

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FIRAT AKARSU HAVZASI İÇİN TOPOĞRAFİK VE
HİDROMETEOROLOJİK VERİYE DAYANAN TABAN AKIŞI AYIRMA
MODELİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan ZAFİOĞLU

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FIRAT AKARSU HAVZASI İÇİN TOPOĞRAFİK VE
HİDROMETEOROLOJİK VERİYE DAYANAN TABAN AKIŞI AYIRMA
MODELİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hasan ZAFİOĞLU
(501111503)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hafzullah AKSOY

HAZİRAN 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501111503 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Hasan ZAIFOĞLU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**FIRAT AKARSU HAVZASI İÇİN TOPOĞRAFİK VE HİDROMETEOROLOJİK VERİYE DAYANAN 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 : **Yrd. Doç. Dr. Necati Erdem ÜNAL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Zeynel Fuat TOPRAK
Dicle Üniversitesi

Teslim Tarihi : **03 Mayıs 2013**
Savunma Tarihi : **03 Haziran 2013**

Çok sevdiğim dedem Asaf Akçın'a,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam süresince bana yol gösteren, çalışmanın her aşamasında beni motive eden, bana yaptığım işi ve bölümü sevdiren, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Hafzullah Aksoy'a, iki yıllık yüksek lisans eğitimim boyunca üstümde emeği olan tüm İTÜ İnşaat Fakültesi Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği hocalarıma, beni hayatım boyunca destekleyen ve bana her zaman inanan, bugünlere gelmemde gösterdikleri fedakarlık ve emek için değerli anne ve babama, çalışmam boyunca büyük bir sabır ve fedakarlıkla yanımda olan ve sürekli moral veren Begüm'e, bu çalışmaya başladığım günden bu yana her zaman yanımda olup, yardım eden Sermet'e ve Bayram'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2013

Hasan Zaifoğlu
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	3
2. TABAN AKIŞI AYIRMA YÖNTEMLERİ.....	5
2.1 Akarsu Havza Özellikleri	5
2.2 Hidrograf Elemanları.....	6
2.3 Hidrograf Çekilme Eğrisi	8
2.4 Ortak Çekilme Eğrisi.....	10
2.5 Taban Akışı	11
2.6 Taban Akışı Tahmin Yöntemleri.....	12
2.6.1 Grafik yöntemler	13
2.6.1.1 Sabit debi yöntemi	13
2.6.1.2 Sabit eğim yöntemi	14
2.6.1.3 Konkav yöntemi	14
2.6.1.4 Değişken eğim yöntemi	14
2.6.2 Sürekli taban akışı ayırma yöntemler	14
2.6.3 Regresyon analizi.....	15
2.7 Taban Akışı İndeksi	18
3. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER.....	19
3.1 İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi (İHEY).....	19
3.2 Çoklu Regresyon Analizi	22
3.2.1 Varsayımların kontrolü	26
3.2.1.1 Çoklu doğrusal bağlantının olmaması.....	27
3.2.1.2 Hatalar arasında otokorelasyonun bulunmaması	28
3.2.1.3 Eşit varyans	30
3.2.1.4 Normal dağılım	32
4. UYGULAMA ALANI VE KULLANILAN VERİ	33
4.1 Uygulama Alanı	33
4.2 Kullanılan Veri	35
4.3 Değişkenler.....	39

4.4 Değişkenlerin İstatistiksel Analizi.....	42
5. UYGULAMA.....	47
5.1 PASW İstatistik 18 Yazılımı	47
5.2 Model Kalibrasyonu (Parametrelerin Ayarlanması)	49
5.2.1 Taban akışı indeksi regresyon modeli	50
5.2.2 Taban akışı regresyon modeli	53
5.3 Model Validasyonu	55
5.3.1 Çoklu doğrusal bağlantının olmaması.....	55
5.3.2 Hatalar arasında otokorelasyon bulunmaması.....	56
5.3.3 Eşit varyans	56
5.3.4 Normal dağılım	57
5.4 Uygulama Sonuçları	60
6. SONUÇLAR	63
KAYNAKLAR.....	65
EKLER.....	69
ÖZGEÇMİŞ.....	71

KISALTMALAR

AGİ	: Akım Gözlem İstasyonu
DFY	: Dijital Filtre Yöntemi
DİE	: Devlet İstatistik Enstitüsü
EİEİ	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
FİHEY	: Filtre edilmiş İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi
İHEY	: İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi
PASW	: Predictive Analytics SoftWare
RİHEY	: Revize edilmiş İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	: Literatürdeki taban akışı ve havza özellikleri arasındaki ilişkiyi tanımlayan regresyon modeller	17
Çizelge 3.1	: İHEY'in 2156 numaralı AGİ'ye uygulanması	21
Çizelge 4.1	: Çalışmada kullanılan AGİ'lere ait genel bilgiler	37
Çizelge 4.2	: Çalışmada kullanılan AGİ'lere ait aylık ortalama yağış değerleri	37
Çizelge 4.3	: Çalışmada kullanılan AGİ'lere ait aylık ortalama sıcaklık değerleri	38
Çizelge 4.4	: Fırat havzasına ait topoğrafik ve hidrometeorolojik değişkenler	39
Çizelge 4.5	: Fırat havzasındaki 15 AGİ için istatistikler.....	42
Çizelge 4.6	: Regresyon modellemesinde kullanılan değişkenlere ait korelasyon matrisi	45
Çizelge 5.1	: Taban akışı indeksi tanımlayıcı istatistikleri	51
Çizelge 5.2	: Taban akışı indeksi denklemi korelasyon sonuçları	51
Çizelge 5.3	: Taban akışı indeksi model özeti	52
Çizelge 5.4	: Taban akışı indeksi varyans analizi tablosu	52
Çizelge 5.5	: Taban akışı indeksi model katsayıları	53
Çizelge 5.6	: Taban akışı tanımlayıcı istatistikleri.....	53
Çizelge 5.7	: Taban akışı denklemi korelasyon sonuçları	54
Çizelge 5.8	: Taban akışı model özeti.....	54
Çizelge 5.9	: Taban akışı modeli varyans analizi tablosu.....	54
Çizelge 5.10	: Taban akışı model katsayıları	55
Çizelge 5.11	: Modellerdeki bağımsız değişkenlere ait <i>VIF</i> değerleri	56
Çizelge 5.12	: Modellerin normal dağılım testleri	60
Çizelge 5.13	: İHEY ve regresyon denklemlerinden hesaplanan taban akışı indeksleri ve taban akışı değerleri ve rölatif hatalar	61
Çizelge A.1	: Çalışmada kullanılan AGİ'lere ait envanter	70

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: Havza üzerindeki akışın kısımlara ayrılması (Bayazıt, 1991).....	6
Şekil 2.2	: Bir yağışın hidrograf elemanları (Bayazıt, 2003).....	7
Şekil 2.3	: Çekilme eğrisinin üç bileşene ayrılması (Bayazıt, 1997).....	9
Şekil 2.4	: Ortak çekilme eğrisi (Bayazıt, 2003)	11
Şekil 2.5	: Taban akışının grafik yöntemlerle ayrılması.....	13
Şekil 2.6	: Toplam akış hidrografından taban akışının ayrılması	18
Şekil 3.1	: İHEY akış diyagramı.....	20
Şekil 3.2	: İHEY ile taban akışının ayrılması	22
Şekil 3.3	: Model kontrol şeması	26
Şekil 3.4	: Hata terimleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler.....	29
Şekil 3.5	: Farklı varyanslık gösterimi.....	30
Şekil 3.6	: Eşit varyanslık varsayımı için örnek grafikler	31
Şekil 4.1	: Fırat havzasının ve 3 alt havzanın konumu	33
Şekil 4.2	: (a)Yukarı Fırat havzası. (b)Orta Fırat havzası. (c)Aşağı Fırat havzası .	36
Şekil 4.3	: Geodata programının arayüzü	38
Şekil 4.4	: Bağımsız değişkenlerin saçılma grafikleri	46
Şekil 5.1	: PASW istatistik programının arayüzü.....	48
Şekil 5.2	: PASW istatistik programı doğrusal regresyon penceresi	49
Şekil 5.3	: PASW istatistik programı sonuç penceresi	49
Şekil 5.4	: Taban akışı indeksi için eşit varyans varsayımı grafiği	57
Şekil 5.5	: Taban akışı için eşit varyans varsayımı grafiği.....	57
Şekil 5.6	: Taban akışı indeksi modeli standartlaşmış hatalar histogramı.....	58
Şekil 5.7	: Taban akışı modeli standartlaşmış hatalar histogramı	59
Şekil 5.8	: Taban akışı indeksi P-P grafiği	59
Şekil 5.9	: Taban akışı P-P grafiği	60
Şekil 5.10	: Regresyon ve İHEY yöntemleriyle hesaplanan TAI karşılaştırması	62
Şekil 5.11	: Regresyon ve İHEY yöntemleriyle hesaplanan Q_b karşılaştırması.....	62

SEMBOL LİSTESİ

A	: Drenaj alanı (Yağış alanı)
AATU	: Akarsu ağı toplam uzunluğu
adj R^2	: Ayarlanmış determinasyon katsayısı
b	: Regresyon katsayısı
D	: Kolmogorov-Smirnov test istatistiği
DI	: Drenaj indeksi
DS	: Drenaj sıklığı
DW	: Durbin-Watson test istatistiği
DY	: Drenaj yoğunluğu
EI	: Eğim indeksi
ES	: Engebelilik sayısı
F	: F test istatistiği
h	: Yükseklik
I	: Yıl için ısı indeksi
II	: İklim İndeksi
K	: Kot
K_r	: Çekilme katsayısı
L_{nehir}	: Akarsu toplam uzunluğu
med_x	: Dağılımın merkez parametresi
n	: Örnek eleman sayısı
N	: Gün sayısı
N_m	: Gün ışığı ile ilgili aylık düzeltme faktörü
OAYE	: Ortalama akarsu yatağı eğimi
OYY	: Ortalama yıllık yağış
p	: Anlamlılık değeri
PET	: Potansiyel evapotranspirasyon
Q	: Debi
Q_b	: Taban akışı debisi
Q_b^i	: İHEY i 'inci dönüm noktası
Q_0	: Başlangıç debisi
$Q_{gün}$	: Günlük ortalama akım debisi
Q_t	: Başlangıç debisinden t gün sonraki debi
r	: Korelasyon katsayısı
R^2	: Determinasyon katsayısı
RH	: Rölatif hata
$s(b_i)$	: Regresyon katsayısının standart hatası
s_i	: i 'inci değişkene ilişkin standart sapma
SSE	: Model kalıntılarının karelerinin toplamı
$St\beta$	: Standart beta değeri
t	: t test istatistiği
T	: Yıllık ortalama sıcaklık
T_m	: Aylık ortalama sıcaklık

<i>TAI</i>	: Taban akışı indeksi
<i>TK</i>	: Toplam kabartma
<i>VIF</i>	: Varyans artış faktörü
<i>W</i>	: Shapiro-Wilk test istatistiği
<i>X</i>	: Bağımsız değişken
$\bar{x}$	: Değişkenin ortalaması
<i>Y</i>	: Bağımlı değişken
<i>Y'</i>	: Bağımlı değişkenin gerçek değeri
y_i	: İHEY’de gruplarda bulunan minimum değer
α	: Çekilme sabiti
ε	: Hata terimi
ρ	: Otokorelasyon katsayısı

FIRAT AKARSU HAVZASI İÇİN TOPOĞRAFİK VE HİDROMETEOROLOJİK VERİYE DAYANAN TABAN AKIŞI AYIRMA MODELİ

ÖZET

Su, yüzyıllar boyunca insanoğlunun günümüzdeki medeniyetler seviyesine gelmesinde çok önemli bir rol oynamıştır. Tarihe bakıldığında bütün büyük uygarlıkların su kenarında kuruldukları görülmektedir. Günümüzde ise gelişen teknolojiyle birlikte sudan içme ve kullanma suyu, sulama, enerji üretimi gibi daha geniş alanlarda faydalanılmaktadır. Buna paralel olarak akarsulardan daha fazla ve daha etkin yararlanma ihtiyacı doğmuştur. Bu yüzden araştırmacılar akarsulardaki toplam akışı ve akışın bileşenlerini inceleme sürecine girmişlerdir. Bir akarsudaki toplam akış, dolaysız akış ve dolaylı akış (taban akışı) olarak iki kısma ayrılarak incelenebilir. Dolaysız akış, yüzeysel akış ve gecikmeye uğramamış yüzeyaltı akışı, dolaylı akış ise yeraltı akışı ve gecikmeye uğramış yüzeyaltı akışıdır.

Taban akışı özellikle kurak mevsimlerde akarsu yatağındaki akışın büyük bir kısmını, bazen de tamamını oluşturmaktadır. Hızı yavaş olduğundan akarsuya erişimi uzun bir süre alır ve akarsuyu sürekli besleyen bir kaynak niteliğindedir. Taban akışı akarsudaki akımın önemli bir kısmını oluşturduğundan kuraklık tahminlerinde, su yönetimi ve planlama çalışmalarında, su temini, hidroelektrik projeleri, akarsu taşımacılığı, atıksu seyreltilmesi, akarsulardan tarım ve enerji üretimi amaçlı su çekilmesi gibi çok sayıda farklı çalışma alanı için kullanılmaktadır. Bu nedenle taban akışını toplam akıştan ayırmak veya tahmin etmek önemlidir.

Bu çalışmada literatürde genel kabul görmüş hidrograf analizine dayanan birtakım yöntemler özetlendikten sonra çok değişkenli regresyon denklemlerini geliştirmede kullanılan regresyon analizi yöntemi anlatılmıştır. Taban akışı ayırma yöntemleri içerisinde yaygın olarak kullanılan İngiliz Hidroloji Enstitüsü'nün yumuşatılmış minimumlar yöntemi (İHEY) günlük ortalama akım verilerine uygulanarak taban akışı indeksi hesaplanmış ve regresyon denklemleriyle yapılan taban akışı tahminleriyle karşılaştırmada kullanılmıştır. Ayrıca akarsu havzasının topoğrafik ve hidrometeorolojik verileri ile model serbest değişkenleri oluşturulmuştur. Bu çalışmada çoklu regresyon analizi yapılarak önce taban akışı indeksi, ardından taban akışını havzanın topoğrafik ve hidrometeorolojik özelliklerinden tahmin etmek için kullanılabilecek iki denklem geliştirilmiştir. Bu denklemler çoklu regresyon analizini pratikleştiren PASW İstatistik 18 programı yardımıyla oluşturulmuştur.

Uygulama alanı olarak Türkiye'nin en büyük su potansiyeline sahip Fırat nehri havzası seçilmiştir. Havzadaki Elektrik İşleri Etüt İdaresi'ne (EİEİ) ait 15 akım gözlem istasyonunun günlük ortalama akım verileri kullanılmış ve yukarıda bahsedilen yöntemler kullanılarak taban akışı indeksi ve taban akışı debileri tahmin edilmiştir. Sonuç olarak elde edilen tahminler İHEY yöntemi ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Geliştirilen denklemlerin İHEY yöntemine benzer sonuçlar verdiği, bu nedenle kullanılabilir olduğu anlaşılmıştır.

BASEFLOW SEPARATION MODEL BASED ON TOPOGRAPHICAL AND HYDROMETEOROLOGICAL DATA FOR EUPHRATES RIVER BASIN

SUMMARY

The total flow within a stream can be divided into direct and indirect (baseflow) components. Direct flow is defined as the combination of surface flow and non-delayed subsurface flow; whereas, indirect flow stands for groundwater flow as well as the delayed subsurface flow. Baseflow is an important component of the total flow that changes slowly compared to other components of the streamflow, and usually feeds rivers, lakes and other wetlands as groundwater flow.

Especially in rainless seasons, almost all of the total flow in the stream channel comes as a baseflow from the groundwater. Therefore separation of baseflow from the total flow has become an important issue for the planning and effective management of water resources. It is also important for determination of water availability and water quality and improving the strategies to protect the environment and the other living biota.

Various studies have been conducted for decades to separate baseflow from the total flow hydrograph. Even though none of the developed methods hold a universal validity, each of such methods nevertheless holds unique advantages over one another. The majority of the methods used to separate baseflow are based on graphical, analytical and digital filtering techniques which all these techniques have the same sense of calculating the baseflow from streamflow hydrograph.

In this study, the well-known smoothed minima method of UKIH (United Kingdom Institute of Hydrology) is used for calculating baseflow. Average daily flow-time series is divided into non-overlapping groups of 5 days alongside with defining minimum values for such groups. Each candidate is then compared to the minima for the previous and subsequent segments and turning points are defined where the conditions are met. After critical points are defined, they are combined via linear interpolation. Each individual point alongside that time line represents baseflow value at that point. Baseflow index (*BFI*) is the ratio of the volume of baseflow to the volume of total flow. *BFI* is a nondimensional value calculated over duration of time (either days, months, seasons or years) to compare and interpret baseflow separation results. The non-dimensional *BFI* changes between 0 and 1. *BFI* approaches 1 if the groundwater contribution to the stream flow is high.

In addition to this, baseflow is a very important component of various flows within a basin. Hence, it is closely related with topographical, geological and hydrometeorological properties of the basin. Researchers, motivated by the extend of importance baseflow separation have devised various approaches to estimate it by using data of basin properties. Many studies used statistical analysis methods to assess the relationship between basin characteristics and baseflow. Previous studies suggest that multiple regression method is often a preferred method in estimating baseflow index as well as baseflow discharge.

In this study multiple regression modelling was used to formulate regression equations for estimating baseflow index and baseflow discharge. Numerous variables indicating topographical, meteorological and hydrological properties of the basin were used in the developing regression equations to estimate base flow. Correct choice of variables for the model is crucial for correct quantification of the dependent variables. This study used backward elimination method, where all independent variables are included in the model before eliminating the weakest variable by t -statistics. If the model, within this process, loses its significance of providing coherent explanations for the scenario at hand, the eliminated independent variable is re-added. This process is repeated until all the independent variables are reported as of significance for the model. The variables are eliminated systematically in this way. For an independent variable not to be eliminated from the model, it should have a significance level, p -value (of t -statistics), smaller than 0,10 – i.e. it should satisfy 10% statistical significance.

Determination coefficient (R^2), obtained by multiple regression analysis, shows validity of the model. It actually signifies the ratio of dependent variables (baseflow index and baseflow discharge) that has been significantly explained by the independent variables in question. Basically, numerous assumptions are made prior to multiple regression modelling. Residual analysis is used to control and validate such assumptions. The assumptions include normality of the error distribution, a zero-mean of the error term, a stable variance for the error term, no autocorrelation and no multicollinearity.

Euphrates basin was chosen as the study area. This basin is located in the eastern part of Turkey with a 127304 km² area – making it the biggest wetland area in the country. River Murat and River Karasu are important watercourses supplying Euphrates River with water. Peri, Cati and Munzur creeks can be mentioned as other watercourses. Euphrates River flows through Erzincan, Tunceli, Elazig, Malatya, Diyarbakir, Adiyaman, Gaziantep and Sanliurfa provinces in Turkey and later on reaches Syria, then Iraq. It joins with river Tigris at the area called Sattul-Arab to flow together into the Persian Gulf.

Euphrates basin is divided into three sub-basins called Upper Euphrates, Middle Euphrates and Lower Euphrates. The basin has 540,1 mm average annual precipitation turns into flow. This value is 17% of the total watercourse volume within Turkey. Average altitude of the basin is 1010 m. Precipitation turns into snowfall during winter times, with respect to the altitude of the basin. As snow takes some time to turn into flow, stream flow during winter season shows decline in its rate. On the contrary, spring and summer show an increase in stream flow rate – leading to overall increases in water potential of the region

Daily stream flow data are provided from the Electrical Power Resources, Survey and Development Administration from Turkey which operates gauging stations for streamflow observations. In Turkey, there are 25 hydrological basins with different topographical, morphological and meteorological conditions. In this study, 15 gauging stations from Euphrates basin are used for baseflow analysis. Furthermore, the topographical and hydrometeorological data are obtained from internet-based geographic program (*GeoData*) in the websites of the Ministry of Forest and Water Affairs and the General Directorate of State Meteorological Works, respectively.

Relative errors were also presented to compare and contrast the validity of the developed regression models. Calibration of the multiple regression models included 12 stations out of 15. The remaining 3 stations were reserved for the validation of the models. The 3 stations were identified by selecting from each sub-basin to represent Euphrates basin in general. Developed regression equations are thought to provide accurate estimations of baseflow for Euphrates basin due to low relative errors between the baseflow discharge calculated by UKIH method and the developed regression equation. The regression models are validated by comparing its results with UKIH method. Two methods give similar results.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Konusu

Bu çalışmanın konusu taban akışını havzanın topoğrafik, meteorolojik ve hidrolojik özellikleri ile ilişkilendirmek suretiyle tahmin etmektir. Bir akarsu boyunca herhangi bir kesitte gözlenen akış üç kısımdan oluşur: Yüzeysel akış, yüzeyaltı akışı ve yeraltı suyu akışı. Taban akışı dolaylı akış olarak da bilinen yüzeyaltı akışının gecikmeye uğramış kısmı ile yeraltı akışından meydana gelmektedir. Taban akışı toplam akışın önemli bir bileşenidir ve özellikle kurak dönemlerde akarsu yatağındaki akımın neredeyse tamamını oluşturmaktadır. Hızı yavaş olduğundan akarsuya erişim süresi uzundur ve sürekli şekilde akarsuyu besleyen kaynak niteliğindedir. Değişik havzalarda değişik miktarlarda bulundukları gibi aynı havzada değişik iklimsel şartlarda bile farklılık gösterir. Bu noktadan hareketle akış havzanın çeşitli özellikleriyle değişen bir fonksiyon olarak tanımlanabilir.

Araştırmacılar uzun yıllar taban akışını tahmin ederken hidrograf analizlerine dayanan çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalarda grafik, analitik ve dijital filtreleme yöntemleriyle taban akışı toplam akıştan ayrılarak hesaplanmıştır. Diğer taraftan son dönemlerde taban akışı tahmini için istatistiksel analizler yapılmakta ve çoğunlukla çoklu regresyon yöntemi kullanılarak taban akışı ile havza karakteristikleri ilişkilendirilmektedir. Bu çalışmada İngiliz Hidroloji Enstitüsü yumuşatılmış minimumlar yöntemi (İHEY) kullanılarak Fırat havzasında yer alan 15 akım gözlem istasyonuna ait taban akışı indeksi (*TAI*) ve taban akışı değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra hesaplanan bu değerler ve havzanın çeşitli özellikleri kullanılarak geliştirilen çoklu regresyon modelleri yardımıyla *TAI* ve taban akışı debileri için tahminlerde bulunulmuştur.

1.2 Çalışmanın Önemi

Su, insan hayatı ve tüm ekosistemin devamı için vazgeçilmez ve çok önemli bir unsurdur. Böyle bir hayati öneme sahip ve sanılanın aksine sınırlı olan bir varlığın akılcı ve sürdürülebilir bir şekilde yönetimi, yeni ve sağlıklı bir sistemin oluşturulması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu doğrultuda su kaynaklarının korunması, geliştirilmesi ve daha verimli bir şekilde kullanımını amaçlayan tüm canlılar için ekosistemin korunmasını temel almış su kaynakları yönetimi modelleri geliştirilmeye ve uygulanmaya başlanmıştır.

Özellikle akarsulardaki akım değerlerinin çok düşük olduğu kurak yaz aylarında veya kışın akarsuların donduğu soğuk bölgelerde akımın büyük bir kısmını oluşturan taban akışını tahmin etmek su kaynakları yönetim stratejilerinin geliştirilmesi, projelendirilmesi, yapımı ve işletilmesi aşamalarının doğru olarak belirlenmesi için çok önemlidir. Bu bağlamda literatürde taban akışının hesaplanması üzerine yapılan çalışmalar devam etmektedir.

Türkiye için teknik ve ekonomik olarak geliştirilebilir yenilenebilir yıllık su potansiyeli dikkate alındığında kişi başına düşen kullanılabilir su potansiyelinin kabaca 1500 m³ olduğu görülmektedir. Bu değer Türkiye'nin su fakiri değil ama su kısıtı bulunan ülkeler arasında olduğunu göstermektedir. Devlet İstatistik Enstitüsü'nün (DİE) öngördüğü gibi 2030 yılında nüfusun 100 milyona ulaşması durumunda kişi başına düşecek teknik ve ekonomik olarak kullanılabilir su miktarı 1000 m³'e düşecek ve Türkiye su fakiri olarak tanımlanan ülkeler arasına girmeye doğru yanaşacaktır (USİAD, 2007). Artan nüfusun ve buna paralel olarak gelişen suya olan talep araştırmacıların yeni yöntemler geliştirmesini ve teknolojiyi kullanarak talepleri asgari olarak karşılayan yol haritaları ortaya koymasını zorunlu hale getirmiştir. Özellikle Türkiye gibi yeraltı suyu ile beslenen akarsuların çok olduğu ülkelerde taban akışının toplam akıştan ayrılarak hesaplanması ve davranışının belirlenmesi yukarıda bahsedilen sebeplerden dolayı çok önemli bir konudur.

1.3 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı Türkiye'nin Doğu Anadolu bölgesindeki Fırat havzası içerisinde yer alan akım gözlem istasyonlarına ait taban akışı indeksini ve taban akışını çoklu regresyon yöntemiyle, havzanın topoğrafik ve hidrometeorolojik özellikleriyle açıklanabilen fonksiyonlar olarak ortaya koymaktır.

