

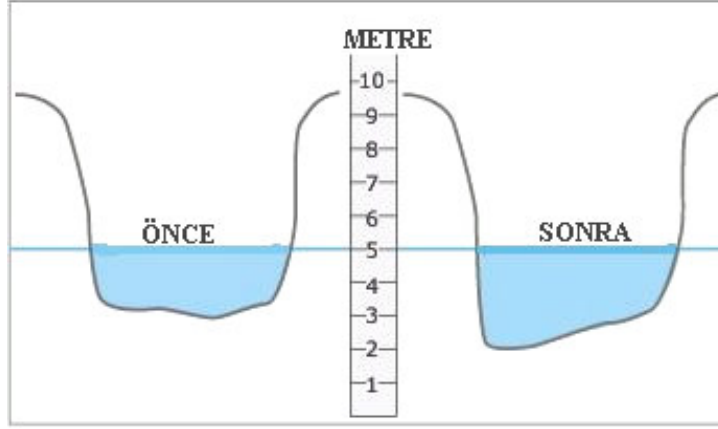
21. yüzyılın en önemli küresel sorunlarından biri olan küresel ısınmanın etkilediği hidrolojik çevrimin önemli elemanlarından biri olan akarsuların akım takibinin önemi de giderek artmaktadır. Akarsu akım değerleri inşaat mühendisliğiyle ilişkili modellemelerin temelini oluşturur. Taşkın ve kuraklığın her ikisini de içeren ekstrem değer modellerinin güvenilirliği, temel olarak ölçülen akım değerlerinin güvenilirliğine bağlıdır. Bununla birlikte, gelecekteki akım değerleri tahmininde kullanılacak olan hidrolojik modeller kalibrasyon için gerçekçi akım değerlerine ihtiyaç duyar. Sediment taşınması analizi de akım değerlerinin tutarlı olmasına bağlıdır. Bütün bunların göz önüne alırsak, akım değerleri tahmininde anahtar eğrisi kullanımının hayati öneme sahip olduğu anlaşılır. Bazı ülkeler debi ölçümlerini ultrasonik ve elektromanyetik dalgalar kullanarak direkt olarak da yaparlar. Fakat bu metodlar pahalı olması ve yer şekillerinin uygunsuz olabilmesi dolayısıyla yaygın olarak kullanılamamaktadır. Bazı ülkelerde ise seviye debi ilişkisi ölçümlerinde kullanılan çeşitli yapılar vardır. Bu tip baraj gibi yapılar pahalı ve birçok bölgede yapımı mümkün olmadığı için yaygın değildir (Petersen-Overleir, 2004).

1.2 Akım Anahtar Eğrisi

Bir akarsu gözlem istasyonunun (AGİ) eşel en kesitindeki su seviyesi değişimleri ile bu değişimlere karşılık gelen debiler arasındaki bağıntıyı gösteren eğriye akım anahtar eğrisi denir. Bir akarsuyun üzerindeki akım gözlem istasyonunun en kesitindeki su seviyesi ve seviye değişimleri, en kesitte kurulan eşel ve limnigraflarla ölçülür. Eşel ile anlık seviye ölçülür. Limnigraf ise seviyenin zamanla değişimini kayıt altına alır. Yapılan akım ölçümleri ile akış kesiti ve su hızları ölçülebilmektedir. Alan ve hızın çarpımı sonucu o andaki debi bulunabilir. Ancak bu tip ölçümler sürekli değil, anlıktır. Akımın sürekli elde edilebilmesi için bir akım anahtar eğrisine ihtiyaç vardır. Debi, seviyenin bir fonksiyonu olduğundan, doğru bir debinin elde edilebilmesi, seviyelerin doğru elde edilmesi ile mümkün olmaktadır. Belli bir kesitteki anahtar eğrisini oluşturmak için, o kesitte belli seviyelerde debilerin ölçülmesi gerekir. Anahtar eğrisi elde edilmesi çok önemlidir. Çünkü akım anahtar eğrisi, kolaylıkla ölçülebilen seviye değerlerine karşılık gelen debi değerlerinin bulunabilmesini sağlar.

1.2.1 Seviye Debi İlişkisinin Değişkenliği

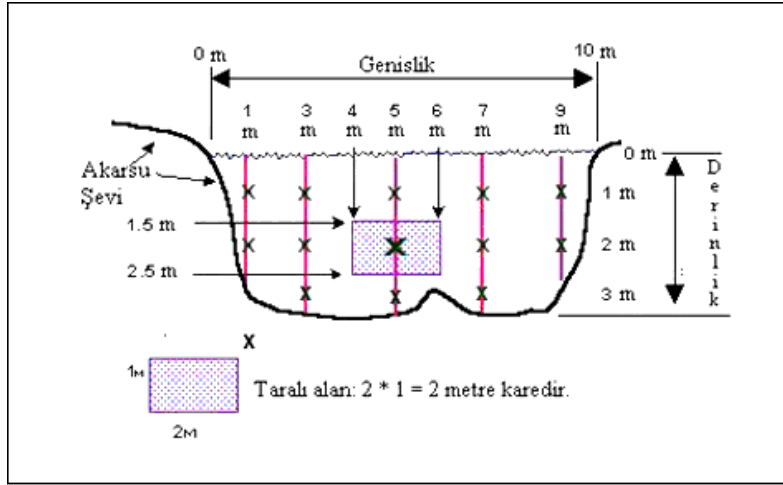
Anahtar eğrisi değişmez, sabit bir eğri değildir. Bulunan seviye-debi ilişkisi her zaman değişiklik gösterebilir. Oluşturulan anahtar eğrisinin çeşitli durumlarda değiştirilmesi ve tekrar çizilmesi ya da kaydırmalarla (şiftler) değişen değerlere uyumlu hale getirilmesi gerekir. Anahtar eğrisinin değişmesine neden olan faktörler en genel haliyle yatak eğimindeki değişim, kanal pürüzlülüğündeki değişim, eğri oluşturulan kesit alanındaki değişim, memba etkisi (yan kolların akarsuya katılması) ve yataktaki dolma ve oyulma durumudur. Örnek olarak bir taşkın boyunca yataktaki değişimi ele alınırsa. Şekil 1.3'te bir yataktaki taşkın öncesi ve sonrası değişim görülür.



Şekil 1.3: Akarsu Kesiti Değişkenliği

Şekilde su seviyesi ve yataktan geçen debi arasındaki ilişkinin değişimi açık bir şekilde görülebilmektedir. Taralı bölge, yataktan geçen su miktarını göstermektedir. Taşkıandan önce ve sonra seviyenin aynı olduğu görülebilmektedir. Bunun sebebi, taşkıandan sonra yatak profilinde meydana gelen değişim (oyulma) ve bunun sonucunda suyun akabileceği alanın artmasıdır. Akım anahtar eğrisinin oluşturulması için öncelikle ölçüm aletleriyle yapılan seviye ve debi verilerine ihtiyaç duyulur. Seviye ölçümleri sürekli kayıt yapan limnigraflarla ya da eşel denilen seviye ölçüm aletiyle yapılmaktadır. Debinin ölçümü ise seviye ölçümüne göre daha karmaşıktır. Debinin sağlıklı bir şekilde ölçülebilmesi için ölçümler akıma dik olarak belli yatay ve düşey noktalarda, akımla birlikte derinlik, genişlik ve hızın ölçülmesi şeklinde yapılır. Anahtar eğrisinin oluşturulabilmesi için debinin farklı seviyelerde ölçülmesi gerekir. İyi oluşturulmuş bir akım anahtar eğrisi, istenilen her seviyede debinin tahmin edilmesini sağlar. Örnek olarak Şekil 1.4'te gösterilen akarsu en kesiti ele alınırsa nehir seviyesinin yaklaşık 3 m olduğu görülür. (Bu şekil, www.usgs.gov adresinden alınmış ve şekildeki İngilizce terimler Türkçe'ye çevrilerek çalışmaya eklenmiştir). Şekilde akarsu en kesiti genişliği yaklaşık 10 m'dir. Debi ölçümü için, akıma dik bir şekilde belli aralıklarla, her bir aralık için belli derinlik noktalarında ölçüm yapılır. Bu ölçümler muline denilen, akım hızını ölçmek için kullanılan bir aletle yapılır. Belli şartlarda mulineye ağırlıklar bağlanması gerekir. Mulineye bağlanan bir kulaklıkla her bir tur kulağa gelen sese göre belirlenir ya da elektronik sayıcılar kullanılır. Ölçüm zamanında elde edilen toplam tur sayısı ve ölçüm zamanına göre akım hızı hesaplanır. Hidrolojistler, diyagramda görülen her bir "x"

derinliğinde hızları hesaplayabilirler. Hesaplanan bu hız değerlerinin ölçüldüğü yerde, taralı gösterilen alanlar hesaplanabilir.



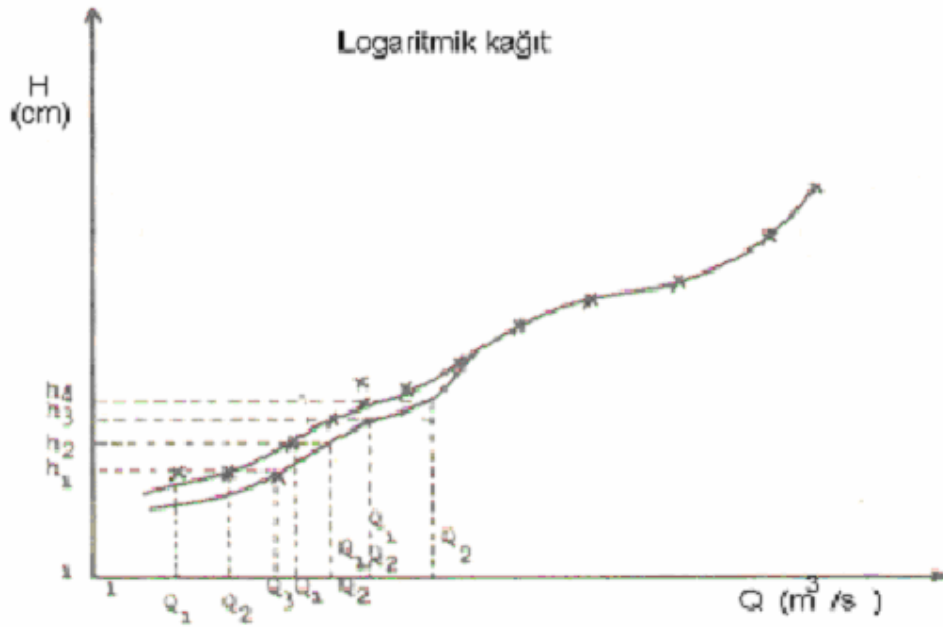
Şekil 1.4: Debi Ölçümü Şeması (www.usgs.gov).

Şekilde su derinliği ve hız ölçümleri akım yönüne dik olarak 1, 3, 5, 7 ve 9 m (diyagramdaki dikey çizgiler) aralıklarla yapılmıştır. Her bir noktada, hız değerleri ve toplam derinlik hesaplanır. Her bir düşey noktada derinlik ve akım durumuna göre bir ya da daha fazla hız değeri okuması yapılır. Örnekte gösterilen yukarıdaki şekilde kıydan 5 m uzaklıkta olan noktada derinlik ve hız okuması yapılmıştır. Bu noktadaki toplam derinlik 3 m'den biraz daha fazladır ve bu noktada hız okumaları dikey olarak yüzeyden 1 m, 2 m ve 3 m noktalarında yapılmıştır. Taralı gösterilen kutu bu ölçümün orta noktasındaki alanı göstermektedir. Bu kutu, 2 m genişliğe ve 1 m yüksekliğe sahiptir ve alanı 2 m^2 olmaktadır. Bu "x" noktasında ölçülen hız değeri 2 m/s'dir. Gösterilen kutu içinden her bir saniyede geçen akım miktarını (debiyi) bulmak için, bu kutunun alanıyla, burada ölçülen hız değeri çarpılır. Kesitteki toplam debiyi ölçmek için, her bir x noktasındaki alan hesaplanır ve hız o noktada ölçülerek bulunur. Örnekte gösterilen şekilde, hesaplanan debi değerleri toplanarak toplam debi bulunmuş olur. Yukarıdaki örnek, debinin nasıl hesaplandığını belirtmek için az sayıda nokta kullanılarak gösterilmiştir. Gerçekte yaklaşık 20 adet nokta kullanılır. Burada uygulanması gereken kriter, temsili gösterilen her bir kutudan geçen debi değerinin, toplam debinin %5'inden fazla olmamasıdır.

1.2.2 Akım Anahtar Eğrisini Etkileyen Faktörler

1.2.2.1 Yeterli ve Güvenli Akım Ölçüsü

Öncelikle, bir akım anahtar eğrisinin oluşturulması için yeterli seviye-debi verilerine ihtiyaç vardır. Yapılan bu çalışmada, her bir anahtar eğrisi için yeterli veri bulunmaktadır. Verileri kullanılan istasyonların anahtar eğrileri çizilirken farklı anahtar eğrileri ortaya çıkabilmektedir (Şekil 1.5). Bu durumda eldeki mevcut verilere ikinci bir anahtar eğrisi çizilmesi gerekir. Ölçümlerin tarih sırasına göre noktalanması sonucunda oluşan bu durum devam ederse, diğer bir anahtar eğrisi çizilmesi gerekir. Yapılan bu çalışmada, akım ölçümleri tarih sırasına göre sıralanmış ve anahtar eğrilerinin değiştiği nokta, çizilen grafikten bulunmuştur. Elde edilen farklı grafikler ise farklı anahtar eğrileri şeklinde ayrılmıştır.



Şekil 1.5: Akım Anahtar Eğrisinin Belirlenmesi (Elektrik İşleri Etüt İdaresi, 2006).

1.2.2.2 Akarsu Yatağının Değişkenliği:

Yatak sabitliği, yani AGİ kurulduğu zaman en kesitte mevcut akım rejimi, kesitin geometrik yapısı ve hidrolik karakteristikler değişmedikçe akım anahtar eğrisini çizmek oldukça kolay olur. Ancak tabiatta bunların değişmemesi mümkün değildir. Bu anlamda akarsu yatak en kesitini etkileyen faktörler şunlardır:

- Akarsudaki sediment hareketleri.
- Buz ve don olayı.
- Kıyıda, şevlerde ve yatakta oluşan bitki örtüsü.
- Taşkın olayı.
- Yatağın ve şevlerin toprak yapısı, suyun itme, oyma kuvvetlerinin tesirleri.
- İstasyonun memba ve mansabında bulunan baraj, regülatör, köprü, menfez ve boğaz gibi yapılar.
- İstasyonun memba ve mansabında bulunan ve yatağa karışan yan derelerin etkileri.
- Yatak eğimindeki değişimler.

Akım anahtar eğrisi çiziminde en önemli problemler, stabilitesi değişen yataklarda olmaktadır. Bu nedenle, istasyon kurulacak yerin seçiminde çok dikkatli olunması gerekmektedir. Anahtar eğrisi çizilirken sadece yatak stabilitesinin değişimlerini gözlemek veya bilmek de yeterli değildir. İstasyon kurulduktan sonra, gözlem süresi içerisinde insanlar, yerleşim amacı ile yatağa müdahale edebilirler. Ayrıca sulama amacıyla memba ve mansapta açılan kanallar ve bu kanallardan özellikle membadan çekilen sular akım anahtar eğrisini etkiler. Bunların dışında akım ölçümünü yapan kişiden ve aletlerin kurallara uygun hazırlanmaması ve kullanılmamasından meydana gelen hatalar akım anahtar eğrisini etkilemektedir.

1.3 Akım Anahtar Eğrisinde Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

Gawne ve Simonovic (1994)'in çalışmasında Environment Canada'nın, Kanada'da akım ölçme istasyonlarının açılması ve akarsu akımlarının izlenmesinden sorumlu kuruluş olduğu belirtilmektedir. Bu kuruluşun yüzey suları miktarı verilerinin yönetimini otomatize etme çalışmalarını desteklemek üzere gelişmesinin son aşamasında olan bir Zeki Karar Destek Sistemi/ZKDS (Intelligent Decision Support System) üzerinde çalışılmaktadır. Bu sistem, seviye-debi anahtar eğrilerini oluşturacak, geliştirecek ve muhafaza edecektir. Halihazırda Kanada'da anahtar eğrilerinin oluşturulmasında kullanılan yöntem, ölçümlerin noktalanmasında kullanılan manuel çalışmalar, veri noktalarının analizi ve var olan bir anahtar eğrisinin değiştirilmesi veya güncellenmesi hakkında karar verme süreçlerine bağlı olarak sübjektif olmaktadır. Çalışmada geliştirilen ZKDS ise anahtar eğrilerinin matematik modeller ve denklemler ile temsil edilmesi kavramına dayanmaktadır. Kullanılan modelleme tekniği doğrusal regresyon olup verinin doğrusallığını oluşturabilmek için üstel ve Box-Cox dönüşümleriyle birlikte kullanılmıştır.

Clarke (1999)'in çalışmasında $Q = K(h - h_0)^s$ formundaki anahtar eğrilerinin en küçük kareler yöntemiyle uydurulmaları sırasında uygunluklarının R^2 determinasyon katsayısı ile ölçüldüğü ve bunun da sıklıkla 1'e yakın çıktığı, bu durumun da tahmin edilecek debilerin yüksek presizyona sahip olacaklarını gösterdiği söylenmektedir. Ancak h_0 parametresinin ve/veya debinin tahmin edileceği h seviyesinin tahminlerinde belirsizlik göz önüne alınmaz ise bu durum aldatıcı olabilmektedir. Bundan da öte M yıllık bir dönemde yıllık maksimum debilerin tümünün uydurulmuş olan anahtar eğrisinden tahmin edilmeleri bakımından korele olacakları vurgulanmaktadır. Öte yandan ekstrem değer dağılımlarının uydurulmasında kullanılan maksimum olabilirlik yöntemlerinde bu korelasyonun göz önüne alınmadığı bildirilmektedir. Çalışmada anahtar eğrisi belirsizliklerini göz önüne alacak şekilde ortalama yıllık taşkın varyansının koşullu ve koşulsuz ifadeleri verilmektedir.

Clarke ve diğ. (2000) tarafından yapılan çalışmada güney Amerika'daki iki noktasında anahtar eğrisi uydurulmasında kullanılan verinin değişiminden kaynaklanan ortalama debideki belirsizlik irdelenmektedir. Bu iki nokta Brezilya/Obidos'ta Amazon ve Arjantin/Corrientes'te Parana nehirleri üzerindedir.

27 yıllık (1970–1997), ortalama yıllık debisi $164200 \text{ m}^3/\text{s}$ olan Obidos'taki Amazon'da anahtar eğrisi değişkenliğinden kaynaklanan belirsizlik $2256 \text{ m}^3/\text{s}$ 'ye tırmanmıştır ki bu yıllar arası değişkenliğin %16'sı kadardır. 24 yıllık (1961–1985), ortalama yıllık debisi $17597 \text{ m}^3/\text{s}$ olan Corrientes'teki Parana'da ise anahtar eğrisi değişkenliğinden kaynaklanan belirsizlik $245.3 \text{ m}^3/\text{s}$ 'ye yükselmektedir ki bu yıllar arası değişkenliğin %4.4'ü kadardır.

Leonard ve diğ. (2000)'nin çalışmasında anahtar eğrisinin sürekli debi elde etmek için en çok kullanılan yöntem olduğu belirtilmektedir. Çalışmada ayrıca güvenilir bir anahtar eğrisinin elde edilmesinin zor olduğu, zaman aldığı ve yatak kesitinin değişken olduğu yerlerde ise genellikle imkânsız olduğu öne sürülmektedir. Bu zorlukların üstesinden gelmek için klasik seviye-debi ilişkisinin yerine akım hızı, hidrolik yarıçap ve su yüzeyi eğimini içeren değiştirilmiş Manning denklemi tavsiye edilmektedir. Çalışmaya göre, bu denklem sayesinde yatak geometrisindeki değişimler ve hidrolik karakteristikler anahtar eğrisine eklenir ve oluşturulacak anahtar eğrilerinin yatak kesitindeki değişimleri daha kolay yansıtılır. Çalışmada Fransa'nın Chambéry bölgesindeki Leysse nehri verileri üzerinde örnek uygulama gerçekleştirildiği söylenmektedir. Çalışma sonuçlarında, kullanılan yaklaşımın geçerli olduğu ve özellikle hidrolik ve geometrik karakteristiklerin değişimi durumunda uygulanacak extrapolasyonlarda yaklaşımın başarılı olduğu belirtilmektedir.

