

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SAKARYA VE BATI KARADENİZ AKARSU HAVZALARI İÇİN TABAN
AKIŞI AYIRMA MODELİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gökhan KAYAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı

MAYIS 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SAKARYA VE BATI KARADENİZ AKARSU HAVZALARI İÇİN TABAN
AKIŞI AYIRMA MODELİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Gökhan KAYAN
(501111518)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hafzullah AKSOY

MAYIS 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501111518 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Gökhan KAYAN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**SAKARYA VE BATI KARADENİZ AKARSU HAVZALARI İÇİN TABAN AKIŞI AYIRMA MODELİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Hafzullah AKSOY**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Zekai ŞEN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Onur AKAY
Okan Üniversitesi

Teslim Tarihi : **05 Mayıs 2014**
Savunma Tarihi : **30 Mayıs 2014**

Biricik dedem Münür Ateş'e,

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bana yol gösteren, bana her zaman vakit ayıran, yaptığımız araştırmalar esnasında öğrendiğim yeni bilgilerle mesleğimde bir adım daha ileri gitmemi sağlayan, bir an olsun desteğini üzerimden esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Hafzullah Aksoy'a, hayatım boyunca daima yanımda olan, beni her zaman destekleyen, bugünlere gelmemde büyük emek ve fedakarlık gösteren değerli anne ve babama, yüksek lisans eğitimim boyunca üzerimde emeği olan tüm İTÜ İnşaat Fakültesi Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği hocalarıma, aramızda mesafeler olmasına rağmen e-posta ile bana destek olmaya çalışan Tony L. Wahl'a, çalışmam boyunca her an yanımda olup, yardım eden sevgili arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2014

Gökhan Kayan
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
SEMBOL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Konusu	1
1.2 Çalışmanın Önemi	2
1.3 Çalışmanın Amacı	3
1.4 Çalışmanın Yöntemi	3
1.5 Çalışmanın Düzeni	4
2. AKIŞIN BİLEŞENLERİ VE TABAN AKIŞININ AYRILMASI.....	5
2.1 Akarsu Akışı.....	5
2.2 Hidrograf Analizi	8
2.3 Çekilme Eğrisinin Analizi	9
2.4 Havzanın Ana (Ortak) Çekilme Eğrisi	11
3. TABAN AKIŞININ TAHMİN EDİLMESİ.....	15
3.1 Taban Akışının Önemi	15
3.2 Taban Akışı İndeksi	15
3.3 Taban Akışı Ayırma Yöntemleri.....	16
3.4 Grafik (Basit) Yöntemler	17
3.4.1 Sabit debi yöntemi	17
3.4.2 Sabit eğim yöntemi	17
3.4.3 Konkav yöntemi.....	18
3.4.4 Değişken eğim yöntemi	18
3.5 Sürekli Taban Akışı Ayırma Yöntemleri	18
3.5.1 Dijital filtre yöntemi (DFY).....	18
3.5.2 İngiliz hidroloji enstitüsü yöntemi (İHEY)	20
3.5.3 Revize Edilmiş İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi (RİHEY)	25
3.5.4 Filtre Edilmiş İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi.....	25
3.6 Çoklu Regresyon Modeli	26
3.6.1 Çoklu doğrusal regresyon modelinde yapılan varsayımlar.....	32
3.6.1.1 Çoklu doğrusal bağlantının olmaması.....	33
3.6.1.2 Hata terimlerinin normal dağılımı	34
3.6.1.3 Hata terimleri arasında ilişki (otokorelasyon)bulunmaması	35
3.6.1.4 Eş varyanslılık varsayımı	37
3.6.2 Çoklu regresyon modeliyle yapılan taban akışı çalışmaları.....	40
4. UYGULAMA ALANI VE KULLANILAN VERİ	43

4.1 Uygulama Alanı.....	43
4.2 Kullanılan Veri	46
5. HAVZA KARAKTERİSTİKLERİ	49
5.1 Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)	49
5.2 Çalışmada Kullanılacak Değişkenler ve Değişkenlerin Hesabı	50
5.3 Kullanılacak Değişkenlerin İstatistiksel Özellikleri	54
6. UYGULAMA.....	59
6.1 PASW İstatistik 18 Paket Programı	59
6.2: Model Kalibrasyonu	61
6.2.1 Taban akışı indeksi (<i>TAI</i>) regresyon modeli.....	62
6.2.2 Taban akışı (<i>Qb</i>) regresyon modeli.....	64
6.3 Model Validasyonu	67
6.3.1 Çoklu doğrusal bağlantının olmaması.....	67
6.3.2 Hata terimlerinin normal dağılımı.....	67
6.3.3 Hata terimleri arasında ilişki (Otokorelasyon) olmaması	70
6.3.4 Eş varyanslılık (Homoskedastisite).....	70
6.4 Model Sonuçları	71
7. SONUÇLAR	75
KAYNAKLAR	77
EKLER.....	83
ÖZGEÇMİŞ.....	87

KISALTMALAR

AGİ	: Akım Gözlem İstasyonu
ANOVA	: Varyans Analizi
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CORINE	: Coordination of Information on the Environment
DFY	: Dijital Filtre Yöntemi
DYM	: Dijital Yükseklik Modeli
EİEİ	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
FİHEY	: Filtre edilmiş İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi
GIS	: Geographic Information Systems
IBM	: International Business Machines
İHEY	: İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi
KHGM	: Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü
MODIS	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
OAYE	: Ortalama Akarsu Yatak Eğimi
PASW	: Predictive Analytics Software
RİHEY	: Revize edilmiş İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences
TAİ	: Taban Akışı İndeksi
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Tablo yöntemi ile ortak çekilme eğrisinin belirlenmesi	13
Çizelge 3.1 : DFY'nin uygulanması (Lyne ve Hollick denklemi).....	20
Çizelge 3.2 : İHEY'in 1314 nolu istasyona uygulanması (1995 su yılı için)	23
Çizelge 3.3 : Taban akışını tahmin etmek için geliştirilen çoklu regresyon modelleri	41
Çizelge 4.1 : Çalışmada kullanılan AGİ'lerin özellikleri	47
Çizelge 4.2 : AGİ'lere en yakın bölgelerin aylık ortalama sıcaklık değerleri	47
Çizelge 4.3 : AGİ'lere yakın yağış istasyonlarının aylık ortalama yağış değerleri ..	48
Çizelge 5.1 : Çalışmada kullanılacak değişkenler	50
Çizelge 5.2 : 14 AGİ'ye uygulanan değişkenlerin istatistiksel özellikleri	54
Çizelge 5.3 : Regresyon modelinde kullanılacak değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları	56
Çizelge 6.1 : <i>TAI</i> modelindeki değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri	62
Çizelge 6.2 : <i>TAI</i> modelindeki değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları	63
Çizelge 6.3 : <i>TAI</i> model özeti.....	63
Çizelge 6.4 : <i>TAI</i> modeli ANOVA tablosu	63
Çizelge 6.5 : <i>TAI</i> model katsayıları.....	64
Çizelge 6.6 : Q_b modelindeki değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri	65
Çizelge 6.7 : Q_b modelindeki değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları	65
Çizelge 6.8 : Q_b modelinin özeti	65
Çizelge 6.9 : Q_b modeli ANOVA tablosu	66
Çizelge 6.10 : Q_b model katsayıları.....	66
Çizelge 6.11 : <i>TAI</i> ve Q_b modellerindeki değişkenlerin <i>VIF</i> değerleri.....	67
Çizelge 6.12 : <i>TAI</i> ve Q_b modelleri için analitik normal dağılım testleri	70
Çizelge 6.13 : İHEY ve regresyon modeliyle elde edilen <i>TAI</i> ile Q_b sonuçları ve sonuçların rölatif hataları	72
Çizelge A.1 : Corine Arazi Örtüsü Sınıfları	82

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: Akarsu havzaları ve su ayırım çizgisi	5
Şekil 2.2	: Havza şeklinin hidrografa etkisi.....	6
Şekil 2.3	: Akışın elemanları	7
Şekil 2.4	: Arazi kullanımının hidrograf üzerindeki etkisi	8
Şekil 2.5	: Bir yağışa ait tipik hidrograf.	9
Şekil 2.6	: Çekilme eğrisinin bileşenlerine ayrılması	11
Şekil 2.7	: Şerit yöntemi ile ortak çekilme eğrisinin belirlenmesi	12
Şekil 3.1	: Grafik taban akışı ayırma yöntemleri.....	17
Şekil 3.2	: İHEY'in çalışma biçimi	22
Şekil 3.3	: 1314 nolu istasyonda İHEY ile taban akışının ayrılması.	24
Şekil 3.4	: İHEY'in uzun yıllara uygulanması	25
Şekil 3.5	: H_0 hipotezinin kabul bölgeleri	29
Şekil 3.6	: P-P grafiği ile normal dağılımın kontrolü.	35
Şekil 3.7	: Eş varyanslılık gösterimi	37
Şekil 3.8	: Değişen varyans gösterimi	38
Şekil 3.9	: Grafik yöntem ile eşit varyanslılık varsayımının kontrolü.....	39
Şekil 3.10	: Model varsayımları ve varsayımların kontrolü	39
Şekil 4.1	: Sakarya havzası ve AGİ'lerin havza içerisindeki konumu	44
Şekil 4.2	: Batı Karadeniz havzası ve AGİ'lerin havza içerisindeki konumu.	45
Şekil 5.1	: Sakarya ve Batı Karadeniz havzalarının CBS ile görünümü	50
Şekil 5.2	: Benson yöntemi ile OAYE hesabı	51
Şekil 5.3	: Türkiye'nin Corine arazi örtüsü.	53
Şekil 5.4	: Değişkenlerin saçılma diyagramları.....	57
Şekil 6.1	: PASW veri editörü penceresi	60
Şekil 6.2	: PASW doğrusal regresyon penceresi.	60
Şekil 6.3	: PASW çıktı penceresi.....	61
Şekil 6.4	: TAI modelinin standartlaştırılmış hatalar histogramı.	68
Şekil 6.5	: Q_b modelinin standartlaştırılmış hatalar histogramı.....	68
Şekil 6.6	: TAI modeli P-P grafiği.....	69
Şekil 6.7	: Q_b modeli P-P grafiği	69
Şekil 6.8	: TAI modeli eş varyanslılık kontrolü.	71
Şekil 6.9	: Q_b modeli eş varyanslılık kontrolü.....	71
Şekil 6.10	: İHEY ve regresyon yöntemleriyle hesaplanan TAI değerlerinin karşılaştırılması	73
Şekil 6.11	: İHEY ve regresyon yöntemleriyle hesaplanan Q_b değerlerinin karşılaştırılması	73

SEMBOL LİSTESİ

a	: Regresyon sabiti
A	: Drenaj akanı
$AATU$	: Akarsu ağı toplam uzunluğu
b	: Kısmi regresyon katsayısı
b_t	: Filtre edilmiş taban akışı
d	: Durbin-Watson test istatistiği
DI	: Drenaj indeksi
DW	: Durbin Watson
DY	: Drenaj yoğunluğu
e^{-at}	: Çekilme katsayısı
EI	: Eğim indeksi
ES	: Engebelilik sayısı
ESS	: Tahmin edilen değerlerin kareleri toplamı
f_t	: t anındaki filtre edilmiş yüzeysel akış
F	: F test istatistiği
h	: Yükseklik
H_0	: Sıfır hipotezi
H_1	: Karşıt hipotez
I_t	: İHEY ile ayrılan taban akışı değerlerinin filtre edilmesiyle elde edilen yüksek frekanslı akışın t anındaki değeri
II	: İklim indeksi
i_t	: t anındaki İHEY ile elde edilen taban akışı
k	: Regresyon katsayılarının sayısı
K	: Kot
K_r	: Çekilme katsayısı
L	: Akarsu anakol uzunluğu
n	: Örnekteki eleman sayısı
N	: Gün veya gözlem sayısı
$OAYE$	: Ortalama akarsu yatak eğimi
ORM	: Ormanlık alanlar
OYY	: Ortalama yıllık yağış
p	: Anlamlılık değeri
P	: Otokorelasyon katsayısı
PET	: Potansiyel evapotranspirasyon
Q	: Akarsu debisi
Q_b	: Taban akışı debisi
Q_0	: Başlangıç debisi
$Q_{gün}$	: Günlük ortalama akarsu debisi
Q_t	: Başlangıç debisinden t gün sonraki akarsu debisi
r	: Korelasyon katsayısı
R^2	: Determinasyon katsayısı
$\tilde{R}^2$	: Düzeltilmiş determinasyon katsayısı
$s(b_i)$	: i . regresyon katsayısının standart hatası

s_i	: i . değişkenin standart sapması
t	: t test istatistiği
T	: Yıllık ortalama sıcaklık
T_m	: m . ay ortalama sıcaklık
TAI	: Taban akışı indeksi
TAR	: Tarımsal Alanlar
TK	: Toplam kabartma
TSS	: Toplam kareler toplamı
VIF	: Varyans artış faktörü
u_i^2	: Model kalıntıları karesi
X	: Bağımsız (açıklayıcı) değişken
$\bar{x}$	: Değişkenin ortalaması
y_t	: t anındaki toplam akış
Y	: Bağımlı (açıklanan) değişken
Y_g	: Gerçek değer
Y_r	: Regresyon denklemiyle tahmin edilen değer
β	: Örnek parametresi
α	: Filtre parametresi
ϵ	: Hata terimi

SAKARYA VE BATI KARADENİZ AKARSU HAVZALARI İÇİN TABAN AKIŞI AYIRMA MODELİ

ÖZET

Su, insanların hayatlarını idame ettirebilmeleri için en gerekli maddelerden biridir. Son yıllarda görülen nüfus artışı, sanayileşme ve küresel ısınma suya olan ihtiyacın artmasına neden olmuştur. Bu durum, araştırmacıları her türlü ihtiyaç için en uygun su kaynakları olan akarsular üzerinde çalışma yapmaya yöneltmiştir. Araştırmacılar akarsudaki akışın davranışlarını inceleyerek akarsudaki akışı dolaysız akış ve taban akışı olmak üzere iki kısma ayırmışlardır. Dolaysız akış, yüzeysel akış ile yüzeyaltı akışının gecikmesiz kısmından, taban akışı ise yeraltı akışı ile yüzeyaltı akışının gecikmeli kısmından oluşmaktadır.

Taban akışı akarsuyu sürekli olarak besleyen ve özellikle kurak dönemlerde akarsu akışının büyük bir kısmını oluşturan akıştır. Başka bir deyişle, akarsuyun su potansiyelini temsil etmektedir. Taban akışının bilinmesi su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi, içme suyu ihtiyacının karşılanması, hidroelektrik enerji üretimi, akarsu taşımacılığı, suda yaşayan canlılar için uygun ortam sağlanması ve su kalite tahmini gibi çok sayıda çalışma açısından önemlidir.

Bu çalışmada önce akım verileri ile taban akışını toplam akıştan ayıran, literatürde kabul görmüş birtakım yöntemler özetlenmiş, daha sonra havza karakteristiklerini ele alarak taban akışını tahmin etmeye çalışan çoklu regresyon yöntemi anlatılmıştır. Bu yöntemlerden literatürde yaygın olarak kullanılan sürekli taban akışı ayırma yöntemlerinden İngiliz Hidroloji Enstitüsü yuvarlatılmış minimumlar yöntemi (İHEY) günlük ortalama akım verilerine uygulanarak önce taban akışı (Q_b) toplam akıştan ayrılarak hesaplanmış, sonra taban akışı hacminin toplam akış hacmine bölünmesiyle elde edilen taban akışı indeksi (TAI) bulunmuştur. Bulunan bu değerler PASW İstatistik 18 paket programı aracılığıyla oluşturulan çoklu regresyon modelinde bağımlı değişkenler olarak kullanılıp havzaların çeşitli topoğrafik ve hidrometeorolojik özellikleri ile açıklanmaya çalışılmıştır. Havza özellikleri bulunurken Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'nden elde edilen yağış ve sıcaklık verileri ile Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)'nden yararlanılmıştır. Özellikle CBS'nin kullanılması çalışmada büyük kolaylık sağlamış ve verilerin elde edilebilir türden olması çalışmanın pratikliğini artırmıştır. Çoklu regresyon modeli oluşturulurken modelin anlamlı sonuçlar verebilmesi için modelin dayandığı bazı varsayımların geçerli olmasına dikkat edilmiştir. Bu varsayımlar çoklu doğrusal bağlantının olmaması, hata terimlerinin normal dağılması, hata terimleri arasında otokorelasyon bulunmaması ve eş varyanslılıktır.

Çalışmada uygulama alanı olarak Türkiye'nin kuzeybatısında yer alan Sakarya ve Batı Karadeniz akarsu havzaları seçilmiştir. Sakarya havzasından 8, Batı Karadeniz havzasından 6 istasyon olmak üzere Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ)'ne ait toplam 14 akım gözlem istasyonunun (AGİ) günlük ortalama akım verileri kullanılarak İHEY ve regresyon yöntemleri ile her istasyona ait taban akışı ve taban akışı indeksi değerleri tahmin edilmiştir. Regresyon modelinde model validasyonu için Sakarya

havzasından 2, Batı karadeniz havzasından ise 1 istasyon seçilmiştir. Daha sonra bu istasyonlar regresyon modellerinde elde edilen denklemlerde kullanılmıştır.

Çalışma sonunda regresyon yöntemiyle elde edilen değerler ile İHEY yönteminde hesaplanan değerler karşılaştırılmış ve rölatif hata değerleri hesaplanmıştır. *TAI* modelinde hem kalibrasyon hem de validasyon aşamasında kullanılan istasyonlar için maksimum rölatif hata değeri %13,67 olarak bulunurken, Q_b modelinde bu değeri %42,25 olarak bulunmuştur. Bu bağlamda *TAI* modelinin Q_b modeline oranla daha güvenilir sonuçlar verdiği düşünülmektedir. Çalışmada kullanılan istasyon sayısının az oluşu Q_b modelindeki rölatif hataların büyük çıkmasının nedeni olarak görülebilir; ancak validasyon aşamasında kullanılan istasyonların rölatif hata değerlerinin kalibrasyon aşamasında gözlenen rölatif hata değerleri sınırları içerisinde kalması Q_b için geliştirilen denklemin kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

BASE FLOW SEPARATION MODEL FOR SAKARYA AND BATI KARADENIZ DRAINAGE BASINS BY USING THEIR TOPOGRAPHICAL AND HYDROMETEOROLOGICAL BASIN CHARACTERISTICS

SUMMARY

Water is one of the most important substances on earth. All living things need water to survive. Especially in recent years, increasing of world population and global warming leads to the increasing demand on water. Streams are considered the most suitable water resources. This situation directed researchers to make some studies on streams.

Researchers examined the contributions of flow to the stream and they divided flow into two parts: Direct flow and indirect flow (baseflow). Direct flow is the sum of surface flow and prompt interflow and it enters the stream immediately after the precipitation. On the other hand, baseflow is the combination of groundwater flow and delayed interflow. Baseflow velocity is lower than the direct flow, therefore it reaches the stream later than the direct flow.

Baseflow is one of the most important low flow hydrological characteristics of a basin. It forms the majority of the total flow especially in dry seasons. In other words, it represents the water potential of streams in arid times. Knowledge of baseflow is important for a number of reasons including: The development of water management strategies, especially for drought conditions; the establishment of relationships between aquatic organisms and their environment; the estimation of small to medium water supplies; and management of salinity and water quality. In addition, it provides flow for transportation, water supply, hydroelectric power and recreational uses in reservoirs.

Hydrologists made so many studies to separate baseflow from the total flow and they developed different techniques to estimate baseflow. The most commonly used techniques are graphical, analytical and empirical techniques. Although none of these techniques have universal validity, each of them has certain advantages according to their usage area.

In this study, smoothed minima method of United Kingdom Institute of Hydrology (UKIH) is used to separate baseflow. UKIH uses the average daily flow within the stream. In this method, at first, average daily flow-time series are divided into non-overlapping group of 5 days and the minimum of each group is found. Then each minimum is controlled if it is a turning point. In order to make this control, each minimum is compared with the minimum of its neighbour minimums. If the 0,9 times of a minimum is lower than both its previous and following minimums, then this minimum is considered to be a turning point. All of the total flow is generated by baseflow at turning points. After the estimation of turning points, these points are interpolated. Therefore the baseflow value of each day is obtained. During the interpolation process, for some days, baseflow values can exceed the total flow

values. This situation is not possible in fact. If this problem occurs, exceeding baseflow values should be taken as total flow values for the related days.

Baseflow index (*BFI*) can be calculated by using UKIH. *BFI* is the long term ratio of the base flow volume to the total flow volume. *BFI* is a dimensionless ratio and it gives the proportion of baseflow in the stream. It can take any value between 0 and 1. When its value becomes 1, it means that the whole flow in the stream is baseflow.

UKIH can calculate baseflow without considering its behaviour; however, baseflow is a function of large number of variables that include topographical, meteorological, geological, vegetational and climatic factors. In other words, baseflow is affected by several basin characteristics. Especially in the last two decades, researchers tried to understand the effect of basin characteristics on baseflow behaviour. Generally multiple regression model is preferred to identify the relation between baseflow and basin characteristics. Beside baseflow, researchers used the regression model to estimate baseflow index.

In this study, multiple regression model is used to estimate the baseflow and baseflow index by using topographical, hydrological and meteorological data of drainage basins. By the help of PASW Statistics 18 program, two regression models are developed. When selecting which variables should be placed in regression models, backward elimination method is preferred. In this method, at first, all independent variables are included in the model. Then, the method eliminates the weakest variable from the model by looking variable's *t* test statistics. If the variable has the lowest *t* statistic and significance level of this statistic is greater than 0,10 (%10), then null hypothesis will be accepted and the variable is removed from the model. This process is continued until the right variables remain in the model. At the end of the model all variables should have smaller than 0,10 significance value to stay in model.

Some assumptions are made in multiple regression models. These assumptions contain no multicollinearity between independent variables; normal distribution of error terms; homoscedasticity; and no autocorrelation. The deviation from these assumptions decreases the model validity. Therefore they should be controlled at the end of the model and some controlling techniques are showed in the study.

Sakarya and Bati Karadeniz drainage basins are selected as the study area. Sakarya and Batı Karadeniz basins are neighbor basins and they are found in the northwest of Turkey. Sakarya basin has 58160 km² drainage area and it takes its name from Sakarya river which has a length of 824 km. The most important streams which supply water for Sakarya river are Porsuk, Mudurnu, Ankara, Kirmir, Aladağ and Ova streams. The river flows through Afyon, Kütahya, Eskişehir, Konya, Ankara, Bolu, Bilecik, Bursa as well as Sakarya and then reaches to the sea at Yenimahalle-Karasu.

Bati Karadeniz basin has a drainage area of 29568 km² and captures %3,79 of Turkey. In Batı Karadeniz basin, streams doesn't reach to the sea only at one point. Streams spill their water to the sea at different points. The most important streams in basin are Bartın, Soğanlı, Araç, Bolu and Filyos streams. The provinces located in the basin are: Karabük, Zonguldak, Bartın, Kastamonu, Düzce, Çankırı, Bolu and Sinop.

Average daily flow data, used in UKIH to separate baseflow, are obtained from the Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ). EİEİ operates gauging stations to measure the total

flow within the stream. 14 gauging stations are used to estimate baseflow in this study; 8 of them from Sakarya basin and 6 of them from Bati Karadeniz basin. 3 of these stations are selected for validation of regression models (2 from Sakarya basin and 1 from Bati Karadeniz). Also the meteorological datas are taken from the Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü-Ankara and all other basin characteristics are calculated by the help of ARCGIS.

At the end of the study, baseflow and baseflow index results obtained by UKIH and multiple regression are compared and relative error values are calculated. Relative error values of 3 controlling station don't exceed the relative error boundary of model stations.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Konusu

Su kaynaklarının çeşitli ihtiyaçları karşılaması ve daha verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamak için gerçekleştirilen projelerin planlama, tasarım, inşaat ve işletme aşamalarında suyun miktarı ve kalitesi ile ilgili bilgilere ihtiyaç duyulur. Örneğin taşkın kontrolü ile ilgili bir çalışma yapılması isteniyorsa maksimum debiyi bilmek gereklidir. Bu nedenle akarsuyun çeşitli noktalarına akım gözlem istasyonları (AGİ) yerleştirilerek bu noktalardaki akım değerleri ölçülmektedir. Türkiye’de 1935 yılından bu yana akım gözlem istasyonları kurulmaya başlanmıştır. Akım ölçümleri üç kuruluş tarafından yapılmaktadır: Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ), Devlet Su İşleri (DSİ) ve Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü (KHGM) (EİEİ ve KHGM sırasıyla 2005 ve 2011 yıllarında kapatılmıştır). İlk AGİ, EİEİ tarafından 1935 yılında Sakarya Nehri Göksu kolu Hayriye Köy’de tesis edilmiştir (EİEİ, 2005).

AGİ’lerde yapılan ölçümler akarsuyun toplam akışını temsil eder. Bu akış yüzeysel akış, yüzeyaltı akışı ve yeraltı suyu akışı olmak üzere üç temel bileşenden oluşur. Yeraltı suyu akışı ve yüzeyaltı akışının gecikmeye uğramış kısmı taban akışı olarak isimlendirilir. Dolaylı akış olarak da bilinen taban akışının hızı yüzeysel akışa göre çok yavaştır. Bu nedenle akarsuya ulaşma süresi uzundur ve akarsuyu sürekli besleyen kaynak niteliğindedir. Özellikle yağışsız dönemlerde büyük önem taşıyan taban akışı, bu dönemlerde toplam akışın büyük bir kısmını oluşturmaktadır.

Taban akışının tahmin edilmesi su yönetim stratejilerinin yürütülmesini kolaylaştırmaktadır ve geçmişten bu yana taban akışı tahmin yöntemleriyle ilgili literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu yöntemler grafik, matematik ve deneysel olarak üç grupta ele alınabilir. Son dönemlerde ise araştırmacı ve uygulamacılar akım ölçümlerinin yapıldığı ve istasyonların içinde bulunduğu havza karakteristiklerini de ele alarak bu karakteristiklerin taban akışı üzerindeki etkisini tahmin etmeye çalışmaktadırlar. Böylelikle, havza karakteristikleri kullanılarak akım ölçümü yapılmayan noktaların da taban akışı yaklaşık olarak tahmin edilebilir. Havza

karakteristiklerini taban akışıyla ilişkilendirmek için kullanılan başlıca yöntem çoklu regresyondur. Çalışmanın konusu, Sakarya ve Batı Karadeniz akarsu havzalarındaki taban akışını havzaların topoğrafik, meteorolojik ve hidrolojik özelliklerini kullanarak tahmin etmektir. Önce İngiliz Hidroloji Enstitüsü yumuşatılmış minimumlar yöntemi (İHEY) kullanılarak Sakarya ve Batı Karadeniz havzalarındaki 14 AGİ'nin taban akışı indeksi (TAI) ve taban akışı değerleri (Q_b) hesaplanmıştır. Daha sonra ise hesaplanan bu değerler çoklu regresyon modelleri yardımıyla havzaların çeşitli karakteristikleriyle ilişkilendirilerek iki havza için ortak bir taban akış indeksi (TAI) ve taban akışı (Q_b) denklemi bulunmuştur.

1.2 Çalışmanın Önemi

Tüm canlıların hayatlarını idame ettirebilmesi için suya ihtiyacı vardır. Son yıllarda nüfus artışı, küresel ısınma ve sanayileşmenin gelişmesi gibi çeşitli faktörler suya olan talebin hızlı bir şekilde artmasına neden olmuştur. Türkiye'de çeşitli amaçlara yönelik kullanımlarda teknik ve ekonomik anlamda tüketilebilecek su potansiyeli yılda ortalama toplam 110 milyar m^3 olup, kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 1519 m^3 civarındadır (DSİ, 2012). Yılda kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 2000 m^3 'ten az olan ülkeler su azlığı yaşayan ülkeler olarak kabul görmektedir. Bu durum Türkiye'nin de su azlığı yaşayan ülkeler arasında olduğunu göstermektedir. Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) tahmini doğrultusunda nüfusun 2030 yılında 100 milyona ulaşması durumunda kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 1120 m^3 'e düşecektir. Bu öngörü ancak mevcut kaynakların 20 yıl sonrasına hiç zarar görmeden aktarılması durumunda söz konusu olacaktır (DSİ, 2012).

Yukarıda bahsedilen etkenler gözönüne alındığında su kaynaklarının korunması, su bütçesinin iyi bir şekilde planlanması ve yürütülmesi büyük önem kazanmaktadır. Akarsular genellikle tuzluluk sorunu olmadığı için her türlü ihtiyacı karşılayabilecek en uygun su kaynaklarıdır. Akarsulardaki su miktarının ölçümü ve tahmini ise su bütçesinin planlanması ve yürütülmesi aşamalarında önemli bir yere sahiptir. Akarsu debilerinin belirlenmesindeki en iyi yöntem akarsu üzerinde akım gözlem istasyonları kurmaktır. Fakat akarsu üzerinde istenilen her noktada akım gözlem istasyonları kurmak yüksek maliyetinden dolayı imkansızdır. Bu yüzden havzanın topoğrafik, hidrolojik, jeolojik, meteorolojik özelliklerine dayanan modellerle akım tahmini yapılabilmektedir.

Akarsu akımının tahmin edilebilmesi için, akımın bileşenlerinden biri olan taban akışının belirlenmesi önemlidir. Özellikle akım değerlerinin düşük olduğu kurak mevsimlerde akarsu akımının büyük bir kısmını oluşturan ve Türkiye gibi yer altı suyu ile beslenen akarsuların fazla olduğu ülkelerde taban akışını toplam akıştan ayırarak tahmin etmek su kaynakları yönetim stratejilerinin yürütülmesini kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle Türkiye dahil olmak üzere pek çok ülkede taban akışını tahmin etmek için çalışmalar devam etmektedir.

1.3 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı Sakarya ve Batı Karadeniz akarsu havzalarındaki 14 AGİ'ye ait günlük akım verilerini kullanarak taban akış indeksini (TAI) ve taban akışı (Q_b) değerlerini hesaplamak ve hesaplanan bu değerleri çoklu regresyon yöntemi yardımıyla çeşitli havza karakteristiklerinin bir fonksiyonu olarak yazmaktır.