1.4 Çalışmanın Yöntemi

Çalışmada Fırat havzasında yer alan 15 akım gözlem istasyonuna ait günlük ortalama akım verileri kullanılarak İHE yöntemiyle taban akışı indeksi ve taban akışı değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler ve Fırat havzasının çeşitli topoğrafik ve hidrometeorolojik özellikleri çoklu regresyon yardımıyla modellenmiş ve sonuçta ortaya taban akışı indeksini tahmin etmek için regresyon denklemi çıkmıştır. Bu denklem ile belirlenen taban akışı indeksi değerleri ve havza özellikleri ilişkilendirilip taban akışı için ikinci bir regresyon denklemi geliştirilmiştir. Modellerin kalibrasyon aşamasında 12, validasyon aşamasında ise 3 akım gözlem istasyonuna ait veri kullanılmış, regresyon denklemleriyle hesaplanan *TAI* ve taban akışı değerleri İHEY ile elde edilenlerle karşılaştırılmıştır.

1.5 Çalışmanın Düzeni

Çalışmada akarsu havzası özellikleri, akarsu akışının kısımları, hidrograf elemanları, hidrografın çekilme eğrisi ve genel olarak hidrograf analizine dayanan taban akışı ayırma yöntemleri Bölüm 2'de anlatılmıştır. Ayrıca literatürde yer alan sürekli taban akışı ayırma yöntemleri ve çeşitli regresyon analizi çalışmalarına da yer verilmiş ve taban akışı indeksi tanımlanmıştır.

Bölüm 3'te yapılan çalışmada kullanılan yöntemler detaylandırılmış ve kullanılan PASW istatistik paket programı tanıtılmıştır. Bunlara ek olarak kullanılan yöntemler örneklendirilmiştir.

Bölüm 4'te uygulama alanı olarak seçilen Fırat havzası ve kullanılan akım gözlem istasyonlarına ait genel bilgiler verilmiştir. Tüm AGİ'ler için hesaplanan istatistik veriler özetlenmiş, literatürde yapılan diğer çalışmalar ile kıyaslamalar yapılarak

ilişkiler irdelenmiştir. Ayrıca regresyon modellerinin geliştirilmesi aşamasında kullanılan topoğrafik, meteorolojik ve hidrolojik değişkenler tanıtılmıştır.

Bölüm 5'te modellerin kalibrasyon ve validasyon aşamaları grafik ve şekillerle detaylandırılmış, uygulama sonuçları verilmiştir.

Son olarak Bölüm 6'da ise çalışmadan elde edilen çıkarımlar sunulmuştur.

2. TABAN AKIŞI AYIRMA YÖNTEMLERİ

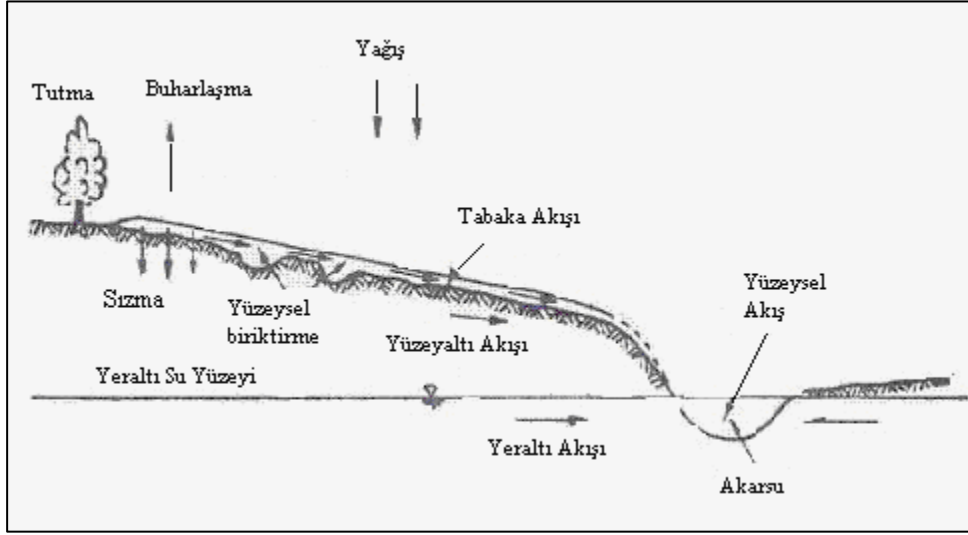
2.1 Akarsu Havza Özellikleri

Üzerine düşen yağış bir yüzeysel su yolu üzerinden bir çıkış noktasına ulaştıran yüzey akarsu havzası (su toplama havzası, drenaj havzası) olarak tanımlanır. Bu havzalar birbirlerinden farklı karakteristiklere sahiptir ve bu karakteristikler havzaya düşen yağışın çıkış noktasında akışa dönüşmesinde etkili parametrelerdir. Havza karakteristiklerinin en önemlileri şunlardır: Zemin cinsi ve jeolojik yapı, bitki örtüsü, havzanın büyüklüğü, havzanın biçimi, havzanın eğimi, havzanın ortalama kotu ve havza alanının çıkış noktasından olan uzaklığa göre dağılımı (Bayazit, 2003). Yağış akışa dönüştüren bir sistem olarak tanımlanan drenaj havzasının bir kesitinden geçen toplam akış çeşitli kısımlardan oluşur. Şekil 2.1’de toplam akarsu akımının üç kısmını oluşturan yüzeysel akış, yüzeyaltı akışı ve yeraltı akışı görülmektedir.

Yağış ilk başladığında toprağın nem ihtiyacının karşılanması için bir miktar yağış toprağın boşlukları içerisine sızar. Sızma hızı yağış hızından küçük değerlere ulaştığında yüzeyde su birikimi gözlenir. Daha sonra biriken su yüzeysel akış halinde yer çekimi etkisiyle eğimin fazla olduğu yöne doğru hareket eder. Yüzeysel akış hızı, toprağın geçirimliliğine, toprağın başlangıçtaki nem miktarına ve yağışın hızına bağlıdır (Usul, 2008).

Sızma etkisiyle toprak içerisindeki boşlukları dolduran su, toprağı tarla kapasitesine ulaştırır. Ardından ya düşey olarak hareket eder (perkolasyon) ya da akarsu yatağına ulaşana kadar zeminin üst tabakalarında yatay olarak hareket edip yüzeyaltı akımını oluşturur. Geçirimsiz bir tabaka üzerinde bulunacak ince geçirimli bir tabaka yüzeyaltı akımının artmasına sebep olurken, derin geçirimli bir tabaka yeraltı suyuna doğru hareketi artıracığından yüzeyaltı akımını azaltacaktır (Usul, 2008).

Diğer taraftan toprak içerisine sızan suyun bir kısmı toprak nemini sağladıktan sonra daha derinlere ilerleyerek yeraltı su seviyesine ulaşır orada yerçekimi etkisiyle hareket eden yeraltı akışı şeklini alır. Yeraltı suyu, akarsuların yeraltı su seviyesini kestiği veya daha düşük seviyelerde seyrettiği yerlerde akarsuları besler. Bu besleme sürekli ve yavaş olur. Bunun nedeni toprak içerisinde hareket eden suyun hızının çok yavaş olmasıdır (Usul, 2008).



Şekil 2.1: Havza üzerindeki akışın kısımlara ayrılması (Bayazıt, 1991).

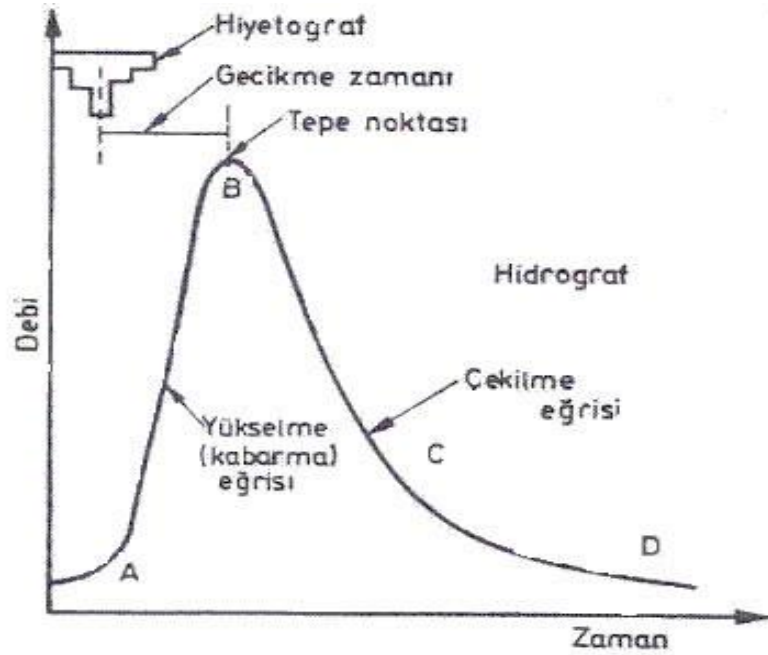
Akışın kısımları arasında tanımlanan yüzeyaltı akışının toplam akış içerisindeki oranını belirlemek zordur. Bu nedenle bir akarsudaki toplam akışı akarsuya varış süresine göre dolaysız akış ve taban akışı olarak ikiye ayırarak tanımlamak daha kolaydır. Dolaysız akış yüzeysel akışla yüzeyaltı akışının gecikmesiz kısmını, dolaylı akış ise yeraltı akışı ile yüzeyaltı akışının gecikmeli kısmını oluşturur. Dolaysız akış yağış şiddeti sızma kapasitesini aştığı zaman meydana gelir ve özellikle şiddetli yağışlardan sonra hızlı bir şekilde akarsuya ulaştığı için taşkın hidrolojisinde önemlidir. Dolaylı akış ise hızı düşüktür ve yıl boyunca özellikle kurak mevsimlerde akarsuyu besleyen en önemli bileşendir (Bayazıt, 1991).

2.2 Hidrograf Elemanları

Hidrograf veya debi hidrografı belli bir akarsu kesitindeki akış miktarının zamanla değişimini gösteren grafikdir. Bazen belli bir kesitten geçen su derinliği olarak da ifade edildiğinden zamana karşı su derinliği olarak da gösterilir. Buna derinlik hidrografı denir. Akarsu kesitindeki su seviyesi ile akış miktarı arasındaki ilişkiyi

gösteren anahtar eğrileri vasıtasıyla derinlik hidrografından debi hidrografını elde etmek mümkündür. Şekil 2.2’de bir yağış sonunda oluşan ait tipik bir hidrograf ve ona ait elemanlar görülmektedir. Genellikle düşey ekseninde yer alan debi m^3/s veya L/s olarak, yatay eksenindeki zaman ise dakika, saat, gün, ay ve yıl gibi değişik birimlerde gösterilebilir. Hidrografın şekli gerek havzanın, gerekse yağışın özelliklerine bağlıdır ve simetrik olmayan bir çan eğrisi şeklindedir. Tipik bir hidrograf üç kısımdan oluşmaktadır. Bunlar, yükselme (kabarma, toplanma) eğrisi, tepe noktası ve çekilme (alçalma) eğrisidir.

Yükselme eğrisi, Şekil 2.2’de AB eğrisi boyunca artan ve genellikle yukarı doğru konkav bir yapıya sahiptir. Bunun nedeni yağışın başlangıcından itibaren zaman ilerledikçe havzanın yukarı kısımlarından gelen suların katkısının artmasıdır. Hidrografın bu kısmında havzanın ve yağışın özellikleri etkilidir. Örneğin havzada drenaj iyi, eğim büyük veya yağış şiddetli ise yükselme eğrisi dikleşmektedir. Aksi durumda ise debinin yavaşça arttığı görülmektedir (Bayazıt, 2003; Usul, 2008).



Şekil 2.2: Bir yağışın hidrograf elemanları (Bayazıt, 2003).

Tepe noktası, B noktası olarak gösterilen hidrograf üzerindeki en yüksek debiye sahip noktadır. Bu noktada yükselme eğrisi boyunca gözlenen debideki artış biter ve debi en yüksek değere ulaşır. Bu noktadaki debiye pik debi veya maksimum debi de denir. BD eğrisi boyunca azalan ve yükselme eğrisine göre çok daha yatık olan

çekilme eğrisinin şekli özellikle havzanın karakteriyle ilişkilidir. Havzada biriken suyun boşalmasını yansıtan bu eğri genellikle yağıştan yağışa değişmeyen bir yapıdadır. Eğrinin üst kısmı yüzey kanallarında toplanan suyun boşalmasını ve yüzeyaltı akışını gösterir. Eğrinin taban akışını gösteren alt kısmı CD eğrisiyle gösterilmiştir. Bu eğri havzanın yeraltı suyu depolamasını ifade eder ve yağıştan yağışa göre az değişen bir yapıdadır (Bayazıt, 2003).

Yağışın hiyetografında yer alan etkili yağış kısmının ağırlık merkezi ile pik debi arasındaki zaman aralığı gecikme zamanı olarak tanımlanır. Gecikme zamanı yağışın alanda ve zamanda dağılımına bağlıdır. Yağış ile akış arasındaki ilişkiyi anlamak ve doğru yorumlamak için yağışın hiyetografı ile hidrografları karşılaştırmak iyi bir analiz yapılması açısından önemlidir (Usul, 2008).

2.3 Hidrografın Çekilme Eğrisi

Çekilme eğrisi hidrografın üç temel elemanından biridir ve havza içerisinde depolanan suyun yağış sonrası boşalmasını ifade etmektedir. Çok büyük havzalar haricinde yağışa bağlı olarak değişim göstermemektedir. Çekilme eğrisi esas olarak havzanın fiziksel özellikleri ve zemin koşullarından etkilenmektedir. Zemin koşulları her mevsime göre değiştiğinden çekilme eğrisinin davranışı da mevsimlere göre farklılaşmaktadır.

Çekilme eğrisi havzanın depolama ve akifer karakteristikleri ile ilgili önemli bilgiler içerir. Çekilme eğrisinin incelenmesi sulama suyu, su temini, hidroelektrik santraller ve atıkların seyreltilmesi projelerinde kullanılan düşük akım değerlerinin tahmininde; akımın bileşenlerine grafiksel yöntemle ayrılması için hidrograf analizinde; düşük akım istatistiklerinin tahmini için yapılan frekans analizlerinde ve havzanın depolama kapasitesinin belirlenmesi için yapılan bölgesel düşük akım çalışmalarında büyük bir önem taşır (Tallaksen, 1995).

Barnes (1939) yaptığı çalışmada çekilme eğrisini yarı logaritmik kağıda işaretlemiş ve doğruya yakın bir çizgi elde etmiştir. Sonuç olarak çekilme eğrilerini

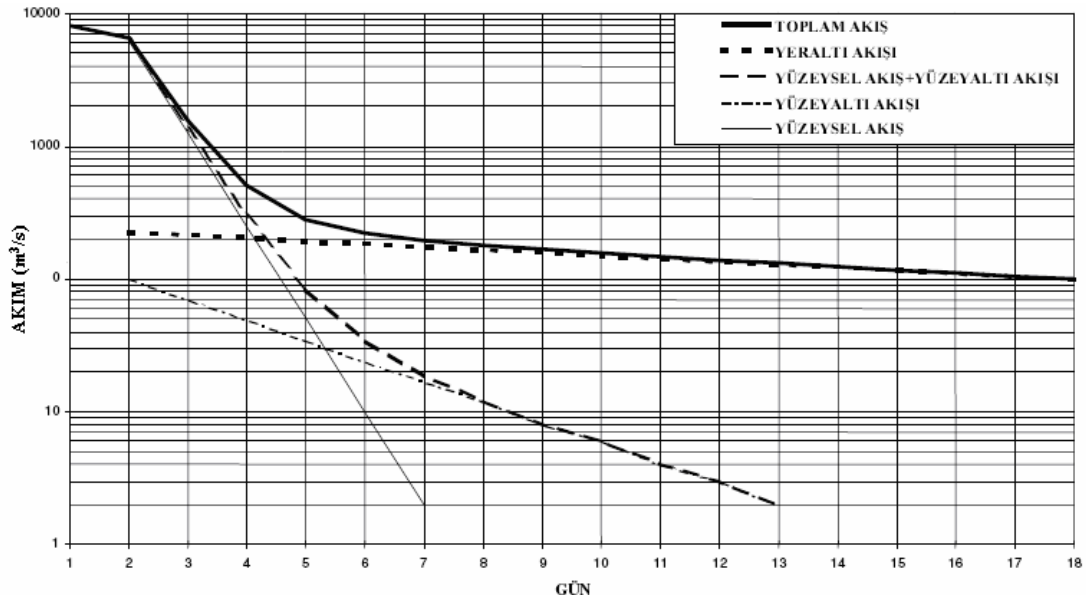
$$Q_1 = Q_0 K_r \quad (2.1)$$

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

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t} \quad (2.3)$$

şeklinde tanımlanan eksponansiyel denklemler olarak vermiştir. Burada $0 \leq K_r \leq 1$ olacak şekilde çekilme katsayısı, α çekilme sabiti, Q_0 başlangıç debisi, Q_t ise başlangıç debisinden t gün sonraki debidir. Zaman aralığı genelde bir gün (24 saat) alınmakta bazen örneğin küçük havzalar için daha küçük zaman aralıkları ile çalışılmaktadır.

Barnes (1939) yaptığı çalışmada yüzeysel akış, yüzeyaltı akışı ve yeraltı akışını yarı logaritmik bir kağıda bir doğru şeklinde çizmeyi başarmıştır. Ancak bu üç akış arasında geçiş birbirlerinden kolayca ayrılacak kadar belirgin olmamıştır. Buna rağmen eğrinin yeraltı akışını gösteren kısmı geriye doğru uzatılırsa bu akışın toplam akış içerisindeki katkısı belirlenebilmektedir. Bu işlemden sonra yeraltı akışı çıkarılarak akış eğrisinin son kısmı da geriye doğru uzatılmış ve elde edilen değerler yüzeysel akış ve yüzeyaltı akışı toplamından çıkarılmıştır. Böylece yüzeyaltı akışı ile yüzeysel akış ayrılabilir. Sonuç olarak akışın üç bileşeni de ayrılmakta ve her bileşen farklı eğimlere sahip doğrular şeklinde ifade edilebilmektedir. Bayazit ve diğ. (1997) benzer bir uygulama yaparak çekilme eğrisini üç bileşene ayırmıştır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Çekilme eğrisinin üç bileşene ayrılması (Bayazit, 1997).

Çekilme analizi için yapılan çalışmalar Boussinesq (1877)'nin çalışmalarına kadar dayanmaktadır. İlk olarak Boussinesq'in geliştirdiği diferansiyel denklem doğrusal olmayan ve çözümü zor bir yapıdaydı. Daha sonra denklemler (2.1)'de gösterildiği

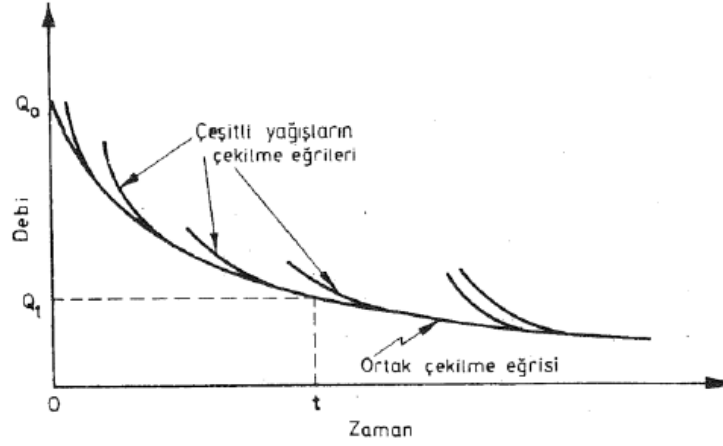
şekliyle yeraltı suyu, doymamış toprak ve göl drenajı çalışmalarında geniş uygulama alanı bulmuştur (Tallaksen, 1995). Daha sonra içerisinde denklem (2.1)'in de bulunduğu denklemlerin ilk uygulamaları Maillet (1905) değişik durum ve sınır şartları altında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çekilme eğrisini bulmak için kullanılan yöntemlerden korelasyon yönteminin ilk uygulamalarından biri de Maillet (1905) tarafından gerçekleştirilmiştir. Diğer bir doğrusal olmayan yaklaşım Horton (1935) tarafından ortaya konmuştur. Denklem (2.1)'in Horton tarafından da 1914 yılından önce geliştirildiği ancak çıkarımlarının ve denklemin o dönemde yayınlanmadığı görülmektedir. Literatürde ayrıca denklem (2.3)'ün yaklaşık olarak 1904 yılında J. Boussinesq, E. Millet ve R.E. Horton tarafından birbirlerinden bağımsız olarak geliştirdiklerine dair bilgiler bulunmaktadır (Nathan ve McMahon, 1990).

2.4 Ortak Çekilme Eğrisi

Havza içerisinden alınan her bir kesit için çizilen hidrografların birbirlerinden farklı çekilme eğrileri vardır. Tüm havzayı temsil edecek ortak bir çekilme eğrisi oluşturmak için havzanın değişik bölgelerinden çok sayıda hidrograf elde edilmesi gerekmektedir (Usul, 2008). Değişik büyüklüklerdeki hidrograflar kullanılarak havzayı temsil eden bir ortak çekilme eğrisi belirlenebilir. Bunun için üç yöntem kullanılır.

Bu yöntemlerden biri korelasyon yöntemidir. Bu yöntemde hidrograf üzerinde yeraltı suyu çekilme eğrisindeki Q_t değerleri N gün sonraki Q_{t+N} değerlerine karşı çift logaritmik grafik kağıda işaretlenir. Oluşan noktalardan bir doğru veya eğri uygun bir şekilde geçirilir. Bu işlem neticesinde eğer bir doğru elde edilirse bu doğrunun eğimi havzanın çekilme katsayısıdır.

Diğer bir yöntem şerit yöntemidir. Bu yöntemde taban akışına ait çekilme eğrisini belirlemek için havza üzerinde farklı kesitlerde çizilen çeşitli hidrografların çekilme eğrileri yatay olarak kaydırılarak üst üste getirilir. Sonra Şekil 2.4'de gösterildiği gibi bu eğrilere alttan çizilen zarf eğrisi havzanın ortak çekilme eğrisini oluşturur. Bu egride debinin azalma hızının zamanla azaldığı ve asimptotik olarak sabit bir değere yaklaştığı ifade edilmektedir. Ortak çekilme eğrisi yarı logaritmik bir kağıt üzerinde çizildiğinde ise bir doğruya dönüşür. Bu doğrunun eğimi de depolama katsayısı α 'yı verir (Bayazit, 2003; Usul, 2008).



Şekil 2.4: Ortak çekilme eğrisi (Bayazıt, 2003).

Denklem (2.1)'de tanımlanan genel çekilme denklemi yarı logaritmik kağıt üzerinde bir doğruya karşılık gelir. Bu ifade denklem olarak,

$$\ln Q = \ln Q_0 - \alpha \cdot t \quad (2.4)$$

şeklinde gösterilebilir. Taban akışını gösteren ortak çekilme eğrisi için K değeri 0,85-0,98 (α değeri 0,02-0,16) değerleri arasında, çekilme eğrisinin yüzeysel akışı ifade eden üst kısmı için K değeri 0,05-0,20 (α değeri 1,6-3,0), yüzeyaltı akışını ifade eden orta kısmı için K değeri 0,5-0,8 (α değeri 0,2-0,7) arasında değişen değerler alır (Bayazıt, 2003; Aksoy ve diğ., 2001).

Son olarak tablo yöntemi anlatılacaktır. Bu yöntem genel olarak şerit yöntemiyle benzerlik göstermektedir. Farklı çekilme eğrilerine ait günlük ortalama akımlar sütunlar halinde yazılır. Sütunlardaki değerler birbirlerine yaklaşıp gidecek şekilde sıralanır ve her yatay çizgideki debi değerlerinin ortalaması alınır. Ortalaması alınan bu değerler ortak çekilme eğrisini verir.

2.5 Taban Akışı

Taban akışı akarsu akışının diğer kısımlarına göre yavaş değişen ve genellikle yeraltı suyu akışı şeklinde nehirleri, gölleri ve diğer sulak alanları besleyen toplam akımın önemli bir bileşenidir (Piggott ve diğ., 2005). Özellikle yağışsız mevsimlerde bir akarsu yatağında yer alan akımın büyük çoğunluğu taban akışı tarafından sağlanmaktadır. Kısaca taban akışı, akışın yeraltı sularından gelen kısmı veya yağışsız dönemdeki akış olarak tanımlanabilir (Hall, 1968; Chow ve diğ., 1988). Taban akışı rejimini bilmek; havza yönetimi stratejileri geliştirmek (özellikle

kuraklık durumunda), sudaki organizmalar ve yaşam ortamları arasında ilişkiler kurmak, küçük ve orta dereceli su kaynakları için tahminler yapmak, su kalitesi ve tuzluluk oranının yönetimi, göllerin su bütçelerini hesaplamak vb. durumlar için çok önemlidir (Smakhtin, 2001).

Bunların yanında taban akışı çok sayıda havza özelliğinin bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Yapılan çok sayıda çalışmada taban akışı ile havzanın topoğrafik, jeolojik, toprak ve iklim özellikleri arasında ilişkiler geliştirilmiş ve taban akışı havzanın değişik özellikleriyle açıklanmıştır. Örneğin Mazvimavi ve diğ. (2005) yaptığı çalışmada taban akışı indeksini eğim, ortalama yıllık yağış ve drenaj yoğunluğuna bağlı olarak değişen bir fonksiyon olarak tanımlamıştır.