Muttill ve Sivapragasam (2005)'in çalışmasında anahtar eğrisi uzatılması yöntemlerine yeni bir yaklaşım getirilmeye çalışılmaktadır. Çalışmada seviye-debi eğrisinin ölçülen en yüksek ve en düşük debiye göre uzatılmasının nehir öngörülleri, taşkın kontrolü ve tarımsal ya da endüstriyel su kaynakları çalışmalarında önemli olduğu belirtilmektedir. Çok yüksek debi geçişi ya da taşkın durumlarında debi ölçümü için uygunsuz şartlar oluşmaktadır. Bu durumda anahtar eğrisinin uzatılma gerekliliği ortaya çıkar ve bunun logaritmik eksen takımı kullanılarak yapılması çeşitli sorunlara sebep olur. Çalışmada anahtar eğrisinin uzatılmasında ortaya çıkan sorunların ortadan kaldırılması için, lineer regresyon prensibiyle çalışan Destek Vektör Makinesi /DVM (Support Vector Machine) kullanılması tavsiye edilmektedir. DVM çalışması Washington'un Dryad bölgesinin Chealis nehri, Four Seasons'ta Morse Creek nehri (düşük seviyelere anahtar eğrisinin uzatılmasında kullanılmış)

Naselle'de Bear Branch nehri (yüksek seviyelere anahtar eğrisinin uzatılmasında kullanılmış) verileri üzerinde uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda DVM uygulamasının anahtar eğrisi uzatılmasında, polinom uydurma ve logaritmik metod uygulamasından daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmektedir.

Petersen-Overleir (2004) tarafından yapılan çalışmada ise anahtar eğrilerinin oluşturulmasında hidrolojistler tarafından uzun zamandan beri kullanılagelen standart tekniğin non-lineer en küçük kareler (NLS) metodu olduğu söylenmektedir. Bu metodun adaptasyon sebeplerinin açık olmadığı ve debi ölçümündeki belirsizliğin tasviri için uygunluğunun yeteri kadar incelenmediği vurgulanmaktadır. Bu çalışmada klasik NLS metodunun varyans heterojenliğinin sadece çok sınırlı bir kısmını modelleyebildiği gösterilmektedir. Daha da öte bu fleksibilite eksikliği, hesaba katılmamış heterosedastisiteye (varyans değişkenliği) yol açmakta, bu da anahtar eğrisi parametreleri ve tahmin edilen debi için kesin olmayan değerlere sebep olmaktadır.

Reitan ve Petersen-Overleir (2005) tarafından yapılan çalışmada bileşik anahtar eğrileri üzerinde durulmuştur. Çalışmada bugünün standart hidrometrik çalışma amacının öncelikle segmentasyon limitleri olduğu belirtilerek kişisel kararlarla oluşturulan anahtar eğrilerinin niteliğini kontrol etmenin zor olduğu söylenmektedir. Objektif bir segmentasyon modeli için Heaviside fonksiyonu ve lineer olmayan regresyona dayalı, parçalar arasındaki kesişimin kısıtlı olduğu iki parçalı durum incelenmektedir. Model oluşturmayı kolaylaştırmak için değişkene dayalı metodlar kullanıldığı ve bu modelin anahtar eğrisi parametrelerini de hesapladığı, çalışmada özellikle belirtilmektedir. Çalışmada en uygun modeli belirlemek için Olabilirlik Oran Testi (Likelihood Ratio Test), Akaike Bilgi Kriteri (Akaike Information Criterion) ve Bayesian Bilgi Kriteri (Bayesian Information Criterion) kullanıldığı açıklanmaktadır. Pratik çalışmada Norveç ve Kanada akım gözlem istasyonlarının ölçümleri kullanılmış ve anahtar eğrilerinin kesişim noktalarında sayısal olağan dışlıklar ve dolaylı zorluklar ortaya çıktığı görülmüştür. Çalışmada bu zorlukların sebebinin logaritmik olabilirlik fonksiyonundaki düzensizlikler ve belirsizliklerin olduğu sonucuna varılmıştır.

Yu (2000)'nın çalışmasında küçük havzalarda su seviyelerinin bir savak içinde ya da bir savağın memba tarafında ölçülerek anahtar eğrisi vasıtasıyla debilerin elde

edilmesinin sık kullanılan bir yöntem olduğu belirtilmektedir. Fırtına akım miktarlarının belirlenmesinde trapez kuralı kullanılarak akım hidrografı bütünleşik hale getirilmektedir. Çalışmaya göre, böyle bir yaklaşımın debinin daima daha fazla olarak tahmin edilmesi ile sonuçlanan, sistematik bir hata içerdiği gösterilebilir. Rölatif hata 0 ile $(s-1) / 2$ aralığındadır. Burada s , anahtar eğrisini tanımlayan üstel fonksiyonun üssüdür. Çalışmada akım miktarları 2.7 ve 186 mm arasında değişen 34 fırtına verisi kullanılarak rölatif hatanın %8.6 ve maksimum rölatif hatanın ise en fazla %23 olabileceği gösterilmiştir. Çalışmada akım miktarını kesin olarak hesaplamakta kullanılacak formüller tavsiye edilmektedir.

2. İSTATİSTİK ANALİZ

Çalışmada kullanılan verilerin istatistik analizinde ve akım anahtar eğrisi oluşturmak için kullanılan yöntemlerin karşılaştırılmasında kullanılacak olan bazı istatistik kavramlar bu bölümde açıklanacaktır.

2.1 Parametrelerin Tahmini

Parametreler, bir rastgele değişkenin başlıca istatistik özelliklerini gösteren büyüklüklerdir. Bu istatistik özellikler rastgele değişkenin bazı gözlemlerde alabileceği değerlerin merkezi, bu değerlerin merkez çevresindeki yayılımının büyüklüğü ve dağılımın çarpıklığı şeklindedir. Parametrelerin gerçek toplum değerlerinin bilinemediği durumlarda, gerçeğe en yakın değere ulaşmak için eldeki örnekten tahmin yapılır. Yapılan bu tahminlerin sonucunda istatistiklere ulaşılır. Parametreleri tahmin etmek için en çok kullanılan yöntem istatistik momentleri yöntemidir (Bayazıt, 1996). $n = 2, 3, \dots$ olmak üzere X rastgele değişkeninin n -inci mertebeden merkezsel istatistik momentini

$$\mu_x^{(n)} = E[(X - \mu_x)^n] \quad (2.1)$$

şeklinde tanımlanır. Bu denklemdeki μ_x değerine değişkenin ortalaması denir. $E[.]$ beklenen değeri göstermek üzere $E[.] = \mu_x$ eşitliği, bir rastgele değişkenin beklenen değerinin ortalamaya eşit olduğunu gösterir. Parametreler merkez parametreleri, yayılım parametreleri ve çarpıklık parametreleri olmak üzere üç ana başlık altında incelenebilir.

2.1.1 Merkez Parametreleri

Bir rastgele değişkende dağılımın merkezi en önemli karakteristiktir. Merkez parametreleri ortalama ve medyan olarak tanımlanır. Bir rastgele değişken hangi değeri alırsa alsın bu değerler belli bir noktanın çevresinde kümelenir. Bu noktaya dağılımın merkezi denir ve ortalama, dağılımın merkezini ifade etmek için en çok

kullanılan parametredir. X rastgele değişkeninin toplumundan n elemanlı $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ örnekleri alınır, μ_x ortalama parametresine karşılık gelen istatistik

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.2)$$

denklemleriyle hesaplanır. Dağılımın merkezini gösteren diğer parametre medyandır ve aşılması veya küçük kalma olasılığı %50 olan değer olarak tanımlanır. Medyanı tahmin etmek için eldeki örnekte değerler $x_1 < x_2 < \dots < x_n$ şeklinde sıralanır. Elde bulunan mevcut n örnek sayısının tek veya çift olmasına göre medyan

$$med_x = x_{0.50} = \begin{cases} x_{(n+1)/2} & n \text{ tek ise} \\ \frac{1}{2} [x_{(n/2)} + x_{(n/2)+1}] & n \text{ çift ise} \end{cases} \quad (2.3)$$

şeklinde hesaplanır. (2.3) denklemine göre, eleman sayısı n tek ise sıralanmış örnekte ortadaki eleman, n çift ise ortadaki iki elemanın ortalaması medyandır. Medyan, örnekteki çok büyük veya çok küçük değerlerden (aykırı değerler) ortalamaya göre daha az etkilenir. Ortalama ise aykırı değerlerden çok fazla etkilenir. Medyanın ortalamaya göre olan bu üstünlüğü medyanın dayanıklı bir parametre olduğunu gösterir. Medyan ve ortalamanın toplum değerlerini üç şekilde karşılaştırabiliriz:

- Rastgele değişkenin dağılımı simetrik ise ortalama ve medyanın toplum değerleri aynıdır.
- Rastgele değişkenin dağılımının sağa doğru (pozitif) çarpık olduğu durumlarda ortalama medyandan büyüktür.
- Rastgele değişkenin dağılımının sola doğru (negatif) çarpık olduğu durumlarda ortalama medyandan küçüktür.

Bu üç seçenek bu parametrelerin toplum değerleri için geçerlidir ve örnekten tahmin edilen istatistik değerleri farklı şekilde davranabilmektedir.

2.1.2 Yayılım Parametreleri

Bir rastgele değişkenin merkez değeri çevresindeki yayılımının büyüklüğü hakkında bilgi veren parametre yayılım parametresi adını almaktadır. Yayılım parametresi varyans ($\text{Var}(X)$) ya da varyansın kareköküne eşit olan standart sapmadır (σ^2). $x_1, x_2, \dots, x_n$ değerleri X rastgele değişkenin toplumundan alınan örnekler olmak üzere tarafsız varyans istatistiği

$$\text{Var}(x) = s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2.4)$$

şeklinde ifade edilir. Denklemdaki $\text{Var}(x)$ terimi varyansı, s_x terimi ise standart sapmayı ifade eder. Yayılımın büyüklüğünü ifade eden standart sapma büyük ise, değişkenin ortalama değer çevresindeki yayılımı büyüktür. İki rastgele değişken karşılaştırılırken, değişkenlerin ortalamaları aynı değilse sadece standart sapmaları karşılaştırmak yeterli olmayabilir. Bu durumlarda değişim katsayılarını karşılaştırmak daha uygundur. Varyasyon katsayısı da denilen ve boyutsuz bir büyüklük olan değişim katsayılarını karşılaştırmak, rastgele değişkenlerin yayılımlarını doğrudan doğruya karşılaştırmamıza olanak verir. Değişim katsayısı (varyasyon):

$$C_{vx} = \frac{\sigma_x}{\mu_x} \quad (2.5)$$

denkleminle ifade edilir ve standart sapmanın ortalamaya oranını ifade eder. X rastgele değişkeninin toplumundan $x_1, x_2, \dots, x_n$ şeklinde n elemanlı bir örnek alınırsa değişim katsayısı,

$$C_{vx} = \frac{s_x}{\bar{x}} \quad (2.6)$$

denkleminle ifade edilir.

2.1.3 Çarpıklık Parametreleri

Rastgele değişkenin dağılımının çarpıklığı, dağılımın merkez çevresindeki simetrisini ifade eden çarpıklık katsayısıyla belirlenir.

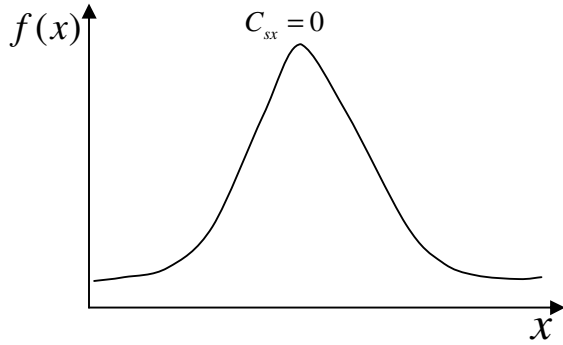
$$C_{sx} = \frac{\mu_x^{(3)}}{\sigma_x^3} \quad (2.7)$$

denklemleriyle ifade edilen çarpıklık katsayısı boyutsuz bir büyüklüktür ve X rastgele değişkeninin toplumundan $x_1, x_2, \dots, x_n$ şeklinde n elemanlı bir örnek alınır, tarafsız çarpıklık katsayısı (çarpıklık katsayısının istatistik değeri)

$$C_{sx} = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{s_x^3} \quad (2.8)$$

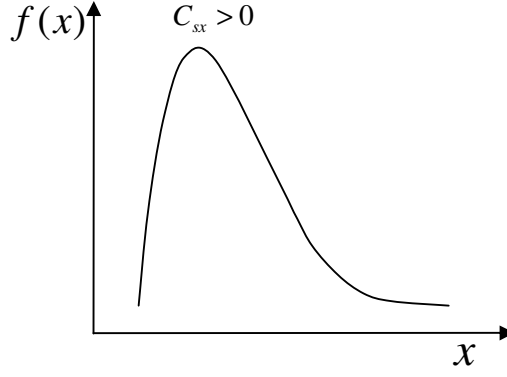
denklemleriyle ifade edilir. Çarpıklık katsayısının değerine bakılarak dağılım hakkında bazı sonuçlara varılabilir.

- Çarpıklık katsayısının 0 olması, dağılımın ortalama çevresinde simetrik olduğunu gösterir (Şekil 2.1).



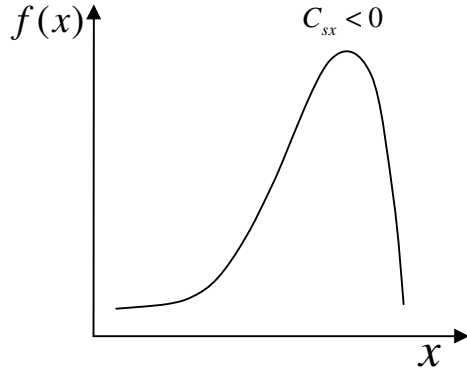
Şekil 2.1: Simetrik Çarpıklık.

- Çarpıklık katsayısının pozitif bir sayı olması, dağılımın ortalama çevresinde sağa çarpık olduğunu gösterir. Bu durum pozitif çarpıklık olarak da adlandırılır ve dağılımın sağa doğru kuyruğu vardır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: Pozitif Çarpıklık

- Çarpıklık katsayısının negatif bir sayı olması, dağılımın ortalama çevresinde sola çarpık olduğunu gösterir. Bu durum negatif çarpıklık olarak da adlandırılır ve dağılımın sola doğru kuyruğu vardır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3:Negatif Çarpıklık.

2.2 Regresyon Analizi

Mühendislik problemlerin incelenmesi sonucunda, iki ya da daha fazla rastgele değişkenin aynı gözlem sırasında aldıkları değerlere bakıldığında, değerlerin istatistik olarak birbirinden bağımsız olmadığı görülebilir. Bunun sebebi genellikle değişkenlerin birinin diğerinden etkilenmesi ya da değişkenlerin her birinin bir başka değişkenden etkilenmeleri olmaktadır (Bayazıt ve Oğuz, 1994). Örneğin çalışmada kullanılan seviye-debi çiftlerini ele alırsak, seviyedeki bir değişim, debiye de bir değişim olarak yansımaktadır. Ya da bir havzadaki yağış artışı, seviye ve debi değerlerine artış olarak yansıyabilmektedir. Fakat bu rastgele değişkenlerin biri belli

bir değer aldığında, diğerinin de her seferinde aynı değeri alacağı söylenemez. Burada asıl önemli olan, bu iki ya da daha fazla değişken arasındaki fonksiyonel bağıntıyı bulabilmek ve bu bağıntıyı kullanarak bir değişkenin değerini (bağımlı değişken), diğer bir değişkenin ya da değişkenlerin (bağımsız değişken) bilinen değerinden tahmin etmektir. Tahmin edilen bu değerden gerçek değer farkı ise hata terimidir. Rastgele değişkenlerden birinin değişiminin diğer değişken ya da değişkenlerin değişiminden ne kadar etkilendiğini ve rastgele değişkenler arasındaki istatistik ilişkinin matematik ifadesini bulma işlemi regresyon analizi işlemidir. Regresyon analizinde amaç değişkenler arasında bir ilişki olup olmadığını ortaya koymak, eğer bir ilişki varsa bu ilişkiyi ortaya koyacak regresyon denklemini bulmak ve yapılacak tahminlerin güven aralıklarını elde etmektir.

İki rastgele değişken arasındaki ilişkinin doğrusal olması durumunda, bu ilişki için kullanılacak ölçü korelasyon katsayısıdır. Normal dağılım gösteren X ve Y değişkenleri göz önüne alındığında, n elemanlı (x_i, y_i) çiftlerinden oluşmuş bir örnekten korelasyon katsayısı şu denklemle hesaplanır:

$$r = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})}{S_x} \frac{(y_i - \bar{y})}{S_y} \quad (2.9)$$

Burada S_x , x değişkenlerinin, S_y ise y değişkenlerinin standart sapmasıdır. r korelasyon katsayısının değeri -1 ile 1 arasında değişir ve değişen korelasyon katsayılarında şu durumlar geçerlidir:

- r' nin 0 olması durumunda X ve Y değişkenleri birbirinden bağımsızdır.
- r' nin mutlak değerinin 1 olması X ve Y değişkenleri arasında fonksiyonel bir ilişki olduğunu gösterir.
- r' nin mutlak değeri 1'e yaklaştıkça X ve Y değişkenleri arasındaki ilişki kuvvetlenir, tersi durumunda ilişki zayıflar.
- r' nin eksi işaretli olması X ve Y değişkenlerinin birinin artması durumunda diğerinin azaldığını, birinin azalması durumunda diğerinin arttığını gösterir.

X ve Y' nin bağımsız olması halinde r' nin kesin örnekleme dağılımı bilinmektedir.

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (2.10)$$

istatistiğinin örnekleme dağılımı serbestlik derecesi $n-2$ olan t dağılımıdır. Bu dağılımı kullanarak $H_0 : \rho = 0$ hipotezi kontrol edilebilir. Burada ρ korelasyon katsayısının toplum değeri olup $\rho = 0$ rastgele değişkenlerin bağımsız olduğu anlamına gelmektedir. Bunun için örnekten elde edilen korelasyon katsayısı değeri kullanılarak (2.10) denklemiyle t hesaplanır. Hesaplanan bu değer, eğer seçilen z anlamlılık düzeyine karşı gelen güven aralığının içinde kalıyorsa H_0 hipotezi kabul edilir. Hipotezin kabulü, iki değişken arasında doğrusal bir ilişki olmadığı sonucunu verir. H_0 hipotezinin reddedilmesi durumunda ise t istatistiği için kabul edilen dağılım sadece $\rho_{x,y} = 0$ için geçerli olduğundan kesin bir sonuca varılamaz.

Korelasyon katsayısının karesine eşit olan ve R^2 olarak gösterilen determinasyon katsayısı ise, Y bağımlı değişkeninin varyansının X bağımsız değişkeninin değişiminden kaynaklanan yüzdesini gösterir. Bu yüzden R^2 determinasyon katsayısı, regresyon bağıntısının anlamlılığının bir ölçüsüdür. R^2 değeri 1'e yaklaştıkça regresyonun anlamlılığı giderek artar (Bayazıt ve Oğuz, 1994).

Rastgele değişkenler arasında bir ilişki olup olmadığını gösteren ve ilişki varsa bunu regresyon denklemiyle ortaya koyan regresyon analizi üç başlıkta sınıflandırılır:

- Basit doğrusal regresyon analizi iki değişken arasında bir ilişki bulunduğunu kabul eder.
- Çok değişkenli doğrusal regresyon analizi ikiden fazla değişken arasında doğrusal bir ilişki bulunduğunu kabul eder.
- Doğrusal olmayan regresyon analizi iki ya da daha fazla değişken arasında doğrusal olmayan bir ilişkinin bulunduğunu kabul eder.