1.4 Çalışmanın Yöntemi

Çalışmada Sakarya ve Batı Karadeniz havzalarında bulunan 14 AGİ'nin uzun yıllara ait günlük akım verileri kullanılarak literatürde kabul görmüş İHEY ile taban akışı indeksi ve taban akışı değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra hesaplanan bu değerler ile Sakarya ve Batı Karadeniz havzalarının çeşitli topoğrafik ve hidrometeorolojik havza karakteristikleri çoklu regresyon yöntemi yardımıyla modellenmiştir. Böylelikle iki regresyon modeli oluşturulmuştur. İlk modelde TAI bağımlı değişken, havza karakteristikleri ise açıklayıcı değişkenler olarak kullanılarak taban akışı indeksini tahmin etmek için bir regresyon denklemi ortaya çıkmıştır. İkinci modelde ise bu kez Q_b bağımlı değişken olarak alınıp TAI ve havza karakteristikleri ise açıklayıcı değişkenler olarak kullanılmıştır ve taban akışını tahmin etmek için ikinci bir regresyon denklemi bulunmuştur. Bu denklemler oluşturulurken çoklu regresyon modelinin dayandığı bazı varsayımlar dikkate alınmıştır. Bu varsayımların sağlanması ortaya çıkarılan iki modelin istatistik gücünü artırmaktadır. Modelleri oluştururken kalibrasyon aşamasında 11, validasyon aşamasında ise 3 AGİ'ye ait veriler kullanılmıştır. Daha sonra çoklu regresyon modeli kullanılarak oluşturulan denklemlerle hesaplanan TAI ve Q_b değerleri İHEY ile hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır.

1.5 Çalışmanın Düzeni

Çalışmada Bölüm 2’de akarsu akışı, akarsu akışının elemanları, hidrograf analizi, hidrografın çekilme eğrisi konuları üzerinde durulmuştur.

Bölüm 3’te ilk önce taban akışının önemi ve taban akışının toplam akışa bölünmesiyle elde edilen taban akışı indeksinden bahsedilmiş, sonra grafik yöntemlerden başlayarak taban akışı tahmin yöntemleri anlatılmış, bu çalışmada kullanılacak olan İHEY ve regresyon yöntemi detaylandırılmıştır.

Bölüm 4’te çalışma alanı olarak seçilen Sakarya ve Batı Karadeniz havzaları hakkında genel bilgiler verilmiş ve bu havzalarda kullanılacak olan akım gözlem istasyonları tanıtılmıştır.

Bölüm 5’te her akım gözlem istasyonu için hesaplanacak topoğrafik ve hidrometeorolojik değişkenler tanıtılmış ve bu değişkenlerin nasıl temin edildiği anlatılmıştır. Bölüm sonunda da değişkenlerin istatistiksel analizi yapılmıştır.

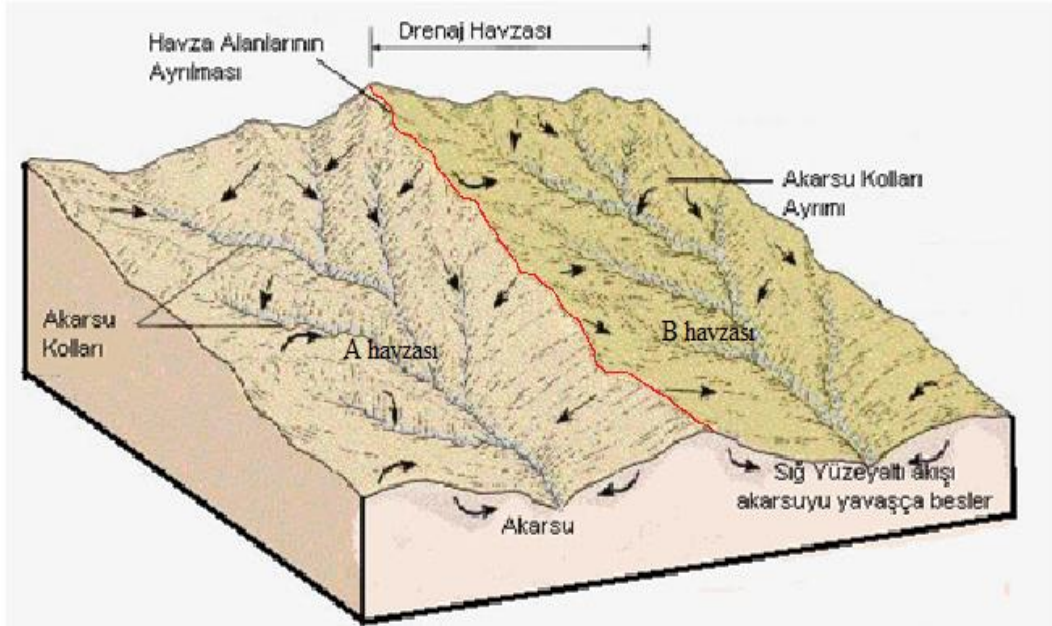
Bölüm 6’da çoklu regresyon yöntemi ile geliştirilen TAI ve Q_b denklemlerinin nasıl bulunduğu anlatılmış ve bu denklemleri oluşturmak için regresyon modelinde yapılan varsayımların geçerliliği irdelenmiştir. Bölüm sonunda ise İHEY ile regresyon yöntemlerinin sonuçları karşılaştırılmıştır.

Bölüm 7’de ise yapılan çalışmanın sonuçları üzerinde durulmuştur.

2. AKIŞIN BİLEŞENLERİ VE TABAN AKIŞININ AYRILMASI

2.1 Akarsu Akışı

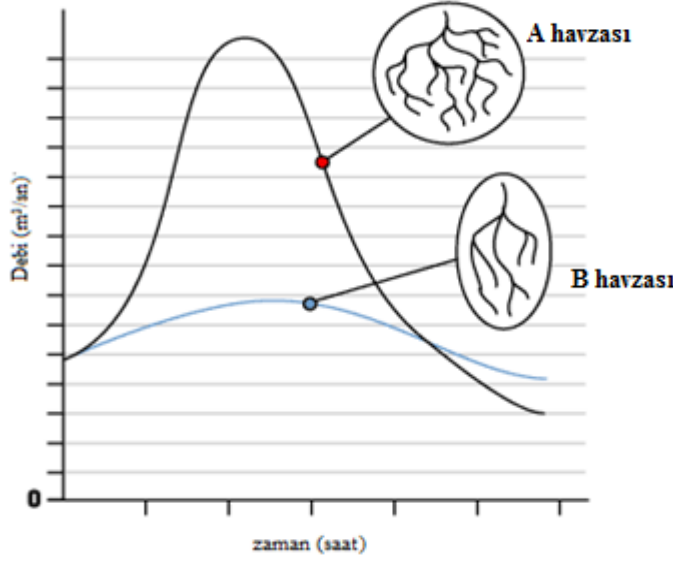
Üzerine düşen yağışı akışa çevirerek bir çıkış noktasına gönderen alan akarsu havzası olarak tanımlanır. Dolayısıyla akarsu havzasına yağışı akışa çeviren bir sistem olarak bakılabilir ve literatürde su toplama havzası, drenaj havzası, nehir havzası olarak da geçmektedir. Akarsu havzaları birbirinden sırtlardan geçen bir su ayırım çizgisiyle (havza sınırı) ayrılır. Su ayırım çizgisinin çıkış noktasından başlayarak arazi üzerindeki en yüksek noktalardan geçtiği kabul edilebilir. Şekil 2.1’de birbirine komşu A ve B havzalarının akarsu kolları, kolların akış yönü ve iki havza arasındaki su ayırım çizgisi görülmektedir (Yolcubal, 2004). Burada birbirilerine çok yakın olmalarına rağmen su ayırım çizgisinin hemen sol altındaki noktalar A havzasını beslerken çizginin hemen sağ altındaki noktalar ise B havzasını besler.



Şekil 2.1: Akarsu havzaları ve su ayırım çizgisi

Havzalar birbirinden farklı karakteristiklere sahiptir ve bir havzanın üzerine düşen yağışı akışa çevirmesinde bu karakteristiklerin önemi büyüktür. Başlıca havza karakteristikleri alan, arazi örtüsü, şekil, eğim, akarsu yatak eğimi, aldığı ortalama yıllık yağış ve jeolojisi olarak düşünülebilir. Bunlardan alan ve eğim gibi

karakteristikler zamanla değişmedikleri veya çok uzun sürede değiştikleri için sabit olarak kabul edilirken yağış ve arazi örtüsü zamanla değişir (Uşul, 2008). Şekil 2.2’de üzerlerine aynı yağış düşen, şekilleri farklı havzaların çıkışlarında görülen akım hidrograflarına bakıldığında A havzasında daha dik ve pik değeri daha yüksek olan bir hidrograf görülür. Bunun nedeni A havzasındaki drenaj yoğunluğunun B havzasına göre daha fazla olmasıdır.



Şekil 2.2: Havza şeklinin hidrografa etkisi

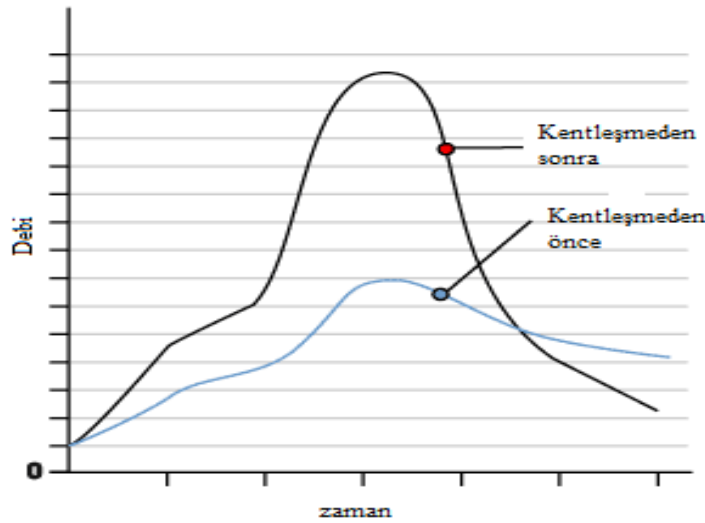
Çeşitli zaman dilimlerinde akarsulardaki akış dünyanın güneş etrafındaki bir yıllık dolanımının sonucunda oluşan mevsimlerin etkisiyle yıl içinde farklılıklar gösterir. Bu nedenle bazı bölgeler hariç genel olarak kış ve ilkbahar aylarındaki akış miktarı yüksek, yaz ve sonbahar aylarındaki akış miktarı ise daha düşüktür.

Bir akarsu kesitinde gözlenen akışın üç temel kaynağı vardır. Bunlar: Havza üzerine düşen yağışın kısa sürede akışa geçen kısmı olan yüzeysel akış, sızma nedeniyle zeminin üst tabakalarında ilerlerken geçirimsiz bir tabakayla karşılaştığında süzülerek akarsuya katılan yüzeyaltı akışı ve yeraltı su seviyesinin akarsuyu kestiği yerdeki yeraltı akışıdır. Yağış düşmeye başladığı anda bir kısmı bitkiler tarafından tutulur ve bu kısım yeryüzüne ulaşamaz. Yeryüzüne ulaşan kısım ise önce sızma ile toprağın nem ihtiyacını karşılar. Yağışın devam etmesiyle bir süre sonra sızma hızı yağış şiddetinden daha küçük bir değere ulaşır ve toprak yüzeyinde su birikintileri oluşmaya başlar. Biriken su bulunduğu yerden yerçekiminin yardımıyla daha alçak noktalara akmaya başlar ve yüzeysel akışı oluşturur. Kuvvetli bir yağış esnasında

özellikle yağışsız, kurak dönemlerde akarsuyu beslemektedir ve su toprak içerisinde hareket ettiği için hızı yavaştır.

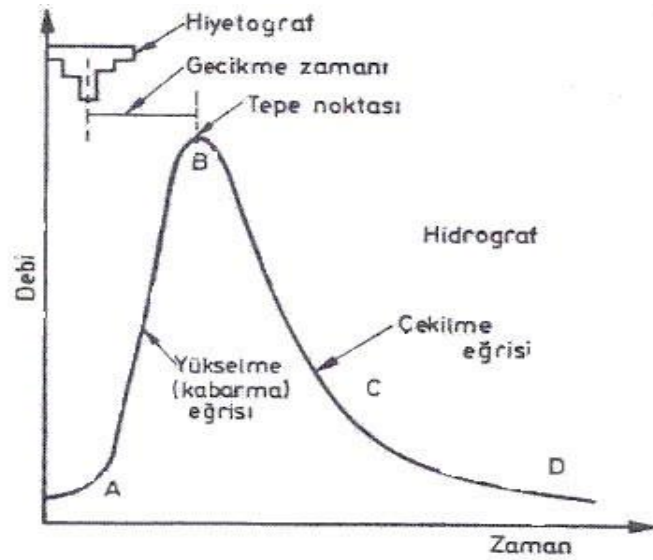
2.2 Hidrograf Analizi

Hidrograf akarsuyun belli bir kesitinde suyun yıl içinde veya belli bir zamandaki akış miktarını gösteren grafiklerdir. Düşey ekseninde debi, yatay ekseninde ise zaman gösterilir ve değişkenlerin birimleri ilgilendiğimiz problem türüne göre değişir. Debinin birimi genellikle m^3/s olmakla beraber küçük dereler için L/s olabilir. Zaman ise dakika, saat, gün, ay veya yıl gibi değişik dilimlerde olabilir (Uşul, 2008). Hidrografın şekli hem havzanın özelliklerine hem de yağış şekillerine göre değişmektedir. Şekil 2.4'te kentleşmeden önceki ve sonraki hidrograflar görülmektedir. Kentleşme arttıktan sonra bitki örtüsü tarafından tutulma olmayacağı ve zemin geçirgenliği azalacağı için yağış gerçekleştiğinde su akarsuya daha erken ulaşacaktır. Bu durum hidrografın daha dik ve pik debisinin daha yüksek olmasına neden olur.



Şekil 2.4: Arazi kullanımının hidrograf üzerindeki etkisi

Tipik bir hidrograf üç kısımdan oluşur. Bunlar; yükselme eğrisi, tepe noktası ve çekilme (alçalma) eğrisidir. Şekil 2.5'te bir yağışa ait hidrograf görülmektedir. Hidrografın şekli simetrik değildir. Yükselme eğrisi yağış nedeniyle debinin yükselmeye başladığı A noktasından başlar ve B noktasına kadar yükselen bir eğri şeklinde devam eder. Bu eğride yağışın ve havza özelliklerinin etkisi büyüktür. Havzada eğer geçirgenlik az ve yağış şiddeti fazla ise yükselme eğrisi dik, geçirgenlik iyi ve yağış şiddeti az ise debi daha yavaş yükselir.



Şekil 2.5: Bir yağışa ait tipik hidrograf

Hidrografın genellikle bir tepe noktası vardır. Şekil 2.5'te bu nokta B noktasıdır. Bu noktada debi maksimum bir değer alır. Yağış şiddeti en az geçiş süresine kadar eşit bir zaman boyunca değişmezse debi bir süre sonra sabit bir değerde kalır. Ancak, havza biçiminin ve yağış dağılımının düzensiz olması nedeniyle bu mümkün olmaz ve bu durum debinin sabit bir maksimum değerde kalmasını engeller. Sabit bir maksimum değere ancak kar erimelerinde veya çok uzun süren yağışlardan sonra rastlanabilir (Bayazıt, 1991). B tepe noktasından sonra hidrograf alçalmaya başlar. Şekil 2.5'te gösterilen BD eğrisi çekilme veya alçalma eğrisine karşılık gelmektedir. Bu eğri AB yükselme eğrisine göre daha yatıktır ve eğrinin şekli özellikle havzanın karakteriyle ilgilidir. Eğrinin üstteki BC kısmı yüzey kanallarında toplanan suyun boşalmasını ve yüzeyaltı akışını gösterir. Altındaki CD kısmı ise taban akışına karşılık gelir. Bu kısım yeraltısuyu depolamasının bir fonksiyonudur ve yağışın karakteriyle bir ilgisi yoktur (Bayazıt,1995; Usul, 2008).

2.3 Çekilme Eğrisinin Analizi

Çekilme eğrisi yağış nedeniyle havza içerisinde depolanan suyun boşalmasına karşılık gelmektedir. Bundan dolayı genellikle yükselme eğrisi gibi yağışa bağlı olarak değişmemektedir ve şekli genel olarak havza karakteristiklerine bağlıdır. Çekilme eğrisinin akışın üç bileşeninden meydana geldiği kabul edilebilir: Yüzeysel akış, yüzeyaltı akışı, yer altı akışı. Çekilme eğrisinin analizi hidrolojik araştırmalar, su kaynaklarının planlanması ve yönetimi için önemlidir (Tallaksen, 1995; Smakhtin,

2001). Özellikle düşük akımların tahmini, havzadaki yeraltı suyu kaynaklarının belirlenmesi, akımın bileşenlerine grafik olarak ayrılması için hidrograf analizinde ve yağış-akış modellemelerinde kullanılır. Vogel ve Kroll (1992) taban akışı çekilme parametresini bölgesel tahmin modelinde kullanarak düşük akımları tahmin etmeye çalışmıştır. Modeldeki bu parametre hem hidrolik iletkenlik hem de zemin gözenekliliğini göstermektedir (Sujono ve diğ, 2004).

Çekilme eğrisini matematiksel olarak ifade etmek için çeşitli denklemler bulunmaktadır ve yapılan çalışmalar Boussinesq (1877)'in çalışmalarına kadar dayanmaktadır (Tallaksen, 1995). Boussinesq'in geliştirdiği denklem evapotranspirasyonun ve sızmanın olmadığı ideal koşullar altında geçerliydi. Daha sonra yapılan varsayımlara göre pek çok denklem geliştirildi. Bunlardan günümüzde en yaygın olarak kullanılan denklem Maillet (1905) tarafından önerilen

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t} \quad (2.1)$$

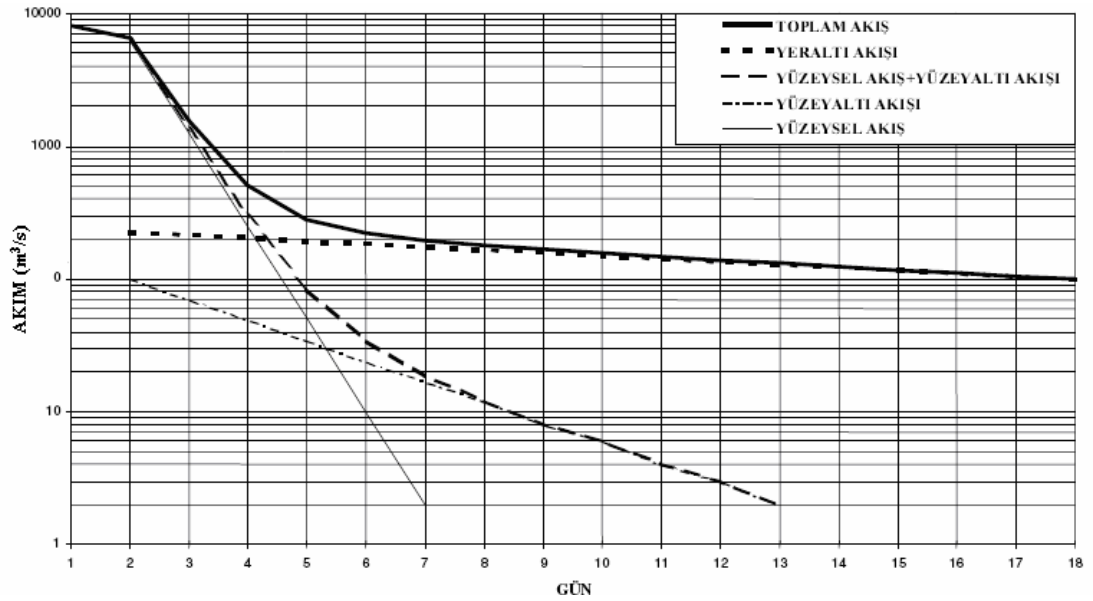
denklemdir (Toebe ve Strang, 1964). Burada Q_0 çekilme eğrisinin başlangıcındaki debiyi, Q_t başlangıç debisinden herhangi bir t süre sonraki debiyi, $e^{-\alpha}$ ise çekilme katsayısını göstermektedir. Zaman aralığı genel olarak bir gün alınmaktadır. Werner ve Sundquist (1951) basınçlı akiferdeki azalan akımın denklem (2.1)'le ifade edilebileceğini göstermiştir. Yine Horton (1933) hidrografın çekilmesinin denklem (2.1) ile açıklanabileceğini göstermiştir. Burada çekilme sabiti $e^{-\alpha}$, K_r olarak alınırsa bu durumda denklem,

$$Q_t = Q_0 K_r^t \quad (2.2)$$

şeklinde yazılabilir. K_r çekilme katsayısı 1 den küçük bir katsayı olup yüzeysel akış, yüzeyaltı akışı ve yeraltı akışı için farklı değerler alır.

Barnes (1939) çekilme eğrisini Şekil 2.6'da gösterildiği gibi yarı logaritmik bir kağıt üzerine çizerek yüzeysel akış, yüzeyaltı akışı ve yeraltı akışını birbirinden ayırmıştır. Şekil 2.6'da 17. günden sonra eğrinin bir doğruya yaklaştığı görülmektedir. Bu kısım geriye doğru uzatılarak yeraltı akışı elde edilir ve yeraltı akışının K_r çekilme katsayısının değeri bu doğrunun eğiminden yararlanılarak bulunur. Bunun için 17. günden sonraki herhangi ardışık iki günün debilerinin oranı alınır. Bu şekilde belirlenen yeraltı akışı eğrisi çekilme eğrisinden çıkarıldıktan sonra yüzeysel akış ve yüzeyaltı akışının toplamı elde edilir. Bu değerler Şekil 2.6'da gösterildiği gibi

yeniden yarı logaritmik kağıda işaretlendiği zaman bu kez 11. günden sonraki eğrinin doğruya yaklaştığı görülür. Bu doğru yüzeyaltı akışını ifade eder ve bu doğrunun eğimi kullanılarak yüzeyaltı akışının çekilme katsayısı bulunabilir. Bunun için 11. günden sonraki herhangi ardışık iki günün debilerinin oranı alınır. Yüzeyaltı akışı eğrisinin ordinatlarının da çıkarılmasıyla yüzeysel akış eğrisi belirlenir ve yarı logaritmik kağıtta bu eğri de doğruya yaklaşır. Ardışık iki günün debilerinin oranı ile yine yüzeysel akışın çekilme katsayısı hesaplanabilir. Böylelikle akışın 3 bileşeni birbirinden ayrılmış olur (Bayazıt ve diğ, 1997).



Şekil 2.6:Çekilme eğrisinin bileşenlerine ayrılması

K_r çekilme katsayısının değeri yağıştan yağışa ve mevsime göre değişebilir. Çekilme eğrisinin taban akışını gösteren alt kısmı için K_r değeri 0,85 ile 0,98, yüzeyaltı akışını gösteren orta kısmı için 0,5 ile 0,8 ve yüzeysel akışı ifade eden üst kısmı için 0,05 ile 0,2 arasında değişebilir (Bayazıt, 1991; Aksoy ve diğ, 2001). Bu durum, taban akışının doğrusal olmayan bir hazneden beslendiğini ortaya koymaktadır. Doğrusal olmayan hazne teorisi kullanılarak son zamanlarda yapılan çalışmalarda bu gerçeği göstermiştir (Wittenberg, 1999; Wittenberg ve Sivapalan, 1999; Aksoy ve diğ, 2001; Wittenberg, 2003; Wittenberg ve Aksoy, 2010; Aksoy ve Wittenberg, 2011; Aksoy ve diğ, 2014).

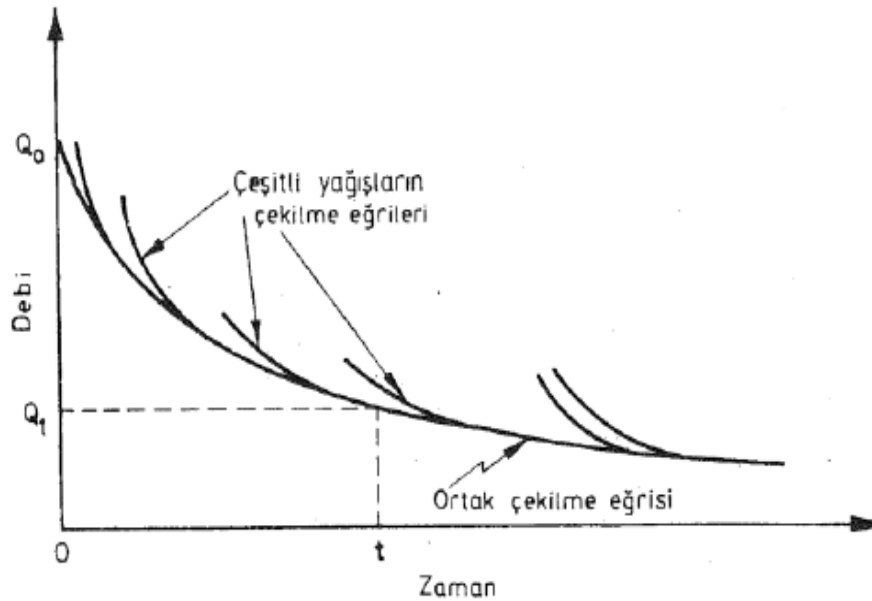
2.4 Havzanın Ana (Ortak) Çekilme Eğrisi

Havza içerisindeki çeşitli noktalardan alınmış her hidrografın farklı bir çekilme eğrisi vardır ve bunların hiçbirisi tek başına tüm havzayı temsil edemez. Bu yüzden havzayı

temsil edebilecek ana (ortak) bir çekilme eğrisini bulabilmek için farklı noktalardan çok sayıda hidrograf elde etmek gerekir (Usul, 2008). Ana çekilme eğrisinin elde edilmesinde yaygın olarak 3 yöntem kullanılmaktadır.

Birinci yöntem korelasyon yöntemidir. Langbein (1940) tarafından önerilen bu yöntemde yeraltı suyu çekilme eğrisindeki Q_t değerlerine karşı gelen N gün sonraki Q_{t+N} değerleri çift logaritmik grafik kağıdına işaretlenir. Daha sonra bu noktalardan bir doğru veya eğri uygun bir şekilde geçirilir. Eğer bir doğru elde edilmişse bu doğrunun eğimi bize $\log K'$ 'yı verir (Toebe ve Strang, 1965). Dolayısıyla bu şekilde havzanın çekilme katsayısı elde edilmiş olur.

İkinci yöntem şerit yöntemidir. Bu yöntemde önce tüm hidrografların çekilme eğrisi son değeri en küçük olandan başlanarak büyüklük sırasına göre grafik kağıdına çizilir. Çizime kağıdın zaman ekseninin sonundan başlanır. Daha sonra bu eğriler yatay olarak kaydırılarak birbirleriyle üst üste gelmeleri sağlanır. Üst üste gelmiş kısımlardan geçen eğri ana çekilme eğrisini oluşturur. Şekil 2.7'de şerit yöntemi ile çekilme eğrisinin nasıl bulunduğu görülmektedir.



Şekil 2.7 : Şerit yöntemi ile ortak çekilme eğrisinin belirlenmesi

Son yöntem ise esasen şerit yöntemine benzeyen tablo yöntemidir. Bu yöntemde farklı çekilme eğrilerinin günlük ortalama akımları sütunlar halinde yazılır. Sütunlardaki değerler birbirlerine yaklaşacak şekilde sıralanır ve her yatay çizgideki debilerin ortalaması alınarak elde edilen değerlerle ana çekilme eğrisi belirlenmiş olur. Çizelge 2.1'de tablo yöntemi ile ana çekilme eğrisinin bulunması gösterilmiştir.

Çizelge 2.1: Tablo yöntemi ile ortak çekilme eğrisinin belirlenmesi

1.Çekilme Eğrisi	2.Çekilme Eğrisi	3.Çekilme Eğrisi	4.Çekilme Eğrisi	Ana Çekilme Eğrisi
1,567				1,567
1,520	1,520			1,520
1,429	1,429	1,474	1,436	1,442
1,342	1,342	1,342	1,328	1,339
1,299	1,258	1,258	1,262	1,269
1,217	1,138	1,138	1,138	1,158

3. TABAN AKIŞININ TAHMİN EDİLMESİ

3.1 Taban Akışının Önemi

Taban akışı akarsuyu sürekli besleyen ve özellikle kurak dönemlerde akarsu akışının neredeyse tamamını oluşturan akıştır. Taban akışı yeraltı akışı ile yüzeyaltı akışının gecikmeli kısmından meydana gelir (Gebert ve diğ, 2007). Genellikle yeraltı suyu şeklinde akarsuyu besler (Piggott ve diğ, 2005; Li ve diğ, 2013). Taban akışının hızı dolaysız akışa göre çok yavaştır çünkü su toprak içerisinde hareket eder ve yeraltı suyunun akarsuyu kestiği noktada akarsuya katılır. Taban akışının bilinmesi kirli atık etkilerinin araştırılması, özellikle kurak dönemlerde su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi, suda yaşayan canlılar ile çevreleri arasında ilişki kurulması, küçük ve orta dereceli su kaynaklarının belirlenmesi ve tuzluluk, su kalitesi ve alg patlamasının yönetimi açısından önemlidir (Santhi ve diğ, 2008; Li ve diğ, 2013). Aynı zamanda akarsu taşımacılığı, hidroelektrik enerji ve su ihtiyacı için akış sağlar (McMahon ve Mein, 1986).

Taban akışı arazi kullanımına, bitki örtüsüne, toprak cinsine, jeolojiye, topoğrafyaya ve iklime göre değişmektedir. Bu yüzden yapılan bir çok çalışmada taban akışı havzanın çeşitli özellikleriyle ilişkilendirilerek açıklanmaya çalışılmıştır. Örneğin Zhu ve Day (2009) ABD’de Pennsylvania eyaletindeki 58 havza için yaptığı çalışmada taban akışını drenaj alanı, yükseklik, yağış ve evapotranspirasyona bağlı olarak açıklamaya çalışmıştır.

3.2 Taban Akışı İndeksi

Taban akışı indeksi (*TAI*) İngiliz Hidroloji Enstitüsü (1980) tarafından İngiltere’deki akarsuların düşük akım karakteristiklerini belirlemek için geliştirilen ve taban akışını toplam akıştan ayırmak için kullanılan bir ölçüttür. Taban akışı hacminin toplam akış hacmine bölünmesiyle elde edilen *TAI* 0 ile 1 arasında değişebilen boyutsuz bir büyüklüktür. Bu büyüklük,

$$TAI = \frac{\int_{t_1}^{t_2} Q_{taban\ akışı}(t)dt}{\int_{t_1}^{t_2} Q_{toplam\ akış}(t)dt} \quad (3.1)$$

şeklinde yazılabilir. Burada TAI , $\Delta t = t_2 - t_1$ zaman aralığı için hesaplanmıştır ve aralık isteğe bağlı olarak gün, ay, yıl veya mevsim olarak seçilebilir. Yağışsız, kurak dönemlerde akışın büyük bir kısmını taban akışı oluşturduğu için bu dönemlerde TAI 1'e çok yakın değerler alırken sağanak yağışın hemen sonrasında bu değer küçük olur. Belli bir gözlem süresinde (örneğin 10 yıllık) bir havzada TAI değeri yüksekse havzanın kararlı bir akış rejimine sahip olduğu ve yağışsız dönemlerde de akış rejimini devam ettirebildiği düşünülebilir.