2.6 Taban Akışı Tahmin Yöntemleri

Taban akışını toplam akıştan ayırmak için uzun yıllardır çok sayıda ve değişik çalışmalar yapılmaktadır. Geliştirilen yöntemler içerisinde uluslararası kabul görmüş bir yöntem olmamasına rağmen bu yöntemlerin her birinin kendine göre bir takım üstünlükleri bulunmaktadır. Bugüne kadar yapılan çalışmalara bakıldığında genel olarak hidrograf analizine dayanan yöntemlerle taban akışının tahmin edilmeye çalışıldığı görülmektedir. Taban akışı tahmini için yapılan çalışmalar: grafik yöntemler (Linsley ve diğ, 1975; Chow ve diğ, 1988), çekilme analizleri (Tallaksen, 1995), hidrokimyasal izleyici tabanlı yöntemler (Hornberger ve diğ, 1998; Katsuyama ve diğ, 2001; Hangen ve diğ, 2001), yumuşatılmış minimumlar yöntemi ve türevleri (IH, 1980; Piggott ve diğ, 2005; Aksoy ve diğ, 2008, 2009), dijital filtreleme yöntemleri (Lyne ve Hollick, 1979; Nathan ve McMahon, 1990; Arnold ve Allen, 1999) ve doğrusal olmayan taban akışı ayırma yöntemleridir (Wittenberg, 1999, 2003, Aksoy ve Wittenberg, 2011). Bu yöntemlerin yanında regresyon analizi yaklaşımı ile taban akışını tahmin eden çalışmalar da mevcuttur. Bu anlamda literatür incelendiğinde yapılan çalışmalarda genellikle çoklu regresyon analizi yönteminin kullanıldığı ve taban akışının havzanın farklı özellikleri kullanılarak belirlendiği görülmüştür (Lacey ve Grayson, 1998; Haberlandt ve diğ, 2001; Mazvimavi ve diğ, 2005; Neff ve diğ, 2005, Gebert ve diğ, 2007; Longobardi ve Villani, 2008; Santhi ve diğ, 2008; Zhu ve Day, 2009; Ahiablame ve diğ, 2013).

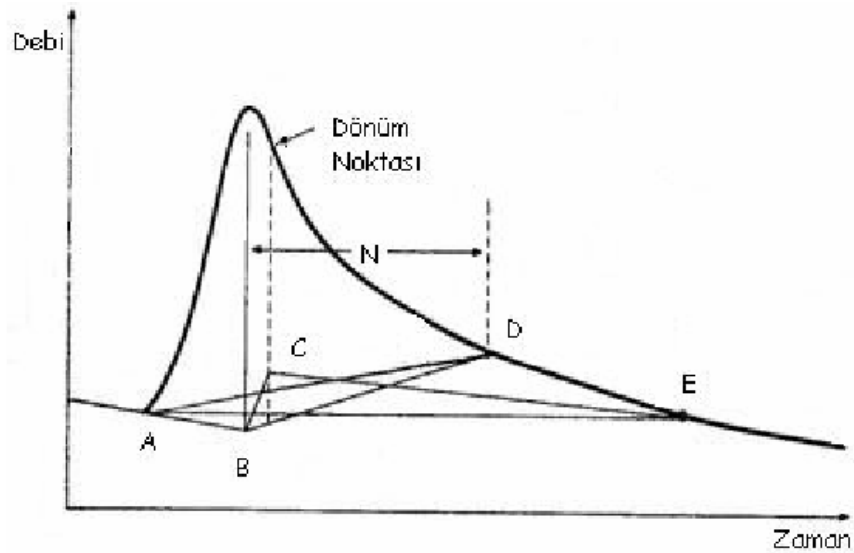
Nathan ve McMahon (1990) çalışmasında taban akışı ayırma yöntemlerini iki ana başlık altında toplamıştır. Bunlar olay tabanlı ve sürekli taban akışı ayırma yöntemleridir. Bu çalışmada anılan grafik yöntemler olay tabanlı taban akışı ayırma yöntemlerine, belli bir algoritmaya dayanan İHEY benzeri yöntemler ise sürekli taban akışı ayırma yöntemlerine örnek olarak gösterilebilir.

2.6.1 Grafik yöntemler

Taban akışının toplam akıştan ayrılması için kullanılan yöntemler arasında en yaygın ve en basit olan yöntemler grafik yöntemlerdir. Belli başlı grafik yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

2.6.1.1 Sabit debi yöntemi

Grafik yöntemler içerisinde uygulaması en yaygın ve en kolay yöntemdir. Düz çizgi yöntemi olarak da bilinen bu yöntem, taban akışının akarsu debisinden etkilenmeden sabit bir değerde seyrettiği kabulüne dayanır (Linsley ve diğ. 1949). Şekil 2.5'te yüzey akımının başladığı A noktasından alçalma eğrisini E noktasında kesecek şekilde yatay bir doğru çizilir. Şekil 2.5'te görülen AE çizgisi sabit debi yöntemini ifade etmektedir. Bu doğrunun altında kalan alan taban akışının değerini verir.



Şekil 2.5: Taban akışının grafik yöntemlerle ayrılması.

2.6.1.2 Sabit eğim yöntemi

Dolaysız akışın pik değere ulaştıktan N gün sonra sona ereceği varsayımı yapılan bu yöntemde,

$$N = 0,9A^{0,2} \quad (2.5)$$

şeklinde ampirik olarak hesaplanır (Linsley ve diğ, 1949). Burada A km² cinsinden drenaj alanını ifade eder. Şekil 2.5'te görülen AD doğrusu bu yöntemi simgelemektedir ve eğrinin altında kalan alan taban akışını vermektedir. Taban akışının başladığı varsayılan A noktası kırılma noktası olarak tanımlanan D noktasına belli bir eğime sahip bir doğru ile birleştirilir. Bu doğru taban akışının sabit bir oranla değiştiğini anlatmaktadır. AD doğrusunun çekilme eğrisini keseceği kırılma noktasını belirlemek için çekilme eğrisinin ikinci türevinin sıfır olduğu nokta bulunur ve bu nokta kırılma noktası olarak işaretlenir.

2.6.1.3 Konkav yöntemi

Bu yöntemde yükselme eğrisinden önceki kısım hidrografın pik yaptığı noktanın izdüşümünü kesecek noktaya kadar uzatılır. Ardından pik değerden N gün sonraki hidrografın ordinatı ile birleştirilir (Linsley ve diğ, 1949). Şekil 2.5'te AB-BD doğruları olarak karakterize edilen bu yöntemde belirlenen doğruların altındaki alan taban akışını vermektedir.

2.6.1.4 Değişken eğim yöntemi

Bu yöntem yükselme eğrisinden önceki kısmın pik debinin görüldüğü güne kadar ileri, çekilme eğrisinin yeraltı akışına ait kısmının da pikten sonraki dönüm noktasına kadar geriye doğru uzatılması ile elde edilen noktaların birleştirilmesi esasına dayanır. Şekil 2.5'te görülen AB-BC-CE doğrularının birleştirilmesiyle oluşan eğrinin altında kalan alan taban akışını, üstünde kalan alan dolaysız akışı verir (Chow ve diğ, 1988).

2.6.2 Sürekli taban akışı ayırma yöntemleri

Yukarıda olay tabanlı taban akışı ayırma yöntemleri olarak anlatılan grafik yöntemler genellikle belli bir yağış sonrası oluşan fırtına hidrografi üzerinden taban akışını ayırmaya yönelik yöntemlerdir. Diğer taban akışı ayırma yöntemleri ise uzun gözlem

dönemi neticesinde taban akışının ayrıldığı filtreleme yöntemleridir. Bu yöntemler sayesinde havzanın davranışı sürekli olarak yansıtılabildiğinden genel olarak araştırmacılar sürekli taban akışı ayırma yöntemleriyle çalışmaya yönelmişlerdir.

Literatür incelendiğinde sürekli taban akışı ayırma yöntemleri arasında en fazla kabul görmüş yöntemler İngiliz Hidroloji Enstitüsü yumuşatılmış minimumlar yöntemi (İHEY) ve dijital filtre yöntemidir (DFY). Nathan ve McMahon (1990) çalışmasında İHEY ve DFY'yi karşılaştırmış ve geniş havzalarda bu iki yöntemin yakın sonuçlar verdiğini saptamıştır. Diğer bir taraftan küçük havzalarda, vahşi derelerde ve keskin piklerin yoğun olduğu hidrograflarda DFY'nin gözlenmiş taban akışı değerlerine daha yakın sonuçlar verdiğini belirlemiştir. Bu çalışmada ise taban akışı hesaplanırken İHEY yönteminden yararlanılmıştır. Bu yöntemin detayları Bölüm 3'te anlatılacaktır.

Piggott ve diğ. (2005) taban akışının hesaplanmasında yeni bir yaklaşım ortaya koymuş ve İHEY'i revize etmiştir. Revize edilmiş İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi (RİHEY), İHEY'in başlangıç koşulu etkisini ortadan kaldırmayı amaçlamıştır. Aksoy ve diğ. (2009) İHEY ve DFY taban akışı ayırma yöntemlerinin bir arada kullanılmasına dayanan filtre edilmiş İngiliz Hidroloji Enstitüsü yöntemini teklif etmiştir (FİHEY). İHEY kullanılarak elde edilen taban akışı serisi dijital filtreleme ile filtrelenmiştir. Böylelikle İHEY ile ayrılan taban akışı değerleri DFY ile bulunan değerlere yaklaştırılmış ve İHEY'de yer alan doğrusal enterpolasyonun neden olduğu taban akışı serisindeki keskin hatlar ortadan kaldırılmıştır. Yine Aksoy ve diğ. (2008) başlangıçta sulak bölge akarsuları için geliştirilen İHEY'i kuruyan akarsularda kullanılabilecek şekilde değiştirmiştir.

2.6.3 Regresyon analizi

Taban akışı bir havza içerisinde yer alan çeşitli akımların çok önemli bir bileşenidir. Dolayısıyla taban akışı bir havzanın topoğrafik, jeolojik ve hidrometeorolojik özellikleriyle yakından ilişkilidir. Bu nedenle araştırmacılar havza özelliklerini kullanarak taban akışını tahmin etmek üzere bir takım yaklaşımlar içerisine girmişlerdir. Yapılan çalışmaların çoğunda istatistik analiz yöntemleri kullanılarak havza karakteristikleri ile taban akışı ilişkilendirilmiştir.

Kullanılan istatistik yöntemler içerisinde özellikle son yıllarda çoklu regresyon yaklaşımının çoğunlukla tercih edilen bir yöntem olduğu görülmüştür. Örneğin Bloomfield ve diğ. (2009) daha önceden kabul edilen ancak belli bir sistematik şekle dönüştürülemeyen havza jeolojisi ve taban akışı indeksi arasındaki ilişkiyi çok değişkenli regresyon modeli oluşturarak belirlemiştir. Diğer benzer çalışmalarda da taban akışı havzanın farklı özellikleri ile açıklanan bir değişken olarak fonksiyon haline getirilmiştir (Lacey ve Grayson, 1998; Haberlandt ve diğ, 2001; Mwakalila ve diğ, 2002; Mazvimavi ve diğ, 2005; Neff ve diğ, 2005, Gebert ve diğ, 2007; Longobardi ve Villani, 2008; Santhi ve diğ, 2008; Zhu ve Day, 2009; Ahiablame ve diğ, 2013). Literatürde yer alan taban akışının havzanın çeşitli özellikleriyle tahmin edildiği çalışmalar, kullanılan yöntemler ve uygulandıkları bölgeler Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Bu çalışmada da taban akışı ve taban akışı indeksi çoklu regresyon modelleme yöntemiyle havza özellikleri kullanılarak tahmin edilmiştir. Bölüm 3’te çoklu regresyon yöntemi detaylı bir şekilde ele alınmış ve modelleme esnasında izlenen adımlar ve kullanılan program açıklanmıştır. Ayrıca modellemede kullanılan topoğrafik, meteorolojik ve hidrolojik veriler Bölüm 4’te ayrıntılı bir şekilde yer almaktadır.

Çizelge 2.1: Literatürdeki taban akışı ve havza özellikleri arasındaki ilişkiyi tanımlayan regresyon modeller.

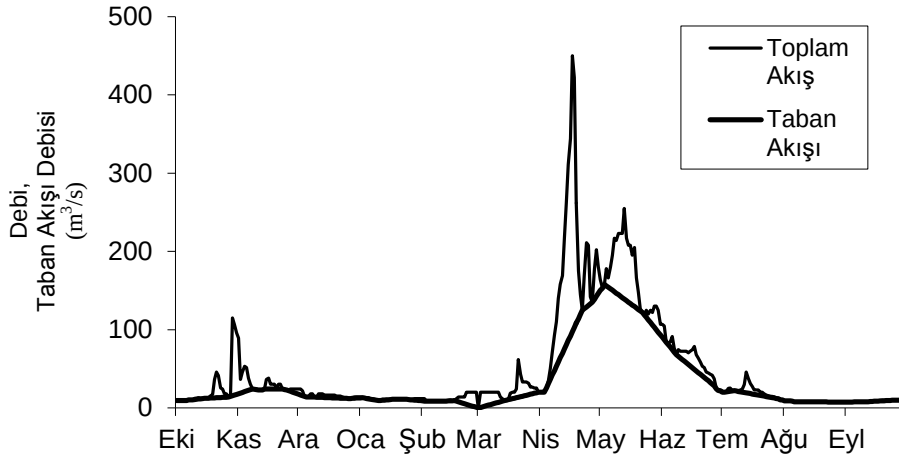
Yazar	Yöntem	Bölge	Havza Özellikleri	Açıklanan
Lacey ve Grayson (1998)	Çoklu Doğrusal Regresyon	Avustralya	Drenaj alanı, yükseklik, potansiyel evapotranspirasyon, ormanlık alan, yağmur, akarsu uzunluğu	<i>TAI</i>
Haberlandt ve diğ (2001)	Çoklu Regresyon	Almanya	Eğim, topoğrafik indeks, doymun hidrolik iletkenlik, ortalama yıllık yağış	<i>TAI</i>
Mwakalila ve diğ (2002)	Çoklu Doğrusal Regresyon	Tanzanya	Drenaj indeksi, jeoloji indeksi, iklim indeksi	<i>TAI</i>
Mazvimavi ve diğ (2005)	Çoklu Doğrusal Regresyon	Zimbabve	Ortalama yıllık yağış, eğim, ormanlık mera, çayır kaplama	<i>TAI</i>
Neff ve diğ (2005)	Çoklu Regresyon	Kanada ve ABD	Ana kaya, iri tane, ince tane, organik, balçık, yüzeysel suların katkısı	<i>TAI</i> ve Taban Akışı
Gebert ve diğ (2007)	Çoklu Doğrusal Regresyon	ABD	Drenaj alanı, toprak sızma oranı, havza depolama, taban akış faktörü	Taban Akışı
Longobardi ve Villani (2008)	Basit ve Çoklu Doğrusal Regresyon	İtalya	Geçirgenlik indeksi	<i>TAI</i>
Santhi ve diğ (2008)	Çoklu Regresyon	ABD	Kabarma, yüzde kum, yağış, potansiyel evapotranspirasyon	<i>TAI</i> ve Taban Akışı
Bloomfield ve diğ (2009)	Çoklu Regresyon	Birleşik Krallık	Kentsel alan litolojisi	<i>TAI</i> ve Taban Akışı
Zhu ve Day (2009)	Çoklu Doğrusal Regresyon	ABD	Drenaj alanı, yıllık yağış eksi evapotranspirasyon, yükseklik, yıllık yağış	Taban Akışı
Ahiablame ve diğ (2013)	Çoklu Regresyon	ABD	Yıllık yağış, taban akışı indeksi, künkli drenaj alanı, su alanı yüzdesi, hidrolojik toprak grupları	<i>TAI</i> ve Taban Akışı

2.7 Taban Akışı İndeksi

Taban akışı indeksi özellikle düşük akım çalışmaları için birincil öneme sahip bir parametredir. Bu kavram ilk olarak Lvovich (1972) tarafından ortaya atılmış ardından da İngiliz Hidroloji Enstitüsü (1980) tarafından geliştirilerek jeolojinin düşük akımlar üzerindeki etkisini anlatmak için kullanılmıştır. Bazı çalışmalarda *TAI*'dan güvenilirlik indeksi olarak da söz edildiği görülmektedir (Beran ve Gustard, 1977). *TAI* taban akışı hacmi toplam akış hacmine bölünerek hesaplanan $0 \leq TAI \leq 1$ olan boyutsuz bir orandır. Matematiksel olarak

$$TAI = \frac{\int_{t_1}^{t_2} Q_{taban\ akışı}(t)dt}{\int_{t_1}^{t_2} Q_{toplam\ akış}(t)dt} \quad (2.6)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada $\Delta t = t_2 - t_1$ şeklinde bir zaman aralığını belirtir ve gün, ay, mevsim ya da yıl olarak hesaplanabilir. Grafik olarak gösterilirse Şekil 2.6'da görülen hidrografın altında kalan alan toplam akarsu akışını ifade ederken ayrılmış hidrografın altında kalan alan ise taban akışını temsil etmektedir. Bu iki alan birbirine oranlandığında *TAI* bulunmaktadır.



Şekil 2.6: Toplam akış hidrografından taban akışının ayrılması.

TAI değeri her yıl veya belli bir gözlem süresi için tahmin edilebilir. Akarsu akımına yeraltı suyundan katkının yüksek olduğu havzalarda *TAI* bire çok yakın bir değer almaktadır. Bu durumda havzanın özellikle kurak dönemlerde sürekli ve kalıcı bir akış rejimine sahip olduğu söylenebilir. Ancak akımların kısa ömürlü olduğu havzalarda bu değer sıfıra yavaşmaktadır.

3. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER

3.1 İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi (İHEY)

Bu yöntem günlük ortalama akım zaman serisinin birbiriyle çakışmayacak şekilde beş günlük gruplara ayrılması ve bu grupların minimumlarının belirlenmesi ile başlar. Herhangi bir minimumun 0,9 katı komşu iki minimumdan küçük olanından küçükse söz konusu minimum dönüm noktası olarak kabul edilir. Bu koşul matematiksel olarak ifade edilirse,

$$0,9y_i < \min(y_{i-1}, y_{i+1}) \quad (3.1)$$

şeklinde gösterilir. Dönüm noktaları belirlendikten sonra doğrusal enterpolasyonla birleştirilir. Elde edilen zaman serisi üzerindeki her nokta o andaki taban akışı değerine karşılık gelmektedir. Bu işlem sırasında taban akışı değerlerinin bazıları toplam akarsu akışı değerlerini geçebilmektedir. Fiziksel olarak anlamsız olan bu durumla belirlenen dönüm noktalarının birleştirilmesi sırasında ve özellikle dönüm noktaları arasındaki farkın büyük olduğu durumlarda karşılaşılmaktadır. Çözüm olarak yöntemin sonunda bir kontrol adımı bulunur. Bu adımda önce taban akışının toplam akışı geçtiği değerler belirlenir, toplam akıştan büyük taban akışı değerleri o günkü toplam akış değerlerine eşitlenir. Şekil 3.1’de yukarıda anlatılan İHEY’in akış diyagramı gösterilmiştir. İHEY’in sürekli akıma sahip akarsu verileri kullanılarak geliştirilmesi nedeniyle yöntem kuruyan akarsulara uygulandığında bazı sorunlarla karşılaşılmaktadır.

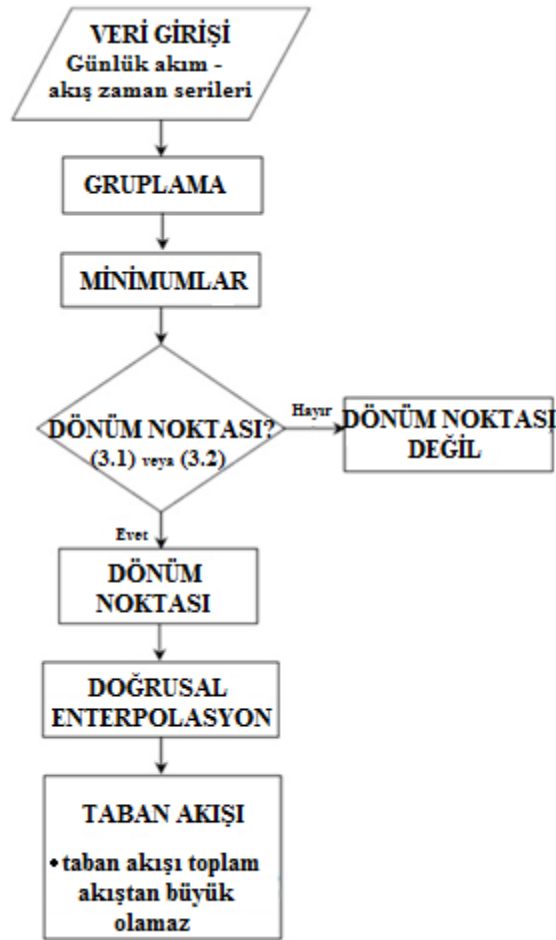
Denklem (3.1) şeklinde belirlenen koşul kuruyan akarsular için Hisdal ve diğ. (2003) ve Aksoy ve diğ. (2008) tarafından yapılan çalışmada

$$0,9y_i \leq \min(y_{i-1}, y_{i+1}) \quad (3.2)$$

şeklinde ifade edilmiştir.

Bu çalışmada literatürde kabul görmüş ve çokça uygulanan bir taban akışı ayırma yöntemi olan İHEY kullanılmıştır. Bu yöntem için izlenen adımlar şunlardır:

- a) Günlük ortalama akım verileri birbirleriyle çakışmayacak şekilde beşerli gruplara ayrılır.
- b) Her grubun minimumu belirlenir. ($Q_1, Q_2, \dots, Q_N$)
- c) Belirlenen minimumların denklem (3.1) veya denklem (3.2)'de verilen koşulu sağlayıp sağlamadıkları kontrol edilir. Koşulu sağlayanlar dönüm noktası olarak belirlenir.
- d) Belirlenen ardışık dönüm noktaları ($Q_b^1, Q_b^2, \dots, Q_b^n$) doğrusal enterpolasyonla birleştirilir ve taban akışı zaman serisi elde edilir.
- e) Taban akışı değerleri toplam akıştan büyükse o değer toplam akışı değerine eşit kabul edilir. (Eğer $Q_b^i \geq Q_i$ ise $Q_b^i = Q_i$)



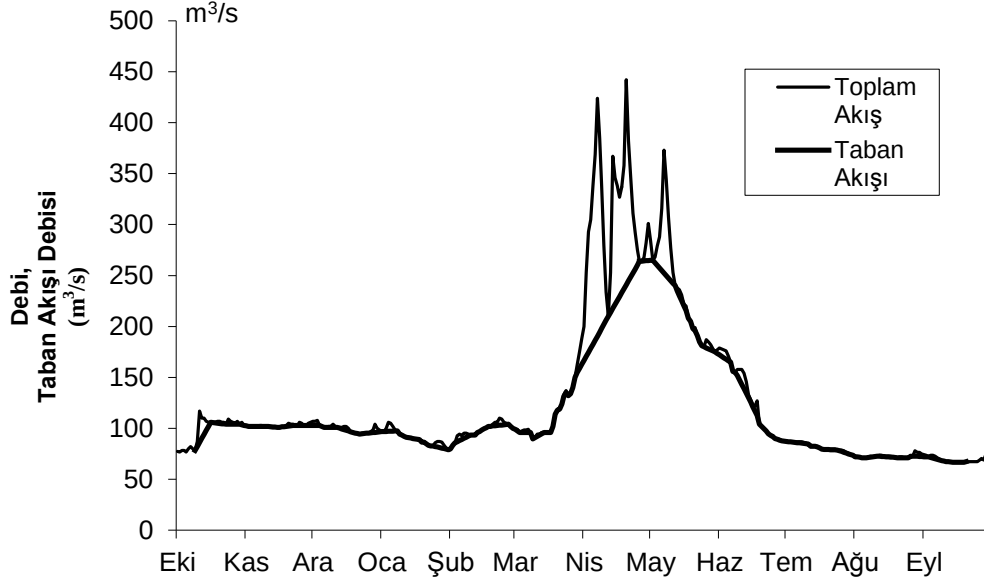
Şekil 3.1: İHEY akış diyagramı.

İHEY bir örnek uygulama ile detaylı olarak incelenecektir. Bölüm 4’te detayları anlatılacak olan Elektrik İşleri Etüt İdaresi’ne ait 2156 numaralı Fırat nehri üzerindeki Bağıştaş akım gözlem istasyonu örnek uygulama için seçilmiştir. Bu istasyonun 01.10.1999 ile 30.09.2000 tarihleri arasındaki günlük akım verilerine Çizelge 3.1’de gösterildiği gibi İHEY uygulanmış ve 2000 su yılına ait taban akışı indeksi hesaplanmıştır. Çizelge 3.1’de görüldüğü üzere günlük ortalama akım verileri beşer günlük gruplara ayrılmış ve her grubun minimumu belirlenmiştir. Gölgeleştirilen değerler her bir grubun minimumunu, kalınlaştırılan minimumlar ise denklem (3.1) koşulunu sağlayan dönüm noktalarını belirtmektedir.

Çizelge 3.1: İHEY’in 2156 numaralı AGİ’ye uygulanması.