2.2.1 Basit Doğrusal Regresyon

Y değeri bağımlı değişken, $X_1, X_2, \dots$ değerleri bağımsız değişken olarak alınırsa, bu değişkenler arasındaki istatistik ilişki

$$Y = f(X_1, X_2, \dots) \quad (2.11)$$

denklemiyle ifade edilir. (2.11) denklemi bağımsız değişkenlerin bilinen değerlerine karşı, bağımlı değişkenin alabileceği en iyi tahmini (beklenen değeri) göstermektedir (Bayazıt, 1996).

Basit doğrusal regresyonda X bağımsız değişkeni ve Y bağımlı değişkeni arasındaki ilişki

$$y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i \quad (2.12)$$

şeklindeir. Denklemden bulunan α ve β katsayıları regresyon denkleminin parametreleridir ve bu parametrelere regresyon katsayıları da denir. x değerinin 0 olduğu nokta regresyon doğrusunun y eksenini kestiği noktadır ve bu denklemden α bu noktayı gösterir. β ise bağımsız değişkende meydana gelecek olan bir birimlik değişmeye karşılık bağımlı değişkende meydana gelecek olan ortalama değişiklik miktarını verir. Denklemden ε_i terimi hata terimi veya kalıntı terimi olarak adlandırılır ve beklenen değeri 0'dır. X bağımsız değişkenine x_0 değeri verildiğinde Y bağımlı değişkeninin beklenen değeri

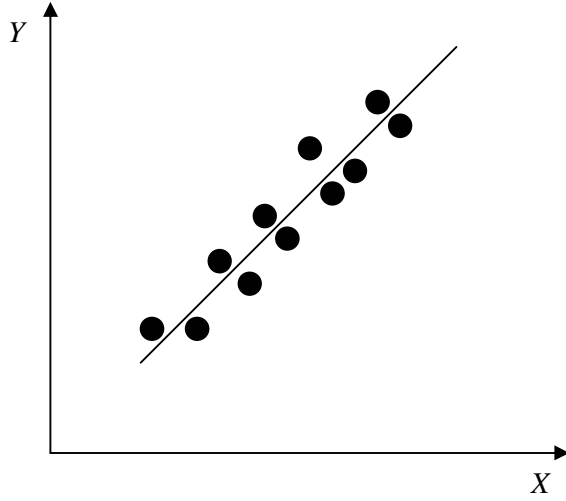
$$E[Y|X = x_0] = \alpha + \beta_0 \quad (2.13)$$

şeklinde ifade edilir. Buna göre Y' nin X' e göre regresyon denklemi:

$$y = a + bx \quad (2.14)$$

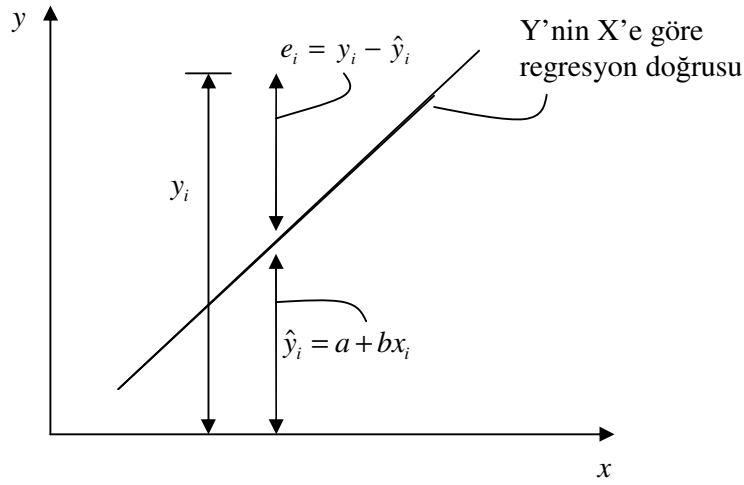
şeklinde ifade edilir. Bu denklemden bulunan a ve b katsayıları, sırasıyla α ve β regresyon katsayılarının eldeki örnekten hesaplanan istatistik değeridir. X bağımsız değişkeninin $X = x_i$ değeri için Y bağımlı değişkeninin y_i en iyi tahmini (2.14) denklemden hesaplanır ve (2.15) denklemi elde edilir.

$$\hat{y}_i = a + bx_i \quad (2.15)$$



Şekil 2.4: X ve Y Değişkenleri Arasındaki Doğrusal İlişki

X ve Y değişkenleri arasında doğrusal bir ilişki olup olmadığını görmek için gözlenen (x_i, y_i) çiftleri $x - y$ düzleminde noktalanır (Şekil 2.4). Eğer bu gözlenen çiftler bir doğru etrafında dağılıyorsa, aralarındaki ilişkinin doğrusal olduğu söylenebilir.



Şekil 2.5: Y' nin X' e Göre Regresyon Doğrusu.

(2.14) denklemiyle gösterilen regresyon doğrusu denkleminde bulunan a ve b regresyon katsayılarını hesaplamak için, gözlenen y_i değerleriyle (2.15) denklemiyle tahmin edilecek $\hat{y}_i$ değerlerinin $e_i = y_i - \hat{y}_i$ farklarının karelerinin toplamı en küçük yapılmaya çalışılır (Şekil 2.5). Buradaki e_i terimine artık denir ve (2.12) denkleminde gösterilen ε_i hata teriminin tahmini olarak düşünülebilir. En küçük

kareler yöntemi kullanılarak gerekli işlemler yapıldığında a ve b regresyon istatistikleri şu şekilde bulunur:

$$a = \bar{y} - b\bar{x}, \quad b = \frac{S_{xy}}{SS_x} = r \sqrt{\frac{SS_y}{SS_x}} \quad (2.16)$$

Bu denklemde r, (2.9) denklemiyle hesaplanan regresyon katsayısı, n ise elimizdeki (x_i, y_i) gözlem çiftlerinin sayısıdır. (2.16) denkleminde

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}), \quad SS_x = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad SS_y = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (2.17)$$

şeklinde tanımlanmıştır. (2.12) denklemindeki ε_i kalıntı terimlerinin varyansı

$$Var[Y|X = X_0] = \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-2} = \frac{SS_y - bS_{xy}}{n-2} \quad (2.18)$$

olur. a ve b istatistiklerinin örnekleme dağılımlarının varyansları:

$$Var[b] = \sigma^2 / SS_x, \quad Var[a] = \sigma^2 / \left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{SS_x} \right) \quad (2.19)$$

şeklindedir.

Hesaplanan a ve b katsayılarının anlamlı bir ilişki ifade edip etmediklerini anlamak için testler uygulanır. $H_0 : \beta = 0$ hipotezini kontrol etmek için

$$t = \frac{b}{\sigma / SS_x} = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (2.20)$$

örnekleme dağılımının serbestlik derecesi n-2 olan t dağılımı olduğu bilinmektedir. Bu durumda H_0 hipotezini kontrol etmek için, (2.9) denklemiyle hesaplanan r değerini kullanarak (2.20) denklemindeki t değeri bulunur. t değerinin seçilen z anlamlılık düzeyine karşılık gelen güven aralığı içinde kalması, H_0 hipotezinin kabulü anlamına gelir. Bu durum iki değişken arasındaki bağımlılığın doğrusal olmadığını gösterir.

2.2.2 Çok Değişkenli Doğrusal Regresyon

Y bağımlı değişkeninin $X_1, X_2, \dots, X_k$ gibi k tane bağımsız değişkenden etkilendiği kabul edilirse, değişkenler arasındaki doğrusal regresyon ($k \geq 2$):

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (2.21)$$

denklemi ile gösterilir. Bu durumda Y bağımlı değişkeninin $X_1, X_2, \dots, X_k$ bağımsız değişkenlerine göre regresyon denklemi:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k \quad (2.22)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklemde $\hat{y}$, bağımsız değişkenler $X_1=x_1, X_2=x_2, \dots, X_k=x_k$ değerlerini aldığı anda Y değişkeninin beklenen değerini gösterir. (2.22) denklemindeki $b_0, b_1, \dots, b_k$ regresyon katsayıları gözlenen y değerleriyle, tahmin edilen y değerlerinin farkı olan $e_i = y_i - \hat{y}_i$ uzaklıklarının karelerinin toplamını en küçük yapacak şekilde hesaplanır.

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - b_0 - b_1 x_1 - b_2 x_2 - \dots - b_k x_k)^2 \quad (2.23)$$

denklemini en küçük yapmak için, $b_0, b_1, \dots, b_k$ katsayılarına göre kısmi türevler alınarak sıfıra eşitlenir ve oluşan denklemlerden regresyon katsayıları elde edilir. Regresyon katsayıları sayısı arttıkça bu işlemleri yapmak oldukça zorlaşacaktır. Fakat günümüzde oluşturulan paket programlar yardımıyla regresyon analizi işlemleri kolaylıkla yapılabilmektedir (Navidi, 2006).

(2.22) denklemindeki k değişken sayısının artması, R^2 determinasyon katsayısı olarak tanımlanan ve Y bağımlı değişkeninin açıklanan varyans yüzdesini ifade eden katsayıyı arttırır. Fakat buna karşılık serbestlik derecesi artacağından en iyi denklemin belirlenmesi gerekecektir. Çok değişkenli regresyonda determinasyon katsayısı, basit doğrusal regresyondaki R^2 determinasyon katsayısına benzer şekilde hesaplanır.

$$SSE = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2, \quad SSy = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (2.24)$$

olmak üzere determinasyon katsayısı şu şekilde hesaplanır:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 - \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = \frac{SSy - SSE}{SSy} \quad (2.25)$$

Yukarıda belirtildiği gibi denklemdeki k değişken sayısının artması R^2 'yi arttıracığından, sadece R^2 değerine bakılarak hangi denklemin en uygun olduğunu belirlemek doğru olmayabilir. Bunun yerine

$$R_a^2 = 1 - \frac{n-1}{n-k-1} \frac{SSE}{SS_y} \quad (2.26)$$

katsayısı en büyük olan denklem seçilebilir. Regresyon denklemindeki k bağımsız değişken sayısı arttıkça R^2 'nin değerinin de arttığı gözlenir. Bu durumda, regresyon denkleminde yapılacak tahminlerdeki hata artar. $H_0 : R = 0$ hipotezini kontrol etmek için

$$F = \frac{R^2 / k}{(1 - R^2) / (n - k - 1)} \quad (2.27)$$

şeklinde tanımlanan F istatistiği kullanılır. Bu istatistiğin dağılımı serbestlik derecesi k, n-k-1 olan F dağılımıdır. Bu denklemde hesaplanan F değeri, seçilen z anlamlılık düzeyindeki F_z kritik değerinden büyükse $R=0$ hipotezi reddedilir. Bunun anlamı değişkenler arasında anlamlı bir bağımlılık olduğudur.

(2.22) regresyon denkleminin anlamlı bir ilişkiyi ifade edip etmediği yine F istatistiği kullanılarak H_0 hipoteziyle belirlenebilir. Bağımsız değişken sayısı m olan daha karmaşık bir modeli ve bağımsız değişken sayısı $k < m$ olan daha basit bir modeli ele alalım. Karmaşık modelin basit 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 modelde kalıntıların kareleri toplamına SSE_s , karmaşık modelde kalıntıların kareleri toplamına SSE_c denilirse

$$F = \frac{(SSE_s - SSE_c)/(m-k)}{SSE_s/(n-m-1)} \quad (2.28)$$

istatistiğinin dağılımı serbestlik dereceleri m-k, n-m-1 olan F dağılımı olur. (2.28) denklemi ile hesaplanan F değeri, seçilen z anlamlılık düzeyindeki F_z kritik değerinden büyükse H_0 hipotezi reddedilir. Bu sonuç, karmaşık modelin daha iyi olduğu ya da Y'nin değişimini karmaşık modelin daha iyi açıkladığı anlamına gelir.

2.2.3 Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi

Kolaylığı sebebiyle en çok kullanılan model doğrusal regresyon modelidir. Uygulamalarda, değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığı durumlarda bile doğrusal regresyon modelinin belli bir bölge içinde fazla hatalı sonuçlar vermemesi beklenebilir (Bayazıt ve Oğuz, 1994). Değişkenlerin arasındaki ilişkinin gerçekte doğrusal olmaktan çok uzak olduğu durumlarda, doğrusal regresyon modeli yerine doğrusal olmayan regresyon modelleri tercih edilir. Bu durumda öncelikle değişkenler seçilir ve daha sonra regresyon bağıntısının biçimine karar verilir.

$$y = f(X_1, X_2, \dots) \quad (2.29)$$

denklemindeki parametreler yine $e_i = y_i - \hat{y}_i$ farklarının karelerinin toplamını en küçük yapacak şekilde hesaplanır. Fakat doğrusal olmayan regresyonda $f(X_1, X_2, \dots)$ fonksiyonu doğrusal olmayacağından, regresyon katsayılarını belirlemek için ulaşılabilecek denklemler de doğrusal olmayacaktır. Bu durumda fonksiyonu uygun bir dönüşümle doğrusal hale getirmek yapılacak işlemleri kolaylaştıracaktır. Böyle durumlarda en çok kullanılan dönüşüm logaritmik dönüşüm olmaktadır.

Çalışmada üzerinde durulan akım anahtar eğrisinde de uygulandığı gibi, doğrusal olmayan iki değişkenli regresyon denklemini çok değişkenli doğrusal regresyon denklemine çevirmek mümkündür. Bunun için $y = f(x)$ denklemi seriye açılarak k terimli bir fonksiyon haline getirilir. Böylece regresyon denklemi:

$$y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + \dots + b_kx^k \quad (2.30)$$

şeklini alır. Tahminlerdeki hatanın çok büyük olmaması için polinomun derecesinin (x_i, y_i) çiftlerinin sayısından çok küçük olması gerekir ($k \ll n$). (2.30) denkleminde $x_1 = x, x_2 = x^2, \dots, x_k = x^k$ şeklinde yeni değişkenler tanımlanırsa denklem, doğrusal regresyon denklemine dönüştürülmüş olur ve regresyon denklemi çok değişkenli doğrusal regresyon analiziyle çözülür.

2.3 Yöntemlerin İstatistiksel Olarak Karşılaştırılması

İstatistiksel çalışmalar yapılırken, tahmin edilen ya da beklenen sonuçların gözlenen değerlere yakınlığı ve elde edilen sonuçlar bazı testler yapılarak yorumlanmaktadır. Çalışmada anahtar eğrisi elde etmede kullanılan yöntemler olan, manuel yöntem, anahtar eğrisinin üstel olması hali, anahtar eğrisinin parabol olması hali ve verilere eğri uydurulması yöntemlerinin sonuçlarını karşılaştırmak için çeşitli istatistiksel testler uygulanmıştır.

2.3.1 Taraflılık (Bias)

Bir istatistik modelden parametre tahmini yapılmasında, tahminin gerçek değerden ne kadar saptığının belirlenmesi konusu en önemli konuyu teşkil etmektedir. Bu sapmalar çok farklı nedenlerden dolayı olabilmektedir. Sapmalar, genel olarak rastgele olayların doğasından kaynaklanan rastgele hatalardır. (Özcan, 2006). Örnek olarak bir paranın atılmasında beklenen parametresi 50 olmasına rağmen 52 kere yazı gelebilir. Aradaki fark olan 2 değeri ise para atmanın rastgele doğasından olan beklenen değerdir.

Taraflılık (Bias) tanımını çalışmanın konusu olan akım anahtar eğrisi üzerinde yapacak olursak, gözlenen belli seviyelere karşılık gelen Q_g değerleri gözlenen debi değerleridir. Buna karşılık ayrıca uygulanan yöntemler sonucunda Q_t ile gösterilen değerler tahmin edilen debi değerleridir. Bu durumda matematiksel olarak:

$$BIAS = Q_t - Q_g \quad (2.31)$$

olur. Bu denklemdeki Bias değeri bir adet gözlem değeri içindir. n adet gözlem değeri için Bias değeri:

$$BIAS = \frac{\sum Q_t - Q_g}{n} \quad (2.32)$$

olarak yazılır. Burada üzerinde durulması gereken önemli bir nokta, gözlenen ve tahmin edilen debi değerlerinin farkları alındığında ortaya çıkacak olan pozitif ve negatif değerlerin toplamın sonucunu küçültmesidir. Farklarla değil de farkların kareleriyle çalışılması durumunda bu sorun ortadan kalkmaktadır. Bunun için kök ortalama karesel hata denilen istatistik büyüklük kullanılır.

2.3.2 Kök Ortalama Karesel Hata (Root Mean Square Error)

Kök ortalama karesel hata, adından da anlaşılabilir olduğu gibi ortalama karesel hatanın kareköküdür. Öncelikle ortalama karesel hata (OKH) tanımını örneklendirerek yapmak gerekirse, tahmin edilen ve gözlenen debi değerlerinin farklarının karelerinin ortalaması OKH olarak ifade edilir ve (2.33) denklemiyle gösterilir.

$$OKH = \frac{\sum (Q_t - Q_g)^2}{n} \quad (2.33)$$

Ortalama karesel hatanın boyutu parametrenin boyutunun karesidir. Boyutu parametrenin boyutuyla aynı yapmak için karekök kullanılır ve (2.34) denklemiyle gösterilen kök ortalama karesel hata (KOKH) elde edilir.

$$KOKH = \sqrt{\frac{\sum (Q_t - Q_g)^2}{n}} \quad (2.34)$$

2.3.3 Akaike Bilgi Kriteri (Akaike Information Criteria)

Akaike bilgi kriteri, σ_e^2 kalıntıların varyansını, p parametre sayısını göstermek üzere

$$AIC = n(\ln \sigma_e^2) + 2p \quad (2.35)$$

denklemiyle gösterilir. Buradaki kalıntı terimi aynı seviyeye karşılık gelen tahmin edilen debilerle gözlenen debilerin farklarını ifade etmektedir. AIC değeri en küçük olan yöntem en uygun olan yöntem olarak değerlendirilir.

3. ANAHTAR EĞRİSİ ELDE ETMEDE UYGULANAN YÖNTEMLER

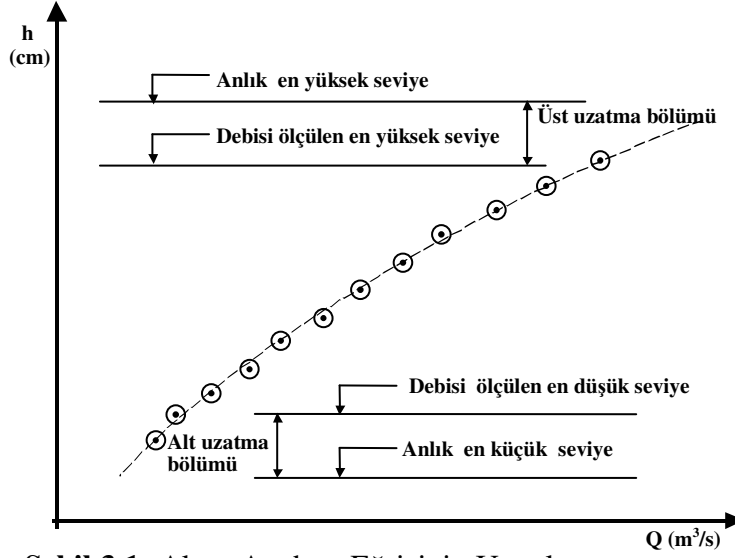
3.1 El ile Akım Anahtar Eğrisi Oluşturulması (Manuel Yöntem)

Çalışmada akım anahtar eğrisi oluşturmak için kullanılan el ile akım anahtar eğrisi oluşturma yöntemi, ülkemizde Elektrik İşleri Etüt İdaresi gibi kurumlarda kullanılan akım anahtar eğrisi oluşturma yöntemiyle küçük bir farkla ayrılmaktadır. Ülkemizdeki kurumlarda akım anahtar eğrisi oluşturulurken bu çalışmada kullanılanlardan daha az sayıda veri kullanılmaktadır. Ayrıca kurumlarda az sayıda verinin kullanılması sonucunda akım anahtarın eğrisini uzatmak ihtiyacı doğmaktadır. Bu çalışma uzun dönemli verileri kapsadığı için akım anahtar eğrilerinin uzatılmasına gerek duyulmamıştır.