TAI 'de taban akışı gibi havza özelliklerine göre değişebilmektedir. Vogel ve Kroll (1990), Ponce ve Shetty (1995), Lacey ve Greyson (1998), Haberlandt ve diğ. (2001), Mwakalila ve diğ. (2002), Longobardi ve Villani (2008), Santhi ve diğ. (2008) yaptıkları çalışmalarda TAI 'nin havzanın meteorolojik, topoğrafik, hidrolojik ve jeolojik özellikleriyle ilişkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu nedenle bu çalışmada çoklu regresyon modeli kullanılarak TAI 'yi çeşitli havza özellikleriyle ilişkilendirmiştir.

3.3 Taban Akışı Ayırma Yöntemleri

Taban akışını tahmin etmek için literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur ve bu çalışmalarda birbirinden farklı yöntemler kullanılmıştır. Kullanılan yöntemler çalışmanın amacına göre değişik faydalar sağlamaktadır. Bu yüzden hangi yöntemin kullanılacağı yapılacak çalışmanın içeriği ile ilgilidir. Taban akışını tahmin etmek için en çok kullanılan yöntemler grafik (basit) yöntemler, hidrografın çekilme eğrisinin analizi, sürekli taban akışı ayırma yöntemleri' dir. Bu yöntemlerden çekilme analizi ile taban akışını ayırma daha önce Bölüm 2'de hidrografın çekilme eğrisi incelenirken anlatılmıştı. Bu yöntemlerin yanında taban akışını havzanın çeşitli karakteristikleriyle ilişkilendirip bu karakteristiklerin taban akışı üzerindeki etkisini açıklamaya çalışan regresyon modelleri de mevcuttur.

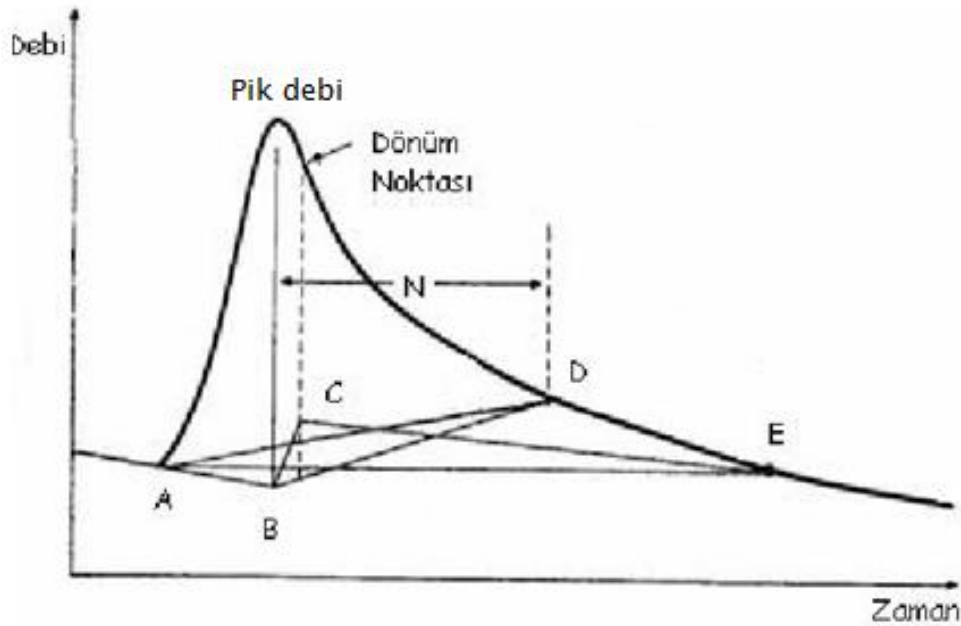
Bu çalışmada kullanılacak olan yöntemler sürekli taban akışı ayırma yöntemlerinden olan İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi (IHEY) ve regresyon analizidir. Bu yüzden bu bölümde bu iki yöntemden ayrıntılı bir şekilde bahsedilecektir.

3.4 Grafik (Basit) Yöntemler

Grafik yöntemler taban akışının ayrılmasında kullanılan en yaygın ve en basit yöntemlerdir. Literatürde yağıştan hemen sonra uygulandıkları için olay tabanlı taban akışı ayırma yöntemi olarak da geçmektedir (Nathan ve McMahon, 1990). Başlıca grafik yöntemler aşağıda belirtilmiştir.

3.4.1 Sabit debi yöntemi

Grafik yöntemler arasında kullanılması en basit ve en yaygın olan yöntemdir. Bu yöntemde taban akışının fırtına hidrografi boyunca sabit kaldığı varsayılır (Linsley ve diğ, 1958). Yükselme eğrisinin başlamasından hemen önceki akarsu akımı sabit değer olarak kabul edilir (Brodie ve Hostetler, 2005). Şekil 3.1’de görüldüğü gibi yüzeysel akışın başladığı A noktasından yatay bir doğru çizilir. Bu doğru hidrografın çekilme eğrisini E noktasından keser. Ortaya çıkan AE doğrusunun altında kalan alan taban akışını verir.



Şekil 3.1: Grafik taban akışı ayırma yöntemleri

3.4.2 Sabit eğim yöntemi

Sabit eğim yönteminde yağışla taban akışının hemen değiştiği varsayılır (Brodie ve Hostetler, 2005). Bu yöntemde Şekil 3.1’de görüldüğü gibi yükselme eğrisinin başladığı A noktası ile debinin pik değere ulaştıktan N gün sonrasına karşılık gelen D noktası birleştirilir. Pik değerden N sonraki günü hesaplamak için,

$$N = 0,827A^{0.2} \quad (3.2)$$

ampirik formülü kullanılır (Linsley ve diğ, 1958). Burada N pik debiden sonra dolaysız akışın sona ermesine kadar olan gün sayısını, A ise km^2 cinsinden havza alanına karşılık gelmektedir. Şekil 3.1’de Çizilen AD doğrusu sabit eğim yöntemini temsil eder ve bu doğrunun altında kalan alan taban akışını gösterir.

3.4.3 Konkav yöntemi

Konkav yönteminde Şekil 3.1’deki hidrograftan önceki hidrografın taban akışı çekilme eğrisi A noktasından devam ettirilerek pik değerinin altındaki B noktası ile birleştirilir. Daha sonra B noktası D noktası ile birleştirilir. AB-BD doğrusu altındaki alan taban akışını gösterir.

3.4.4 Değişken eğim yöntemi

Değişken eğim yönteminde yine konkav yönteminde olduğu gibi önce A ve B noktaları yukarıda anlatıldığı şekilde birleştirilir. Daha sonra hidrografın yeraltı akışına ait çekilme eğrisi geriye doğru pikten sonraki dönüm noktasının izdüşümünü kesecek şekilde uzatılır. Dönüm noktası çekilme eğrisinin ikinci türevinin sıfır olduğu noktadır. Böylelikle C noktası elde edilmiş olur. AB-BC-CE doğrularının altında kalan alan taban akışını verir (Das, 2009).

3.5 Sürekli Taban Akışı Ayırma Yöntemleri

Yukarıda bahsedilen grafik taban akışı ayırma yöntemleri genellikle bir yağış sonrası gözlenen hidrograftan taban akışının ayrılmasında kullanılır. Taban akışını toplam akıştan ayırmak için sürekli taban akışı ayırma yöntemleri de geliştirilmiştir. Yöntemlerin her biri belli bir algoritmaya dayanarak taban akışını tahmin etmeye çalışır. Başlıca sürekli taban akışı ayırma yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

3.5.1 Dijital filtre yöntemi (DFY)

Dijital filtre yöntemi ilk olarak Lyne ve Hollick (1979) tarafından sinyal analizlerinde kullanılmıştır. Daha sonra Nathan ve McMahon (1990) yaptığı çalışmada bu yöntemi akım değerlerine uygulayarak yüzeysel akışı toplam akıştan ayırmış ve böylelikle taban akışını elde etmiştir. DFY yüzeysel akış ile taban akışını frekansları

farklı iki sistem olarak kabul eder. Bu yöntemde yüzeysel akışın (yüksek frekanslı) taban akışından (düşük frekanslı) ayrılması sinyal analizlerindeki yüksek frekanslı sinyallerin filtre edilmesine benzetilir (Arnold ve diğ, 1995; Santhi ve diğ, 2008). Bu yöntemde

$$f_t = \alpha f_{t-1} + \frac{(1 + \alpha)}{2} (y_t - y_{t-1}) \quad (3.3)$$

denklemini ile önce yüzeysel akış toplam akıştan ayrılır (Lyne ve Hollick, 1979). Burada f_t t anındaki filtre edilmiş yüzelsel akışı, y_t t anındaki toplam akışı, α ise filtre parametresine karşı gelmektedir. Denklem (3.3) ile bulunan f_t değeri 0'dan küçük olabilir. Bu durumda $f_t=0$ olarak alınıp hesaplamaya devam edilir. Böylelikle taban akışı

$$b_t = y_t - f_t \quad (3.4)$$

bağıntısı ile elde edilmiş olunur.

Denklem 3.3'te kullanılan α filtre parametresini belirlemek için pek çok deney yapılmış, bu deneyler sonucunda en uygun α değerinin 0,9 ile 0,95 arasında olduğu belirlenmiş ve en uygun değerin 0,925 olduğu saptanmıştır (Nathan ve McMahon, 1990; Arnold ve diğ, 1995). Filtreleme zamanda ileri-geri-ileri olmak üzere 3 adımda yapılır. Verilerin filtrelenebildiği adım sayısının artması ile birlikte genellikle her adımda taban akışının yüzdesi düşer (Santhi ve diğ, 2008). Filtreleme için genellikle günlük ortalama akım verileri kullanılır. Günlük ortalama akım verileri kullanılarak denklem (3.3) yardımıyla yüzeysel akış değerleri toplam akıştan ayrılır ve denklem (3.4) ile taban akışı değerleri elde edilir. Elde edilen taban akışı değerleri yine denklem (3.3) kullanılarak ikinci defa filtreleme işlemine tabi tutulur ve filtreleme sonucunda bulunan taban akışı değerleri üçüncü kez filtrelenir. Burada ilk filtreleme sonucunda elde edilen taban akışı değerleri ikinci filtrelemede günlük ortalama akım değerleri olarak alınır. Aynı şekilde ikinci filtreleme sonucunda elde edilen taban akışı değerleri üçüncü filtrelemede günlük ortalama akış değerleri olarak kabul edilir. Çizelge 3.1'de bu yönteme ait bir örnek gösterilmiştir. İlk filtreleme sonucunda TAI 0,653, ikinci filtrelemede 0,670 ve üçüncü filtrelemede ise 0,664 bulunmuştur.

Chapman (1991) yılında yaptığı çalışmada

$$b_t = \frac{3\alpha - 1}{3 - \alpha} b_{t-1} + \frac{(1 - \alpha)}{3 - \alpha} (y_t - y_{t-1}) \quad (3.5)$$

denklemini elde etmiştir. Daha sonra Chapman ve Maxwell (1996) denklem (3.5)' i basitleştirerek,

$$b_t = \frac{\alpha}{2 - \alpha} b_{t-1} + \frac{(1 - \alpha)}{2 - \alpha} y_t \quad (3.6)$$

denklemini bulmuşlardır. Yakın zamanda Eckhardt (2005) da bu konuda çalışmalar yapmıştır.

Çizelge 3.1: DFY'nin uygulanması (Lyne ve Hollick denklemi)

	Günler	y_t	f_t	b_t
1.Filtre (İleri)	1	30	15	15
	2	28	11,950	16,050
	3	27	10,091	16,909
	4	27	9,334	17,666
	5	26	7,672	18,328
	6	26	7,096	18,904
	7	26	6,564	19,436
	8	28	7,997	20,003
2.Filtre (Geri)	1	20,003	10,002	10,002
	2	19,436	8,706	10,730
	3	18,904	7,541	11,363
	4	18,328	6,421	11,907
	5	17,666	5,302	12,364
	6	16,909	4,168	12,733
	7	16,050	3,036	13,014
	8	15	1,798	13,202
3.Filtre (İleri)	1	13,202	6,601	6,601
	2	13,014	5,925	7,089
	3	12,733	5,210	7,523
	4	12,364	4,464	7,900
	5	11,907	3,690	8,217
	6	11,363	2,889	8,474
	7	10,730	2,063	8,667
	8	10,002	1,208	8,794

3.5.2 İngiliz hidroloji enstitüsü yöntemi (İHEY)

İngiliz Hidroloji Enstitüsü yuvarlatılmış minimumlar yöntemi olarak da bilinen bu yöntemde DFY'de olduğu gibi gözlenen günlük ortalama akım verileri kullanılarak

taban akışının toplam akıştan ayrılması hedeflenir. İlk önce günlük ortalama akım verileri birbirleriyle üst üste gelmeyecek şekilde sırayla beş günlük gruplara ayrılır ve her grubun minimum akım değerleri belirlenir. Belirlenen minimumlardan herhangi birinin 0,9 katı komşu iki minimumun her ikisinden de daha küçükse bu minimum dönüm noktası olarak kabul edilir. Bu durum matematiksel olarak

$$0,9q_i < q_{i-1} \text{ ve } 0,9q_i < q_{i+1} \quad (3.7)$$

şeklinde ifade edilebilir. Denklem 3.7’de kullanılan 0,9 çarpanının fiziksel bir anlamı yoktur ve taban akışını tahmin etmek için bu yöntemle ait bir katsayıdır (Mazvimavi ve diğ, 2004). Sloto ve Crause (1996) yaptığı çalışmada günlük akım verilerini üçlü, beşli ve yedili gruplara ayırmış ve bu gruplar için *TAI* değerlerini sırası ile 0,35, 0,29 ve 0,24 bulmuştur. Daha sonra bu değerleri diğer yöntemler kullanılarak hesaplanan *TAI* değerleri ile karşılaştırarak en uygun ayırmanın beşerli gruplar halinde olacağını belirtmiştir.

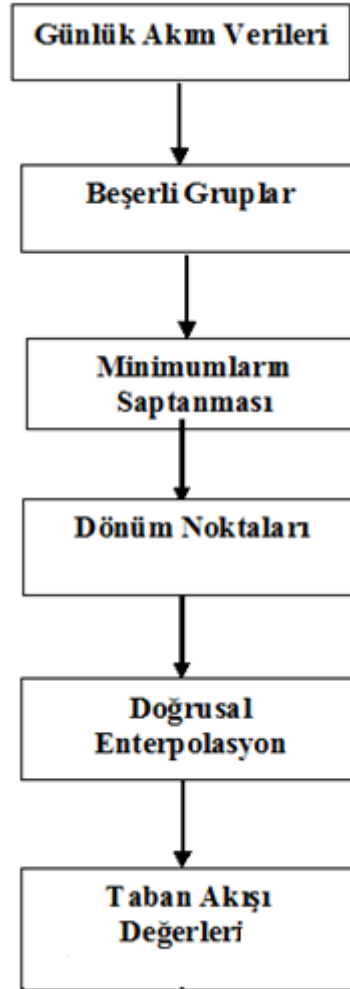
Bulunan dönüm noktaları toplam akışın tamamının taban akışından kaynaklandığı günlere karşılık gelmektedir (Piggott ve diğ, 2005). Daha sonra bu noktalar doğrusal enterpolasyonla birleştirilir ve diğer günlere ait taban akışı değerleri elde edilir. Enterpolasyon sonrasında bazı günlerdeki taban akışı değerlerinin toplam akarsu akışı değerlerini geçtiği görülebilir. Bu özellikle dönüm noktaları arasındaki farklar büyük olduğu zaman meydana gelebilmektedir. Fiziksel olarak mümkün olmayan böyle bir durumla karşılaşıldığı zaman taban akışı değerleri o günkü toplam akış değerine eşit alınarak sorun giderilir.

İHEY sürekli akış halinde bulunan akarsu verileri kullanılarak geliştirildiğinden kuruyan akarsulara uygulandığında dönüm noktalarının belirlenmesinde problemler ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle Hisdal ve diğ. (2003) ve Aksoy ve diğ. (2008) kuruyan akarsular için,

$$0,9q_i \leq q_{i-1} \text{ ve } 0,9q_i \leq q_{i+1} \quad (3.8)$$

koşulunu kullanmışlardır. Denklem (3.8) ile denklem (3.7) arasındaki tek fark denklem (3.8)’de herhangi bir minimumun 0.9 katı kendisine komşu iki minimumun her ikisinden de küçükse veya eşitse dönüm noktası olarak kabul edilebilir.

IHEY literatürde taban akışını ayırmak için sıkça kullanılan yöntemlerden biridir. Yukarıda anlatılan IHEY'in çalışma biçiminin kısaca özeti Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2 : IHEY'in çalışma biçimi

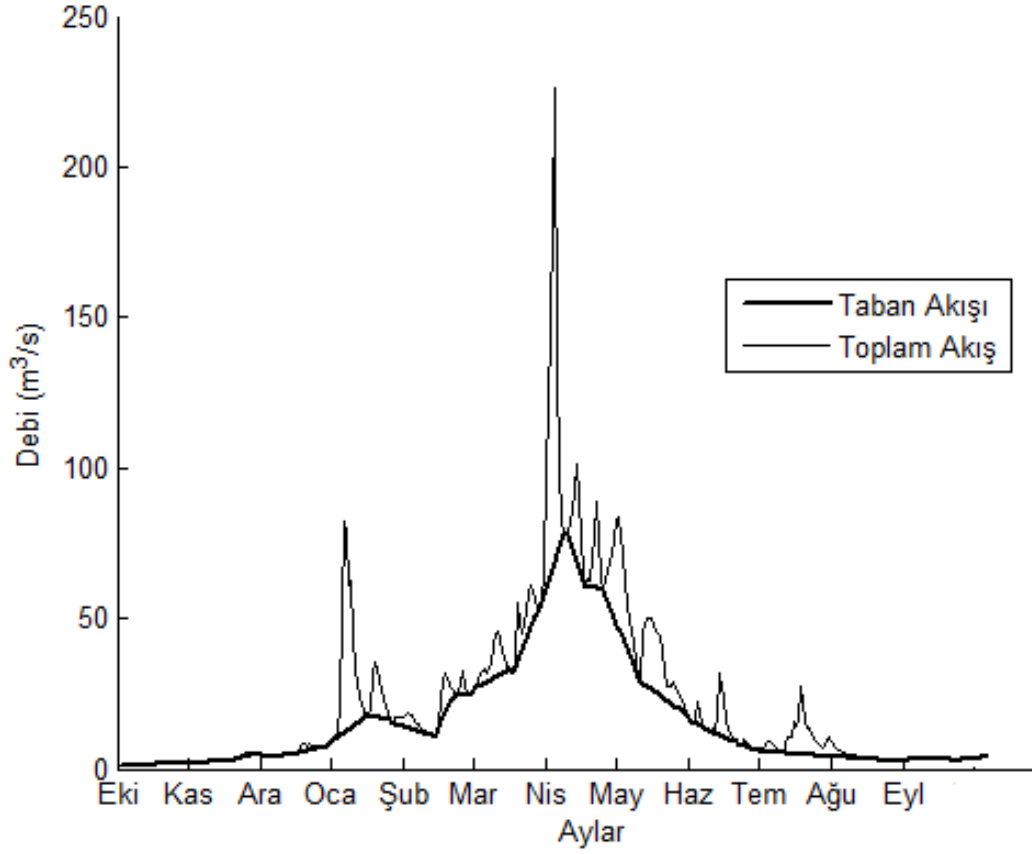
Çizelge 3.2'de IHEY'e örnek teşkil etmesi amacıyla Bölüm 4'te daha ayrıntılı olarak anlatılacak olan Elektrik İşleri Etüt İdaresi'ne (EİEİ) ait 1314 nolu istasyonun günlük ortalama akım verileri (m^3/s cinsinden) görülmektedir. Burada daha önce anlatıldığı gibi günlük akımlar beşer günlük gruplara ayrılmış ve her grubun minimumu saptanmıştır. Gölgeleştirilmiş değerler her grubun minimumunu gösterirken hem gölgeleştirilmiş hem de kalınlaştırılmış değerler ise denklem (3.7)'yi sağlayan dönüm noktalarını göstermektedir. 01.10.1994 ile 05.10.1995 tarihleri arasındaki ilk grubun ve 26.09.1995 ile 30.09.1995 tarihleri arasındaki son grubun sadece bir

komşu grupları olduğundan bu gruplarda dönüm noktası bulunamayacağına dikkat edilmelidir. Bu yüzden İHEY’de dönüm noktaları ikinci grup ile sondan bir önceki grupta bulunabilir.

Çizelge 3.2: İHEY’in 1314 nolu istasyona uygulanması (1995 su yılı için)

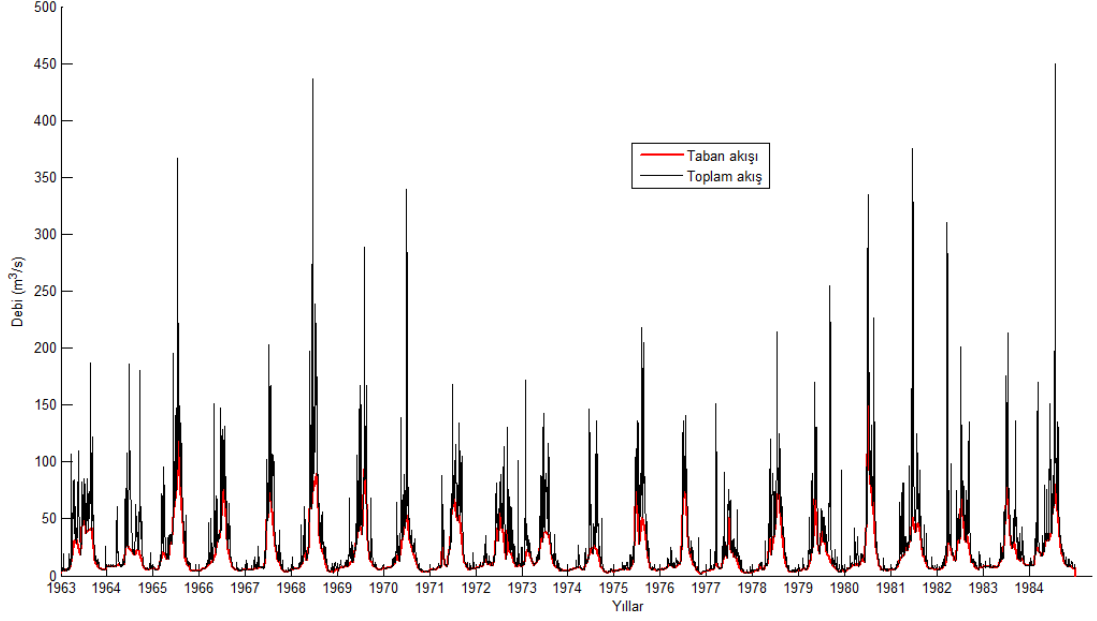
Gün	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
1	1,35	2,18	4,52	11,9	17,6	29,6	180	62,2	22,1	8,85	5,18	3,30
2	1,26	2,03	4,31	21,1	16,6	32,2	226	54,5	19,1	8,53	4,72	3,10
3	1,26	2,18	4,31	81,9	15,1	32,9	134	50,3	14,6	7,88	4,52	3,10
4	1,26	2,18	4,52	78,8	15,1	31,5	99,6	46,0	13,5	7,02	4,72	3,10
5	1,26	2,18	4,72	61,3	13,8	32,9	83,0	41,9	13,8	6,24	4,72	3,30
6	1,26	2,18	4,52	62,2	13,1	35,0	77,7	35,7	12,3	5,45	4,52	3,30
7	1,35	2,32	4,31	45,2	12,3	40,3	77,7	30,2	13,5	5,18	4,31	3,10
8	1,35	2,32	4,52	32,9	11,6	45,2	83,0	28,9	13,1	7,55	4,11	3,91
9	1,26	2,47	4,72	28,9	11,2	46,0	85,2	45,2	17,1	10,8	3,71	3,71
10	1,35	2,32	4,72	24,1	10,8	43,5	92,4	47,7	31,5	10,8	3,51	3,71
11	1,35	2,32	4,72	21,6	11,6	38,6	101	50,3	27,1	15,6	3,30	3,51
12	1,35	2,32	4,52	19,1	14,2	37,8	91,2	50,3	24,1	14,2	3,30	3,51
13	1,45	2,32	4,72	17,6	24,1	34,3	76,7	47,7	16,6	16,1	3,51	3,51
14	1,45	2,61	5,18	19,6	28,9	32,9	66,2	46,0	13,5	27,7	3,30	3,30
15	1,45	2,76	5,97	31,5	31,5	31,5	60,5	45,2	11,6	22,6	3,10	3,10
16	1,60	2,90	7,02	35,7	30,2	37,1	63,0	44,4	10,2	16,6	2,90	2,90
17	1,60	2,76	8,20	34,3	28,3	55,4	62,2	39,4	8,85	13,5	2,76	2,90
18	1,60	3,10	8,53	29,6	26,5	48,6	77,7	32,2	7,88	13,8	2,76	2,90
19	1,74	3,71	7,88	26,5	24,6	45,2	88,8	27,7	7,55	11,2	2,90	3,10
20	1,74	4,31	8,20	23,1	25,2	47,7	76,7	27,1	9,83	10,5	3,10	3,30
21	1,89	4,72	7,55	20,6	28,9	52,8	64,1	27,1	8,85	9,18	3,10	3,51
22	1,74	4,52	7,02	18,6	32,2	57,9	59,6	28,9	8,20	7,55	2,76	3,30
23	1,74	5,18	6,76	16,1	28,3	61,3	62,2	27,1	7,55	6,76	3,10	3,30
24	1,89	5,18	7,29	15,1	25,2	59,6	65,1	24,6	6,50	7,55	2,90	3,71
25	1,89	4,52	7,29	17,1	24,6	56,2	69,3	23,1	6,24	9,83	3,10	4,11
26	2,03	4,92	7,29	17,1	24,6	52,8	71,4	21,1	5,97	10,8	3,10	4,11
27	2,03	5,18	7,55	17,1	25,8	57,1	76,7	19,1	6,76	8,85	2,90	3,91
28	2,03	4,92	8,20	17,1	27,1	64,1	81,9	17,1	7,02	8,20	3,51	3,71
29	2,03	4,72	9,50	17,6		101	84,0	15,6	7,88	7,02	3,71	3,71
30	2,03	4,72	10,2	18,6		117	71,4	15,1	8,85	6,50	3,71	3,71
31	2,18		10,8	18,1		150		17,1		5,97	3,71	

Çizelge 3.2’de gösterildiği şekilde dönüm noktaları bulunduktan sonra bu noktalar doğrusal interpolasyonla birleştirilmiş ve Şekil 3.3’de görüldüğü gibi 1995 su yılı için taban akışı toplam akıştan ayrılmıştır. Burada taban akışı hacmi 5762 m³/s olarak hesaplanırken, toplam akış hacmi 8021 m³/s bulunmuştur. Taban akışı hacminin toplam akış hacmine oranı ile de *TAI* değeri 0,718 hesaplanmıştır.



Şekil 3.3: 1314 nolu istasyonda İHEY ile taban akışının ayrılması

İHEY ile *TAI* hesaplanırken iki farklı yol izlenebilir. Bunlardan birincisi günlük ortalama akım verisi bulunan tüm yıllar için ayrı ayrı *TAI* değerleri hesaplayarak daha sonra ortak bir *TAI* değeri elde etmek, ikincisi ise tüm yılları bir bütün şeklinde alarak tek bir *TAI* değeri belirlemektir. Şekil 3.3'te tek bir yıla ait *TAI* hesaplanmıştır. Bu yöntemler arasında pek bir fark bulunmamakla beraber İngiliz Hidroloji Enstitüsü ikinci yolun izlenmesini önermiştir. Bu yüzden bu çalışmada tüm yıllar bir bütün olarak düşünülmüştür. Buna örnek olarak Şekil 3.4'te İHEY'in 1314 nolu istasyona ait 1963 ile 1985 yılları arasında uygulanması ile taban akışının ayrılması görülmektedir. Bu istasyon için *TAI* 0,652 bulunmuştur.



Şekil 3.4: İHEY'in uzun yıllara uygulanması

3.5.3 Revize Edilmiş İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi (RİHEY)

Yukarıda anlatılan İHEY ile günlük ortalama akımlar zaman serisinin ilk gününden başlayarak birbirleriyle çakışmayacak şekilde beşerli gruplara ayrılmakta, dolayısıyla elde edilen minimumlar ve dönüm noktaları bu gruplara göre belirlenmektedir. Eğer serinin ikinci, üçüncü, dördüncü veya beşinci gününden itibaren başlanırsa elde edilen gruplar ve dolayısıyla bu grupların minimumları ve dönüm noktaları birbirinden farklı olacaktır. Başlangıç noktasının bu etkisini ortadan kaldırmak amacıyla Piggott ve diğ. (2005) yaptığı çalışmada İHEY'i revize etmiştir. Revize edilmiş İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi'nde birinci gün, ikinci gün, üçüncü gün, dördüncü gün ve beşinci günden başlayarak ayrı ayrı beşerli gruplar elde edilmiştir. Bu gruplara İHEY'deki gibi aynı işlemler uygulanmış, böylelikle 5 farklı taban akışı verisi ortaya çıkmıştır. Elde edilen taban akışı verilerinin ortalaması alınarak taban akışı bulunur.

3.5.4 Filtre Edilmiş İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi

İHEY'de doğrusal enterpolasyon sonucu keskin doğrular ortaya çıkabilmektedir. Bu durumu ortadan kaldırmak ve İHEY ile DFY'nin sonuçlarını birbirine yaklaştırmak için Aksoy ve diğ. (2009) yaptığı çalışmada İHEY ile DFY yöntemlerinin birlikte kullanılmasını önermiştir. Böylelikle İHEY ile ortaya çıkabilecek keskin doğruların DFY ile daha yumuşak bir hale getirilmesi amaçlanmıştır.