Gün	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
1	77,5	103,0	107,0	96,8	79,8	99,2	200,0	284,0	179,0	87,8	72,0	74,3
2	76,8	102,0	107,0	96,8	83,5	99,2	253,0	265,0	178,0	87,0	72,0	73,5
3	78,3	102,0	108,0	100,0	85,8	96,0	293,0	268,0	177,0	87,0	72,0	72,0
4	78,3	102,0	103,0	106,0	92,8	97,6	305,0	279,0	176,0	87,0	71,3	73,5
5	76,8	102,0	102,0	105,0	94,4	98,4	338,0	288,0	171,0	87,0	71,3	73,5
6	79,8	102,0	101,0	102,0	92,8	98,4	369,0	316,0	165,0	87,0	71,3	72,8
7	82,0	103,0	101,0	98,4	95,2	99,2	424,0	373,0	156,0	87,0	72,0	71,3
8	79,8	103,0	102,0	97,6	95,2	96,0	385,0	344,0	155,0	87,0	72,8	69,8
9	78,3	102,0	102,0	94,4	94,4	89,7	339,0	307,0	158,0	86,3	72,0	68,3
10	87,3	102,0	104,0	93,6	93,6	91,3	280,0	277,0	158,0	85,5	72,8	68,3
11	117,0	102,0	102,0	92,1	93,6	94,4	234,0	253,0	158,0	84,8	72,8	67,5
12	110,0	102,0	101,0	91,3	93,6	94,4	210,0	240,0	154,0	82,5	73,5	67,5
13	110,0	102,0	101,0	91,3	96,0	96,0	253,0	238,0	146,0	82,5	73,5	67,5
14	107,0	102,0	101,0	90,5	96,8	96,0	367,0	236,0	133,0	82,5	72,8	66,8
15	106,0	101,0	102,0	90,5	98,4	96,0	346,0	231,0	128,0	82,5	72,8	66,8
16	106,0	101,0	102,0	89,7	100,0	96,0	338,0	222,0	123,0	81,0	72,8	66,8
17	106,0	102,0	100,0	89,7	101,0	96,0	327,0	220,0	122,0	79,5	72,8	66,8
18	106,0	102,0	96,8	88,9	102,0	102,0	337,0	208,0	127,0	79,5	72,0	66,8
19	107,0	103,0	96,0	86,6	102,0	114,0	358,0	205,0	104,0	79,5	72,0	66,8
20	107,0	105,0	95,2	87,3	104,0	118,0	442,0	198,0	102,0	79,5	71,3	67,5
21	106,0	104,0	95,2	85,1	106,0	119,0	382,0	199,0	99,6	79,5	72,0	67,5
22	106,0	104,0	94,4	83,5	106,0	124,0	346,0	191,0	98,0	79,5	72,0	67,5
23	104,0	103,0	95,2	82,8	110,0	133,0	311,0	185,0	94,8	79,5	71,3	67,5
24	109,0	103,0	95,2	82,8	109,0	137,0	292,0	181,0	93,2	78,8	71,3	67,5
25	107,0	106,0	95,2	85,8	106,0	132,0	275,0	180,0	93,2	78,8	71,3	67,5
26	106,0	105,0	95,2	87,3	105,0	134,0	264,0	187,0	90,0	78,8	73,5	69,0
27	105,0	103,0	96,8	87,3	104,0	140,0	265,0	185,0	89,3	78,0	72,8	70,5
28	107,0	103,0	98,4	86,6	102,0	150,0	267,0	182,0	89,3	76,5	78,0	69,0
29	104,0	105,0	104,0	83,5	100,0	163,0	282,0	178,0	87,8	75,8	76,5	75,0
30	106,0	106,0	100,0	80,5		175,0	301,0	175,0	87,8	74,3	76,5	81,8
31	103,0		98,4	79,1		188,0		177,0		74,3	75,0	

Belirlenen dönüm noktaları daha sonra doğrusal enterpolasyonla birleştirilmiş, Şekil 3.2’de görüldüğü gibi taban akışı toplam akıştan ayrılmış ve taban akışı indeksi 0,912 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.2: İHEY ile taban akışının ayrılması.

3.2 Çoklu Regresyon Analizi

Regresyon analizinin amacı iki ya da daha fazla rastgele değişken arasında bulunan istatistik ilişkisiyi matematiksel olarak ifade etmek, açıklanmaya çalışılan bağımlı değişkenin değişiminin bağımsız değişkenlerin değişiminden kaynaklanan yüzdesini hesaplamak ve bağımlı değişkenin değerini bağımsız değişkenleri kullanarak tahmin etmektir (Bayazıt, 1996). Bağımlı değişkenin tek bir bağımsız değişkene sahip basit regresyon modeli ile açıklanması bazı durumlar için yeterli olsa da uygulamada bu pek mümkün değildir. Uygulamada genellikle birden fazla bağımsız değişkene ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle çoklu regresyon olarak adlandırılan bu modeller yaygın olarak kullanılmaktadır.

Y bağımlı değişkeni ile $X_1, X_2, \dots, X_n$ bağımsız değişkenleri arasındaki çoklu doğrusal regresyon genel olarak

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n + \varepsilon \quad (3.3)$$

denklemini ifade edilir. Burada $b_0, b_1, \dots, b_n$ parametreleri regresyon katsayılarını göstermektedir. Herhangi bir b_i regresyon katsayısı diğer değişkenler sabitken X_i değişkeninde meydana gelen bir birimlik değişimin bağımlı değişken üzerindeki etkisini göstermektedir. Başka bir deyişle bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenin tahminine yaptıkları görece katkıya ilişkin ağırlıklarını ifade etmektedir. Bu nedenle $b_0, b_1, \dots, b_n$ parametreleri genellikle kısmi regresyon katsayıları olarak da bilinmektedir. b_0 ise regresyon sabiti olarak adlandırılır ve tüm bağımsız değişkenler sıfır olduğunda bağımlı değişkenin aldığı değeri gösterir.

ε hata terimini göstermektedir. Hata terimi regresyon denklemiyle yapılan tahminin (Y) gerçek değerle (Y') olan farkını yani tahminin hatasını ifade etmektedir. Matematiksel olarak

$$\varepsilon = Y - Y' \quad (3.4)$$

şeklinde ifade edilir. ε değerleri çoğunlukla geliştirilen modellerin yeterliliğini değerlendirmekte ve yapılan varsayımların kontrolünde kullanılmaktadır.

Modelde yer alacak değişkenlerin doğru seçilmesi bağımlı değişkenin daha iyi açıklanabilmesi açısından önemlidir. Yapılan bu çalışmada geriye doğru eleme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde tüm bağımsız değişkenler modele dahil edilir ardından t istatistiğine bakılarak en az güçlü olan bağımsız değişken modelden çıkarılır ve regresyon tekrarlanır. Bu durumda model önemli derecede açıklayıcılığını kaybediyorsa, bağımsız değişken tekrar modele eklenir. Bu işlem tüm bağımsız değişkenlerin anlamlı olduğu durum sağlanana kadar devam eder. Bu yöntemde bağımsız değişkenler belli bir sistem içerisinde elenir. Bağımsız değişkenin regresyon denkleminde kalabilmesi için istatistiksel olarak %10 anlamlılık düzeyinde anlamlı olması gerekmektedir.

Çok değişkenli regresyon denklemi elde edildikten sonra yapılan hipotez testleri ile değişkenlerin ve modelin anlamlı olup olmadıkları test edilmektedir. İlk olarak varyans analizi yapılarak denklem (3.3)'ün anlamlı bir ilişkiyi ifade edip etmediği

kontrol edilir. Bağımsız değişken sayısı m olan daha karmaşık bir modelin bağımsız değişken sayısı $k < m$ olan daha basit bir modele göre Y 'nin değişimini daha iyi açıklayıp açıklayamadığı kontrol edilir. Burada kurulan tüm regresyon katsayılarının sıfıra eşit olduğu ($H_0: b_1 = b_2 = \dots = b_n = 0$) H_0 hipotezi, en az bir regresyon katsayısının sıfırdan farklı olduğu karşıt hipotezle test edilir.

$$F = \frac{(SSE_s - SSE_c)/(m - k)}{SSE_s/[n - (m + 1)]} \quad (3.5)$$

şeklinde tanımlanan F istatistiği ile modelin bir bütün olarak anlamlı olup olmadığına bakılır. Burada SSE_s basit modelin kalıntılarının karelerinin toplamını, SSE_c ise karmaşık modelin kalıntılarının karelerinin toplamını ifade etmektedir. Denklem (3.5)'ten hesaplanan F istatistiği, F dağılımı tablosundan okunan kritik değerden büyük çıkarsa H_0 hipotezinin reddedileceğini yani karmaşık modelin daha iyi olduğunu göstermektedir (Bayazıt, 1996).

Aynı test, değişken sayısı k ve $m = k + 1$ olan denklemlere uygulanarak X_{k+1} değişkeninin k değişkenli modelin içerisindeki uygunluğuna bakılabilir. Burada $t^2 = F$ olmak üzere serbestlik derecesi $n - (m + 1)$ olan t dağılımı da kullanılabilir (Bayazıt, 1996).

$$t = \frac{b_i}{s(b_i)} \quad (3.6)$$

şeklinde de hesaplanan t istatistiği t dağılımı tablosundan okunan değerden küçükse ilgili regresyon katsayısına ilişkin değişkenin modele katkısının önemli olmadığı ve istenirse modelden uzaklaştırılabileceği sonucuna varılır. Burada b_i kısmi regresyon katsayısını, $s(b_i)$ ise b_i 'nin standart hatasını ifade etmektedir.

Çoklu regresyon modelinde yer alan değişkenlerin önem sırasını belirlemek için standart beta ($St\beta$) değerine bakmak gerekir. Bağımlı ve bağımsız tüm değişkenleri standartlaştırıp tek bir ölçü birimi durumuna getirmek ve hesaplanan standartlaştırılmış regresyon katsayılarının değerleri incelemek suretiyle her bir değişkenin modele yaptıkları katkı belirlenebilir. Kısaca $St\beta$, bağımsız değişkenin standart sapmasındaki 1 birimlik değişimin bağımlı değişkenin standart sapmasını nasıl değiştireceğini anlatmaktadır (Field, 2009). Standartlaştırılmış regresyon katsayılarına beta katsayıları da denmektedir ve matematiksel olarak

$$St\beta = b_i \frac{s_i}{s_Y} \quad (3.7)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada, s_i i 'inci değişkene ilişkin standart sapma, s_Y ise bağımlı değişkene ilişkin standart sapmadır. Model içerisinde en büyük standartlaştırılmış regresyon sayısına sahip değişken model üzerinde en etkin olan değişken olarak yorumlanabilir.

Determinasyon katsayısına, R^2 , bakılarak bağımlı değişkenin bağımsız değişkenler tarafından ne oranda açıklandığı görülür. Determinasyon katsayısı regresyon bağıntısının anlamlılığının bir ölçütüdür ve değeri sıfıra yaklaştıkça modelin veriye uyum göstermediği, bire yaklaştıkça regresyonun anlamlılığının giderek arttığı söylenebilir. Çok değişkenli regresyonda determinasyon katsayısı,

$$SSE = \sum \varepsilon_i^2 \quad (3.8)$$

$$SS_y = \sum (Y_i - Y'_i)^2 \quad (3.9)$$

olmak üzere şu şekilde tanımlanır:

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SS_y} \quad (3.10)$$

Buna ek olarak R^2 'nin modele eklenen yeni bağımsız değişkenlerle artan bir yapısı olduğundan

$$adj R^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{n - 1}{n - p - 1} \quad (3.11)$$

şeklinde tanımlanan ayarlanmış determinasyon katsayısına da bakmak gerekir. Burada, n örnekteki eleman sayısını, p ise modeldeki bağımsız değişken sayısını ifade etmektedir.

Çoklu regresyon denklemleri geliştirilirken belirlenen değişkenlerin normal dağılmamış olması durumunda normal dağılım koşullarını sağlamak için en çok kullanılan dönüşüm logaritmik dönüşümdür (Bayazıt, 1996).

Regresyon denklemi logaritmik dönüşüm sonucu:

$$\log(Y) = \log b_0 + b_1 \log X_1 + b_2 \log(X_2) + \dots + b_n \log(X_n) \quad (3.12)$$

şeklinde çoklu doğrusal denkleme dönüşür.

Çok değişkenli regresyon denklemlerinde yer alan değişkenlerin t testi ile ayrı ayrı, F testi ile de bir bütün olarak anlamlılıkları kontrol edilmeli ve belirlenen anlamlılık seviyelerinde anlamlı olmaları gerekmektedir. Buna ek olarak çoklu regresyon modellemesinde başta birtakım varsayımlar yapılmaktadır. Bu varsayımlar değişkenler arasında çoklu bağlantının bulunmaması, hatalarda otokorelasyon olmaması, hata terimlerinin varyansının sabit olması ve hataların normal dağılıma uymasındır. Şekil 3.3'te bu varsayımlar ve varsayımların kontrolü için kullanılan birtakım yöntemler gösterilmektedir. Aşağıda detayları anlatılacak olan varsayımların bu çalışmada her iki denklem için yapılan kontrolü ve varılan sonuçları Bölüm 5'te yer alan model validasyonu başlığı altında anlatılmaktadır.



Şekil 3.3: Model kontrol şeması.

3.2.1 Varsayımların kontrolü

Çoklu regresyon modelleriyle yapılan tahminler ancak başta yapılan belli varsayımların geçerli olması durumunda anlamlıdır. Bu yapılan varsayımlar; çoklu doğrusal bağlantının olmaması, hatalar arasında otokorelasyon bulunmaması, eşit varyanslık ve hataların normal dağılıma uymasındır. Sözü edilen dört varsayımdan ilk üçü hem basit hem de çoklu regresyon modelleri için, son varsayım ise sadece çoklu regresyon modellerinde kontrol edilir.

3.2.1.1 Çoklu doğrusal bağlantının olmaması

Model içerisindeki bağımsız değişkenler arasındaki ilişki çoklu doğrusal bağlantı olarak tanımlanmaktadır. Bağımsız değişkenler arasında tam bir çoklu doğrusal bağlantı varsa sözkonusu değişkenler arasındaki korelasyon katsayısı ± 1 değerini almaktadır. Bu değer sıfıra eşitse tam bir bağımsızlık durumu mevcuttur. Çoklu doğrusal bağlantının nedenleri arasında modeldeki bağımsız değişkenlerin aynı eğilime sahip olmaları, modelin değişken sayısının gözlem sayısından çok olması ve kullanılan veri sağlama yöntemlerindeki uygunsuzluk sayılabilir.

Yukarıda bahsedildiği gibi bir takım nedenlerden kaynaklanan çoklu doğrusal bağlantı problemi model içerisinde çeşitli sorunların oluşmasına da sebep olmaktadır. Tam doğrusal bağlantının varlığı halinde regresyon katsayıları tanımsız ve bu katsayıların standart hataları sonsuz olmaktadır. Çoklu bağlantı, katsayıların varyans ve kovaryanslarını büyümektedir. Bunun neticesinde determinasyon katsayısı olması gerekenden büyük çıkmakta ama buna rağmen modeldeki bağımsız değişkenlerden çok azı hatta hiçbirisi anlamlı olmamaktadır. Burada ayrıca determinasyon katsayısının yüksek çıkması çok sayıdaki bağımsız değişkenden de kaynaklanabilir (Gujarati, 1995).

Çoklu bağlantı probleminin varlığı durumunda bu problemin çözümü için bir veya daha fazla bağımsız değişkenin modelden çıkarılması düşünülebilir. Bu çalışmada çoklu bağlantıya sahip değişkenlerin saptanması için modellerdeki tüm değişkenlerin varyans artış faktörleri (VIF) hesaplanmıştır. Tüm bağımsız değişkenler için

$$VIF = \frac{1}{(1 - R_i^2)} \quad (3.13)$$

şeklinde hesaplanan VIF değeri sayesinde açıklayıcılık gücünü yitirmeden modelden çıkarılacak doğru değişken veya değişkenler saptanacaktır. Burada R_i^2 incelenen modelde yer alan i 'inci bağımsız değişkenin bağımlı değişken olarak alınıp diğer bağımsız değişkenlerle oluşturdukları modelin determinasyon katsayısıdır. Pratik olarak uygulanan yaklaşım VIF değeri 7,5'tan büyük olan değişkenlerin problem yaratabileceği öngörülerek bunların teker teker çıkarılarak regresyonun tekrarlanması ve sorunun çözülmesidir (Rosenshein ve diğ, 2011).

3.2.1.2 Hatalar arasında otokorelasyonun bulunmaması

Hataların bağımsızlığı ya da otokorelasyon herhangi bir zaman serisinin veya eşleştirilmiş zaman serilerinin değerleri arasındaki korelasyondur (Kalaycı, 2010). Hata terimlerinin arasında ilişki olması yani bir hata teriminin kendisinden önce veya sonra yer alan değerleri etkilemesi otokorelasyona neden olmaktadır. Regresyon analizinin temel varsayımlarından olan hatalar (ε_i) arasında korelasyonun olmaması varsayımı $E(\varepsilon_i) = 0$ ve $i \neq j$ olmak üzere

$$E(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = E(\varepsilon_i).E(\varepsilon_j) = 0 \quad (3.14)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu değerın sıfırdan farklı olması durumu hata terimleri arasında otokorelasyonun bulunduğu anlamını taşımaktadır.

Yanlış tanımlanmış bir model yani modele önemli bir değişkenin eklenmemesi veya fonksiyonel ilişki tipinin yanlış seçilmesi regresyon analizinde tahmin edilen standart hataları olduğundan düşük veya değişkenlerin anlamlılıklarını yanlış yansıtabilecektir (Orhunbilge, 1996). Bir modelde otokorelasyonun oluşmasını çeşitli nedenleri olabilir (Gujarati, 1995).

Zaman serilerinde ardışık gözlemlerin birbirini etkileme olasılığı yüksek olduğundan özellikle belli bir eğilim içeren zaman serilerinde yüksek otokorelasyon değerleri gözlenir. Diğerlerine göre en fazla karşılaşılan durum ise çeşitli nedenlerle araştırmacının model içerisinde yer alması gereken bazı değişkenleri modele dahil etmemesidir. Böyle durumlarda ihmal edilen değişkenin modele eklenmesiyle sorunun üstesinden gelinebilir. Otokorelasyona neden olan diğer bir olay ise geliştirilen modelin fonksiyonel şeklinin seçimindeki hatadır. Fonksiyonel ilişki belirlenirken araştırmacının kendi bilgi ve tecrübelerinin yanında literatürden de yararlanması ve daha sonra fonksiyon tipinin seçilmesi tavsiye edilmektedir. Başka

önemli bir nokta veri toplamada yapılan ölçme hatalarıdır. Araştırmacılar farklı nedenlerle modellemede kullanacakları verileri elde ederken yanlış ölçme veya düzenleme hataları yapabilirler. Bu da modelin hata terimlerinde sapmalara ve otokorelasyona neden olabilir (Gujarati, 1995).

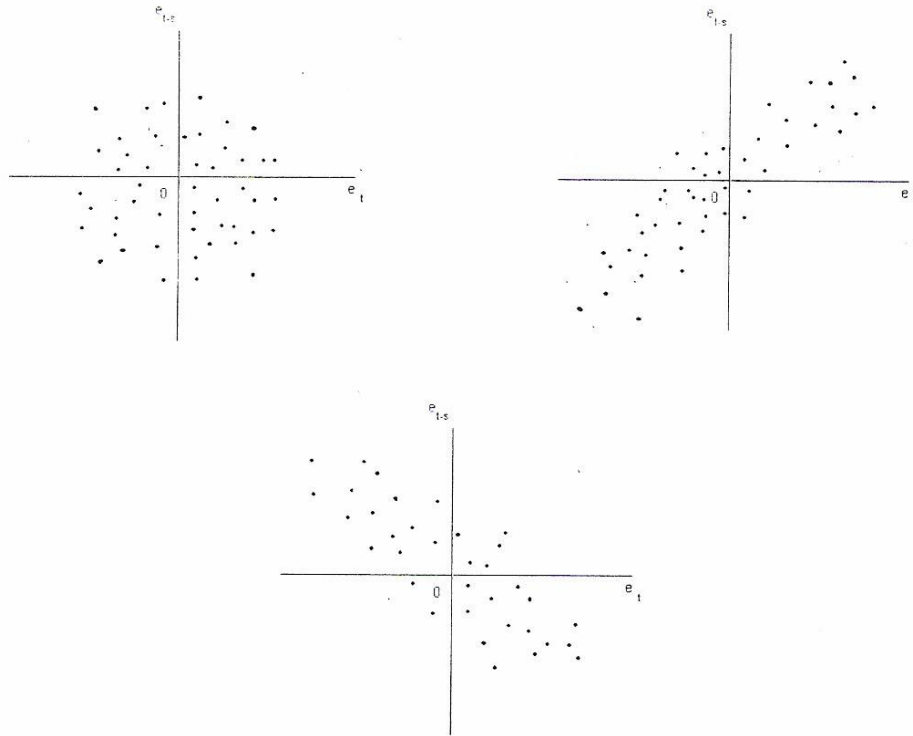
Durbin-Watson testi otokorelasyonun belirlenmesinde kullanılan en yaygın testtir. DW istatistiği otokorelasyon katsayısı (ρ) ardışık hataların fonksiyonu olarak

$$\rho = \frac{\sum_{t=2}^n e_t e_{t-1}}{\sum_{t=2}^n e_{t-1}^2} \quad (3.15)$$

olmak üzere

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=2}^n e_t^2} = 2(1 - \rho) \quad (3.16)$$

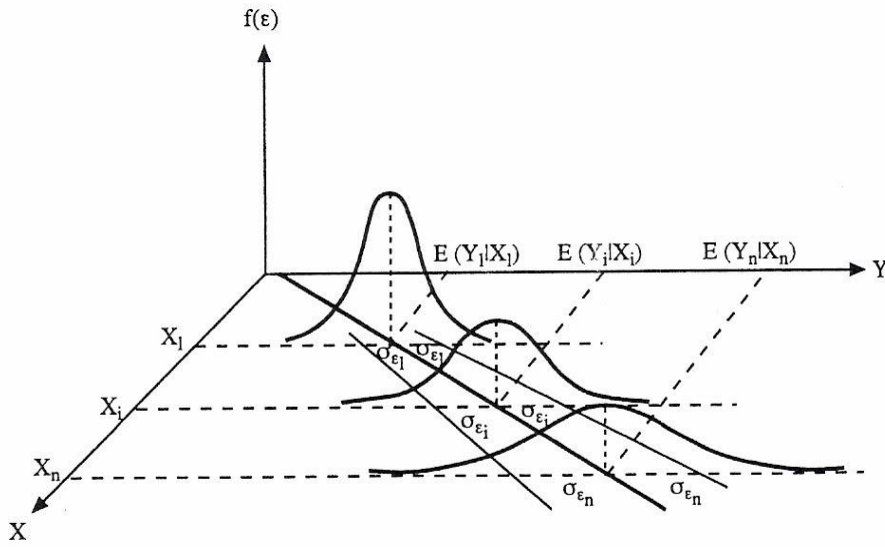
ile hesaplanmaktadır. $-1 \leq \rho \leq 1$ olduğundan DW istatistiği sıfır ile dört arasında değişen değer aralığına sahiptir. Otokorelasyonun bulunmadığı ($\rho = 0$) durumunda $DW = 2$ olur. Şekil 3.4'te gösterilen ilk grafik otokorelasyonun olmadığını, ikinci grafik pozitif ve üçüncü ise negatif korelasyonun varlığını göstermektedir.



Şekil 3.4: Hata terimleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler

3.2.1.3 Eşit varyans

Model içerisindeki bağımsız değişkenlere karşılık gelen hata terimlerinin aynı varyansa eşit olması durumu eşit varyanslık (homoskedastisite) olarak tanımlanmaktadır. Özellikle değişkenlerin değer aralığı geniş olduğunda hata terimlerinin varyansı da buna bağlı olarak farklılaşmakta ve varsayım geçerliliğini yitirmektedir. Bu olay farklı varyanslılık olarak tanımlanmaktadır (heteroskedastisite). Şekil 3.5'te görüldüğü gibi x_i değişkeninin değeri arttıkça Y_i 'nin koşullu varyans değerleri de artmaktadır.



Şekil 3.5: Farklı varyanslılık gösterimi.

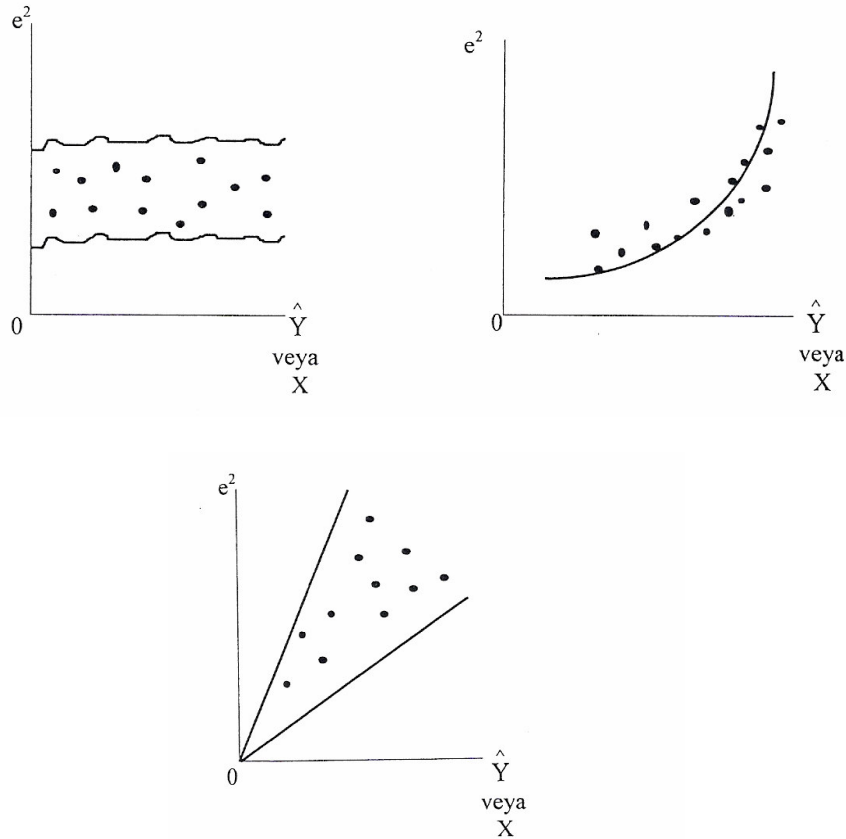
Eşit varyanslık varsayımının sağlanamamasına genellikle seçilen modelin yapısı veya kullanılan veriler neden olmaktadır. Örneğin, değişkenlerin verileri elde edilirken yapılan ölçüm hataları, modelin anlamlılığına etki edecek gerekli değişkenlerin modele dahil edilmemesi, regresyon katsayılarının bazılarının zaman serisiye zamana, konum verisiye mekana göre değişimler göstermesi ve veriler içerisinde uç değerlerin bulunması en yaygın olarak karşılaşılan durumlardır (Güriş ve Çağlayan, 2000).