Bir akım gözlem istasyonunda (AGİ) anahtar eğrisi çizebilmek için elimizde yeterli sayıda ve güvenilir akım ölçümü olması gerekir. Akım gözlem istasyonundan geçen maksimum ve minimum akımların tamamında ölçüm yapılabilmiş ise anahtar eğrisi, ölçülmüş seviye-debi verilerinin logaritmik kâğıda el ile noktalanması ve bu verilere eğri cetvelleriyle eğri çizilmesi sonucunda oluşturulur. AGİ’de çok yüksek veya çok düşük seviyeler oluştuğunda ölçüm alınamamış olabilir. Bu durumda anahtar eğrisinin uzatılması gerekebilir.

3.1.1 Akım Anahtar Eğrisinin Uzatılması

Anahtar eğrisinin uzatılması için öncelikle uzatılacak anahtar eğrisinin en yüksek ve en düşük anlık seviye değerlerinin ölçülmüş olması gerekir. Şekil 3.1’de akım anahtar eğrisinin uzatılması gösterilmiştir ve şekildeki anlık seviye, debi ölçümü yapılmamış seviye değerleridir.



Şekil 3.1: Akım Anahtar Eğrisinin Uzatılması

En yüksek ve en düşük anlık seviye değerlerini elde etmek için her yıl çıkarılan eşel en kesiti bilgileri kullanılır. Çıkarılan kesit kullanılarak kesitin en düşük kotundan maksimum seviyeye kadar eşel seviyesi (h), kesit uzunluğu (L), kesit alanı (A), ıslak çevre (P), hidrolik yarıçap (B) derinlik (D) değerleri hesaplanır. Bu değerleri kullanarak aşağıda açıklanan Stevens yönteminde kullanılmak üzere $A\sqrt{D}$ ve Manning yönteminde kullanılmak üzere $AB^{2/3}$ değerleri hesaplanır. Bu şekilde akım ölçümlerinin eşel seviyesine karşılık gelen bütün L, A, P, B, D ve $A\sqrt{D}$ ve $AB^{2/3}$ değerleri bulunur. Ülkemizde kullanılan anahtar eğrisi oluşturma yöntemi, grafiksel yöntemle matematiksel yöntemlerin bileşimi şeklindedir. Yapılan bu hesaplamalardan sonra akım anahtar eğrisi uzatma yöntemleri uygulanır.

3.1.1.1 Hız – Alan Metodu

Bu yöntemde öncelikle her bir ölçümün, farklı seviye değerlerine karşılık gelen kesit alanları bulunur. Ölçülen debiler, ölçüm seviyelerine karşı gelen kesit alanlarına bölünür ve ortalama hızlar bulunur.

$$V = \frac{Q}{A} \quad (3.1)$$

denkleminde V ortalama hızı, Q ölçülen debiyi ve A ölçüm seviyesine karşı gelen kesit alanını ifade eder. Buradan elde edilen hız - seviye değerleri logaritmik kağıtta noktalanır ve bu noktalar eğri cetvelleriyle birleştirilerek, ölçümlerden seviye - hız eğrisi elde edilir. Elde edilen noktalardan ekstrem hızlar ortaya çıkmaz. Fakat, seviyenin artmasına karşılık akım hızı belli bir değerden sonra artmayacaktır. Sonuçta ortaya çıkan eğri seviye (h) eksenine asimptotik olacaktır. Seviye-hız eğrisi çizildikten sonra değerler eğri üzerinden okunarak, anahtar eğrisi çizilecek belli seviye değerlerine (10 cm, 20 cm, 30 cm...) karşılık gelen hız değerleri bulunur. Bu hız değerlerinin kesit parametrelerinden bulunan alan değerleriyle çarpımıyla debi değerleri elde edilir. Elde edilen seviye-debi değerleri ise anahtar eğrisini uzatmakta kullanacağımız değerlerdir. Hız-alan metodu ülkemizde en çok tercih edilen anahtar eğrisi uzatma metodudur.

3.1.1.2 Manning Metodu

Manning metodunun uygulanmasında Manning formülünden yararlanılır. Bu formül

$$V = \frac{1}{N} J^{1/2} B^{2/3} \quad (3.2)$$

şeklindedir. Bu formülde V hızı, N pürüzlülük katsayısını, J su yüzü eğimini, B hidrolik yarıçapı ifade eder.

$$k = \frac{1}{N} J^{1/2} \quad (3.3)$$

Bu denklemden

$$Q = kAB^{2/3} \quad (3.4)$$

denklemini elde edilir. Süreklilik denklemi de kullanılarak

$$Q = VA = kAB^{2/3} \quad (3.5)$$

denkleminde

$$k = V / B^{2/3} \quad (3.6)$$

denklemini elde edilir. 3.6 denkleminde V kesitteki ortalama hızlar, B ise hidrolik yarıçaptır. Ölçümlerden yukarıdaki formülde bulunan her bir k değeri logaritmik kağıtta işaretlenir. k değeri istasyonun karakterine göre artan bir fonksiyon şeklinde olabildiği gibi, sabit bir değer de alabilir. k değerinin nasıl bir fonksiyon olacağı çizilen $h - k$ grafiğinden görülecektir. $h - k$ grafiğinin artan bir fonksiyon olması durumunda, eğrinin üst kısmı belli bir k değerinden sonra seviye eksenine asimptotik olacağından, k değeri belli bir seviyeden sonra sabit olur. $h - k$ grafiği çizilirken eğri yine eğri cetveli ile oluşturulur. $h - V$ grafiğine benzer olarak, bu grafikten de belli seviye değerlerine (10 cm, 20 cm, 30 cm...) karşılık gelen k değerleri okunur. Elde edilen bu değerler $AB^{2/3}$ değerleriyle çarpılarak debi değerleri elde edilmiş olur. Buradan elde ettiğimiz seviye – debi değerleri anahtar eğrisini uzatmakta kullanılır.

3.1.1.3 Stevens Metodu

Bu metod Chezy formülüne dayanır. Chezy formülü:

$$V = C\sqrt{BJ} \quad (3.7)$$

şeklinde dir. Denkleminde V değeri akım hızını, C değeri istasyona ait sabiti, B değeri hidrolik yarıçapı, J değeri su yüzü eğimini gösterir. Süreklilik denklemi de kullanılarak,

$$Q = AV = AC\sqrt{BJ} \quad (3.8)$$

denklemini bulunur. En kesitin yaklaşık olarak geniş ve sığ olduğu hallerde D ile gösterilen ortalama derinlik $D = B$ alınabilir. Yüksek seviyelerde $C\sqrt{J}$ sabit olur (Diler, 1981). Bu durumda Q değerine karşılık $A\sqrt{D}$ noktalanırsa doğruya yakın bir eğri elde edilir. Yapılan bu çalışmada, $A\sqrt{D} - Q$ değerleri logaritmik kâğıda noktalanarak eğri cetveli ile bir eğri uydurulmuştur. Yine belli seviyeler için (10 cm, 20 cm, 30 cm...), $A\sqrt{D}$ değerleri bulunur. Çizilen eğriden her bir $A\sqrt{D}$ değeri için debi değerleri okunarak uzatılacak anahtar eğrisinin seviye – debi değerleri elde edilmiş olur.

3.2 Akım Anahtar Eğrisinin Üstel Olması Hali

Genel olarak su seviyesi ile akım arasındaki ilişki, akım anahtar eğrisinin üstel olması haline karşılık gelir ve

$$Q = K(h - h_0)^s \quad (3.9)$$

formülüyle ifade edilir. Burada Q değeri ölçülen debiyi, h değeri ise ölçülen seviyeyi gösterir. K , h_0 ve s değerleri her bir akım gözlem istasyonuna ait sabitlerdir. (3.9) denkleminde debi ve seviye değişkenleri arasında doğrusal bir ilişki olmadığı açık olarak görülmektedir ve bu yüzden denklem kolaylık sağlaması açısından doğrusal olmayan regresyon analizini uygulamayı gerektirir. Denkleminde logaritmik dönüşüm yapılması durumunda, doğrusal olmayan regresyon analizi yerine basit doğrusal regresyon analizi yapılabilmesi sağlanmış olur. Denkleminde eşitliğin her iki tarafının logaritması alındığında denklem,

$$\log Q = \ln K + s \log(h - h_0) \quad (3.10)$$

halini alır. $v = \log Q$, $u = \log(h - h_0)$ şeklinde yeni değişkenler tanımlanır ve $\ln K = a$, $n = b$ alınırsa,

$$v = a + bu \quad (3.11)$$

denkleminde ulaşılır ve bu denklem v bağımlı değişkeninin u bağımsız değişkenine göre basit doğrusal regresyon denklemidir. (2.16) ve (2.17) denklemleri kullanılarak a ve b katsayıları hesaplanır.

Burada üzerinde durulması gereken önemli bir nokta da h_0 değerinin bulunmasıdır. (3.9) denklemi logaritmik eşelde bir doğru denklemini ifade eder. Bunun anlamı, Q ve $h - h_0$ değerleri logaritmik kâğıtta noktalandığında, noktaların bir doğru çevresinde toplanmasıdır. h_0 değerini bulmak için Q değeri x eksenine, $(h - h_0)$ değeri y eksenine gelecek şekilde noktalama yapılır. Logaritmik kâğıtta Q ve $(h - h_0)$ arasındaki ilişkiyi doğrusal bir ilişkiye en fazla yakınlatacak h_0 değeri, aradığımız değerdir ve deneme-

yanılma yoluyla belirlenir (Bayazıt, 1999). h_0 değeri, çalışmada uygulanan h_0 bulma yöntemi olan logaritmik eşelde tatonman yapılması yöntemi dışında yatak profili kullanılarak, geometrik ortalama metoduyla ve

$$h_0 = \frac{h_1 h_3 - h_2^2}{h_1 - 2h_2 + h_3} \quad (3.12)$$

denklemini kullanılarak da hesaplanabilir. Bu denklemde h_1 , h_2 ve h_3 değerleri akarsuyun boy kesiti boyunca birbirinden farklı eşel seviyeleridir (Diler, 1981).

(3.11) regresyon denklemi çözüldükten sonra, ters dönüşüm uygulanarak (3.9) denklemindeki K ve s katsayıları hesaplanmış olur. Sonuçta her bir seviyeye karşılık gelen debi değerlerinin elde edilmesini sağlayan (3.9) denklemi (akım anahtar eğrisi denklemi) bulunmuş olur.

3.3 Akım Anahtar Eğrisinin Parabol Olması Hali

Akım anahtar eğrisinin parabol olması halinde regresyon denklemi

$$y = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 \quad (3.13)$$

olarak ifade edilebilir. Bu denklemde y bağımlı değişkeni debi değerlerini, x bağımsız değişkenleri ise seviye değerlerini ifade eder. Denklemde $x_1 = x$, $x_2 = x^2$ şeklinde değişkenler tanımlanırsa (3.13) denklemi, bölüm 2.2.2’de açıklanan çok değişkenli doğrusal regresyon analiziyle çözülür.

3.4 Verilere Eğri Uydurularak Akım Anahtar Eğrisinin Elde Edilmesi

Akım anahtar eğrisi oluşturmak için kullanılan verilere eğri uydurulması yöntemi, yine regresyon analizi yapılarak uygulanmıştır. Burada regresyon denklemi

$$y = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 + \dots + b_k x^k \quad (3.14)$$

şeklinde ifade edilen çok değişkenli doğrusal regresyon denklemidir. Bu denklemde y bağımlı değişkeni debiyi, x bağımsız değişkenleri ise seviyeyi temsil etmektedir. Bu denklemin çözümü çok değişkenli doğrusal regresyon analiziyle bulunur.

Verilere eğri uydurulması yönteminde, anahtar eğrisinin parabol olması yönteminden farklı olarak, polinomun derecesi olan k değeri 2'den büyük seçilmektedir. Uygulamada polinomun derecesi en fazla $k=5$ olarak seçilmiştir. Polinomun derecesi, bölüm 4'te açıklanacağı gibi, determinasyon katsayılarının ve Excel programıyla verilere eğri uydurularak elde edilen dağılım grafiklerinin değerlendirilmesiyle belirlenmiştir.

4. UYGULAMA

Çalışmanın bu aşamasında önceki bölümlerde anlatılan bilgiler ışığında, yapılan çalışmanın uygulaması anlatılacaktır.

4.1 Çalışmada Kullanılan Veriler

Bu çalışmada kullanılan veriler, Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından yapılan debi ve seviye ölçümlerinden oluşmaktadır. Türkiye’de toplam 26 havza ve bu havzalara ait halen işletilmekte olan 298 adet akım gözlem istasyonu (AGİ) bulunmaktadır. Çalışmada oluşturulan akım anahtar eğrileri, bu havzalardan 7’sinde bulunan toplam 17 AGİ’ye uygulanmıştır. Akım anahtar eğrilerinde her bir seviye-debi çifti kendi başına önem arz ettiği için AGİ’ler seçilirken, ölçümlerin düzenli ve sürekli yapıldığı AGİ’ler tercih edilmiştir. Akım anahtar eğrisinin akarsuyun gerçeğe en yakın debi değerlerini temsil edebilmesi için çok sayıda ölçüme ihtiyaç olduğundan, uzun yıllar akım ölçümü yapılan AGİ’ler tercih edilmiştir.



Şekil 4.1: Türkiye Akarsuları Havza Haritası (www.eie.gov.tr)

Şekil 4.1’de Türkiye’deki havzalar sınırları ile birlikte görülmektedir. Taralı olarak gösterilen havza alanları, Fırat havzasının yukarı Fırat, aşağı Fırat ve Orta Fırat olmak üzere üç bölümünü göstermektedir. Bu haritadaki havza isimleri yanında bulunan numaralar havza numaralarıdır. Tablo 4.1’de bu çalışmada kullanılan istasyonlar ve bu istasyonların bazı özellikleri yer almaktadır.

Tablo 4.1: Çalışmada Kullanılan İstasyonlar ve İstasyonların Bazı Özellikleri.

Havza Adı	İstasyon No	İstasyon Adı	Gözlem Aralığı	Kot (m)	Yağış Alanı (km ²)
Müteferrik Orta Akdeniz Suları	912	Manavgat Çayı-Sinanhoca	1963–2005	245	645.6
Yeşilırmak	1430	Köroğlu Deresi-Köroğlu	1997–2004	1475	342.5
Kızılırmak	1501	Yamula	1975–1997	995	15581.6
	1535	Söğütlühan	1966–1999	1245	6607.6
	1539	Bulakbaşı	1971–1999	1298	1642.0
Müteferrik Doğu Akdeniz Suları	1732	Kadıncık Çayı-Kurtçukuru	1994–2005	443	301.0
Seyhan	1801	Göksu Nehri-Himmetli	1981–2005	665	2596.8
	1805	Göksu Nehri-Gökdere	1983–2005	312	4242.8
	1822	Zamanti Nehri-Fraktin	1972–2006	1270	6334.8
	1823	Zamanti Nehri-Emeğil	1974–1999	1453	2756.0
	1827	Zamanti Nehri-Değirmenocağı	1990–2006	740	7718.0
Fırat	2119	Fırat Nehri-Kemahboğazı	1964–2005	1123	10356.0
	2135	Bulam Çayı-Fatopaşa	1991–2005	1252	154.8
	2145	Tohma Suyu-Hisarcık	1992–2005	933	5780.8
	2151	Fırat Nehri-Demirkapı	1963–2005	1355	8185.6
	2156	Fırat Nehri-Bağıtaş	1969–2005	865	15562.0
Aras	2402	Aras Nehri-Kağızman	1962–2005	1140	8872.8

Bu çalışmada Mütferrik Orta Akdeniz sularından 912 numaralı Sinanhoca AGİ, Yeşilırmak havzasından 1430 numaralı Köroğlu AGİ, Mütferrik Doğu Akdeniz sularından 1732 numaralı Kurtçukuru AGİ ve Aras havzasından 2402 numaralı Kağızman AGİ olmak üzere her havzadan birer AGİ seçilmiştir. Kızılırmak havzasından 1501 numaralı Yamula AGİ, 1535 numaralı Söğütluhan AGİ ve 1539 numaralı Bulakbaşı AGİ olmak üzere üç AGİ seçilmiştir. Seyhan havzasından 1801 numaralı Himmetli AGİ, 1805 numaralı Gökdere AGİ, 1822 numaralı Fraktin AGİ, 1823 numaralı Emeğil AGİ, 1827 numaralı Değirmenocağı AGİ ve Fırat havzasından 2119 numaralı Kemahboğazı AGİ, 2135 numaralı Fatopaşa AGİ, 2145 numaralı Hisarcık AGİ, 2151 numaralı Demirkapı AGİ, 2156 numaralı Bağıştaş AGİ olmak üzere beşer adet AGİ seçilmiştir. Bu AGİ'lerde akım anahtar eğrisi için kullanılan veri bakımından 43 yıl ile Kağızman AGİ (2402) en fazla veriye, 7 yıl ile Köroğlu AGİ (1430) en az veriye sahiptir.

Seçilen bu AGİ'lerde veriler değerlendirilirken öncelikle buz ölçümleri olarak tanımladığımız, akarsuyun donması durumunda yapılan ölçümler çalışmaya dahil edilmemiştir. Ölçülen seviye-debi çiftlerinin değerlendirilmesinde diğer bir aşama da Bölüm 3'te ifade edildiği gibi iki veya daha fazla anahtar eğrisi çizilmesini gerektiren durumlardır. Yapılan bu çalışmada istasyon yerinin değiştirilmesi (sağ veya sol sahile ya da yakın bir yere taşınması) veya yatakta meydana gelen oyulmalar veya dolmalar sonucunda eşel sıfırının aşağı veya yukarı çekilmesini gerektiren durumlarda birden çok anahtar eğrisi çizilmesi gerekmiş ve bu doğrultuda ölçüm grupları oluşturulmuştur. Elimizdeki verilerin ölçüm tarihi sırasına göre sıralanması sonucunda anahtar eğrisinin değiştiği yer tespit edilmiş ve bazı istasyonlar için birden fazla veri grubu (ölçülmüş seviye-debi grupları) ortaya çıkmıştır. Her bir AGİ için yapılan bu çalışma sonucunda 56 adet veri grubu ortaya çıkmıştır. Tablo 4.2'de anahtar eğrileri oluşturulacak olan istasyonların adları, açıklanan sebeplerden dolayı ortaya çıkan ölçüm grupları ve bu grupların veri sayıları gösterilmiştir.

Tablo 4.2: Akım Gözlem İstasyonları ve Akım Anahtar Eğrileri Oluşturulan Gözlem Aralıkları.