Bu yöntemde ilk olarak daha önce anlatılan İHEY ile taban akışı değerleri bulunur. Elde edilen taban akışı değerleri daha sonra DFY ile filtrelendir. Filtreleme sadece ileriye doğru bir defa yapılır. Filtreleme için

$$I_t = \alpha I_{t-1} + \frac{(1 + \alpha)}{2} (i_t - i_{t-1}) \quad (3.9)$$

denklemini kullanılır. Bu denklem aslında daha önce gösterilen denklem (3.3) ile benzerdir. Burada I_t İHEY ile ayrılan taban akışı değerlerinin filtre edilmesi sonucu elde edilen yüksek frekanslı akışın t anındaki değerini, i_t t anındaki İHEY ile elde edilen taban akışını, α ise filtre parametresini göstermektedir. Burada α denklem (3.3)'te olduğu gibi genellikle 0,925 olarak alınır. Böylelikle

$$b_t = i_t - I_t \quad (3.10)$$

denklemini ile taban akışı hesaplanır.

3.6 Çoklu Regresyon Modeli

Regresyon analizi, bir bağımlı (açıklanan) değişkenin bir ya da birkaç bağımsız (açıklayıcı) değişkenle olan ilişkisini araştırarak, bağımlı değişkenin alabileceği ortalama değeri bağımsız değişkenin veya değişkenlerin bilinen değerlerini kullanarak tahmin etmeyi amaçlar. Bir bağımlı değişken sadece bir bağımsız değişken kullanılarak açıklanmaya çalışılıyorsa buna basit regresyon modeli denilir. Basit regresyon modeli bazı durumlar için elverişli olsa da uygulamada genellikle bir bağımlı değişkenin açıklanması için iki veya daha fazla değişkene ihtiyaç duyulmaktadır. Bağımlı değişkeni açıklamak için birden çok bağımsız değişken kullanılması çoklu regresyon olarak adlandırılır. Bu çalışmada da çoklu doğrusal regresyon modeli kullanılarak, bağımlı değişkenler olan taban akışı ve taban akış indeksi bağımsız değişkenler olan havzanın çeşitli karakteristikleri kullanılarak ayrı ayrı tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Çoklu doğrusal regresyon modeli genel olarak,

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_mX_m + \varepsilon \quad (3.11)$$

denklemleri ile ifade edilir. Burada Y tahmin edilmeye çalışılan bağımlı değişkeni, $X_1, X_2, X_3, \dots, X_m$ bağımsız değişkenleri, a regresyon sabitini, $b_1, b_2, b_3, \dots, b_m$ regresyon katsayılarını ve ε ise hata terimini göstermektedir. a regresyon sabiti tüm bağımsız değişkenler sıfıra eşit olduğu zaman bağımlı değişkenin aldığı değeri gösterir. b_i regresyon katsayıları kısmi regresyon veya kısmi eğim katsayıları olarak da bilinir. Bu katsayılara kısmi regresyon katsayısı denmesinin nedeni şudur: b_i , diğer bağımsız değişkenler sabit tutulurken, X_i 'deki bir birimlik değişmeye karşılık Y 'de meydana gelen değişimi ölçer. Bir başka deyişle X_i 'deki bir birim değişimin Y 'nin üzerindeki doğrudan etkisini, diğer değişkenlerin Y üzerinde olabilecek etkisinden arındırarak ölçer. ε hata terimi ise regresyon denklemiyle tahmin edilen değer (Y_r) gerçek değerle (Y_g) olan farkını göstermektedir. Bu fark

$$\varepsilon = Y_r - Y_g \quad (3.12)$$

denklemleri ile ifade edilebilir. Hata terimi, modele katılmayan ama Y 'yi etkileyebilecek bütün bağımsız değişkenlerin yerine geçen bir temsilci olarak düşünülebilir. Regresyon denklemiyle yapılan tahminlerin gerçek değerlerle tam olarak uyuşması mükemmel yakın bir sonuçtur ama bu durumun gerçekte pek mümkün olmaması hata teriminin önemini artırmaktadır.

Denklem (3.11)'de gösterilen regresyon katsayılarını hesaplamak için en küçük kareler yöntemi kullanılır. Bu yöntem regresyon katsayılarının bilinmeyen değerlerini, hata terimlerinin kareleri toplamı $\sum u_i^2$ 'yi olabildiğince küçük yapacak şekilde seçer. Bu koşul matematiksel olarak

$$\min \sum_{i=1}^N u_i^2 = \sum_{i=1}^N (Y_i - a - b_1 x_{1i} - b_2 x_{2i} - \dots - b_m x_{mi})^2 \quad (3.13)$$

şeklinde gösterilir. Böylelikle yukarıdaki koşul kullanılarak regresyon denkleminin en uygun regresyon katsayıları hesaplanmış olur.

Modelde yer alacak bağımsız değişkenlerin iyi seçilmesi modelin daha iyi sonuçlar vermesi ve bağımlı değişkenin daha doğru bir şekilde tahmin edilmesi için önemlidir. Bağımlı değişkenin bağımsız değişkenler tarafından açıklanması, modelde yer alacak bağımsız değişkenlerin sayısı arttıkça artar. Fakat, değişken sayısının artması ek ölçümler gerektirdiğinden bazı problemlere yol açmaktadır. Bu konuya

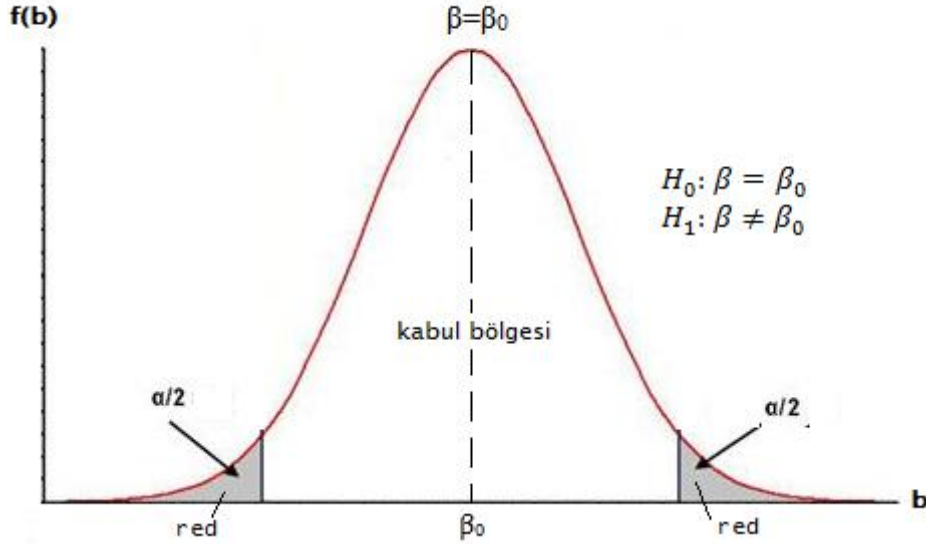
ileride varsayımlar başlığı altında daha detaylı bir şekilde değinilecektir. Bu nedenle bağımlı değişken mümkün olduğunca en az sayıda bağımsız değişkenle açıklanmaya çalışılır. Çoklu regresyon modelinde hangi bağımsız değişkenlerin modelde kullanılacağını belirlemek için hipotez testleri yapılır. Bu hipotezler, H_0 (sıfır hipotezi) ve H_1 (karşıt hipotezi) hipotezleridir. Sıfır hipotezi ve karşıt hipotez birbirinin tam zıttıdır, yani bir hipotezin kabulü durumunda diğer hipotez reddedilir. Burada ilk önce sıfır hipotezinin ne olacağı belirlenir ve sıfır hipotezinin aksi ispatlanana kadar doğru olduğu kabul edilir. Bu nedenle sıfır hipotezi oluşturulurken istatistiksel olarak tam ve net olmasına dikkat edilmelidir (Kalaycı, 2010). Örneğin, Sakarya havzasındaki bir akım gözlem istasyonunda gözlenen yıllık akım miktarı ile ilgili bir hipotez kurulmak istendiğinde sıfır hipotezi, “Sakarya havzasındaki X istasyonunda gözlenen yıllık akım miktarı 100 m³/s’ dir” gibi net bir rakam ile ifade edilmelidir. Sıfır hipotezinin reddedilmesi durumunda kabul edilecek karşıt hipotez ise “X istasyonundaki yıllık akım miktarı 10000 m³/s değildir” hipotezidir. Bu durum,

$$H_0: \beta = \beta_0, H_0: \beta = 100 \frac{m^3}{s} \text{ ve } H_1: \beta \neq \beta_0, H_1: \beta \neq 100 \frac{m^3}{s} \quad (3.14)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada β yıllık akım miktarını, β_0 ise yıllık akım miktarının değerini göstermektedir.

Bir hipotezin ancak iki sonucu olabilir; sıfır hipotezi ya kabul edilir ya da reddedilir. Sıfır hipotezi $\beta = \beta_0$ olarak düşünülürse elimizdeki bir örnekten hesapladığımız b istatistik değeri β_0 değerinden bir miktar farklı olabilir. Hesapladığımız b değeri β_0 değerinden çok uzak değilse $\beta = \beta_0$ hipotezi yine kabul edilebilir (Bayazıt ve Oğuz, 2011). Yukarıdaki örnekten yola çıkarak X istasyonu için 1984 yılındaki yıllık akım değeri 98 m³/s bulunmuşsa $\beta = \beta_0$ sıfır hipotezi kabul edilebilir çünkü bu değer 100 m³/s’ ye yakın bir değerdir. Burada önemli olan sıfır hipotezinin hangi aralıklarda kabul edileceğidir. b ’nin β_0 ’dan ne kadar farklı olması durumunda sıfır hipotezinin reddedileceği seçilecek α anlamlılık düzeyi ile belirlenir. α ’nın değeri belirlendikten sonra $\beta = \beta_0$ değeri merkez olmak üzere çizilen, b istatistiğinin örnekleme dağılımı kabul ve red bölgesi olmak üzere ikiye ayrılır (Örnekleme dağılımı normal dağılım göstermektedir ve bu nedenle merkez etrafında simetrik olarak dağılmaktadır). Gözlenen b değeri Şekil 3.5’te gösterildiği gibi belirlenen anlamlılık düzeyine göre

kabul bölgesi içerisinde kalıyorsa H_0 hipotezi kabul edilecek, red bölgesi içerisinde kalıyorsa H_0 hipotezi reddedilerek H_1 karşıt hipotezi kabul edilecektir. Red bölgesinin alanı karşıt hipotezin oluşturulma biçimine bağlı olarak tek veya çift taraflı olarak seçilebilir. Şekil 3.5'te bu alan çift taraflı olarak alınmıştır.



Şekil 3.5: H_0 hipotezinin kabul bölgeleri

α değerinin seçiminde dikkatli olunmalıdır çünkü α değerinin seçimi iki tip hataya yol açabilmektedir. I. tip hata seçilen α değeri doğrultusunda aslında doğru olan bir sıfır hipotezinin reddedilmesidir. Şekil 3.5'ten de görüldüğü gibi doğru olan bir sıfır hipotezinin reddedilme ihtimali α 'ya eşittir. I. tip hata olasılığını azalttıkça II. tip hata yapılması olasılığı artacağı için α istenildiği kadar küçültülemez. II. tip hata aslında doğru olmayan bir sıfır hipotezinin kabul edilmesidir. Pratikte α değeri için 0,1, 0,05 ve 0,01 gibi değerler seçilir.

Yukarıda anlatılan H_0 ve H_1 hipotez testleri çoklu regresyon analizinde de kullanılmaktadır. Regresyon analizinde hipotezler aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

H_0 : Tüm bağımsız değişkenler bağımlı değişkeni açıklamada istatistiksel olarak anlamsızdır (Denklem 3.11'deki $b_1 = b_2 = b_3 = \dots = b_m = 0$).

H_1 : En azından bir bağımsız değişken bağımlı değişkeni açıklamada istatistiksel olarak anlamlıdır (b değerlerinden en az biri 0 değildir).

Regresyon analizinin hipotezi F istatistiği ile test edilir. F istatistiğine karşı gelen anlamlılık değeri F dağılımı tablosundan okunan 0,1 veya 0,05 (kişinin tercihinine

göre) değerlerinden daha küçük olduğunda H_0 hipotezi reddedilerek H_1 hipotezi kabul edilir ve bağımlı değişkenin en az bir bağımsız değişken tarafından açıklanacağı söylenir. F testi ile regresyon modelinin bir bütün olarak anlamlı olup olmadığı test edilmiş olur. Çoklu regresyon modelinde F istatistiği, hata terimlerinin normal dağıldığı varsayımıyla,

$$ESS = \sum Y_{ri}^2 \quad (3.15)$$

$$RSS = \sum \varepsilon_i^2 \quad (3.16)$$

olmak üzere,

$$F = \frac{ESS/sd}{RSS/sd} = \frac{ESS/(k - 1)}{RSS/(n - k)} \quad (3.17)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada k , a dahil olmak üzere modeldeki tüm regresyon katsayılarının sayısını, n ise gözlem sayısını göstermektedir. F istatistiğinin sayısal olarak nasıl bulunduğu Bölüm 5'te gösterilecektir.

Modelin genel bir sınaması F testi ile yapıldıktan sonra, modelde yer alacak bağımsız değişkenlerin kısmi regresyon katsayılarının her biri için anlamlılık testi t istatistiği ile yapılır ($H_0: b_i = 0$, $H_1: b_i \neq 0$ hipotezi). t istatistiğinin dağılımı normal dağılıma benzeyen, ortalaması sıfır ve dağılımı simetrik olan t dağılımıdır. t istatistiği,

$$t = \frac{b_i}{st(b_i)} \quad (3.18)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada b_i kısmi regresyon katsayısına, $st(b_i)$ ise ilgili kısmi regresyon katsayısının standart hatasına karşılık gelmektedir.

t istatistiği hesaplandıktan sonra t dağılım tablosundan okunan değerle anlamlılık testini geçemeyen katsayılar varsa bu katsayılarla sahip değişkenler modelden çıkartılır ve regresyon analizi yeniden yapılır. Böylelikle modelde yer alacak tüm bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenin açıklanmasında anlamlı katkı sağladığından emin olunur. t için %5 anlamlılık düzeyinde kritik değer $t = 2$ 'dir (Gujarati ve Porter, 2008). Uygulamada genellikle t testinde bağımsız

değişkenlerden herhangi birinin anlamlılık değeri 0,1 den büyük olduğunda H_0 hipotezi kabul edilir ve bu değişkenin modele anlamlı bir katkı sağlamadığı söylenir.

t ve F test istatistiklerinin doğruluğu normal dağılım kabulü ile mümkün olur. Normal dağılımdan uzaklaşılması istatistik testlerin geçerliliğini azaltır ve geliştirilen model anlamlılığını yitirir (Kalaycı, 2010). Bu nedenle normal dağılmamış değişken verileri üzerinde dönüşüm yapılarak bağımsız değişkenin normal dağılıma yaklaşması sağlanır. Bu bağlamda en fazla kullanılan dönüşüm logaritmik dönüşümdür (Bayazıt ve Oğuz, 2011). Bu çalışmada da bağımsız değişkenler üzerinde logaritmik dönüşüm uygulanarak,

$$\log(Y) = \log a + b_1 \log(X_1) + b_2 \log(X_2) + \dots + b_m \log(X_m) \quad (3.19)$$

şeklinde logaritmik çoklu doğrusal denklem elde edilmiştir.

Modelde kullanılacak bağımsız değişkenlerin seçilmesi dört metotla yapılabilmektedir. Bunlar: Enter metodu (enter method), ileri doğru seçim metodu (forward selection), geriye doğru eleme metodu (backward elimination) ve adım adım seçme (stepwise selection) metodudur. Tüm metotlar aslında model sonunda aynı sonucu vermektedir ve aralarındaki tek fark sonuca ulaşmak için izledikleri yolların birbirinden farklı olmasıdır. Bu çalışmada geriye doğru eleme metodu kullanılmıştır. Bu metotta önce bağımlı değişkeni açıkladığı düşünülen tüm bağımsız değişkenler modele dahil edilir. Daha sonra tüm bağımsız değişkenlerin t istatistiğine bakılır. Bir bağımsız değişkenin modelde kalabilmesi için daha önce bahsedildiği gibi t istatistiğinin anlamlılık değerinin 0,1'i aşmaması gerekmektedir. Modelde eğer t istatistiğinin anlamlılığı 0,1'i aşan değişkenler varsa önce bu değişkenlerden en küçük t istatistik değerine sahip değişken modelden çıkartılır ve model tekrarlanır. Eleme işlemine modelde yer alması en anlamlı olan bağımsız değişkenler bulunana kadar devam edilir. Modelde yer alacak anlamlı bağımsız değişkenler bulunduktan sonra bu değişkenlerden bazıları da amaç en az bağımsız değişkenler ile bağımlı değişkeni tahmin etmek olduğu için isteğe göre elenebilir. Bu durumda model açıklayıcılığını önemli derecede yitiriyorsa değişken tekrar modele dahil edilir.

Regresyon modelinde bilinmesi gerekli bir diğer terim determinasyon katsayısı, R^2 'dir. R^2 , bağımlı değişkendeki değişimin yüzde kaçının bağımsız değişkenler tarafından açıklandığını gösterir.

Çok değişkenli bir regresyonda R^2 ,

$$TSS = \sum Y_i^2 \quad (3.20)$$

olmak üzere,

$$R^2 = \frac{ESS}{TSS} \quad (3.21)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. R^2 , 0 ile 1 arasında değer alabilir. $R^2=1$ olduğu zaman oluşturulan model bağımlı değişkendeki değişimi %100 açıklıyor demektir. Eğer $R^2=0$ ise modeldeki bağımsız değişkenler bağımlı değişkendeki değişimi hiç açıklamıyor demektir. Bu durumda R^2 1'e ne kadar yakınsa modelin uyumu da o kadar iyi demektir. R^2 'nin önemli bir özelliği, modelde yer alan bağımsız değişkenlerin sayısı arttıkça her zaman artış eğiliminde olmasıdır. Yani, eklenen bir bağımsız değişken bağımlı değişkenle ister ilgili ister ilgisiz olsun R^2 'yi azaltmaz, yükseltir. Bu durum, iyi olarak görünse de aslında tehlikelidir ve modelin açıklayıcılığı daha iyi olmuş gibi görünse de eklenen bağımsız değişken aslında modelde anlamsız olabilir. Bu nedenle, bağımlı değişkeni aynı ama bağımsız değişkenleri farklı sayıda olan iki regresyon modelini karşılaştırıp, R^2 'si yüksek olan modeli seçerken çok dikkatli olunması gerekir. İki modelin R^2 değerleri karşılaştırılırken, modeldeki bağımsız değişkenlerin sayısı da hesaba katılmalıdır. Bu şekilde düzeltilmiş $\hat{R}^2$ elde edilir. Düzeltilmiş $\hat{R}^2$,

$$\hat{R}^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{n - 1}{n - k} \quad (3.22)$$

şeklinde ifade edilir. Eğer modele eklenen bağımsız değişken gereksiz ise $\hat{R}^2$, R^2 gibi artmayacak azalacaktır.

3.6.1 Çoklu doğrusal regresyon modelinde yapılan varsayımlar

Regresyon modeliyle yapılan tahminlerin anlamlılığı, model için başta yapılan bazı varsayımların geçerliliğine bağlıdır. Bu varsayımlar; çoklu doğrusal bağlantının

olmaması, hata terimlerinin normal dağılması, hata terimlerinin varyansının eşit olması ve hata terimleri arasında ilişki olmamasıdır. İstatistik testlerin geçerliliği bu varsayımların sağlanmasına bağlıdır. Varsayımlardan sapma istatistik testlerin gücünü ve anlamlılığını azaltır.

3.6.1.1 Çoklu doğrusal bağlantının olmaması

Çoklu doğrusallık problemi, bağımsız değişkenler arasında doğrusala yakın bir ilişki olmasından kaynaklanmaktadır. Modelde yer alan bir bağımsız değişken diğer bağımsız değişkenlerin doğrusal bir fonksiyonuysa bu durum çoklu doğrusallığa yol açmaktadır. Modeldeki bağımsız değişkenlerin ortak bir genel eğilim içinde olmaları ve araştırmacıdan kaynaklı hatalar çoklu bağlantı problemine neden olabilmektedir.

Çoklu doğrusal bağlantının olması durumunda bazı sorunlarla karşılaşılacaktır. Bunların gözle görülebilir şekilde olması çoklu bağlantının varlığının anlaşılmasını kolaylaştırmaktadır. Tam çoklu doğrusal bağlantının olması halinde, bağımsız değişkenlerin regresyon katsayıları tanımsız olup standart hataları sonsuz olmaktadır. Çoklu bağlantı durumunda katsayıların varyans ve kovaryansları büyümektedir; bunun sonucunda da R^2 yüksek çıkarken bağımsız değişkenlerin hiçbirisi veya çok azı anlamlı çıkmaktadır (Kalaycı, 2010). Bir başka deyişle, çoğu regresyon katsayısının t istatistikleri çok düşük çıkar ve sıfır hipotezi kabul edilir.

Çoklu bağlantı problemine yukarıda belirtilen sebeplerden ötürü rastlandığında, çoklu bağlantıya sebep olduğu düşünülen değişken veya değişkenler modelden çıkarılarak problem giderilmeye çalışılır. Gujarati ve Porter (2008) böyle bir problemle karşılaşıldığında değişkenleri atmanın yanında hiçbir şey yapmamayı da önermiş, çünkü eldeki veri kümesiyle elde edilebilecek en iyi sonucun bu şekilde olabileceğini öngörmüştür. Bu çalışmada çoklu bağlantı olması durumunda hangi bağımsız değişken veya değişkenlerin modelden çıkaracağını belirlemek için tüm bağımsız değişkenlerin varyans artış faktörleri (VIF) hesaplanmıştır. VIF hesaplanırken modeldeki tüm bağımsız değişkenler ayrı ayrı bağımlı değişken olarak alınıp diğer bağımsız değişkenlerle olan determinasyon katsayısı hesaplanır. Daha sonra,

$$VIF = \frac{1}{(1 - R_i^2)} \quad (3.23)$$

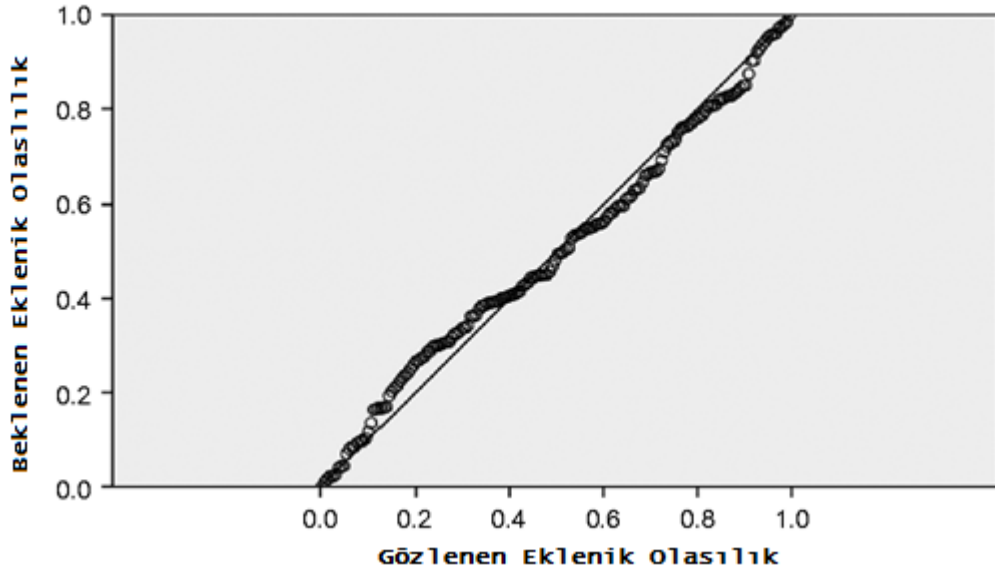
denklemleri ile her bağımsız değişkenin *VIF* değerleri hesaplanır. *VIF* değeri yüksek olan değişken modelden çıkarılarak model tekrarlanır. Model anlamlılığını kaybediyorsa değişken modele tekrar katılır. Uygulamada genellikle *VIF* değeri 10'dan büyük olan bağımsız değişkenlerin çoklu doğrusal probleme neden olabileceği düşünülerek bu değişkenlerin modelden çıkarılabileceği öngörülmüştür (Hair ve diğ., 1995).

3.6.1.2 Hata terimlerinin normal dağılımı

Hata terimlerinin kendi ortalamaları (ortalamaları sıfır) etrafında çan eğrisi şeklinde simetrik olarak dağılması normal dağılıma karşılık gelir. Normallik varsayımı, regresyon modellerinde yapılan en önemli varsayımlarından biridir ve özellikle *t* ve *F* test istatistiklerinin doğru sonuçlar verebilmesi için çok önemlidir. Normallikten sapma durumunda bu testler anlamlılıklarını yitirecek ve model sonuçlarının güvenilirliği azalacaktır. Bir başka deyişle, normallikten sapma durumunda parametrelerin nokta tahminleri bulunabilir fakat bu parametrelerin anlamlılığı düşük olur (Gujarati ve Porter, 2008).

Hata terimlerinin normal dağılıma uygunluğunu kontrol etmek için çeşitli grafik ve analitik testler uygulanmaktadır. Yapılan bu çalışmada da bu testlerden faydalanılmıştır. Grafik testler, görsel ve basit bir biçimde normal dağılım varsayımının kontrol edilmesini sağlar. Grafik testler çok sayıdadır ve genellikle birbirine benzerler. Bu çalışmada hata terimlerinin normallik varsayımını sınamak için iki grafik testten yararlanılmıştır. Bunlar; histogram ve P-P (eklenik olasılık) grafikleridir. Histogram grafikleri nominal (sınıflayıcı) ve ordinal (sıralayıcı) verilerin hangi sıklıkla tekrar edildiğini gösteren grafiklerdir (Kalaycı, 2010). Burada yatay eksen genel olarak sistematik bir şekilde sınıf aralıklarını gösterirken, dikey eksen ise frekansı göstermektedir. Yatay eksenindeki sınıf aralıklarına çizilen çubukların tepe noktası dikey eksen ile birleştirildiği zaman o sınıf aralığına ait frekans elde edilmiş olur. Daha sonra grafik üzerine olasılık eğrisi çizilir ve çizilen bu eğrinin normal dağılıma uyması istenir. Bu çalışmada anlaşılabilirliği daha kolay olması için standartlaştırılmış hata terimlerinin standart normal dağılıma uygunluğu kontrol edilmiştir. Standartlaştırılmış hata terimleri, hata terimlerinin kendi tahmini standart sapmasına bölünmesiyle elde edilir. Standart normal dağılım ise beklenen değeri (ortalaması) sıfır, varyansı 1, çarpıklık ve basıklık değerleri sırasıyla 0 ve 3'e

eşit olan dağılımdır. Çalışmada kullanılacak grafik testlerden ikincisi yukarıda söz edilen P-P (eklenik olasılık) grafikleridir. Hata terimlerinin normal dağılıma uygunluğunun kabulü için hata terimlerinin köşegende yer alan doğru üzerinde veya etrafında olması gerekir. Şekil 3.6'da normal dağılıma uygun bir örnekten alınmış değerlerin P-P grafiği görülmektedir.



Şekil 3.6: P-P grafiği ile normal dağılımın kontrolü

Grafik testlerin yanında analitik olarak geliştirilen normal dağılım testleri bulunmaktadır. Bu testler arasında en fazla kullanılan Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testleridir. Bu testlerde H_0 hipotezi ile hataların normal dağılıma sahip olduğu ifade edilirken, H_1 hipotezi ile hata terimlerinin normal dağılıma uymadıkları ileri sürülmektedir. Her iki test istatistiğinin anlamlılık değeri 0,05' ten büyük olduğunda H_0 hipotezi kabul edilir ve hataların dağılımının normal olduğuna karar verilir. Bu iki test istatistiğinden Kolmogorov-Smirnov örnek sayısı büyük olduğunda daha doğru sonuçlar verirken, Shapiro-Wilk testi ise örnek sayısı küçük olduğunda daha doğru sonuçlara ulaştırır.

3.6.1.3 Hata terimleri arasında ilişki (otokorelasyon)bulunmaması

Otokorelasyon, hata terimlerinin birbirini izleyen değerleri arasında ilişki bulunması durumudur. Bu durum genellikle zaman serilerinde görülmektedir. Çoklu regresyon analizinde hata terimlerinin birbirinden bağımsız olduğu kabul edilir. Bu varsayıma göre hata terimi (ϵ)'nin ardışık değerleri zamansal olarak birbiriyle ilişkili değildir;

yani hata teriminin herhangi bir zamanda aldığı değer daha önceki herhangi bir zamandan bağımsızdır. Hatalar arasında ilişki yoktur varsayımı matematiksel olarak

$$Cov(\varepsilon_i \varepsilon_j) = E\{[\varepsilon_i - E(\varepsilon_i)][\varepsilon_j - E(\varepsilon_j)]\} = E(\varepsilon_i \varepsilon_j) = 0 \quad , \quad i \neq j \quad (3.24)$$

$$Cov(\varepsilon_i \varepsilon_j) = E(\varepsilon_i \varepsilon_j) = 0 \quad (3.25)$$

şeklinde ifade edilebilir. Hata terimleri arasında bir ilişki bulunması durumunda ise bu değer sıfırdan farklı çıkmaktadır.

Otokorelasyon korelasyonun özel bir durumudur. Korelasyonda x ve y gibi farklı değişkenler arasındaki ilişki araştırıldığı halde, otokorelasyonda aynı değişkenin birbirini takip eden hata değerleri arasındaki ilişki araştırılır (Akkaya ve Pazarlıoğlu, 1998).

Otokorelasyonun bazı nedenleri bulunmaktadır. Modelde yer alması gerekli bağımsız değişkenlerin modele katılmaması, regresyon modelinin yanlış seçilmesi, gözlem değerlerinin aynı deneysel bölgeden elde edilmesi ve ölçüm hataları otokorelasyona neden olabilir. Otokorelasyon olması durumunda katsayılar etkin bir şekilde tahmin edilemeyecek ve katsayı tahminlerinin varyansları ve dolayısıyla standart hataları otokorelasyon olmayan duruma göre daha yüksek olacak, hata terimi varyansı ise olduğundan daha küçük bulunacaktır. Hata terimi varyansının olması gerekenden daha küçük bulunması durumunda hesaplanan t ve F istatistikleri ve modelin kendisi araştırmacıyı yanlış sonuçlara götürecektir (Özkazanç, 1997).