Kurulan regresyon modelinde farklı varyanslılığın belirlenmesi için kullanılan bir takım testler ve grafik yöntemler bulunmaktadır. Bu çalışmada grafik yöntemden yararlanılacağından sadece bu yöntemin detaylarından bahsedilecektir. Grafik

yöntem elde edilmesi daha kolay ve pratik olduğu için tercih edilmiştir. Aynı zamanda hata terimleriyle değişkenler arasındaki ilişkiyi görsel olarak ortaya koyduğu için dikkate alınmaktadır.

Bu yöntemde eşit varyanslık varsayımı yapılarak oluşturulan modellerin parametre tahminleri yapılır ve tahminin hataları e 'ler hesaplanır. Oluşturulacak grafikte düşey eksene e^2 veya s standart sapma olmak üzere standartlaştırılmış hatalar (e/s), yatay eksene ise regresyon denklemiyle tahmin edilen değerlerin standartlaştırılmış hali yerleştirilir. Ardından elde edilen ilişkinin fonksiyonel olup olmadığı araştırılır. Eşit varyanslık varsayımının geçerliliği elde edilen grafikte belli bir ilişkinin gözlenmemesiyle mümkün olmaktadır. Şekil 3.6'da bu grafikler kabaca gösterilmektedir.

Şekil 3.6'daki grafikler incelendiğinde birinci grafik için belli bir ilişkinin olmadığı görülmekte yani eşit varyans varsayımı sağlanmaktadır. İkinci grafikte ikinci dereceden ilişkinin varlığı ve üçüncü grafikte ise değerlerin doğru orantı şeklinde artan bir eğilime sahip olması farklı varyanslılığı göstermektedir.



Şekil 3.6: Eşit varyanslık varsayımı için örnek grafikler.

3.2.1.4 Normal dağılım

Regresyon analizinin temel varsayımlarından biri normal dağılım varsayımdır. Çok değişkenli parametrik istatistik tekniklerinin çoğu örneklerin çok değişkenli normal dağılımlı ana kütlelerden geldiğini varsaymaktadır. Yapılan bu varsayım dağılım teorisi açısından çok önemlidir. Ayrıca bazı işlemlerin sonuçlarını ve bu sonuçların yorumlanmasını da kolaylaştırmaktadır (Tadlıdil, 1996).

Normal dağılım varsayımı özellikle parametrik testlerin yapılması için önemlidir. Eğer bu varsayım doğrulanmaz ise t ve F istatistikleri geçerliliklerini yitirirler. Başka bir deyişle eğer normallik varsayımı sağlanamaz ise parametrelerin nokta tahminleri elde edilebilir ancak bu parametrelerin anlamlılık testleri güvenilir olmaz.

Normal dağılım varsayımının kontrolü için literatürde yaygın olarak kullanılan bir takım analitik ve grafik testler kullanılacaktır. Grafik yöntemler görsel ve basit bir şekilde normal dağılım varsayımını ortaya koyabilen yöntemlerdir. Bu kapsamda hata terimlerinin histogramı ve P-P (eklenik frekans) grafiklerinden yararlanılacaktır. Histogram çizimleri nominal (sınıflayıcı) ve ordinal (sıralayıcı) verilerin tekrar sıklıklarını gösteren grafiklerdir. Yatay ekseninde sınıf sınırları, dikey ekseninde ise her kategoriyle ilgili frekans ve yüzdeyi temsil eden dikey çubuklar bulunmaktadır. Oluşturulan hata terimlerinin histogramının standart normal dağılıma uyması yani ortalaması sıfır, varyansı bir olan, aynı zamanda basıklık ve çarpıklık katsayılarının sırasıyla 3'e ve sıfıra eşit olduğu yaklaşık çan eğrisine benzeyen simetrik bir dağılım göstermeleri beklenmektedir.

Grafik yöntemler yanında, geliştirilen normal dağılım testleri ile de veri grubunun normal dağılım varsayımları kontrol edilmektedir. En yaygın olarak kullanılan testler Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testleridir. Kolmogorov-Smirnov testinde H_0 hipotezi (hataların dağılımı normal dağılıma uyar) için test istatistiği D geliştirilen çeşitli tablolara göre kontrol edilir. Hesaplanan D değeri tablodan bulunan kritik değerden küçük çıkması durumunda normal dağılım varsayımı kabul edilmektedir. Shapiro-Wilk ise küçük örnek grupları için geliştirilen bir normal dağılım testidir. W test istatistiği 0 ile 1 arasında değişen değerler almakta ve 0'a yakın değerler dağılımın normalden uzaklaştığını, 1'e yakın değerler ise normale yaklaştığını göstermektedir. Yine çeşitli anlamlılık seviyeleri için geliştirilen tablo değerleriyle normal dağılım varsayımı kontrol edilmektedir.

Doğu Anadolu'da Erzurum ve Ağrı bölgesinde bulunan dağlarda doğan Murat ve Karasu nehirleri Keban barajı yakınlarında birleşerek Fırat nehrini oluşturmakta ve bu noktadan Dicle nehri ile birleşinceye kadar 955 km'si Türkiye'den, 559 km'si Suriye'den ve 815 km'si de Irak içerisinden geçerek toplam 2330 km uzunluğuna ulaşmaktadır (Bilen, 1996). Fırat nehri Türkiye'de 155000 km², Suriye'de 84360 km² ve Irak'ta 204240 km² olmak üzere toplam 444000 km² havza alanına sahiptir (Kıbaroğlu, 1998). Fırat nehri akımına Suriye sınırına gelinceye kadar Malatya yakınlarında bulunan ve yıllık ortalama akımı 2 milyar m³ olan Tohma çayı, Adıyaman il sınırında Kahta çayı, Ziyaret deresi ve Göksu kolu, Urfa ilinde Karacadağ yönünde Hacıhıdır ve Hacıkamil dereleri, Gaziantep il sınırında ise Karasu ve Nizip çayları katkı koymaktadır (Toklu, 1999).

Fırat havzası Yukarı Fırat, Orta Fırat ve Aşağı Fırat olmak üzere üç ayrı alt havzaya ayrılmıştır (Şekil 4.1). Yıllık ortalama 540,1 mm yağış almaktadır ve bunun 31,61 km³'ü akışa geçmektedir. Bu değer Türkiye'de toplam akışa geçen 186 milyar m³'lük suyun %17'sine karşılık gelmektedir (Eİİİ, 2000). Fırat nehrinin yıllık ortalama akımı Atatürk barajı yakınlarında 26,6 milyar m³, Birecik yakınlarında 30 milyar m³ ve 1937-1993 yıllarını kapsayan gözlemlere göre Karkamış'ta ise 31,6 milyar m³'tür (Toklu, 1999).

Fırat havzasında kış mevsiminde yağış genellikle kar şeklinde görülmektedir. Bu nedenle havza akarsularında en yüksek akışlar ilkbahar mevsiminde gözlenmektedir. Karın hemen akışa geçmemesi nedeniyle kış boyunca nehirlerde durgunluk gözlenirken ilkbahar ve yaz mevsimlerinde karların erimesiyle akarsulardaki debi yükselmekte ve bölgedeki su potansiyeli artmaktadır.

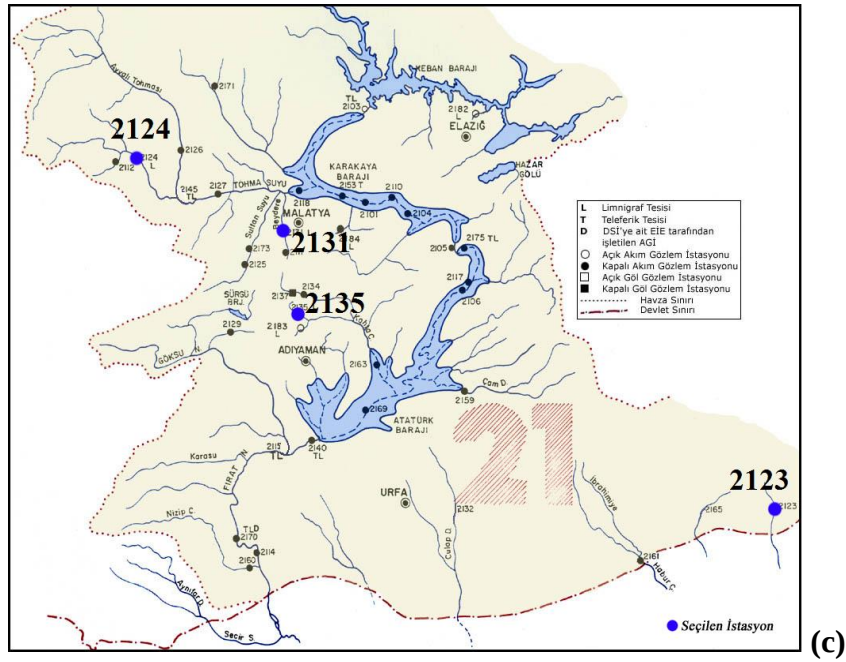
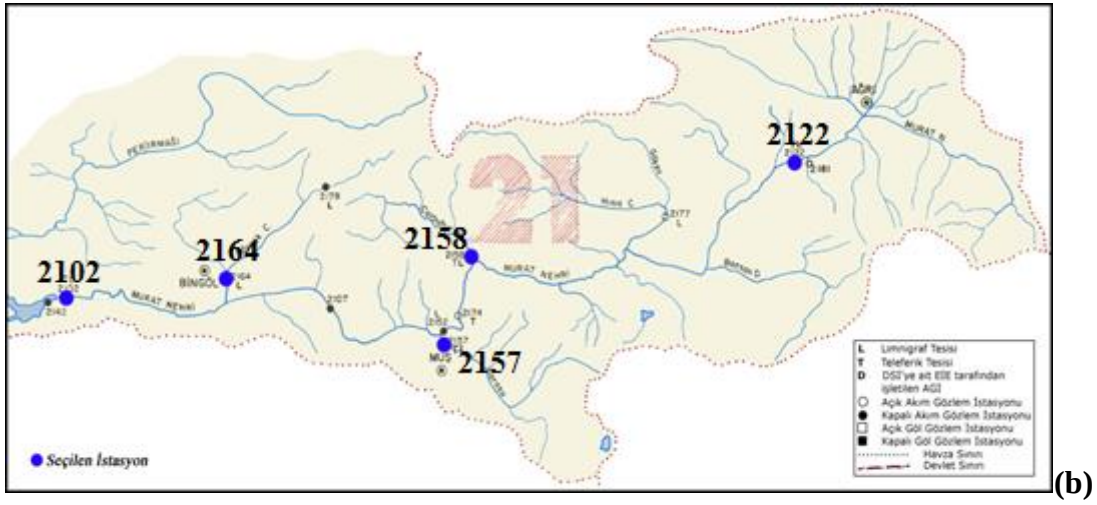
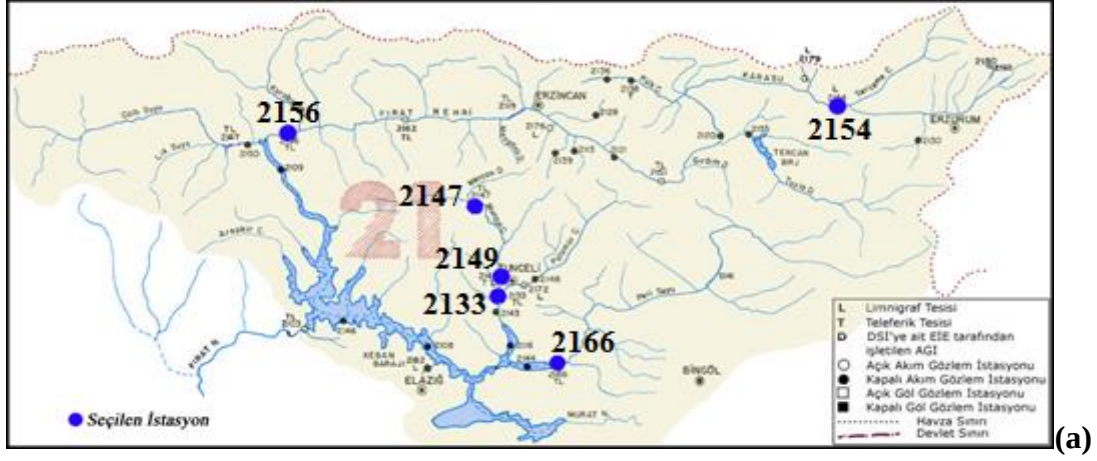
Türkiye'de Fırat havzası içerisinde değişik ölçeklerde toplam 57 projeden meydana gelen 7 ana proje bulunmaktadır. Bu projelerin bir kısmı işletme halinde iken geriye kalanlar ise inşaat ve proje aşamalarında. Tüm planlanan projelerin gerçekleştirilmesi halinde Fırat havzasında 1,1 milyon hektar arazinin sulanması ve ortalama 20 milyar kW.sa enerji üretilmesi hedeflenmektedir. Bunlara ek olarak havza içerisindeki büyük yerleşim yerlerinin içme, kullanma ve endüstri suyu ihtiyaçları için toplam yıllık 1,1 milyar m³ su temin edilecektir. Öngörülen projelerle birlikte sulama suyu ihtiyacı 6590 m³/hektar'dan 10120 m³/hektar'a değişmektedir (Tiryaki, 1994). Türkiye son zamanlarda Fırat nehri ve onun yan kollarından 16,32 milyar m³ su tüketmeyi planlamaktadır (Ergener, 2002).

Fırat havzası 444000 km²'lik alana sahip yüksek bir plato görünümündedir. Havzanın ortalama yüksekliği 1010 m'dir. Fırat havzasının sahip olduğu topoğrafik yapı ve hidrolojik koşullar hidroelektrik enerji üretimi açısından bölgeyi avantajlı kılmaktadır. 2005 yılında üretilen hidroelektrik enerjinin %47'sinin sadece Keban, Karakaya ve Atatürk barajlarından üretildiği göz önüne alınırsa Fırat havzasının Türkiye'nin hidroelektrik üretim potansiyeli içindeki yeri ve önemi ortaya çıkmaktadır (USİAD, 2010).

4.2 Kullanılan Veri

Bu çalışmada Elektrik İşleri Etüt İdaresi'ne (EİEİ) bağlı akım gözlem istasyonlarında (AGİ) ölçülen günlük ortalama akım verileri kullanılmıştır. Fırat havzasında EİEİ tarafından işletilmekte olan 91 AGİ bulunmakla birlikte bunların sadece 32 tanesi açık durumdadır (EİEİ, 2010). Şekil 4.2'de Fırat havzasında yer alan ve çalışmada kullanılan EİEİ'ye ait 15 akım gözlem istasyonu görülmektedir. Çizelge 4.1'de akım gözlem istasyonları ve istasyonların genel bilgileri verilmiştir. Buna ek olarak Çizelge A.1'de çalışmada kullanılan AGİ'lere ait veri envanteri bulunmaktadır.

Çoklu regresyon modeli kurulurken yararlanılan aylık ortalama yağış miktarı ve ortalama yıllık sıcaklık değerleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü internet sitesinde (<http://www.mgm.gov.tr>) yer alan il ve ilçelere ait istatistiki verilerden elde edilmiştir. Modelleme için kullanılan akım istasyonlarının konum olarak en yakın oldukları iller ve bu illere ait istatistiki veriler regresyonda kullanılmıştır. Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te kullanılan bu veriler görülmektedir. Buradan elde edilen verilerle regresyon denkleminde kullanılacak meteorolojik değişkenler oluşturulacaktır.



Şekil 4.2: (a)Yukarı Fırat havzası (b)Orta Fırat havzası (c)Aşağı Fırat havzası.

Çizelge 4.1: Çalışmada kullanılan AGİ'lere ait genel bilgiler.

AGİ	Akarsu ve İstasyon Adı	Coğrafi Koordinatlar		Yağış Alanı (km ²)	Kot (m)	Gözlem Süresi (yıl)
		Doğu (° ' ")	Kuzey (° ' ")			
2102	Murat Suyu-Palu	38 41 25	38 41 18	25515,6	852,0	33
2122	Murat Nehri-Tutak	42 46 49	39 32 19	5882,4	1552,0	37
2123	Çağ Çağ Suyu-Çınarköy	41 18 14	37 11 38	863,6	560,0	34
2124	Tohma Suyu-Yazıköy	37 26 35	38 40 23	1256,1	1193,0	38
2131	Bey Deresi-Kılayık	38 12 38	38 19 47	277,6	892,0	29
2133	Munzur Suyu-Melekbahçe	39 31 34	39 02 45	3284,8	875,0	32
2135	Bulam Çayı-Fatopaşa	38 14 13	37 59 38	154,8	1252,0	33
2147	Munzur Suyu-Dedikuşağı	39 17 53	39 20 40	875,0	1195,0	34
2149	Munzur Suyu-Miskisağ	39 32 23	39 06 37	1669,0	900,0	35
2154	Karasu-Aş.Kağdariç	40 45 35	39 56 20	2886,0	1675,0	32
2156	Fırat Nehri-Bağıtaş	38 27 04	39 26 05	15562,0	865,0	32
2157	Karasu-Karaköprü	41 29 43	38 47 02	2173,0	1250,0	32
2158	Bingöl Ç.-Abdurrahmanpaşa K.	41 29 14	39 06 30	1577,6	1310,0	32
2164	Göynük Çayı-Çayağzı	40 33 17	38 48 31	2232,0	990,0	32
2166	Peri Suyu-Loğmar	39 48 52	38 51 30	5385,8	845,0	31

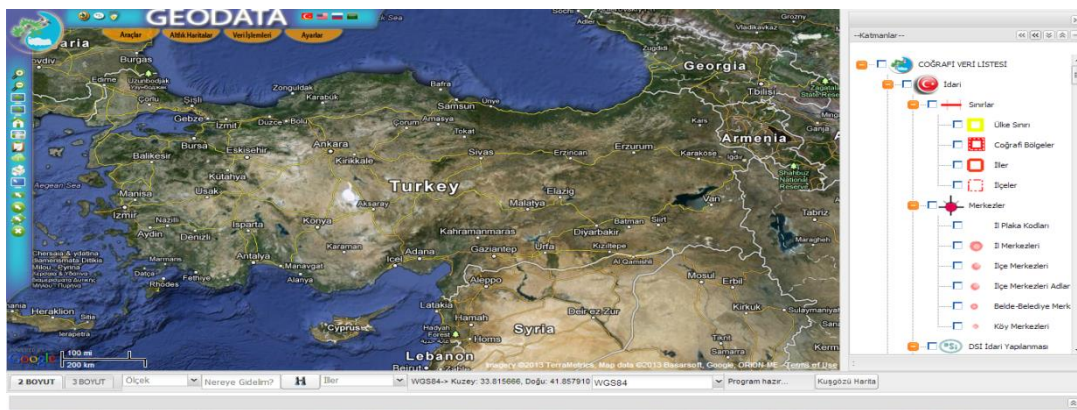
Çizelge 4.2: Çalışmada kullanılan AGİ'lere ait aylık ortalama yağış değerleri.

AGİ	İl	Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (kg/m ²)											
		O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A
2102	Bingöl	124,3	138,6	128,7	124,2	75,4	22,4	5,8	4,0	10,2	65,7	109,1	129,8
2122	Ağrı	36,0	48,8	48,5	76,1	75,7	46,2	19,2	11,9	14,3	55,7	47,9	40,4
2123	Mardin	101,1	108,8	95,3	80,1	38,3	5,6	1,2	0,3	2,0	32,1	67,7	100,1
2124	Malatya	35,3	36,0	49,9	59,4	45,8	18,1	2,3	1,8	6,4	38,0	41,4	38,3
2131	Malatya	35,3	36,0	49,9	59,4	45,8	18,1	2,3	1,8	6,4	38,0	41,4	38,3
2133	Tunceli	109,9	102,3	101,3	102	65,8	19,2	3,6	2,8	13,4	62,6	95,8	117,3
2135	Adıyaman	121,8	101,0	89,9	70,7	35,6	8,4	1,1	0,8	4,7	42,4	74,3	127,7
2147	Tunceli	109,9	102,3	101,3	102,0	65,8	19,2	3,6	2,8	13,4	62,6	95,8	117,3
2149	Tunceli	109,9	102,3	101,3	102,0	65,8	19,2	3,6	2,8	13,4	62,6	95,8	117,3
2154	Erzurum	19,5	22,9	31,5	56,2	68,1	45,3	26,3	17,0	21,0	46,5	31,9	21,3
2156	Erzincan	24,4	29,1	41,9	53,7	52,7	29,6	11,0	6,6	14,6	45,4	39,8	27,6
2157	Muş	79,2	100,8	101,2	110,4	68,9	28,2	6,6	4,5	12,5	61,8	92,7	85,0
2158	Muş	79,2	100,8	101,2	110,4	68,9	28,2	6,6	4,5	12,5	61,8	92,7	85,0
2164	Bingöl	124,3	138,6	128,7	124,2	75,4	22,4	5,8	4,0	10,2	65,7	109,1	129,8
2166	Tunceli	109,9	102,3	101,3	102,0	65,8	19,2	3,6	2,8	13,4	62,6	95,8	117,3

Çizelge 4.3: Çalışmada kullanılan AGİ'lere ait ortalama aylık sıcaklık değerleri.

AGİ	İl	Ortalama Sıcaklık (°C)											
		O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A
2102	Bingöl	-2,7	-1,5	4,0	10,7	16,2	22,0	26,7	26,3	21,1	14,0	6,4	0,2
2122	Ağrı	-11	-9,3	-2,9	6,3	11,8	16,7	21,2	21,3	16,3	9,2	1,2	-6,6
2123	Mardin	3,1	4,1	8,3	13,6	19,7	25,8	30,1	29,6	25,2	18,5	10,6	5,2
2124	Malatya	0,0	1,8	7,1	13,0	18,0	23,3	27,5	27,0	22,4	15,3	7,4	2,1
2131	Malatya	0,0	1,8	7,1	13,0	18,0	23,3	27,5	27,0	22,4	15,3	7,4	2,1
2133	Tunceli	-1,9	-0,2	5,8	12,0	17,1	22,7	27,4	26,9	21,7	14,7	6,8	0,9
2135	Adıyaman	4,6	5,8	10	15,0	20,7	26,8	31,1	30,5	25,7	18,9	11,4	6,4
2147	Tunceli	-1,9	-0,2	5,8	12,0	17,1	22,7	27,4	26,9	21,7	14,7	6,8	0,9
2149	Tunceli	-1,9	-0,2	5,8	12,0	17,1	22,7	27,4	26,9	21,7	14,7	6,8	0,9
2154	Erzurum	-9,9	-8,2	-2,2	5,5	10,4	14,9	19,3	19,3	14,4	7,8	0,1	-6,6
2156	Erzincan	-2,9	-1,0	4,6	10,9	15,5	20,0	24,1	23,8	18,9	12,1	5,0	-0,3
2157	Muş	-7,6	-5,9	0,9	9,2	14,9	20,3	25,4	25,2	20,1	12,7	4,3	-3,0
2158	Muş	-7,6	-5,9	0,9	9,2	14,9	20,3	25,4	25,2	20,1	12,7	4,3	-3,0
2164	Bingöl	-2,7	-1,5	4,0	10,7	16,2	22,0	26,7	26,3	21,1	14,0	6,4	0,2
2166	Tunceli	-1,9	-0,2	5,8	12,0	17,1	22,7	27,4	26,9	21,7	14,7	6,8	0,9

Havzanın topoğrafik karakteristikleri Orman ve Su İşleri Bakanlığı internet sitesinde (<http://www.ormansu.gov.tr>) yer alan ve bakanlık tarafından geliştirilen *GeoData* adlı internet tabanlı coğrafi bilgi sistemi uygulaması kullanılarak saptanmıştır. Bu uygulamada yer alan araçlarla çeşitli harita altlıklarına, koordinat bilgilerine, anlık görüntülere, seçilen katmanların ayrıntılarına ve kayıtlı çok sayıda bilgiye ulaşılmaktadır (Şekil 4.3). Ayrıca ölçüm ve çizim araçlarıyla harita üzerinde alan, uzunluk ve yükseklik gibi çok sayıda çalışma yapılabilmekte ve bir takım topoğrafik bilgilere iki veya üç boyutlu olarak erişilmektedir. Buradan elde edilen havza içerisindeki akarsuların uzunlukları ve farklı noktalara ait yükseklikler regresyon denkleminde oluşturulacak topoğrafik değişkenler için kullanılacaktır.



Şekil 4.3: Geodata programının arayüzü.

4.3 Değişkenler

Taban akışını tahmin etmek için oluşturulan regresyon denklemlerinde havzanın topoğrafik, meteorolojik ve hidrolojik özelliklerini yansıtan bir takım değişkenlerden yararlanılmıştır. Bu değişkenler Çizelge 4.4'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.4: Fırat havzasına ait topoğrafik, meteorolojik ve hidrolojik değişkenler.