İstasyon No	İstasyon Adı	Gözlem Aralığı	Veri Gruplarına Göre Gözlem Aralığı	Veri Sayısı	Toplam Veri Sayısı
912	Manavgat Çayı Sinanhoca	1963–2005	1963-1976	119	468
			1976-2005	349	
1430	Köroğlu Deresi Köroğlu	1997–2004	1997-2004	94	94
1501	Yamula	1975–1997	1975-1985	119	312
			1985-1997	193	
1535	Söğütlühan	1966–1999	1966-1971	81	496
			1971-1981	172	
			1981-1986	44	
			1986-1992	71	
			1992-1999	128	
1539	Bulakbaşı	1971–1999	1971-1973	30	428
			1973-1977	77	
			1977-1980	54	
			1980-1984	48	
			1984-1988	52	
			1988-1992	47	
			1992-1999	120	
1732	Kadıncık Çayı Kurtçukuru	1994–2005	1994-1998	45	138
			1998-2005	93	
1801	Göksu Nehri Himmetli	1981–2005	1981-1990	113	286
			1990-1993	24	
			1993-1998	55	
			1998-2002	48	
			2002-2005	46	
1805	Göksu Nehri Gökdere	1983–2005	1983-1987	48	250
			1987-2005	202	
1822	Zamanti Nehri Fraktin	1972–2006	1972-1979	72	426
			1979-1983	43	
			1983-1993	116	
			1993-2002	100	
			2002-2006	93	
1823	Zamanti Nehri Emeğil	1974–1999	1974-1976	25	319
			1976-1982	69	
			1982-1997	176	
			1997-1999	49	
1827	Zamanti Nehri Değirmenocağı	1990–2006	1990-1994	53	290
			1994-2006	237	

Tablo 4.2: (Devam)

İstasyon No	İstasyon Adı	Gözlem Aralığı	Veri Gruplarına Göre Gözlem Aralığı	Veri Sayısı	Toplam Veri Sayısı
2119	Fırat Nehri Kemahboğazı	1964–2005	1964-1969	104	625
			1969-2005	521	
2135	Bulam Çayı Fatopaşa	1991–2005	1991-1996	58	162
			1996-2005	104	
2145	Tohma Suyu Hisarcık	1992–2005	1992-2005	166	166
2151	Fırat Nehri Demirkapı	1963–2005	1963-1968	68	559
			1968-1971	39	
			1971-1976	83	
			1976-1996	254	
			1996-2005	115	
2156	Fırat Nehri Bağıştaş	1969–2005	1969-1981	146	427
			1981-1992	127	
			1992-1999	77	
			1999-2005	77	
2402	Aras Nehri Kağızman	1962–2005	1962-1970	81	441
			1970-1981	159	
			1981-1984	37	
			1984-1992	94	
			1992-2005	70	

Tablo 4.2’yi bir örnekle açıklamak gerekirse 912 numaralı Manavgat çayı Sinanhoca AGİ’nin yeri 12.10.1976 tarihinde değiştirilmiştir. Bu sebeple 1976 su yılının ilk ölçümünden itibaren ikinci bir anahtar eğrisi çizilmiştir. Bu durumda 1963 su yılından başlayarak 1976 su yılına kadar (1976 hariç) yapılan ölçümlerden elde edilen seviye-debi gözlemleri ve 1976 su yılından başlayarak 2005 su yılına kadar (2005 hariç) yapılan ölçümlerden elde edilen seviye-debi gözlemleriyle iki adet veri grubu oluşmuştur. Çalışmada kullanılan anahtar eğrisi oluşturma yöntemleri bu veri gruplarına uygulanmıştır.

Öncelikle veriler hakkında genel bir istatistiksel bilgi edinebilmek için bu veri gruplarının istatistiklerine bakmak gerekir (Tablo 4.3).

Tablo 4.3: İstasyonlara Ait İstatistiksel Değerler

İstasyon Adı_Gözlem Süresi	Gözlem Süresinde En Büyük Seviye (m ³ /s)	Gözlem Süresinde En Küçük Seviye (m ³ /s)	Gözlem Süresinde En Büyük Akım (m ³ /s)	Gözlem Süresinde En Küçük Akım (m ³ /s)	Gözlem Süresinde Ortalama (m ³ /s)	Gözlem Süresinde Standart Sapma (m ³ /s)	Gözlem Süresinde Değişim Katsayısı (m ³ /s)	Gözlem Süresinde Çarpıklık Katsayısı (m ³ /s)
912_63-76	4,35	0,80	436,31	3,22	78,80	73,80	0,94	1,80
912_76-05	4,76	0,79	508,61	0,34	74,80	70,60	0,94	2,15
1430_97-04	1,38	0,55	27,94	0,64	3,89	5,85	1,50	2,78
1501_75-85	5,07	1,04	1016,85	9,89	92,20	136,40	1,48	3,85
1501_85-97	3,94	0,87	707,75	6,51	112,70	150,40	1,33	2,21
1535_66-71	4,52	1,35	389,94	3,31	75,10	96,80	1,29	1,89
1535_71-81	4,62	1,31	434,98	1,67	60,80	77,80	1,28	1,96
1535_81-86	4,13	1,15	301,40	3,48	47,60	65,20	1,37	2,35
1535_86-92	3,93	0,95	266,95	2,96	38,70	49,50	1,28	2,26
1535_92-99	5,10	0,97	407,04	2,89	56,10	72,80	1,30	2,19
1539_71-73	2,62	1,36	81,02	0,76	22,40	24,60	1,10	0,96
1539_73-77	2,95	1,33	148,75	0,02	28,10	36,00	1,28	1,44
1539_77-80	2,66	1,43	88,00	0,44	22,70	24,40	1,07	0,87
1539_80-84	2,57	1,25	90,43	0,74	16,50	23,50	1,42	1,75
1539_84-88	2,66	1,37	92,05	0,64	13,90	20,20	1,45	2,08
1539_88-92	2,44	1,27	75,52	0,36	13,10	19,20	1,47	1,91
1539_92-99	3,05	1,21	138,84	0,13	18,60	27,30	1,47	2,11
1732_94-98	2,19	1,33	76,28	6,93	22,60	16,00	0,71	1,42
1732_98-05	2,11	1,17	72,42	5,63	22,10	15,30	0,69	1,32
1801_81-90	2,87	0,56	193,59	9,61	35,20	35,50	1,01	2,42
1801_90-93	1,75	0,46	92,68	10,71	27,60	18,40	0,67	2,09
1801_93-98	2,02	0,34	127,11	10,38	29,70	23,50	0,79	2,37
1801_98-02	1,30	0,10	71,81	10,14	22,50	13,90	0,62	1,81
1801_02-05	1,70	0,62	67,45	10,78	24,50	15,05	0,61	1,42
1805_83-87	2,49	1,03	164,55	14,51	50,10	40,00	0,80	1,64
1805_87-05	4,35	0,74	551,76	14,25	57,50	62,10	1,08	3,77
1822_72-79	3,77	1,88	72,62	4,32	17,80	15,10	0,85	1,97
1822_79-83	3,64	1,77	124,96	9,37	25,40	22,40	0,88	2,97
1822_83-93	3,84	1,66	158,96	3,95	20,90	20,20	0,97	3,60
1822_93-02	3,76	1,63	105,20	4,22	25,40	21,60	0,85	1,66
1822_02-06	3,69	1,60	68,42	2,98	14,20	12,30	0,87	1,97
1823_74-76	1,02	0,43	30,08	4,73	8,58	6,05	0,71	2,47
1823_76-82	1,18	0,42	33,34	3,09	10,20	5,45	0,53	2,35
1823_82-97	2,04	0,50	83,98	4,79	11,50	9,26	0,81	4,22
1823_97-99	1,26	0,60	32,92	6,33	12,50	6,51	0,52	1,75
1827_90-94	2,38	1,23	104,49	8,43	25,00	22,80	0,91	2,10
1827_94-06	2,58	0,94	112,31	1,85	24,90	21,90	0,88	1,81
2119_64-69	5,72	0,05	1118,57	11,94	191,10	207,90	1,09	1,91
2119_69-05	5,67	0,05	761,13	13,36	111,40	122,10	1,10	2,21

Tablo 4.3: (Devam)

İstasyon Adı_Gözlem Süresi	Gözlem Süresinde En Büyük Seviye (m ³ /s)	Gözlem Süresinde En Küçük Seviye (m ³ /s)	Gözlem Süresinde En Büyük Akım (m ³ /s)	Gözlem Süresinde En Küçük Akım (m ³ /s)	Gözlem Süresinde Ortalama (m ³ /s)	Gözlem Süresinde Standart Sapma (m ³ /s)	Gözlem Süresinde Değişim Katsayısı (m ³ /s)	Gözlem Süresinde Çarpıklık Katsayısı (m ³ /s)
2135_91-96	1,68	1,21	12,29	1,46	3,61	2,47	0,68	2,05
2135_96-05	1,76	1,23	9,77	1,14	3,57	2,06	0,58	1,19
2145_92-05	2,68	0,59	133,19	8,81	25,40	23,20	0,91	2,83
2151_63-68	3,12	0,61	471,33	13,79	99,10	104,40	1,05	1,43
2151_68-71	3,89	0,98	758,42	13,55	124,50	169,20	1,36	2,31
2151_71-76	3,72	0,82	501,15	8,15	83,60	84,60	1,01	1,94
2151_76-96	3,99	0,82	654,57	7,16	93,60	117,20	1,25	1,82
2151_96-05	4,30	0,73	700,42	12,91	65,30	88,30	1,35	4,10
2156_69-81	6,40	1,10	774,24	54,49	148,20	112,50	0,76	2,18
2156_81-92	6,99	1,06	832,39	53,25	167,80	152,10	0,91	2,39
2156_92-99	6,21	1,15	651,77	57,48	170,30	134,70	0,79	2,12
2156_99-05	6,99	1,18	869,37	56,41	157,70	131,90	0,84	2,76
2402_62-70	3,50	0,52	786,60	8,99	62,50	116,10	1,86	4,99
2402_70-81	2,39	0,64	323,13	10,48	70,20	80,90	1,15	1,55
2402_81-84	2,27	0,65	312,46	13,45	55,40	69,50	1,25	2,30
2402_84-92	2,80	0,66	512,94	7,93	58,50	89,30	1,53	3,37
2402_92-05	2,40	0,61	330,70	10,27	63,10	77,80	1,23	1,84

Çalışmanın bu aşamasından sonra ortaya çıkan veri gruplarıyla öncelikle el ile uygulanan yöntem (manuel yöntem) kullanılarak anahtar eğrisi elde edilmiştir.

4.2 Manuel Yöntem Uygulaması

Bölüm 3.1’de genel olarak açıklanan bu yöntemde öncelikle elimizdeki seviye-debi çiftleri Tablo 4.2’de gösterilen her bir grup için ayrı logaritmik kağıda noktalanmıştır. Bu noktalama yatay eksene m³/s biriminde debiler ve düşey eksene cm biriminde seviyeler el ile noktalanarak yapılmıştır. Bu noktalama sonucunda ortaya çıkan dağılıma eğri cetvelleri kullanarak eğri çizilmiş ve anahtar eğrisi elde edilmiştir. Oluşturulan anahtar eğrilerinde 10 cm, 20 cm, 30 cm... gibi 10’un katları olan seviyelere karşılık gelen debiler okunmuş ve anahtar eğrisi açılım tablosu oluşturulmuştur. Örnek olarak Tablo 4.4’te 912 numaralı AGİ’nin anahtar eğrisi açılım tablosunun bir bölümü gösterilmektedir. Bu tabloda 10’un katları olan seviye değerleri oluşturulan anahtar eğrisinden okunmuş ve ara değerler

$$\frac{h_{i+1} - h_i}{h_{i+2} - h_i} = \frac{Q - Q_i}{Q_{i+1} - Q_i} \quad (4.1)$$

denklemini kullanarak interpolasyonla hesaplanmıştır. Bu denklemde h değerleri cm cinsinden seviyeyi, Q değerleri ise m^3/s cinsinden debileri ifade etmektedir.

Tablo 4.4: Akım Anahtar Eğrisi Açılım Tablosu

İstasyon No-Gözlem Aralığı (912-1963_1976)	
Seviye (cm)	Debi (m^3/s)
70	0,980
71	1,187
72	1,394
73	1,601
74	1,808
75	2,015
76	2,222
77	2,429
78	2,636
79	2,843
80	3,050
81	3,455
82	3,860
83	4,265
84	4,670
85	5,075
86	5,480
87	5,885
88	6,290
89	6,695
90	7,100

Bu şekilde oluşturulan akım anahtar eğrisi açılım tablosuyla, akım anahtar eğrisi manuel yöntemle hesaplanmış olur.

4.3 Akım Anahtar Eğrisinin Üstel Olması Hali Uygulaması

Çalışmada uygulanan diğer yöntem olan anahtar eğrisinin üstel olması hali Bölüm 3.2’de ayrıntılarıyla anlatılmıştır. (3.9) denklemine logaritmik dönüşüm uygulanması sonrasında h_0 değerinin bulunması için Excel programı kullanılmıştır. Log Q değerleri yatay eksene, $\log(h-h_0)$ değerleri ise düşey eksene noktalanmak üzere Excel programında dağılım grafiği çizilmiş ve doğrusal eğilim çizgisi eklenerek R^2 determinasyon katsayısı gözlenmiştir. Yine Excel’de yapılan programlama (makro oluşturma) ile determinasyon katsayısını en büyük veren h_0 değeri belirlenmiştir. Bu h_0 değeri (3.9) denklemde bulunan aradığımız h_0 değeridir. Bu aşamadan sonra Bölüm 3.2’de açıklandığı gibi ters dönüşüm uygulanmış ve s ve k katsayılarının

bulunmasıyla (3.9) regresyon denklemiyle ifade edilen akım anahtar eğrisi denklemi elde edilmiştir.

4.4 Akım Anahtar Eğrisinin Parabol Olması Hali Uygulaması

Akım anahtar eğrisinin parabol olması hali, uygulamada yine Excel programı kullanılarak incelenmiştir.

$$Q = b_1 + b_2h + b_3h^2 \quad (4.2)$$

(4.2) regresyon denkleminde h bağımsız değişkeni seviyeyi, Q bağımsız değişkeni ise debiyi temsil etmektedir. Excel’de regresyon uygulamasında, seviye (h) ve seviyenin karesi (h^2) bağımsız değişken, Q ise bağımlı değişken alınarak regresyon işlemi yapıldığında karşımıza bazı tablolar çıkmaktadır. Excel’de özet çıkışı adıyla yer alan bu tablolar regresyon istatistikleri (regression statistics), Anova (Analysis of variance / Varyans analizi) ve anahtar regresyon çıkışı (key regression output) başlıkları altında üç bölümden oluşmaktadır. Bunlardan birincisi olan regresyon istatistikleri Tablo 4.5’te gösterilmiştir. Örnek üzerinde göstermek için 912 numaralı istasyonun 1963–1976 su yılları arasındaki seviye-debi değerlerine Excel’de uygulanan regresyon analizi sonucu ortaya çıkan tablolar gösterilmiştir.

Tablo 4.5: Regresyon İstatistikleri Tablosu

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0.990
R Kare	0.981
Ayarlı R Kare	0.980
Standart Hata	10.341
Gözlem	119

Bu tablodaki satırları maddeler halinde açıklanmıştır:

- Çoklu R (Multiple R) değeri (2.25) denkleminde gösterilen R^2 determinasyon katsayısının kareköküdür. gözlenen y ve tahmini y ($\hat{y}$) arasındaki korelasyonu ifade eder. Tablodaki çoklu R değerinin 1’e yakın olması (0.99) değişkenler arasında kuvvetli bir bağımlılık olduğunu gösterir.

- R kare (R square) yukarıda anlatılan R^2 determinasyon katsayısıdır ve y bağımlı değişkeninin varyansının x bağımsız değişkenlerinin değişiminden kaynaklanan yüzdesini gösterir.
- Ayarlı R kare (Adjusted R square) değeri

$$R^2_a = \frac{(1 - R^2)(k - 1)}{n - k} \quad (4.3)$$

denklemlerle ifade edilir. Bu denklem (2.26) denkleminin aynısıdır ve örneğimizde $k = 2$ değişken sayısı (polinomun derecesi), $n = 119$ ise gözlem sayısıdır.

- Standart hata (Standard error)

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (4.4)$$

olmak üzere

$$SH = \sqrt{\frac{SSE}{n - k}} \quad (4.5)$$

denklemlerle hesaplanır. Standart hata, (2.21) denklemindeki ε hata teriminin tahmini standart sapması veya regresyonun standart hatası olarak da ifade edilir.

- Gözlem değeri ise örneğimizde $n = 119$ olan gözlenen seviye-debi çiftlerinin sayısıdır.

Excel programında ve bir çok istatistik paket programlarında karşımıza çıkan tablolardan biri de Tablo 4.6'da gösterilen Varyans analizi (Anova) tablosudur.

Tablo 4.6: Varyans Analizi Tablosu

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	2	630744.243	315372.1	2948.098	3.6E-100
Fark	116	12409.074	107.0		
Toplam	118	643153.317			

Bu tablodaki *df* terimi serbestlik derecesini (degree of freedom), *SS* terimi kareler toplamını (sum of squares), *MS* terimi kareler ortalamasını (mean of squares), *F*

terimi ise F istatistiğini ifade eder. F istatistiğinin dağılımı serbestlik derecesi k, n-k-1 olan F dağılımıdır. Tabloda görülen F değeri,

$F = [\text{Regresyon SS} / (k-1)] / [\text{Fark SS} / (n-k)]$ şeklinde hesaplanır. Hesaplanan F değeri, seçilen α anlamlılık düzeyindeki F_{α} kritik değerinden büyükse $H_0: R=0$ hipotezi reddedilir. Bunun anlamı değişkenler arasında anlamlı bir bağımlılık olduğudur. *Anlamlılık F* değeri ise p değeri olarak da ifade edilir ve $H_0: b_1 = b_2 = 0$ hipotezinin kabul edilmeye başlandığı düzeyi gösterir. p değerinin 0.05 değerinden küçük olması H_0 hipotezinin reddedildiğini, dolayısıyla regresyonun anlamlı olduğunu ifade eder.

Excel’de regresyon uygulamasında ortaya çıkan tablolardan biri de Tablo 4.7 ile gösterilen anahtar regresyon çıkışıdır.

Tablo 4.7: Anahtar Regresyon Çıkışı

	Katsayılar	Standart Hata	t Stat	P-değeri	Düşük %95	Yüksek %95
Kesişim	-95.990	6.379	-15.048	4.88E-29	-108.624	-83.356
h	91.855	6.617	13.882	2.06E-26	78.750	104.960
h ²	8.786	1.584	5.546	1.87E-07	5.648	11.924

b_i terimini i’inci regresyon parametresinin toplam katsayısı olarak tanımlarsak, tablodan b_1 parametresi kesişim katsayısını, b_2 parametresi h’nin regresyon katsayısını ve b_3 parametresi h²’nin regresyon katsayısını ifade eder. Katsayılar sütunu b_i ’nin en küçük kareler tahminini ifade eder.

- Standart hata sütunu b_i ’nin en küçük kareler tahmininin standart hatasını ifade eder.
- t Stat sütunu $H_0: b_i = 0$ hipotezine karşılık $H_1: b_i \neq 0$ hipotezinin kontrolü için hesaplanan t istatistiği değerlerini gösterir. Tabloda katsayıların standart hata değerlerine bölünmesiyle t değerleri bulunur. t değerleri serbestlik derecesi n-k olan kritik t değerleriyle karşılaştırılır. Tablodaki örnekte n = 119 ve k = 3 olmaktadır.
- P değeri yine $H_0: b_i = 0$ hipotezine karşılık $H_1: b_i \neq 0$ hipotezinin kontrolü için kullanılır. Tabloda P değerinin 0.05 değerinden küçük olduğu görülür ve bunun anlamı h ve h² bağımsız değişkenlerinin her ikisi için de regresyonun anlamlı olduğudur.

- *Düşük % 95 ve Yüksek % 95* sütunları, % 95 güven düzeyindeki güven aralıkları sınırlarını göstermektedir.

Sonuç olarak akım anahtar eğrisinin parabol olması hali için 912 numaralı istasyonun 1963–1976 su yılları arasındaki akım anahtar eğrisi denklemi: $Q = -95.990 + 91.855h + 8.786h^2$ şeklinde yazılabilmektedir. Bu denklem, Tablo 4.7’de bütün sütunlarda bulunan sayılar virgülden sonra üç basamak alınarak yazılmıştır.

4.5 Verilere Eğri Uydurulması

Akım anahtar eğrisi oluşturmak için kullanılan diğer bir yöntem de verilere eğri uydurulması yöntemidir. Verileri kullanılan 17 istasyonda zaman içinde nehir yatağındaki değişimler ve istasyonun yer değiştirmesi gibi sebeplerle ortaya çıkan 56 adet veri grubuna Excel programı kullanılarak eğri uydurulmuştur. Bunun için seviye değerleri yatay eksene, debi değerleri düşey eksene konulmak üzere Excel’de dağılım grafiği çizilmiş ve ortaya çıkan grafiklere eğilim çizgisi eklenmiştir. Eklenen eğilim çizgisinin türü polinom olarak seçilmiş ve polinomun derecesi artırılarak ortaya çıkan grafikler incelenmiştir. Polinomun derecesinin, dolayısıyla parametre sayısının artması parametre tahmininde yapılacak hatanın artması anlamına da geldiğinden polinomun derecesi en fazla 5 olarak seçilmiştir.

$$y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + \dots + b_kx^k \quad (4.6)$$

Excel programı, yukarıdaki çalışmalar yapıldıktan sonra, (4.6) denklemiyle gösterilen formda sonuçlar verir. Bu denklemde, y bağımlı değişkeni debiyi, x bağımsız değişkeni ise seviyeyi ifade eder. Denklemdeki en fazla 5 olarak seçilen k değeri, polinomun derecesidir. Polinomun derecesinin kaç olacağı öncelikle R^2 determinasyon katsayısının büyüklüğüne bakılarak belirlenmiştir. Fakat her derece artırılışında R^2 değeri artarken tahminlerdeki hata artacağından mümkün olan en düşük dereceli parabol tercih edilmiştir. Bununla birlikte Excel’le elde edilen dağılım grafiklerinin en uygunu, bu grafiklerin çıktıları gözlenerek seçilmiştir. Bu seçim, Excel programı kullanılarak oluşturulan eğilim çizgilerinin seviye-debi çiftlerinin dağılımını en iyi ifade edenleri seçilerek yapılmıştır. Akım anahtar eğrisinde en büyük ve en küçük debilerin tahmini önem taşımaktadır. Akım anahtar eğrisi

oluşturmak için kullanılan yöntemlerin en büyük ve en küçük seviyelerde uygulanması sonucunda elde edilen tahmini debiler Tablo 4.8’de gösterilmiştir.