Bu çalışmada otokorelasyonun olup olmadığının kontrolü için Durbin-Watson d istatistiği kullanılmıştır. Burada hipotezler,

$$H_0: P = 0 \text{ ve } H_1: P \neq 0 \quad (3.26)$$

şeklinde kurulur. Burada P otokorelasyon katsayısını göstermektedir. $P = 0$ olması otokorelasyon yoktur anlamına gelmektedir. Otokorelasyon katsayısı P ,

$$P = \frac{\sum_{t=2}^n \varepsilon_t \varepsilon_{t-1}}{\sum_{t=2}^n \varepsilon_{t-1}^2} \quad (3.27)$$

şeklinde hesaplanır. Durbin-Watson d istatistiği ise,

$$DW(d) = \frac{\sum_{t=2}^n (\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1})}{\sum_{t=2}^n (\varepsilon_t)^2} = 2(1 - P) \quad (3.28)$$

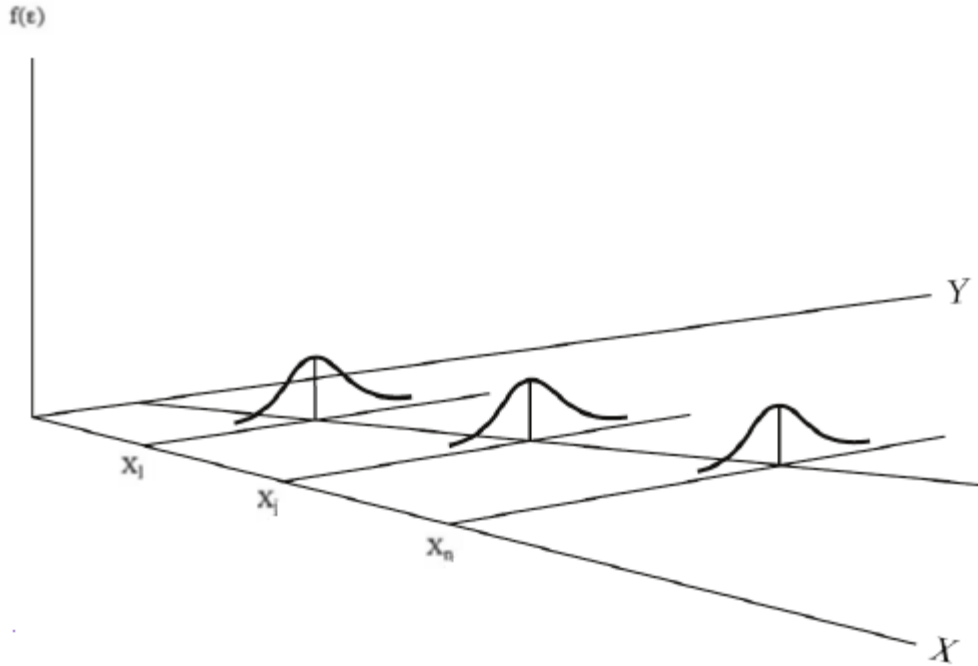
şeklinde tanımlanır. Denklem (3.28)'den görüleceği üzere $P = 0$ olması durumunda $d=2$ olmaktadır. Bunun anlamı otokorelasyon olmaması durumunda $d = 2$ olur. Literatürde genellikle d istatistiği 1,5 ile 2,5 değerleri arasında olduğunda otokorelasyon olmadığı varsayımı kabul edilir (Kalaycı, 2010).

3.6.1.4 Eş varyanslılık varsayımı

Eş varyanslılık (homoskedastisite) varsayımı bağımsız değişkenlere karşı gelen hata terimlerinin eşit varyansa sahip olmasına dayanmaktadır. Bu varsayım,

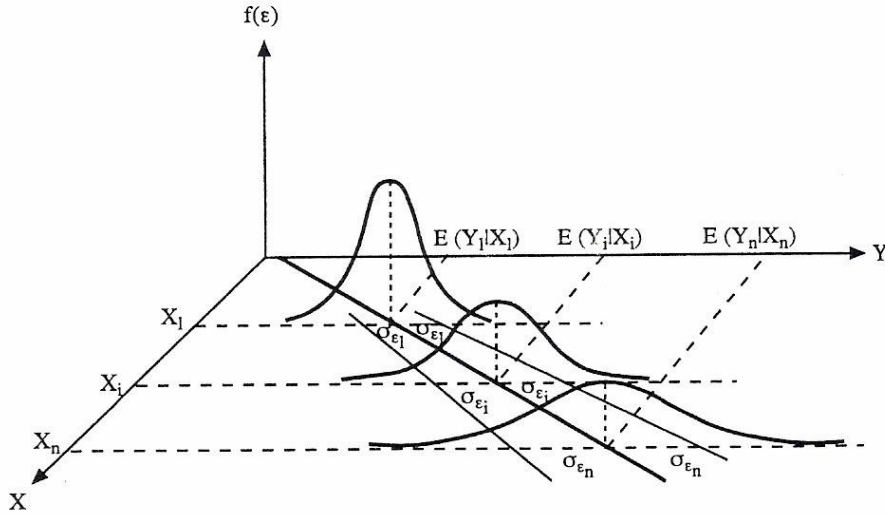
$$var(\varepsilon_i) = \sigma^2 \quad (3.29)$$

olarak ifade edilebilir. Bu denkleme göre bir bağımsız değişkenin her x_i değeri için ε_i 'nin varyansı sabit bir değere (σ^2) eşittir. Bir başka deyişle, x_i değerlerine karşılık gelen Y 'nin varyansı hep sabit kalmaktadır. Şekil 3.7'de eş varyanslılığa ait bir örnek gösterilmektedir. Görüldüğü üzere bağımsız değişkenin aldığı tüm x_i değerleri için y_i 'nin koşullu varyans değerleri sabit kalmaktadır.



Şekil 3.7: Eş varyanslılık gösterimi

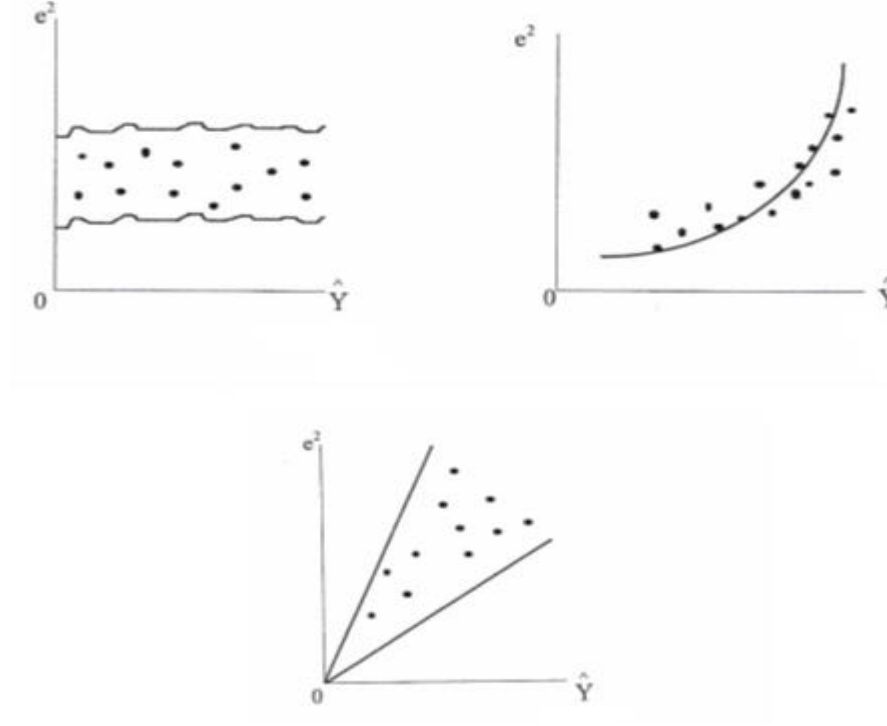
y_i 'nin koşullu varyansı x_i değerlerine bağlı olarak değişiyorsa, bu durum farklı varyanslılık (heteroskedastisite) olarak tanımlanır. Şekil 3.8'de farklı varyanslılığa ait bir örnek gösterilmektedir. Burada, y_i 'nin koşullu varyans değerleri artan x_i değerleri ile birlikte artmaktadır.



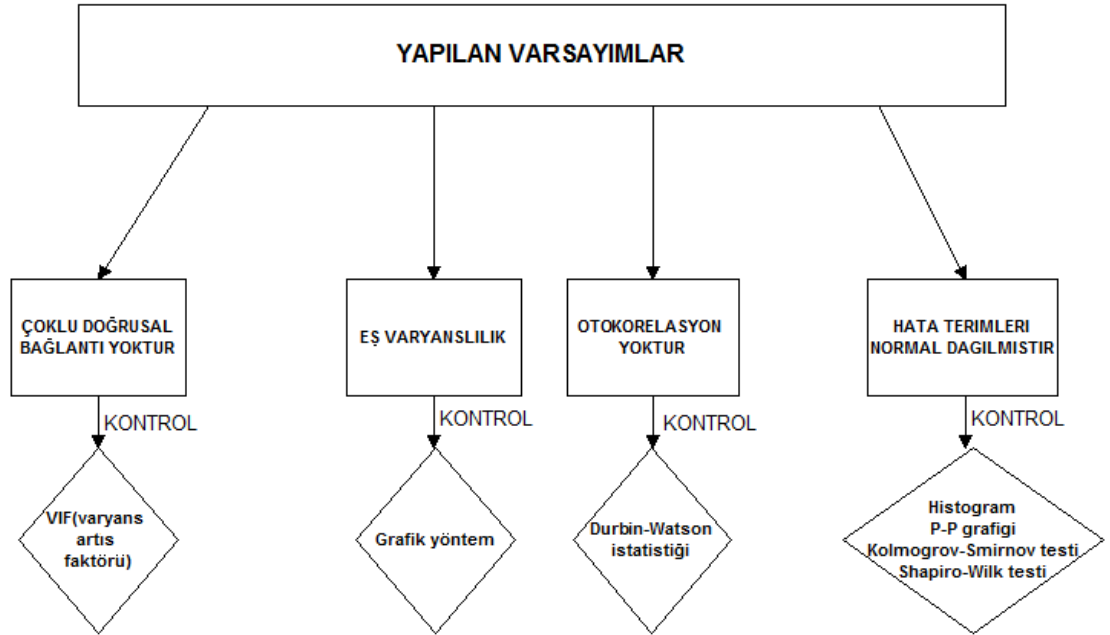
Şekil 3.8: Değişen varyans gösterimi

Model için gerekli değişkenlerin modele katılmaması, ölçüm hataları, kullanılan verilerin içerisinde aykırı değerler bulunması farklı varyanslılığa neden olabilmektedir. Uygulamada eşit varyanslılık varsayımının kontrol edilmesi için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu çalışmada elde edilmesi ve anlaşılması daha kolay olduğu için grafik yöntem kullanılmıştır. Grafik yöntem, hata terimleriyle değişkenler arasındaki ilişkiyi görsel olarak ortaya koyabilmektedir. Grafik yöntemde düşey eksene hata terimlerinin karesi (e^2) veya standartlaştırılmış hatalar, düşey eksene ise standartlaştırılmış tahmin değerleri yerleştirilir. Daha sonra grafik üzerine ilgili noktalar yerleştirilir. Eş varyanslılık varsayımının gerçekleşmesi için bu noktaların rastgele dağılması istenir. Bir başka deyişle, hata terimleri modelin tahmin değerleri arttıkça fonksiyonel bir davranış göstermeyerek rastgele dağılacaktır. Şekil 3.9'daki grafiklere bakıldığında, sadece ilk grafikte hata terimlerinin rastgele dağıldığı görülmektedir. Bu durum eşit varyans varsayımının kabul edilmesini sağlar. Diğer iki grafikte ise ilişkili bir dağılım görülmektedir. Yukarıda bahsedilen tüm

varsayımlar ve bu varsayımların kontrol edilmesi için uygulanan testlerin özeti Şekil 3.10'da gösterilmektedir.



Şekil 3.9: Grafik yöntem ile eşit varyanslık varsayımının kontrolü



Şekil 3.10: Model varsayımları ve varsayımların kontrolü

3.6.2 Çoklu regresyon modeliyle yapılan taban akışı çalışmaları

Daha önce anlatılan grafik ve sürekli taban akışı yöntemlerinde taban akışını etkileyen faktörler açıkça verilmemektedir. Oysa taban akışı havzanın topoğrafik, meteorolojik, hidrolojik ve jeolojik özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Bundan dolayı, araştırmacılar ilgili havza özelliklerinin taban akışını nasıl etkilediğini belirlemek için çalışmalar yapmaya yönelmişlerdir. Bu çalışmalarda taban akışının ve taban akışı indeksinin, ilgili havza için, hangi değişkenlerden nasıl etkilendiğini anlamak için regresyon modelleri geliştirilmiştir. Taban akışını açıklamak için genellikle havzanın birden çok özelliğine ihtiyaç duyulduğu için çoklu regresyon modeli daha sık olarak kullanılmaktadır. Örneğin Lacey ve Greyson (1998) yaptığı çalışmada çoklu doğrusal regresyon modeli ile taban akış indeksini havzanın alan, yükseklik, potansiyel evapotranspirasyon, ormanlık alan yüzdesi, yağış ve akarsu uzunluğu gibi özelliklerini kullanarak tahmin etmeye çalışmıştır. Bunun dışında, taban akışını ve taban akış indeksini tahmin etmek için çeşitli çalışmalar mevcuttur (Haberlandt ve diğ, 2001; Mwakalila ve diğ, 2002; Mazvimavi ve diğ, 2005; Neff ve diğ, 2005; Gebert ve diğ, 2007; Santhi ve diğ, 2008; Zhu ve Day, 2009; Ahiablame ve diğ, 2013; Zhang ve diğ, 2013). Çizelge 3.3'te yapılan çalışmaların hangi bölgeler için yapıldıkları ve hangi değişkenlerin taban akışını veya taban akışı indeksini açıklamak için kullanıldığı görülmektedir. Benzer şekilde bu çalışmada da taban akışı ve taban akış indeksi Sakarya ve Batı Karadeniz havzalarının topoğrafik, meteorolojik ve hidrolojik karakteristikleri kullanılarak çoklu doğrusal regresyon modeliyle tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Çizelge 3.3: Taban akışını tahmin etmek için geliştirilen çoklu regresyon modelleri

Yazar	Yöntem	Bölge	Havza Özellikleri	Açıklanan
Lacey ve Grayson (1998)	Çoklu Doğrusal Regresyon	Avustralya	Drenaj alanı, yükseklik, potansiyel evapotranspirasyon, ormanlık alan yüzdesi, yağış, akarsu uzunluğu	TAI
Haberlandt ve diğ (2001)	Çoklu Regresyon	Almanya	Eğim, topoğrafik indeks, hidrolik iletkenlik, yağış	TAI
Mwakalila ve diğ (2002)	Çoklu Doğrusal Regresyon	Tanzanya	Drenaj yoğunluğu, eğim, toprak indeksi, iklim indeksi	TAI
Mazvimavi ve diğ (2005)	Çoklu Doğrusal Regresyon	Zimbabve	Yağış, drenaj yoğunluğu, eğim	TAI
Neff ve diğ (2005)	Çoklu Regresyon	Kanada ve Amerika	Ana kaya, iri tane, ince tane, organik, balçık, yüzeysel suların katkısı	TAI ve Taban Akışı
Gebert ve diğ (2007)	Çoklu Doğrusal Regresyon	Amerika	Drenaj alanı, sızma oranı, havza depolaması, taban akış faktörü	Taban Akışı
Santhi ve diğ (2008)	Çoklu Regresyon	Amerika	Havza rölyefi, kum yüzdesi, potansiyel evapotranspirasyon	TAI
Bloomfield ve diğ (2009)	Çoklu Regresyon	İngiltere	Kentsel alan litolojisi	TAI ve Taban Akışı
Zhu ve Day (2009)	Çoklu Doğrusal Regresyon	Amerika	Drenaj alanı, yağış, evapotranspirasyon, yükseklik	Taban Akışı
Ahiablame ve diğ (2013)	Çoklu Regresyon	Amerika	Drenaj alanı, yağış, kaplama ile drene edilmiş alan, hidrolojik toprak grupları	TAI ve Taban Akışı
Zhang ve diğ (2013)	Çoklu Doğrusal Regresyon	Amerika	Drenaj alanı, hidrolojik toprak grupları, yağış, ıslak alan yüzdesi, yeraltı su seviyesi yüksekliği	TAI ve Taban Akışı

4. UYGULAMA ALANI VE KULLANILAN VERİ

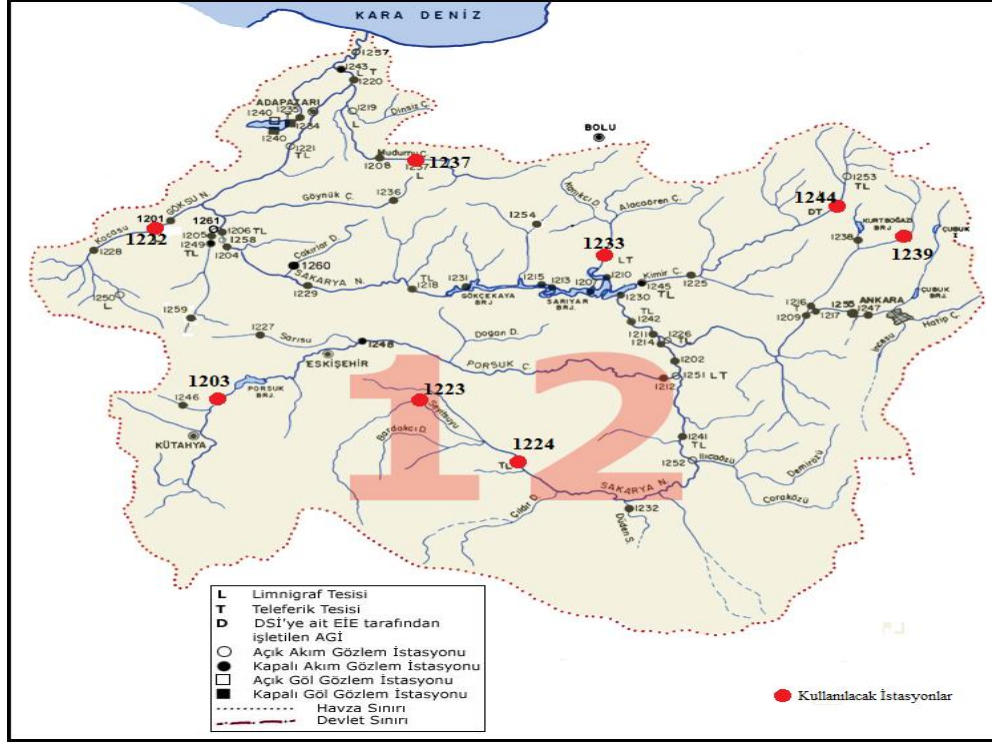
4.1 Uygulama Alanı

Uygulama alanı olarak Sakarya ve Batı Karadeniz akarsu havzaları seçilmiştir. Bu iki havzadan Sakarya havzası adını Sakarya nehrinden almaktadır ve Türkiye'nin 26 büyük akarsu havzasından 12'ncisi dir (Şekil 4.1). Drenaj alanı 58,160 km² olan Sakarya havzası, Türkiye yüzölçümünün yaklaşık %7,46'sını kaplamaktadır. Sakarya nehri Kızılırmak ve Fırat nehirlerinden sonra Türkiye'nin en uzun üçüncü nehridir. Kolları ile birlikte toplam uzunluğu 824 km'yi bulmaktadır (Doğan ve diğ, 2013).

Sakarya nehri havzası içerisinde 9 il bulunmaktadır. Havza sınırları içerisinde, Marmara Bölgesinde yer alan Sakarya, Bursa, Bilecik; Karadeniz Bölgesinde bulunan Bolu; İç Anadolu Bölgesinde bulunan Eskişehir, Konya, Ankara ve Ege Bölgesinde yer alan Afyon, Kütahya illeri girmektedir. Ana akarsuyu Sakarya nehri olan havzanın başlıca akarsuları Porsuk, Mudurnu, Aladağ, Ankara, Kirmir, Ova, Dinsiz, Göynük çayları ile Kocasu, Göksu, Çark, Kınık ve Sohu dereleridir. Sakarya nehrinin bir kolu Eskişehir'in Seyitgazi ilçesi yakınlarından, diğer kolu ise Kütahya'nın güneyindeki Dumlupınar ilçesi yakınlarından doğar. Sakarya nehri önce doğu yönünde İç Anadolu'ya doğru akar, daha sonra ise Kızılırmak nehrinin tersine bir kıvrımla kuzeye döner. Ankara'nın Polatlı ilçesi yakınlarında en büyük kolu olan Porsuk çayı ile daha kuzeydeki Ankara çayını alır ve Davutoğlu köyü yakınlarında Aladağ çayının da katılmasıyla sırasıyla Sarıyar, Gökçekaya ve Yenice barajlarına girer. Daha sonra Göynük çayını da alan nehir Geyve boğazından geçer ve Adapazarı ovasına ulaşır. Adapazarı merkezinin biraz doğusundan geçen nehir, Sapanca gölünün fazla suyunu boşaltan Çark suyunu ve Mudurnu çayını aldıktan sonra Karasu ilçesinin Yenimahalle bölgesinde Karadeniz'e dökülür (Şekil 4.1).

Sakarya havzası yılda ortalama 524,7 mm yağış almaktadır, ortalama yıllık akışı 6,4 milyar m³'tür. Bu değer Türkiye'nün tüm havzalarındaki akışının %3,4'lük kısmına denk gelmektedir (DSİ, 2012). Havza düzensiz bir yağış rejimine sahiptir. En fazla akım yağışların bol olduğu ilkbahar mevsiminde görülür. Mart, Nisan ve Mayıs

ayları genellikle debinin en fazla olduğu aylardır. En düşük akımlar ise Temmuz, Ağustos, Eylül gibi yaz aylarının sonunda görülür. Nehir yerleşim yeri ve sanayi kuruluşlarının kullanım suyu ihtiyacını karşılamak, rekreasyon, tarımsal sulama, atık su deşarjı ve hidroelektrik enerji sağlamak gibi amaçlar için kullanılmaktadır (Doğan ve diğ, 2013). Havza genellikle az engebelidir ve geniş ovaların, yüksek platoların hakim olduğu bir morfolojik yapıya sahiptir. Havzada toplam 1,336,500 hektarlık ova bulunmaktadır (Arslan, 2008).



Şekil 4.1: Sakarya havzası ve AGİ'lerin havza içerisindeki konumu

Daha önce söz edildiği gibi, bu çalışmada Sakarya havzası ile birlikte Batı Karadeniz havzası da değerlendirilmiştir (Şekil 4.2). Sakarya havzasının komşusu olan bu havza bazı yerlerde Müteferrik Batı Karadeniz suları havzası olarak da bilinmektedir. Havzanın müteferrik olarak tanımlanmasının nedeni Sakarya havzası gibi tek bir akarsuda toplanmayarak, tek bir nokta yerine farklı noktalardan denize dökülmesidir.

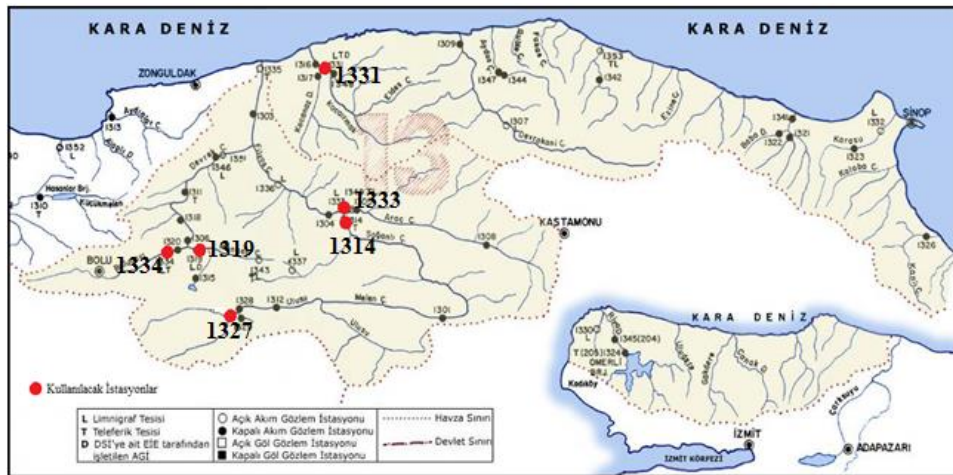
Drenaj alanı 29,598 km² olan havza, Türkiye topraklarının %3,79'unu kaplamaktadır. Havza sınırları içinde Karabük, Zonguldak, Bartın, Kastamonu, Düzce, Çankırı, Bolu, Sinop illeri bulunmaktadır.

Havzadaki çok sayıdaki akarsu Karadeniz'e boşalmaktadır. Havzadaki en büyük akarsu ise Filyos çayıdır. Filyos çayının uzunluğu 228 km'dir. Filyos çayının kolları

Soğanlı, Araç ve Devrek çaylarıdır. Filyos çayının en büyük kolu olan Soğanlı çayı, Bolu yakınlarındaki Aladağ'dan doğar ve Köroğlu dağlarından gelen derelerle beslenerek Gerede'ye ulaşır. Burada Gerede çayı ismini alır. Daha sonra çok sayıda yan derelerle beslenmeye devam eder ve Soğanlı Çayı meydana gelir. Araç çayı ise Kastamonu'daki Ilgaz dağlarının zirvelerinden doğarak önceleri Ilgaz çayı adıyla akar. Ilgaz çayı birçok yan dereyi de alarak Araç ilçesine ulaşır ve burada Araç Çayı adını alır. Daha sonra Araç çayı ile Soğanlı çayı Karabük il merkezinde birleşir ve Yenice ırmağı adını alırlar. Üçüncü kol alan Devrek çayı, Abant gölü yakınlarından doğan Büyüksu ile Mengen çayının birleşmesinden oluşur. Devrek çayı, Gökçebey ilçesi yakınlarında, kuzeybatı yönünde ilerleyen Yenice ırmağı ile birleşir ve Filyos çayı oluşur. Filyos çayı Zonguldak'ın Filyos ilçesinde Karadeniz'e dökülür.

Havzanın bir diğer önemli çayı Bartın çayıdır. Türkiye'nin üzerinde taşımacılık yapılan tek akarsuyu konumundaki Bartın çayı, Bartın'ın yüksek kesimlerinden doğarak önce Ulus çayı olarak akar. Ulus çayı, Bartın il merkezi yakınlarında Güney deresini de alarak Bartın çayını oluşturur ve kısa bir yol ilerledikten sonra denize dökülür. Bartın çayı şiddetli yağmurlar nedeniyle taşkınlara neden olmaktadır. Taşkınları önlemek için Ulus çayı üzerinde Kirazlıköprü barajı inşa edilmektedir. Batı Karadeniz havzasının diğer önemli akarsuları Mengen ve Devrekani çaylarıdır.

Batı Karadeniz havzası yılda ortalama 811 mm yağış alırken, yağış havza içinde bölgeden bölgeye farklılıklar göstermektedir. Havzanın iç kesimlerinde yılda ortalama 500 mm civarında yağış düşmekte, Bartın ve Zonguldak illerinin bulunduğu sahil şeridinde bu rakam 1000 mm'nin üzerine çıkmaktadır. Havzada ortalama yıllık akış miktarı ise 9,93 milyar m³'tür (DSİ, 2012).



Şekil 4.2: Batı Karadeniz havzası ve AGİ'lerin havza içerisindeki konumu

4.2 Kullanılan Veri

Bu çalışmada, Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından Sakarya ve Batı Karadeniz havzalarında işletilen 14 akım gözlem istasyonundaki (AGİ) günlük ortalama akım verilerinden yararlanılmıştır.

Sakarya havzasında, 1934 yılından bu yana, EİEİ tarafından işletilen 58 AGİ bulunmakla beraber şu an bunların sadece 15'i açık durumdadır (EİEİ, 2008). Bu çalışmada Sakarya havzasına ait 8 AGİ kullanılmıştır. 2008 EİEİ akım yılına göre bu istasyonların 5'i açık durumdadır. İstasyonların seçimi yapılırken taban akışını etkileyebileceği için memba kısmında baraj bulunmamasına dikkat edilmiştir. Şekil 4.1'de kullanılan AGİ'lerin havza üzerindeki yerleşimi görülmektedir. Çizelge 4.1'de de bu istasyonlara ait bilgiler verilmiştir.

Batı Karadeniz havzasında işletmeye açılan ilk istasyon 1952 yılında açılan Melen çayı- Dalgöz istasyonudur ve 1952 senesinden bu yana 54 AGİ işletmeye açılmıştır. Bu AGİ'lerden 22 tanesi halen açık durumdadır (EİEİ, 2008). Bu çalışmada Batı Karadeniz havzasından 6 istasyon seçilmiştir ve 2008 akım yılına göre bu istasyonların 5 tanesi açık durumdadır. Şekil 4.2'de kullanılan AGİ'lerin Batı Karadeniz havzası üzerindeki yerleşimi görülmektedir. Çizelge 4.1'de ise bu istasyonlara ait bilgiler verilmiştir.

Bu çalışmada çoklu regresyon modeli oluşturulurken, ortalama yıllık yağış ve yıllık ortalama sıcaklık bağımsız değişkenler olarak düşünülmüştür. Bu değerlere ait veriler Orman ve Su İşleri Bakanlığı'na bağlı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden il ve ilçe bazında temin edilmiştir. Meteorolojik verileri temin edilen iller ve ilçeler, AGİ'lere en yakın olacak şekilde seçilmiştir. Bu amaçla, Çizelge 4.2'de AGİ'ye en yakın olan yerin uzun yıllara ait aylık ortalama sıcaklık değerleri, Çizelge 4.3'te ise AGİ'ye yakın il ve ilçelerin uzun yıllar ortalama yağış değerleri verilmiştir. Ortalama yıllık yağışı hesaplarken Thiessen metodu kullanacağı için birden çok bölgenin verisi alınmıştır.