Değişken	Birim	Gösterim
Yağış Alanı	km ²	<i>A</i>
Akarsu Ağı Toplam Uzunluğu	km	<i>AATU</i>
Drenaj Yoğunluğu	km ⁻¹	<i>DY</i>
Drenaj Sıklığı	km ⁻²	<i>DS</i>
Drenaj İndeksi	-	<i>DI</i>
Ortalama Akarsu Yatak Eğimi	-	<i>OAYE</i>
Eğim İndeksi	-	<i>EI</i>
Yıllık Potansiyel Evapotranspirasyon	mm	<i>PET</i>
Ortalama Yıllık Yağış	kg/m ²	<i>OYY</i>
İklim İndeksi	-	<i>II</i>
Yıllık Ortalama Sıcaklık	°C	<i>T</i>
Toplam Kabartma	m	<i>TK</i>
Kot	m	<i>K</i>
Engbelilik (Ruggedness) Sayısı	-	<i>ES</i>
Ortalama Akarsu Akımı	m ³ /s	<i>Q</i>

Değişkenlerden yağış alanı, ilgili akım gözlem istasyonuna ait drenaj alanına karşılık gelmektedir. Akarsu ağı toplam uzunluğu ise istasyon havzası içerisinde yer alan tüm kolların toplam uzunluğunu ifade etmektedir. Drenaj yoğunluğu, havzadaki bütün mertebelerdeki kolların toplam uzunluğunun (*AATU*) yağış alanına bölünmesiyle elde edilir ve

$$DY = \frac{AATU}{A} \quad (4.1)$$

şeklinde L^{-1} boyutunda ifade edilir. Havza içerisinde birim alandaki kol sayısı havzanın drenaj sıklığını ifade etmektedir. Bu değer harita üzerinden sayılarak bulunabileceği gibi bir formüle bağlı olarak da belirlenebilmektedir (Scheidegger, 1961). Değişken L^{-2} boyutunda olup

$$DS = 0,694 \cdot DY^2 \quad (4.2)$$

şeklinde ifade edilir. Drenaj indeksi akarsu ağı toplam uzunluğunun yağış alanının kareköküne bölünmesiyle elde edilen boyutsuz bir değişkendir ve

$$DI = \frac{AATU}{\sqrt{A}} \quad (4.3)$$

ile tanımlanır. Ortalama akarsu yatak eğimi akarsuyun boyuna profilinden elde edilir. Boyuna profil ise havza çıkışından başlayıp akarsu boyunca uzunluğa karşı yükseklik değerleri çizilerek bulunur ve

$$OAYE = \frac{h_{maks} - h_{min}}{L_{nehir}} \quad (4.4)$$

şeklinde hesaplanır. Burada h_{maks} memba ucundaki yükselti (m), h_{min} çıkış noktasındaki yükselti (m) ve L_{nehir} ise akarsu toplam uzunluğudur.

Eğim indeksi AGİ'nin deniz seviyesinden yüksekliğinin yani kotunun (K) yağış alanının kareköküne bölünmesiyle elde edilen boyutsuz bir değişken olup

$$EI = \frac{K}{\sqrt{A}} \quad (4.5)$$

şeklinde ifade edilir.

Potansiyel evapotranspirasyon (PET) Thornthwaite formülü ile her bir AGİ için

$$PET_m = 16N_m \left(\frac{10T_m}{I} \right)^a \quad (4.6)$$

ile hesaplanmıştır. Burada N_m gün ışığı saatleri ile ilgili aylık düzeltme faktörü, T_m aylık ortalama sıcaklık, I yıl için ısı indeksi ve m de ay numarasıdır. Denklem (4.6)'da geçen I ve a

$$I = \sum I_m = \sum \left(\frac{T_m}{5} \right)^{1.5} \quad (4.7)$$

$$a = 6,7 \times 10^{-7}(I^3) - 7,7 \times 10^{-5}(I^2) + 1,8 \times 10^{-2}(I) + 0,49 \quad (4.8)$$

ile hesaplanmıştır.

Ortalama yıllık yağış (OYY) Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait yağış ölçüm istasyonlarında mevcut uzun gözlem periyotlarını kapsayan ortalama aylık yağış miktarları toplanarak

$$OYY = \sum_{m=1}^{12} OYY_m \quad (4.9)$$

şeklinde bulunmuştur. Burada m ay numarasıdır.

İklim indeksi yağışın potansiyel evapotranspirasyona bölünmesiyle

$$II = \frac{OYY}{PET} \quad (4.10)$$

elde edilen boyutsuz bir değişkendir. Yıllık ortalama sıcaklık (T) Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün ölçtüğü uzun gözlem periyodunu kapsayan her ile ait aylık ortalama sıcaklıkların ortalamasıdır. T_m aylık ortalama sıcaklık ve m ay numarası olmak üzere

$$T = \frac{\sum T_m}{12} \quad (4.11)$$

şeklinde hesaplanır.

Toplam kabartma, havzadaki maksimum ve minimum yükselti farkı olup

$$TK = h_{maks} - h_{min} \quad (4.12)$$

ile tanımlanır. AGİ'nin deniz seviyesinden olan yüksekliğine o istasyonun kotu denir.

Engelibelik sayısı arazinin yapısal karmaşıklığını anlatmak için kullanılan bir değişkendir ve

$$ES = DY.TK \quad (4.13)$$

şeklinde ifade edilir.

Uzun dönem ortalama akım, akım gözlem istasyonlarından elde edilen günlük akım ($Q_{gün}$) verilerinin ortalaması olarak

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^N Q_{gün}}{N} \quad (4.14)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Burada N gözlem yapılan gün sayısıdır.

4.4 Değişkenlerin istatistiksel analizi

Akım gözlem istasyonlarına ait topoğrafik, meteorolojik ve hidrolojik değişkenlerin istatistik analizleri yapılmış, değişkenlerin minimum, maksimum, ortalama, medyan ve standart sapma gibi istatistik değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 4.5'te değişkenlere ait istatistik değerler gösterilmektedir.

Çizelge 4.5: Fırat havzasındaki 15 AGİ için hesaplanan istatistikler.

Değişkenler	Minimum	Ortalama	Medyan	Maksimum	St. Sapma
$A \text{ (km}^2\text{)}$	154,8	4711,0	2202,5	25515,6	6695,5
$AATU \text{ (km)}$	7,3	1056,6	510,3	6477,3	1695,3
$DY \text{ (km}^{-1}\text{)}$	0,05	0,19	0,19	0,31	0,08
$DS \text{ (km}^{-2}\text{)}$	0,00	0,03	0,02	0,07	0,02
DI	0,05	0,19	0,19	0,31	0,08
$OAYE$	0,004	0,017	0,011	0,071	0,017
EI	0,008	0,026	0,024	0,053	0,013
$PET \text{ (mm)}$	126,3	293,1	270,7	539,8	103,3
$OYY \text{ (kg/m}^2\text{)}$	372,7	643,6	715,1	938,2	208,7
II	0,8	2,5	2,6	5,4	1,2
$T \text{ (}^\circ\text{C)}$	5,4	12,0	12,8	17,2	3,1
$TK \text{ (m)}$	518,0	1196,3	1208,0	2349,0	557,8
$K \text{ (m)}$	560,0	1071,2	961,5	1675,0	291,7
ES	0,02	0,25	0,26	0,60	0,16
$Q \text{ (m}^3\text{/s)}$	1,64	54,38	32,77	250,32	66,91

Rastgele değişkeninin (x) toplumundan alınmış n elemanlı bir örneğin ($x_1, x_2, \dots, x_n$) ortalama parametresine karşılık gelen $\bar{x}$ istatistiği

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (4.15)$$

şeklinde hesaplanır. Ortalama, dağılımın merkezini ifade eden bir parametredir (Bayazıt, 1996).

Dağılımın merkezini gösteren kuartil tipi parametre ise medyandır. $med_x = x_{0,5}$ şeklinde simgelenen medyan $p = 0,50$ olasılığına karşı gelen kuartildir. Mevcut örnekten medyanı tahmin etmek için önce örnek içerisinde bulunan değerler büyüklük sırasına dizilir ve medyan düzenlenmiş örnekten

$$med_x = x_{0,5} = \begin{cases} n \text{ tek ise;} & x_{(n+1)/2} \\ n \text{ çift ise;} & \frac{1}{2} [x_{(n/2)} + x_{(n/2)+1}] \end{cases} \quad (4.16)$$

şeklinde tahmin edilir. Kısacası örnekteki eleman sayısı tek ise ortada kalan eleman, eleman sayısı çift ise ortadaki iki elemanın ortalaması alınarak medyan belirlenmektedir (Bayazıt, 1996).

Bir rastgele değişkenin merkez değerinin çevresinde meydana gelen yayılımın büyüklüğünü anlatan istatistik varyans veya bunun karekökü olan standart sapmadır. Standart sapma istatistiği (s_x)

$$s_x = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \right]^{1/2} \quad (4.17)$$

şeklinde hesaplanır.

İki rastgele değişken arasında istatistiksel anlamda bir ilişkinin varlığı bunlardan birinin diğerinden etkilenmesi ya da her iki değişkenin başka değişkenlerden birlikte etkilenmelerinden kaynaklanabilir. Bu ilişkiler fonksiyonel nitelikte değildir, yani değişkenlerden biri belli bir değer aldığında diğerinin de kesin olarak belli bir değer alacağı söylenememektedir. Belli bir değer yerine bir dağılım karşılık gelmektedir. İki rastgele değişken arasındaki ilişkinin ölçülmesi için en çok kullanılan yöntem Pearson korelasyon katsayısını hesaplamaktır. N elemanlı (x_i, y_i) çiftlerinden oluşan bir örnekten r korelasyon katsayısı şu şekilde hesaplanır:

$$r = \frac{1}{N - 1} \sum_{i=1}^N \frac{x_i - \bar{x}}{s_x} \cdot \frac{y_i - \bar{y}}{s_y} \quad (4.18)$$

Burada $\bar{x}$ ve $\bar{y}$ x_i ve y_i için örnek aritmetik ortalamaları, s_x ve s_y örnek standart sapmalarını göstermektedir. Korelasyon katsayısı -1 ile 1 değerleri arasında değişmektedir. Mutlak değer bir veya bire çok yakın olması iki değişken arasında fonksiyonel bir ilişki bulunduğunu, sıfır olması durumunda ise değişkenler arasında

hiçbir doğrusal ilişkinin olmadığını anlatmaktadır. Korelasyon katsayısının mutlak değeri sıfırdan bire doğru gittikçe ilişki kuvvetlenmektedir. r 'nin eksi olması durumunda değişkenler arasında ters orantı olduğu yani değişkenlerden birinin artması halinde diğerrinin azalacağını göstermektedir (Bayazıt, 1996). Regresyon modelleri oluşturulurken yararlanılan Fırat havzasına ait topoğrafik, meteorolojik ve hidrolojik verilerin birbirleri arasındaki korelasyonları Çizelge 4.6'da gösterilmektedir.

Değişkenler arasındaki ilişkilerin yapısı hakkında daha iyi bilgi edinmek için kullanılan en yaygın yöntem değişkenlerin saçılma grafiklerinin incelenmesidir. Saçılma grafiklerinde değişkenlerin birlikte dağılımları yer almaktadır. Bu grafikler oluşturulurken gözlem çiftlerinin kesiştiği noktalar belirlenip grafik üzerine işaretlenmektedir. Şekil 4.4'te Fırat havzasından elde edilen değişkenlerin birbirleri arasındaki saçılma grafikleri gösterilmektedir.

Literatürde yapılan benzer çalışmalar incelendiğinde çeşitli bölgelerin farklı havzalarından elde edilen aynı değişkenlerle taban akışı indeksi ve taban akışı değerlerinin benzer ilişkiler içerisinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.6 incelendiğinde taban akışı ile yağış alanı arasında yüksek bir korelasyon olduğu ve taban akışının geniş yağış alanına sahip olan istasyonlarda daha büyük değerlere ulaştığı görülmektedir. Şekil 4.8'de görülen Q_b 'ye karşılık A grafiği bu ilişkinin doğru orantı şeklinde olduğunu görsel olarak da kanıtlamaktadır. Ahiablame ve diğ. (2013) taban akışının yağış alanının büyümesiyle artma eğiliminde olduğunu ve bu iki değişken arasında yüksek korelasyon bulunduğunu saptamıştır.

TAI drenaj yoğunluğu ile ters orantılı şekilde değişmektedir. Şekil 4.4'te TAI 'ya karşılık DY olarak çizilen grafikte de görülen bu ilişkinin sebebi büyük drenaj yoğunluğuna sahip havzalarda suyun daha çabuk bir şekilde akarsuya ulaşmasıdır. Başka bir deyişle yüzey altı sularının görece yavaş olmasından dolayı havza yüzeyinden gelecek sular daha çabuk bir şekilde akarsu akımına katılacaktır. Mwakalila ve diğ. (2002) de yaptığı çalışmada benzer sonuçlara ulaşmıştır. Aynı şekilde drenaj sıklığı ve drenaj indeksi de TAI ile ters orantılıdır. TAI artan drenaj sıklığı ve drenaj indeksi değişkenleriyle azalan bir trend göstermektedir.

Çizelge 4.6: Regresyon modellemesinde kullanılan değişkenlere ait korelasyon matrisi

	<i>A</i>	<i>AATU</i>	<i>DY</i>	<i>DS</i>	<i>Dİ</i>	<i>OAYE</i>	<i>Eİ</i>	<i>PET</i>	<i>OYY</i>	<i>İİ</i>	<i>T</i>	<i>TK</i>	<i>K</i>	<i>Q</i>	<i>ES</i>
<i>A</i>	1,000														
<i>AATU</i>	0,993	1,000													
<i>DY</i>	0,314	0,364	1,000												
<i>DS</i>	0,259	0,320	0,978	1,000											
<i>Dİ</i>	0,314	0,364	1,000	0,978	1,000										
<i>OAYE</i>	-0,409	-0,374	-0,338	-0,209	-0,338	1,000									
<i>Eİ</i>	-0,478	-0,439	-0,001	0,075	-0,001	0,731	1,000								
<i>PET</i>	0,188	0,219	0,614	0,531	0,614	-0,480	-0,398	1,000							
<i>OYY</i>	0,131	0,158	0,002	-0,036	0,002	0,099	0,250	-0,199	1,000						
<i>İİ</i>	-0,124	-0,112	-0,538	-0,460	-0,538	0,598	0,398	-0,732	0,647	1,000					
<i>T</i>	-0,169	-0,203	-0,617	-0,530	-0,617	0,486	0,377	-0,990	0,130	0,710	1,000				
<i>TK</i>	0,625	0,631	0,414	0,320	0,414	-0,273	0,044	0,187	0,569	0,032	-0,207	1,000			
<i>K</i>	-0,232	-0,185	0,157	0,157	0,157	0,149	-0,058	0,678	-0,215	-0,387	-0,689	-0,224	1,000		
<i>Q</i>	0,950	0,946	0,298	0,224	0,298	-0,351	-0,326	0,129	0,331	0,005	-0,113	0,779	-0,318	1,000	
<i>ES</i>	0,669	0,707	0,740	0,688	0,740	-0,320	-0,027	0,373	0,415	-0,159	-0,392	0,886	-0,097	0,744	1,000



Şekil 4.4: Bağımsız değişkenlerin saçılma grafikleri.

TAI potansiyel evapotranspirasyonla negatif bir ilişkiye sahiptir. Mazvimavi ve diğ. (2004)'te evapotranspirasyonun yüzey altındaki suyun azalmasına neden olduğunu ve bu nedenle yüksek *PET* değerlerinin *TAI*'yı olumsuz etkilediğini ortaya koymuştur. Yine aynı çalışmada eğimin *TAI* üzerinde pozitif etkisi olduğu görülmektedir. Fırat havzası için yapılan bu çalışmada da akarsu ortalama yatak eğimi hesaplanmış ve küçük ancak pozitif bir ilişki saptanmıştır.

TAI havzanın denizden olan yüksekliği ile ters orantılı bir şekilde değişmektedir. Artan kotla birlikte *TAI* azalan bir eğilim içerisinde. Haberlandt ve diğ (2001)'de benzer bir ilişki gözlenmiştir. Aynı çalışmada Fırat havzasında da olduğu gibi ortalama yıllık yağış ile taban akışı arasında negatif bir ilişki saptanmıştır.

5. UYGULAMA

5.1 Kullanılan Program (PASW İstatistik 18 Programı)

Çalışmada belirlenen havza özellikleriyle taban akışını ilişkilendirmek için PASW istatistik paket programından yararlanılmıştır. İlk olarak 1968 yılında SPSS adı altında piyasaya çıkan bu program daha sonra 2009 yılında PASW olarak adını değiştirmiştir. Özellikle istatistik biliminin karmaşık ve uzun zaman alan istatistiksel hesaplarını hızlı bir şekilde gerçekleştirme olanağı sunmaktadır. Girilen verilerden istatistiksel çıkarımlar yapılmasını sağlayan ve sonuçlar üzerinden yorumlamayı kolaylaştıran bir bilgisayar yazılımıdır. Bu özellikleriyle tüm dünyada farklı branşlarda geniş uygulama alanı bulmuştur. Özellikle kurumsallaşmış firmalar, üniversiteler ve bağımsız araştırma enstitülerini kapsayan geniş kullanıcı yelpazesine sahiptir.

Programın içeriğine bakıldığında Şekil 5.1’de görülen programın arayüzünde yer alan çeşitli menüler sayesinde çok sayıda istatistiksel analiz yapma olanağı program tarafından sunulmaktadır. PASW istatistik 18 paket programı betimsel istatistikler, parametrik ve parametrik olmayan testler, regresyon ve faktör analizleri gibi çok sayıda istatistiksel analizler üreten bir programdır (SPSS Inc, 2009).

Çalışmanın amacı olan Fırat havzasının topoğrafik, meteorolojik ve hidrolojik özellikleriyle taban akışı indeksi ve taban akışının tahmin edilmesi kurulan çok değişkenli regresyon modelleri ile sağlanmıştır. Model oluşturma, oluşturulan modelin kalibrasyonu ve validasyonu aşamalarında PASW programı işlemlerin daha pratik ve hızlı olması açısından tercih edilmiştir. Havza içerisinden sağlanan bağımlı ve bağımsız değişkenlerin modellenmesi aşaması Şekil 5.2’te gösterildiği gibi pratik bir şekilde düzenlenebilmektedir.

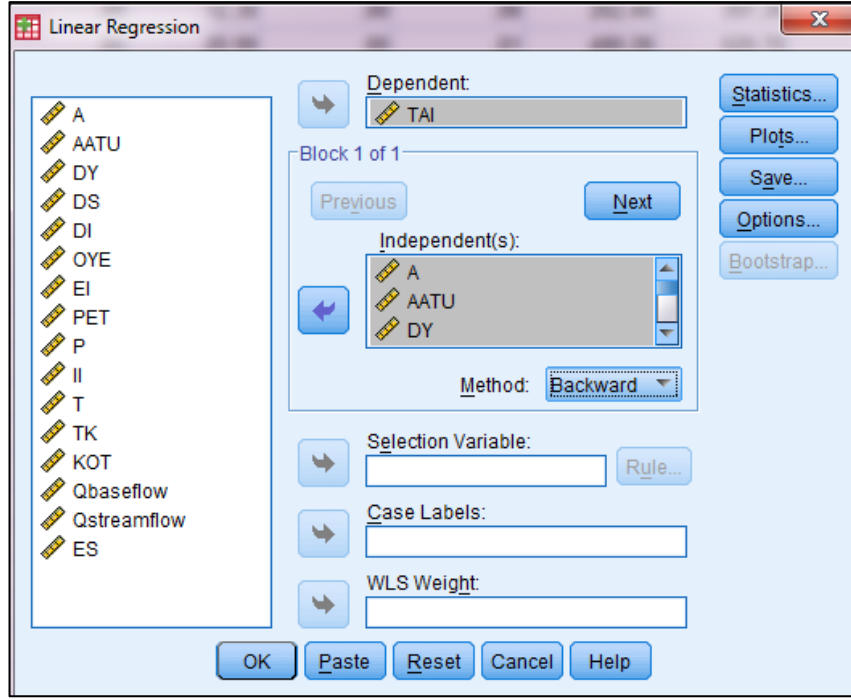
Visible: 17 of 17 Variables

	TAI	A	AATU	DY	DS	DI	OYE	EI	PET	P	II	T	TK	KOT	Qbaseflow	Qstr
1	,77	25515,60	1977,95	,08	,00	12,38	,00	,08	262,46	397,30	1,51	11,95	1259,00	852,00	70003,50	9
2	,76	5882,40	1609,92	,27	,05	20,99	,00	,01	480,28	520,70	1,08	6,18	53,00	1552,00	12890,00	1
3	,98	863,60	67,88	,08	,00	2,31	,01	,18	158,66	632,60	3,99	16,15	521,00	560,00	3404,30	
4	,94	1256,10	114,03	,09	,01	3,22	,01	,19	237,83	372,70	1,57	13,74	667,00	1193,00	2900,70	
5	,74	277,60	87,15	,31	,07	5,23	,04	,58	238,44	372,70	1,56	13,74	964,00	892,00	442,30	
6	,87	3284,80	664,16	,20	,03	11,59	,02	,21	271,26	796,00	2,93	12,83	1208,00	875,00	27390,40	3
7	,89	154,80	7,29	,05	,00	,59	,07	,42	126,58	678,40	5,36	17,24	518,00	1252,00	1310,00	
8	,92	5780,80	895,08	,15	,02	11,77	,01	,12	237,83	372,70	1,57	13,74	927,00	933,00	7296,20	
9	,90	875,00	123,69	,14	,01	4,18	,01	,12	262,60	796,00	3,03	12,83	348,00	1195,00	11134,80	1
10	,87	1669,00	293,67	,18	,02	7,19	,03	,28	262,60	796,00	3,03	12,83	1161,00	900,00	16152,50	1
11	,70	2886,00	731,87	,25	,05	13,62	,01	,11	542,06	407,50	,75	5,40	600,00	1675,00	5013,70	
12	,88	15562,00	3622,90	,23	,04	29,04	,01	,11	350,34	376,40	1,07	10,89	1410,00	865,00	47683,00	5
13	,71	2173,00	347,03	,16	,02	7,44	,01	,18	343,65	751,80	2,19	9,71	830,00	1250,00	6596,40	
14	,74	1577,60	4139,21	2,62	4,78	104,21	,00	,07	343,65	751,80	2,19	9,71	295,00	1310,00	5076,10	
15	,66	2232,00	660,47	,30	,06	13,98	,01	,10	291,63	938,20	3,22	11,95	470,00	990,00	7935,10	1
16	,77	5385,80	843,88	,16	,02	11,50	,01	,13	262,46	397,30	1,51	12,83	975,00	845,00	21993,70	2
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																

PASW Statistics Processor is ready

Şekil 5.1: PASW istatistik programının arayüzü.

Şekil 5.3'te değişkenlerin düzenlenmesi ve seçilen yöntem ile program tarafından üretilen sonuçların yer aldığı bölüm görülmektedir. Model ile ilgili tüm testler ve kontroller burada yapılmaktadır. Ancak model sonuçlarının doğru şekilde yorumlanması ve en iyi modelin başta yapılan varsayımlar çerçevesinde belirlenmesi yine programı kullanan kişi tarafından yapılmalıdır. Kısaca program sonuç olarak istenilen testleri, grafikleri ve değerleri üretmekte ancak bunların yorumlanması kullanıcının inisiyatifine bırakılmaktadır. Programın bu şekilde müdahale edilebilir olması kullanıcıya önemli bir avantaj sağlamaktadır.



Şekil 5.2: PASW istatistik programı doğrusal regresyon penceresi.

LOG_BFI_Rn_SLP_Temp_Qs.spv [Document1] - PASW Statistics Viewer

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

Output

Log

Regression

Notes

Active Dataset

Descriptive Statistics

Correlations

Variables Entered/Removed

Model Summary

ANOVA

Coefficients

Excluded Variables

Collinearity Diagnostics

Residuals Statistics

Charts

Title

*zresid Histogram

*zresid Normal

*zresid by *z

*BFI by SI Partial

*BFI by P Partial

*BFI by TEMP

*BFI by Qs Partial

*BFI by Rn Partial

Model Summary^f

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.952 ^a	.906	.625	.03275	.906	3,221	9	3	.183	1.907
2	.952 ^b	.906	.718	.02842	.000	.012	1	3	.921	
3	.950 ^c	.903	.766	.02586	-.003	.139	1	4	.728	
4	.935 ^d	.874	.748	.02685	-.029	1,470	1	5	.279	
5	.913 ^e	.834	.716	.02850	-.040	1,885	1	6	.219	

a. Predictors: (Constant, Rn, Elev, SI, P, TEMP, Qs, ACS, PET, DI)
b. Predictors: (Constant, Rn, Elev, SI, P, TEMP, Qs, ACS, DI)
c. Predictors: (Constant, Rn, SI, P, TEMP, Qs, ACS, DI)
d. Predictors: (Constant, Rn, SI, P, TEMP, Qs, DI)
e. Predictors: (Constant, Rn, SI, P, TEMP, Qs)
f. Dependent Variable: BFI

ANOVA^f

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.031	9	.003	3,221	.183 ^a
	Residual	.003	3	.001		
	Total	.034	12			
2	Regression	.031	8	.004	4,811	.073 ^b
	Residual	.003	4	.001		
	Total	.034	12			
3	Regression	.031	7	.004	6,618	.027 ^c
	Residual	.003	5	.001		
	Total	.034	12			

PASW Statistics Processor is ready

Şekil 5.3: PASW istatistik programı sonuç penceresi.