Tablo 4.8: Kullanılan Yöntemlerin En büyük ve En Küçük Debi Tahminleri

İstasyon Adı ve Gözlem Aralığı	Gözlenen En Büyük ve En Küçük Debiler – Seviyeler $m^3/s - m$	Eğri Uydurularak En Büyük ve En Küçük Debi (m^3/s)	Manuel Yöntemle En Büyük ve En Küçük Debi (m^3/s)	Parabol Uydurularak En Büyük ve En Küçük Debi (m^3/s)	Üstel Yöntemle En Büyük ve En Küçük Debi (m^3/s)
912_63-76	436 (4.35)	436	464	470	633
	3.22 (0.80)	0,44	3,05	-16,9	2,50
912_76-05	509 (4.76)	509	505	558	949
	0.34 (0.79)	3,71	0,38	-21,1	0,39
1430_97-04	27.9 (1.38)	26,8	27,7	26,8	31,4
	0.98 (0.55)	0,65	0,37	0,65	0,62
1501_75-85	1017 (5.07)	1015	1145	1007	1123
	12.0 (1.04)	5,00	6,98	8,42	9,11
1501_85-97	708 (3.94)	713	696	724	752
	6.67 (0.87)	8,58	6,35	4,20	7,48
1535_66-71	390 (4.52)	393	399	404	416
	3.31 (1.35)	7,44	3,82	2,29	3,79
1535_71-81	435 (4.62)	412	426	414	457
	1.67 (1.31)	3,24	1,98	2,65	3,16
1535_81-86	301 (4.13)	300	307	305	401
	3.48 (1.15)	5,44	3,43	-0,03	2,87
1535_86-92	267 (3.93)	270	196	259	283
	3.72 (0.95)	2,92	0,90	6,85	3,40
1535_92-99	407 (5.10)	396	406	408	511
	3.73 (0.97)	1,59	1,82	-4,05	2,20
1539_71-73	81.0 (2.62)	82,0	79,5	80,2	85,5
	1.04 (1.36)	1,23	0,76	2,65	0,85
1539_73-77	149 (2.95)	145	150	138	154
	0.02 (1.33)	0,33	0,07	5,71	0,17
1539_77-80	88.0 (2.66)	85,1	89,4	80,4	76,0
	0.72 (1.43)	0,43	0,88	2,36	0,76
1539_80-84	90.4 (2.57)	86,7	81,0	86,7	120
	1.60 (1.25)	0,85	0,27	0,85	0,61
1539_84-88	92.1 (2.66)	89,6	91,6	92,7	146
	1.02 (1.37)	1,06	0,59	-0,57	0,71
1539_88-92	75.5 (2.44)	71,2	75,0	71,9	84,0
	0.86 (1.27)	0,34	0,56	-0,26	0,47
1539_92-99	139 (3.05)	140	142	143	210
	1.20 (1.21)	0,75	0,08	-0,91	0,30
1732_94-98	76.3 (2.19)	75,9	78,4	75,9	79,1
	7.68 (1.33)	7,53	4,76	7,53	7,22
1732_98-05	72.4 (2.11)	70,6	72,2	70,6	71,2
	5.63 (1.17)	7,33	5,80	7,32	6,57
1801_81-90	194 (2.87)	211	239	211	240
	10.5 (0.56)	5,41	8,75	5,41	8,58

Tablo 4.8: (Devam)

İstasyon Adı ve Gözlem Aralığı	Gözlenen En Büyük ve En Küçük Debiler - Seviyeler m ³ /s - m	Eğri Uydurularak En Büyük ve En Küçük Debi (m ³ /s)	Manuel Yöntemle En Büyük ve En Küçük Debi (m ³ /s)	Parabol Uydurularak En Büyük ve En Küçük Debi (m ³ /s)	Üstel Yöntemle En Büyük ve En Küçük Debi (m ³ /s)
1801_90-93	92.7 (1.75)	92,4	93,0	92,4	95,8
	14.8 (0.46)	12,2	12,4	12,2	12,1
1801_93-98	127 (2.02)	126	127	126	123
	10.5 (0.34)	12,2	12,4	12,2	11,8
1801_98-02	71.8 (1.30)	71,5	71,0	71,5	73,1
	10.3 (0.10)	10,1	10,3	10,1	10,0
1801_02-05	67.5 (1.70)	68,3	67,5	70,7	74,9
	12.7 (0.62)	12,6	11,0	11,8	12,3
1805_83-87	164 (2.49)	167	170	167	165
	14.5 (1.03)	15,8	16,5	15,8	16,2
1805_87-05	552 (4.35)	543	553	526	660
	14.8 (0.74)	8,29	10,4	12,2	12,7
1822_72-79	72.6 (3.77)	73,7	75,9	73,7	74,0
	4.32 (1.88)	4,16	4,58	4,16	4,55
1822_79-83	125 (3.64)	122	124	114	120
	9.37 (1.77)	8,2	8,49	12,4	10,7
1822_83-93	159 (3.84)	150	127	107	88,1
	3.95 (1.66)	8,27	4,43	8,80	4,85
1822_93-02	105 (3.76)	90,8	98,8	77,2	74,0
	4.22 (1.63)	7,09	4,31	7,25	4,43
1822_02-06	68,4 (3.69)	59,0	54,3	59,0	58,3
	3.00 (1.60)	2,83	3,05	2,83	2,93
1823_74-76	30.1 (1.02)	27,0	28,8	27,0	26,6
	4.85 (0.43)	4,93	4,67	4,93	4,80
1823_76-82	33.3 (1.18)	32,1	33,6	32,1	30,1
	3.09 (0.42)	5,02	3,92	5,02	4,57
1823_82-97	84.0 (2.04)	83,2	84,0	83,2	88,5
	5.67 (0.50)	4,99	5,00	4,99	5,23
1823_97-99	32.5 (1.26)	32,9	33,5	33,4	31,1
	6.33 (0.60)	7,21	6,45	6,76	6,11
1827_90-94	105 (2.38)	102	108	104	109
	8.43 (1.23)	8,59	7,57	7,15	7,92
1827_94-06	112 (2.58)	118	119	121	134
	1.97 (0.94)	3,43	1,79	1,92	1,60
2119_64-69	1119 (5.72)	1159	1182	1117	973
	21.3 (0.05)	23,2	21,3	34,0	23,1
2119_69-05	738 (5.67)	783	843	820	884
	17.7 (0.05)	19,8	12,7	8,56	13,1
2135_91-96	11.2 (1.68)	12,3	12,6	12,3	12,3
	1.48 (1.21)	1,57	1,55	1,57	1,50

Tablo 4.8: (Devam)

İstasyon Adı ve Gözlem Aralığı	Gözlenen En Büyük ve En Küçük Debiler - Seviyeler $m^3/s - m$	Eğri Uydurularak En Büyük ve En Küçük Debi (m^3/s)	Manuel Yöntemle En Büyük ve En Küçük Debi (m^3/s)	Parabol Uydurularak En Büyük ve En Küçük Debi (m^3/s)	Üstel Yöntemle En Büyük ve En Küçük Debi (m^3/s)
2135_96-05	8.82 (1.76)	10,7	12,5	10,7	11,8
	1.41 (1.23)	0,91	1,25	0,91	1,20
2145_92-05	133 (2.68)	131	143	141	162
	8.81 (0.59)	6,93	8,53	2,32	6,71
2151_63-68	471 (3.12)	458	458	458	482
	13.8 (0.61)	12,8	14,3	12,8	14,3
2151_68-71	758 (3.89)	759	771	758	848
	18.6 (0.98)	5,89	14,4	6,36	12,6
2151_71-76	501 (3.72)	503	503	499	562
	15.7 (0.82)	6,67	6,14	9,15	8,16
2151_76-96	655 (3.99)	627	661	651	840
	7.93 (0.85)	4,51	6,63	-0,30	8,77
2151_96-05	700 (4.30)	699	696	699	711
	21.3 (0.73)	10,9	10,7	10,8	12,6
2156_69-81	774 (6.40)	762	780	762	803
	57.3 (1.10)	54,2	52,7	54,2	56,4
2156_81-92	832 (6.99)	809	853	809	873
	57.8 (1.06)	37,9	51,5	37,9	49,3
2156_92-99	672 (6.21)	670	657	670	688
	57.5 (1.15)	62,9	65,0	62,9	67,1
2156_99-05	869 (6.99)	872	888	872	931
	68.5 (1.18)	68,9	63,6	58,9	64,1
2402_62-70	787 (3.50)	807	790	827	1010
	8.99 (0.52)	17,7	5,86	3,79	7,12
2402_70-81	320 (2.39)	326	309	319	314
	11.2 (0.64)	10,8	10,3	16,5	10,2
2402_81-84	313 (2.27)	294	291	291	311
	14.9 (0.65)	12,1	13,9	14,7	13,4
2402_84-92	513 (2.80)	551	620	541	591
	8.33 (0.66)	13,8	10,2	19,0	10,7
2402_92-05	331 (2.40)	342	336	345	386
	11.9 (0.61)	14,0	10,2	12,5	10,6

Bu tablonun ilk sütunda bazı gözlem aralıklarında istasyon isimleri, ikinci sütunda gözlenen en büyük ve en küçük seviye değerlerinde (parantez içinde gösterilen) gözlenen en büyük ve en küçük debiler gösterilmektedir. Diğer sütunlarda ise gözlenen en büyük ve en küçük seviyeler kullanılarak elde edilen tahmini debiler yer almaktadır. Tabloda anahtar eğrisinin parabol olması halinde çeşitli negatif değerler göze çarpmaktadır. Bu değerler, bazı durumlarda anahtar eğrisinin parabol olmasının çok düşük seviyelerde başarısız olduğu şeklinde yorumlanmaktadır. Tablo 4.8'in sonuçlarının genel değerlendirmesi, (2.34) denklemiyle ifade edilen kök ortalama karesel hata (KOKH) değerler hesaplanarak yapılmıştır.

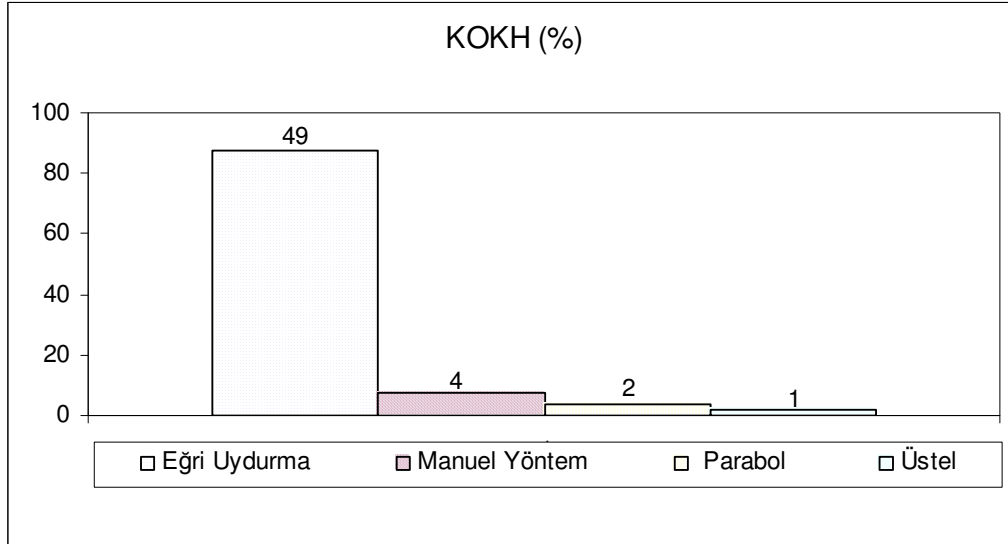
Tablo 4.9: En büyük ve En Küçük Debi Tahmininde Kök Ortalama Karesel Hata (KOKH) Değerleri

	Kullanılan Yöntemler			
	Eğri Uydurma	Manuel Yöntem	Parabol AAE	Üstel AAE
En Büyük Seviyede KOKH	12.80	31.30	19.10	89.90
En Küçük Seviyede KOKH	4.53	2.98	6.64	2.81

Tablo 4.9 incelendiğinde en küçük seviyelerde en iyi debi tahminini sırasıyla akım anahtar eğrisinin (AAE) üstel olması hali, manuel yöntem olarak tanımlanan el ile akım anahtar eğrisi oluşturma yöntemi, eğri uydurma ve üstel akım anahtar eğrisi yöntemlerinin yaptığı görülmektedir. En büyük seviyelerde debi tahmininde ise eğri uydurularak oluşturulan akım anahtar eğrisinin KOKH değerinden, gözlenen debilere en yakın sonuçları verdiği görülmektedir.

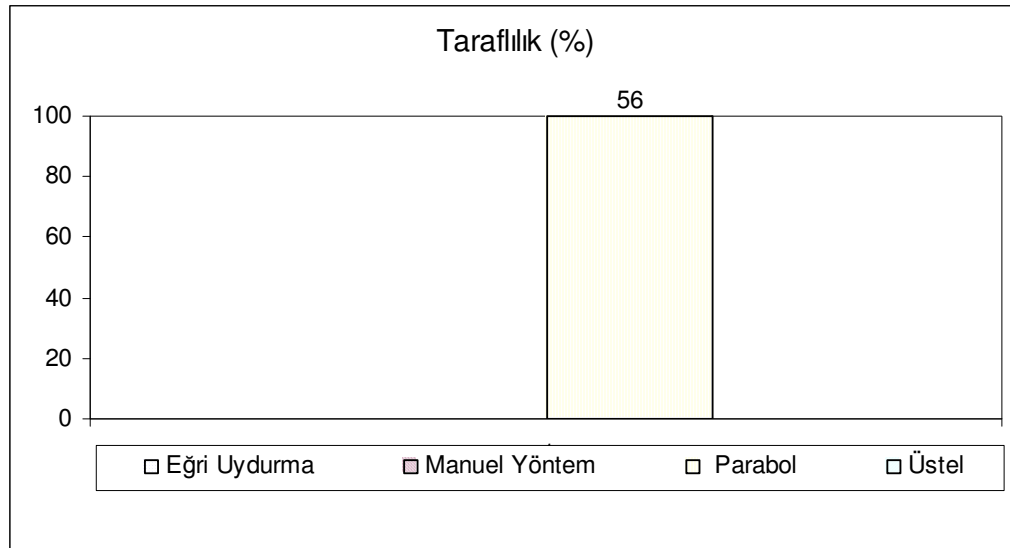
4.6 Yöntemlerin İstatistiksel Olarak Karşılaştırılması

Çalışmada kullanılan eğri uydurma, manuel yöntem, anahtar eğrisinin parabol olması hali ve anahtar eğrisinin üstel olması hali yöntemlerine bölüm 2.3'te açıklanmış olan bazı istatistiksel yöntemler uygulanmıştır. Akım anahtar eğrisi oluşturma yöntemlerini birbiriyle karşılaştırmak için kullanılan istatistiksel yöntemlerden biri olan KOKH değerleriyle elde edilen sonuçlar Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2: Kök Ortalama Karesel Hata Değerlerinin Yöntemler Bazında Sonuçları

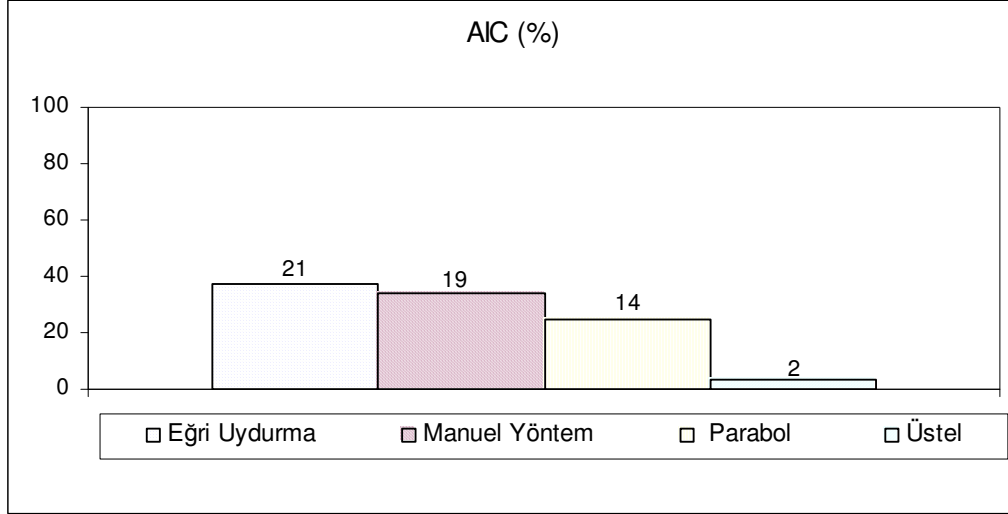
Şekil 4.2’de, uygulanan akım anahtar eğrisi oluşturma yöntemlerinden elde edilen kök ortalama karesel hata değerlerinin en küçük olmasına göre en uygun yöntem sıralaması yapılmıştır. KOKH değerinin küçük olması, uygulanan akım anahtar eğrisi oluşturma yönteminin debi tahmininde diğerlerine göre daha başarılı olduğunu göstermektedir (Tablo A1). Elimizde bulunan 56 adet seviye-debi grubunun 49’unda eğri uydurma yöntemi, 4’ünde manuel yöntem, 2’sinde akım anahtar eğrisinin parabol olması hali ve 1’inde akım anahtar eğrisinin üstel olması hali başarılı olmuştur. Bu durumda 56 adet seviye-debi grubunun %87.5’inde eğri uydurma yöntemi en iyi yöntem olmuştur. Bununla birlikte veri gruplarında %7.14 ile manuel yöntem, % 3.57 ile parabol akım anahtar eğrisi ve % 1.79 ile üstel akım anahtar eğrisi başarılı olmuştur. Sonuç olarak elde edilen KOKH değerlerini karşılaştırarak en iyi debi tahminini yapan yöntemin eğri uydurma yöntemi olduğu görülmektedir.