Çizelge 4.1: Çalışmada kullanılan AGİ'lerin özellikleri

Havza	AGİ	Akarsu ve İstasyon Adı	Coğrafi Koordinatlar		Yağış Alanı (km ²)	Kot (m)	Gözlem Süresi (yıl)
			Kuzey (° ' ")	Doğu (° ' ")			
SAKARYA	1203	Porsuk Çayı-Beşdeğirmen	39 31 43	30 02 56	3938,4	911,0	33
	1222	Kocasu-Rüstümköy	40 15 28	29 46 09	2021,6	211,0	48
	1223	Seydisuyu-Hamidiye	39 33 56	30 55 32	1636,3	900,0	29
	1224	Sakarya Nehri-Aktaş	39 19 18	31 20 11	4342,2	836,0	20
	1233	Aladağ Çayı- Karaköy	40 11 16	31 39 28	2003,2	515,0	41
	1237	Mudurnu Çayı-Dokurcun	40 34 31	30 51 37	1073,4	288,0	44
	1239	Ova Çayı-Eybek	40 17 01	32 55 15	322,0	1031,0	41
	1244	Kirmir Çayı-Mandıra	40 26 03	32 38 57	886,0	927,0	27
BATI KARADENİZ	1314	Soğanlı Çayı-Karabük	41 10 11	32 38 35	5086,8	286,0	37
	1319	Mengen Çayı-Gökçesu	40 53 47	31 58 02	766,4	532,0	36
	1327	Ulus-Afatlar Köprüsü	40 44 32	32 15 03	953,6	1150,0	33
	1331	Kocairmak-Bartın	41 38 32	32 21 21	1342,0	10,0	31
	1333	Araç Çayı-Karabük	41 11 45	32 37 26	2833,2	263,0	34
	1334	Bolu Çayı-Beşdeğirmenler	40 53 12	31 55 48	1102,8	554,0	34

Çizelge 4.2: AGİ'lere en yakın bölgelerin aylık ortalama sıcaklık değerleri

AGİ	Bölge	Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)											
		Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
1203	Kütahya merkez	0.4	1.7	5.2	10	14.6	18.4	20.9	20.6	16.6	11.8	6.7	2.6
1222	Yenişehir	2.8	3.7	8.1	12.4	16.7	20.7	23.3	24.0	19.2	14.4	8.1	3.6
1223	Mahmudiye	-1.9	-0.3	4.7	10.6	14.0	18.6	22.0	21.9	17.4	11.7	5.0	0.6
1224	Çifteler	-0.8	-0.2	4.8	10.1	15.2	19.9	22.9	22.2	17.1	11.4	5.4	2.6
1233	Seben	0.3	1.9	5.8	10.7	15.0	18.9	21.6	21.4	17.5	12.0	6.0	2.2
1237	Mudurnu	-0.9	0.2	3.5	8.4	12.9	16.3	18.8	18.6	14.9	10.3	5.0	1.2
1239	Çubuk	-1.5	0.3	5.1	10.2	14.4	18.2	21.1	20.7	16.4	10.8	5.4	0.9
1244	Kızılcahamam	-1.1	0.1	4.1	9.3	13.9	17.8	21.2	20.8	16.3	10.8	5.0	1.1
1314	Karabük merkez	2.9	4.5	7.9	12.7	17.3	20.9	23.9	23.5	19.5	14.3	8.2	4.5
1319	Mengen	0.2	1.3	4.4	8.9	13.2	16.3	18.4	18.4	15	11	5.5	2.3
1327	Mengen	0.2	1.3	4.4	8.9	13.2	16.3	18.4	18.4	15	11	5.5	2.3
1331	Bartın merkez	4.1	4.6	7	11.2	15.6	19.8	22.1	21.6	17.7	13.7	9.1	6
1333	Karabük merkez	2.9	4.5	7.9	12.7	17.3	20.9	23.9	23.5	19.5	14.3	8.2	4.5
1334	Bolu merkez	0.7	2	5	9.8	14	17.4	19.9	19.7	16.1	11.8	6.9	3.1

Çizelge 4.3: AGİ'lere yakın yağış istasyonlarının aylık ortalama yağış değerleri

İl veya ilçe	Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)											
	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A
Kütahya	69,7	59,1	60,0	55,3	52,1	34,3	18,6	14,4	21,4	42,1	51,8	85,4
Aslanapa	30,4	24,6	27,6	31,7	32,1	24,9	16,2	16,7	7,4	34,5	35,1	45,0
Tavşanlı	50,6	40,9	44,6	46,7	44,8	28,4	20,3	16,9	21,4	38,8	46,8	58,9
Yenişehir	66,9	53,1	65,8	45,4	36,4	33,4	12,9	6,8	47,5	64,3	49,7	75,8
İnegöl	67,4	53,1	53,9	44,1	45,1	40,4	23,0	22,9	27,4	61,5	63,3	69,9
Bursa	84,8	72,9	69,3	66,2	43,0	33,2	16,1	16,6	38,8	69,7	78,1	109,6
Bilecik	49,2	40,9	46,1	44,9	45,5	37,6	17,7	12,1	21,6	42,4	39,4	57,4
Bolu	57,7	45,4	52,0	51,7	60,1	52,7	31,0	25,2	27,1	42,9	45,8	63,4
Mudurnu	64,9	47,1	50,8	49,2	50,2	36,9	20,4	21,1	15,2	31,5	45,6	72,6
Seben	49,6	38,4	43,0	50,2	52,3	32,9	15,0	16,6	13,4	29,9	40,5	60,5
Nallıhan	43,9	31,5	35,0	36,9	31,0	20,5	11,1	8,3	12,3	24,9	29,9	44,9
Mengen	64,5	41,3	53,4	53,8	65,7	53,2	45,4	30,5	32,5	50,3	60,8	70,4
Devrek	91,7	71,1	67,3	53,9	58,3	57,5	49,3	57,1	54,1	61,4	82,0	81,7
Zonguldak	133,3	92,1	94,7	61,5	54,4	70,3	74,1	86,8	110,7	142,9	143,7	158,0
Bartın	113,5	85,4	75,2	57,4	50,0	70,4	62,6	82,6	85,7	104,9	115,0	131,0
Kastamonu	32,0	28,5	34,2	55,6	68,8	69,9	34,2	32,1	31,0	37,3	29,5	37,1
Ankara	41,8	36,9	38,7	49,0	51,2	35,4	14,5	10,9	18,5	30,2	33,9	46,9
Sivrihisar	40,9	36,3	38,7	46,2	51,3	35,0	16,5	12,8	14,7	31,3	33,7	49,0
Eskişehir	40,2	31,6	36,8	43,4	44,4	31,0	13,2	8,7	14,5	30,6	31,7	48,4
Karabük	47,9	35,1	42,1	48,7	54,3	43,2	25,4	23,7	27,3	35,9	35,4	49,9
Mahmudiye	22,9	19,7	17,4	26,4	34,6	22,6	10,6	8,2	9,0	34,1	26,3	34,1
Çifteler	21,9	12,6	14,0	25,4	25,5	20,2	12,5	8,4	5,3	28,1	22,1	26,5
Sivrihisar	40,9	36,3	38,7	46,2	51,3	35,0	16,5	12,8	14,7	31,3	33,7	49,0
Seyitgazi	41,3	29,7	33,6	33,6	43,3	29,6	16,2	13,4	14,5	25,3	27,4	44,7
Göynük	60,2	62,9	55,7	61,3	77,5	49,4	17,2	29,9	21,5	46,7	46,5	60,1
Çubuk	50,9	42,0	40,1	45,8	58,6	38,5	17,2	11,3	17,0	27,4	33,3	60,2
Kızılcahamam	68,8	57,6	54,0	60,6	61,2	41,2	22,8	20,7	22,3	36,0	45,0	82,6
Çamlıdere	22,5	32,7	36,9	41,2	52,0	46,5	16,5	22,9	12,3	38,5	46,8	58,5
Yenice	49,3	56,2	46,5	50,5	57,8	76,2	38,0	38,7	49,4	66,7	70,2	58,7
Çankırı	44,8	33,7	36,7	45,2	54,1	39,1	17,3	17,4	16,8	26,4	25,9	46,9

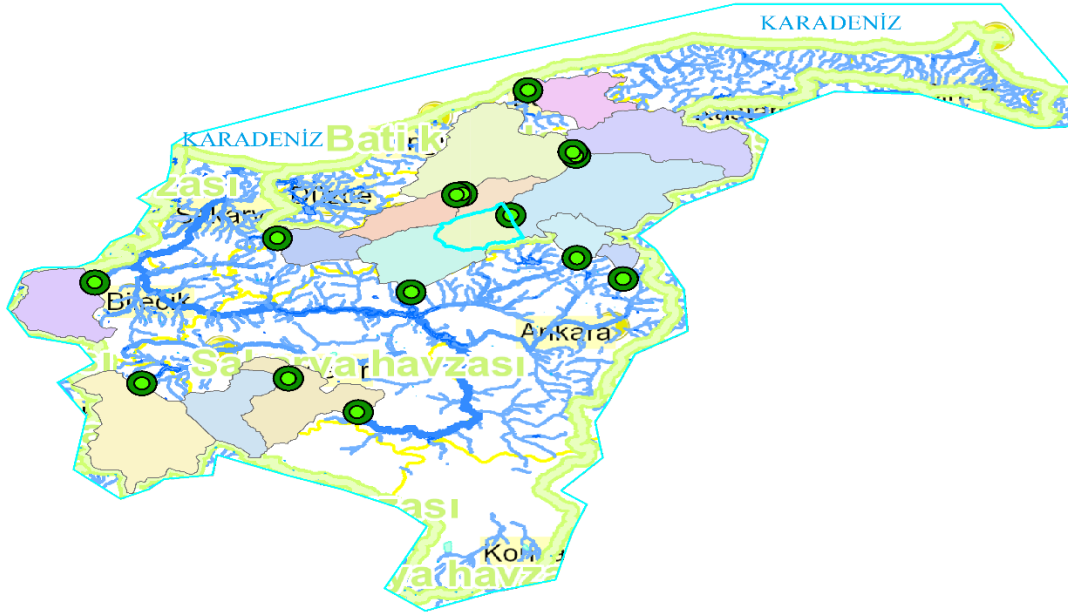
5. HAVZA KARAKTERİSTİKLERİ

5.1 Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) konuma dayalı gözlemlerle elde edilen grafik ve grafik olmayan bilgilerin toplanması, saklanması, işlenmesi ve kullanıcıya sunulması işlevlerini bütünlük içerisinde gerçekleştiren bir bilgi sistemi olarak tanımlanır. CBS günümüzde çok yaygın bir kullanım alanına sahiptir. CBS meteoroloji, hidroloji, demografi, topoğrafya, şehir planlama, taşımacılık, arkeoloji gibi çeşitli alanlarda önemli derecede kolaylık sağlamaktadır. Orman ve Su İşleri Bakanlığı CBS'yi kullanarak çok sayıda çalışma gerçekleştirmiş ve bu çalışmaların internet ortamı üzerinden görünmesi sağlanmıştır. Bu çalışmalar ulaştırma, arazi örtüsü, su, meteoroloji, yaban hayatı koruma, jeoloji, milli parklar, orman bilgi sistemi gibi çeşitli alanlarda yapılmıştır. Bu çalışmalara Orman ve Su İşleri Bakanlığı'nın resmi internet sitesi (<http://www.ormansu.gov.tr>) üzerinden ulaşmak mümkündür.

CBS teknolojisi özellikle son 30 yılda havzaların dijital ortamda konumlarının belirlenmesine ve hidrolojik analizlerinin yapılmasına olanak sağlayarak hidrolojik uygulamalarda bir devrim yaratmıştır (Huber ve diğ, 2008). CBS yardımı ile oluşturulan arazi modelleri üzerinden çeşitli sorgulamalar yapılabilir. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) bu arazi modellerinden biridir. SYM ile konuma bağlı topoğrafik özelliklerin değişim bilgilerine rahatlıkla ulaşıp analizler yapılabilir. SYM yardımı ile drenaj havzaları ve drenaj ağları belirlenebilmekte ve alan, eğim, yükseklik, akış yönü, akış uzunluğu gibi önemli havza özellikleri hesaplanabilmektedir.

Bu çalışmada CBS yardımı ile Sakarya ve Batı Karadeniz havzalarının çeşitli özellikleri çoklu regresyon modelinde kullanılmak üzere hesaplanmıştır. Şekil 5.1'de CBS'de Sakarya ve Batı Karadeniz havzaları ile havzalardaki istasyonların alt havza sınırları görülmektedir.



Şekil 5.1: Sakarya ve Batı Karadeniz havzalarının CBS ile görünümü

5.2 Çalışmada Kullanılacak Değişkenler ve Değişkenlerin Hesabı

Sakarya ve Batı Karadeniz havzalarında çoklu regresyon modeliyle taban akışını tahmin etmek için havzaların çeşitli topoğrafik, meteorolojik ve hidrolojik özelliklerinden faydalanılmıştır. Çalışmada kullanılan değişkenler Çizelge 5.1’de tanıtılmıştır.

Çizelge 5.1: Çalışmada kullanılacak değişkenler

Değişken	Birim	Gösterim
Drenaj Alanı	km ²	<i>A</i>
Akarsu Ağı Toplam Uzunluğu	km	<i>AATU</i>
Akarsu Debisi	m ³ /s	<i>Q</i>
Drenaj Yoğunluğu	km ⁻¹	<i>DY</i>
Drenaj İndeksi	-	<i>DI</i>
Eğim İndeksi	-	<i>EI</i>
Engebelilik Sayısı	-	<i>ES</i>
İklim İndeksi	-	<i>II</i>
Kot	m	<i>K</i>
Orman ve Yarı Doğal Alanlar	%	<i>ORM</i>
Ortalama Akarsu Yatak Eğimi	-	<i>OAYE</i>
Yıllık Ortalama Sıcaklık	°C	<i>T</i>
Ortalama Yıllık Yağış	mm	<i>OYY</i>
Tarımsal Alanlar	%	<i>TAR</i>
Toplam Kabartma (Rölyef)	m	<i>TK</i>
Yıllık Potansiyel Evapotranspirasyon	mm	<i>PET</i>

Çizelge 5.1’de gösterilen değişkenlerden drenaj alanı (A), ilgili akım gözlem istasyonunu besleyebilecek yağış alanını temsil ederken, akarsu ağı toplam uzunluğu ($AATU$), ilgili istasyonu besleyen tüm akarsu kollarının toplam uzunluğuna karşılık gelir. Drenaj yoğunluğu (DY) ise istasyon havzası içerisindeki tüm akarsu kollarının toplam uzunluğunun ($AATU$) drenaj alanına bölünmesiyle elde edilir. DY matematiksel olarak,

$$DY = \frac{AATU}{A} \quad (5.1)$$

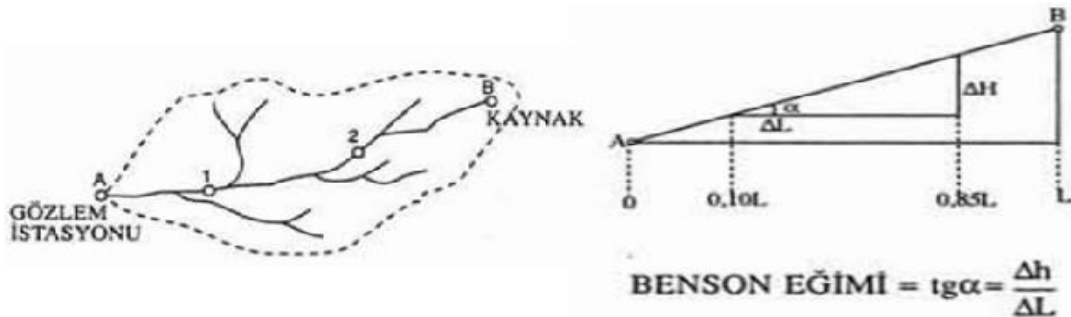
şeklinde ifade edilir ve boyutu L^{-1} dir. Drenaj indeksi (DI), akarsu ağı toplam uzunluğunun drenaj alanının kareköküne bölünmesiyle elde edilir ve

$$DI = \frac{AATU}{\sqrt{A}} \quad (5.2)$$

şeklinde ifade edilir. Kot (K) istasyonun deniz seviyesinden olan yüksekliğidir. K ’nın drenaj alanının kareköküne bölünmesiyle bir başka değişken olan eğim indeksi (EI) bulunur. EI boyutsuz bir değişken olup

$$EI = \frac{K}{\sqrt{A}} \quad (5.3)$$

şeklinde tanımlanır. Ortalama akarsu yatak eğimi ($OAYE$) Benson yöntemi ile hesaplanmıştır. Benson yönteminde akım gözlem istasyonunun çıkışından itibaren toplam ana dere uzunluğu (L) hesaplanır. Daha sonra ana dere uzunluğunun %10’u ile %85’i harita üzerinde işaretlenir ve işaretlenen iki akarsu noktası arasındaki eğim akarsu yatak eğimine karşı gelir. Şekil 5.2’de bu yöntem gösterilmektedir.



Şekil 5.2: Benson yöntemi ile OAYE hesabı

Toplam kabartma (rölyef) havza içerisindeki maksimum nokta (h_{maks}) ile minimum nokta (h_{min}) arasındaki farktır ve

$$TK = h_{maks} - h_{min} \quad (5.4)$$

ile gösterilir. Engebelilik sayısı ise havzanın yapısal karmaşıklığını gösteren bir değişken olup

$$ES = DY.TK \quad (5.5)$$

şeklinde ifade edilir.

Yıllık potansiyel evapotranspirasyon (PET) CBS aracılığıyla ulaşılan MODIS Küresel Evapotranspirasyon Projesi (MOD 16) veri setinden alınmıştır. MODIS, NASA tarafından geliştirilmiş görünür ışıklı ve kızıl ötesi alanlarla çalışan radyometredir. Veri seti 2000-2010 yılları arasında yapılan ölçümleri kapsamaktadır.

Çizelge 4.3'te gösterilen yağış istasyonlarının ortalama yıllık yağışı (OYY), m ay numarasını göstermek üzere, ortalama aylık yağış miktarları toplanarak

$$OYY = \sum_{m=1}^{12} OYY_m \quad (5.6)$$

şeklinde bulunmuştur. AGİ havzası içerisine yılda ortalama ne kadar yağış düştüğünü hesaplamak için Thiessen metodu kullanılmıştır. Bu yöntemde önce yağış istasyonları harita üzerine işaretlenir ve birbirine yakın yağış istasyonları bir doğru parçasıyla birleştirilir. Daha sonra bu doğruların ortasına dikmeler çizilir ve her yağış istasyonunun çevresinde dikmelerin meydana getirdiği çokgenin o yağış istasyonundaki yağışla temsil edildiği kabul edilir. Yağış istasyonun havza içerisine düşen alanı, o istasyonun ilgili havza içindeki yağış ağırlığını temsil eder ve ağırlıklı ortalama kullanılarak OYY hesaplanır.

İklim indeksi (II), ortalama yıllık yağışın yıllık potansiyel evapotranspirasyona bölünmesiyle

$$II = \frac{OYY}{PET} \quad (5.7)$$

elde edilir. Her AGİ için yıllık ortalama sıcaklık (T), Çizelge 4.2’de gösterilen aylık ortalama sıcaklık değerleri kullanılarak, T_m aylık ortalama sıcaklık ve m ay numarasını göstermek üzere

$$T = \frac{\sum T_m}{12} \quad (5.8)$$

şeklinde bulunur.

Tarımsal alanlar ile ormanlık ve yarı doğal alanlar Corine 2000 arazi örtüsü veri tabanı kullanılarak yüzdeler halinde hesaplanmıştır. Türkiye’nin Corine arazi örtüsü haritası Şekil 5.3’te gösterilmektedir. Corine arazi örtüsü sınıfları ise ekte Çizelge A.1’de, verilmiştir.

AGİ’lerde gözlenen günlük akım verilerinin ortalaması alınarak uzun dönem ortalama akım miktarı bulunmuştur.

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^N Q_{gün}}{N} \quad (5.9)$$

şeklinde bulunmuştur. Burada N gözlem yapılan gün sayısıdır.



Şekil 5.3: Türkiye’nin Corine arazi örtüsü

5.3 Kullanılacak Değişkenlerin İstatistiksel Özellikleri

Çoklu regresyon modelinde kullanılacak tüm değişkenlerin 14 AGİ için istatistiksel analizi yapılarak değişkenlerin minimum, maksimum, ortalama, medyan ve standart sapma gibi bazı önemli istatistik özellikleri hesaplanmıştır. Çizelge 5.2’de değişkenlerin hesaplanan istatistik değerleri görülmektedir.

Çizelge 5.2: 14 AGİ’ye uygulanan değişkenlerin istatistiksel özellikleri

Değişkenler	Minimum	Ortalama	Medyan	Maksimum	St. Sapma
A (km ²)	322,0	2022,0	1489,2	5086,8	1477,1
AATU (km)	111,6	722,1	562,2	1906,8	528,4
Q (m ³ /s)	2,210	11,49	8,471	26,63	7,899
DY (km ⁻²)	0,299	0,350	0,351	0,450	0,139
DI	6,219	15,08	14,51	26,74	6,074
EI	0,0002	0,018	0,014	0,060	0,016
ES	0,265	0,450	0,364	0,890	0,194
II	1,055	1,480	1,511	1,900	0,256
K (m)	10,00	601,0	543,0	1150,0	357,4
ORM (%)	38,20	66,46	71,53	89,75	15,20
OAYE	0,0022	0,008	0,008	0,020	0,004
T (°C)	10,53	11,52	1208,0	13,34	1,093
OYY (mm)	315,9	539,6	961,5	1015,2	165,0
TAR (%)	9,290	32,08	28,09	60,31	14,70
TK (m)	827,0	1257,3	1077,0	2009,0	411,1
PET (mm)	267,0	366,0	331,0	565,0	97,81

İki veya daha fazla rastgele değişken arasında ilişki olup olmadığını belirlemek için korelasyon analizi yapılır. Korelasyon analizinin amacı değişkenler arasındaki ilişkinin derecesini ve yönünü belirlemektir. Değişkenler arasındaki ilişkinin derecesini belirlemek için genellikle Pearson korelasyon katsayısı kullanılır. N elemanlı (x_i, y_i) çiftlerinden oluşan bir örneğin r korelasyon katsayısı,

$$r = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \frac{x_i - \bar{x}}{s_x} \frac{y_i - \bar{y}}{s_y} \quad (5.10)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada $\bar{x}$ ve $\bar{y}$, x ve y örneklerinin aritmetik ortalamalarını, s_x ve s_y de bu örneklerin standart sapmalarını ifade eder. r , -1 ile 1 arasında değerler alabilir. $r = 0$ olduğu zaman değişkenler arasında doğrusal bir ilişki yoktur demektir. r ’nin mutlak değeri 0’dan 1’e doğru arttıkça, değişkenler arasındaki ilişki

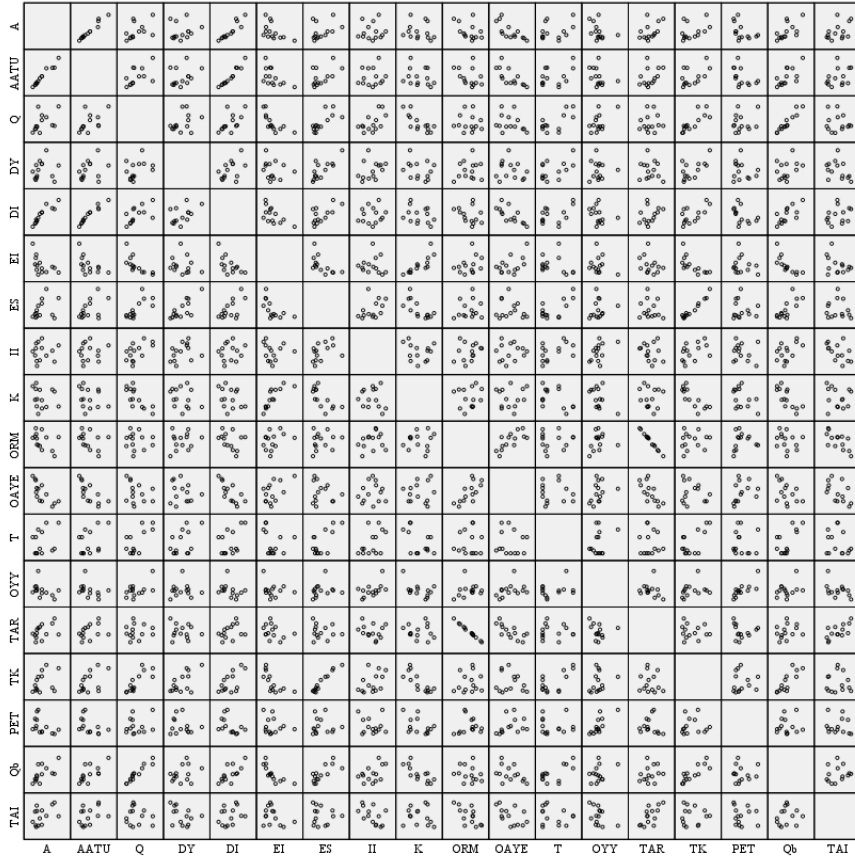
kuvvetlenir. $r = 1$ olduğu zaman değişkenler arasında pozitif bir fonksiyonel ilişkinin, $r = -1$ olduğu zaman ise değişkenler arasında negatif bir fonksiyonel ilişkinin varlığından söz edilebilir. Bu çalışmada kullanılacak değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları Çizelge 5.3'te gösterilmektedir.

Değişkenler arasındaki ilişkiyi görsel bir şekilde görebilmek için saçılma diyagramları kullanılır. Saçılma diyagramları ile değişkenler arasındaki ilişkinin sebebi görülemese de değişkenler arasında direkt olarak bir ilişkinin bulunup bulunmadığı hakkında yorum yapılabilir. Şekil 5.4'te değişkenlerin birbirleriyle arasındaki saçılma diyagramları görülmektedir. Saçılma diyagramı oluşturulurken x_i gözlem değerlerine karşı gelen y_i gözlem değerleri grafik üzerinde işaretlenir.

Diğer değişkenlerin taban akışı (Q_b) ve taban akış indeksi (TAI) ile olan ilişkisi bölgeden bölgeye göre değişebilmektedir. Örneğin, bir bölgede TAI ile kot ters orantılı iken bir başka bölgede bu ilişki doğru orantılı olarak bulunabilir. Literatürde mevcut farklı bölgeler için yapılan çalışmalarda taban akışı ile drenaj alanı arasında yüksek bir korelasyon olduğu bulunmuştur. Örneğin Ahiablame ve diğ. (2013) yaptığı çalışmada drenaj alanının artması ile taban akışının da artma eğiliminde olduğunu ortaya koymuştur. Drenaj yoğunluğu, TAI üzerinde negatif bir etkiye sahiptir (Mwakalila ve diğ, 2002). Drenaj yoğunluğunun artması yüzeysel akışın daha hızlı bir şekilde çıkış noktasına ulaşmasını sağlar. Taban akışı yüzeysel akışa göre daha yavaş olduğu için çıkış noktasına daha geç ulaşacaktır. TAI 'nin havzanın eğimi, ormanlık alan yüzdesi ve kotu ile ters orantılı olarak değiştii Haberlant ve diğ (2001) tarafından Almanya'nın Elbe akarsu havzası için yapılan çalışmada saptanmıştır. PET 'in TAI üzerinde negatif bir etkiye sahip olduğu Mazvimavi ve diğ (2004) tarafından Zimbabwe için yapılan çalışmada elde edilmiş, evapotranspirasyonun yüzey altındaki suyu azalttığı belirlenmiştir.

Çizelge 5.3: Regresyon modelinde kullanılacak değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları

	<i>A</i>	<i>AATU</i>	<i>Q</i>	<i>DY</i>	<i>DI</i>	<i>EI</i>	<i>ES</i>	<i>II</i>	<i>K</i>	<i>ORM</i>	<i>OAYE</i>	<i>T</i>	<i>OYY</i>	<i>TAR</i>	<i>TK</i>	<i>PET</i>	<i>Q_b</i>	<i>TAI</i>
<i>A</i>	1,000																	
<i>AATU</i>	0,978	1,000																
<i>Q</i>	0,474	0,550	1,000															
<i>DY</i>	0,111	0,299	0,375	1,000														
<i>DI</i>	0,914	0,970	0,589	0,479	1,000													
<i>EI</i>	-0,523	-0,554	-0,707	-0,195	-0,630	1,000												
<i>ES</i>	0,340	0,504	0,745	0,767	0,630	-0,596	1,000											
<i>II</i>	0,027	0,084	0,568	0,296	0,122	-0,050	0,396	1,000										
<i>K</i>	-0,156	-0,238	-0,768	-0,266	-0,314	0,812	-0,712	-0,182	1,000									
<i>ORM</i>	-0,424	-0,326	-0,058	0,172	-0,296	0,315	0,147	0,213	0,071	1,000								
<i>OAYE</i>	-0,743	-0,720	-0,286	-0,189	-0,740	0,518	-0,187	0,076	0,083	0,717	1,000							
<i>T</i>	0,308	0,424	0,677	0,486	0,445	-0,258	0,683	0,470	-0,483	0,045	-0,062	1,000						
<i>OYY</i>	-0,380	-0,344	0,528	0,007	-0,306	-0,199	0,180	0,485	-0,499	0,174	0,333	-0,271	1,000					
<i>TAR</i>	0,438	0,341	0,063	-0,164	0,309	-0,316	-0,135	-0,209	-0,077	-0,998	-0,709	-0,027	-0,188	1,000				
<i>TK</i>	0,365	0,506	0,778	0,615	0,603	-0,681	0,973	0,425	-0,809	0,129	-0,169	0,661	0,256	-0,116	1,000			
<i>PET</i>	-0,483	-0,475	0,184	-0,203	-0,457	-0,179	-0,053	-0,154	-0,449	0,092	0,323	-0,052	0,771	-0,118	0,019	1,000		
<i>Q_b</i>	0,621	0,680	0,953	0,314	0,697	-0,772	0,752	0,459	-0,769	-0,222	-0,453	0,652	0,336	0,227	0,836	0,067	1,000	
<i>TAI</i>	0,451	0,354	-0,130	-0,379	0,276	-0,369	-0,102	-0,513	-0,127	-0,677	-0,531	-0,244	-0,452	0,678	-0,002	-0,122	0,146	1,000



Şekil 5.4: Değişkenlerin saçılma diyagramları

6. UYGULAMA

6.1 PASW İstatistik 18 Paket Programı

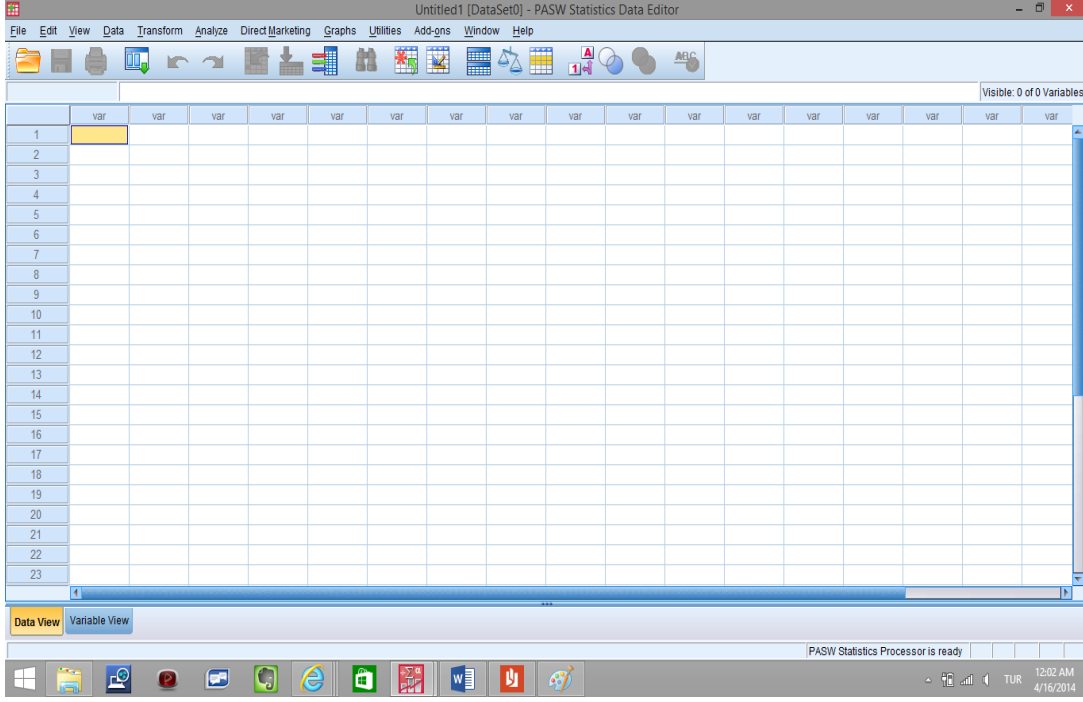
Günümüzde gelişmiş bilgisayar donanım ve yazılımları sayesinde pek çok istatistiksel analiz kolayca yapılabilir duruma gelmiştir. Bu bağlamda, temel ve çok değişkenli istatistik teknikleri paket programlar sayesinde araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılabilmektedir (Kalaycı, 2008).