5.2 Model Kalibrasyonu (Parametrelerin Ayarlanması)

Taban akışı indeksini ve taban akışını havzanın çeşitli özellikleri kullanılarak tahmin etmek üzere iki çok değişkenli regresyon denklemi geliştirilmiştir. Bu denklemler geliştirilirken Fırat havzasında yer alan 12 akım gözlem istasyonuna ait havzanın topoğrafik, meteorolojik ve hidrolojik özelliklerinden yararlanılmıştır. Geriye kalan 3

AGİ ise model doğrulaması için rastgele seçilmiştir. Bu akım gözlem istasyonları: 2122 Tutak, 2124 Yazıköy ve 2156 Bağıştaş istasyonudur. PASW istatistik 18 programı ile bu denklemler

$$TAI = 18,707EI^{0,193}OYY^{-0,272}K^{-0,190}ES^{-0,150}Q^{0,120} \quad (5.1)$$

$$Q_b = 10^{-10,595}EI^{-1,608}OYY^{2,266}K^{1,582}ES^{1,250}TAI^{9,331} \quad (5.2)$$

şeklinde oluşturulmuştur. Denklem (5.1) ve denklem (5.2)'le TAI ve Q_b tahmin edilmeye çalışılan değişkenlerdir. Bir başka deyişle bu iki değişken bağımlı değişkenlerdir. Her iki denklemde de etkin olan değişkenler; eğim indeksi (EI), ortalama yıllık yağış (OYY), kot (K) ve engebelilik sayısıdır (ES). Bunlara ek olarak taban akışı indeksini daha iyi açıklayabilmek için ortalama akarsu akımı, taban akışını açıklamak için ise taban akışı indeksi kullanılmıştır. Tüm bu değişkenler bağımlı değişkenleri açıklamak için kullanıldıklarından bağımsız değişkenler olarak adlandırılmaktadır.

(5.1) ve (5.2) denklemlerinin kalibrasyon aşamalarında Bölüm 3'te anlatıldığı üzere F ve t testleriyle değişkenlerin anlamlılıkları her iki denklem için de ayrı ayrı kontrol edilmesi gerekmektedir.

5.2.1 Taban akışı indeksi regresyon modeli

Denklem (5.1)'de görüldüğü gibi TAI havzanın farklı değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak verilmiştir. Değişkenlere bakıldığında ES ve K değişkenlerinin TAI ile orta derecede, OYY , EI ve Q değişkenlerinin ise istatistiksel olarak zayıf korelasyon içinde oldukları saptanmıştır (Çizelge 5.2). Ancak modelde bulunacak değişken seçimi için kullanılan geriye doğru eleme yöntemi ile oluşturulan regresyon denklemlerinde zayıf korelasyonlu değişkenler de yer almış ve taban akışı indeksi ile taban akışı değerlerinin daha anlamlı bir şekilde açıklanmasında yardımcı olmuşlardır. Bu da Dattolo (2013)'ün bahsettiği gibi geriye doğru eleme yöntemindeki değişkenlerin ortak tahmin kabiliyeti ile mümkün olmuştur. Kurulan modele ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 5.1'de, değişkenler arasındaki korelasyonlar da Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.1: Taban akışı indeksi tanımlayıcı istatistikleri.

Değişkenler	Ortalama	Standart Sapma
log <i>TAI</i>	-0,1007	0,05242
log <i>EI</i>	-1,5732	0,20867
log <i>OYY</i>	2,8429	0,12755
log <i>K</i>	3,0051	0,12434
log <i>Q</i>	1,3957	0,59487
log <i>ES</i>	-0,7257	0,40281

Çizelge 5.2: Taban akışı indeksi denklemi korelasyon sonuçları.

		log <i>TAI</i>	log <i>EI</i>	log <i>OYY</i>	log <i>K</i>	log <i>Q</i>	log <i>ES</i>
Pearson	log <i>TAI</i>	1,000	0,287	0,102	-0,481	-0,070	-0,509
Korelasyon	log <i>EI</i>	0,287	1,000	0,004	-0,073	-0,401	-0,032
Katsayısı	log <i>OYY</i>	0,102	0,004	1,000	-0,215	0,718	0,276
	log <i>K</i>	-0,481	-0,073	-0,215	1,000	-0,113	-0,034
	log <i>Q</i>	-0,070	-0,401	0,718	-0,113	1,000	0,611
	log <i>ES</i>	-0,509	-0,032	0,276	-0,034	0,611	1,000

Çizelge 5.1 ve 5.2’de logaritmik dönüşüm uygulanmış bağımlı değişkenle bağımsız değişkenlerin ortalama, standart sapma ve korelasyon değerleri gösterilmektedir. Burada bağımsız değişkenler arasındaki korelasyonların güçlü olması istenen bir durum değildir. Kuvvetli korelasyon durumunda çoklu regresyon modeline değişkenler benzer bilgiyle katkı sağlar ve değişkenlerin modelde olup olmamaları modelin gücünü etkilemez. Bağımsız değişkenler arasındaki 0,80 ve üzerindeki korelasyonlar çoklu bağlantı probleminin bir göstergesidir. Bu durumda bazı değişkenler modelden çıkarılabilir (Kalaycı, 2010). Çizelge 5.2 incelendiğinde tüm değişkenler arasındaki korelasyon değerleri 0,80’nin altında bulunmaktadır. Bu istenen bir durumdur.

Modelin determinasyon katsayısını, ayarlanmış determinasyon katsayısını ve tahminin standart hatasını gösteren model özeti Çizelge 5.3’te görülmektedir. Çoklu regresyon analizi sonucunda elde edilen ve modelin veriye uygunluğunu gösteren determinasyon katsayıları (R^2) bağımlı değişkendeki (taban akışı indeksi) değişimin ne kadarının modeldeki bağımsız değişkenler tarafından açıklandığını gösterir. Buna göre *TAI*’nın %86’lık kısmının denklem (5.1)’de yer alan değişkenler tarafından açıklandığı görülmektedir. Modele dahil edilmeyen değişkenler tarafından açıklanan %14’lük kısım ise hata terimleri vasıtasıyla açıklanmaktadır. Modeldeki bağımsız değişken sayısı arttığında R^2 artar. Diğer taraftan serbestlik derecesi azaldığından

tahmin hataları da yükselir. Burda $adj R^2$ 'e bakmak gerekir. Çünkü $adj R^2$ sadece eklenen değişkenin bağımlı değişken ile ilişkili olması durumunda artmaktadır (Kalaycı, 2010).

Çizelge 5.3: Taban akışı indeksi model özeti.

R^2	Ayarlanmış R^2	Tahminin Standart Hatası
0,862	0,747	0,02638

Regresyon modelleri için elde edilen varyans analizi tablosunda (ANOVA) yer alan F istatistiği modellerin bir bütün olarak anlamlı olup olmadıklarını test etmek için kullanılır. Çizelge 5.4 incelendiğinde F değeri 7,487 olarak bulunmuş ve model'in %5 anlamlılık düzeyinde anlamlı olduğu saptanmıştır.

Çizelge 5.4: Taban akışı indeksi varyans analizi tablosu.

Değişim Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Anlamlılık p
Regresyon	0,026054	5	0,005211	7,487	0,014687
Hata	0,004176	6	0,000696		
Toplam	0,030230	11			

Çizelge 5.5'te modelde yer alan değişkenlerin regresyon katsayıları, beta değerleri, t istatistiği ve p değerleri görülmektedir. Daha önce bahsedilen F istatistiği modelin bir bütün olarak anlamlılığını test etmek için kullanılırken, t istatistiği değişkenlerin ayrı ayrı anlamlılıklarını test etmek amacıyla kullanılmaktadır (Kalaycı, 2010). Çizelge 5.5 incelendiğinde OYY'nin %10, diğer değişkenlerin ise %5 anlamlılık düzeyinde anlamlı oldukları p değerlerine bakılarak anlaşılmaktadır.

Model içerisinde yer alan değişkenlerin önem sırasını belirlemek için standart beta ($St\beta$) değerine bakmak gerekir. Çizelge 5.5'te hesaplanan beta değerlerinden denklem (5.1) için en önemli değişkenin Q olduğu, ardından sırası ile ES , OYY , EI ve K 'nın geleceği görülmektedir.

Çizelge 5.5: Taban akışı indeksi model katsayıları.

Model Değişkenleri	Standartlaştırılmamış		Standartlaştırılmış		Anlamlılık
	<u>Katsayılar</u>		<u>Katsayılar</u>		
	B	Standart Hata	Beta	t	
(Sabit)	1,272	0,412		3,090	0,021
log <i>EI</i>	0,193	0,054	0,769	3,552	0,012
log <i>OYY</i>	-0,272	0,118	-0,662	-2,309	0,060
log <i>K</i>	-0,190	0,066	-0,452	-2,898	0,027
log <i>Q</i>	0,120	0,035	1,367	3,464	0,013
log <i>ES</i>	-0,150	0,030	-1,153	-4,954	0,003

Çizelge 5.5'teki katsayılarla oluşturduğu logaritmik doğrusal model

$$\log TAI = 1,272 + 0,193 \log EI - 0,272 \log OYY - 0,190 \log K - 0,150 \log ES + 0,120 \log Q \quad (5.3)$$

ile verilebilir. Denklem (5.3) denklem (5.1)'in logaritmik doğrusal şeklindedir.

5.2.2 Taban akışına ait regresyon modeli

Denklem (5.2)'de taban akışı (Q_b), EI , OYY , K , ES ve TAI bağımsız değişkenleri kullanılarak hesaplanan bir fonksiyon olarak verilmiştir. Çizelge 5.7 incelendiğinde Q_b 'nin OYY ve ES değişkenleri ile iyi derecede diğer değişkenlerle ise istatistiksel olarak zayıf korelasyon içinde oldukları saptanmıştır. Buna rağmen tüm değişkenler modele dahil edilmiş ve değişkenlerin ortak tahmin kabiliyetinden yararlanılmıştır. Kurulan modele ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 5.6'da, değişkenler arasındaki korelasyonlar da Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.6: Taban akışı tanımlayıcı istatistikleri.

Değişkenler	Ortalama	Standart Sapma
$\log Q_b$	1,2959	0,59323
$\log EI$	-1,5732	0,20867
$\log OYY$	2,8429	0,12755
$\log K$	3,0051	0,12434
$\log ES$	-0,7257	0,40281
$\log TAI$	-0,0995	0,04865

Çizelge 5.7: Taban akışı denklemi korelasyon sonuçları.

		$\log Q_b$	$\log EI$	$\log OYY$	$\log K$	$\log ES$	$\log TAI$
Pearson	$\log Q_b$	1,000	-0,376	0,729	-0,156	0,568	0,001
Korelasyon	$\log EI$	-0,376	1,000	0,004	-0,073	-0,032	0,311
Katsayısı	$\log OYY$	0,729	0,004	1,000	-0,215	0,276	0,106
	$\log K$	-0,156	-0,073	-0,215	1,000	-0,034	-0,517
	$\log ES$	0,568	-0,032	0,276	-0,034	1,000	-0,552
	$\log TAI$	0,001	0,311	0,106	-0,517	-0,552	1,000

Çizelge 5.6 ve 5.7’de logaritmik dönüşüm uygulanmış Q_b bağımlı değişkeniyle EI , OYY , T , ES ve TAI bağımsız değişkenlerinin aritmetik ortalaması, standart sapması ve korelasyon değerleri görülmektedir. Modellerde içsel bağımlılık olmaması için istenen bağımsız değişkenler arasındaki korelasyonun 0,8’den küçük olması koşulu burada sağlanmıştır.

Çizelge 5.8’de modele ait R^2 , $adj R^2$ ve tahminin standart hatası gösterilmektedir. Çok değişkenli regresyon analizi neticesinde oluşturulan model için hesaplanan determinasyon katsayısı 0,999 olarak bulunmuştur. Serbestlik derecesine göre ayarlanmış determinasyon katsayısı 0,998 ve standart hata ise %2,6’dır.

Çizelge 5.8: Taban akışı model özeti.

R^2	Ayarlanmış R^2	Tahminin Standart Hatası
0,999	0,998	0,02609

Modelin hassasiyetini, uygunluğunu ve yeterliliğini belirlemek amacı ile yapılan varyans analizi Çizelge 5.9’da yer almaktadır. Hesaplanan F değeri modelin bir bütün olarak her düzeyde anlamlı olduğunu göstermektedir ($p = 0,000$).

Çizelge 5.9: Taban akışı modeli varyans analizi tablosu.

Değişim Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Anlamlılık p
Regresyon	3,86703	5	0,773406	1136,091	0,000
Kalıntı	0,004085	6	0,000681		
Toplam	3,871114	11			

Çizelge 5.10’da modelin tahmini sonucu elde edilen değişken katsayıları ve bunlara ait t değerleri gösterilmektedir. Çizelge incelendiğinde değişkenlere ait t istatistik değerlerinden model içerisinde kalan tüm değişkenlerin her düzeyde ayrı ayrı anlamlı oldukları görülmektedir. En yüksek beta değerine sahip olan bağımsız değişken en

önemli bağımsız değişkendir. Denklemdaki değişkenlerin önem sırası *ES*, *TAI*, *EI*, *OYY* ve *K*'dir. Denklem (5.2) logaritmik doğrusal formda

$$\log Q_b = -10,595 - 1,608 \log EI + 2,666 \log OYY + 1,582 \log K + 1,250 \log ES + 9,331 \log TAI \quad (5.4)$$

haline dönüştürülebilir.

Çizelge 5.10: Taban akışı model katsayıları.

Model Değişkenleri	Standartlaştırılmamış Katsayılar		Standartlaştırılmış Katsayılar		Anlamlılık <i>p</i>
	B	Standart Hata	Beta	<i>t</i>	
(Sabit)	-10,595	0,318		-33,327	0,000
$\log EI$	-1,608	0,042	-0,565	-38,733	0,000
$\log OYY$	2,266	0,068	0,487	33,222	0,000
$\log K$	1,582	0,085	0,332	18,712	0,000
$\log ES$	1,250	0,029	0,849	42,774	0,000
$\log TAI$	9,331	0,287	0,765	32,564	0,000

5.3 Model Validasyonu

Bu bölümde model varsayımları teker teker ele alınacak ve geçerliliklerinin kontrolü literatürde yaygın olarak kullanılan ve kabul görmüş çeşitli testler yardımıyla her iki regresyon denklemi için sınanacaktır.

5.3.1 Çoklu doğrusal bağlantının olmaması

Bu çalışmada Çizelge 5.11'de görüldüğü gibi geliştirilen modellerde bulunan değişkenler için varyans artış faktörleri (*VIF*) hesaplanmış ve değişkenlerin çoklu bağlantı problemine neden olup olmadıkları araştırılmıştır. Mevcut modellerdeki tüm bağımsız değişkenlerin *VIF* değerleri 7,5'in altında bulunduğu için değişkenler arasında çoklu bağlantı probleminin olmadığı görülmektedir.

Çizelge 5.11: Modellerdeki bağımsız değişkenlere ait *VIF* değerleri.

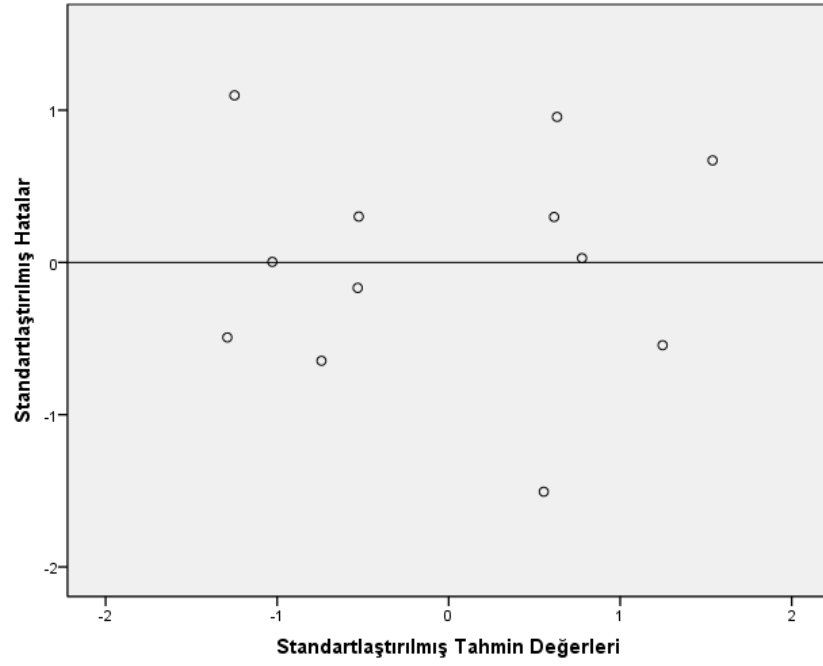
		<i>VIF</i>
Model <i>TAI</i>	$\log EI$	2,034
	$\log OYY$	3,575
	$\log K$	1,055
	$\log Q$	6,760
	$\log ES$	2,352
Model <i>Q_b</i>	$\log EI$	1,212
	$\log OYY$	1,223
	$\log K$	1,786
	$\log ES$	2,240
	$\log TAI$	3,140

5.3.2 Hatalar arasında otokorelasyon bulunmaması

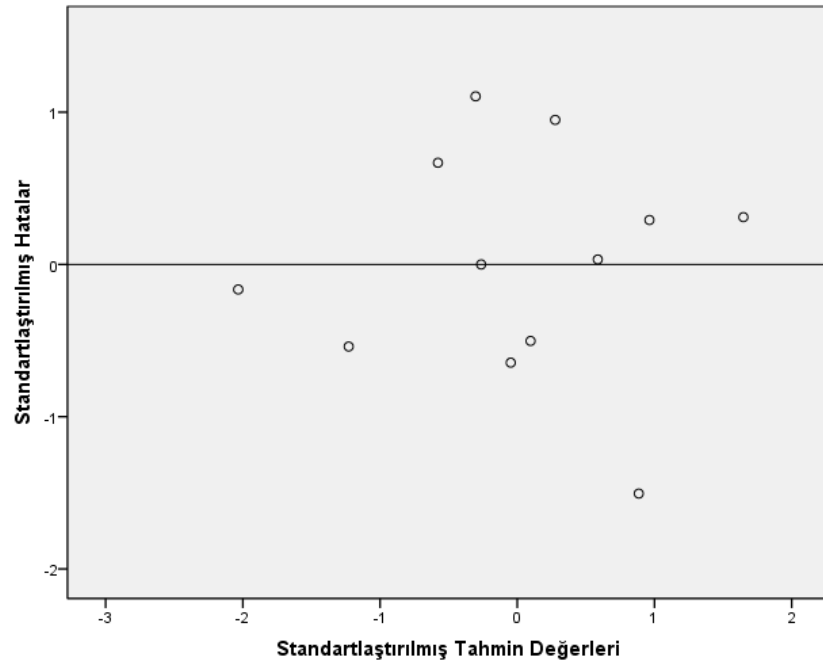
Hatalar arasında otokorelasyonun varlığı araştırılırken Durbin-Watson (*DW*) test istatistiğinden yararlanılır. Taban akışı indeksi ve taban akışı regresyon modellerinde *DW* istatistiği sırasıyla 1,981 ve 1,973 olarak hesaplanmıştır. *DW* değeri genellikle 1,5 ve 2,5 arasında olduğunda modelde otokorelasyon olmadığını kabul edilmektedir (Kalaycı, 2010). Böylece geliştirilen modeller için hatalar arasında otokorelasyon bulunmaması varsayımı sağlanmıştır.

5.3.3 Eşit varyans

Bu çalışmada PASW istatistik 18 programı yardımıyla elde edilen standartlaştırılmış hatalara karşı çizilen standartlaştırılmış tahmin değerleri grafikleri her iki model için elde edilmiş ve bu değerlerin sıfır ekseninin altında ve üstünde rastgele dağıldıkları gözlenmiştir. Bu durum istenilen bir sonuçtur ve modelden kaynaklanan bir hatanın olmadığını ve yapılan eşit varyans varsayımının geçerli olduğunu ortaya koymaktadır. Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’de sırasıyla taban akışı indeksi ve taban akışı için standart hata grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 5.4: Taban akışı indeksi için eşit varyans varsayımı grafiği.

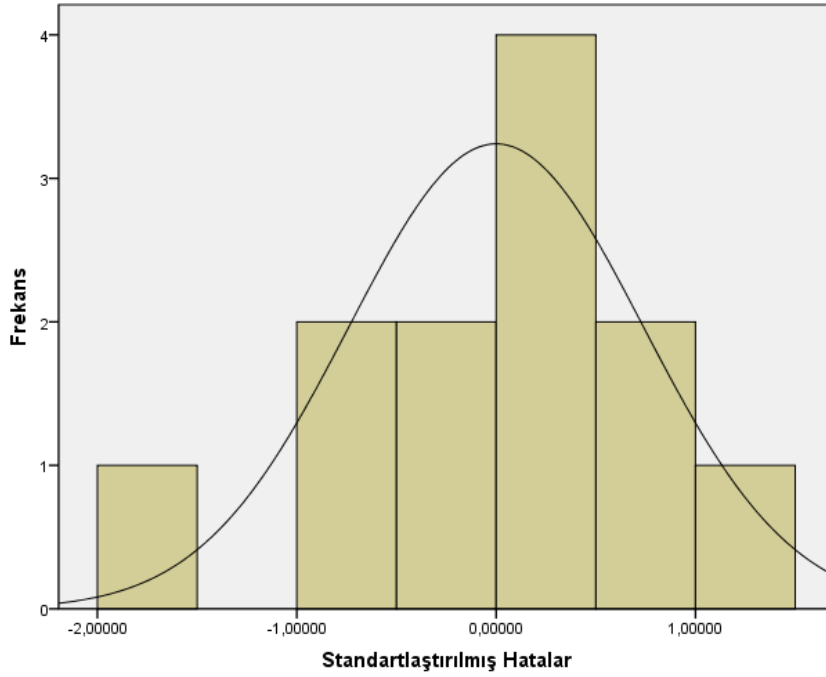


Şekil 5.5: Taban akışı için eşit varyans varsayımı grafiği.

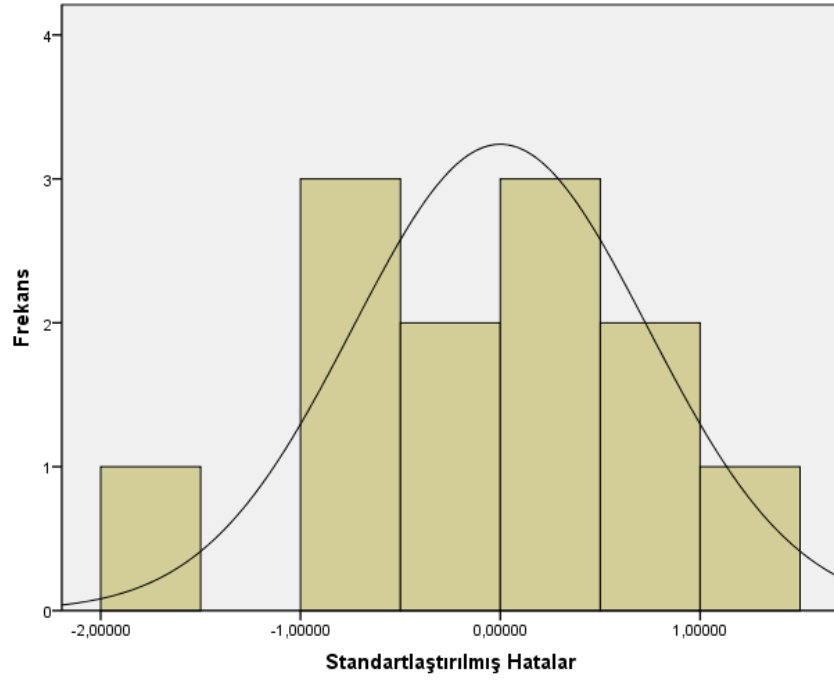
5.3.4 Normal dağılım

Normal dağılım varsayımı kontrol edilirken hataların histogram ve P-P grafikleri ile Kolmogorov-Simirnov ve Shapiro-Wilk testlerinden yararlanılmıştır. Regresyon modelleri hatalarının histogramları Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de gösterildiği gibi çizilmiştir. Ayrıca bu histogramlar üzerine yerleştirilen eğrilerle modellerin normal

dağılıma uygunluğu araştırılmıştır. Taban akışı indeksi modelindeki hataların histogramı üzerine çizilen eğrinin ortalaması sıfır, standart sapması ise 0,74 olarak bulunmuştur. Ayrıca Fisher çarpıklık ve basıklık katsayılarının standart hatalarına bölünmesiyle elde edilen çarpıklık ve basıklık değerleri hesaplanmıştır. Bu işlem neticesinde çarpıklık ve basıklık değerleri sırasıyla -0,604 ve 0,153 olarak bulunmuştur. Normal dağılımdaki değerlerin %95'i ortalamadan +1,96 ve -1,96 standart sapma aralığında yer alır. Bulunan çarpıklık ve basıklık değerleri bu aralık içerisinde yer aldığından hataların normale yakın dağıldığı söylenebilir. Diğer bir taraftan taban akışı modeline bakıldığında ise ortalaması sıfır, standart sapması 0,74, çarpıklık değeri -0,6, basıklık değeri ise 0,149 olarak bulunmuş ve dağılımın normal dağılıma yakın olduğu gösterilmiştir.