Şekil 4.3: Taraflılık (BIAS) Değerlerinin Yöntemler Bazında Sonuçları

Şekil 4.3’te akım anahtar eğrisi oluşturmak için kullanılan yöntemlere uygulanan istatistiksel testlerden biri olan taraflılık (Bias) değerlerinin sonuçları değerlendirilmiştir. Burada taraflılık değerlerinin 56 seviye-debi grubunun tümü için akım anahtar eğrisinin parabol olması halinin daha başarılı olduğu görülmektedir. Elde edilen tahmini debilerle gözlenen debilerin farklarının toplamlarını ifade eden taraflılıktaki (Bias) ortaya çıkan negatif değerler, uygulanan yöntemin en iyi olduğu yanılgısını ortaya çıkarabilmektedir (Tablo B1). Bu yüzden sadece taraflılık değerlerine bakılarak akım anahtar eğrisinin parabol olması halinin en iyi yöntem

olduğu sonucunu varılamamaktadır. Çalışmada uygulanan diğer bir istatistiksel test de Akaike bilgi kriteridir (Tablo C1). Akım anahtar eğrisi oluşturmak için uygulanan yöntemlerin sonuçlarını değerlendirmek için kullanılan Akaike bilgi kriteri değerlerinin sonuçların en düşük olmasına göre değerlendirmesi Şekil 4.4'te gösterilmiştir



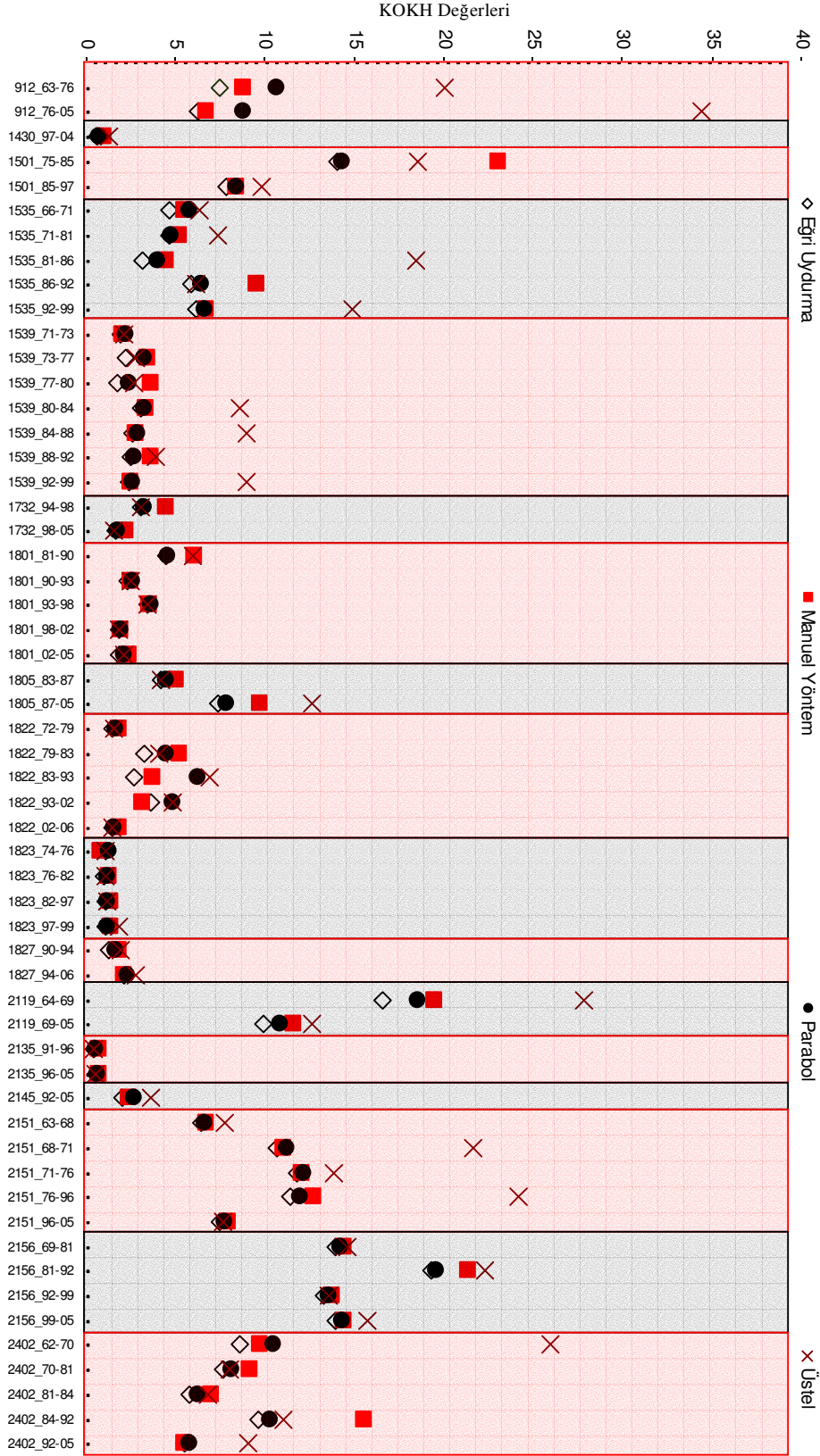
Şekil 4.4: Akaike Bilgi Kriteri Değerlerinin Yöntemler Bazında Sonuçları

Bu değerlendirme seviye-debi gruplarının kaç tanesinde Akaike bilgi kriteri değerlerinin en düşük bulunduğu sorusuna cevap aramak için yapılmıştır. 56 adet seviye-debi grubunun 21'inde eğri uydurma yöntemi, 19'unda manuel yöntem, 14'ünde akım anahtar eğrisinin parabol olması hali ve 2'sinde akım anahtar eğrisinin üstel olması hali başarılı olmuştur. Bu durumda 56 adet seviye-debi grubunun %37.5'inde eğri uydurma yöntemi en iyi yöntem olmuştur. Bununla birlikte veri gruplarında %33.93 ile manuel yöntem, % 25 ile parabol akım anahtar eğrisi ve % 3.57 ile üstel akım anahtar eğrisi başarılı olmuştur. Sonuç olarak elde edilen Akaike bilgi kriteri değerlerini karşılaştırarak en uygun akım anahtar eğrisi oluşturma yönteminin eğri uydurma yöntemi olduğu görülmektedir.

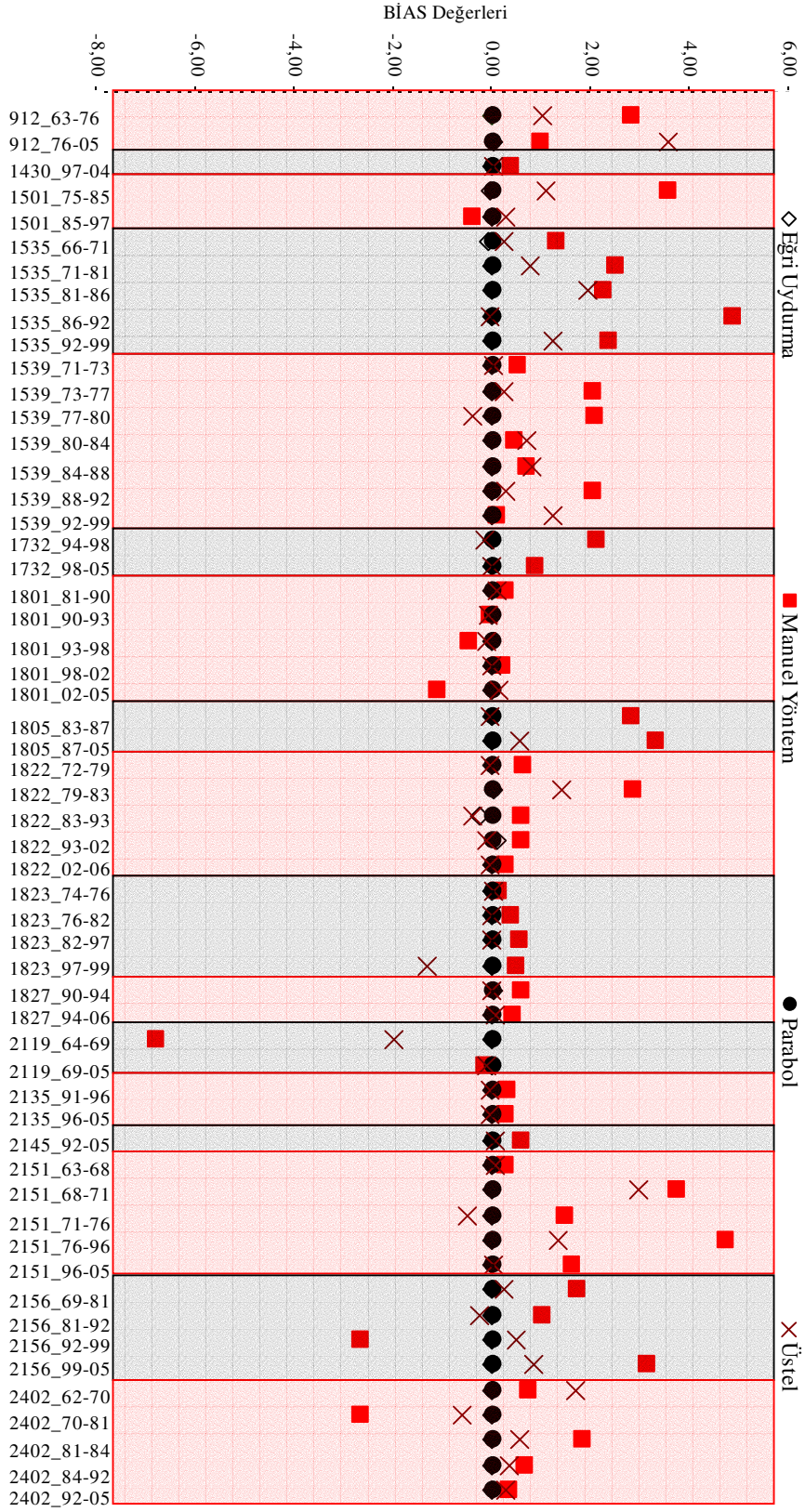
Akım anahtar eğrisi oluşturmak için uygulanan yöntemleri karşılaştırmak için kullanılan istatistiksel yöntemlere göre en iyi debi tahminini veren yöntem eğri uydurma yöntemidir. Bunun anlamı, eğri uydurularak akım anahtar eğrisi oluşturma diğer yöntemlere göre daha uygun olduğudur. En başarılı yöntem sıralamasında eğri uydurma yöntemini, manuel yöntem, akım anahtar eğrisinin parabol olması hali ve akım anahtar eğrisinin üstel olması hali izlemektedir.

Uygulanan istatistiksel yöntem sonuçlarının değerlendirilmesinde bir çok istasyonda KOKH değerlerinin birbirine çok yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bu durum bir KOKH değerinde akım anahtar eğrisi oluşturmak için uygulanan yöntemin çok başarılı olduğunu gösterirken, bu değere çok yakın bir değeri veren yöntemin başarısız olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Bir çok istasyonda taraflılık (Bias) ve Akaike bilgi kriteri değerlerinde de ortaya çıkan bu durumu ortadan kaldırmak ve elde edilecek sonuçları daha iyi değerlendirmek için, uygulanan istatistiksel yöntemlerin veri gruplarına göre dağılım grafikleri oluşturulmuştur. Akım anahtar eğrisi elde etmek için kullanılan yöntemleri karşılaştırmak için uygulanan istatistiksel büyüklüklerin sonuçlarını 56 adet seviye-debi grubuna göre gösteren dağılım grafikleri Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 ile gösterilmiştir. Bu grafiklerde yatay eksen istasyon numarası ve bu istasyona ait gözlem aralığı, dikey eksen ise uygulanan istatistiksel yöntemlerin sonuçları görülmektedir. Grafiklerde akım anahtar eğrisi oluşturmak için kullanılan yöntemlerin her birine uygulanarak ortaya çıkan istatistiksel büyüklüklerin sonuçları farklı şekil ve renklerle gösterilmiş olup, bu noktalar (gösterge anahtarları) grafiğin üst kısmına yerleştirilmiştir. Bu grafiklerde bulunan her bir dikey bölme akım gözlem istasyonlarını göstermektedir. Öncelikle Şekil 4.5’ te görülen kök ortalama karesel hata (KOKH) değerleri dağılım grafiği incelendiğinde istasyon bazında şu sonuçlar ortaya çıkmaktadır:

- Akım anahtar eğrisi oluşturmak için en uygun yöntem eğri uydurma yöntemidir.
- Akım anahtar eğrisi oluşturmada diğerlerine göre başarısız olan yöntem akım anahtar eğrisinin üstel olması halidir. Bunun sebebinin logaritmik dönüşüm kullanılması ve h_0 değerinin bulunmasındaki belirsizlikler olduğu düşünülmektedir.
- Tablo 4.1 ile gösterilmiş olan istasyonların yağış alanları göz önüne alındığında, yağış alanı büyük olan AGİ’lerde KOKH değerlerinin diğer AGİ’lere göre büyük çıktığı gözlenmektedir. Dolayısıyla yağış alanı büyük olan istasyonda akım anahtar eğrisi uydurulması, yağış alanı küçük olan istasyonlara göre başarısız olabilmektedir.



Şekil 4.5: Kök Ortalama Karese Hata (KOKH) Değerleri Dağılım Grafiği



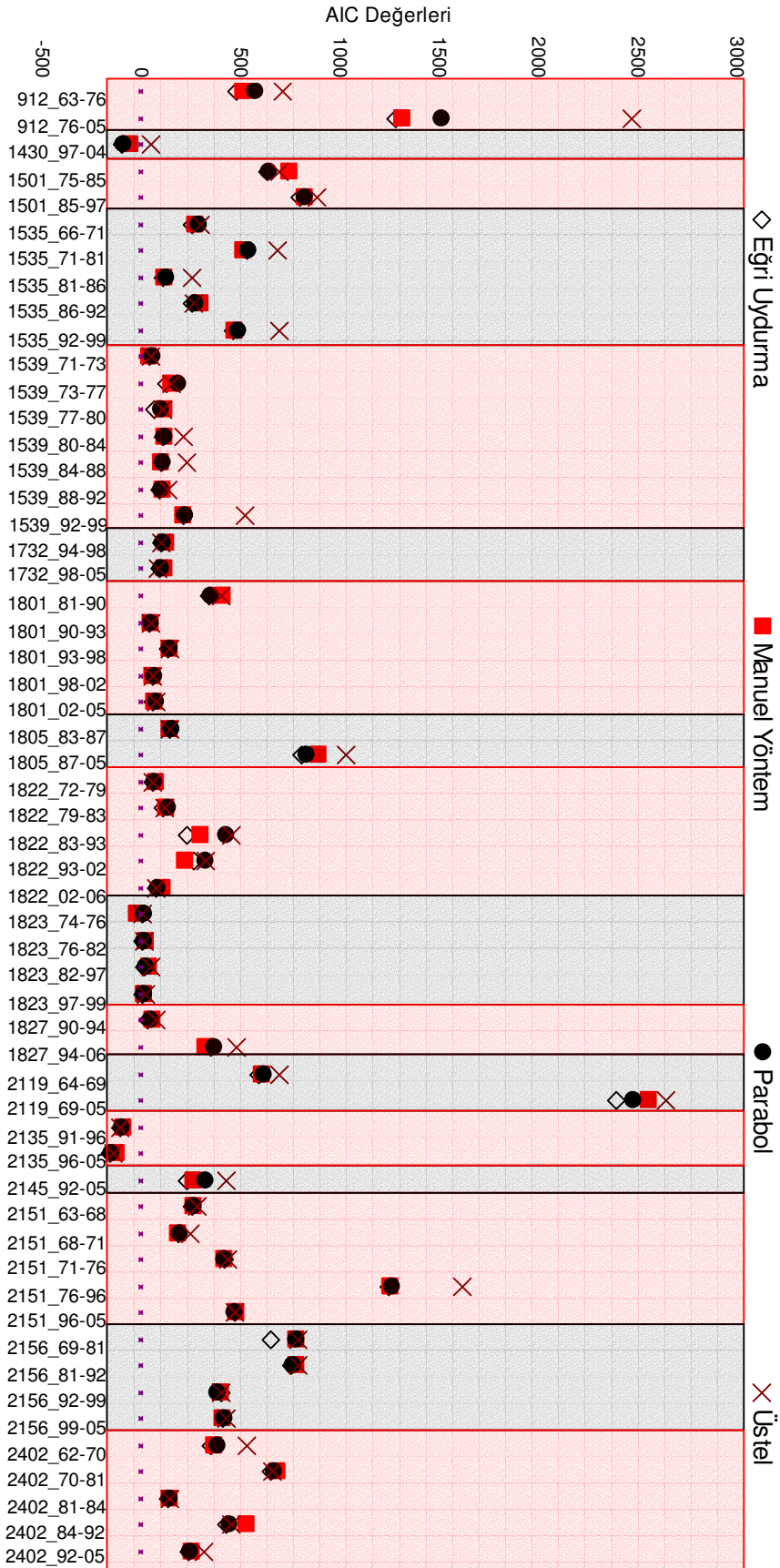
Şekil 4.6: Taraflılık (Bias) Değerleri Dağılım Grafiği

Şekil 4.6 ile gösterilen taraflılık değerleri dağılım grafiğini incelediğimizde istasyon bazında şu sonuçlar ortaya çıkmaktadır:

- Akım anahtar eğrisi oluşturmak için uygulanan yöntemlerin en başarılı olanları eğri uydurma ve akım anahtar eğrisinin parabol olması halidir. Fakat daha önce de belirtildiği gibi, taraflılık değerlerinde negatif değerler ortaya çıktığından sonuçlar 0'a yakın olabilmekte, dolayısıyla sadece taraflılık değerlerine bakılarak sonuçları değerlendirmek yanıltıcı olabilmektedir.
- Çalışmada kullanılan akım anahtar eğrileri oluşturma yöntemleriyle elde edilen tahmini debiler genel olarak gözlenen debilerden büyük çıkmaktadır.

Şekil 4.7 ile gösterilen Akaike bilgi kriteri değerleri dağılım grafiği incelendiğinde şu sonuçlar ortaya çıkmaktadır:

- Taraflılık (Bias) uygulamasında olduğu gibi tahmini debilerle gözlenen debilerin farkları ya da KOKH uygulamasında olduğu gibi farklarının kareleriyle değil de, bu farkların varyansı ile çalışıldığı için kullanılan akım anahtar eğrisi oluşturma yöntemleri birbirine daha yakın sonuçlar vermiştir.
- Eğri uydurma yöntemi ve manuel yöntem akım anahtar eğrisi oluşturmak için en başarılı yöntemlerdir.
- Yağış alanları büyük olan AGİ'lerde AIC değerleri, yağış alanı küçük olan AGİ'lere göre daha yüksek çıkmaktadır. Dolayısıyla yağış alanı küçük olan AGİ'lerde akım anahtar eğrisi oluşturulması, yağış alanı büyük olan AGİ'lere göre daha başarılı olmaktadır.



Şekil 4.7: Akaike Bilgi Kriteri (AIC) Değerleri Dağılım Grafiği

Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 grafikleri havza bazında değerlendirildiğinde şu sonuçlar göze çarpmaktadır:

- 21 numaralı Fırat havzasında yayılım diğer havzalara göre fazladır. Bunun sebebinin Fırat havzasında etkili olan kar erimesi olduğu düşünülmektedir. Dolayısıyla Fırat havzasında akım anahtar eğrisi oluşturularak debi tahmini yapılması diğer havzalara göre başarısız olmaktadır.
- 15 numaralı Kızılırmak havzasında Fırat havzasına göre daha düşük derecede olsa da yayılımın yüksek olduğu görülmektedir. Bu havzada da kar erimeleri etkisinin buna sebep olduğu anlaşılmaktadır. Dolayısıyla kar erimesinin etkili olduğu havzalarda akım anahtar eğrisi tahmini diğer havzalara göre daha başarısız olmaktadır.
- Şekiller havza bazında da değerlendirildiğinde, çalışmada kullanılan akım anahtar eğrisi oluşturma yöntemleri arasında en başarılı yöntemin verilere eğri uydurulması yöntemi olduğu anlaşılmaktadır.

5. SONUÇLAR

Çalışmada Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından yapılan seviye ve debi ölçümleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan veriler ülkede bulunan toplam 26 havza ve bu havzalara ait halen işletilmekte olan 298 adet akım gözlem istasyonundan (AGİ) 7 havza ve bu havzalardaki 17 AGİ'ye uygulanmıştır. 9 numaralı Müteferrik Orta Akdeniz sularından Sinanhoca AGİ, 14 numaralı Yeşilırmak havzasından Köroğlu AGİ, 17 numaralı Müteferrik Doğu Akdeniz sularından Kurtçukuru AGİ ve 24 numaralı Aras havzasından Kağızman AGİ olmak üzere birer AGİ seçilmiştir. 15 numaralı Kızılırmak havzasından Yamula AGİ, Söğütlühan AGİ ve Bulakbaşı AGİ olmak üzere üç AGİ seçilmiştir. 5 adet AGİ seçilen havzalar Seyhan ve Fırat havzasıdır. Bu havzalardan 18 numaralı Seyhan havzasından Himmetli AGİ, Gökdere AGİ, Fraktin AGİ, Emeğil AGİ ve Değirmenocağı AGİ seçilmiştir. 21 numaralı Fırat havzasından ise Kemahboğazı AGİ, Fatopaşa AGİ, Hisarcık AGİ, Demirkapı AGİ, ve Bağıştaş AGİ seçilmiştir. 43 yıl ile en çok seviye-debi gözlemleri kullanılan AGİ 2402 numaralı Kağızman'dır. En az verisi kullanılan AGİ ise 7 yıl ile 1430 numaralı Köroğlu'dur. Bu AGİ'lerden alınan seviye-debi verilerine akım anahtar eğrisi oluşturmak için dört yöntem kullanılmıştır:

- El ile akım anahtar eğrisi oluşturulması (manuel yöntem).
- Akım anahtar eğrisinin üstel olması.
- Akım anahtar eğrisinin parabol olması.
- Verilere eğri uydurulması.