Bu çalışmada çoklu regresyon modelini oluşturmak için PASW istatistik 18 paket programından yararlanılmıştır. Bu program ilk olarak 1968 yılında Amerikan asıllı SPSS Inc. şirketi tarafından SPSS adı ile piyasaya sürülmüştür. 2009 yılına kadar bu isimle anılan program, SPSS Inc. şirketinin haklarını IBM şirketine devretmesiyle 2009 yılının eylülünden 2010 yılının eylülüne kadar PASW adı altında piyasaya sürülmüştür. 2010 yılının eylülünden sonra da program IBM SPSS olarak piyasaya sürülmeye başlanmıştır.

Program, karmaşık ve hesaplaması uzun süre alan istatistik analizleri hızlı bir şekilde gerçekleştirdiği için sosyal ve fen bilimlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle üniversiteler, anket şirketleri ve devlet kurumlarının sıkça yararlandığı program, üzerine yazılan verilerin istenilen doğrultuda istatistikel çıkarımını yaparak araştırmacının sonuçlar üzerinde yorum yapmasını sağlar.

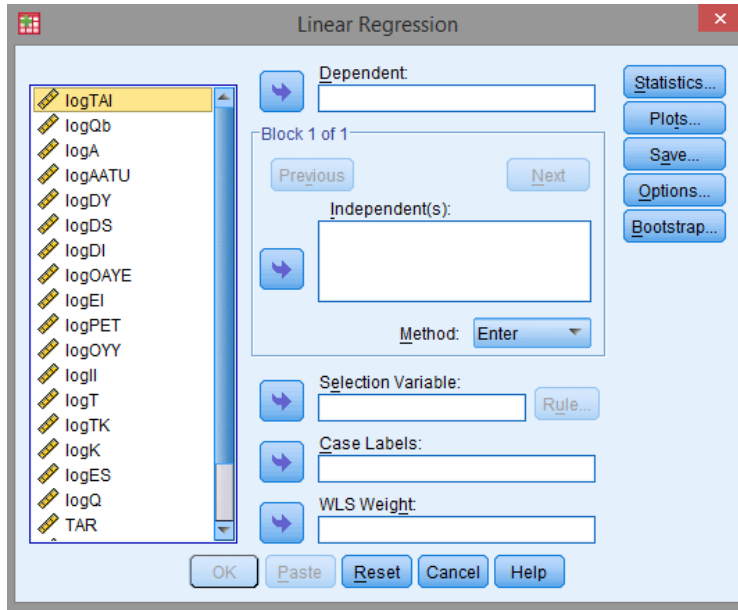
Program açıldığı zaman kullanıcının karşısına ilk önce Şekil 6.1'deki veri editörü penceresi gelir. Bu pencerenin bir kısmı satır ve sütunlardan oluşur ve kullanıcı verilerini bu alana yerleştirir. Her sütun bir değişkeni temsil eder. Veriler girildikten sonra bu pencerenin üst kısmındaki çeşitli menülerden verilerle yapılmak istenen işlem seçilir. Bu menüler sayesinde regresyon analizi, normallik testi, dönüşüm, grafik çizme, faktör analizi, parametrik ve parametrik olmayan testler, korelasyon gibi çok sayıda işlem yapılabilir.

Çalışmada Sakarya ve Batı Karadeniz havzalarının taban akışı ve taban akış indeksi, havzaların çeşitli karakteristikleri kullanılarak tahmin edilmeye çalışıldığı için çoklu



Şekil 6.1: PASW veri editörü penceresi

doğrusal regresyon yöntemi kullanılmıştır. Bunun için veri editörü penceresindeki analiz menüsünden regresyon seçeneği işaretlenir ve kullanıcının karşısına Şekil 6.2'deki doğrusal regresyon penceresi gelir. Bu pencerede kullanıcı bağımlı değişkeni ve bağımsız değişkenleri yerleştirir, regresyon sonucunda görüntülemek istediği tüm testleri seçer ve daha önce Bölüm 3'te söz edilen dört değişken seçme metodundan birini işaretleyerek regresyon analizini gerçekleştirir.



Şekil 6.2: PASW doğrusal regresyon penceresi

Regresyon analizi gerçekleştirildikten sonra kullanıcının karşısına Şekil 6.3'teki çıktı penceresi gelir. Bu pencerede kullanıcının doğrusal regresyon penceresinde işaretlemiş olduğu tüm işlemler görünür. Bu pencereye gelen sonuçlar, varsayımlar dikkate alınarak, kullanıcı tarafından yorumlanır ve model sonuçlarının kullanıcıyı tatmin edip etmediği belirlenmiş olur.

Output1 [Document1] - PASW Statistics Viewer

File Edit View Data Transform Insert Format Analyze Direct Marketing Graphs Utilities Add-ons Window Help

Output
Log
Regression
Title
Notes
Active Dataset
Variables Entered
Model Summary
ANOVA
Coefficients
Excluded Variable
Log
Regression
Title
Notes
Active Dataset
Descriptive Statistics
Correlations
Variables Entered
Model Summary
ANOVA
Coefficients
Excluded Variable
Residuals Statistics

1

Regression	.206	6	.034	24.306	.000 ^a
Residual	.010	7	.001		
Total	.216	13			

2

Regression	.206	5	.041	33.296	.000 ^b
Residual	.010	8	.001		
Total	.216	13			

a. Predictors: (Constant), TK, TAR, OYY, DY, OAYE, Q
b. Predictors: (Constant), TK, TAR, DY, OAYE, Q
c. Dependent Variable: TAI

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.
		B	Std. Error	Beta			
1	(Constant)	1.208	.145			8.321	.000
	Q	-.017	.004	-.1065		-4.542	.003
	DY	-2.514	.362	-.800		-6.946	.000
	TAR	.004	.001	.452		3.448	.011
	OYY	9.709E-6	.000	.012		.086	.934
	OAYE	-13.854	5.139	-.447		-2.657	.033
	TK	.000	.000	1.315		6.514	.000
2	(Constant)	1.208	.136			8.913	.000
	Q	-.017	.002	-.1050		-7.340	.000
	DY	-2.508	.333	-.798		-7.522	.000
	TAR	.004	.001	.455		3.797	.005
	OAYE	-13.374	3.733	-.438		-3.582	.007
	TK	.000	.000	1.306		7.941	.000

a. Dependent Variable: TAI

PASW Statistics Processor is ready

12:37 AM
4/16/2014

Şekil 6.3: PASW çıktı penceresi

6.2: Model Kalibrasyonu

Bu çalışmada taban akışı indeksi (TAI) ile taban akışı (Q_b) havzaların topoğrafik ve hidrometeorolojik özelliklerini kullanarak açıklamak için iki regresyon modeli geliştirilmiştir. Regresyon modelleri oluşturulurken Sakarya ve Batı Karadeniz havzalarının 11 AGİ'sinden yararlanılmıştır. Diğer 3 AGİ ise model doğrulaması için kullanılmak üzere rastgele seçilmiştir. Bu istasyonlar 1203 Beşdeğirmen, 1222 Rüstümköy ve 1331 Bartın istasyonlarıdır. PASW istatistik 18 paket programı yardımı ile 11 AGİ için geliştirilen TAI ve Q_b regreyon modelleri

$$TAI = 10^{-4,428} \cdot OAYE^{-0,317} \cdot TK^{1,010} \cdot Q^{-0,326} \cdot DY^{-1,672} \quad (6.1)$$

$$Q_b = 10^{-9,631} \cdot OAYE^{-0,560} \cdot TK^{2,559} \cdot DY^{-2,863} \quad (6.2)$$

şeklindedir. TAI 'yi tahmin etmek için kurulan modelde ortalama akarsu yatak eğimi ($OAYE$), toplam kabartma (TK), drenaj yoğunluğu (DY) ve ortalama akarsu debisi (Q) bağımsız değişkenleri yer alırken, Q_b 'yi açıklamak için oluşturulan modelde $OAYE$, TK ve DY değişkenleri yer almıştır.

6.2.1 Taban akışı indeksi (TAI) regresyon modeli

TAI 'yi tahmin etmek için oluşturan modelde, Denklem 6.1'de görülen, dört bağımsız değişken kullanılmıştır. Çizelge 6.1'de TAI modelindeki değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri görülmektedir. Model oluşturulurken daha önce bahsedildiği gibi değişkenlerin normal dağılıma yaklaşmasını sağlamak için logaritmik dönüşüm uygulanmıştır. Bu nedenle çizelgedeki değerler logaritmik olarak görülmektedir.

Çizelge 6.1: TAI modelindeki değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri

Değişkenler	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
$\log TAI$	-0,315	-0,066	-0,197	0,083
$\log OAYE$	-2,444	-1,812	-2,087	0,216
$\log TK$	2,918	3,303	3,067	0,137
$\log Q$	0,344	1,425	0,885	0,321
$\log DY$	-0,523	-0,351	-0,445	0,054

Çizelge 6.2'de değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları görülmektedir. Korelasyon katsayılarına bakıldığında TAI 'nin $OAYE$ ve DY değişkenleri ile orta derecede, TK ve Q değişkenleri ile zayıf derecede korelasyon içinde olduğu görülmüştür. Modelde yer alacak değişkenleri belirlerken geriye doğru eleme metodu kullanıldığı için TAI ile zayıf korelasyonlu olan değişkenlerde modelde kullanılmış ve bu değişkenler TAI 'nin daha anlamlı bir şekilde açıklanmasına yardımcı olmuştur. Bu durum geriye doğru eleme yöntemindeki değişkenlerin ortak tahmin kabiliyeti ile mümkün olur (Dattolo, 2013).

Çizelge 6.2: *TAI* modelindeki değişkenler arasındaki Pearson korelasyon katsayıları

	log <i>TAI</i>	log <i>OAYE</i>	log <i>TK</i>	log <i>Q</i>	log <i>DY</i>
log <i>TAI</i>	1,000	-0,440	0,107	0,109	-0,407
log <i>OAYE</i>	-0,440	1,000	-0,086	-0,279	-0,161
log <i>TK</i>	0,107	-0,086	1,000	0,782	0,514
log <i>Q</i>	0,109	-0,279	0,782	1,000	0,245
log <i>DY</i>	-0,407	-0,161	0,514	0,245	1,000

Çizelge 6.3'te model özeti görülmektedir. Bu kısımda modelin determinasyon katsayısı (R^2), modelin düzeltilmiş determinasyon katsayısı ve tahminin standart hatası görülmektedir. Modelde $R^2=0,843$ hesaplanmıştır. Bu, *TAI*'deki değişimin %84,3'ünün modelde yer alan değişkenler tarafından açıklandığını gösterir. Geriye kalan %15,7'lik kısım ise modele dahil edilmeyen değişkenler tarafından hata terimi aracılığıyla açıklanan kısımdır.

Çizelge 6.3: *TAI* model özeti

R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahminin Standart Hatası
0,843	0,739	0,042621

Çizelge 6.4'te modelin varyans analizi (ANOVA) görülmektedir. Burada Bölüm 3'te detaylı olarak anlatılan *F* istatistiği bulunur. *F* istatistiği modeldeki değişkenlerin bir bütün olarak anlamlı olup olmadığını test eder. $F=8,078$ ve bu değer anlamlılığı $p=0,0136$ bulunduğu için modelin başında yapılan H_0 hipotezi %10 ve %5 anlamlılık düzeylerinde reddedilir. Yani *TAI*'yi *Q*, *OAYE*, *DY* veya *TK* değişkenlerinden en az biri ile tahmin etmek istatistiksel olarak mümkündür.

Çizelge 6.4: *TAI* modeli ANOVA tablosu

Model	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	<i>F</i>	Anlamlılık <i>p</i>
Regresyon	0,05870	4	0,01467	8,078	0,01356
Hata	0,01090	6	0,00182		
Toplam	0,06960	10			

Çizelge 6.5'te modelde yer alan bağımsız değişkenlerin kısmi regresyon katsayıları, standartlaştırılmış beta değerleri, *t* istatistikleri ve *p* değerleri görülmektedir. Burada *t* istatistiği modeldeki regresyon katsayılarının tek tek anlamlılığını sınamak için kullanılır. Çizelge 6.5'te her değişkenin *t* istatistiği 0,05 değerinin altında anlamlı

bulunmuştur. Bu nedenle H_0 hipotezi %10 ve %5 anlamlılık düzeylerinde reddedilir ve tüm bağımsız değişkenlerin TAI 'yi tahmin etmek için kullanılabileceğine karar verilir.

Çizelge 6.5'te yer alan standartlaştırılmış β katsayıları bağımsız değişkenlerin modeldeki önem sırasını göstermektedir (Kalaycı, 2010). TK değişkeni en yüksek standartlaştırılmış β mutlak değerine sahiptir. Bu şekilde yola çıkarak sırası ile en önemli değişkenlerin TK , Q , DY , $OAYE$ olduğu söylenebilir.

Çizelge 6.5: TAI model katsayıları

Modeldeki Değişkenler	<u>Standartlaştırılmamış</u> <u>Katsayılar</u>		<u>Standartlaştırılmış</u> <u>Katsayılar</u>		Anlamlılık p
	B	Standart Hata	β	t	
(Sabit)	-4,428	0,895		-4,950	0,003
log $OAYE$	-0,317	0,072	-0,823	-4,371	0,005
log TK	1,010	0,256	1,656	3,952	0,008
log Q	-0,326	0,099	-1,256	-3,281	0,017
log DY	-1,672	0,342	-1,083	-4,888	0,003

Standartlaştırılmamış B katsayıları regresyon denkleminde yer alan regresyon katsayılarıdır. Bu katsayılar kullanılarak TAI 'nin logaritmik doğrusal denklemi elde edilir. Bu denklem

$$\log TAI = -4,428 - 0,317 \log OAYE + 1,010 \log TK - 0,326 \log Q - 1,672 \log DY \quad (6.3)$$

şeklinde ifade edilir. Denklem (6.1) denklem (6.3)'ün üstel şeklidir.

6.2.2 Taban akışı (Q_b) regresyon modeli

Q_b 'yi tahmin etmek için oluşturulan modelde $OAYE$, TK , DY bağımsız değişkenleri yer almıştır. Çizelge 6.6'da Q_b modelinde yer alan değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler görülmektedir. Model oluşturulurken TAI modelinde olduğu gibi değişkenlerin normal dağılıma yaklaşmasını sağlamak için logaritmik dönüşüm uygulanmıştır. Bu nedenle çizelgedeki değerler logaritmik olarak görülmektedir.

Çizelge 6.6: Q_b modelindeki değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri

Değişkenler	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
$\log Q_b$	0,133	1,237	0,688	0,341
$\log OAYE$	-2,444	-1,812	-2,087	0,216
$\log TK$	2,918	3,303	3,067	0,137
$\log DY$	-0,523	-0,351	-0,445	0,054

Çizelge 6.7’de model değişkenleri arasındaki korelasyon katsayıları görülmektedir. Korelasyon katsayılarına bakıldığında Q_b ’nin TK değişkeni ile iyi derecede, $OAYE$ ve DY değişkenleri ile ise zayıf derecede korelasyon içinde olduğu görülmüştür. Modeli daha iyi açıklamak için tüm bu değişkenler modelde yer almış ve değişkenlerin ortak tahmin kabiliyetinden faydalanılmıştır.

Çizelge 6.7: Q_b modelindeki değişkenler arasındaki Pearson korelasyon katsayıları

	$\log Q_b$	$\log OAYE$	$\log TK$	$\log DY$
$\log Q_b$	1,000	-0,371	0,804	0,131
$\log OAYE$	-0,371	1,000	-0,086	-0,161
$\log TK$	0,804	-0,086	1,000	0,514
$\log DY$	0,131	-0,161	0,514	1,000

Çizelge 6.8’de Q_b modelinin determinasyon katsayısı (R^2), düzeltilmiş determinasyon katsayısı ve tahminin standart hatası görülmektedir. Burada $R^2=0,919$ hesaplanmıştır. Bu değer, Q_b ’deki değişimin %91,9’unun modelde yer alan değişkenler tarafından açıklandığını gösterir.

Çizelge 6.8: Q_b modelinin özeti

R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahminin Standart Hatası
0,919	0,884	0,116183

Çizelge 6.9’da modelin varyans analizi (ANOVA) görülmektedir. Modelde $F=26,344$ ve $p= 0,000$ bulunduğu için modelin başında yapılan H_0 hipotezi %10 ve %5 anlamlılık düzeylerinin her ikisinde de reddedilir. Bu durum modelin bir bütün olarak anlamlı olduğunu gösterir. Bir başka deyişle, Q_b ’yi $OAYE$, TK veya DY değişkenlerinden en az biri ile tahmin etmek istatistiksel olarak mümkündür.

Çizelge 6.9: Q_b modeli ANOVA tablosu

Model	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Anlamlılık p
Regresyon	1,06683	3	0,35561	26,344	0,000
Hata	0,09449	7	0,01350		
Toplam	1,16132	10			
Toplam	1,16132	10			

Çizelge 6.10’da modeldeki bağımsız değişkenlerin regresyon katsayıları, standartlaştırılmış β değerleri, t istatistikleri ve t istatistiklerine ait p değerleri görülmektedir. Çizelge 6.10’a bakıldığında her değişkene ait t istatistiği anlamlılığının 0,05’in altında bulunduğu görülür. Bu nedenle H_0 hipotezi %10 ve %5 anlamlılık düzeylerinde reddedilir ve tüm bağımsız değişkenlerin Q_b ’yi tahmin etmek için kullanılabileceğine karar verilir. Standartlaştırılmış β değerlerine bakarak da en önemli değişkenlerin sırasıyla TK , DY , $OAYE$ olduğu söylenebilir.

Çizelge 6.10: Q_b model katsayıları

Modeldeki Değişkenler	<u>Standartlaştırılmamış</u>		<u>Standartlaştırılmış</u>		Anlamlılık
	<u>Katsayılar</u>		<u>Katsayılar</u>		
	B	Standart Hata	β	t	
(Sabit)	-9,631	1,255		-7,677	0,000
log <i>OAYE</i>	-0,560	0,172	-0,356	-3,258	0,014
log <i>TK</i>	2,559	0,313	1,027	8,169	0,000
log <i>DY</i>	-2,863	0,800	-0,454	-3,577	0,009

Standartlaştırılmamış B katsayıları model regresyon katsayılarıdır. Bu katsayılar kullanılarak Q_b ’nin logaritmik doğrusal denklemi

$$\log Q_b = -9,631 - 0,560 \log OAYE + 2,559 \log TK - 2,863 \log DY \quad (6.4)$$

şeklinde elde edilir. Denklem (6.2) denklem (6.4)’ün üstel şeklidir.

6.3 Model Validasyonu

Kalibrasyon aşamasında elde edilen sonuçların doğru ve güvenilir olduğu model validasyonu ile garanti edilir. Burada, Bölüm 3'te detaylı olarak anlatılan model varsayımları ayrı ayrı incelenerek bu varsayımların geçerliliklerinin kontrolü için literatürde yaygın olarak uygulanan çeşitli testler kullanılacaktır. Böylelikle oluşturulan iki regresyon modelinin güvenilirliği sağlanacaktır.

6.3.1 Çoklu doğrusal bağlantının olmaması

Çoklu doğrusal bağlantının olmadığı kontrolü için her iki modelde yer alan bağımsız değişkenlere ait varyans artış faktörleri (*VIF*) hesaplanmıştır. Çizelge 6.11'de her iki modeldeki değişkenlerin *VIF* değerlerinin 10'dan küçük olduğu görülmektedir. $VIF < 10$ olduğu için çoklu doğrusal bağlantının olmadığı söylenebilir.

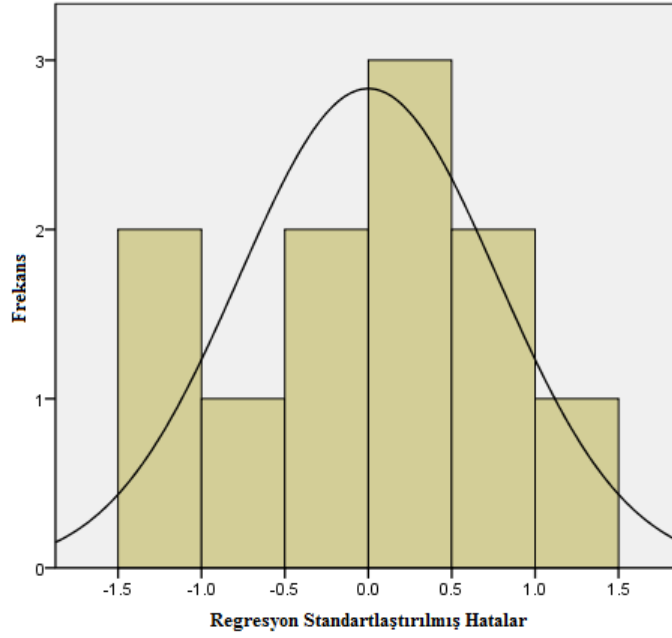
Çizelge 6.11: *TAI* ve *Q_b* modellerindeki değişkenlerin *VIF* değerleri

		<i>VIF</i>
Model <i>TAI</i>	log <i>OAYE</i>	1,358
	log <i>TK</i>	6,725
	log <i>Q</i>	5,616
	log <i>DY</i>	1,880
Model <i>Q_b</i>	log <i>OAYE</i>	1,027
	log <i>TK</i>	1,359
	log <i>DY</i>	1,385

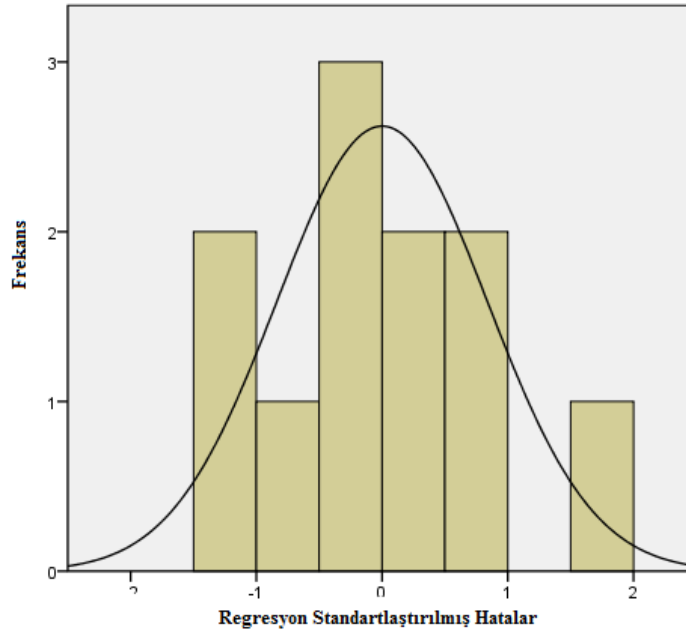
6.3.2 Hata terimlerinin normal dağılımı

Bu varsayımın kontrolü için hataların histogram ve P-P (eklenik olasılık) grafik yöntemleri ile Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testlerinden faydalanılmıştır. Her iki model için standartlaştırılmış hataların histogramları Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te görülmektedir. Histogramların üzerine normal olasılık eğrileri çizilerek normallik varsayımının kontrolü kolaylaştırılmıştır. *TAI* modelindeki hataların histogramı üzerine çizilen normallik eğrisinin beklenen değeri (ortalama) 0, standart sapması ise 0,775 bulunmuştur. Buna ek olarak, Fisher çarpıklık ve basıklık katsayılarının kendi standart hatalarına bölünmesiyle elde edilen çarpıklık ve basıklık değerleri sırasıyla -0,464 ve -0,596 olarak bulunmuştur. Normal dağılımdaki değerlerin %95'i ortalama -1,96 ve +1,96 standart sapma aralığında yer alır (Kalaycı, 2010). Bulunan çarpıklık ve basıklık değerleri bu aralıkta yer aldığından *TAI* modeli için

hata terimlerinin normal dağıldığı söylenebilir. Q_b modeli için normal dağılım eğrisinin ortalaması 0, standart sapması 0,837 olarak bulunurken, Fisher çarpıklık ve basıklık değerleri sırası ile 0,557 ve 0,252 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, Q_b modelindeki hata terimlerinin normal dağıldığına işaret eder.

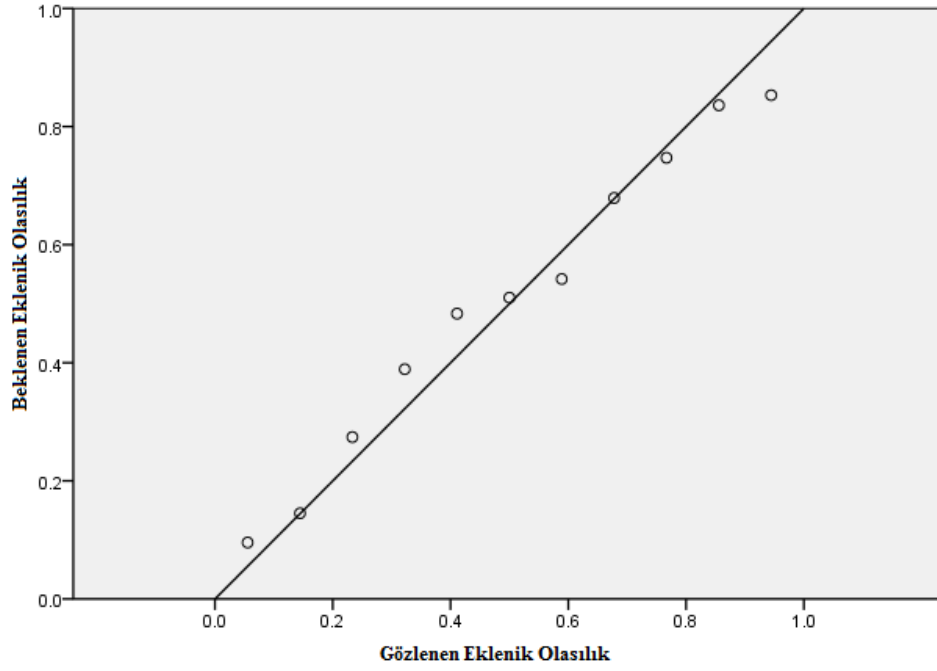


Şekil 6.4: TAI modelinin standartlaştırılmış hatalar histogramı

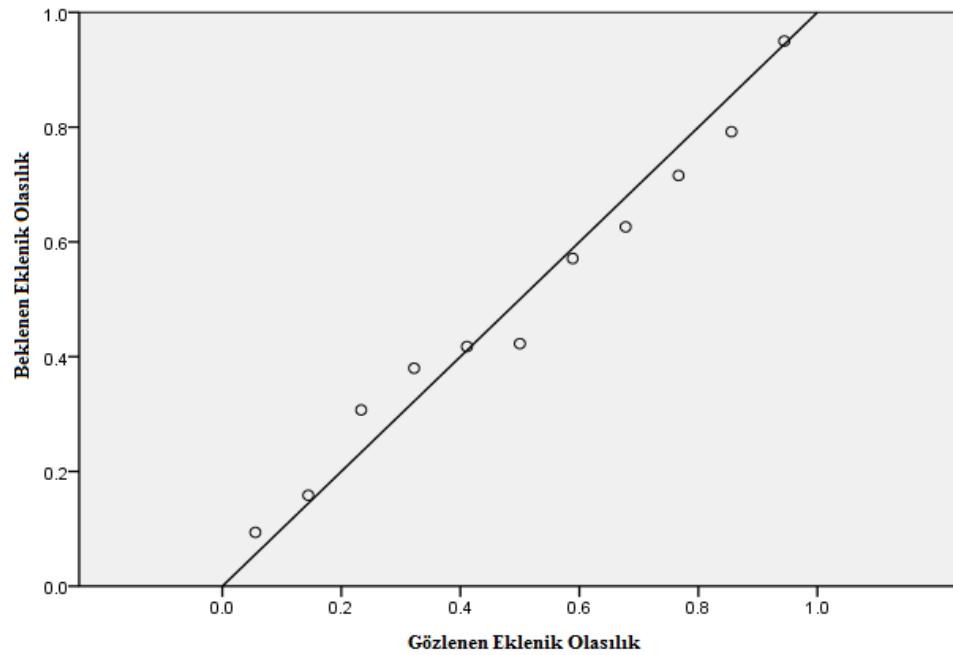


Şekil 6.5: Q_b modelinin standartlaştırılmış hatalar histogramı

Hataların normal dağıldığı varsayımı bir diğer grafik yöntem olan P-P (eklenik olasılık) grafiği ile de kontrol edilmiştir. Burada normallik kabulü için hata terimlerinin köşegende yer alan doğru çevresinde dağılması gerekir. Şekil 6.6 ve Şekil 6.7 incelendiğinde her iki model için de hataların bu doğru çevresinde toplandığı görülür.