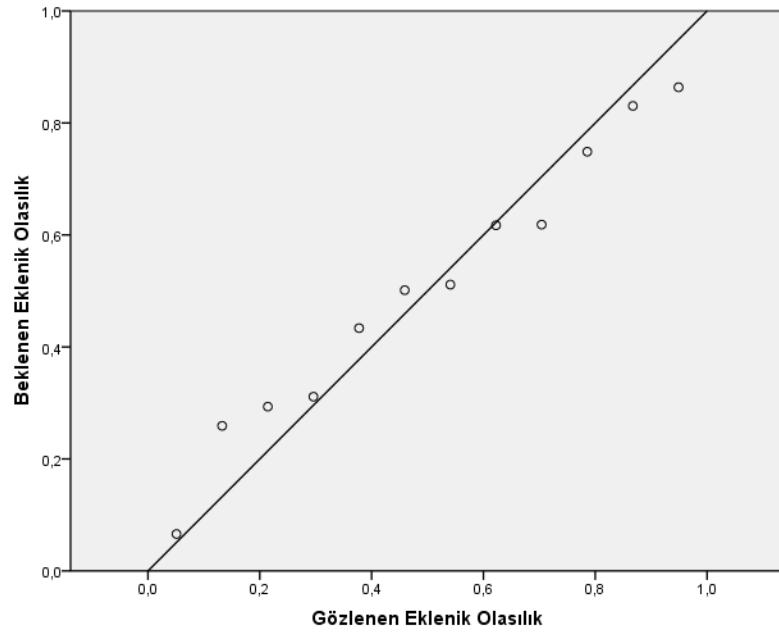


Şekil 5.6: Taban akışı indeksi modeli standartlaşmış hatalar histogramı.

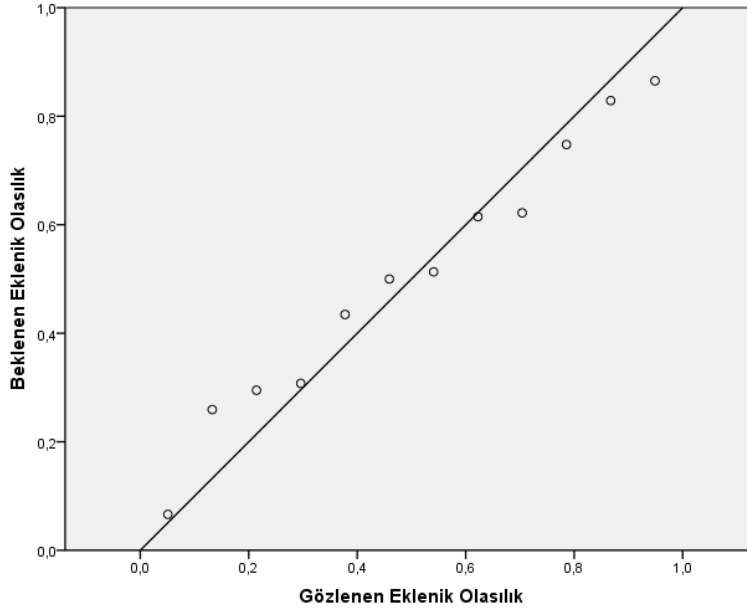


Şekil 5.7: Taban akışı modeli standartlaştırılmış hatalar histogramı.

Hataların incelenmesi yapılırken kullanılan diğer grafik yöntem ise P-P grafikleridir. Eğer üzerinde çalışılan örnek normal dağılım gösteren bir toplumdan alındıysa, değerlerin bir doğru üzerinde veya etrafında toplanması gerekir. Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da standartlaştırılmış hataların normal P-P grafikleri görülmektedir.



Şekil 5.8: Taban akışı indeksi P-P grafiği.



Şekil 5.9: Taban akışı P-P grafiği.

Çizelge 5.12’de modeller için hesaplanan istatistikler görülmektedir. Hatalar %5 anlamlılık düzeyine göre her iki test yöntemiyle kontrol edilmiş ve sonuç olarak modellerin test anlamlılıkları %5’ten büyük olduğu için testlerin başında yapılan H_0 (hatalar normal dağılmıştır) hipotezi kabul edilmiştir.

Çizelge 5.12: Modellerin normal dağılım testleri.

	<u>Kolmogorov-Smirnov</u>			<u>Shapiro-Wilk</u>		
	İstatistik	Serbestlik Derecesi	Anlamlılık	İstatistik	Serbestlik Derecesi	Anlamlılık
Model TAI	0,107	12	0,200	0,970	12	0,913
Model Q_b	0,108	12	0,200	0,971	12	0,923

5.4 Uygulama Sonuçları

Fırat havzasında yer alan 12 akım gözlem istasyonu kullanılarak geliştirilen çok değişkenli regresyon modelleri için 3 AGİ model doğrulamasında kullanılmak üzere rastgele seçilmiştir. Bu akım gözlem istasyonları: 2122 Tutak, 2124 Yazıköy ve 2156 Bağıştaş istasyonudur.

Geliştirilen modellerin tahmin gücünü ölçmek için rölatif hata terimleri (RH) incelenecektir. Genel olarak rölatif hata şu şekilde formülleştirilir:

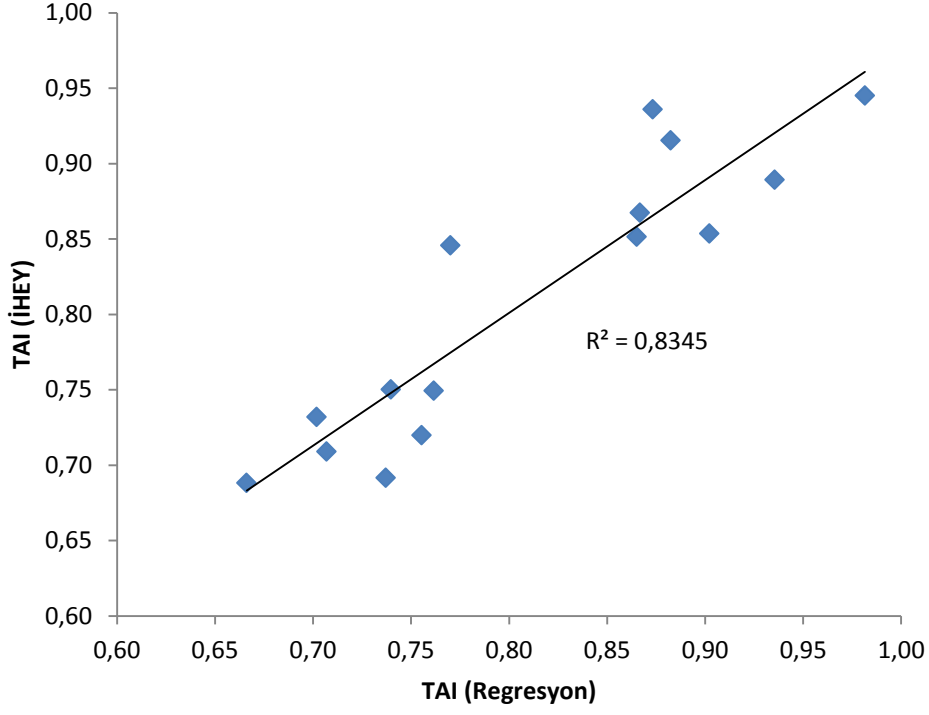
$$RH = \frac{\text{Tahmin edilen} - \text{Gözlenen}}{\text{Gözlenen}} \times 100 \quad (5.5)$$

Çizelge 5.13'te denklem (5.1) ve denklem (5.2) ile tahmin edilen değerler ve İHEY yöntemiyle hesaplanan değerler bulunmaktadır. Ayrıca rölatif hata modellerin doğruluğunu karşılaştırmak üzere hesaplanmış ve çizelgeye dahil edilmiştir.

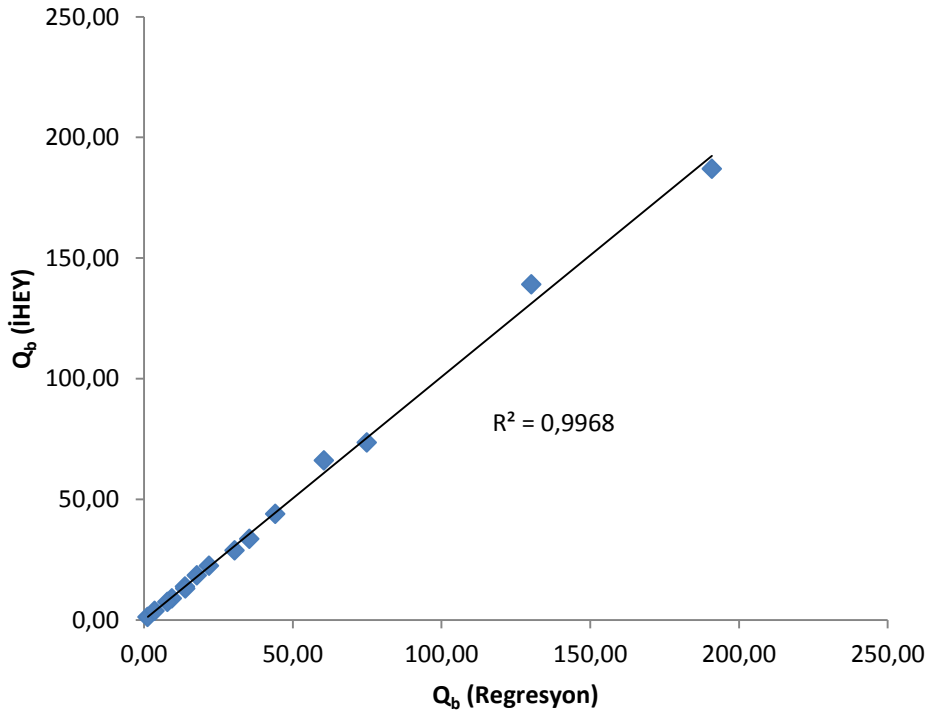
Yukarıdaki çizelgede yer alan sonuçların grafik olarak ifadesi Şekil 5.10 ve Şekil 5.11'te gösterilmektedir. Değerler arasındaki eğilimi belirlemek için çizilen trend çizgisi etrafında değerlerin çok saçılmamasından ve yapılan tahminlerle gözlenen değerler arasındaki yüksek korelasyondan dolayı geliştirilen modellerin gerçek değerlere yakın sonuçlar verdiği düşünülmektedir.

Çizelge 5.13: İHEY ve regresyon denklemlerinden hesaplanan taban akışı indeksleri ve taban akışı değerleri ve rölatif hatalar.

AGİ	TAI (İHEY)	TAI (Regresyon)	RH (%)	Q _b (İHEY)	Q _b (Regresyon)	RH (%)
2102	0,762	0,749	-1,6	190,92	187,03	-2,0
2122	0,755	0,720	-4,7	35,39	33,53	-5,3
2123	0,982	0,945	-3,7	9,34	8,96	-4,1
2124	0,936	0,889	-5,0	7,91	7,50	-5,3
2131	0,740	0,750	1,4	1,22	1,23	0,8
2133	0,865	0,851	-1,6	74,91	73,46	-1,9
2135	0,882	0,915	3,7	3,58	3,69	3,1
2147	0,902	0,854	-5,4	30,50	28,75	-5,8
2149	0,867	0,867	0,1	44,13	43,95	-0,4
2154	0,707	0,709	0,3	13,80	13,78	-0,1
2156	0,873	0,936	7,2	130,30	139,09	6,7
2157	0,702	0,732	4,3	17,81	18,48	3,8
2158	0,737	0,692	-6,2	13,95	13,03	-6,6
2164	0,666	0,688	3,3	21,87	22,50	2,8
2166	0,770	0,846	9,8	60,48	66,07	9,2



Şekil 5.10: Regresyon ve İHEY yöntemleriyle hesaplanan TAI karşılaştırması.



Şekil 5.11: Regresyon ve İHEY yöntemleriyle hesaplanan Q_b karşılaştırması.

6. SONUÇLAR

Türkiye’de hızla artan nüfus, buna paralel olarak gelişen plansız kentleşme, tarım faaliyetleri ve endüstrileşme hareketi kısıtlı miktarda bulunan su kaynaklarının ve kalitesinin ekolojik dengeyi gözeterek doğru şekilde yönetilmesini gerektirmektedir. Özellikle kurak mevsimlerde akarsu yatağındaki akımı devamlı besleyen bir kaynak olan taban akışını, Türkiye gibi yeraltı suları ile beslenen akarsuların çok olduğu ülkelerde tahmin etmek önemli bir konudur.

Bu çalışmada literatürde kabul görmüş bir yöntem olan İngiliz Hidroloji Enstitüsü Yöntemi (İHEY) kullanılarak taban akışı indeksi hesaplanmış ve taban akışını indeksini tahmin etmek için geliştirilen modelde kullanılmıştır. Regresyon modeli ile hesaplanan taban akışı değerleri İHEY ile elde edilen taban akışı değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmada Fırat havzası için taban akışı indeksini ve taban akışını tahmin etmekte kullanılacak çok değişkenli regresyon denklemleri geliştirilmiştir. Elektrik İşleri Etüt İdaresi’ne bağlı 15 akım gözlem istasyonu (AGİ) belirlenmiş ve bunların topoğrafik ve hidrometeorolojik özelliklerinden yararlanılmıştır. 15 AGİ’den 12 tanesi modelin kalibrasyonu aşamasında, 3 tanesi ise modelin validasyonu aşamasında kullanılmıştır. Yaklaşık otuz yıllık akarsu gözlem periyotlarını kapsayan günlük ortalama akış verileri İHEY’de kullanılarak taban akışı değerleri hesaplanmış ve daha sonra tüm veriler birleştirilerek taban akışı tahmini için regresyon modelleri oluşturulmuştur. Sonuçlar, seçilen regresyon yöntemi, taban akışı ayırma yöntemi ve çalışma yapılan uygulama alanı ile ilgilidir.

Çalışmada varılan sonuçlar şöyle sıralanabilir:

- 1) Fırat havzası içerisinde toplam akışın %80 kadarı yeraltı suyu akışı ve yüzeyaltı suyunun gecikmeli kısmından oluşmaktadır. Geri kalan %20’lik kısım yüzeysel akışlardan karşılanmaktadır. Bu durum Türkiye’nin en büyük su potansiyeline sahip havzası olan Fırat nehrinde taban akışının ne denli önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

- 2) Geliştirilen çoklu regresyon modelinde taban akışı indeksi eğim indeksi, ortalama yıllık yağış, kot, engebelilik sayısı ve ortalama akarsu akımı ile ilişkilendirilmiştir. Böylece havzanın topoğrafik, meteorolojik ve hidrolojik özelliklerinden yararlanılarak taban akışının açıklanabileceği görülmüştür.
- 3) Taban akışı ise eğim indeksi, ortalama yıllık yağış, kot, engebelilik sayısı ve taban akışı indeksinin bağımsız değişken olduğu bir fonksiyon ile tanımlanmıştır.
- 4) Taban akışı indeksi ve taban akışı regresyon modellerinde kullanılan bağımsız değişkenlerin erişilebilir türden olması yöntemin pratikliği açısından önemlidir.
- 5) Geliştirilen regresyon modellerinin doğruluğunun kontrolü için bu modellerle hesaplanan taban akışı indeksi ve taban akışı değerleri İHEY ile hesaplanan değerlerle karşılaştırılmış, aradaki fark rölatif hata ile değerlendirilmiştir. Hesaplanan rölatif hatanın hem kalibrasyon hem de validasyon aşamasında %10'dan küçük olduğu görülmüştür. Bu nedenle geliştirilen regresyon denklemlerinin Fırat havzası için taban akışı tahminlerinde doğru sonuçlar verdiği düşünülmektedir.

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
- Aksoy H., Bayazıt M. ve Wittenberg H.** (2001). Probabilistic approach to modelling of recession curves, *Hydrological Sciences Journal*, 46:2, 269-285
- Aksoy, H. ve Wittenberg, H.** (2011). Nonlinear baseflow recession analysis in watersheds with intermittent streamflow, *Hydrol. Sci. J.* 56 (2), 226–237.
- 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 Pektas, A.O.,** (2008). Smoother minima baseflow separation tool for perennial and intermittent streams, *Hydrol. Process.* 22 (22), 4467–4476.
- Arnold, J.G. ve Allen, P.M.** (1999). Automated methods for estimating baseflow and ground water recharge from streamflow records, *J. Am. Water Resour. Assoc.* 35 (2), 411–424.
- 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.** (1996). İnşaat mühendisliğinde olasılık yöntemleri, İTÜ İnşaat Fakültesi matbaası, İstanbul.
- Bayazıt, M.** (2003). Hidroloji, üçüncü basım, Birsan yayınevi, İstanbul.
- Bayazıt, M., Avcı, İ. ve Şen Z.** (1997). Hidroloji uygulamaları, dördüncü baskı, İTÜ İnşaat Fakültesi matbaası, İstanbul.
- Beran, M.A. ve Gustard, A.** (1977). A study into the low-flow characteristics of British rivers. *J. Hydrol.* 35, 147-157.
- Bilen, Ö.** (1996). Ortadoğu su sorunları ve Türkiye, TESAV, Ankara
- Bloomfield, J.P., Allen, D.J. ve Griffiths K.J.** (2009). Examining geological controls on baseflow index (BFI) using regression analysis: An illustration from the Thames Basin, UK, *J. Hydrol.* 373, 164-176.
- Chow, V.T., Maidment, D.R. ve Mays, L.W.** (1988). Applied hydrology, McGraw Hill Book Company, New York.
- Dattolo, P.** (2013). Analysis of multiple dependent variables, Oxford University Press

- EİEİ.** (2000). Akım gözlem yıllığı, Ankara.
- Ergener, R.** (2002). About Turkey: Geography, Economy, Politics, Religion and Culture, Pilgrims' Process, Inc., USA, 2002.
- Field, A.P.** (2009). Discovering statistics using SPSS, SAGE Publications Inc.
- Gebert, W.A., Radloff, M.J., Considine E.J. ve Kennedy, J.L.** (2007). Use of streamflow data to estimate baseflow/ground-water recharge for Wisconsin, *J. Am. Water Resour. Assoc.* 43 (1), 220–236.
- Gujarati, D. N.** (1995). Basic econometrics, 3rd ed., McGraw-Hill, New York
- Güris, S. ve Çağlayan, E.** (2000). Ekonometri Temel Kavramlar, İstanbul, Der Yayınevi Yayın No:282.
- 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.
- Hall, F.R.** (1968). Base Flow Recessions -A Review, *Water Resour. Res.*, 4 (5), 973-983
- Hangen, E., Lindenlaub, M., Leibundgut, C. ve von Wilpert, K.** (2001). Investigating mechanisms of stormflow generation by natural tracers and hydrometric data: a small catchment study in the Black Forest, Germany. *Hydrol. Process.* 15 (2), 183–199.
- Hornberger, G.M., Raffensperger, J.P., Wiberg, P.L. ve Eshleman, K.N.** (1998). Elements of physical hydrology, The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 302pp.
- Institute of Hydrology.** (1980). Low Flow Studies, Research Reports 1 and 3, Institute of Hydrology, Wallingford, Oxfordshire, UK.
- Kalaycı, S.** (2010). SPSS uygulamalı çok değişkenli istatistik teknikleri, onuncu baskı, Asil yayınları, Ankara
- Katsuyama, M., Ohte, N. ve Kobashi, S.** (2001). A three-component end-member analysis of streamwater hydrochemistry in a small Japanese forested headwater catchment, *Hydrol. Process.* 15 (2), 249–260.
- Kibaroglu A.** (1998). International regimes for effective and equitable management and use of water resources: Implications for the Euphrates-Tigris river basin, Bilkent Üniversitesi Uluslararası İlişkiler Bölümü, doktora Tezi
- Kolars, J. F. ve Mitchell W.** (1991). The Euphrates river and the southeast Anatolia Development Project, Southern Illinois University Press, Carbondale and Edwardsville: Illinois: 1991.
- Kurt, İ.** (2007). Filtre edilmiş yuvarlatılmış minimumlar taban akışı ayırma yöntemi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi.
- Lacey, G.C. ve Grayson, R.B.** (1998). Relating base flow to catchment properties in Southeastern Australia, *J. Hydrol.* 204, 231–250.
- Linsley, R. K., Jr., Kohler, M. A., and Paulhus, J. L. H.** (1949). Applied Hydrology, McGraw-Hill, pp 399-400.

- Linsley Jr. R.K., Kohler, M.A. ve Paulhus, J.L.H.** (1975). Hydrology for engineers, second ed. McGraw-Hill, Inc., New York, 482pp.
- 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.D. ve Hollick, M.** (1979). Stochastic time-variable rainfall runoff modeling, *hydro. and water resources symposium institution of engineers*, Perth, Australia, pp. 89–92.
- Mazvimavi, D., Meijerink, A.M.J., Savenije, H.H.G. ve Stein, A.** (2005). Prediction of flow characteristics using multiple regression and neural networks: a case study in Zimbabwe, *Phys. Chem. Earth* 30, 639–647.
- Nathan, R.J. ve McMahon, T.A.** (1990). Evaluation of automated techniques for baseflow and recession analyses, *Water Resour. Res.*, 26 (7), 1465–1786.
- 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.
- Orhunbilge, N.** (1996). Uygulamalı regresyon ve korelasyon analizi, Avcıol-Basım, İstanbul.
- PASW Statistics 18.** (2009). SPSS Inc.
- Piggott, A.R., Moin, S. ve Southam, C.** (2005). A revised approach to the UKIH method for the calculation of baseflow, *Hydrol. Sci. J.* 50 (5), 911–920.
- Rosenshein, L., Scott L. ve Pratt, M.** (2011). Finding a meaningful model, ArcUser winter 2011, Esri.
- Santhi, C., Allen, P.M., Muttiah, R.S., Arnold, J.G. ve Tuppard, P.** (2008). Regional estimation of baseflow for the conterminous United States by hydrologic landscape regions, *J. Hydrol.* 351, 139–153.
- Scheidegger, A. E.** (1961). Theoretical Geomorphology, Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg.
- Smakhtin, V.Y.** (2001). Low flow hydrology: a review, *J. Hydrol.* 240, 147–186.
- Tallaksen, L.M.** (1995). A Review of baseflow recession analysis, *J. Hydrol.*, 165, 349–370.
- Tatlıdil, H.** (1996). Uygulamalı çok değişkenli istatistiksel analiz, Cem Ofset Ltd. Sti., Ankara.
- Tiryaki, O.** (1994). Sınırsız Sular ve Ortadoğu’da Su Sorunu, Harp Akademileri Komutanlığı Yayınları, İstanbul.
- Toklu V.** (1999). Su sorunu uluslararası hukuk ve Türkiye, Turhan kitabevi, Ankara.
- Url-1** <<http://www.ormansu.gov.tr>>, alındığı tarih: 2013.
- Url-2** <<http://www.mgm.gov.tr>>, alındığı tarih: 2013.
- USİAD.** (2007). Ulusal su politikası ihtiyacımız, su raporu, Ankara, Türkiye.
- Usul, N.** (1984). Mühendislik hidrolojisi semineri notları, 8. Bölüm, 13-30 Haziran 1983, Elektrik İşleri Etüt İdaresi, yayın 84-46.

- Uşul, N.** (2008). Mühendislik hidrolojisi, ODTÜ yayıncılık, Ankara
- 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.
- Zecharias, Y. B. ve Brutsaert, W.** (1988). The influence of basin morphometry on groundwater outflow, *Water Resour. Res.* 24(10), 1645–1650.
- 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: Akım Gözlem İstasyonu Envanteri

EK A

Çizelge A.1: Çalışmada kullanılan AGİ'lere ait envanter

AGİ NO	SU VE İSTASYON ADI			VERİ ÖLÇÜM ARALIĞI (Su Yılı)	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	
2102	Murat Suyu	-	Palu	1968-2000																																													
2122	Murat Nehri	-	Tutak	1962, 1964-1967, 1969-2000																																													
2123	Çağ Çağ Suyu	-	Çınarköy	1961-1962, 1964-1968, 1970-1994																																													
2124	Tohma Suyu	-	Yazıköy	1963, 1965-2000																																													
2131	Bey Deresi	-	Kılayık	1957-1962, 1964-1974, 1990-2000																																													
2133	Munzur Suyu	-	Melekbahçe	1969-2000																																													
2135	Bulam Çayı	-	Fatopaşa	1961, 1965, 1967-1974, 1980-2000																																													
2147	Munzur Suyu	-	Dedikuşağı	1964-1997																																													
2149	Munzur Suyu	-	Miskisağ	1964-1988, 1990-1998, 2000																																													
2154	Karasu	-	Aşağı Kağdariç	1969-2000																																													
2156	Fırat Nehri	-	Bağıştaş	1969-1980, 1982-2000																																													
2157	Karasu	-	Karaköprü	1969-2000																																													
2158	Bingöl Çayı	-	Abdurrahmanpaşa K.	1970-2000																																													
2164	Göynük Çayı	-	Çayağzı	1970-2000																																													
2166	Peri Suyu	-	Loğmar	1970-2000																																													

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Hasan Zaifoğlu

Doğum Yeri ve Tarihi: Mağusa, 13.10.1989

Adres: Güzelyurt, Kıbrıs

E-Posta: zaifogluhasan@hotmail.com

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi

Yayın ve Patent Listesi:

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- Zaifoglu H. and Aksoy H. (2013): Baseflow Index for Hydrological Watersheds in Eastern Part of Turkey. *International Water Association 5th Eastern European Young and Senior Water Professionals Conference*, June 26-28, 2013 Kiev, Ukraine.
- Zaifoglu H. ve Aksoy H. (2013): Fırat Havzası için Taban Akışı Tahminleri. *VII. Ulusal Hidroloji Kongresi*, 26-27 Eylül 2013 Isparta, Türkiye.