Manuel yöntem, adından da anlaşılabilceği gibi el ile uygulanan bir akım anahtar eğrisi oluşturma yöntemidir. Bu yöntemde bütün seviye-debi çiftleri el ile logaritmik kağıda noktalanarak pistole ile eğriler çizilmiş ve akım anahtar eğrileri oluşturulmuştur. Akım anahtar eğrisinin üstel olması durumunda logaritmik dönüşümle birlikte basit doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. Akım anahtar eğrisinin parabol olması halinde, anahtar eğrisi denklemini temsil eden parabolün derecesi 2 seçilmiştir ve regresyon analizi uygulanmıştır. Verilere eğri uydurulmasında ise seviye-debi çiftlerine dağılım grafikleri çizilmiş ve bu

grafiklere yine parabol uydurulmuştur. Verilere eğri uydurarak akım anahtar eğrisi oluşturulmasında parabolün derecesi 2'den yüksek seçilmiştir. Akım anahtar eğrisi oluşturmak için kullanılan bu dört yönteme çeşitli istatistikler testler uygulanmış ve hangi akım anahtar eğrisi oluşturma yönteminin daha başarılı olduğu değerlendirilmiştir. Akım anahtar eğrisi oluşturmak için uygulanan yöntemlere üç istatistik test uygulanmıştır:

- Kök ortalama karesel hata (KOKH).
- Tarafhlık (Bias).
- Akaike bilgi kriteri (AIC).

Uygulanan bu istatistik testlerin sonucunda akım anahtar eğrisi oluşturmak için uygulanan yöntemlerden en iyi debi tahminini yapanın, dolayısıyla akım anahtar eğrisini gerçek debilere göre en iyi tahmin eden yöntemin verilere eğri uydurulması yöntemi olduğu ortaya çıkmıştır. En iyi debi tahmininde eğri uydurma yöntemi manuel yöntem, akım anahtar eğrisinin parabol olması hali ve akım anahtar eğrisinin üstel olması hali izlemiştir. Bununla birlikte yağış alanı büyük olan ve kar erimesi etkisinde olan AGİ'lerde ve havzalarda, akım anahtar eğrisi oluşturarak debi tahmini yapmanın yağış alanı küçük ve kar etkisi fazla etkili olmayan AGİ'lere ve havzalara göre daha başarısız olduğu ortaya çıkmıştır.

Ülkemizde bazı kurumlarda kullanılan akım anahtar eğrisi oluşturma yönteminin bu çalışmada kullanılan manuel yöntemden tek farkı, daha az sayıda veri kullanılıyor olmasıdır. Bu çalışmada akım anahtar eğrisi oluşturmak için daha fazla sayıda seviye-debi verileri kullanılmasına rağmen, sonuçta en iyi akım anahtar eğrisi oluşturma yöntemi verilere eğri uydurulması olarak ortaya çıkmıştır. Bu yüzden ülkemiz kurumlarında kullanılan akım anahtar eğrisi oluşturma yönteminin gözden geçirilmesi tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

Bayazıt, M., 1999. Hidroloji, İTÜ, İnşaat Fakültesi Matbaası.

Bayazıt, M., 1996. İnşaat Mühendisliğinde Olasılık Yöntemleri, İTÜ, İnşaat Fakültesi Matbaası.

Bayazıt, M., ve Oğuz, B., 1994. Mühendisler İçin İstatistik, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Clarke, R. T., Mediondo, E. M. and Brusa, L. C., 2000. Uncertainties in Mean Discharges from Two Large South American Rivers due to Rating Curve Variability, *Hydrological Sciences Jour.*, **45**, 2.

Clarke, R. T., 1999. Uncertainty in The Estimation of Mean Annual Flood due to Rating Curve Indefinition, *Jour. of Hydrology*, **222**, 185-190.

Diler, M. U., 1981. Akım Anahtar Eğrisi Uzatılma Yöntemleri ve Uygulamalar Rehberi. DSİ Genel Müd. Bursa.

Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Hidrometri Kurs Notları, 20-29 Haziran 2006, Mersin.

Gawne, K. D. and Simonovic, S. P., 1994. A Computer-based System for Modelling the Stage-discharge Relationships in Steady State Conditions, *Hydrological Sciences Jour.*, **39**, 5.

Leonard, J., Mietton, M., Najib, H. and Gourbesville, P., 2000. Rating Curve Modelling with Manning's Equation to Manage Instability and Improve Extrapolation, *Hydrological Sciences Jour.*, **45**, 739-750.

Muttil, N. and Sivapragasam C., 2005. Discharge Rating Curve Extension – A New Approach, *Water Resources Management*, **19**, 505-520.

Navidi, W., 2006. Statistics for Engineers and Scientists, Mc. Graw Hill, Colorado, USA.

Özcan, E., 2006. Ortalama Günlük Akımlardan Anlık Pik Akımların Tahmini ve Doğu Karadeniz Havzasına Uygulanması, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Petersen-Overleir, A., 2004. Accounting for Heteroscedasticity in Rating Curve Estimates, *Jour. of Hydrology*, **292**, 173-181.

Reitan T. and Peterson-Overleir, A., 2005. Objective Segmentation in Compound Rating Curves, *Jour. of Hydrology*, **311**, 188-201.

Türkeş, M., 1998. Influence of Geopotential Heights, Cyclone Frequency and Southern Oscillation on Rainfall Variations in Turkey, *Int. Jour. of Climatology*, **18**, 649-680.

Yıldız M. ve Malkoç Y., 2000. Türkiye Akarsuları Havzaları ve Kuraklık Analizi, Elektrik İşleri Etüt İdaresi, Ankara.

Yu, B., 2000. A Systematic Over-estimation of Flows, technical note, *Jour. of Hydrology*, 233, 258-262.

Kasım 2, 2007, <http://www.akdeniz.edu.tr>

Ekim 25, 2007, <http://www.eie.gov.tr>

Ekim 25, 2007, <http://usgs.gov>

Kasım 2, 2007, <http://www.kuresetkiler.com>

EKLER

EK-A

**KULLANILAN AKIM ANAHTAR EĞRİSİ OLUŞTURMA
YÖNTEMLERİNE GÖRE KÖK ORTALAMA KARESEL HATA (KOKH)
DEĞERLERİ**

EK-B

**KULLANILAN AKIM ANAHTAR EĞRİSİ OLUŞTURMA
YÖNTEMLERİNE GÖRE TARAFLILIK (BIAS) DEĞERLERİ**

EK-C

**KULLANILAN AKIM ANAHTAR EĞRİSİ OLUŞTURMA
YÖNTEMLERİNE GÖRE AKAIKE BİLGİ KRİTERİ (AIC) DEĞERLERİ**

Tablo A.1: Kullanılan Yöntemlere Göre Kök Ortama Karesel Hata (KOKH) Değerleri

İstasyon No_ Gözlem Aralığı	KOKH (m ³ /s)			
	Eğri Uydurma	Manuel Yöntem	Parabol Akım Anahtar Eğrisi	Üstel Akım Anahtar Eğrisi
912_63-76	7,44	8,65	10,5	20,0
912_76-05	6,21	6,61	8,68	34,4
1430_97-04	0,58	0,80	0,59	1,26
1501_75-85	13,9	22,90	14,2	18,5
1501_85-97	7,83	8,26	8,29	9,78
1535_66-71	4,57	5,34	5,64	6,3
1535_71-81	4,57	5,05	4,62	7,36
1535_81-86	3,07	4,33	3,84	18,4
1535_86-92	5,83	9,38	6,32	6,13
1535_92-99	6,08	6,60	6,48	14,8
1539_71-73	1,84	1,87	2,09	2,06
1539_73-77	2,19	3,27	3,10	2,69
1539_77-80	1,72	3,51	2,23	2,59
1539_80-84	2,96	3,19	3,06	8,57
1539_84-88	2,50	2,64	2,69	8,93
1539_88-92	2,46	3,44	2,56	3,85
1539_92-99	2,35	2,35	2,44	8,91
1732_94-98	3,00	4,33	3,10	3,05
1732_98-05	1,57	2,03	1,60	1,52
1801_81-90	4,39	5,88	4,45	5,89
1801_90-93	2,29	2,31	2,45	2,41
1801_93-98	3,37	3,41	3,47	3,42
1801_98-02	1,76	1,77	1,81	1,78
1801_02-05	1,78	2,23	1,97	2,11
1805_83-87	4,17	4,84	4,30	4,13
1805_87-05	7,33	9,55	7,67	12,6
1822_72-79	1,45	1,71	1,48	1,46
1822_79-83	3,24	5,06	4,29	4,00
1822_83-93	2,60	3,54	6,11	6,90
1822_93-02	3,53	2,99	4,71	4,80
1822_02-06	1,43	1,73	1,45	1,44
1823_74-76	1,05	0,63	1,12	1,05
1823_76-82	0,98	1,17	1,01	1,05
1823_82-97	1,03	1,22	1,04	1,14
1823_97-99	1,03	1,19	1,08	1,79
1827_90-94	1,26	1,73	1,46	1,88
1827_94-06	2,07	2,01	2,12	2,75
2119_64-69	16,6	19,30	18,41	27,8
2119_69-05	9,88	11,50	10,71	12,6
2135_91-96	0,40	0,53	0,41	0,40
2135_96-05	0,46	0,57	0,47	0,50
2145_92-05	1,98	2,23	2,56	3,61
2151_63-68	6,36	6,59	6,51	7,74
2151_68-71	10,6	10,9	11,07	21,6
2151_71-76	11,8	11,9	12,04	13,8
2151_76-96	11,4	12,6	11,83	24,1
2151_96-05	7,46	7,83	7,56	7,63

Tablo A.1: (Devam)

İstasyon No Gözlem Aralığı	KOKH (m ³ /s)			
	Eğri Uydurma	Manuel Yöntem	Parabol Akım Anahtar Eğrisi	Üstel Akım Anahtar Eğrisi
2156_69-81	13,9	14,3	14,07	14,6
2156_81-92	19,2	21,2	19,45	22,3
2156_92-99	13,2	13,6	13,47	13,6
2156_99-05	13,9	14,3	14,20	15,7
2402_62-70	8,59	9,56	10,36	25,9
2402_70-81	7,63	9,00	8,02	8,01
2402_81-84	5,74	6,82	6,14	6,73
2402_84-92	9,62	15,4	10,10	11,0
2402_92-05	5,42	5,36	5,59	8,99

Tablo B.1: Kullanılan Yöntemlere Göre Tarafılık (Bias) Değerleri

İstasyon No Gözlem Aralığı	Taraflılık (m ³ /s)			
	Eğri Uydurma	Manuel Yöntem	Parabol Akım Anahtar Eğrisi	Üstel Akım Anahtar Eğrisi
912_63-76	4,21E-03	2,79	-4,27E-14	1,02
912_76-05	2,00E-02	0,93	7,22E-14	3,55
1430_97-04	-8,95E-05	0,33	-7,82E-15	0,03
1501_75-85	-5,99E-02	3,53	4,74E-14	1,09
1501_85-97	-5,38E-03	-0,43	7,43E-14	0,28
1535_66-71	-7,00E-02	1,27	-5,17E-14	0,25
1535_71-81	1,00E-03	2,46	-7,21E-15	0,78
1535_81-86	-1,00E-02	2,23	4,60E-14	1,93
1535_86-92	-4,00E-04	4,85	4,17E-14	-0,05
1535_92-99	2,00E-03	2,34	-2,86E-14	1,22
1539_71-73	1,54E-03	0,48	-3,08E-14	0,04
1539_73-77	8,82E-04	2,01	1,92E-13	0,23
1539_77-80	8,05E-05	2,04	2,66E-15	-0,40
1539_80-84	-2,25E-03	0,42	-3,20E-14	0,68
1539_84-88	8,09E-04	0,65	5,32E-14	0,80
1539_88-92	5,00E-03	2,02	1,75E-14	0,29
1539_92-99	1,72E-03	0,06	1,35E-14	1,24
1732_94-98	-2,31E-03	2,07	-5,65E-14	-0,15
1732_98-05	6,44E-03	0,84	-5,88E-14	0,00
1801_81-90	-6,00E-04	0,24	-2,03E-14	0,09
1801_90-93	1,71E-04	-0,07	5,40E-15	-0,10
1801_93-98	-1,85E-04	-0,50	1,49E-15	-0,13
1801_98-02	1,48E-04	0,16	7,51E-15	-0,02
1801_02-05	-2,05E-03	-1,13	2,74E-15	0,13
1805_83-87	-1,49E-03	2,77	1,48E-14	-0,05
1805_87-05	2,74E-04	3,29	4,95E-14	0,57
1822_72-79	2,34E-03	0,60	1,15E-14	-0,04
1822_79-83	1,90E-02	2,82	2,12E-14	1,40
1822_83-93	-2,40E-01	0,55	-5,22E-14	-0,39
1822_93-02	1,08E-01	0,55	2,25E-14	-0,13
1822_02-06	7,24E-05	0,23	-8,64E-15	-0,04
1823_74-76	2,32E-04	0,11	-1,49E-15	0,01
1823_76-82	-1,09E-04	0,36	5,88E-15	0,00
1823_82-97	1,90E-04	0,52	2,96E-15	0,01
1823_97-99	1,53E-03	0,45	-5,98E-16	-1,31
1827_90-94	7,99E-03	0,57	-1,07E-14	-0,01
1827_94-06	1,16E-03	0,38	1,45E-13	0,04
2119_64-69	-1,00E-03	-6,85	2,29E-14	-1,98
2119_69-05	-1,21E-03	-0,18	-1,29E-14	-0,11
2135_91-96	1,14E-03	0,29	-9,70E-15	-0,03
2135_96-05	-1,27E-04	0,22	-3,55E-15	-0,04
2145_92-05	4,17E-04	0,55	3,15E-14	0,04
2151_63-68	-9,81E-04	0,22	1,33E-16	0,05
2151_68-71	-9,86E-04	3,69	4,94E-16	2,95
2151_71-76	1,66E-03	1,44	-5,67E-16	-0,49
2151_76-96	-1,40E-03	4,68	9,35E-17	1,33
2151_96-05	7,99E-05	1,57	-6,96E-17	0,01

Tablo B.1: (Devam)

İstasyon No Gözlem Aralığı	Taraflılık (m ³ /s)			
	Eğri Uydurma	Manuel Yöntem	Parabol Anahtar Eğrisi	Üstel Anahtar Eğrisi
2156_69-81	-1,24E-03	1,70	1,07E-17	0,23
2156_81-92	-5,22E-05	0,99	3,23E-16	-0,26
2156_92-99	5,65E-04	-2,71	-1,50E-15	0,50
2156_99-05	5,54E-04	3,11	-1,34E-15	0,83
2402_62-70	2,01E-03	0,68	2,75E-16	1,69
2402_70-81	-1,10E-03	-2,70	-6,68E-16	-0,62
2402_81-84	-6,81E-04	1,79	-7,03E-16	0,56
2402_84-92	2,00E-04	0,62	-1,28E-13	0,33
2402_92-05	3,90E-03	0,31	1,93E-14	0,29

Tablo C.1: Kullanılan Yöntemlere Göre Akaike Bilgi Kriteri (AIC) Değerleri

İstasyon No_ Gözlem Aralığı	Akaike Bilgi Kriteri Değerleri			
	Eğri Uydurma	Manuel Yöntem	Parabol Akım Anahtar Eğrisi	Üstel Akım Anahtar Eğrisi
912_63-76	487,0	505,5	569,2	719,0
912_76-05	1287,0	1312,2	1512,1	2472,0
1430_97-04	-94,0	-59,0	-94,0	49,9
1501_75-85	636,2	743,0	635,7	701,2
1501_85-97	803,6	815,0	820,5	886,9
1535_66-71	255,0	267,6	284,1	305,8
1535_71-81	531,4	511,5	530,6	691,6
1535_81-86	108,0	116,3	122,4	262,7
1535_86-92	259,5	296,8	265,7	264,5
1535_92-99	469,0	466,8	482,3	696,1
1539_71-73	45,7	36,6	48,2	50,5
1539_73-77	129,7	147,0	178,0	158,7
1539_77-80	67,7	114,0	90,7	108,7
1539_80-84	111,3	112,0	111,3	212,9
1539_84-88	104,3	99,0	106,6	234,3
1539_88-92	95,5	99,6	94,2	136,1
1539_92-99	213,7	206,0	218,3	529,5
1732_94-98	105,9	121,1	105,9	107,1
1732_98-05	90,9	114,8	90,9	85,4
1801_81-90	341,1	401,2	341,1	407,7
1801_90-93	46,9	41,1	46,9	49,2
1801_93-98	140,7	134,7	140,7	142,3
1801_98-02	61,1	55,3	61,1	62,5
1801_02-05	61,8	61,5	66,5	75,6
1805_83-87	144,0	136,3	144,0	143,1
1805_87-05	813,5	887,0	827,0	1030,9
1822_72-79	60,8	69,2	60,8	61,0
1822_79-83	110,1	124,6	129,2	120,7
1822_83-93	232,0	291,2	423,7	454,6
1822_93-02	266,0	219,0	317,2	323,7
1822_02-06	73,5	101,6	73,5	75,4
1823_74-76	9,6	-23,0	9,6	9,5
1823_76-82	4,8	15,1	4,8	14,2
1823_82-97	16,6	37,1	16,6	53,5
1823_97-99	11,9	10,8	11,4	26,3
1827_90-94	33,7	53,1	43,9	74,1
1827_94-06	352,8	323,0	360,9	486,8
2119_64-69	592,8	603,0	609,8	697,9
2119_69-05	2395,8	2548,0	2474,9	2647,3
2135_91-96	-100,7	-93,4	-100,7	-101,0
2135_96-05	-153,9	-133,0	-153,9	-138,7
2145_92-05	235,1	256,0	315,9	433,0
2151_63-68	258,7	258,0	258,7	285,4
2151_68-71	193,4	182,0	191,4	245,8
2151_71-76	418,5	412,0	417,0	442,7
2151_76-96	1246,0	1248,0	1259,0	1623,6
2151_96-05	471,3	470,0	469,3	474,3

Tablo C.1: (Devam)

İstasyon No_ Gözlem Aralığı	Akaike Bilgi Kriteri Değerleri			
	Eğri Uydurma	Manuel Yöntem	Parabol Akım Anahtar Eğrisi	Üstel Akım Anahtar Eğrisi
2156_69-81	652,0	776,0	776,1	788,8
2156_81-92	757,8	776,0	757,8	795,5
2156_92-99	404,4	400,0	378,5	408,4
2156_99-05	412,5	407,0	412,5	430,5
2402_62-70	357,4	366,0	382,6	533,9
2402_70-81	655,4	685,0	665,9	667,8
2402_81-84	138,3	140,0	138,2	147,8
2402_84-92	435,0	526,0	439,0	458,0
2402_92-05	244,0	246,0	245,0	315,0

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Trabzon’da doğan Musa KUKUL, ilköğrenimini Beşikdüzü Merkez İlkokulu’nda, orta öğrenimini Beşikdüzü Atatürk Lisesi’nde ve lise öğrenimini Trabzon Fatih (İngilizce Ağırlıklı) Lisesi’nde tamamlamıştır. 1999 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak Uzay Bilimleri Fakültesi Meteoroloji Mühendisliği bölümüne girerek 2004 yılında bu bölümden mezun olmuştur. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Hidrolik ve Su Kaynakları programında yüksek lisans eğitimine başlamıştır ve halen yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. 2005 yılından bu yana Elektrik İşleri Etüt İdaresi 11. Hidrometrik Etüt Merkezi Kayseri’de görevini sürdürmektedir.