Şekil 6.6: TAI modeli P-P grafiği



Şekil 6.7: Q_b modeli P-P grafiği

Hataların normal dağıldığı varsayımının analitik olarak kontrolü için Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testleri kullanılmıştır. Bu testlerde H_0 hipotezi hataların normal dağılıma sahip olduğunu ifade eder. Bu bağlamda, test anlamlılıklarının 0,05'ten büyük olması %5 anlamlılık düzeyinde H_0 hipotezinin kabulü anlamına gelir. Çizelge 6.12 incelendiğinde her iki model için Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk test istatistiklerinin 0,05'ten büyük olduğu görülür. Böylelikle H_0 hipotezi kabul edilir.

Çizelge 6.12: TAI ve Q_b modelleri için analitik normal dağılım testleri

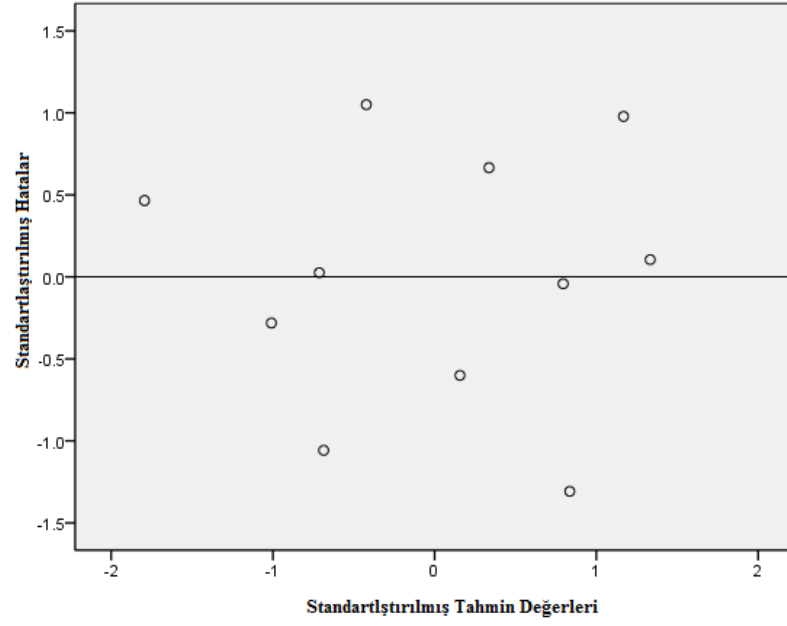
	<u>Kolmogorov-Smirnov</u>			<u>Shapiro-Wilk</u>		
	İstatistik	Serbestlik Derecesi	Anlamlılık p	İstatistik	Serbestlik Derecesi	Anlamlılık p
Model TAI	0,115	11	0,200	0,959	11	0,757
Model Q_b	0,138	11	0,200	0,981	11	0,974

6.3.3 Hata terimleri arasında ilişki (Otokorelasyon) olmaması

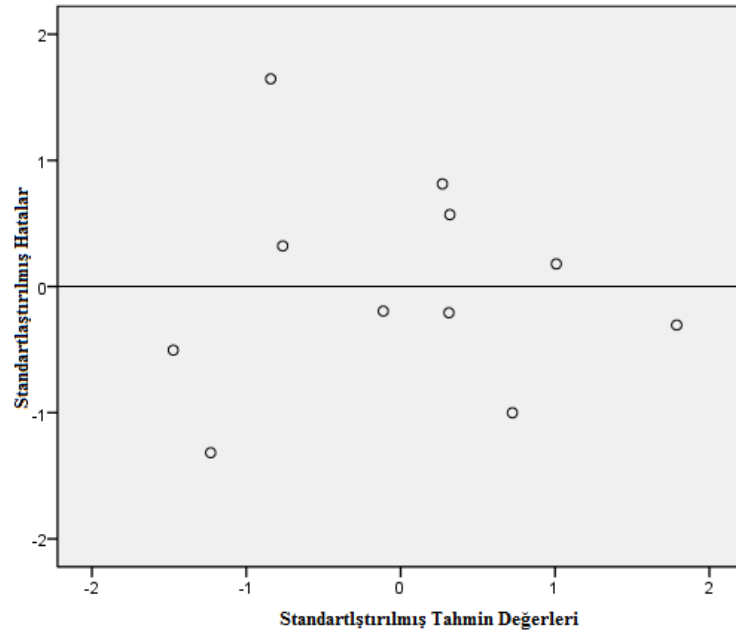
Otokorelasyon olmadığı varsayımının kontrolü için Durbin-Watson d istatistiği kullanılmıştır. d istatistiğinin 1,5 ile 2,5 değerleri arasında bulunması durumunda otokorelasyon olmadığı kabul edilir (Kalaycı, 2010). TAI ve Q_b modelleri için d istatistiği sırasıyla 1,823 ve 2,014 olarak hesaplanmıştır. Bu nedenle her iki model için otokorelasyonun olmadığı varsayımı kabul edilebilir.

6.3.4 Eş varyanslılık (Homoskedastisite)

Bu varsayımın kontrolü için standartlaştırılmış hata değerlerine karşı çizilen standartlaştırılmış tahmin değerleri grafiğinden faydalanılmıştır. Hata terimi değerleri sıfır eksenini altında rastgele dağılıyorsa bu durumda eşit varyanslılık söz konusudur. Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da hata terimlerinin her iki model için de sıfır ekseninin etrafında rastgele dağılmış olduğu görülmektedir. Bu nedenle eş varyanslılık varsayımı kabul edilebilir.



Şekil 6.8: TAI modeli eş varyanslılık kontrolü



Şekil 6.9: Q_b modeli eş varyanslılık kontrolü

6.4 Model Sonuçları

Sakarya ve Batı Karadeniz havzalarındaki 11 AGİ kullanılarak geliştirilen TAI ve Q_b denklemleri modele dahil edilmeyen 1203 Beşdeğirmen, 1222 Rüstümköy ve 1331 Bartın istasyonları verilerine de uygulanmıştır. Bu üç istasyon için elde edilen

rölatif hata değerleri modelde kullanılan istasyonlardaki rölatif hata sınırları içerisinde kalmıştır. Rölatif hata,

$$\text{Rölatif Hata (\%)} = \frac{\text{Tahmin edilen} - \text{Gözlenen}}{\text{Gözlenen}} \times 100 \quad (5.5)$$

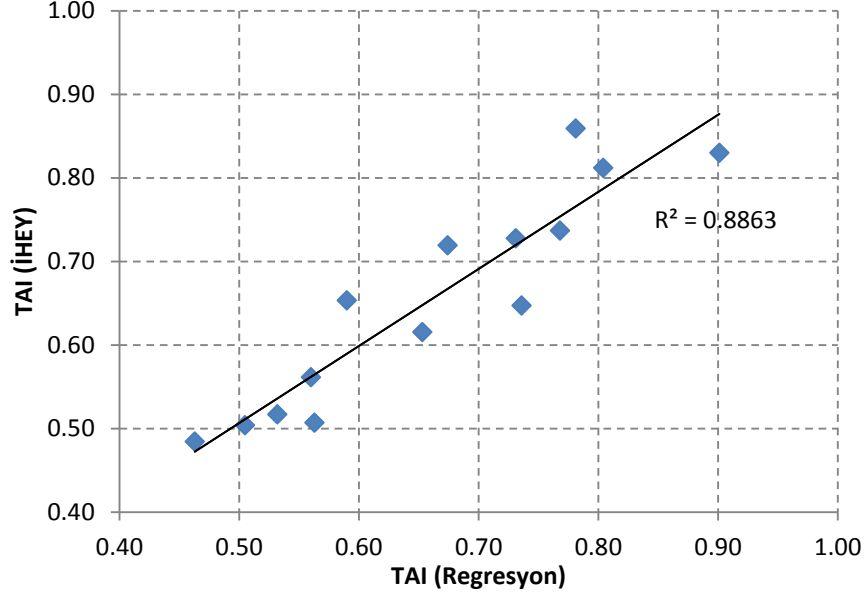
şeklinde hesaplanır.

Çizelge 6.13'te TAI ve Q_b regresyon modelleriyle tahmin edilen sonuçlar, İHEY yöntemiyle hesaplanan değerler ve rölatif hata değerleri görülmektedir. TAI modelinde hem kalibrasyon hem de validasyon aşamasında kullanılan istasyonlar için en büyük rölatif hata değeri %13,67 bulunurken, bu değer Q_b modeli için %42,25 hesaplanmıştır. Rölatif hata terimlerinin mutlak ortalaması ise TAI modelinde %5,05 hesaplanmış, Q_b modelinde %17,54 bulunmuştur. Buna göre TAI modelinin daha doğru sonuçlar verdiği düşünülmektedir. Q_b modelindeki rölatif hata değerinin büyük çıkmasının nedeni çalışmada kullanılan istasyon sayısının az olmasına bağlanabilir. Buna rağmen hem Q_b hem de TAI modelinde validasyon için kullanılan istasyonların rölatif hata değerlerinin kalibrasyonda kullanılan istasyonların rölatif hata aralığında kalması modellerin kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

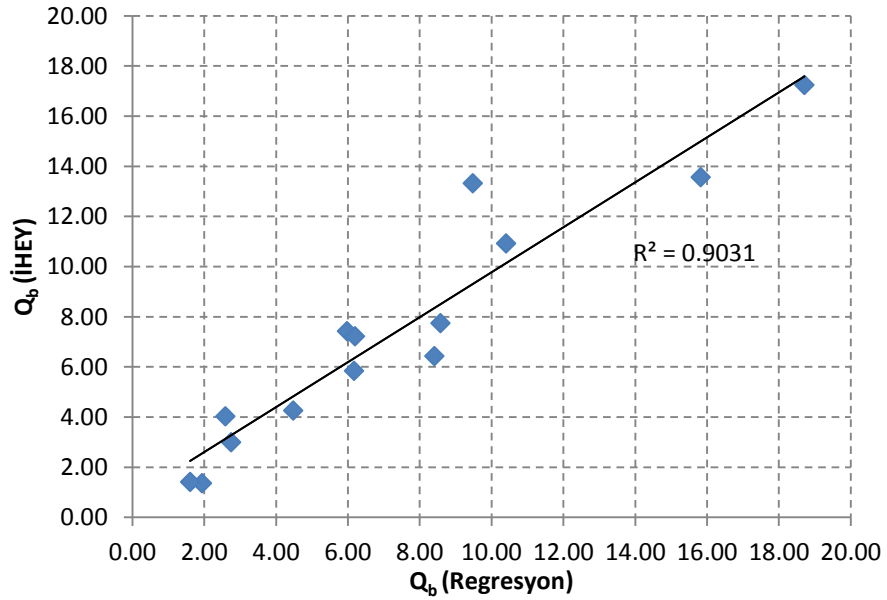
Çizelge 6.13: İHEY ve regresyon modeliyle elde edilen TAI ile Q_b sonuçları ve sonuçların rölatif hataları

Model Aşaması	AGİ NO	TAI (İHEY)	TAI (Regresyon)	RH (%)	Q_b (İHEY)	Q_b (Regresyon)	RH (%)
KALİBRASYON	1223	0.616	0.653	6.06	1.36	1.93	42.25
	1224	0.859	0.781	-9.11	7.43	5.97	-19.56
	1233	0.517	0.532	2.86	7.22	6.20	-14.15
	1237	0.812	0.804	-0.99	6.43	8.40	30.71
	1239	0.562	0.560	-0.28	1.41	1.61	14.44
	1244	0.507	0.563	10.96	2.99	2.74	-8.25
	1314	0.648	0.736	13.67	17.24	18.71	8.52
	1319	0.720	0.674	-6.34	4.25	4.48	5.35
	1327	0.485	0.463	-4.46	4.02	2.59	-35.62
	1333	0.654	0.590	-9.74	10.92	10.40	-4.69
	1334	0.728	0.731	0.43	5.83	6.17	5.72
VALİDASYON	1203	0.830	0.901	8.55	7.74	8.58	10.84
	1222	0.737	0.768	4.21	13.57	15.82	16.59
	1331	0.504	0.505	0.20	13.32	9.48	-28.84

Çizelge 6.13'te gösterilen sonuçlar Şekil 6.10 ve 6.11'de grafik olarak görülmektedir. Şekillerdeki değerler 45°lik çizgi etrafında toplandığı için elde edilen sonuçların kabul edilebilir olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.10: İHEY ve regresyon yöntemleriyle hesaplanan TAI değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 6.11: İHEY ve regresyon yöntemleriyle hesaplanan Q_b değerlerinin karşılaştırılması

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada Sakarya ve Batı Karadeniz havzalarından seçilen 14 AGİ’de taban akışını toplam akıştan ayırmak için literatürde kabul görmüş bir yöntem olan İHEY kullanılmış ve buna eşdeğer bir regresyon modeli sunulmuştur. İHEY ile taban akışı (Q_b) hesaplandıktan sonra taban akışının toplam akışa bölünmesiyle taban akışı indeksi (TAI) elde edilmiştir.

İHEY ile hesaplanan Q_b ve TAI değerleri, çoklu regresyon modeli kullanılarak, Sakarya ve Batı Karadeniz havzalarının çeşitli topoğrafik, hidrolojik ve meteorolojik özellikleriyle ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Model oluşturulurken 11 istasyon model kalibrasyonu aşamasında, 3 istasyon ise model validasyonu aşamasında kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan yöntemlerin uygulanması ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- 1) İHEY ile elde edilen değerlere göre Sakarya ve Batı Karadeniz havzalarındaki akışın yaklaşık olarak %65’i taban akışından kaynaklanmaktadır. Bu rakam taban akışının havzalardaki en önemli akış kaynağı olduğunu göstermektedir.
- 2) Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımıyla çok sayıda havza özellikleri hesaplanabilmektedir. Bu özelliklerin erişebilir olması çalışmanın pratikliğini sağlamaktadır.
- 3) Havza özellikleri kullanılarak geliştirilen TAI regresyon modelinde ortalama akarsu yatak eğimi, drenaj yoğunluğu, toplam kabartma (rölyef) ve ortalama akarsu debisi bağımsız değişkenler olarak yer almıştır. Böylelikle TAI havzaların topoğrafik ve hidrolojik özellikleri ile açıklanmıştır.
- 4) Q_b modelinde ortalama akarsu yatak eğimi, drenaj yoğunluğu ve toplam kabartma bağımsız değişkenleri yer almıştır. Böylelikle Q_b ’nin havzaların sadece topoğrafik özellikleri ile açıklanabileceği düşünülmüştür.
- 5) Regresyon modelinde yapılan varsayımların sağlanması ve validasyon aşamasında kullanılan 3 istasyonun rölatif hata değerlerinin kalibrasyon

aşamasındaki rölâtif hata değerlerini aşmamış olması geliştirilen modellerin kullanılabilir olduğunu göstermiştir.

KAYNAKLAR

- Ahiablame, L., Chaubey I., Engel B., Cherkauer K. ve Merwade V. (2013). Estimation of annual baseflow at ungauged sites in Indiana USA, *J. Hydrol.* 476, 13-27.
- Akkaya, Ş. ve Pazarlıoğlu, M.V. (1998). Ekonometri 2, Erkan Matbaası, İzmir.
- Aksoy, H., Bayazıt, M. ve Wittenberg, H. (2001). Probabilistic approach to modelling of recession curves, *Hydrological Sciences Journal*, 46:2, 269-285.
- Aksoy, H., Eris, E. ve Wittenberg, H. (2014). Hydrograph Analysis and Baseflow Separation, *Handbook of Engineering Hydrology*, Chapter 15, Vol. 1: Fundamentals and Applications.
- Aksoy, H., Kurt, I. ve Eris, E. (2009). Filtered smoothed minima baseflow separation method, *J. Hydrol.* 372 (1-4), 94-101.
- Aksoy, H., Unal, N.E. ve Pektaş, A.O. (2008). Smoother minima baseflow separation tool for perennial and intermittent streams, *Hydrol. Process.* 22 (22), 4467-4476.
- Aksoy, H. ve Wittenberg, H. (2011). Nonlinear baseflow recession analysis in watersheds with intermittent streamflow, *Hydrol. Sci. J.* 56 (2), 226-237.
- Arnold, J. G., Allen, P. M., Muttiah, R. ve Bernhardt, G. (1995). Automated base flow separation and recession analysis techniques. *Ground Water.* 33(6), 1010–1018 .
- Arslan, O. (2008). Su kalitesi verilerinin CBS ile çok değişkenli istatistik analizi (Porsuk çayı örneği), Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, Sayı: 99.
- Barnes, B. S. (1939). The structure of discharge-recession curves, *Eos Trans. AGU*, 20, 721-725.
- Bayazıt, M. (1991). Hidroloji, Genişletilmiş beşinci baskı, İTÜ İnşaat Fakültesi matbaası, İstanbul.
- Bayazıt, M. (1995). Hidroloji, altıncı baskı, İTÜ İnşaat Fakültesi matbaası, İstanbul.
- Bayazıt, M., Avcı, İ. ve Şen, Z. (1997). Hidroloji uygulamaları, dördüncü baskı, İTÜ İnşaat Fakültesi matbaası, İstanbul.
- Bayazıt, M. ve Yeğen Oğuz, E.B. (2011). Mühendisler için istatistik, Birsen yayınevi, İstanbul.
- Bloomfield, J.P., Allen, D.J. ve Griffiths, K.J. (2009). Examining geological controls on base flow index (BFI) using regression analysis: An illustration from the Thames Basin, UK, *J. Hydrol.* 373, 164-176.

- Boussinesque, J.** (1877). Essai sur la theories des eaux courantes, Memoires presentes par divers savants a l'Academic des Sciencede l'Institut National de France. Tome XXIII, No. 1.
- Brodie, R.S. ve Hostetler, S.** (2005). A review of techniques for analysing baseflow from stream hydrographs in Proceedings of the NZHS-IAH-NZSSS 2005 conference, Auckland, New Zealand.
- Chapman, T.G.** (1991). Comment on “evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses” by R.J. Nathan and T.A. McMahon, *Water Resources Research*, 27(7), 1783-1784.
- Chapman, T.G. ve Maxwell, A.I.** (1996). Baseflow separation – comparison of numerical methods with tracer experiments, Institute Engineers Australia National Conference, Publ. 96/05, 539-545.
- Chow, V.T., Maidment, D.R. ve Mays, L.W.** (1988). Applied Hydrology, McGraw Hill Book Company, New York.
- Das, G.** (2009). Hydrology and soil conservation engineering, 2nd edition, PHI, pp 126-128.
- Dattolo, P.** (2013). SYN3: Analysis of multiple dependent variables, Oxford University Press.
- Doğan, E., Sönmez, O., Yapan, E., Othan, K., Özdemir, S. ve Çitgez, T.** (2013). Aşağı Sakarya nehrinde taşkın yayılım haritalarının elde edilmesi, *SAU J. Sci.* Vol 17, No 3, pp. 363-369.
- DSİ.** (2012). Türkiye'nin su kaynakları, Ankara.
- Eckhardt, K.** (2005). How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrological Processes* 19, 507-515.
- EİEİ.** (2005). Akım gözlem yıllığı, Ankara.
- EİEİ.** (2008). Akım gözlem yıllığı, Ankara.
- Gebert, W.A., Radloff, M.J., Considine, E.J. ve Kennedy, J.L.** (2007). Use of streamflow data to estimate basefow/ground-water recharge for Wisconsin, *J. Am. Water Resour. Assoc.* 43 (1), 220-236.
- Gujarati, D. ve Porter, D.** (2008). Basic econometrics, fifth edition, McGraw-Hill, New York.
- Haberlandt, U., Klöcking, B., Krysanova, V. ve Becker, A.** (2001). Regionalization of the baseflow index from dynamically simulated flow components: a case study in the Elbe River Basin, *J. Hydrol.* 248, 35-53.
- Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L. ve Black, W. C.** (1995) Multivariate Data Analysis, 3rd edition, Macmillan Publishing Company, New York.
- Hisdal, H., Clausen, B., Gustard, A., Peters, E., Tallaksen, L. M.,** (2003). Event definitions and indices, Chapter 5 in *Hydrological Drought*, 2nd Draft Elsevier.
- Horton, R.E.** (1933). The role of infiltration in the hydrologic cycle, *Transactions, American Geophysical Union* 14: 446–460.

- Huber, W.C., Bedient, P.B. ve Vieux, B.E.** (2008). Hydrology and floodplain analysis, 4th edition, Prentice Hall, Inc., New Jersey.
- Institute of Hydrology.** (1980). Low flow studies report, Institute of Hydrology, Wallingford, UK.
- Kalaycı, Ş.** (2010). SPSS uygulamalı çok değişkenli istatistik teknikleri, beşinci baskı, Asil yayınları, Ankara.
- Lacey, G. C. ve Grayson, R.B.** (1998). Relating baseflow to catchment properties in Southeastern Australia, *J. Hydrol.* 204, 231-250.
- Langbein, W. B.** (1940). Channel storage and unit hydrograph studies, *Amer. Geophys. Union. Trans.* 21: 620-627.
- Li, L., Maier, H.R., Lambert, M.F., Simmons, C.T. ve Partington, D.** (2013). Framework for assessing and improving the performance of recursive digital filters for baseflow estimation with application to the Lyne and Hollick filter, *Environmental Modelling and Software* 41, 163-175.
- Linsley, R.K., Kohler, M.A. ve Paulhus, J.L.H.** (1958). Hydrograph analysis. In: Hydrology for Engineers. McGraw-Hill, New York.
- Longobardi, A. ve Villani, P.** (2008). Baseflow index regionalization analysis in a mediterranean area and data scarcity context: Role of the catchment permeability index, *J. Hydrol.*, 355, 63-75.
- Lyne, V. ve Hollick, M.** (1979). Stochastic time-variable rainfall-runoff modelling, *hydro. and water resources symposium institution of engineers*, Perth, Australia, pp. 89-92.
- Maillet, E.** (1905). Essai d'hydraulique souterraine et fluviale. Libraire Sci., A. Herman, Paris.
- Mazvimavi, D., Meijerink, A.M.J. ve Stein, A.** (2004). Prediction of base flows from basin characteristics: a case study from Zimbabwe, *Hydrological Science Journal*, 49:4, 715.
- Mazvimavi, D., Meijerink, A.M.J., Stein, A. ve Savenije, H.H.G.** (2005). Prediction of flow characteristics using multiple regression and neural networks: a case study in Zimbabwe, *Phys. Chem. Earth* 30, 639-647.
- McMahon, T. A. ve Mein, R. G.** (1986). River and Reservoir Yield, *Water Resources Pubis*, Littleton, Colorado, USA.
- Mwakalila, S., Feyen, J., ve Wyseure, G.** (2002). The influence of physical catchment properties on baseflow in semi-arid environments, *J. Arid Environ.*, 52, 245–258, 2002.
- Nathan, R. J. ve McMahon, T. A.** (1990). Evaluation of automated techniques for baseflow and recession analysis, *Water Resour. Res.*, 26, 1465–1473, 1990.
- Neff, B. P., Day, S.M., Piggott, A.R. ve Fuller, L.M.** (2005). Baseflow in the Great Lakes basin, USGS Scientific Investigation, Report 2005-5217.
- Özkazanç, Ö.** (1997). Ekonometriye Giriş, ikinci baskı, Anadolu Üniversitesi basımevi, Eskişehir.

- Piggott, A.R., Moin, S. ve Southam, C.** (2005). A revised approach to the UKIH method for the calculation of baseflow, *Hydr. Scienc. Jour.*, 50 (5), 911- 9203.
- Ponce, V. M., ve Shetty, A.V.** (1995). A conceptual model of catchment water balance, 2. Application to runoff and baseflow modeling, *J. Hydrol.* 173, 41-50.
- Santhi, C., Allen, P. M., Muttiah, R.S., Arnold, J.G. ve Tuppad, P.** (2008). Regional estimation of base flow for the conterminous United States by hydrologic landscape regions, *J. Hydrol.* 351, 139–153.
- Sloto, R. A. ve Crouse, M. Y.** (1996). HYSEP: A computer program for streamflow hydrograph separation and analysis, US Geological Survey, Water Resources Investigation Report, 96-4040.
- Smakhtin, V. U.** (2001). Low flow hydrology: A review, *J. Hydrol.* 240, 147–186.
- Sujono, J., Shikasho, S. ve Hiramatsu, K.** (2004). A comparison of techniques for hydrographic recession analysis. *Hydrological Processes* 18, 403-413
- Tallaksen, L. M.** (1995). A review of base flow recession analysis, *J. Hydrol.*, 165, 149–370.
- Toebe, C. ve Strang, D.D.** (1964). On recession curves 1: Recession equations, *J. Hydrol. NZ*, 3(2): 2- 15.
- Url-1** <<http://www.ormansu.gov.tr>>, alındığı tarih: 2014.
- Usul, N.** (2008). Mühendislik Hidrolojisi, ODTÜ yayıncılık, Ankara.
- Vogel, R.M. ve Kroll, C.N.** (1990). Generalized low-flow frequency for ungaged sites in Massachusetts, *Water. Resour. Bull.* 26(2), 241-253.
- Vogel, R.M. ve Kroll, C.N.** (1992). Regional geohydrologic-geomorphic relationships for the estimation of low-flow statistics, *Water Resour. Res.*, 28(9), 2451–2458, 1992.
- Werner, P.W. ve Sundquist, K.J.** (1951). On the groundwater recession curve for large watersheds, *IAHS Publ.*, 33: 202-212.
- Wittenberg, H.** (1999). Baseflow recession and recharge as nonlinear storage processes, *Hydrol. Process.* 13 (5), 715-726.
- Wittenberg, H.** (2003). Effects of season and man-made changes on baseflow and flow recession: case studies, *Hydrol. Process.* 17 (11), 2113-2123.
- Wittenberg, H. ve Aksoy, H.** (2010). Groundwater intrusion into leaky sewer systems, *Water Science and Technology*, 62, 92-98.
- Wittenberg, H. ve Sivapalan, M.** (1999). Watershed groundwater balance estimation using streamflow recession analysis and baseflow separation, *J. Hydrol.* 219(1-2), 20-33.
- Yolcubal, İ.** (2004). Güz Yarıyılı Hidrojeoloji Ders Notları.
- Zaifoğlu, H.** (2013). Fırat akarsu havzası için topoğrafik ve hidrometeorolojik veriye dayanan taban akışı ayırma modeli. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi.

- Zhang, Y., Ahiablame, L., Engel, B. ve Liu, J.** (2013). Regression modeling of baseflow and baseflow index for Michigan USA, *Water* 5(4), 1797-1815.
- Zhu, Y. ve Day, R.L.** (2009). Regression modeling of streamflow, baseflow and runoff using geographic information systems, *J. Environ. Manage.* 90, 946-953.

EKLER

EK A: Corine Arazi Örtüsü Sınıfları

EK B: Çalışmada kullanılan AGİ'lere ait envanter

EK A

Çizelge A.1: Corine arazi örtüsü sınıfları

1	Yapay Bölgeler	2	Tarımsal Alanlar	3	Orman ve Yarı Doğal Alanlar	4	Islak Alanlar	5	Su Yapıları
1.1	Şehir Yapısı	2.1	Ekilebilir Alanlar	3.1	Orman	4.1	Karasal Bataklık	5.1	Karasal Sular
111	Sürekli Şehir Yapısı	211	Sulanmayan Ekilebilir Alanlar	311	Geniş Yapraklı Ormanlar	411	Bataklıklar	511	Su Yolları
112	Kesikli Şehir Yapısı	212	Sürekli Sulanan Alanlar	312	İğne Yapraklı Ormanlar	412	Turbalıklar	512	Su Kütleleri
1.2	End.Tic.ve Ulaşım Birimleri	213	Pirinç Tarlaları	313	Karışık Ormanlar	4.2	Denize Yakın Islak Alanlar	5.2	Deniz Suları
121	Endüstriyel veya Ticari Alanlar	2.2	Sürekli Ürünler	3.2	Maki veya Otsu Bitkiler	421	Tuz Bataklığı	521	Kıyı Lagünleri
122	Karayolları, Demiryolları ve ilgili alanlar	221	Üzüm Bağları	321	Doğal Çayırliklar	422	Tuzlalar	522	Nehir Ağızları
123	Limanlar	222	Meyve Bahçeleri	322	Fundalıklar	423	Gel-git ile Oluşan Düzlukler	523	Nehir ve Okyanus
124	Havaalanları	223	Zeytinlikler	323	Sklerofil Bitki Örtüsü				
1.3	Maden-Boşaltım İnşaat Sahaları	2.3	Meralar	324	Bitki Değişim Alanları				
131	Maden Çıkarım Sahaları	231	Meralar	3.3	Bitki Örtüsü az ya da Olmayan Alanlar				
132	Boşaltım Sahaları	2.4	Karışık Tarım Alanları	331	Sahil,Kumsal, Kumluk				
133	İnşaat Sahaları	242	Karışık Tarım Alanları	332	Çıplak Kayalıklar				
1.4	Yapay Tarımsal Olmayan Yeşil Alanlar	243	Doğal Bitki Örtüsü ile Bulunan Tarım Alanları	333	Seyrek Bitki Alanları				
141	Yeşil Şehir Alanları			334	Yanmış Alanlar				
142	Spor ve Eğlence Alanları								

EK B**Çizelge B.1:** Çalışmada kullanılan AGİ'lere ait envanter

AGİ NO	İSTASYON ADI	AKIM GÖZLEM YILLARI
1203	Porsuk Çayı-Beşdeğirmen	1937-1938, 1941-1971
1222	Kocasu-Rüstümköy	1953-2000
1223	Seydisuyu-Hamidiye	1953-1960, 1962-1982
1224	Sakarya Nehri-Aktaş	1963-1982
1233	Aladağ Çayı- Karaköy	1959-1961, 1963-2000
1237	Mudurnu Çayı-Dokurcun	1957-2000
1239	Ova Çayı-Eybek	1956-1960, 1962, 1966-2000
1244	Kirmir Çayı-Mandıra	1963-1965, 1967, 1969-1991
1314	Soğanlı Çayı-Karabük	1963-1984, 1986-2000
1319	Mengen Çayı-Gökçesu	1965-2000
1327	Ulus-Afatlar Köprüsü	1968-2000
1331	Kocairmak-Bartın	1970-2000
1333	Araç Çayı-Karabük	1965-1998
1334	Bolu Çayı-Beşdeğirmenler	1967-2000

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Gökhan Kayan

Doğum Yeri ve Tarihi: Köşklüçiftlik, 20/11/1990

Adres: Beşiktaş, İstanbul

E-Posta: gokhan8@hotmail.com

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği