

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DARLIK HAVZASININ MODEL DESTEKLİ HİDROLOJİK ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gökhan CÜCELOĞLU

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ali ERTÜRK

OCAK 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501101705 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Gökhan CÜCELOĞLU**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**DARLIK HAVZASI'NIN MODEL DESTEKLİ HİDROLOJİK ANALİZİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Ali ERTÜRK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ebubekir YÜKSEL
Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü

Teslim Tarihi : 17 Aralık 2012
Savunma Tarihi : 24 Ocak 2013

Anneme ve babama,

ÖNSÖZ

Her şeyden önce bugünlere gelmemde en büyük payın sahibi olan, verdiğim her türlü karara saygı duyup beni destekleyen ve benim için hiçbir fedakarlıktan kaçınmadan her daim yanımda olan annem Nurten CÜCELOĞLU ve babam Fatih CÜCELOĞLU'na sonsuz minnettarlığımı dile getirmek isterim.

Bu tez kapsamında ve diğer çalışmalarda bana yol gösteren, her türlü bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan Hocam Doç.Dr. Ali ERTÜRK'e çok teşekkür ederim. Bu çalışmadaki katkısı şüphesiz oldukça fazladır, O'nun yardımları olmaksızın böyle bir çalışmayı tamamlamak imkansız olurdu.

Yoğunluğu dolayısıyla bu çalışma ile doğrudan ilgilenme imkanı olmasa da bana her zaman destek olup fikirleri ile yol gösteren sevgili Hocam Doç. Dr. Melike GÜREL'e, arazi ölçümlerinin yapılabilmesini sağlayan ve bu arazi çalışmalarında imkan ve tecrübelerini büyük bir sabırla paylaşan Dr. Özcan GAYGUSUZ'a, tezin çeşitli aşamalarındaki yardımlarından dolayı Çevre Mühendisi Mehmet KALFAZADE'ye ve tezimin yazımında ve düzenlenmesindeki kakılarından dolayı Dr. Alpaslan EKDAL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Fikirleri ile bana destek olan oda arkadaşlarım Ar. Gör. Hüseyin GÜVEN ve Ar. Gör. Gökçe Kor BIÇAKCI'ya teşekkür ederim.

Son olarak da üniversite hayatımın ilk yıllarından beri dostluğunu paylaşan ve yardıma ihtiyaç duyduğum her anımda tereddütsüzce yanımda olan ve bana destek olan aziz dostum Furkan DODURKA'ya teşekkür etmek isterim.

Aralık 2012

Gökhan CÜCELOĞLU

(Çevre Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Önemi.....	1
1.2 Çalışmanın Amacı	2
2. HİDROLOJİK MODELLEME.....	5
2.1 Hidrolojik Modelleme Nedir?	5
2.2 Hidrolojik Modellerin Sınıflandırılması.....	7
2.3 Yağış Akış Modelleri	7
2.3.1 Kapalı kutu (kara kutu) modelleri.....	8
2.3.2 Parametrik modeller	9
2.4 Akım Öteleme Modelleri	15
2.4.1 Toplu modeller	16
2.4.2 Yayılı modeller	16
2.5 Havza Modellemede Yaygın Kullanılan Hidrolojik Modeller.....	17
2.5.1 HSPF	17
2.5.2 MIKE SHE	18
2.5.3 SWAT	19
2.5.4 WEAP	21
3. ÇALIŞMA ALANI.....	23
3.1 Bölgede Yapılmış Diğer Çalışmalar	23
3.2 Konaum	24
3.3 Sosyo-Demografik Yapı.....	25
3.4 İklim	26
3.5 Arazi Kullanımı.....	31
3.6 Toprak Özellikleri	31
3.7 Jeolojik-Hidrojeolojik Yapı.....	32
3.8 Bölge Hidrolojisi	33
4. ARAÇLAR VE YÖNTEMLER.....	35
4.1 Arazi Kullanımı ve Özelliklerinin Analizi	35
4.1.1 Topografya	35
4.1.2 Darlık Havzası'nın ve bazı karakteristik özelliklerinin belirlenmesi.....	35
4.1.3 Harita sayısallaştırma işlemleri	39
4.1.4 Meteorolojik veriler ve istasyonlar	44
4.1.5 Hidrograf analizi	47

4.2 Meteorolojik Verileri ile Akım Rasatları Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi ...	49
4.2.1 Çok değişkenli doğrusal regresyon analizi.....	49
4.2.2 Güvenilirlik testi.....	51
4.3 Modelin Yapısı	52
4.4 Modelin Çalıştırılması	54
4.4.1 Modelin kurulumu.....	55
4.4.2 Modele veri girişi	55
4.4.3 Modelin kalibrasyonu ve doğrulanması	59
5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	67
5.1 Regresyon Analizi Sonuçları	67
5.2 Hidrograf Analiz Sonuçları	70
5.3 Model Sonuçları	75
6. BULGULAR VE ÖNERİLER	85
KAYNAKLAR.....	87
EKLER.....	93
ÖZGEÇMİŞ.....	135

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
BFI	: Base Flow Index
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
DEM	: Digital Elevation Map
DHI	: Danish Hydraulic Institute
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri Genel M¼d¼rl¼đ¼
DSİ	: Devlet Su İşleri
EPA	: Environmental Protection Agency
GIS	: Geographic Information Systems
HSPF	: Hydrological Simulation Program Fortran
İSKİ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
MGM	: Meteoroloji Genel M¼d¼rl¼đ¼
SCS	: Soil Conservation System
SÇD	: Su Çerçeve Direktifi
SEI	: Stockholm Environmental Institute
SHE	: Systeme Hydrologique Europeen
SSCB	: Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği
SWAT	: Soil and Water Assessment Tool
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
USGS	: United States Geological Survey
UTM	: Universal Transverse Mercator
WEAP	: Water Evaluation and Planning System
WHAT	: Web Based Hydrograph Analysis Tool

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Darlık Havzası içerisinde bulunan köyler ve yıllara bağlı nüfus değerleri.....	25
Çizelge 3.2 : Darlık, Yağcılar ve Kargalı Köyü 1965-1985 nüfusları.....	26
Çizelge 4.1 : Darlık Havzası alt havzaları ve alanları	39
Çizelge 4.2 : Alt havzaların arazi kullanımları.....	40
Çizelge 4.3 : Meteorolojik veriler ve elde edildiği yıllar.....	47
Çizelge 4.4 : Model sonuçları ile akım rasatları arasındaki korelasyon katsayısı, eğim ve kayım değerleri.....	61
Çizelge 4.5 : Model sonuçları ve taban akımları arasındaki korelasyon katsayısı, eğim ve kayım değerleri.....	61
Çizelge 4.6 : Model sonuçları ile akım rasatları arasındaki korelasyon katsayısı, eğim ve kayım değerleri.....	62
Çizelge 4.7 : Model sonuçları ile taban akımları arasındaki korelasyon katsayısı, eğim ve kayım değerleri.....	62
Çizelge 5.1 : Korelasyon analiz sonuçları	67
Çizelge 5.2 : F istatistiği sonuçları	68
Çizelge 5.3 : Çoklu doğrusal regresyon analizi sonuçları	69
Çizelge 5.4 : Baz akımın toplam akıma oranının farklı yöntemlerdeki değerleri	71
Çizelge 5.5 : 1968 ile 1985 hidrolojik yılları arasındaki her ay için elde edilen baz akımın toplam akıma oranı.....	72
Çizelge 5.6 : Mevsimlere bağlı toplam akım bileşenlerin yüzde cinsinden miktarları	82
Çizelge 5.7 : 2009 Hidrolojik yılında her bir alt havzaya ait su bütçesi bileşenleri ..	83

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Hidrolojik sistem kavramı (Bayazıt, 1998)	5
Şekil 2.2 : Hidrolojik sistem olarak bir havza (Chow ve diğ., 1988)	6
Şekil 2.3 : Mühendislik Hidrolojisi (Chow, 1998' den uyarlanmıştır.).....	6
Şekil 2.4 : Hidrolojik Modellerin Sınıflandırılması.....	8
Şekil 2.5 : Dawdy ve O' Donnell Modeli (Dawdy ve O'Donnell, 1965).....	11
Şekil 2.6 : Institute of Hydrology Modeli (Bayazıt, 1998).....	12
Şekil 2.7 : Beven-Kirkby Modeli (Beven ve Kirkby, 1979).....	13
Şekil 2.8 : SHE modeli (Bayazıt, 1998)	14
Şekil 3.1 : Darlık Havzası'nın Türkiye'deki konumu	24
Şekil 3.2 : İstanbul ve Darlık Havzası'nın konumu.....	25
Şekil 3.3 : İstanbul ili için yıllık ortalama yağışın dağılımı ve bazı istasyonlarda yağışın aylık değişimi (Karaca ve diğ., 2005).....	27
Şekil 3.4 : İstanbul il sınırları içindeki istasyonların sınıflandırılması sonucu elde edilen dört bölgenin aylık ortalama yağış miktarlarının bir yıl boyunca değişimi (Karaca ve diğ., 2005).	28
Şekil 3.5 : İstanbul'da yıllık ortalama rüzgar hızının dağılımı (Karaca ve diğ., 2005).	28
Şekil 3.6 : İstanbul ili için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı haritası ve bazı istasyonların aylık ortalama sıcaklık değişimi (Karaca ve diğ., 2005).	29
Şekil 3.7 : İstanbul'da yıllık ortalama bağıl nemin dağılımı(%) (Karaca ve diğ., 2005).	29
Şekil 3.8 : İstanbul ve çevresindeki istasyonlarda kaydedilen yıllık ortalama bulutluluk miktarı (Karaca ve diğ., 2005).	30
Şekil 3.9 : İstanbul'daki istasyonlarda ölçülen günlük ortalama güneşlenmenin yıllık dağılımı (Karaca ve diğ., 2005).....	30
Şekil 3.10 : İstanbul iline düşen yağışların yıllara göre karşılaştırılması(Url-3).....	31
Şekil 3.11 : DSI tarafından 1968-1986 yılları arasında yapılan debi ölçümleri	34
Şekil 4.1 : Havzadaki yükseltilerin yüzde dağılımı	35
Şekil 4.2 : Sayısal yükseklik modeli yardımıyla drenaj havzasının belirlenmesi (Aslan ve diğ., 2004)	37
Şekil 4.3 : Sayısal yükseklik modeli üzerinde hatalı çukur ve pik noktaların düzeltilmesi işlemi	37
Şekil 4.4 : Akış toplanma modelinin oluşturulma aşamaları	38
Şekil 4.5 : Sayısal yükseklik modeli yardımıyla elde edilen havza, alt havza ve akım ağı haritası.....	41
Şekil 4.6 : Darlık Havzası Arazi Kullanım Haritası	43
Şekil 4.7 : Darlık Havzası Jeoloji Haritası.....	44
Şekil 4.8 : Örnek bir Thiessen Çokgeni (Bayazıt, 2003).	45
Şekil 4.9 : Darlık Havzası ve Kocaeli Yarımadası Thiessen çokgeni	46

Şekil 4.10 :	Grafiksel yöntem ile hidrograf analizi (Brodie and Hostetler 2010).....	48
Şekil 4.11 :	WEAP Zemin nemi yöntemi kavramsal modeli.....	54
Şekil 4.12 :	Yüzeysel Akış Katsayısının aylara bağlı olarak değişimi	56
Şekil 4.13 :	Meteorolojik verilerin modele okutulduğu örnek bir csv dosyası.....	57
Şekil 4.14 :	Kurulan modeldeki alt havzalar, akarsular ve akiferler.....	58
Şekil 4.16 :	1972 hidrolojik yılı ölçülen akım ve modellenen akımın korelasyonu ..	63
Şekil 4.17 :	1979 hidrolojik yılı ölçülen akım ve modellenen akımın korelasyonu ..	63
Şekil 4.18 :	1968-1985 Hidrolojik yılları arasında model toplam akımlarının ölçülen toplam akımlar ile karşılaştırılması.....	64
Şekil 4.19 :	1968-1985 Hidrolojik yılları arasında model taban akımlarının ölçülen taban akımları ile karşılaştırılması.....	64
Şekil 4.20 :	Bütün hidrolojik yıllara ait modellenen ve ölçülen akım değerleri.....	65
Şekil 5.1:	Bir filtreli dijital parametre ve taban akım indeksi yöntemi sonuçlarının karşılaştırılması.....	70
Şekil 5.2 :	1968 hidrolojik yılı akım değerleri.....	73
Şekil 5.3 :	1976 hidrolojik yılı akım değerleri.....	74
Şekil 5.4 :	1985 hidrolojik yılı akım değerleri.....	74
Şekil 5.5 :	Modele ait kalibrasyon sonuçlarında elde edilen toplam akış değerleri..	75
Şekil 5.6 :	Regresyon denklemi ile elde edilen toplam akış değerleri	75
Şekil 5.7 :	Modele ait kalibrasyon sonuçlarında elde edilen taban akış değerleri.	77
Şekil 5.8 :	Regresyon denklemi ile elde edilen taban akış değerleri	77
Şekil 5.9 :	2009 Hidrolojik yılına ait yıllık toplam su bütçesi değerleri.....	78
Şekil 5.10 :	1985 ile 2011 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri	78
Şekil 5.11 :	1972 ile 1990 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri	79
Şekil 5.12 :	2007 Hidrolojik yılına ait yıllık toplam su bütçesi değerleri.....	80
Şekil 5.13 :	Ocak ayı için ortalama akım değerleri.....	81
Şekil 5.14 :	Eylül ayı için ortalama akım değerleri	81

DARLIK HAVZASININ MODEL DESTEKLİ HİDROLOJİK ANALİZİ

ÖZET

Dünyadaki gelişmeye ve artmakta olan nüfusuna bağlı olarak su kaynaklarının farklı amaçlar için kullanımına yönelik talepler de hızla artmaktadır. Bu durumun yanı sıra son bir kaç on yıllık sürede etkisini daha belirgin bir şekilde gösteren iklim değişikliği de su kaynaklarını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle su kaynaklarının belirlenmesi, korunması ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi oldukça önem kazanmıştır.

Türkiye'nin en kalabalık şehri olmanın yanı sıra dünyanın en büyük şehirleri arasında yer alan İstanbul'un nüfusu sürekli artmaktadır. Türkiye'deki toplam nüfusunun %18,2'sinin (yaklaşık 13.500.000 kişi) İstanbul il sınırları içerisinde yaşamakta olduğu bilinmektedir. Gelecekte bu nüfusun daha da artmasıyla birlikte İstanbul'un su kaynaklarının altında kalacağı baskı oldukça fazla olacaktır. Bu nedenle İstanbul'un sahip olduğu sınırlı su kaynaklarının sürdürülebilirlik çerçevesi içerisinde yönetilmesi çok büyük önem taşımaktadır.

İstanbul'un günlük su ihtiyacı yaklaşık olarak $2.250.000 \text{ m}^3$ 'tür. Bu ihtiyacın çok büyük bir kısmı şehrin civarında yer alan yüzeysel su kaynaklarından sağlanmaktadır. Darlık Baraj Gölü şehrin en büyük 5. Baraj gölüdür. İstanbul'a su sağlayan diğer kaynakların hemen hemen hepsi şehrin son yıllarda hızla artan nüfusu ile birlikte şehir merkezinde kalmıştır. Bu duruma istisna olarak Darlık Baraj Gölü bu değişimden 30 yıldır hemen hemen hiç etkilenmemiştir. Bu nedenle bu çalışmanın sonucunda İstanbul'un baskı altındaki diğer su kaynakları ile şehirleşme etkisi altında olmayan bir kaynağının karşılaştırılması mümkün olacaktır.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen hidrolojik model İstanbul'un bugünkü su ihtiyacının %11'ini karşılayan Darlık Baraj Gölü'nün havzasında su bütçesini ortaya konulmuştur. Yüzeysel akış, taban akışı, günlük buharlaşma miktarı ve yeraltı suyu akımı bu model sayesinde ortaya konulmuştur. Kurulan model yardımıyla nüfus artışı, arazi kullanımı değişimi gibi nedenlerle gelecekte meydana gelebilecek farklı senaryoların su bütçesi üzerindeki değişimlerinin ön görülmesi için bir altyapı sağlanmıştır.

Bu çalışma ile Darlık Deresi 1972 ile 1974 hidrolojik yılları için kalibre edilmiş ve 1978 ile 1982 hidrolojik yılları için doğrulanmıştır. 1986 ile 2011 hidrolojik yılları arasında çalıştırılan model ile havzanın su bütçesi bu yıllar için ortaya koyulmuştur. Model sonuçlarına göre, Havza'ya düşen yağışın %33'ü yüzeysel akışı, %4'ü yüzey altı akışını oluşturmakta ve %11'i evapotranspirasyon ile atmosfere dönmektedir. Havza üzerindeki yağışın %27'si sızma sürecine uğramakta olup, yağışın %12'si yeraltı suyunun beslenilmesinde kullanılmaktadır.

Yapılan çalışmada kış aylarında Darlık Deresi'ndeki toplam akışın %83'ünü yüzeysel akış, %2'sini yüzey altı akış ve %15'lik kısmını yeraltı suyu akışının oluşturduğu görülmüştür. Yaz aylarında ise Dere'deki toplam akışın %25'ini

yüzeysel akış, %23'ünü yüzey altı akış, ve %52'lik kısmını ise yeraltı suyu akışının oluşturduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar Darlık Havza'sındaki ekosistemin yaz aylarındaki devamlılığın sağlanmasının büyük ölçüde yeraltı suyu akımlarına bağlı olduğunu göstermektedir.

MODEL SUPPORTED HYDROLOGICAL ANALYSIS OF DARLIK WATERSHED

SUMMARY

Use of water resources has been changing dramatically by the increase of population and water demand in the world. As well as increase of population in the world in the last decades, climate change also affected the water resources. Thus identification, protection and sustainable management of water resources have become crucial.

İstanbul which is the most crowded city of Turkey, is also among the world's highly populated cities, and its population is increasing day by day so that water resources of this metropolitan are under excessive stress. Today, population of this huge metropolitan is about 13.500.000 and this mega city needs approximately 2.250.000 m³ water per day. Considerable amount of this demand -almost all- is supplied from the dams around the city and by interbasin water transfer.

Darlık Reservoir is in the north-east of Istanbul, located between 41°08' and 40°50' North latitude and between 29°30' and 29°42' east longitudes. The Reservoir supplies the 12% of İstanbul's demand, has 209 km² catchment area is one of the important reservoirs of this city. Darlık Watershed is in the Kocaeli Peninsula, which includes many surface water resources. About 60% of area of Darlık Watershed is İstanbul and rest of the watershed is in Kocaeli. Distance between Reservoir and Şile is about 7 km. Darlık Watershed is on one of the high rainfall zones of İstanbul. Elevation of the watershed varies between 7 m and 633 m. Average elevation of the watershed is 235 m. Highest elevations are observed in the south region of the watershed. One of the significant characteristic of Darlık watershed that is not urbanized area. There are seven villages in the watershed, and their total population is about 1813 capita in 2010. Darlık Watershed is mainly covered by forests, mid-sized agricultural areas and grasslands. Despite the fact that land use of Istanbul has changed dramatically over the past decades, Darlık watershed has not been severely affected by this conversion. For these reasons Darlık Reservoir is an important water resource of Istanbul. Darlık watershed that is relatively pristine compared to the other watersheds in Istanbul, could also be used for generating background conditions, as defined by the European Community based Water Framework Directive (WFD) for the Region.

While planning and assessing future water budget of big cities resources hydrologic models are the integral part of sustainable watershed management approach. Using hydrological models play a significant role in watershed management. They give practical and useful information to local and national decision makers, and scientists studying in the region. It is expected that this model will be useful about addressing the water resources management problems of watersheds of Istanbul.

The model, used in this study, reveals the water budget of the Darlık Reservoir, which supplies 11% of water demand of İstanbul. Due to the model, surface runoff,

base flow, groundwater flow, percolation and evapotranspiration can be estimated according to the given meteorological condition.

In this study, a base, which can be used for forecasting the water budget components depending on changing meteorological parameters and land use properties, was created. Under different conditions in the watershed, this base can be used for calculating water budget components of watershed.

WEAP (Water Evaluating and Assessment Program) is used as the hydrological model in this study. WEAP is a practical tool for water resource management, and is distinguished by its integrated approach for simulating water systems and by its policy orientation. Usage of WEAP model has been increased over the past few years in all over the world. However, there is limited study in Turkey with WEAP model.

In order to calibrate model results, observed stream flow hydrograph has been separated into components as surface runoff and base flow. Web based hydrograph analysis tool (WHAT) is used for hydrograph analysis. Model results and observed flowrate compared to obtain high correlation coefficient model. Model coefficients, that are identified by model, were calibrated according to 1972 and 1974 hydrological years. In order to calibrate observed stream hydrograph, which was calculated with model, DSI flow rate observations were used. Correlation coefficients between 1971, 1972, 1973 and 1974 were found as 0.89, 0.97, 0.79, and 0.79, respectively. In calibration processes daily data were used such as precipitation, temperature, humidity, wind and cloudiness were used as meteorological parameters.

Hydrological years between 1978 and 1982 were used for validation of model. 1978, 1979, 1980 and 1982 were validation years and correlation coefficient for these years were 0.75, 0.91, 0.84 and 0.76, respectively. 1981 hydrological year was not used for validation because of missed data. Model was run between 1986 and 2011 hydrological years.

According to the results of model it was revealed that 33% and 4% of precipitation constitutes the surface runoff and subsurface flow, respectively. 11% of total precipitation turns back to the atmosphere by evapotranspiration. 27% of precipitation infiltrates and 12% percolates to the groundwater storage.

Between 1986 and 2011 hydrological years components of stream flow were calculated. Surface flow constituted 83% of stream flow. Percentage of subsurface flow and groundwater flows were 2% and 15%, respectively. In summer months ratio of surface flows to stream flows decrease to 25%, while subsurface flow and groundwater flow increase to 23% and 52%. These results show that sustainability of Darlık Watershed ecosystem in summer months depends on groundwater flows. According to the DSI study the surface flow of Darlık Watershed was 96 billion m³ between 1972 and 1990. Model, which was used in this study calculated surface flow as 98.8 billion m³ for same period. It seems that model runs with 3% error margin.

However all these results are related with all Darlık Watershed, this models also allows to user to determine the water budget components in subbasin detail. Each subbasin which has specific characteristics and important for the all watershed can be evaluate.

Hydrological model of Darlık Watershed that is the subject of this study is the integral part of an integrated study. The results from this study (The hydrological model itself and spatially and temporally high resolution water budget components)

can be used to develop water quality, sediment transport and ecosystem models of the watershed.

Water quality of reservoirs, used for drinking water supply, are important as much as water quantity. Hydrological models are the integral part of the water quality models. This study forms a base for the water quality and ecosystem models of Darlık Watershed, but in order to analyze the water quality of this watershed further studies should be conducted in the future.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Önemi

Dünyanın gelişen koşullarına ve artmakta olan nüfusuna bağlı olarak yeryüzünde bulunan su kaynaklarının farklı amaçlar için kullanımına yönelik talepler de bu değişimlere paralel olarak çok hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu durumun yanı sıra son bir kaç on yıllık sürede etkisini daha belirgin bir şekilde gösteren iklim değişikliğinin de su kaynaklarını önemli ölçüde etkilemesi beklenmektedir (Ertürk, 2012). Bu nedenle su kaynaklarının belirlenmesi, korunması ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi oldukça önem kazanmıştır.

Türkiye'nin en kalabalık şehri olmanın yanı sıra dünyanın en büyük şehirleri arasında yer alan İstanbul'un nüfusu sürekli olarak artmaktadır. Türkiye'deki toplam nüfusunun %18,2'si (yaklaşık 13.500.000 kişi) İstanbul il sınırları içerisinde yaşamakta olduğu bilinmektedir (URL-1). Gelecekte bu nüfusun daha da artmasıyla birlikte İstanbul'un su kaynaklarının altında kalacağı baskının önemli ölçüde artması beklenmektedir. Bu nedenle İstanbul'un sahip olduğu sınırlı su kaynaklarının sürdürülebilirlik çerçevesi içerisinde yönetilmesi çok büyük önem taşımaktadır.

Avrupa Birliği (AB) adaylık sürecinde olan Türkiye, bu süreçte hızlı ve etkili bir biçimde AB mevzuatı ve ilgili Türk mevzuatını uyumlulaştırma ve söz konusu mevzuatı iç hukukuna yansıtma yükümlülüğündedir. Müktesebat uyumu konusunda çalışmalar yoğun bir biçimde devam etmektedir. Türkiye'nin bu süreçte uyumlulaştırma çalışmalarını sürdürdüğü önemli alanlardan biri de, çevre alanıdır. Uyum Programında, çevre alanı için 2009-2013 yılları arasında planlanan yasal düzenlemelerden birisi de, Avrupa Birliğinin 2000/60/AT sayılı Su Çerçeve Direktifi (SÇD) doğrultusunda yapılacak olan su mevzuatı çalışmalarıdır (Dalkılıç ve Harmancıoğlu, 2008). Bu çalışmalar, Avrupa düzeyinde entegre su yönetimine bir çerçeve oluşturmak amacı ile yürürlüğe giren, yerüstü ve yeraltı sularının bütüncül olarak korunması, suların "iyi durum"a gelmesinin sağlanması ve nehir havzalarının entegre yönetimini hedefleyen Su Çerçeve Direktifine uyumlu biçimde

sürdürülmektedir (DPT, 2007). Bu direktifle getirilen “Nehir havzası yönetimi” kavramı AB ülkeleri için önemli ve yeni bir yaklaşımdır. Nehir havza yönetimi olarak adlandırılan tek bir su kaynakları yönetim sistemini öngören bu yaklaşıma göre, kaynaklar idari veya politik sınırlara göre değil, doğal, coğrafik ve hidrolojik esaslara göre belirlenecek “nehir havza bölgeleri”ne ayrılarak yönetilecektir. (Coşkun, 2010) Bu doğrultuda havza modellerinin geliştirilmesi gerek AB adaylık sürecinde gerekse gelecek kuşakların su kaynaklarının planlanmasında oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle yapılan bu ve benzeri hidrolojik modelleme çalışmaları bu havza yönetim sistemlerinin temeli olmakla birlikte en önemli aşamalarından birini oluşturmaktadır.

Gelişen bilgisayar teknolojileri ile birlikte matematiksel modellerin mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılması gittikçe yaygınlaşmıştır. Geliştirilen bu matematiksel modeller doğal sistemlerin tanımlanmasında ve analizinde kullanılan oldukça güçlü araçlardır ve günümüzde bu araçlardan faydalanmaksızın bilimsel bir çalışma yapmak neredeyse imkansızdır.

Modelleme çalışmaları, su kaynakları yönetimi ve havza modelleme süreçleri içerisinde de önemli bir rol oynamaktadırlar. Gelişen bu teknoloji sayesinde gerçeğe oldukça yakın sonuçlar vererek bilim adamları, mühendisler ve karar vericilere önemli yararlar sağlamaktadırlar.

Son yıllardaki teknolojik gelişmelere de bağlı olarak geliştirilen modeller daha hızlı sonuçlar vermektedirler. Bugün daha yüksek hızda hesap yapabilen bilgisayarlar, gelişmiş ölçüm teknikleri ile elde edilmiş daha doğru ve daha çok veriyi kullanarak gerçeğe yakın simülasyonlar yapabilmektedirler.

Hidrolojik modeller, yalnızca suyun nicel olarak değerlendirilmesinde değil aynı zamanda su kalitesi, katı madde taşınımı ve ekosistem modelleme çalışmaları için de altlık oluşturmaktadırlar.

1.2 Çalışmanın Amacı

Bu çalışma kapsamında geliştirilen hidrolojik model ile İstanbul’un bugünkü su ihtiyacının %11’ini karşılayan Darlık Baraj Gölü’nün su bütçesini ortaya koyulmuştur. Yine bu model yardımıyla nüfus artışı, arazi kullanımı değişimi gibi nedenlere gelecekte meydana gelebilecek farklı senaryoların değişimlerin ön

görülmesinde kullanılabilecek bir su bilişimi sisteminin önemli bir yapıtaşı oluşturulmuştur.

İstanbul'un günlük su ihtiyacı yaklaşık olarak 2.250.000 m³'tür. Bu ihtiyacın çok büyük bir kısmı şehrin civarında yer alan yüzeysel su kaynaklarından sağlanmaktadır. Darlık Baraj Gölü şehrin en büyük beşinci Baraj Gölü'dür. İstanbul'a su sağlayan diğer kaynakların hemen hemen hepsi şehrin son yıllarda önemli ölçüde artan nüfusu ile birlikte şehir merkezinde kalmıştır. Bu duruma istisna olarak Darlık Baraj Gölü bu değişimden 30 yıldır hemen hemen hiç etkilenmemiştir. Bu çalışma ile İstanbul'un baskı altındaki diğer su kaynaklarının ile şehirleşme etkisi altında olmayan bir kaynağının karşılaştırılabilmesi için bir altlık oluşturulmuştur.

Darlık Barajı Gölü İstanbul için sadece miktar bakımından değil aynı zamanda sağlamış olduğu suyun kalitesi açısından da önemli bir yere sahiptir. Bu çalışma aynı zamanda bu bölge için yapılması planlanan, ancak bu çalışmanın kapsamı dışında kalan Darlık Baraj Gölü'nün Su Kalite Modeli için de bir altlık oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen bu çalışma bu alanda yapılabilecek bir çok çalışmaya da altyapı olacak niteliktedir. Bu çalışmalara en genel olarak su kalitesi ve ekosistem modelleme çalışmaları örnek olarak verilebilir.

Bu çalışmada İstanbul'un oldukça önemli bir su kaynağı olan Darlık Baraj Gölü Havzası'nın hidrolojik modelinin WEAP (Water Evaluation and Planning System) modeli ile yapılması amaçlanmıştır. WEAP modeli açık kaynak kodlu olmayan, ancak akademik çalışmalar için ücretsiz olarak sağlanabilecek bir hidrolojik model geliştirme ve yapılandırma yazılım ortamıdır.

Bu çalışmanın amaçları arasında sürdürülebilir bir havza yönetimi çerçevesinde atılması gereken adımlara uygun bir altlık oluşturma düşüncesi de yer almaktadır. Oluşturulacak bu altlık sayesinde

- Darlık Havzası'nın mevcut hidrolojisinin belirlenmesi
- Havzadaki su bütçesini gelecek yıllar için miktar olarak tahmin edilebilmesine olanak sağlayan altyapının kurulması
- Bu havzadaki yerüstü ve yeraltı sularının mevcut ve gelecekteki durumlarını kalite olarak belirlenmesi için kurulacak modele temel oluşturulması,
- Havza için su bütçesinin oluşturulması ve havzanın sürdürülebilir kullanımına yönelik uzun vadeli yapılacak planlamalara altlık oluşturulması,

- Gelecekte gerektiğinde çok amaçlı su kullanımının mümkün kılınması, bu amaçların ve dikkat edilmesi gereken önceliklerin belirlenmesi,
- Gelecekte olması muhtemel arazi değişikliklerinin bölgenin hidrolojisine etkisinin ön görülmesi için altlık oluşturulması,

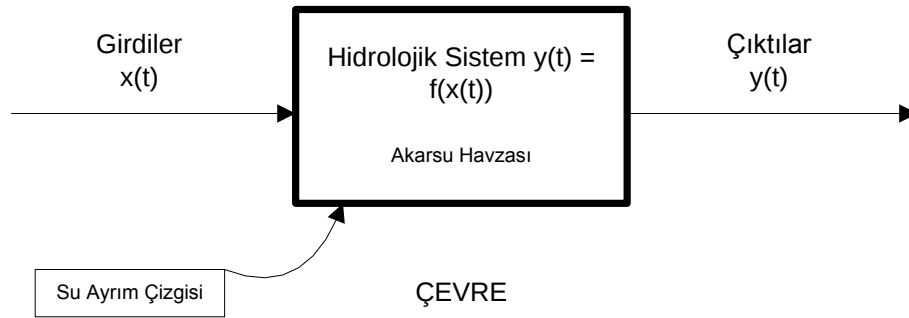
için gerek bugünün gerekse geleceğin mühendislerine, araştırmacılarına ve karar vericilerine yardımcı bir kaynak oluşturulması sağlanmıştır.

2. HİDROLOJİK MODELLEME

2.1 Hidrolojik Modelleme Nedir?

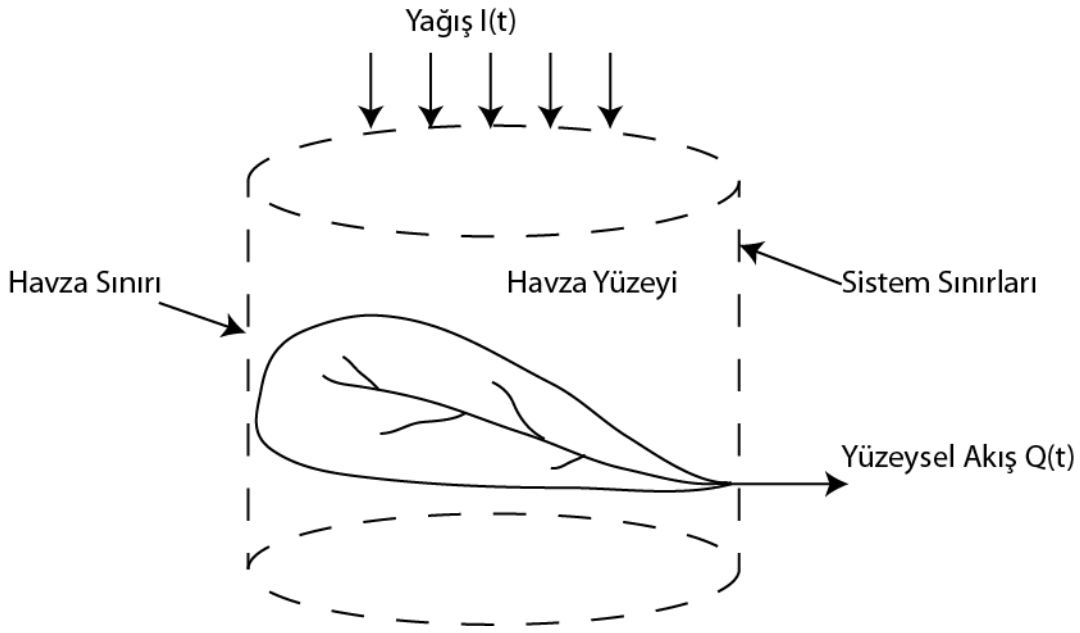
Hidrolojik modelleme, doğada var olan hidrolojik süreçlerin fizik yasalarına dayandırılarak matematiksel modeller üzerine bazı basitleştirici kabuller yapılarak oturtulması ve bu model çıktılarının yapılmış olan ölçümlerle karşılaştırılması esasına dayanır.

Sistem kavramı hidrolojik çalışmalarda oldukça önem taşımaktadır. Sistem, düzenli bir şekilde birbiriyle ilişkili olan ve çevresinden belli bir sınırla ayrılarak bir bütün oluşturan bileşenler takımı olarak tanımlanır (Bayazıt, 1998). Hidrolojik olaylar son derece karmaşık ve tamamı ile tam anlaşılamamıştır. Bu nedenle elde edilen veriler doğru ve eksiksiz olmasına rağmen hidrolojik süreçlerin sistem kavramı altında basitleştirilerek gösterilmeleri daha uygun olabilmektedir (Chow ve diğ., 1988). Şekil 2.1 ve Şekil 2.2’de sırasıyla hidrolojik sistem kavramı ve bir havzanın hidrolojik sistem olarak ifadesi en temel hatlarıyla gösterilmiştir.



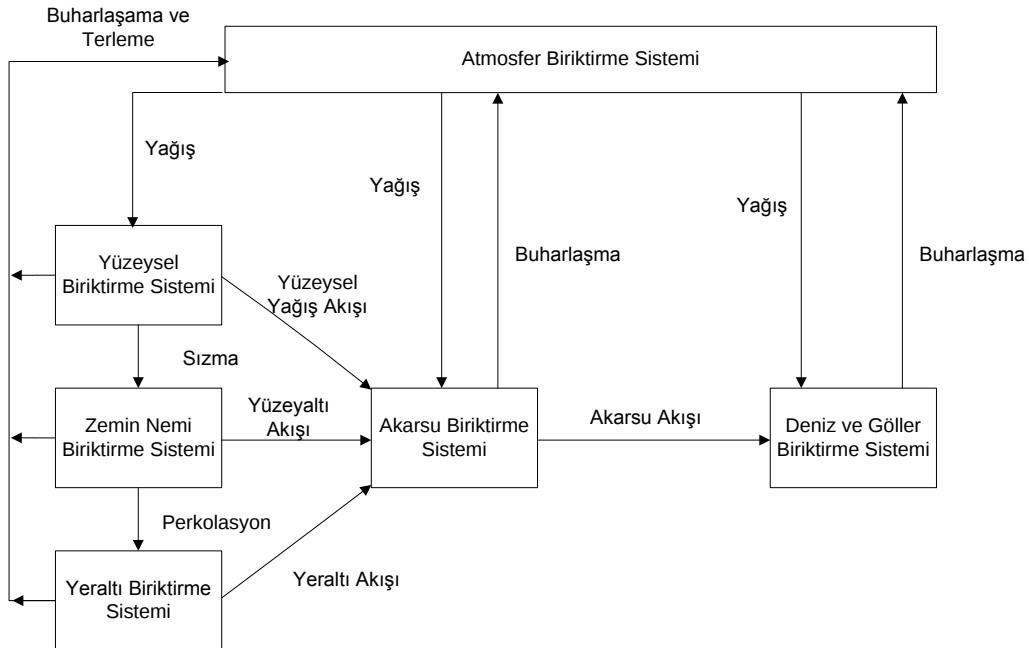
Şekil 2.1 : Hidrolojik sistem kavramı (Bayazıt, 1998)

Mühendislik hidrolojisi açısından hidrolojik çevrim, bir takım biriktirme sistemleri (hazneler) ile bunların arasındaki girdi-çıkı ilişkileri şeklinde gösterilebilir (Bayazıt, 1998). Biriktirme sistemleri ve bunlar arasındaki ilişkiler Şekil 2.3’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Hidrolojik sistem olarak bir havza (Chow ve diğ., 1988)

Mühendislik uygulamalarında hidrolojik çevrimin sınırlı bir bölümü göz önüne alınarak bir sistem olarak düşünülür. Çok sayıda ve özellikleri değişen süreçlere bağlı olması nedeniyle sisteme giren yağışın akışa dönüştürülmesi analizinde güçlüklerle karşılaşmaktadır.



Şekil 2.3 : Mühendislik Hidrolojisi (Chow, 1998' den uyarlanmıştır.)

Bu sistem kavramı üzerine kurulan modeller, gerek araştırmacılara gerekse yönetim birimlerine hidrolojik süreçlerde yaşanan belirsizliklerin açıklanmasında ve yönetim kararlarının teknik bir temele oturtulmasında yardımcı olmaktadır. Genelde hidrolojik süreçleri modellemenin iki temel nedeni vardır. Bunlardan birincisi modellenen süreçlerin nasıl işlediklerinin ortaya konması ve süreç mekanizmalarının açıklanması, diğeri ise hidrolojik sistemin alternatif yönetim kararlarına nasıl tepki vereceğinin önceden tahmin edilmesidir (Fıstıkoğlu, 1999).

2.2 Hidrolojik Modellerin Sınıflandırılması

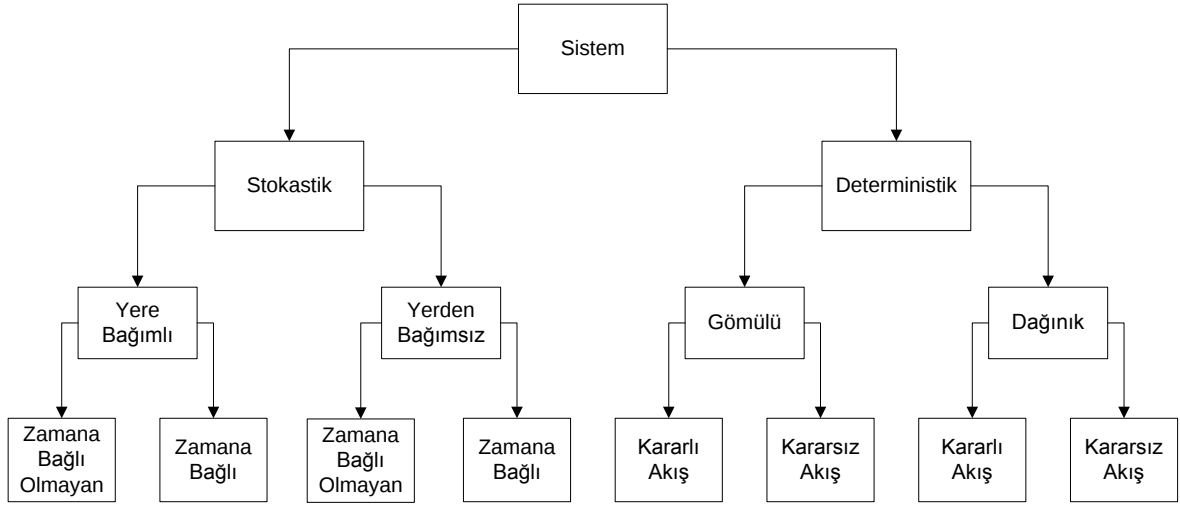
Hidrolojide kullanılan matematiksel modeller çeşitli şekillerde sınıflandırılabilirler. En genel halleriyle fiziksel ve kuramsal modeller olmak üzere ikiye ayrılırlar (Chow ve diğ., 1988).

Fiziksel modeller var olan sistemin özelliklerini, gerçek sistemin ölçeğini küçülterek benzeştiren modellerdir. Örneğin bir barajın üzerinden suyun savaklanmasının hidrolik modeli ki bu prototip gerçek bir barajın sahip olduğu özelliklere sahip bir fiziksel sistemdir.

Kuramsal modellerde ise var olan sistemlerin matematiksel olarak ifade edilir. Model sistemin girdileri ve çıktıları arasında bağ kuran denklemler ile tanımlanır. Bu girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkiler zamanın ve yerin birer fonksiyonu olabilmektedirler ayrıca Bu değişkenler olasılıksal ve rastgele olup zamana ve yerin bir fonksiyonu olarak sabit değerler ile değil olasılık dağılımlara göre değişebilirler. Hidrolojik modellerin sınıflandırılması Şekil 2.4'de şematik olarak gösterilmiştir.

2.3 Yağış Akış Modelleri

Bir akarsu havzası üzerine düşen yağışın havza üzerindeki mevcut koşullara bağlı olarak akış haline dönüşümünü benzeştiren yağış-akış modelleri hidrolojide kullanılan önemli araçlardır. Çok karmaşık sistemler olan akarsu havzalarındaki akış, farklı biriktirme sistemleri ve bunlar arasındaki ilişkileri gösteren matematiksel denklemler yardımıyla ifade edilebilir. Yağış akış modelleri temelde iki sınıfta toplanabilir.



Şekil 2.4 : Hidrolojik Modellerin Sınıflandırılması

2.3.1 Kapalı kutu (kara kutu) modelleri

Kapalı kutu modelleri, sisteme giren girdi (yağış) ve çıktı (yüzeysel akış) arasındaki ilişkiyi ve istatistiksel uyumayı tanımlayan fiziksel süreci dikkate almadan bu girdi ve çıktı arasındaki bağlantıyı ampirik olarak veren modellerdir. Bu modeller bir bölgeden elde edilebilen, toplanan ve analiz edilebilen verinin kapsamına bağlı olarak başarılı olabilmektedirler. Bundaki temel sebep kapalı kutu modellerinde kurulan matematiksel yapının bu fiziksel süreçlerin altında yatan sistemin üstünü örterek sunmaktadır. Bu nedenle fiziksel önem kaybolur ve analiz edilen verilerin arkasında tahminler sadece matematiksel tekniğe dayanmaktadır (Gosain ve diğerleri, 2009).

Bu tip modeller gerçek durumu tam yansıtmaları da çok daha basittirler, ancak daha önce denenmemiş koşullar için kullanılmaları hatalara yol açabilmektedir. Kapalı kutu modelleri bu dönüşümü yapan matematiksel fonksiyonun doğrusal olup olmamasına göre de sınıflara ayrılırlar.

Birim hidrograf yöntemi kapalı kutu modellerine örnek olarak gösterilebilir. İlk defa Sherman (1932) tarafından atılan birim hidrograf yöntemi, bir havzanın her bölgesine eşit miktarda ve eşit şiddette düşen 1 cm yüksekliğindeki artık yağışın oluşturmuş olduğu akımın hidrografı olarak tanımlanır.

Birim hidrograf teorisinde artık yağış ile dolaysız akış arasında bir ilişki araştırılır. Dolayısıyla toplam akımdan yeraltı suyu akımı çıkarılıp yüzey akım bulunmalı, toplam yağıştan da süzülme ve yüzeysel birikme gibi bütün kayıplar çıkarılarak etkili

kısım elde edilmelidir (Usul, 2008). Birim hidrograf herhangi bir net yağışın meydana getirdiği hidrografın türetilmesinde kullanılabilen basit bir lineer modeldir (Chow ve diğerleri 1998).

Birim hidrograf teorisi temel beş kabul üzerine kurulmuştur. Bunlar yağış şiddetinin yağış süresince sabit olması, yağışın havza üzerine düzgün olarak yayılması, yüzey akımının taban süresi verilen yağış için sabit olması, yüzey akım hidrografının ordinatları toplam yüzey akımı ve yağışın etkili kısmı ile doğru orantılı olması ve birim hidrografın çıkarıldığı havzaya özgü olması durumu kabulleridir (Chow ve diğerleri 1998).

Doğal koşullarda yukarıdaki paragrafta bahsedilen kabullerin eksiksiz ve doğru bir şekilde gerçekleşmesi sağlanamaz. Birim hidrograf teorisinde net yağışın bir havza üzerine düzgün olarak dağıldığı varsayımdır. Bu varsayım küçük havzalarda önemli bir fark yaratmazken büyük havzalarda çıkış akımı hidrografının şeklini önemli ölçüde etkilemektedir. Genel olarak 5000 km²'den daha büyük havzalarda birim hidrograf kullanılmamalıdır. Büyük havzalar alt havzalara bölünüp her biri için ayrı birim hidrograf kullanılabilir (Usul, 2008).

Ayrıca havzanın toprak özellikleri ve bitki örtüsü gibi bazı karakteristik özellikleri zamana, en azından mevsimlere bağlı olarak değişmektedir. Fakat bu değişimler birim hidrograf teorisinin dayandığı kabuller tarafından hidrografın şekline yansıtılamamaktadır. Kullanılacak meteorolojik verilerin oldukça dikkatli bir şekilde seçilmesi ile birlikte bu kabullere yaklaşıldığında ancak o zaman birim hidrograf modeli pratikteki kullanımlar için genel olarak doğru sonuçlar vermektedir (Heerdegen, 1974).

2.3.2 Parametrik modeller

Bu modeller havza üzerine düşen yağışın akış haline dönüştürülmesi işlemini sızma, yeraltı akışı, yüzeysel akış gibi bileşenlerine ayırarak analiz ederken bu bileşenler arasındaki ilişkileri fiziksel açıdan ifade etmektedirler (Bayazit, 1998). Havza özellikleri ile ilgili çok sayıda parametre içeren bu modellerde hidrolojik ve hidrodinamik süreçlerin karmaşıklıkları ve uygulamadaki güçlüklerden dolayı genellikle basitleştirmeler yapılmaktadır.

Kapalı kutu modellerinde havzaya düşen yağışın akış haline getirilmesi benzeştirmesi yapılırken süreçlerin fiziksel ayrıntılarına girilememektedir. Bu

süreçleri daha iyi benzeştirebilmek için parametrik modeller geliştirilmiştir. 1900’lü yılların ikinci yarısında bilgisayarların gelişimi ile kurulan matematiksel modeller yardımıyla bu parametrik modellerin kullanımı da artmış ve yaygınlaşmıştır. Kapalı kutu modelleri bir havza sisteminin girdi ve çıktılarını sistemin fiziksel süreçlerini göz ardı ederek tamamen matematiksel bir şekilde ortaya koyar (Jajarmizardeh ve diğ., 2012). Bir havza üzerindeki hidrolojik süreçlere ait verilerin elde edilmesi gerekliliği durumunda bu fiziksel sürecin tanımlanmış olduğu parametrik modellerin kullanımı uygun olacaktır. Ayrıca parametrik modeller, kayıp verilerin yeniden üretilmesine ve zaman serilerinin tekrar üretilmesine olanak tanımaktadırlar (Jajarmizardeh ve diğ., 2012). Parametrik modeller özellikle kapalı kutu modellerinin kullanılmadığı bu gibi durumlarda, havzanın özelliklerinin değişmesinin etkilerini incelemek istenildiği durumlarda kullanılmaktadır (Bayazıt, 1998). Kapalı kutu modelleri, hidrolojik süreçlerin büyük ölçüde etkilendiği havza büyüklüğü, bitki örtüsü ve zemin özellikleri gibi bir çok karakteristik özelliğin dikkate alınmasının gerekli olduğu çalışmalarda kullanılmazlar.

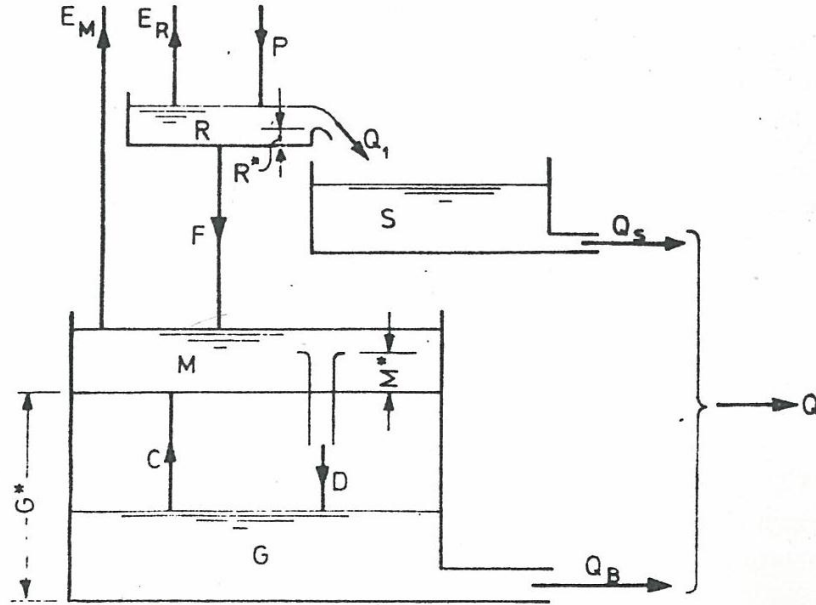
Parametrik modeller yardımıyla modellenmesi planlanan havza üzerinde yağış akış ilişkisi istenilen detayda gerçekleştirilebilmektedir. Geliştirilen modelin ayrıntısı arttıkça yapılan çalışmanın hassasiyeti artar ve genellikle daha doğru sonuç elde edilmesi kolaylaşır ancak artan parametre sayısına bağlı olarak modelin çalışabilmesi için gerekli veri miktarı artacaktır. Bu durum da bazı bölgelerde modelin çalışması için gerekli verinin ölçülememesi, analiz edilememesi ya da elde edilememesi gibi durumlarda modelin doğru bir şekilde çalışmasını etkileyecektir. Bu nedenle parametrik modellerin kullanımında da pratikte kolaylık sağlayacak modeller seçilmeli ya da kurulmalıdır.

Parametrik yağış akış modelleri De Vries ve Hromadka (1993) tarafından aşağıdaki belirtilen başlıklar altında sınıflandırılmıştır:

- Basit modeller
- Sürekli benzeşim modelleri
- Taşkın hidroliği modelleri

Parametrik modellere örnek olarak Dawdy, O’Donnel modeli, Institute of Hydrology modeli, Beven-Kirkby modeli ve Systeme Hydrologique Europeen (SHE) modeli verilebilir.

Dawdy ve O' Donnell (1965) tarafından geliştirilen model parametrik modellere basit bir örneğidir. Bu model 4 biriktirme elemanından oluşmaktadır. Bunlar Yüzeysel biriktirme (R), akarsuda biriktirme (S), zemin nemi (M), ve yeraltı suyu (G) olarak belirtilmiştir. Dawdy ve O'Donnell modeli Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



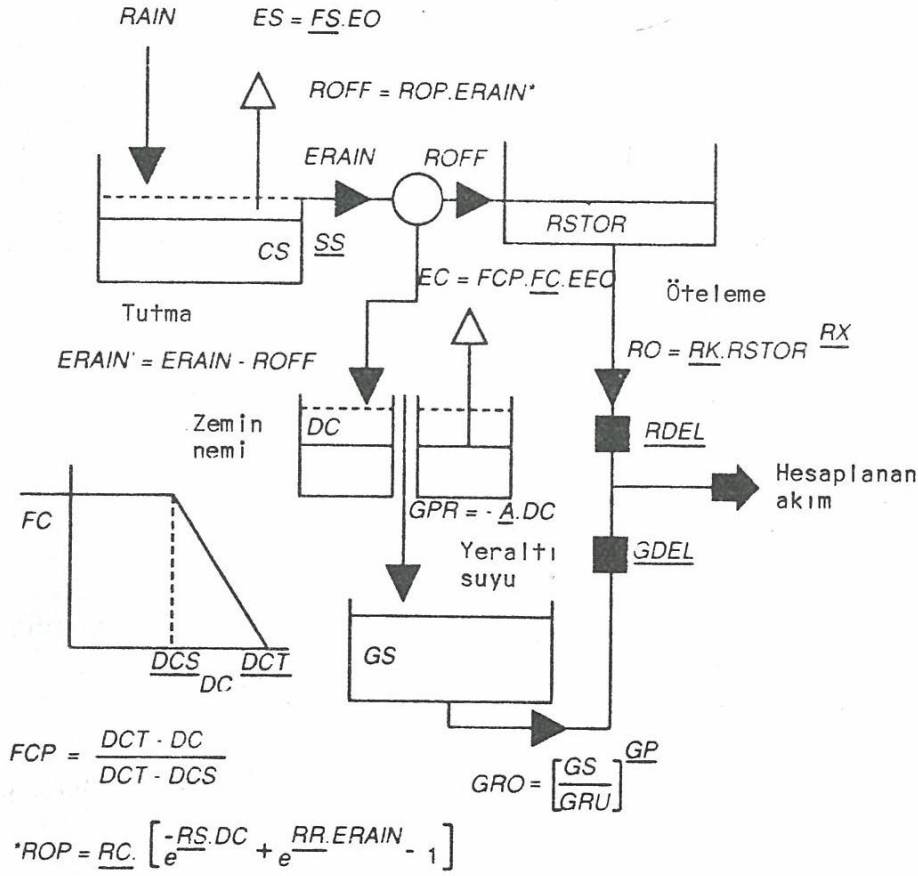
Şekil 2.5 : Dawdy ve O' Donnell Modeli (Dawdy ve O'Donnell, 1965)

Yüzeysel biriktirme elemanındaki biriktirme miktarına, yağış ile buharlaşma arasındaki fark eklenir ve sızma miktarı çıkarılır. Akarsudaki biriktirme miktarı, yüzeysel biriktirme miktarı ve dolaysız akışın bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Zemin nemi ise sızma ve terleme miktarı ile ilişkilidir. Kapiler yükselme veya perkolasyon ve yeraltı suyu biriktirme miktarına bağlı olarak zemin nemi hesaplanır. Yeraltı suyu biriktirme miktarına perkolasyon eklenir ve kapiler yükselme miktarı çıkarılırsa bu bölgedeki değişim hesaplanır.

Parametrik modellere ait bir diğer örnek olarak S.S.C.B. Hidrometeoroloji Merkezi Modeli verilebilir. Bu modelde havzanın çıkışındaki su miktarı yeryüzüne düşen yağışın, evapotranspirasyonun ve sızmanın bir fonksiyonu olarak verilmiştir (Bayazıt, 1998).

Yeryüzüne düşen yağıştan sızma miktarı ve evapotranspirasyon miktarı çıkarılırsa geriye kalan miktar havzanın çıkış akımını göstermektedir. Institute of Hydrology Modelinde de dört adet biriktirme haznesi bulunmaktadır. Bu hazneler tutma,

yüzeysel akış, zemin nemi ve yeraltı suyu haznesi olarak belirlenmiştir. Bu modelde zaman adımı bir saat olarak seçilmiştir. Bu model Şekil 2.6'da gösterilmiştir.

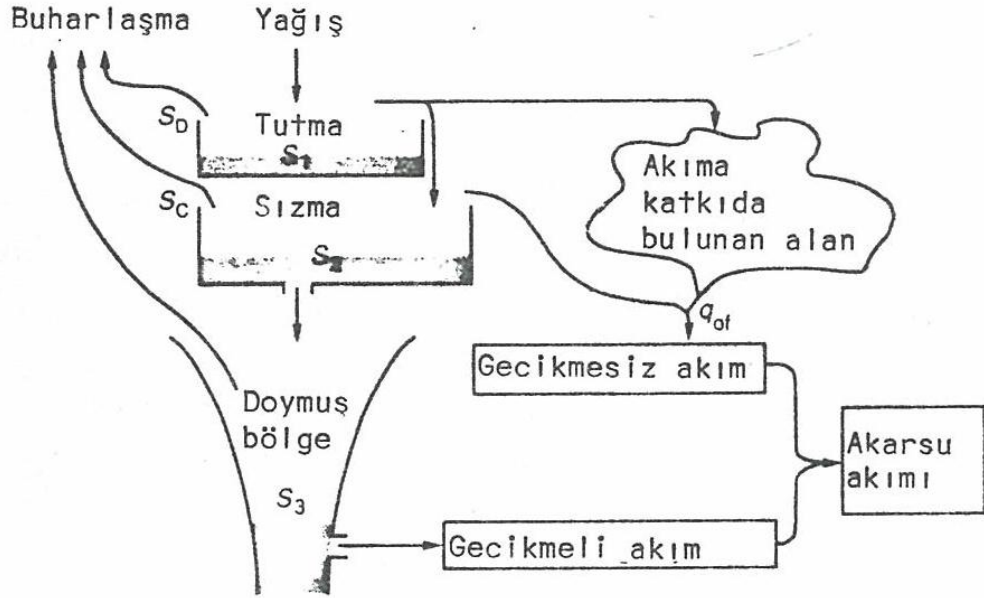


Şekil 2.6 : Institute of Hydrology Modeli (Bayazit, 1998)

Yeryüzüne düşen yağış tutma elemanına girmektedir. Buradaki miktarın bir kısmı yüzeysel akışla biriktirme haznesine dolmaktadır. Yüzeysel akışın belirli bir miktarı ise zemin nemi elemanına geçmektedir. Zemin nemindeki su miktarı arazi kapasitesine bağlı olarak yeraltı suyu biriktirme haznesine girer ya da evapotranspirasyon ile zemin nemi elemanından çıkar. Sonuç olarak yeraltı suyu elemanından çıkan akım ile biriktirme haznesinden çıkan akım toplanarak sistemden çıkan toplam akım hesaplanır.

Beven ve Kirkby tarafından 1979 yılında ortaya konan Beven-Kirkby Modelinde dolaysız akış üzerindeki topografik etkiler göz önüne alınmaktadır (Beven ve Kirkby, 1979). Bu modelde havzaya düşen yağış önce yüzeyde biriktirme ve tutma kayıplarını karşılamaktadır. Bu elemanda buharlaşma da söz konusudur. Bu elemandan yüzey altı biriktirme elemanlarına geçiş vardır. Yüzey altına gitmeyen

suyun bir kısmı ise yüzeysel akışa geçmektedir. Yüzey altı biriktirme elemanından akarsu akımına geçiş ve yüzeysel akışa geçen miktarın bir kısmı akarsu akımını oluşturmaktadır. Akıma katkıda bulunan alan aynı zamanda topografyaya da bağlıdır (Beven ve Kirkby, 1979). Beven-Kirkby modeli Şekil 2.7’de gösterilmiştir.

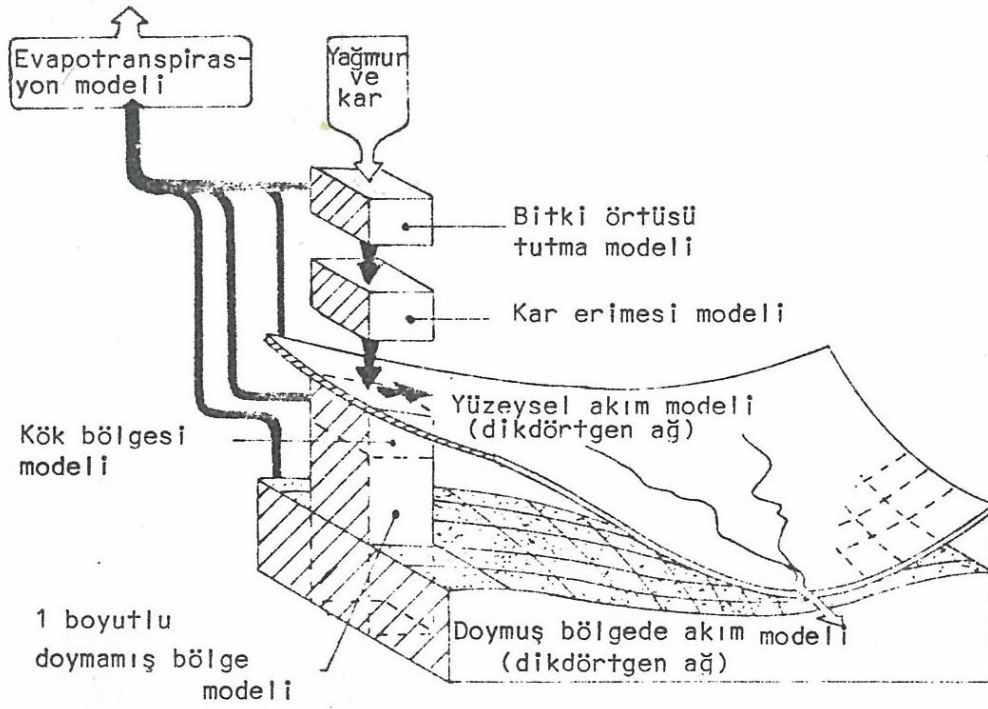


Şekil 2.7 : Beven-Kirkby Modeli (Beven ve Kirkby, 1979)

Geliştirilmiş kavramsal modellerden biri de SHE modelidir. Bu modelde kar erimesi, tutma, evapotranspirasyon, yüzeysel akış, doymamış ve doymuş bölgelerde yeraltı akımı bileşenleri modellenmektedir. Modelde yüzeysel akış ve yeraltı akımı iki boyutlu yüzey altı akımı ise bir boyutlu modellenmiştir. Akarsu akımı yüzeysel akış ve yeraltı akımın toplamı olarak hesaplanmıştır.

SHE Modeli farklı alt modellerin birleşiminden oluşmuştur. Böylece farklı hidrolojik koşullara, eldeki verilerin değişmesine ve farklı zaman aralıklarında çalışması kolaylaştırılmıştır. Bu sistemle bileşenler organize edilmekte, sıra ile çalışmakta ve birbirleri arasındaki alışveriş sağlanmaktadır.

Tutma ve evapotranspirasyon yağış, tutma ve zeminden buharlaşma miktarları doymamış akım bileşenine verilerek zemin nemi hesaplanmakta buradan da evapotranspirasyon miktarına geçilmektedir. Evapotranspirasyon kaybı doymamış bölgede zemin nemi değişimini hesabını yaparken gerçek evapotranspirasyon Penman Monteith denklemini kullanmaktadır. SHE modeline ait şematik gösterim Şekil 2.8’de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.8 : SHE modeli (Bayazit, 1998)

Yüzeysel akış hesaplanırken, havza yüzeyinde tabaka halinde ve akarsu kanalındaki akımı modellerken St. Venant denklemlerine göre tabaka halinde akımın $h(x,y)$ derinliği için

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = q \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} = S_{ox} - S_{fx} \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial h}{\partial y} = S_{oy} - S_{fy} \quad (2.3)$$

olarak yazılabilir. $u(x,y)$ ve $v(x,y)$ x- ve y- doğrultusundaki akım hızları, $q(x,y,t)$ yağışla sızmanın farkı, S_{ox} ve S_{fy} x- ve y- doğrultularındaki eğimlerdir. Akarsu kanalının eğimi Manning denklemi ile hesaplanmaktadır.

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2} \quad (2.4)$$

Manning denklemindeki V kanaldaki hızı, R ıslak çevre ve J kanal eğimini ifade etmektedir. Havza yüzeyindeki akış yukarıda anlatıldığı gibi belirlendikten sonra akarsu kanalındaki akış

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(Au)}{\partial x} = q_L \quad (2.5)$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} = S_{ox} - S_{fx} \quad (2.6)$$

denklemleri ile hesaplanır.

A(x) akarsu kesit alanı, S_{ox} akarsuyun yatak eğimi olup $q_L(x)$ yağış, buharlaşma, yanal akım ve yeraltı ile su alışverişini içine almaktadır. Bu denklemler de sonlu farklar yöntemi ile çözülmektedir.

Doymamış bölge akımın düşey doğrultuda olduğunu kabul ederek Richards denklemini esas olarak hesaplama yapmaktadır. Richards denklemini

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D \frac{\partial \theta}{\partial z} + K \right) - S \quad (2.7)$$

şeklinde yazılabilir. Buradaki θ zeminin doymunluğunu, K hidrolik iletkenlik katsayısını ve D difüzyon katsayısını göstermektedir. S ise bitki köklerinin aldığı ya da zeminden buharlaşan suyu göstermektedir.

Doymuş bölge hesaplamalarında ise akiferin serbest yüzeyli bir akifer olduğu varsayımı yapılmıştır.

2.4 Akım Öteleme Modelleri

Akarsularda belirli bir kesitte debi artışı sırasında su seviyesinin yükselmesi ile birlikte akarsu yatağında biriken su hacmi artmakta, debi azalması sırasında bu hacim yavaş bir biçimde boşalmaktadır. Bu olayın farklı kesitlerde birbirini izlemesine hidrografın akarsu boyunca ötelenmesi denilebilir (Bayazit, 1998). Geniş anlamda akım öteleme, verilen bir girdiye hidrolojik sistemin nasıl bir akışla karşılık vereceğini ortaya koymak için yapılan bir analiz olarak düşünülebilir. Eğer akış, bir taşkın özelliği taşıyor ise yapılan analize taşkın öteleme modeli denir (Chow ve diğ., 1988).

Hidrolojide akarsular üzerindeki üniforma olmayan, zamanla değişken akımlar toplu modeller ve yayılı modeller olmak üzere iki ana başlık altında incelenir.

2.4.1 Toplu modeller

Bu modeller süreklilik denklemini kullanarak ve bazı kabuller yaparak belli kesitlerdeki akımların zaman göre değişimini belirler. Ötelenecek olan akarsu uygun aralıklarla parçalara ayrılır. Akarsuyun membasından başlanarak her bir parça için giriş hidrografi bilindiği için akarsu sonunda (havza sonundaki) çıkış hidrografi hesaplanabilir (Bayazıt, 1998).

Muskingum, SCS ve İmpuls Respons Fonksiyonu modelleri başlıca toplu modellere örnek olarak verilebilir.

Muskingum modeli Denklem 2.1'de gösterilmiştir. Bu denklemde S biriktirme hacmini, x ve y, giriş ve çıkış akımlarını göstermektedir. K katsayısı biriktirme katsayısını, a ise ampirik bir katsayıyı göstermektedir. Denklemdeki a katsayısının değeri 0 ile 0,5 arasında değişmektedir.

$$S = Ky + Ka(x - y) \quad (2.1)$$

SCS modeli ise Denklem 2.2'de verilmiştir. Bu denklemdeki y_2 t=2 anındaki, y_1 t=1 anındaki çıkış debisini ve x_1 giriş debisini göstermektedir. C değeri 0 ile 1 arasında değişen bir katsayıdır.

$$y_2 = Cx_1 + (1 - C)y_1 \quad (2.2)$$

Bir akarsu parçasına ait impuls respons fonksiyonun $t=i\Delta t$ anındaki ordinatı U_i ile gösterilirse x_i giriş hidrografi verildiğinde y_i çıkış hidrografi Denklem 2.3'de verildiği üzere şu şekilde hesaplanabilir.

$$y_i = \sum_{j=0}^l x_{i-j} U_j \quad (2.3)$$

2.4.2 Yayılı modeller

Bu modellerde akımın süreklilik ve hareket (momentum) denklemlerini birlikte kullanarak akarsu boyunca her noktadaki akımın zamana göre değişimi hesaplanabilir. Bu denklemlerin çözümü oldukça zordur bu nedenle yaklaşık hesaplar kullanılmaktadır. Taban eğimi çok küçük olan akarsularda taşkın ötelemede, biriktirme haznelerinde ani kapakların açılmasında ya da baraj yıkılmasında

oluşabilecek dalga hareketlerinin incelenmesinde bu yayılı modeller sıklıkla kullanılır (Bayazit, 1998).

Kinematik dalga modeli, difüzyon dalga modeli, dinamik dalga modeli ve Muskingum-Cunge modeli yayılı modellere örnek olarak verilebilecek modellerdir.

2.5 Havza Modellemede Yaygın Kullanılan Hidrolojik Modeller

Bu bölümde havza modelleme çalışmalarında kullanılan hidrolojik modellere örnekler verilip bu örneklerle ilgili en temel açıklamalara yer verilmiş, HPSF, MIKE SHE, SWAT ve SHE modelleri tanıtılmıştır. Bu modeller, yağış-akış, akım öteleme ve havzalardaki madde döngüleri (katı madde, besin elementleri) ile ilgili süreçleri içermektedirler.

2.5.1 HSPF

HSPF programı geniş zaman aralıklarında hidroloji ve su kalitesi süreçlerini geçirimsiz ve geçirimsiz zeminlerde yüzeysel ve yüzey altı akışlarını da hesaba katarak modelleyebilme özelliğine sahip bir modeldir.

HSPF, sürekli yağışları ve meteorolojik verileri akış hidrograflarını hesaplamada kullanılmaktadır. HSPF ile toprak nemi, yüzeysel akış, yüzey altı akış, yer altı suyu akışı, yer altı suyu deşarjı, evapotranspirasyon gibi süreçler modellenmektedir. Programın ayrıca belirli kirletici parametreleri de modelleyebilmektedir. Zaman adımı aralığı programda bir dakikadan bir güne kadar seçilebilmektedir. Bunun yanında belirlenen zaman adımı ile HSPF, birkaç dakikadan yüzlerce yıla kadar benzeşim yapabilmektedir (Bicknell ve diğ, 2005).

HSPF modeli, 1960'ların başında Stanford Havza Modeli adı altında geliştirilmiştir. 1970'lerde su kalitesi modülü eklenmiş ve 1970'lerin sonunda EPA'nın Athens Araştırma Laboratuvarı tarafından desteklenerek ilgili bir takım modelleri de bu programa birleştirilerek Fortran versiyonu geliştirilmiştir. 1980'lerde ise USGS ve EPA tarafından ön ve son işlemciler, gelişmiş algoritmalar ve USGS havza veri yönetim sistemi modele eklenmiştir. Etkileşimli model yine USGS tarafından 1990'larda geliştirilmiştir (URL-2).

Yüceil ve Gönenç (2006), HSPF modelini kullanarak kırsal havzalarda yayılı kaynaklar için bir model destek sistemi kurmuşlardır. Modelin Türkiye özelinde

uygulanabilmesine rehberlik edebilecek bu sistemi Köyceğiz-Dalyan'da uygulamışlardır. Göncü ve Albek (2011), iklim değişikliğinin havzalarda buharlaşma ve terlemeye olan etkilerini modellemişlerdir. Bu çalışmada iklim değişikliğine bağlı meteorolojik veriler kullanılarak, HSPF model programı ile modellemeler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada farklı toprak yapısı ve farklı bitki örtüsüne sahip hipotetik havzaların 2003-2050 yılları arasında buharlaşma+terleme miktarları hesaplanmıştır (Göncü ve Albek, 2011).

2.5.2 MIKE SHE

Freeze ve Harlan (1969) tarafından hidrolojik döngünün modellenmesi için bir taslak ortaya koyulmuştur. Bu orijinal projede hidrolojik çevrimin farklı kısımları kendilerini ifade eden diferansiyel denklemler ile tanımlanmıştır. Bu denklemler, hidrolojik çevrimin farklı kısımlarında gerçekleşen fiziksel süreçlerin uygun ölçeklerde temsil edilmesinde kullanılmıştır.

1977'den sonra Freeze ve Harlan'ın ortaya koyduğu hidrolojik sistemlerin modellenmesi taslağına dayanarak üç Avrupa Şirketinin oluşturduğu bir konsorsiyum ile geniş ölçüde uygulanabilir the Syst me Hydrologique Europ en(SHE)'i geliştirilmiştir. Bütünleştirilmiş bir hidrolojik model olan MIKE SHE bu proje ile birlikte ortaya çıkmıştır (DHI, 2007).

MIKE SHE 1980'li yılların ortalarından beri Danimarka Su ve Çevre Enstitüsü (DHI) tarafından geliştirilmektedir. Bugün MIKE SHE gelişmiş, esnek bir çatıya sahip hidrolojik modeldir. MIKE SHE güçlü, fiziksel temele dayanan yayılı modeli bütünleşik aynı zamanda 3 boyutlu simülasyonlar yapabilen bir hidrolojik sistemdir (Prucha, 2004). Ön ve son işlemleri yapabilen araçları ve hidrolojik süreçlerin gelişmiş, karışık ve ayrıca basit çözümlerini yapabilen teknikleri içerisinde bulundurulur. MIKE SHE hidrolojik çevrimin ana süreçlerini, evapotranspirasyonu, yüzey üstü akışı, doymamış bölgedeki akımı, yeraltı suyu akımını ve kanal içerisindeki akışı ve ayrıca bunlarının birbirileri ile olan etkileşimlerini içermektedir. MIKE SHE modeli özellikle yüzey suları ve yeraltı suyu akımları bütünleşik bir şekilde modelleyebildiği gibi aynı zamanda taşınım işlemlerini de modelleyebilmektedir (Singh ve Akbari, 2012). Tüm bu süreçler yapılacak olan modelleme çalışmasının amaçlarına, elde edilebilen arazi verilerine ve modelcinin tercihlerine

bağlı olarak mekânsal dağılımın farklı kademelerine ve karmaşıklığına bağlı olarak ifade edilebilir (DHI, 2007).

MIKE SHE geniş bir uygulama alanına sahiptir. Dünya genelinde bir çok ülkede şirketlerden üniversitelere, araştırma merkezlerinden mühendislik danışmanlık şirketlerine kadar bir çok alanda kullanılmaktadır. MIKE SHE su kaynaklarının, yüzey sularının ve yeraltı suyunun ilgili olduğu çevresel ve ekolojik problemlerinin analizi, planlanması, çözümü ve yönetiminde kullanılabilmektedir (DHI, 2007).

2.5.3 SWAT

SWAT (Soil and Water Assesment Tool) havza yönetiminde su, sediment, besin elementi ve pestisitlerin etkilerini güvenilir bir verimle ortaya koymak ve bu etkileri görebilmek için tasarlanmış hidroloji ve su kalitesi modeli olup. Bir havza içerisindeki bir çok fiziksel sürecin benzeştirilmesinde kullanılabilmektedir.

Model, meteorolojik verileri, yüzeysel akışı, perkolasyonu, evapotranspirasyonu, göl ve rezervuar depolamasını, tarımın ve bitkilerin su ihtiyacını, yeraltı akışını hesaplayarak hidrolojik süreçleri modelleyebilmektedir. Model ayrıca besin elementi ve pestisit yüklerini de hesaplayabilmektedir (Neitsch ve diğ., 2011).

SWAT ile yapılan modelleme çalışmalarında, çalışılan havza birden çok alt havzalara ayrılabilir ve model bu alt havzaları ayrı ayrı benzeştirme yeteneğine sahiptir. Dolayısıyla farklı toprak özellikleri ve arazi kullanımına sahip olan alt havzalara ait hidrolojik süreçler daha hassas bir şekilde benzeştirilir (Winchell ve diğ., 2010).

SWAT günlük ve daha uzun süreli simülasyon yapabilmektedir. Ayrıca programa alt havzalar için ayrı meteorolojik veriler ve topoğrafya bilgileri, farklı jeolojik yapılar, hidrolojik etki birimleri ve yetiştirilen bitkiler tanımlanabilir. Hidrolojik tepki birimi tanımlanmış bir alanının arazi kullanımı, topografyası ve toprak türüne bağlı olarak tanımlanan birimin hidrolojik süreçlere vereceği tepkiyi gösteren bir birimdir (Winchell ve diğ., 2010).

SWAT ile birkaç yüz kilometrekarelik veya daha büyük alanlarda çalışılabilir. Yüzlerce hücre ve alt havzayı modele tanıtmak mümkündür. Program aynı zamanda yeraltı suyunu da modelleyebilmekte ve yeraltı sularını yüzey suları ile de ilişkilendirebilmektedir. Kanallardan ve rezervuarlardan gelen sular modele

tanıtıldığında program yapabileceği hesaplamalarda bu verileri de kullanabilmektedir. SWAT modelinde çalışılacak problem ne olursa olsun model için en önemli mekanizma su dengesidir. Hidrolojik döngüyü SWAT modeli iki adımda modelleyebilmektedir. Bunlardan birincisi arazi adımıdır, burada su dengesi hesaplanmaktadır. Yüzeysel akış, yüzey altı akış, buharlaşma gibi parametreler alt havza bazında hesaplanarak alt havza için bir su bütçesi oluşturulur. İkinci adım ise akışa geçen akımın bir kanal içerisinde ötelenmesinin modellenmesidir. Bu hareket sonunda akışa geçen akım havzanın çıkış noktasına kadar modellenmektedir (Neitsch ve diğ., 2011).

SWAT, gelişmiş bir model olup programdır. CBS yazılımları ile de uyumludur. Su bütçeleri ve akışları dışında belirli kirleticilerinde dağılımını izlemekte bu program yardımıyla mümkündür.

Akiner ve Akkoyunlu (2012) tarafından yapılan çalışmada Türkiye'nin Batı Karadeniz Bölümü'nde yer alan Melen Havzası'nda bulunan Büyük Melen ve Küçük Melen nehirlerine akım modelleme çalışması yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında SWAT modeli yardımıyla Düzce iline ait eksik meteoroloji verileri tamamlanmış ve gelecekte alacağı değerler tahmin edilmiştir. Son olarak da havzaya ait mekansal ve zamansal verileri kullanarak Melen Havzası'na ait aylık akım değerleri elde edilmiştir (Akkoyunlu ve Akiner, 2012). Güngör ve Göncü (2012), SWAT modelini kullanarak Porsuk Çayı Havzası'nı hidrolojik modelini ortaya koyarak havzaya en uygun yönetim stratejilerini tanımlamışlardır. 1978 ile 2004 yılları arasında model çalıştırılmış 1998 ve 2004 yılları için kalibrasyon yapılarak tüm yıllar için doğrulama yapılmıştır. Esenkara istasyonunda performans indikatörü olarak kullanılan R^2 değeri kalibrasyon için 0,87 ve doğrulama için 0,87 olarak bulunmuştur. İlgili çalışmada, Porsuk Çayı Havzası'nın en iyi yönetim yaklaşımını farklı senaryolar altında belirlenebileceği bir model altyapısı kurulmuştur (Güngör ve Göncü, 2012). Yayılı kirletici kaynakların SWAT modeli yardımıyla Türkiye'de bir havzada uygulanması Güzel (2010) tarafından yapılmıştır. Köyceğiz Dalyan Havzası'nda uygulanan SWAT yaklaşımında, yetiştirilen her bir üründen kaynaklanan yayılı kirleticilerin modelleme çalışması orta büyüklükteki bir havza için yapılmıştır (Güzel, 2010).

2.5.4 WEAP

WEAP su kaynakları yönetiminin pratik bir şekilde yapılabilmesini sağlamak için geliştirilmiş bir programdır. Diğer modellerden bütünleşik yaklaşımı ve yönetmelik tabanlı olması ile ayrılır (SEI, 2011).

En temel prensiplere dayanarak, WEAP yerleşim alanlarından tarımsal alanlara, bir nehrin havzalarından karışık akarsu sistemlerine kadar bir çok alanda su bütçelerinin kurulmasında kullanılabilir. Ayrıca WEAP, sektörlerin su ihtiyacını, su korunumu, su hakları, su dağıtımındaki öncelikleri, yeraltı ve yüzeysel akış benzeştirmelerini, rezervuar operasyonlarını, su gücü üretimi ve enerji ihtiyacını, kirlilik izlemesi ekosistem ihtiyaçlarını belirleme ve fayda maliyet analizleri yapabilmektedir (SEI, 2011).

WEAP uygulamaları birkaç adımda gerçekleşir. Bunlar, zaman aralığının, mekansal sınırların, sistem elemanlarının ve problemin tanımlanmasını içerir. Yapılan yönetmelik değişimleri, maliyetler, teknolojik gelişmeler ve su ihtiyacını, kirliliğini, teminini ve hidrolojisini değiştiren faktörler gelecek tahminlerinin yapılabilmesi için alternatif senaryolar olarak programa girilebilir (SEI, 2011).

Yılmaz ve Harmancıoğlu (2010) tarafından Gediz Nehri Havzası için çevresel, sosyal ve ekonomik boyutlarıyla ele alan indikatör bazlı karar vermeyi kolaylaştıran bir havza yönetim modeli geliştirilmiştir. WEAP modeli, ilgili çalışmada olması muhtemel yönetim stratejilerini ölçülmüş olan dokuz göstergeye bağlı olarak simülasyon edebilmek ve değerlendirebilmek için kullanılmıştır (Yılmaz ve Harmancıoğlu, 2010).

WEAP modeli ile ilgili bir diğer çalışma yine Gediz Havzası'nda su değerlendirme ve planlama çalışması Van Loon ve diğ. tarafından (2007) yapılmıştır. Gediz Havzası'nda gelecekte artması beklenen tarımsal alanlara ve endüstriyel sektöre su kaynakları açısından daha yakından incelendiği bir çalışmadır. Çalışma kapsamında WEAP modeli Gediz Havza'sının su kaynaklarının kullanımından yönetici ve karar vericilere destek sağlayıcı bir araç olarak kullanılmıştır (Van Loon ve diğ., 2007).

3. ÇALIŞMA ALANI

3.1 Bölgede Yapılmış Diğer Çalışmalar

Darlık Baraj Gölü İstanbul'un önemli su kaynaklarından biri olmasına rağmen, bu tez kapsamında yapılan literatür çalışmasında havzada az sayıda bilimsel çalışma yapıldığı görülmüştür. Yapılan çalışmaların çoğu Darlık Baraj Gölü ağırlıklı olmakla birlikte, Darlık Deresi ve Kolları üzerinde de yapılan çalışmalar bulunmuştur.

Bu bölgede yapılan ve bölgeyi ayrıntılı bir şekilde tanıtan çalışma 1995 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü tarafından yapılan Darlık Havzası Sonuç Raporu'dur. Bu çalışma kapsamında havza çok ayrıntılı bir şekilde tanıtılmış Baraj Gölünün su kalitesini etkileyen kirleticiler belirli ölçüde belirlenmiş, bölgedeki yasal ve idari yapı belirlenmiş bazı koruma eylemleri önerilmiştir (Gönenç ve diğ., 1995).

Darlık Havzasında yapılan bir diğer çalışma ise 2006 yılında TÜBİTAK tarafından yapılan ve yayınlanan Darlık Baraj Gölü Su Kalitesi İzleme Çalışması'dır. İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) tarafından da desteklenen proje, Darlık Baraj Gölü'nün mevcut su kalitesinin belirlenmesi ve çeşitli kaynaklardan (dereler ve deşarjlar) gelen kirletici yüklerin su kalitesinde meydana getirebileceği olası değişimlerin izlenmesi amacıyla hazırlanmıştır. Darlık Baraj Gölü'nde Aralık 2004 ve Aralık 2005 arasında aylık, Ocak 2005 ve Ekim 2005 arasında ise mevsimlik olarak ölçümler yapılarak Darlık Baraj Gölü'nün fiziksel ve kimyasal özellikleri ortaya çıkarılmıştır (Gönenç ve diğ., 1995).

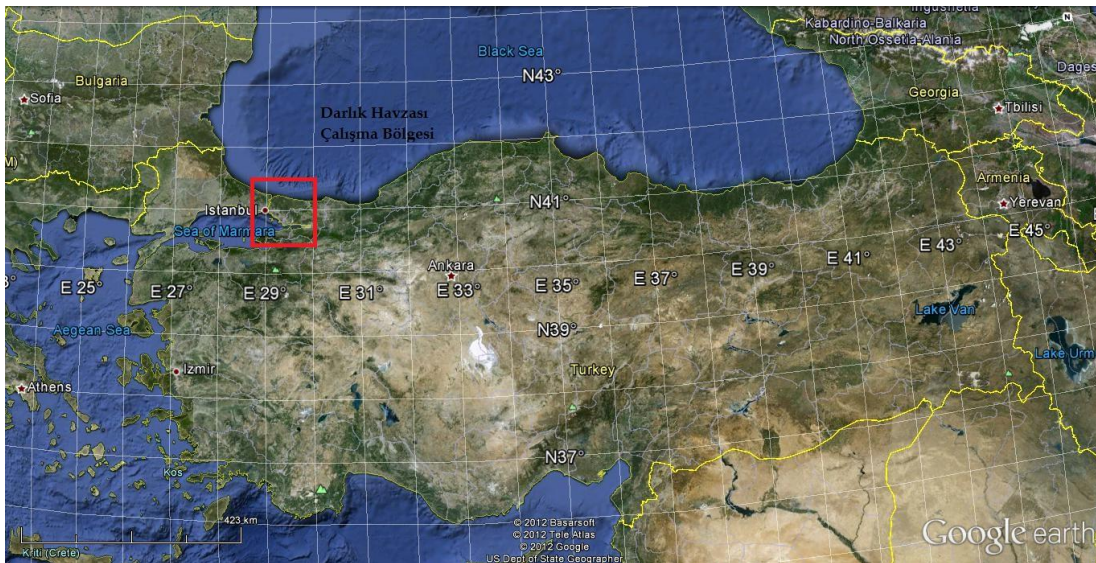
Darlık Havzası'nda kısıtlı sayıda da olsa hidrolojik veri üretilen diğer bir çalışma da Gaygusuz (2012) tarafından baraj gölüne akan derelerde bulunan iki baskın balık türünün biyoekolojik özelliklerinin belirlenmesi üzerinedir. Bu çalışma kapsamında Ekim 2008 ile Eylül 2010 tarihleri arasında Darlık Baraj Gölü'ne akan derelerde 5 farklı istasyonda aylık olarak balıklar yakalanmış, zooplankton, klorofil-a ve bazı hidrolojik, fiziksel ve kimyasal değişkenlerin ölçümü yapılmıştır.

Yönügül (2007) tarafından bölgede yapılan bir diğer çalışma ise bölgedeki ormanlar ve bu ormanların ekonomik değerleri araştırılmıştır.

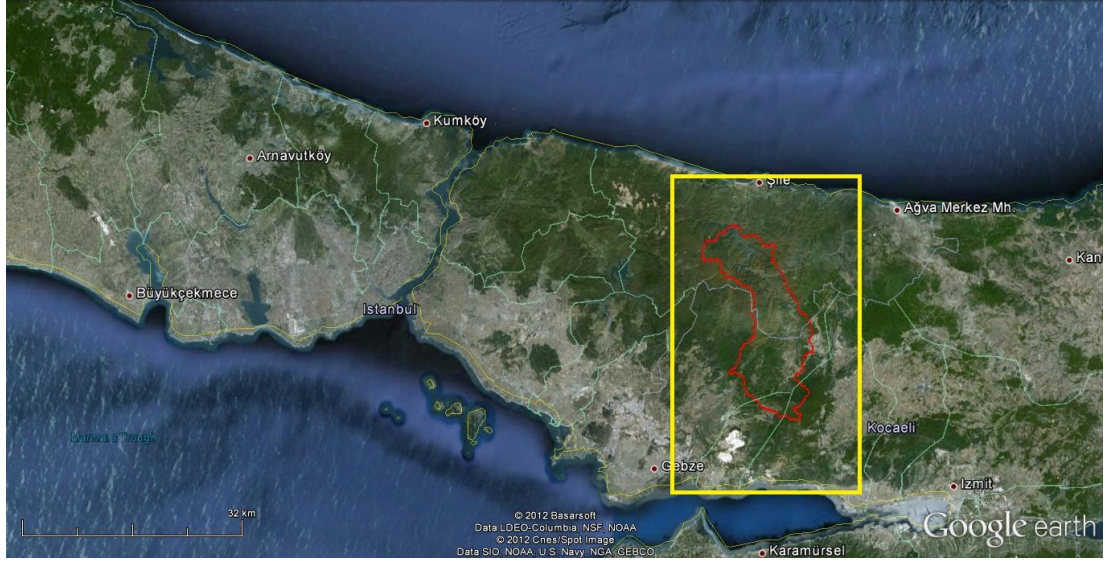
Literatür çalışmalarından da görüleceği üzere bölge hakkında sınırlı sayıda çalışma yapılmış olup bu çalışmalarda su kalitesi üzerinde yoğunlaşmıştır. DSİ'nin yapmış olduğu akım gözlemleri dışında bölgede su miktarı, su bütçesi gibi bölge hidrolojisi açısından önemli çalışmalar yapılmamıştır. Bu çalışmalar ile ilgili olan eksikliği bu tez kapsamında kısmen de olsa kapatılmasına çalışılmıştır.

3.2 Konum

Darlık Havzası 41°08' ile 40°50' kuzey enlemleri ile 29°30' ile 29°42' doğu boylamları arasında kalan bölge içerisinde yer almaktadır. Türkiye coğrafyasında ise havza Marmara Bölgesi'nin doğusunda yer almaktadır. Çalışma bölgesi özellikle yüzeysel su potansiyeli yönünden oldukça önem taşıyan yağış havzalarını içine alan Kocaeli Yarımadası içerisinde yer almaktadır. Darlık Deresi Havzasının alanı 209 km² olup bu alanın çok büyük bir kısmı İstanbul, diğer kısmı ise Kocaeli ili sınırları içerisinde yer almaktadır. Darlık Baraj Gölü İstanbul'un Şile ilçesine 7 km uzaklıkta bulunmaktadır. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de. bulunan haritalarda, sırasıyla Darlık Havzasının Türkiye'deki ve Marmara Bölgesi içerisindeki yeri gösterilmiştir. Havza, Darlık Deresi ana kolunun da yaklaşık olarak doğrultusu olan Kuzey-Güney doğrultusunda uzanmaktadır.



Şekil 3.1 : Darlık Havzası'nın Türkiye'deki konumu



Şekil 3.2 : İstanbul ve Darlık Havzası'nın konumu.

3.3 Sosyo-Demografik Yapı

Bölge içerisinde 7 adet köy bulunmaktadır. Bu köylerin isimleri ve nüfusları Çizelge 3.1'te verilmiştir. Darlık Havzası'nın da içinde bulunduğu bu köylerde nüfus değerleri çok uzun yıllardır değişiklik göstermemiştir. Darlık, Yağcılar ve Kargalı köyleri dışındaki mevcut köylerin geçmiş yıllara ait nüfus değerlerine ulaşamamıştır. Adı geçen üç köy ait geçmiş nüfus değerleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. Bugün de bölge nüfusu oldukça azdır. İstanbul'un su havzaları, özellikle 1985-1990 dönemlerinden itibaren hızlı bir kentleşmeye maruz kalmıştır. Ancak Darlık Havzası bu gelişmenin dışında kalabilmiştir (Gönenç ve diğ., 1995). Bu durum Darlık Baraj Gölü'nün su kalitesi üzerine oldukça önemli katkı sağlamıştır. Darlık Baraj Gölü İstanbul'un su kaynakları arasında kirlenmeden en uzakta kalan barajları arasında yer almaktadır.

Çizelge 3.1 : Darlık Havzası içerisinde bulunan köyler ve yıllara bağlı nüfus değerleri

Köy adı	Nüfus 1990	Nüfus 2000	Nüfus 2010
Yağcılar	166	102	184
Kargalı	450	503	481
Ahatlı	-	121	131
Değirmençayırı	714	488	465
Hasanlı	285	288	257
Darlık	145	281	120
Ulupelit	114	234	175
Toplam	1874	2017	1813

Çizelge 3.2 : Darlık, Yağcılar ve Kargalı Köyü 1965-1985 nüfusları

Köy Adı	Nüfus 1965	Nüfus 1970	Nüfus 1975	Nüfus 1980	Nüfus 1985
Darlık	228	199	163	234	170
Yağcılar	198	222	206	178	172
Kargalı	396	391	390	426	461

Bölgede ormanlık alanların oldukça yoğun bir şekilde yer kaplaması nedeniyle ormancılık bölgede başlıca geçim kaynağıdır. Ormancılık yanında bölgede tarım ve hayvancılıkta yapılmaktadır (Gaygusuz, 2012).

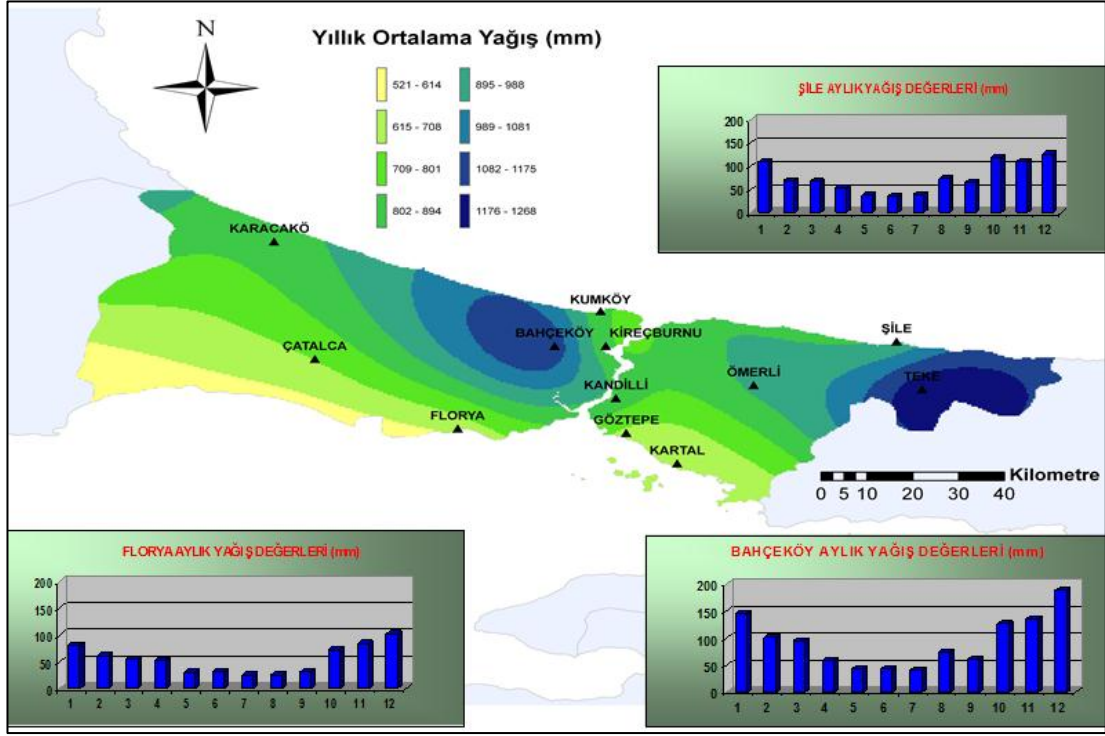
İstanbul için planlanan 3. Köprü ve bağlantı yolları ayrıca Karadeniz Otoyolu projesi havzanın sınırları içerisinde geçmemesine rağmen havzaya oldukça yakın bir alandan geçeceği belirlenmiştir. Bu otoyolun bölgeye getireceği değişiklikler ile birlikte bölge nüfusunun artması, arazi kullanımının özellikle orman alanlarının azalması yönünde değişmesi dolayısıyla Darlık Baraj Gölü su miktarı ve kalitesi üzerinde olumsuz etkilerinin olacağı öngörülmektedir.

3.4 İklim

Darlık Havzası içerisinde bulunduğu Marmara Bölgesi'nin iklimi etkisi altındadır. Marmara Bölgesi İklimi literatürde bir geçiş iklimi olarak tanımlanmaktadır. Marmara Bölgesi İklimi; Karadeniz, Akdeniz ve Karasal iklimleri arasında bir geçiş iklimidir.

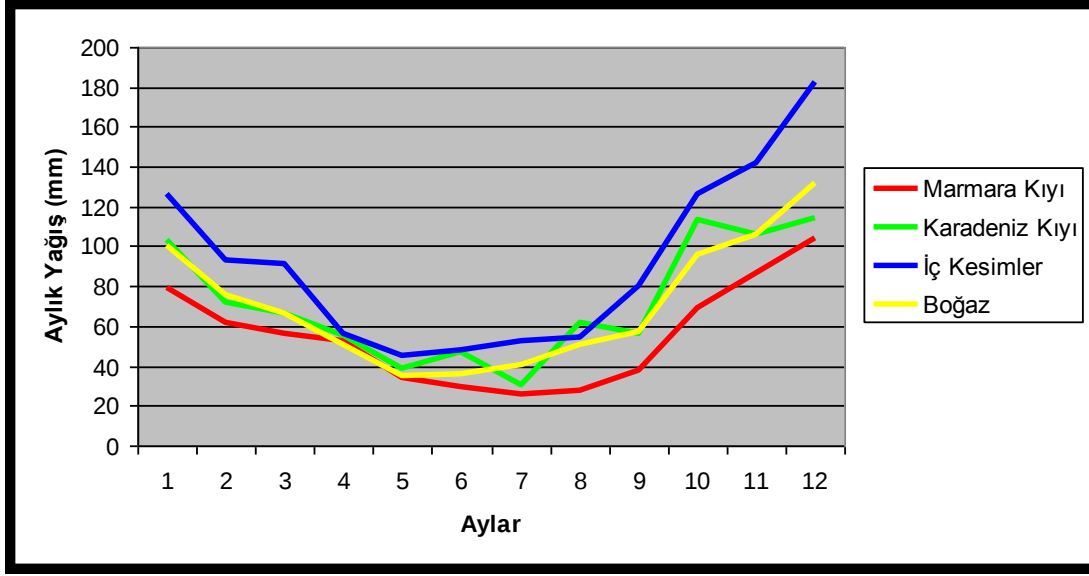
Havzada etkisini gösteren Marmara iklimi Marmara Bölgesi'nin Kuzey Ege'yi de içine alacak şekilde güney kesiminde görülür. Kışları Akdeniz iklimi kadar ılık, yazları Karadeniz iklimi kadar yağışlı değildir. Karasal iklim kadar kışı soğuk, yazı da kurak geçmemektedir. Bu özelliklerden dolayı Marmara iklimi, karasal Karadeniz ve Akdeniz iklimleri arasında bir geçiş özelliği göstermektedir. Buna bağlı olarak doğal bitki örtüsünü alçak kesimlerde Akdeniz kökenli bitkiler, yüksek kesimlerde kuzeye bakan yamaçlarda Karadeniz bitki topluluğu özelliğindeki nemli ormanlar oluşturmaktadır. Soğuk ay olan Ocak ayı ortalama sıcaklığı 4,9°C, sıcak ay olan Temmuz ayı ortalama sıcaklığı 23,7 °C, yıllık ortalama sıcaklık 14,0°C'dir. Ortalama yıllık toplam yağış 595,2 mm'dir ve yağışların çoğu kış mevsimindedir. Yaz yağışlarının yıllık toplam içindeki payı %11,7'dir. Yıllık ortalama nispi nem %73'tür (Şensoy ve diğ., 2008). İstanbul ve civarı, Karadeniz kıyısında olması sebebiyle Karadeniz ikliminin, Akdeniz'in Ege ve Marmara Denizleri vasıtasıyla Kuzeye doğru uzanması ve bu civarda güneyli hava akımlarını bloke edecek önemli

yükseltilerin olmaması nedeniyle Akdeniz ikliminin görülebildiği ilginç bir konuma sahiptir (Karaca ve diğ., 2005). Darlık Havzası güneyindeki yükseltiler sebebi ile daha çok Karadeniz iklimi etkisi altında olan bir havzadır. Aşağıda verilen şekillerde İstanbul için yıllık sıcaklık, yağış ve rüzgar değerleri verilmiştir. Şekil 3.3’de İstanbul ili için yıllık ortalama yağışın dağılımı ve bazı istasyonlarda yağışın aylık değişimi verilmiştir.

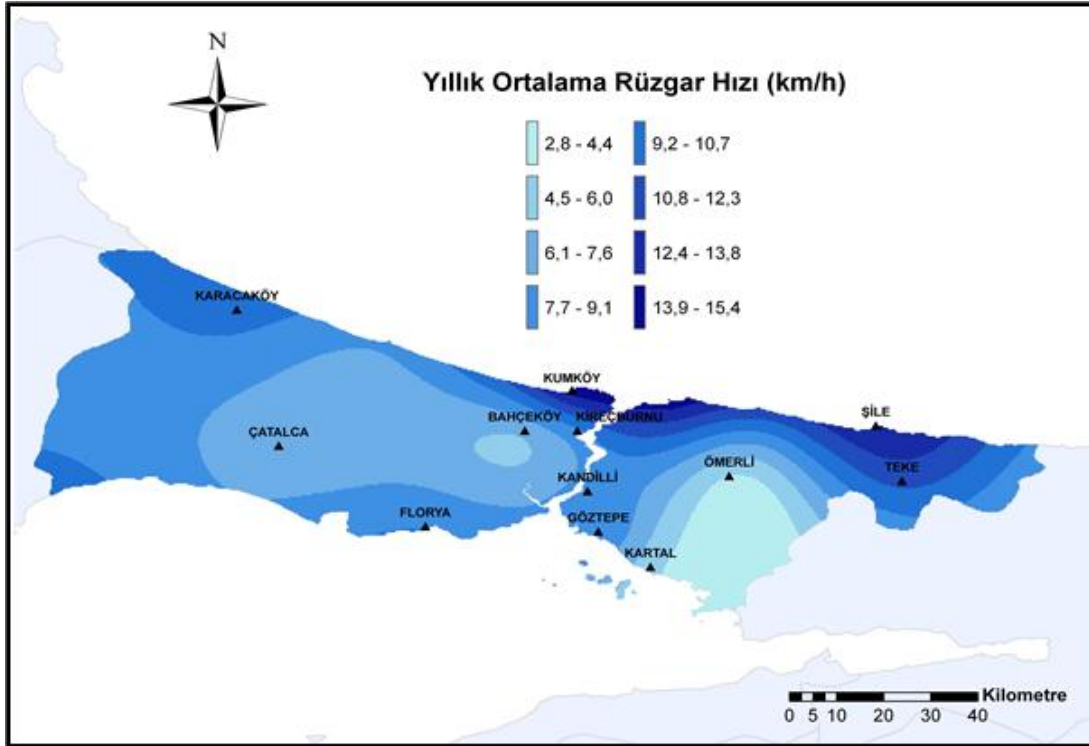


Şekil 3.3 : İstanbul ili için yıllık ortalama yağışın dağılımı ve bazı istasyonlarda yağışın aylık değişimi (Karaca ve diğ., 2005).

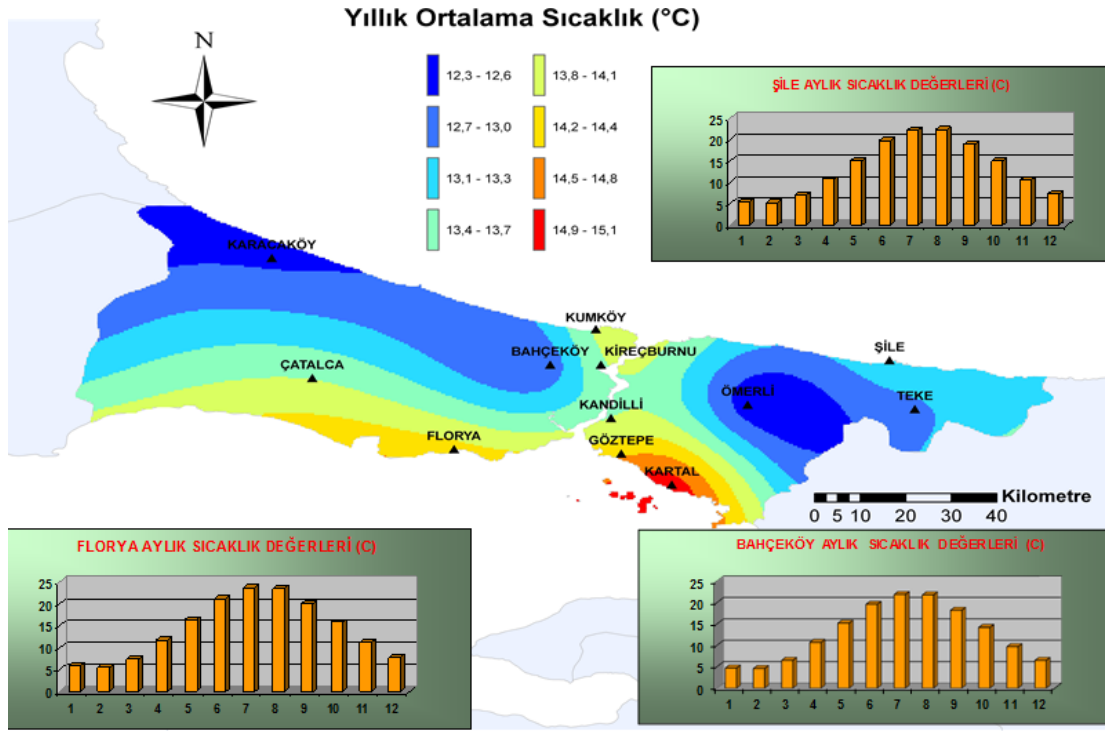
İstanbul il sınırları içindeki istasyonların sınıflandırılması sonucu elde edilen dört bölgenin aylık ortalama yağış miktarlarının bir yıl boyunca değişimi Şekil 3.4’de verilmiş olup Şekil 3.5’de İstanbul’da yıllık ortalama rüzgar hızının dağılımı gösterilmiştir. Karaca ve diğ. (2005) tarafından yapılmış olan iklim analizi çalışmasına ait İstanbul ili için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı haritası ve bazı istasyonların aylık ortalama sıcaklık değişimi Şekil 3.6’da ve İstanbul’da yıllık ortalama bağıl nemin dağılımı Şekil 3.7’de gösterilmiştir. İstanbul ve çevresindeki istasyonlarda kaydedilen yıllık ortalama bulutluluk miktarı ve İstanbul’daki istasyonlarda ölçülen günlük ortalama güneşlenmenin yıllık dağılımı, sırasıyla Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



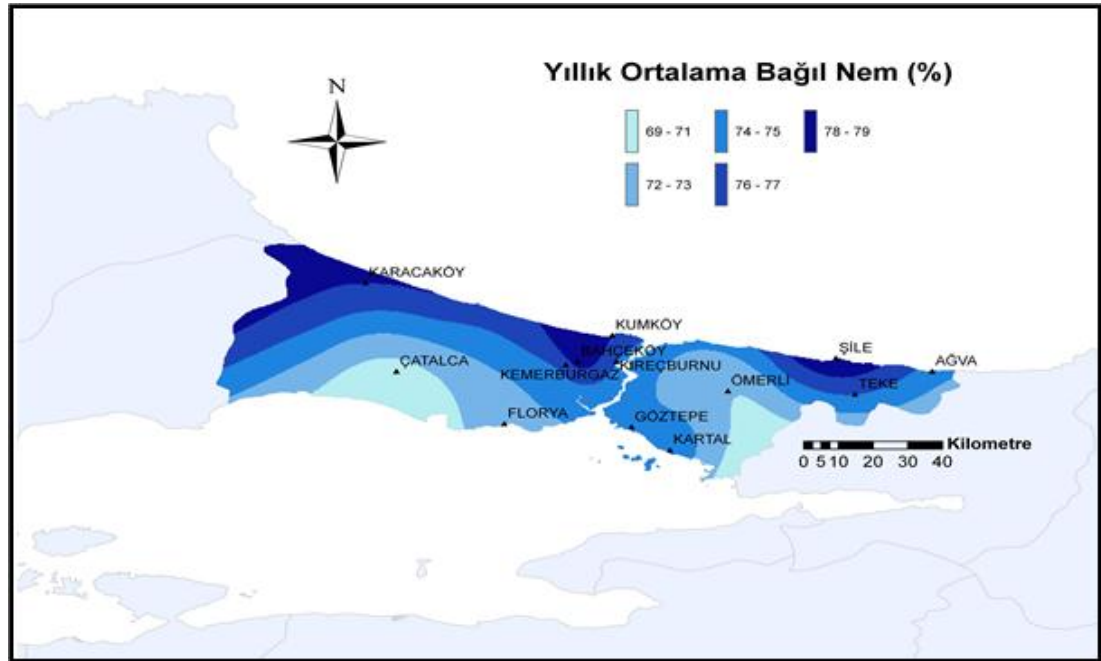
Şekil 3.4 : İstanbul il sınırları içindeki istasyonların sınıflandırılması sonucu elde edilen dört bölgenin aylık ortalama yağış miktarlarının bir yıl boyunca değişimi (Karaca ve diğ., 2005).



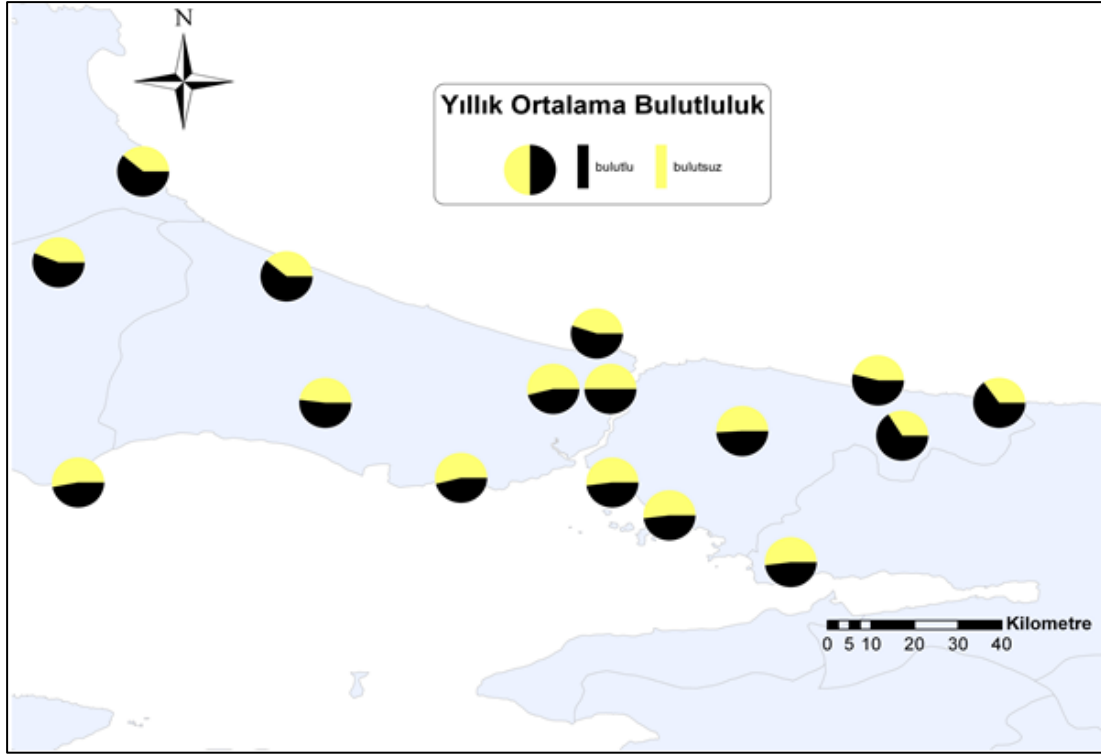
Şekil 3.5 : İstanbul'da yıllık ortalama rüzgar hızının dağılımı (Karaca ve diğ., 2005).



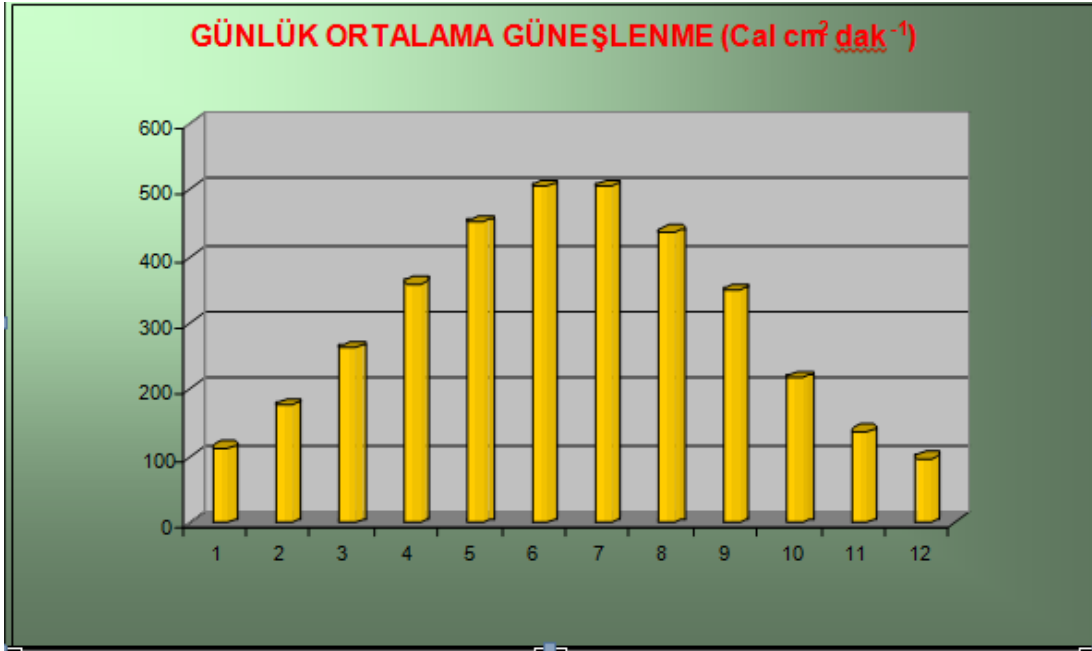
Şekil 3.6 : İstanbul ili için yıllık ortalama sıcaklık dağılımı haritası ve bazı istasyonların aylık ortalama sıcaklık değişimi (Karaca ve diğ., 2005).



Şekil 3.7 : İstanbul’da yıllık ortalama bağıl nemin dağılımı(%) (Karaca ve diğ., 2005).

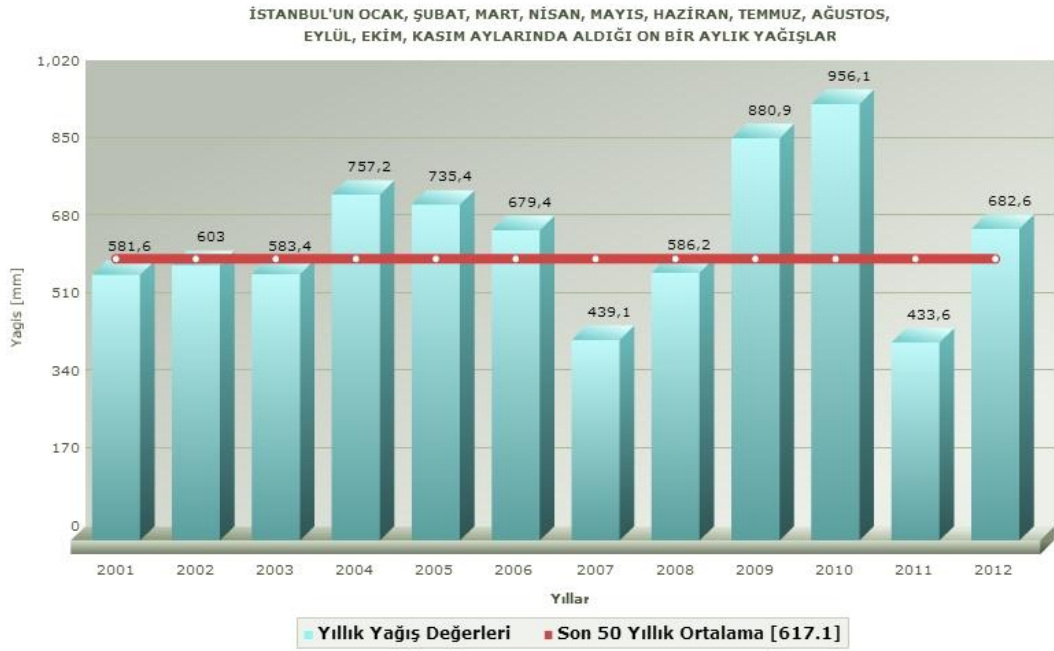


Şekil 3.8 : İstanbul ve çevresindeki istasyonlarda kaydedilen yıllık ortalama bulutluluk miktarı (Karaca ve diğ., 2005).



Şekil 3.9 : İstanbul'daki istasyonlarda ölçülen günlük ortalama güneşlenmenin yıllık dağılımı (Karaca ve diğ., 2005).

Şekil 3.10'da ise İstanbul iline düşen yağışların yıllara göre karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 3.10 : İstanbul iline düşen yağışların yıllara göre karşılaştırılması(Url-3).

3.5 Arazi Kullanımı

Havza alanının çok büyük bir kısmı ormanlıktır. Bazı alanlarda tarım yapılmakla birlikte bu oran çok küçüktür. Mera alanları da oldukça azdır. Çalışma alanı içerisinde yaklaşık yedi adet köy bulunmaktadır. Bölge bitki türleri bakımından Türkiye'nin en zengin yerlerinden biri olarak tanımlanan Kocaeli Yarımadası'nda bulunması sebebiyle oldukça çeşitli bir vejetasyona sahiptir (Özyuvacı, 1978). Havza alanının çok büyük bir kısmını oluşturan ormanlık bölge özellikle meşe, gürgen ve kayın ağaçlarından oluşmaktadır. Bölgede ormancılık önemli bir geçim kaynağıdır. Özellikle ağaç seyreltme işlemleri ile ormancılık yapılmaktadır.

3.6 Toprak Özellikleri

Hidrolojik süreçlerde zemin yapısı oldukça önemli bir yere sahiptir. Yeryüzüne düşen yağışın yüzeysel akışa ya da yeraltı akımına geçen kısmının belirlenmesinde oldukça etkilidir. Zemin özellikleri sızma miktarını doğrudan etkilemektedir. Ayrıca toprağın özellikleri hidrolojik süreçler sonucundaki su bütçesinde ve aynı zamanda

su kalitesi üzerinde de etki sahibidir. Bu etki zeminin (toprağın) geçirirmliliği, derinliği ve kimyasal özellikleri sayesinde olabilmektedir (Gönenç ve diğ., 1995).

Darlık Havzası toprakları hakkındaki çalışmalar oldukça sınırlıdır (Özyuvacı, 1978). Darlık havzasında hakim toprak türü, kahverengi orman toprağıdır. Havzanın güneyinde ise kireçsiz kahverengi topraklarda görölmektedir (Gönenç ve diğ., 1995).

Bölge jeolojisi havza topraklarının başlıca ana materyalini oluşturmaktadır. Bu ana materyaller arkoz, kuvarsit, kumtaşı (grovak) ve kil taşıdır. Toprak oluşumunda iklimin, yağışın etkisinin yanı sıra en büyük etkiyi temel jeolojik ana materyaldir. Bu kapsamda bölgenin toprakları Gönenç ve diğ. (1995) tarafından Darlık Havzası Sonuç Raporu'nda belirtildiği üzere kabaca 5 ana toprak türüne ayrılmıştır. Bu raporda topraklar;

- Arkoz'dan oluşmuş topraklar
- Kuvarsit'ten oluşmuş topraklar
- Kumtaşları'ndan oluşmuş topraklar
- Tersiyere ait örtü çökellerinden oluşmuş topraklar
- Alüvyal çökellerden oluşmuş topraklar olarak belirtilmiştir.

Bölgenin büyük bir kısmını kaplayan bu kahverengi kireçsiz topraklar ağırlıklı olarak hidrolojik toprak gruplarından A ve C profiline sahip topraklardır (Özyuvacı, 1978). Bu toprak sınıfları, toprağın maksimum ıslaklıkta suyu alım ve iletimine, donmuş olup olmasına, toprak yüzeyinin çıplaklığına ve kabarıp kabarmamasına bağlı olarak belirlenmiştir. Bahsi geçen toprak grupları içeriklerine göre A, B, C, D toprak grupları olmak üzere adlandırılmıştır (USDA, 2007).

3.7 Jeolojik-Hidrojeolojik Yapı

Darlık Havzası başlıca, Paleozoyik'e ait temel kayaçları ve Tersiyer'e ait örtü çökelleri ile kaplıdır. Ayrıca vadi tabanlarında çok kalın olmayan alüvyal çökeller bulunmaktadır (Gönenç ve diğ., 1995).

Paleozoyik istifinde alttan üste doğru uyumlu, arkoz, kuvarsit, kumtaşı, kil taşı, sleyt ve karbonatlı çökeller, çeşitli kireçtaşları ayırt edilmiştir. Yer yer andezit ve diyabaz daykaları, paleozoyik istifindeki kayaçları kesmiştir.

Örtü çökelleri; başlıca, kum, çakıl, silt ve kil düzeylerinin ardalanmış veya girik istif şeklindedir. Bu istif, bölgedeki göllere gelen akarsu ve sel malzemelerinden oluşmuştur. Sarımsı, kırmızımsı, alacalı renkleriyle arazide kolayca ayırt edilebilir.

Arazide yer yer, taş ocaklarında ve yol yarmalarında ezik zonlar gözlenir. Bölge tersiyer öncesi peneplenleşmeye başlamıştır. Peneplenleşme sonrası genç akarsu ağının örtü çökelleri içinde gömüldüğü görülmektedir. Peneplen kavramı flüvyal morfolojik evrimin sonunda ortaya çıkan son topoğrafya şekline verilen addır (Erinç, 2002)

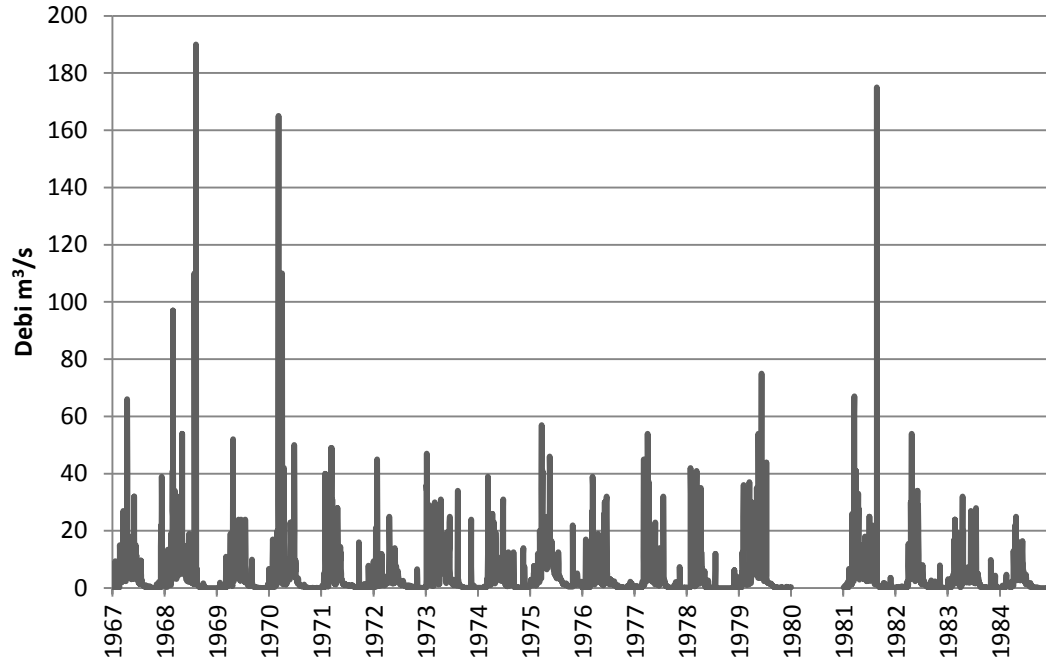
Darlık Baraj Gölü başlıca yüzeysel akıştan beslenmektedir. Paleyozik'e ait kayalar geçirimsiz oldukları için önemli miktarda yeraltı suyu beslemesi beklenmemektedir. Havzada geniş yer tutan örtü çökelleri ise geçirimlidir. Bu düzeyler ile göl arasında yeraltı suyu alışverişi söz konusudur. Vadi tabanındaki çökellerde akifer özelliğindedir. Toprak örtüsü de geçirimlidir ve yüzey altı sellenmesini denetler (Gönenç ve diğ., 1995).

3.8 Bölge Hidrolojisi

Darlık Havzası'nın toplam drenaj alanı 209 km²'dir. Bu havza ile ilgili en önemli hidrolojik veri Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından 1968-1986 arasında Darlık Deresi'ndeki yapılan hidrometrik ölçümlerdir. Bu ölçümler Darlık Barajı'nın inşaatına başlanılan 1986 yılına kadar devam etmiştir. Daha sonra DSİ bu ölçüm istasyonunu kaldırmıştır. Bu tarihten sonra bölgede düzenli olarak yapılan debi ölçümü verisine ulaşılamamıştır.

Ölçüm yapılan istasyon 41° 7'9.83"K boylamında ve 29°34'3.41"D enleminde Şile-İstanbul eski otoyolunun 8. km'sindeki Korucu köyünün 200 m. membasındaki Mağara Burnu (Eşelli) mevkiindedir

DSİ tarafından yapılmış olan ölçümlere ait 18 yıla ait günlük değerler Şekil 3.11'de gösterilmiştir. 1981 yılına ait akım gözlemlerinin ilgili şekilde görülememesinin nedeni bu yıla ait verilere ulaşılamamasıdır.



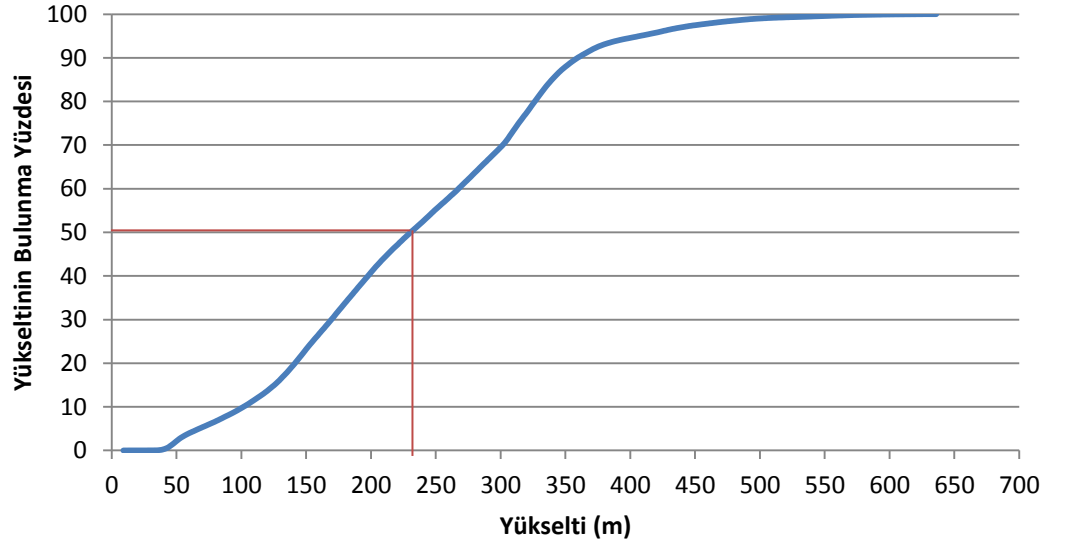
Şekil 3.11 : DSİ tarafından 1968-1986 yılları arasında yapılan debi ölçümleri

4. ARAÇLAR VE YÖNTEMLER

4.1 Arazi Kullanımı ve Özelliklerinin Analizi

4.1.1 Topografya

Darlık Havzası'nın yükseltisi 7 m ile 633 m arasında değişmektedir. Havzanın ortalama yükseltisi 235 m olarak belirlenmiştir. Şekil 4.1'de belirli bir yükseltinin bulunma yüzdesi gösterilmektedir.



Şekil 4.1 : Havzadaki yükseltilerin yüzde dağılımı

Havzadaki en yüksek kısımlar havza güneyinde Kocaeli il sınırları içerisinde yer almaktadır. Eğim grupları havzanın erozyona eğilimli olup olmadığını gösteren parametrelerden bir tanesidir. Havzanın eğim grupları ve toprak türleri açısından incelendiğinde havzanın erozyona duyarlı topraklar olduğu ortaya koyulmuştur (Gönenç ve diğ., 1995).

4.1.2 Darlık Havzası'nın ve bazı karakteristik özelliklerinin belirlenmesi

Gelişen teknoloji ile birlikte Dünya üzerindeki bir bölgenin yüksekliklerini tanımlamakta kullanılan eşyüksekti eğrili haritaları bilgisayar ortamında sayısal

olarak üretilmiştir. Bilgisayar ortamındaki sayısal haritalarda bu yükseltiiler düzenli ızgaralara (grid noktalarına) dönüşmektedirler. Düzenli ızgara, tüm harita yüzeyini kapsayan kare biçiminde, bulundukları koordinatın yükseklik bilgisini içeren yapılardır. Sonuçta, sayısal yükseklik modeli olarak adlandırılan ve yüksekliklerin yatay ve düşey yönde eşit aralıklı bir matris noktaları şeklinde elde edilebildiği bir model oluşturulmaktadır (Aslan ve diğ., 2004).

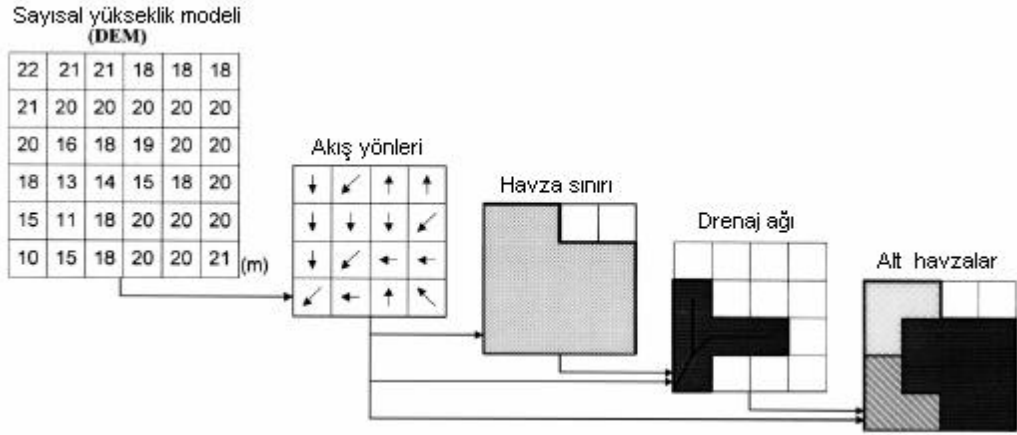
Bu sayısal yükseklik modelleri, su kaynakları ile ilgili çalışmalarda eğim ve yön haritalarının, vadi tabanları ve sırtlarının, drenaj ağlarının ve drenaj ağlarının büyüklük, uzunluk, eğim gibi özelliklerinin, havza ve alt havza özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Aslan ve diğ., 2004).

Hidrolojik veri analiz sürecinin ilk ve temel aşaması drenaj havzası sınırlarının belirlenmesidir. Hidrolojik modeller için D8 yaklaşımı (sekiz akış yönü), drenaj havza yapısının modellenmesinde geçerli yaklaşımlardan biridir (Jenson ve Domingue 1988; Turcotte ve diğ., 2001).

Bu çalışma kapsamında da havza sınırlarının belirlenmesinde D8 yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem temel olarak dört aşamada gerçekleşmektedir. Birinci aşamada sayısal yükseklik modeli üzerinden her bir hücre için su akış yönleri hesaplanır. İkinci aşamada su akış yönleri üzerinden havza sınırları belirlenir. Üçüncü aşama ise akarsu ağı belirlenir. Vadi tabanı yani en düşük yükseltilere sahip alanlar akarsu ağı olarak tanımlanır. Son aşama olan dördüncü aşamada ise hesaplanan akış yönleri ve modellenmesi istenen akarsu ağı parçalarına göre alt havza sınırları belirlenmektedir.

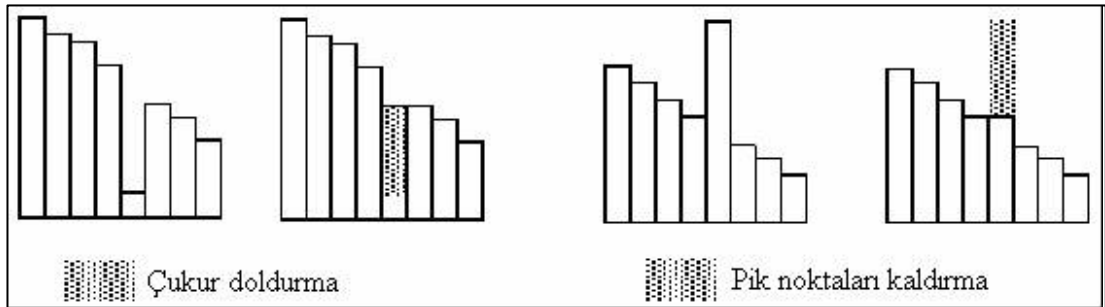
D8 yöntemi diğer bir çok yaklaşımda olduğu gibi, çukur ve düz alanlar ile akışı engelleyen yapıların bulunması durumunda drenaj ağının belirlenmesi sırasında bazı zorluklarla karşılaşmaktadır (Garbrecht ve Martz, 1999). Bu sorunlar genellikle model üretimi sırasında oluşan enterpolasyon hataları ve veri karmaşıklığından kaynaklanmaktadır. Sayısal yükseklik modeli üzerinde akış yönlerinin hesaplanmasından önce hata oluşturabilecek bu değerlerin düzeltilmesi gerekmektedir.

Şekil 4.2’de Sayısal yükseklik modeli yardımıyla drenaj havzasının belirlenmesi ve Şekil 4.3’de ise Sayısal yükseklik modeli üzerinde hatalı çukur ve pik noktaların düzeltilmesi işlemi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.2 : Sayısal yükseklik modeli yardımıyla drenaj havzasının belirlenmesi(Aslan ve diğ., 2004)

Aksi takdirde havza belirlenmesi sırasında bir çukur etrafında bulunan gridler, belirlenen havza ile ilişkisi olmayacak ve kendi etrafında kapalı alanlar oluşturacaktır (Aslan ve diğ., 2004). Bu problemin çözümü için uygulanan en yaygın uygulama ise drenaj ağları tanımlanmadan önce var olan çukurların ve yüksek değere sahip olan hücrelerin düzeltilmesidir.

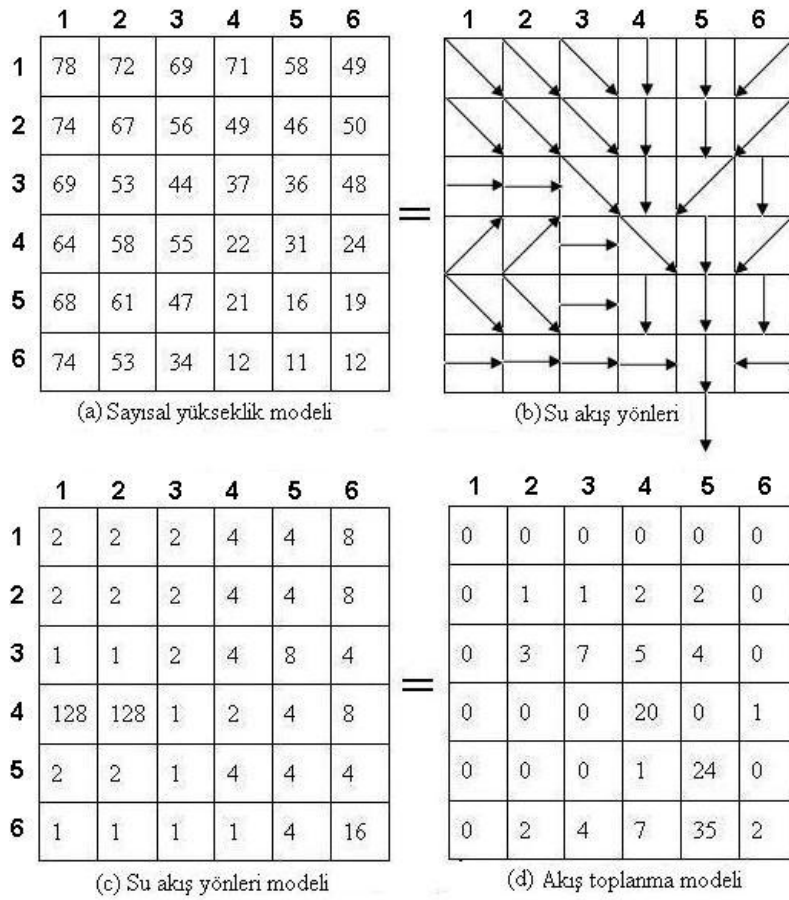


Şekil 4.3 : Sayısal yükseklik modeli üzerinde hatalı çukur ve pik noktaların düzeltilmesi işlemi

Tanımlanan D8 yöntemi ile birlikte model çalıştırıldığında önce su akış yönleri hesaplanır sonrasında var olan akışın toplandığı gridler belirlenir. Akış toplanma modeli üzerinde en fazla akışın toplandığı yer havzanın çıkış noktası olarak tanımlanır. Hesaplanan çıkış noktasına doğru olan tüm grid hücrelerinin en yüksek kota sahip olan hücreleri havzanın dış sınırı belirler. Daha sonra son işlem olarak drenaj ağı belirlenir. Bu aşama yine akış toplanma modeli üzerinden gerçekleşir. Bu model de üzerinde su akış yönü değeri en küçük olan hücreden değeri en fazla olan hücreye doğru olduğu varsayılmaktadır.

D8 akış modelini kullanarak havza sınırları belirlemede kullanılan bir çok havza modeli ve CBS programı bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında kullanılan araç ArcGIS 10.0 programı üzerinde çalıştırılan ArcSWAT modeline ait Watershed Delineation aracıdır.

Bu yazılımla birlikte dünya üzerindeki kullanıcıların ücretsiz olarak kullanabileceği 30 m hassasiyete ASTER-GDEM sahip sayısal yükseklik haritaları (Digital Elevation Map) kullanılmıştır (Url-4). Bu sayısal haritalar (DEM) içinde yükseklikleri belirtilen hücreler 30 m x 30 m boyutundadır. Bu hücrelerin her biri bir yükseklik değerine sahiptir.



Şekil 4.4 : Akış toplanma modelinin oluşturulma aşamaları

SWAT Watershed Delineation aracı yardımıyla önce bu sayısal yükseklik haritasında D8 modelinin çalışması sırasında gerçekleştirilecek zorluklar ortadan kaldırılır. Daha sonra program bir drenaj ağı ortaya çıkarır ve bu drenaj ağına bağlı olarak çizilmesi istenen havza ve alt havzaların çıkış noktaları işaretlenir. Bu seçimler yapıldıktan sonra program otomatik olarak havza sınırlarını çizebilmektedir. Ayrıca program havzaya ait bazı karakteristik özellikleri de raporlayabilmektedir. Akış toplanma

modelinin oluşturulma aşamaları şekil 4.4’de gösterilmiştir. Bu alışma kapsamında hidrolojik analizi yapılan Darlık Havza’sına ait akarsu ağını, alt havza ve havza sınırlarını göstermektedir.

Darlık Havza’sının hidrolojik analizi çalışması kapsamında bölgede 18 adet alt havza belirlenmiş ve çizilmiştir. Bu alt havzalardan 1 ve 15 numaralı iki alt havza oluşturulan kavramsal hidrolojik modelin kurulumunu ve bu modelin analitik ve sayısal çözümünü kolaylaştırmak için belirlenmiştir. Çizelge 4.1.’de oluşturulan alt havza numaraları ve alanları zet olarak verilmiştir. Sayısal yükseklik modeli yardımıyla elde edilen havza, alt havza ve akım ağı haritası şekil 4.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Darlık Havzası alt havzaları ve alanları

Alt havza numaraları	Alt Havza Alanları (ha)
1	2
2	1874
3	964
4	1069
5	634
6	2373
7	1105
8	1019
9	782
10	582
11	582
12	1707
13	2579
14	1216
15	12
16	775
17	1645
18	1966

4.1.3 Harita sayısallaştırma işlemleri

Su kaynaklarının mevcudiyetinin mekansal dağılımını tahmin edebilmek için yüzeysel ve yeraltı sularının hidrolojik olarak modellenmesine ihtiyaç vardır. Gelişen şehirlerde, su kaynaklarının değişiminde birincil etken arazi kullanımıdır (Wijesekara ve diğ., 2010). Arazi kullanımı toprak karakteristiğinden ve evapotranspirasyon

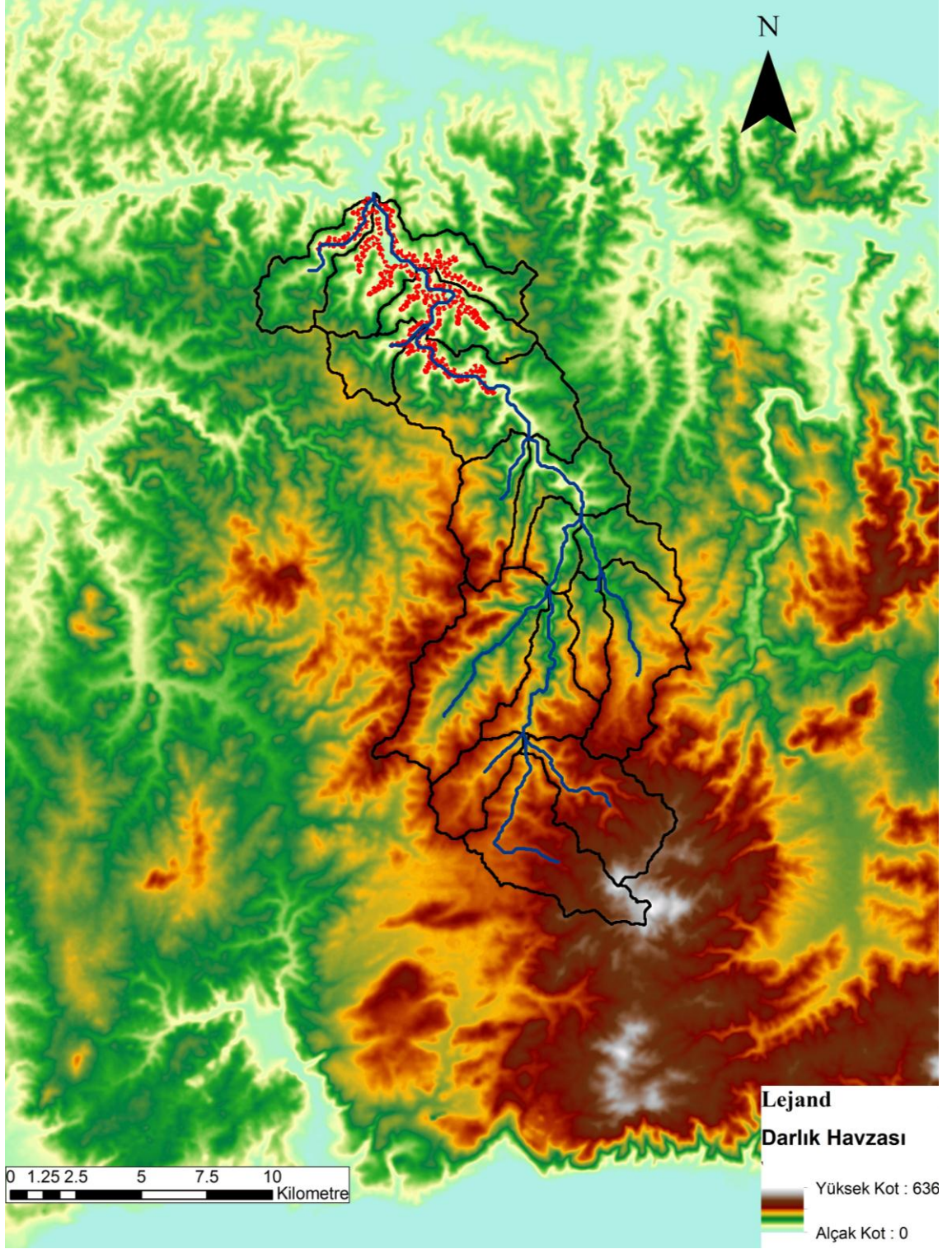
sisteminden farklılık göstererek, havzanın hidrolojik olarak verdiği tepkiyi doğrudan etkiler. Su kalitesi modelleri de hidrolojik modellere bağlı olduğundan arazi kullanımının hidrolojik süreçlere olan etkisinin incelenmesine ihtiyaç vardır (Url-5).

Yağışların zemine sızmayan (sızma kapasitesinin üzerindeki) kısmı yer yüzeyinde yüzeysel akışı oluşturur ve daha sonra bu akış akarsu ağına ulaşır (Bayazıt, 1998). Suyun çevrimi sırasında zemine sızacak olan yağışın miktarının belirlenmesinde arazi kullanımı oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Arazi kullanımı ve özellikleri sızmaya uğrayacak ya da yüzeysel akışa geçecek su miktarını doğrudan

etkilemektedir. Örneğin büyük şehirler hemen hemen neredeyse asfalt ya da betonla kaplıdır. Bu malzemenin geçirimsizlikleri son derece düşük olduğundan şehirleşmiş yerleşim yerlerinde sızma miktarı son derece düşük olmaktadır. Çizelge 4.2. alt havzalara ait arazi kullanımını göstermektedir.

Çizelge 4.2 : Alt havzaların arazi kullanımları

Alt Havza Numarası	Alt havza alan (ha)	Arazi Kullanımı (ha)		
		Kırsal Yerleşim	Orman	Otlak
1	2	0	2	0
2	1874	0	1089	785
3	964	31	933	0
4	1069	0	432	637
5	634	0	614	20
6	2373	13	1473	887
7	1105	0	1105	0
8	1019	6	647	366
9	782	12	316	454
10	582	15	191	376
11	582	31	228	323
12	1707	24	111	1572
13	2579	0	2169	410
14	1216	0	1032	184
15	12	0	12	0
16	775	0	595	180
17	1645	7	1600	38
18	1966	0	1966	0



Şekil 4.5 : Sayısal yükseklik modeli yardımıyla elde edilen havza, alt havza ve akım ağı haritası

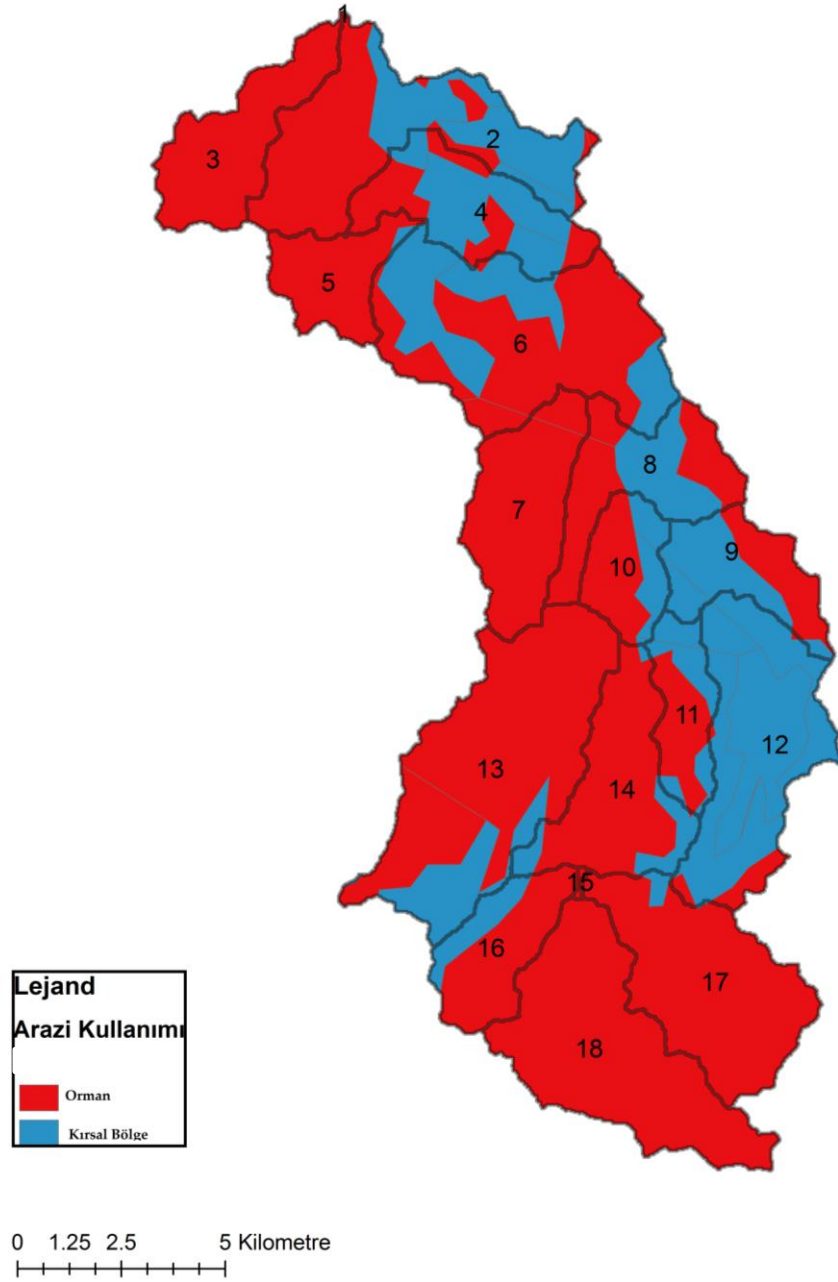
Darlık Havza'sına ait arazi kullanımı haritası ArcGIS 10.0 CBS yazılımı yardımıyla sayısal ortama aktarılmıştır. Yapılan bütün sayısallaştırma çalışmalarında koordinat sistemi UTM olarak seçilmiştir.

Darlık Havza'sına ait jeoloji haritası da yine aynı yöntemler yardımıyla sayısal ortama aktarılarak model için gerekli olan sayısal verilerin elde edilmesi işlemi bilgisayar aracılığı ile yapılmıştır.

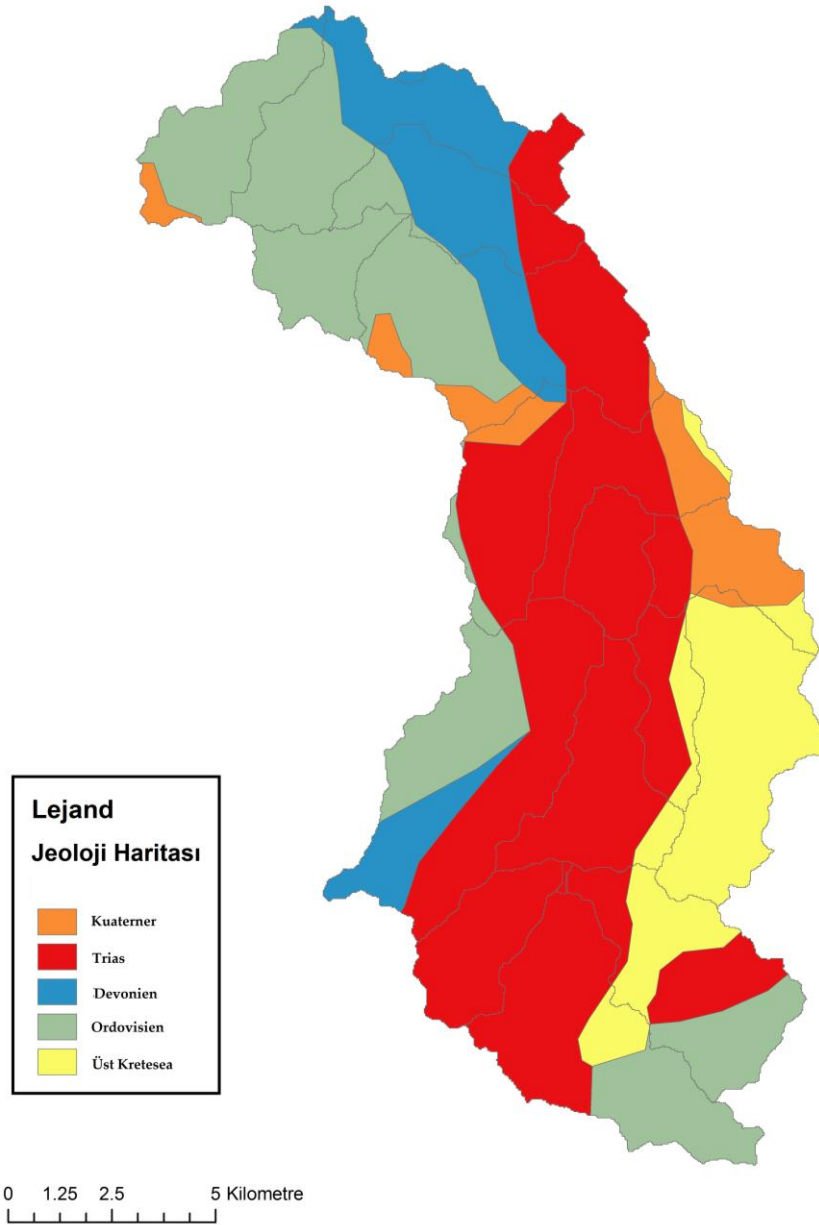
İstanbul sınırları için elde edilen CBS ortamındaki toprak türü haritası ile havzanın İstanbul ili sınırları içerisinde yer alan toprak türleri tanımlanmıştır.

Ana kayanın fiziksel parçalanması ile başlayan ayrışma, çeşitli kimyasal çözülme olayları, organik maddenin toprağa karışması ve taşıma olayları ile devam etmekte ve sonuçta çeşitli horizonlardan ibaret bir toprak profili oluşmaktadır. Toprak oluşumunda etkili olan faktörler; ana kaya, iklim, organizma, topografya ve zaman olarak beş ana başlık altında toplanabilir (Özyuvacı, 1978). Bölge için ana kaya dışındaki diğer etkenler birbirine çok yakın olduğu için toprak türleri oluşumundaki etkenin jeolojik formasyon olduğu kabul edilmiştir. Dolayısıyla, havzanın Kocaeli'nde kalan kısmının toprak türünün belirlenmesi işleminde İstanbul il sınırları içerisindeki jeolojik formasyonlarda oluşmuş toprak türleri, Kocaeli sınırları içerisinde bulunan jeolojik formasyonlarla karşılaştırılıp uygun toprak türleri ile eşleştirilerek belirlenmiştir. Belirme işleminde Kocaeli Yarımadası'na ait jeoloji haritası coğrafi bilgi sistemi (CBS) programı (ArcGIS 10.0) yardımı ile sayısal hale getirilmiştir. İstanbul ili için hazırlanmış olan jeoloji ve toprak haritasına bağlı olarak eşleştirme yapılmış, alt havzalarda ağırlıklı bulunan jeolojik formasyona ait toprak türü belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen toprak türleri değerleri bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

Darlık Havzası'na ve althavzalarına ait arazi kullanımı haritası Şekil 4.6'da ve jeoloji haritası Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.6 : Darlık Havzası Arazi Kullanım Haritası



Şekil 4.7 : Darlık Havzası Jeoloji Haritası

4.1.4 Meteorolojik veriler ve istasyonlar

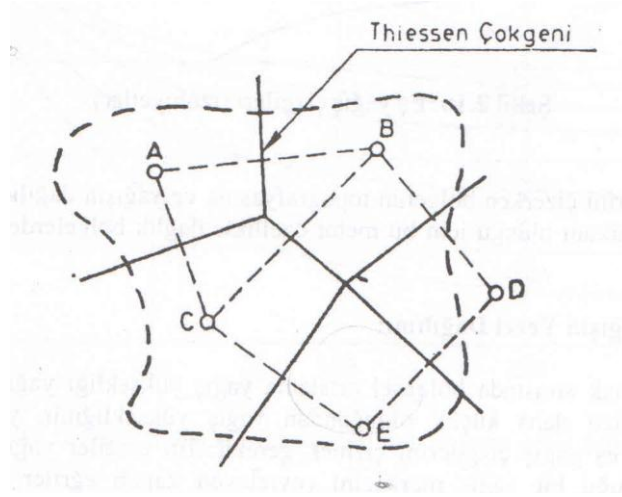
Hidrolojik analiz ile ilgili en önemli veri gruplarından biri meteorolojik verilerdir. Bu çalışma kapsamında kullanılmış olan meteorolojik veriler aşağıda belirtilmiştir. Havza içerisinde gerçekleşen hidrolojik süreçleri etkileyen meteorolojik değişkenler

- Yağış
- Hava sıcaklığı
- Zemin sıcaklığı

- Rüzgar hızı ve yönü
- Nem
- Güneş radyasyonu
- Bulutluluk ve güneşlenme süresi

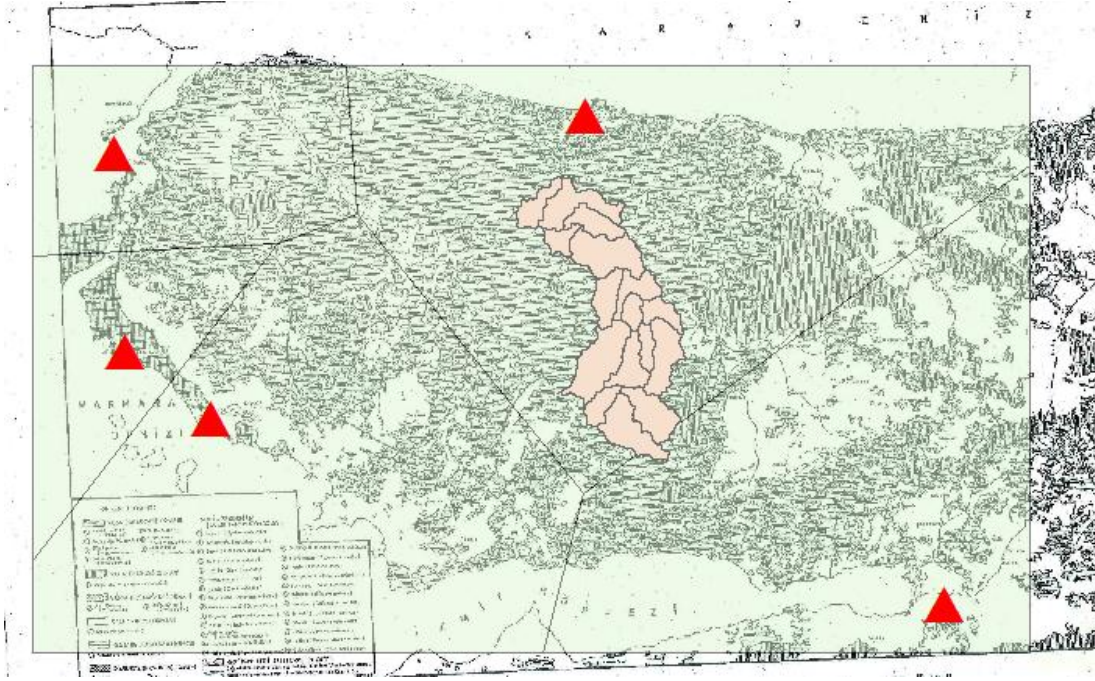
olarak verilmiştir.

Havza sınırları içerisinde Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait bir meteorolojik ölçüm yapan bir istasyon bulunmamaktadır. Yukarıda adı geçen parametrelerin ölçüm sonuçları İstanbul ili Anadolu Yakası sınırları içerisinde yer alan Kartal, Göztepe, Şile ve Ömerli istasyonları ile Kocaeli ili sınırları içerisinde yer alan Gebze ve Kocaeli ölçüm istasyonlarından alınmıştır.



Şekil 4.8 : Örnek bir Thiessen Çokgeni (Bayazıt, 2003).

Havza sınırları içerisindeki ortalama yağış yüksekliğinin bulunması için Thiessen yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde bölge her bir ölçüm istasyonu çevresinde her nokta yakın olduğu istasyona ait çokgen içerisinde kalabilecek şekilde bölünmektedir. Bu yöntemi uygularken birbirine yakın istasyonlar birer doğru parçası ile birleştirilir sonrasında orta dikmeler çizilir. Her istasyon çevresinde bu dikmelerin meydana getirdiği çokgenin o istasyon çevresindeki yağış ile temsil edildiği kabul edilir (Bayazıt, 2003). Şekil 4.8 örnek bir Thiessen çokgenini göstermektedir. Şekil 4.9. ise bu çalışma kapsamında yararlanılan istasyonların Kocaeli Yarımadası üzerindeki yerlerini ve bu istasyonlara bağlı olarak çizilen Thiessen çokgenini göstermektedir.



Şekil 4.9 : Darlık Havzası ve Kocaeli Yarımadası Thiessen çokgeni

Thiessen yöntemi ile çizilen bölgelerin homojen karakterlerde olduğu kabul edilir ve bu bölge içerisine düşen yağış yüksekliği ağırlıklı ortalama ile hesaplanır. N adet ölçüm istasyonunun bulunduğu ve herhangi bir istasyonda yağış yüksekliği P_i ve alanın A_i ile gösterildiği bir bölgede, Thiessen yöntemine göre ortalama yağış

$$P_{or} = \frac{\sum_{i=1}^N P_i A_i}{A} \quad (4.1)$$

denklemleri ile ifade edilir.

Bu çalışma kapsamında da bölgeye düşen yağışlar bu denklem yardımıyla hesaplanması planlanmış ancak Şekil 4.9'de görüldüğü gibi Darlık Havzası'nın neredeyse tamamı (%98), Kocaeli Yarımadası üzerinde bulunan istasyonlar yardımıyla çizilen Thiessen çokgenine ait alanlarda Şile istasyonuna ait kısımda yer almaktadır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında ortalama ağırlık yöntemi ile hesaplanan değerler değil doğrudan Şile istasyonuna ait meteorolojik ölçümler kullanılmıştır. Bu kapsamda kullanılan veriler ve bu verilerin bulunduğu yıllar Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Havzaya ait meteorolojik veriler (Günlük ortalama yağış, sıcaklık, nem ve rüzgar) DSİ akım gözlem istasyonu tarafından yapılmış olan ölçümler ile karşılaştırılmıştır.

Bu verilerin havzanın çıkışında bulunan akım hidrografına olan etkileri korelasyon katsayısı ile belirlenmiştir.

Çizelge 4.3 : Meteorolojik veriler ve elde edildiği yıllar

Meteorolojik Veri	Elde edilebilen yıllar
Yağış	1968-2011
Sıcaklık	1968-2011
Nem	1968-2011
Rüzgar	1968-2011

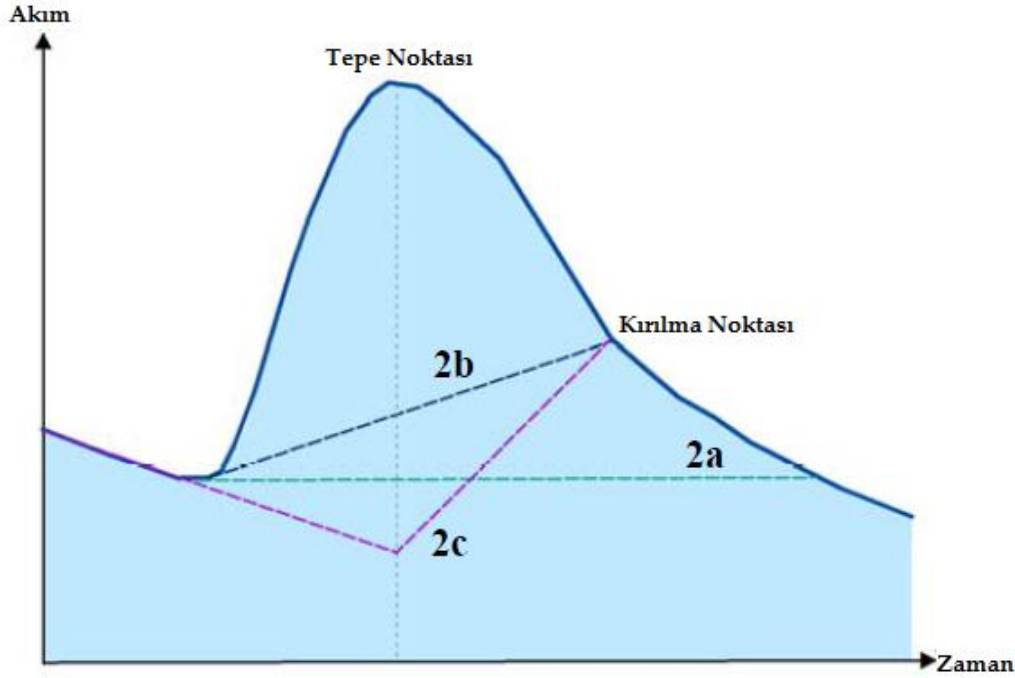
Yapılan analiz meteorolojik verilen elde edilen en erken tarihten (1970) akım gözlem istasyonunda yapılan son ölçüm tarihine (1986) kadar incelenmiştir. Sadece DSİ yıllıklarından akım değerleri bulunamayan 1981 hidrolojik yılına ait yılda bu analiz yapılamamıştır. Korelasyon katsayısına bağlı olarak yapılan t testi ile hangi parametrenin akım oluşumunda etkili olacağı belirlenmiş. Bu değere uygun olan parametrelerin akım değerini veren denklemi elde edilmiştir. Bu korelasyon katsayıları ve denklemler sonuç kısmında ayrıntılı olarak verilmiştir.

4.1.5 Hidrograf analizi

Hidrograf analizi hidrografın kendini oluşturan elemanlarına ayrılması işlemi olarak tanımlanabilir. Bir hidrograf temelde yeraltı suyu akımı, yüzey altı akımı ve yüzeysel akım olmak üzere üçe ayrılabilir. Hidrograf analizinin ilk adımı hidrografın kendisini oluşturan iki temel bileşen olan yüzeysel akış ve taban akışına ayırmaktır. Hidrografın bu temel bileşenlerini ölçümü için kimyasal ya da izotop iz elementlerinin kullanımı, kütle dengesi yaklaşımı gibi yöntemler bulunmaktadır (Pinder ve Jones, 1968). Ancak literatürde tanımlanan yöntemlerle bu bileşenlerin ölçümü oldukça zor olmaktadır (McCuen, 1989). Bu nedenle toplam akımdan taban akımını ayırabilmek için çeşitli analitik yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler fiziksel bir temel üzerine dayansa da bütün uygulamalar öznelidir (Arnold ve diğ., 1995).

Hidrograf analizi için çeşitli yöntemlerde bulunmaktadır. Grafik yöntem (yersel minimum yöntemi) ile ayırma, filtreleme yöntemi ve tekrarlı dijital filtreleme yöntemi hidrograf analizinden kullanılan yöntemlere örnek olarak verilebilir (Brodie and Hostetler 2010).

Grafik yöntem, hidrografa ait yükselme ve çekilme eğrilerinin sabit bir eğime ulaştığı noktaların çeşitli şekillerde birleştirilerek, birleştirilen bölgenin altında kalan alanın baz akım olarak ayrılması esasına dayanır (Brodie and Hostetler 2010).



Şekil 4.10 : Grafiksel yöntem ile hidrograf analizi (Brodie and Hostetler 2010).

Şekil 4.10'da Grafiksel yöntem ile hidrograf analizi gösterilmiştir. Burada 2a, 2b ve 2c isimleri ile adlandırılmış çizgiler, grafiksel yöntemin farklı şekillerde uygulandığının gösterildiği hidrograf ayırma teknikleridir. 2a sabit debi ile, 2b sabit eğim ile ve 2c ise konkav ayırma tekniklerini ifade etmektedir.

Filtreleme yöntemi herhangi bir hidrolojik temele dayanmamak ile birlikte tekrarlanabilir, objektif ve kolaylıkla otomatikleştirilmiş bir şekilde baz akımı ayrılabilir (Brodie and Hostetler 2010). Grafik yöntemin sahip olduğu öznelliği belli ölçüde ortadan kaldırmak için geliştirilmiştir (Gonzales ve diğ., 2009).

Tekrarlanabilir dijital filtreler de herhangi bir hidrolojik temele dayanmamaktadırlar. Sinyal işlemede sıklıkla kullanılan yüksek frekanslı analizleri düşük frekanslı analizlerden ayırmaya yarayan yöntem, hidrograf analizinde toplam akım ile taban akımını birbirinden ayırmaya yarayan bir araç olarak kullanılmaktadır (Nathan ve McMahon, 1990).

Bu çalışma sırasında akım gözlem istasyonundan elde edilen Darlık Deresi debilerinden elde edilen hidrograflar internet tabanlı bir hidrograf analizi programı

olan WHAT (Web Based Hydrograph Analysis Tool) programı yardımıyla yapılmıştır.

WHAT programı hidrograf analizinde Eckhardt (2005) tarafından geliştirilmiş olan ve sıklıkla kullanılan bir çok bir parametrelili filtreyi kullanım dışına bırakmış Denklem 4.2 ile gösterilmiş olan formülü kullanmaktadır (Brodie and Hostetler 2010).

$$q_{b(i)} = \frac{(1 - BFI_{max})aq_{b(i-1)} + (1 - a)BFI_{max}q_i}{1 - aBFI_{max}} \quad (4.2)$$

Bu denklemde $q_{b(i)}$, i anındaki baz akım, $q_{b(i-1)}$, $i-1$ anındaki bir önceki baz akım q_i i anındaki toplam akım a çekilme eğrisi sabiti ve BFI_{max} baz akım indeksinin maksimum değeri olarak verilmiştir.

DSİ tarafından alınan akım rasatları ve model sonuçları günlük değerler olarak WHAT programına girilerek, ölçülmüş ve hesaplanmış akım değerlerine ait taban akışları hesaplanmıştır.

4.2 Meteorolojik Verileri ile Akım Rasatları Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi

4.2.1 Çok değişkenli doğrusal regresyon analizi

DSİ'den alınmış olan akım rasatları ve meteorolojik parametreler arasındaki ilişkiler çok değişkenli doğrusal regresyon analizi yapılarak bu ilişki belirlenmeye çalışılmıştır. Bu yöntem ile Havza'da meteorolojik değişkenlere bağlı bir istatistiksel model kurulup kurulamayacağı ortaya konulmuştur.

Yağış, sıcaklık, nem ve rüzgar parametrelerinin DSİ tarafından ölçülmüş akım rasatları ile regresyon analizi yapılmıştır. Akım rasatı birden çok parametreye bağımlı olacağı için burada çok değişkenli doğrusal regresyon analiz yöntemi kullanılmıştır.

Y bağımlı değişkenin $X_1, X_2, \dots, X_m$ gibi m adet bağımsız değişkenden etkilendiği kabul edilir ve aralarındaki ilişki için doğrusal bir denklem seçilirse Y 'nin regresyon denklemi şu şekilde yazılabilir

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_mx_m \quad (4.3)$$

Bu denklemde y, bağımsız değişkenler $X_1=x_1$, $X_2=x_2$, $X_m=x_m$, değerlerini aldığında Y değişkenin beklenen değerini göstermektedir (Bayazıt, 2005)

a , b_1 , $b_2, \dots b_m$ regresyon katsayıları basit regresyondakine benzer şekilde gözlem uzaklıklarının regresyon denkleminin gösterdiği çok boyutlu düzlemde e_{yi} uzaklıklarının karelerinin toplamı olan

$$\sum_{i=1}^N e_{yi}^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - a - b_1x_{1i} - b_2x_{2i} - \dots - b_mx_{mi})^2 \quad (4.4)$$

İfadesini minimum yapacak şekilde hesaplanır.

Y'nin X_1 ve X_2 gibi iki bağımsız değişkene göre regresyon denklemi Denklem 4.3 için en basit hali olarak şu şekli alır:

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 \quad (4.5)$$

Denklem 4.3 için Denklem 4.5'i minimum yapacak regresyon katsayıları şu doğrusal denklem takımını çözerek bulunur.

$$a \sum_{i=1}^N 1 + b_1 \sum_{i=1}^N x_{1i} + b_2 \sum_{i=1}^N x_{2i} = \sum_{i=1}^N y_i \quad (4.6)$$

$$a \sum_{i=1}^N x_{1i} + b_1 \sum_{i=1}^N x_{1i}^2 + b_2 \sum_{i=1}^N x_{1i}x_{2i} = \sum_{i=1}^N x_{1i}y_i \quad (4.7)$$

$$a \sum_{i=1}^N x_{2i} + b_1 \sum_{i=1}^N x_{1i}x_{2i} + b_2 \sum_{i=1}^N x_{2i}^2 = \sum_{i=1}^N x_{2i}y_i \quad (4.8)$$

Basit regresyondakine benzer şekilde gözlemlenmiş noktaların regresyon düzlemine y doğrultusundaki uzaklıkların varyansı:

$$s_{ey}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N e_{yi}^2}{N - 3} \quad (4.9)$$

ifadesi ile hesaplanır.

Regresyon denklemiyle tahmin edilen değerin standart hatası şu ifadeyle hesaplanabilir:

$$s_{ey} = \left[\frac{1}{N} + B_1(x_{10} - x_{1ort})^2 + B_2(x_{20} - x_{2ort})^2 + 2C(x_{10} - x_{1ort})(x_{20} - x_2) \right]^{1/2} \quad (4.10)$$

Çok değişkenli regresyonda Y bağımlı değişkeni $X_1, X_2, \dots, X_m$ gibi bağımsız değişkenleri arasındaki doğrusal bağımlılığın bir ölçüsü:

$$R = \left(1 - \frac{s_{ey}^2}{s_Y^2} \right) \quad (4.11)$$

Şeklinde tanımlanan korelasyon katsayısıdır. R değerinin 1'e yaklaşması regresyon denkleminin ifade ettiği ilişkinin deterministik bir ilişkiye yaklaştığını gösterir (Bayazıt, 2005).

4.2.2 Güvenilirlik testi

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

$H_0: R=0$ hipotezini kontrol etmek için

$$F = \frac{R^2/m}{(1 - R^2)/(N - m - 1)} \quad (4.12)$$

Şeklinde tanımlanan F istatistiği kullanılır. F değeri seçilen α anlamlılık düzeyindeki F_α kritik değerinden büyük ise $R=0$ hipotezi reddedilir ve değişkenler arasında anlamlı bir bağımlılık bulunduğu kabul edilir. Bu durumda regresyon denklemi anlamlı bir ilişkiyi gösterir (Bayazıt, 2005).

4.3 Modelin Yapısı

WEAP'in zemin nemi metodu iki ana biriktirme haznesinden oluşan ve bir boyutlu zemin nemi hesabı yapan modeli, birim havza için evapotranspirasyonu, yüzeyel akışı, yüzey altı akışını ve derine sızmayı bu süreçler için çıkarılmış olan ampirik fonksiyonlara dayanarak hesaplamaktadır. Bu yöntem yukarıda adı geçen süreçleri etkileyen arazi kullanımı ve toprak türünü seçmesine izin vermektedir. Havza içerisinde gerçekleşecek derine sızma, modelin havzanın üst biriktirme haznesi ve yeraltı suyu haznesi arasındaki ilişki uygun bir şekilde verildiğinde yüzeydeki suyun taban akışı olarak ya da doğrudan yeraltı suyu depolaması olarak hesaplanabilir.

Bir havza arazi kullanımı ve toprak türüne göre farklılık gösteren N adet bölgeye ayrılabilir ve su bütçesi bu oransal alanlara (j) göre yapılır. İklim değişkenlerinin her bir alt havza içerisinde üniforma olduğu kabul edilmektedir. Yapılan bu kabullere göre bir alt havza için su bütçesi

$$Rd_j \frac{dz_{1,j}}{dt} = P_e(t) - PET(t)k_{c,j}(t) \left(\frac{5z_{1,j} - 2z_{1,j}^2}{3} \right) - P_e(t)z_{1,j}^{RRF_i} - (1 - f_i)k_j z_{1,j}^2 - f_i k_j z_{1,j}^2 \quad (4.13)$$

denklemleri ile ifade edilmektedir.

Bu denklemde $z_{1,j}$ bağıl su tutma oranını ifade eder ve kök bölgesinde tutulan su miktarının bölgede tutulabilecek toplam su miktarına oranı olarak tanımlanmıştır. Rd_j (mm) ise arazi kullanım oranına bağlı birikmedir. P_e ile gösterilen etkili yağış, alt havzada toplanan kar örtüsü sonucu oluşan kar eriyiği miktarlarını da içermektedir. Kar erimesi, m_c katsayısı ile tanımlanmıştır ve

$$m_c = \begin{cases} 0, & T_i < T_l \\ 1, & T_i > T_l \\ \frac{T_i - T_s}{T_l - T_s}, & T_s \leq T_i < T_l \end{cases} \quad (4.14)$$

ile ifade edilmiştir.

Burada T_i değeri, "i" ayı için gözlenen sıcaklık değeri ve T_l ve T_s değerleri ise sırasıyla erime ve donma sıcaklıklarını göstermektedir. Kar toplanması A_{Ci} ile gösterilmiş olup m_c 'nin ve P_i 'nin (o ay için toplam yağışın) bir fonksiyonu olup

$$Ac_i = Ac_{i-1} + (1 - m_c)P_i \quad (4.15)$$

ilişkisi ile tanımlanmıştır.

Kar erimesi (m_r) ise

$$m_r = Ac_i m_c \quad (4.16)$$

ile gösterilmiştir.

Etkili yağış (P_e) ise

$$P_e = P_i m_c + m_r \quad (4.17)$$

Denklem 4.13'deki PET terimi Penman-Montieth yöntemi ile bitkilerden kaynaklanan potansiyel evapotranspirasyondur. Buradaki $k_{c,j}$ arazi kullanımının sahip olduğu bitki oranı katsayısıdır. Üçüncü terim yüzeysel akışı ifade eder. RRF_j ise akış direnç katsayısı olarak tanımlanmıştır. RRF_j 'ın küçük değerleri yüzeysel akışın fazla olmasını sağlar. Üçüncü ve dördüncü terimler yüzey altı akışını ve derine sızmayı temsil eder. Buradaki $k_{s,j}$ kök bölgesinin doymun haldeki iletim katsayısını (mm/zaman) ve f_j suyun bulunduğu bölmeyi yatay ve dikey olarak toprak türüne, arazi kullanımına ve topografyaya göre ayıran bölme katsayısıdır. Böylece t zamanında her bir alt havzadan gelen toplam akım (RT)

$$RT(t) = \sum_{j=1}^N A_j (P_e(t) z_{1,j}^{RRF_j} - (1 - f_j) k_j z_{1,j}^2) \quad (4.18)$$

denklemleri ile ifade edilir.

Uygulamalarda havza ve yeraltı suyu arasında kurulan bağlantıda geri dönüş akımının olmadığı kabul edilir böylece ikinci bölmeden çıkan taban akımı

$$S_{max} \frac{dz_2}{dt} = \left\{ \sum_{j=1}^N f_j k_j z_{1,j}^2 \right\} - k_2 z_2^2 \quad (4.19)$$

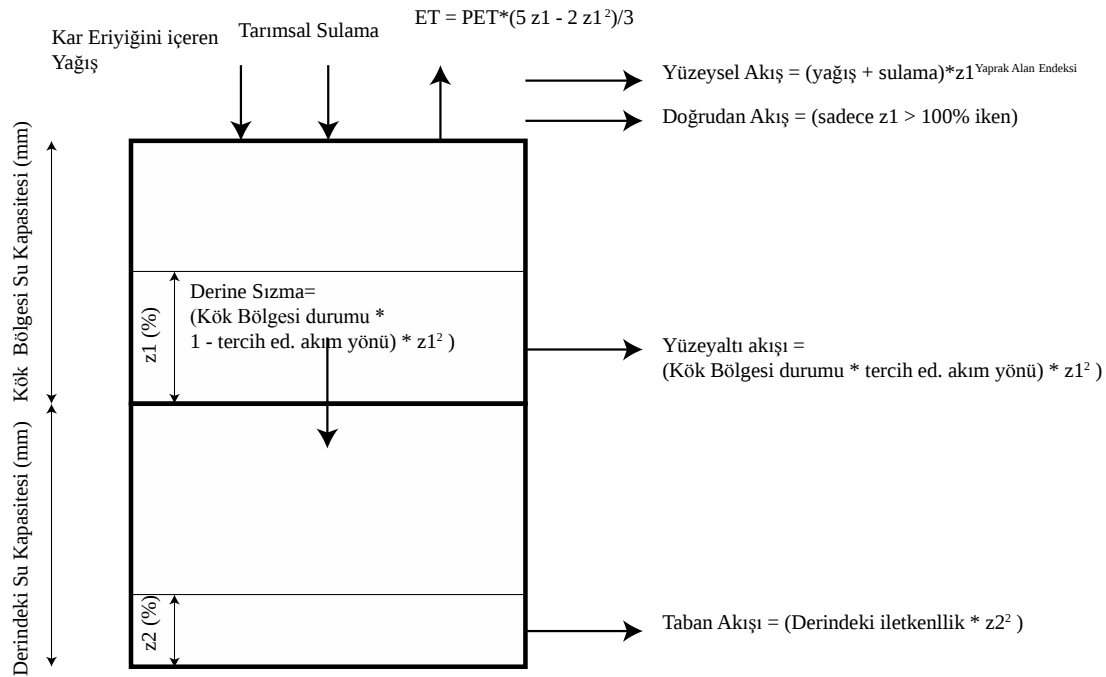
Bu denklemdeki S_{max} denklem 1'de verilen yukarıdaki biriktirme haznesinden derine sızan akışı göstermektedir. K_{s2} ise altta kalan biriktirme haznesinde doymunluk durumundaki iletim katsayısıdır ve havza için tek bir değer olarak verilmiştir bu nedenle “j” alt indisini içermemektedir. Denklem 1 ve denklem 5 deneme-yanılma yöntemi ile çözülmektedir.

Modele alüvyonal bir akifer tanıtıldığında ve yağış ile filtrasyon arasındaki ilişki havza birimi ve yeraltı suyu arasında kurulduğunda, denklem 6'da verilen ikinci biriktirme terimi ihmal edilir ve akifere akış R (hacim/zaman)

$$R = \sum_{j=1}^N A_j (f_j k_j z_{1,j}^2) \quad (4.20)$$

Burada A değeri havzanın akışa katkıda bulunan kısmını gösterir. Her bir akarsu parçasının akiferden su alacağı ya da akifere doğru su kaybedip etmeyeceğini belirlenen su seviyesine bağlı olarak akifer karakteristiği belirler.

Bu yöntemle ait toprak nemi metodu (Soil moisture method) şeması Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11 : WEAP Zemin nemi yöntemi kavramsal modeli

4.4 Modelin Çalıştırılması

Modelin çalıştırılması aşaması modelin planlanıp kurulmasını, modelin çalıştırılabilmesi için gerekli verilerin modele girilmesini, kurulan modelin çalıştırılıp kalibrasyonunun ve doğrulanmasının yapılması aşamalarını içermektedir. Bu çalışma kapsamında WEAP modeline alt havzalar, akarsu kolları ve akiferler tanımlanarak kurulmuş, yağış, sıcaklık, nem, rüzgar ve bulutluluk parametreleri 1968 ile 2011

yılları arasında girilmiştir. Model 1971 ile 1974 yılları için kalibre edilmiş ve 1978 ve 1982 yılları için doğrulaması yapılmıştır.

4.4.1 Modelin kurulumu

Darlık Havzası'nın hidrolojik analizinde kullanılan WEAP modeli içerisinde daha önceden belirlenmiş ve çizilmiş olan on sekiz adet alt havzanın entegre edilmiştir. Model içerisindeki alt havzalar içerisinde akarsu kolları ve bu alt havzalar ile ilişki halinde bulunan akiferler tanımlanmıştır. Şekil 4.14'de bahsedilen havzalar, akarsu kolları ve akiferler ile olan ilişki gösterilmiştir.

4.4.2 Modele veri girişi

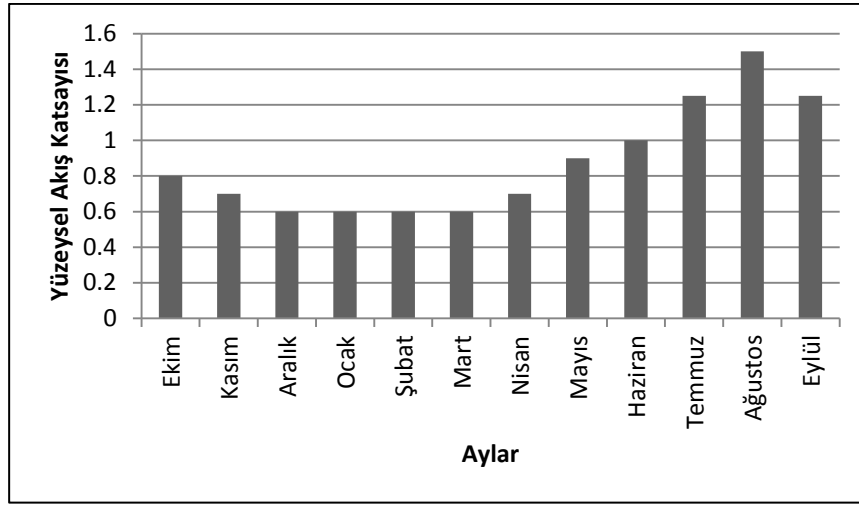
WEAP modelinin çalışabilmesi için gerekli olan veriler daha önce Bölüm 3'te bahsedildiği üzere analiz edilmişti. Analiz edilmiş bu veriler programın okuyabileceği uygun formata getirilerek modele girdi dosyası olarak okutulmuştur. Bu verilerin başında havza ve alt havzaların ve bu alt havzalar içerisinde yer alan akarsu kolları modele tanıtılmıştır.

Ayrıca yapılan analiz ve çalışmalar sonucu elde edilmiş veriler ve doğrudan ölçüm sonucu olarak alınmış olan arazi kullanımı ve iklim verileri modelin ilgili yerlerine yazılmıştır. Bu verilerin bir kısmı doğrudan programa girilmiş, diğer veriler ise WEAP yazılımına verilen komutlar ile ilgili dosyalardan bu verilerin okunması sağlanmıştır.

İklim verilerinden yağış, sıcaklık, nem ve rüzgar verileri günlük değerler olarak 1968 ve 2011 yılları için bir .csv (noktayla ayrılmış değerler) dosyasına kaydedilmiştir. Bu dosyalar model klasörü içerisine kaydedilerek modele tanıtılmıştır. Model bu değerleri günlük olarak okumaktadır. Bölgeye ait bulutluluk oranı ise ayrı bir dosyada modele tanıtılmıştır.

Arazi kullanımına ait verilerden her bir alt havzanın alanları bu alt havzalardaki ekin katsayısı verilen faktör modele girilmiştir. Bu katsayısı evapotranspirasyon miktarının belirlenmesi etkili bir katsayıdır. Bu çalışma kapsamında bu faktör bütün alt havzalar için tek bir ortak değer olarak girilmiştir. Değer aylara bağlı olarak değişmektedir. Toprağın ve derindeki toprağın su tutma kapasiteleri modele girilen diğer arazi kullanımına ait verilerdendir.

Yüzeysel akış direnç faktörü olarak tanımlanan katsayı oluşacak yüzeysel akışın miktarının belirlenmesinde oldukça etkili bir katsayıdır. Bu katsayıda aylara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu çalışma kapsamında bu değer aylara bağlı olarak değişecek şekilde modele girilmiştir. Akış direnç faktörü havzanın yüzeysel akışa verdiği tepkidir. Yaprak alan indeksi ve arazi eğimi ile ilişkilidir. Yüzeysel akış bu değerlerin yüksek olduğu değerleri de (0,1 ile 10 arasında) azalacaktır. Bu parametre arazi kullanım sınıfına göre değişiklik gösterir (SEI, 2007). Yüzeysel akış katsayısının aylara bağlı olarak değişimi Şekil 4.12’de gösterilmiştir.

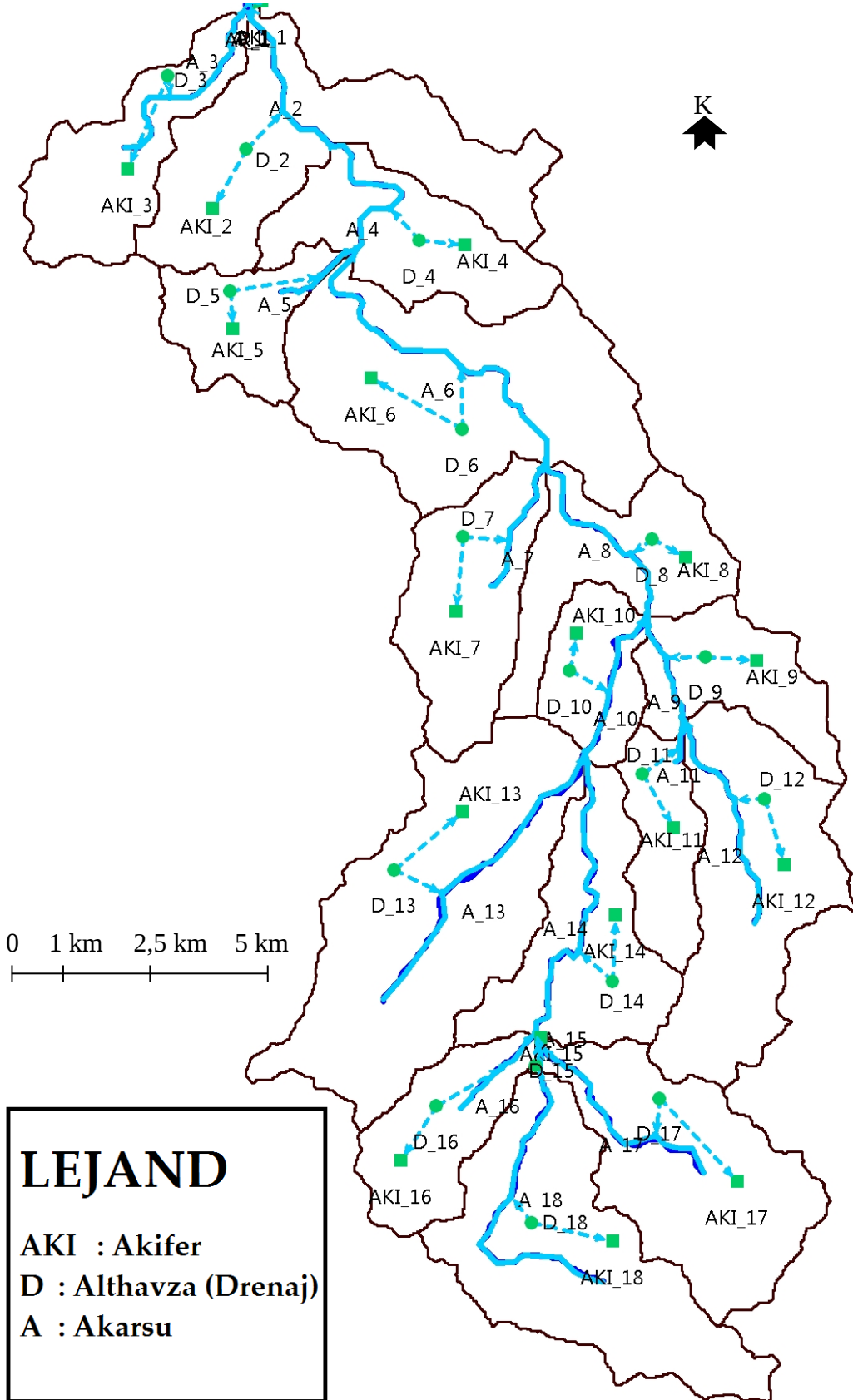


Şekil 4.12 : Yüzeysel Akış Katsayısının aylara bağlı olarak değişimi

Toprağın kök kısmı ve derindeki kısmının hidrolik iletkenlik katsayısı ve toprağın sahip olduğu zemin nemi miktarı da modele girilmiştir. Meteorolojik verilerin modele okutulduğu örnek bir csv dosyası’na ait görüntü Şekil 4.13’de verilmiştir.

	A	B	C	D	E	F
1	1/1/1968	12.4	0	1.8	61.3	
2	1/2/1968	11.6	0	0.8	67.7	
3	1/3/1968	12.5	5.5	4	64.3	
4	1/4/1968	5	4	3.2	84.7	
5	1/5/1968	3.4	17.4	4.5	67	
6	1/6/1968	3.5	0.7	3.9	61	
7	1/7/1968	6	0	5.9	68	
8	1/8/1968	12	6.4	4	56.7	
9	1/9/1968	-0.6	14.1	11.3	89.3	
10	1/10/1968	-1.9	0.6	0.6	79.7	
11	1/11/1968	1.6	14.2	1.1	91.3	
12	1/12/1968	3.7	46.2	7.2	84	
13	1/13/1968	-0.9	7.4	14.4	87.7	
14	1/14/1968	-3.8	0.4	8.7	67.7	
15	1/15/1968	-2.6	0.3	2.3	79	
16	1/16/1968	6.1	0.5	5.2	66.3	
17	1/17/1968	5.6	0	3.8	71	
18	1/18/1968	7.7	0	0.9	60.7	
19	1/19/1968	10.1	0	0.3	59.7	
20	1/20/1968	6.8	0	4.9	85	
21	1/21/1968	3	1.4	5.2	58	
22	1/22/1968	2.2	0	2	63.3	
23	1/23/1968	2.9	0	3.1	83.3	
24	1/24/1968	1.6	11.8	2.1	78.7	
25	1/25/1968	6.4	0.3	1.4	47	
26	1/26/1968	6.8	2.1	3.2	81.3	

Şekil 4.13 : Meteorolojik verilerin modele okutulduğu örnek bir csv dosyası



Şekil 4.14 : Kurulan modeldeki alt havzalar, akarsular ve akiferler.

Genel olarak model yukarıda bahsedilen arazi kullanımına ait verilerin tanımlanmasının alt havza bazında yapılabilmesine imkan tanımaktadır fakat bu çalışma kapsamında bu parametrelerin her birinin bütün alt havzalarda eşit olduğu varsayımı yapılmıştır. Her parametrenin bütün alt havzalarda eşit olduğu varsayımına rağmen bölgenin alt havzalara ayrılması gelecekte yapılacak olan çalışmalara altlık oluşturmaktır. Böylece yapılacak olan daha detaylı bir çalışmada alt havza bazında veri girişi yapılabilecektir. Aynı zamanda bölgeyi alt havzalara ayırmak akarsu kollarının ayrı ayrı değerlendirilebilmesine de olanak tanımaktadır.

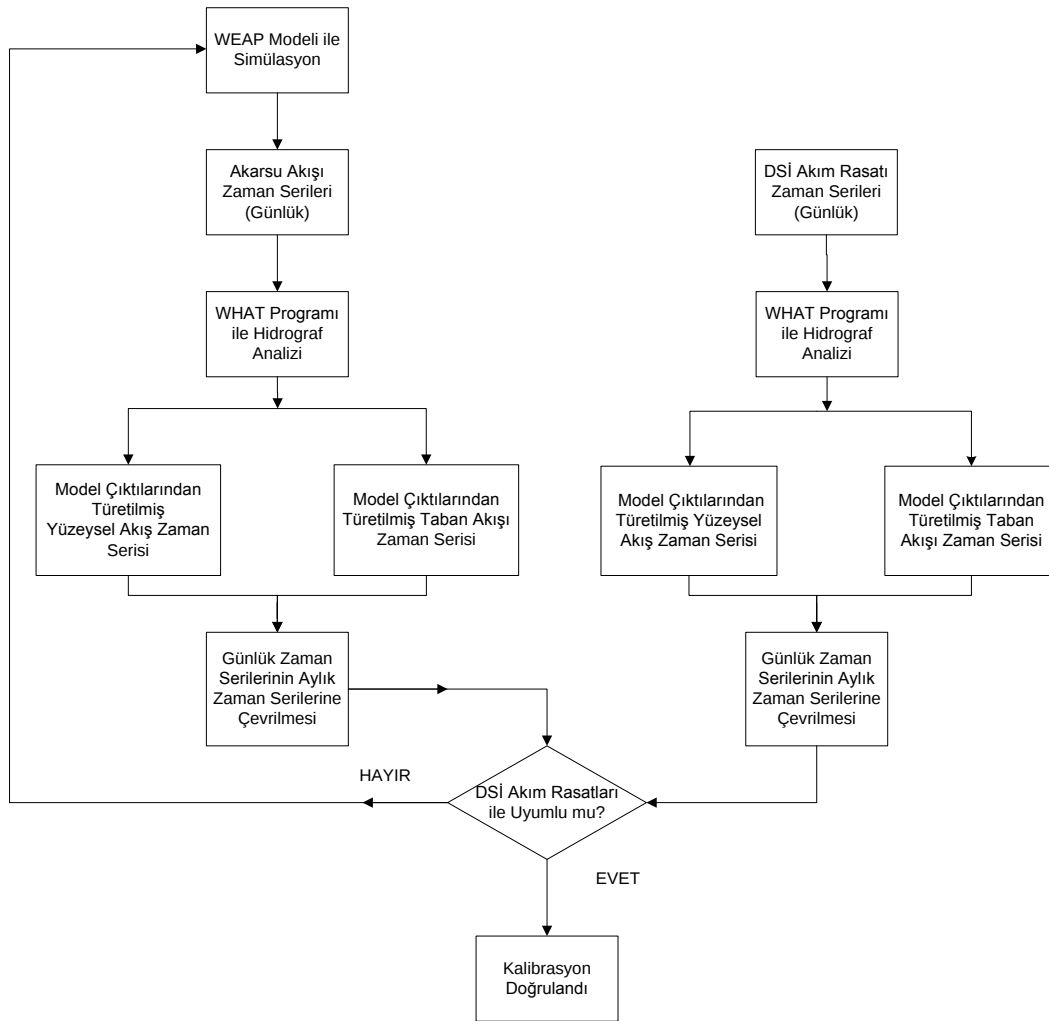
4.4.3 Modelin kalibrasyonu ve doğrulanması

Modelin çalışması için gerilen veriler girildikten sonra bu veriler ile çalıştırılan modelin doğrulanması yapılmıştır. Bu doğrulama sonucu model tarafından elde edilen değerlerin gerçek gözlemler ile uyumunu sağlamak için kalibrasyon işlemi yapılmıştır.

Model tarafından elde edilen sonuçların gösterilmesinde ve yorumlanmasında aylık ve yıllık ortalamalar kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında modele veriler günlük olarak girilmiştir. Böylece daha detaylı hesaplamalar yapabilmek hem de gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edebilmek mümkün olmuştur. Model sonuçları günlük zaman aralığı ile verilmemekle birlikte, zaman adımı bir gün olarak alınmış ve gerçeğe zaman adımının aylık alınması durumu ile karşılaştırıldığında daha yakın sonuçlar elde edilmiştir. Zaman adımı aylık olarak alındığından dolayı meteorolojik veriler de modele günlük zaman çözünürlüğünde modele girilmiştir.

Hidrolojik modellerde model girdisinin aylık ortalamalar üzerinden çalıştırılması gerçekte var olan durumu yansıtmayan sonuçlar doğurabilmektedir. Model hassasiyetini azaltıp, hata payını arttıracaktır. Aylık zaman adımı kullanılması durumunda model o aya ait verilerin ortalama değerleri ile çalışmak durumunda olacaktır. Meteorolojik verilerden biri olan yağış verisi sürekliliği olmayan bir parametredir. Yağışın olmadığı günler olmaktadır ve bu durum model tanıtılmalıdır. Modelin aylık zaman adımı ile çalıştırılması durumunda o aya ait yağış değerlerinin ortalaması modele girdi olarak tanıtılacaktır. Bu durumda hiç yağışın görülmediği günlerde dahi model yağışın ortalama değerini kullanarak o yağışın olduğu kabulünü yapacaktır. Bu durum da modelin doğru bir şekilde hesap yapabilmesine engel olacaktır.

Bu nedenle veriler modele günlük olarak girilmiştir. Ancak model kalibrasyonu aşamasında yapılan ilk kalibrasyon denemelerinde model aylık olarak çalıştırılmıştır. Bu durumun iki temel sebebi vardır. Birincisi model aylık ortalamalar üzerinden hesap yaparak çok daha hızlı bir şekilde hesaplama yapabilmektedir. İkinci neden ise model kalibrasyonu çok detaylı ve uzun zaman alabilecek bir işlem olduğundan aylık hesaplamalar yaparak model sonuçlarının belirli bir mertebede doğru olmasını sağlayabilmektir. Mertebe olarak model doğru sonuçlar vermeye başladığında günlük kalibrasyon aşamasına geçerek modelin gerçeğe en yakın sonuçları verecek şekilde kalibrasyonu gerçekleştirilebilmiştir.



Şekil 4.15 : Model kalibrasyonu ve doğrulaması işlemleri akım şeması

Model kalibrasyonu ve doğrulaması işlemleri Şekil 4.15’de bir akım şeması üzerinde verilmiştir. Bu şematik çizime bağlı olarak DSİ tarafından ölçülen akım rasatları WHAT programı aracılığı ile analiz edilmiş bu analiz sonucunda akım hidrografı bileşenlerine ayrılmıştır. Modele veri girişi işlemi ardından, model ilgili yıllar için çalıştırılmış ve modele ait sonuçlar elde edilmiştir. Model sonuçları WHAT programı

yardımı ile hidrograf analizine sokulmuştur. Hesaplanan model sonuçlarına ait akım değerleri bileşenleri DSİ akım rasatlarının akım bileşenleri ile karşılaştırılarak model doğrulaması yapılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarının uygun çıkmaması durumunda model kalibrasyonu için ilgili parametreler modelde değiştirilerek model tekrar çalıştırılmıştır. Bu parametreler arasında evapotranspirasyon katsayısı, yüzeysel akış faktörü, tercih edilen akım yönü oranı, kök bölgesi ile derin bölgedeki iletim katsayısı yer almaktadır. Hidrograf analizine ait değerler birbirleri ile belli bir korelasyona kadar uyum sağladığında ise kalibrasyon ve doğrulama işlemi tamamlanmıştır.

Bu kapsamda, model kalibrasyonu 1971, 1972, 1973 ve 1974 hidrolojik yılları için yapılmıştır. Yapılan kalibrasyon çalışması ile modelin kalibrasyon yılları için verdiği değerler karşılaştırılmıştır. Model sonuçları bu çalışma için kabul edilebilir ölçüde olduğu kabul edilmiştir. 1971 ve 1974 arasındaki hidrolojik yıllar için elde edilen Model sonuçları ile akım rasatları arasındaki korelasyon katsayısı, eğim ve kayım değerleri aşağıdaki çizelge 4.4' ve Çizelge 4.5'de verilmiştir..

Çizelge 4.4 : Model sonuçları ile akım rasatları arasındaki korelasyon katsayısı, eğim ve kayım değerleri

	R^2	Eğim(b)	Kayım(a)
1971	0,89	0,68	1,13
1972	0,97	0,73	0,75
1973	0,79	0,96	0,70
1974	0,79	0,68	1,23

Çizelge 4.5 : Model sonuçları ve taban akımları arasındaki korelasyon katsayısı, eğim ve kayım değerleri

	R^2	Eğim(b)	Kayım(a)
1971	0,68	0,37	1,31
1972	0,56	0,50	1,70
1973	0,57	0,88	0,91
1974	0,72	0,62	1,11

Model kalibrasyonu yapıldıktan sonra model 1968 ve 1985 yılları arasında çalıştırılmıştır. 1981 yılına ait akım gözlem verileri elde edilemediği için bu yıla ait karşılaştırma ve geçerlilik kontrolü yapılamamıştır. Model sonuçları ile akım

rasatları arasındaki korelasyon katsayısı, eğim ve kayım değerleri aşağıdaki çizelge 4.4’de verilmiştir..

Model 1978, 1979, 1980 ve 1982 hidrolojik yılları için geçerlilik kontrolü yapılmıştır. Bu kontrol ile model sonuçlarının gerçek gözlem sonuçları ile bu çalışma içerisinde kabul edilebilir ölçüde uygun bir korelasyon sağladığı görülmüştür. Geçerlilik kontrolü yapılan hidrolojik yıllara ait korelasyon katsayısı ve elde edilen denklemin eğim ve kayım değerleri Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7’de verilmiştir.

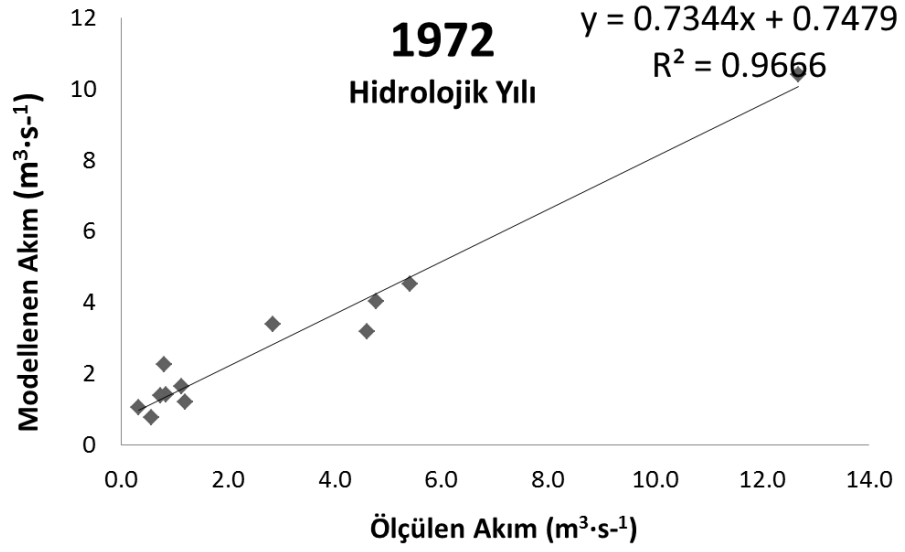
Çizelge 4.6 : Model sonuçları ile akım rasatları arasındaki korelasyon katsayısı, eğim ve kayım değerleri

	R²	Eğim(b)	Kayım(a)
1978	0,76	0,87	1,93
1979	0,91	1,42	1,42
1980	0,84	1,11	0,52
1982	0,76	1,98	-0,29

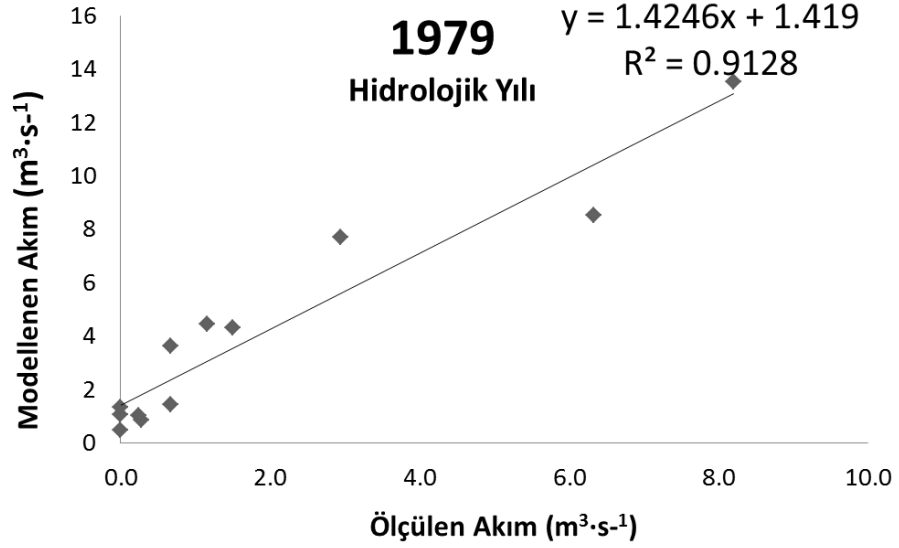
Çizelge 4.7 : Model sonuçları ile taban akımları arasındaki korelasyon katsayısı, eğim ve kayım değerleri

	R²	Eğim(b)	Kayım(a)
1978	0,70	0,72	8,47
1979	0,45	0,76	8,16
1980	0,92	0,69	7,89
1982	0,78	0,83	7,92

Model kalibrasyonunda 1972 ve 1979 yılına ait ölçülen akım ve modellenen akımın değerlerini, korelasyon katsayısını ve denklemini örnek olarak gösterilmiştir. Modelin kalibrasyon ve doğrulamasının yapıldığı diğer yıllara ait veriler Ek-A’da verilmiştir.



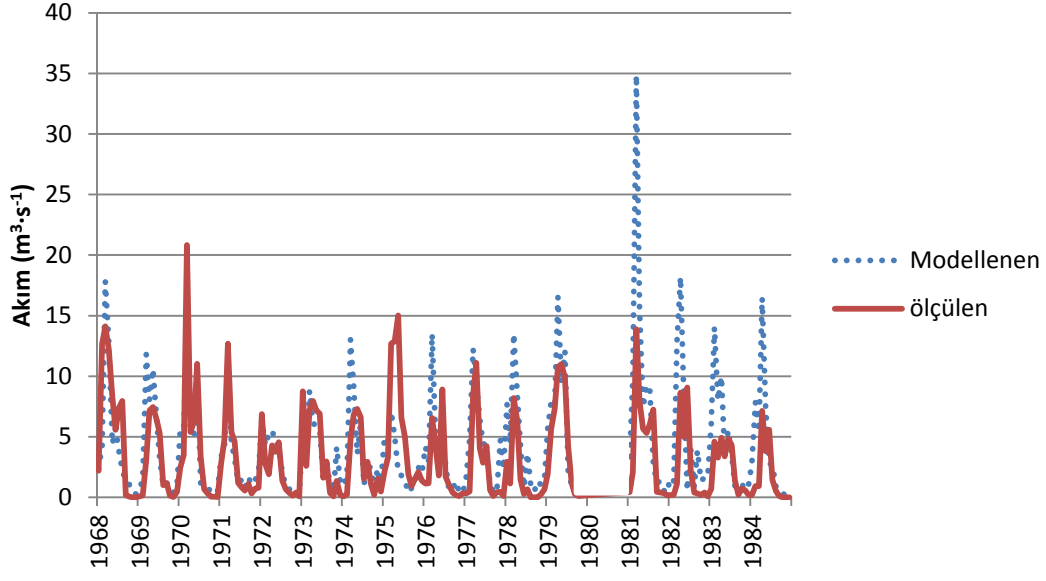
Şekil 4.16 : 1972 hidrolojik yılı ölçülen akım ve modellenen akımın korelasyonu



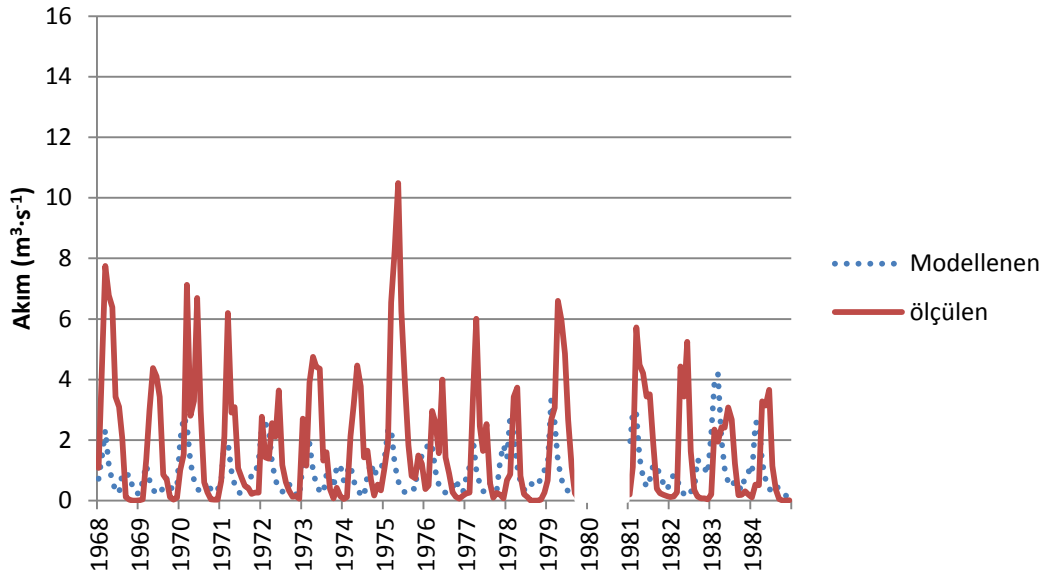
Şekil 4.17 : 1979 hidrolojik yılı ölçülen akım ve modellenen akımın korelasyonu

1972 hidrolojik yılı ölçülen akım ve modellenen akımın korelasyonu Şekil 4.16'da ve 1979 hidrolojik yılı ölçülen akım ve modellenen akımın korelasyonu Şekil 4.17'de gösterilmiştir.

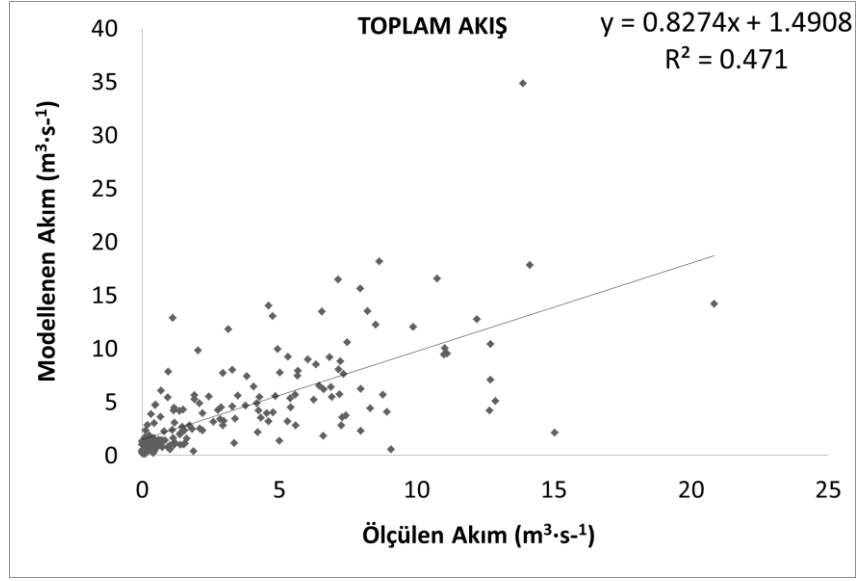
1968 ve 1985 hidrolojik yılları arasındaki modele ait toplam akım değerleri ile ölçülen akım değerlerinin karşılaştırılması sonucu elde edilmiş olan toplam akış grafiği Şekil 4.18'te verilmiştir. 1968-1985 Hidrolojik yılları arasında model taban akımlarının ölçülen taban akımları ile karşılaştırılması Şekil 4.19'da verilmiştir.



Şekil 4.18 : 1968-1985 Hidrolojik yılları arasında model toplam akımlarının ölçülen toplam akımlar ile karşılaştırılması.



Şekil 4.19 : 1968-1985 Hidrolojik yılları arasında model taban akımlarının ölçülen taban akımları ile karşılaştırılması.



Şekil 4.20 : Bütün hidrolojik yıllara ait modellenen ve ölçülen akım değerleri.

Şekil 4.20’da modelin kalibrasyonunda bütün hidrolojik yıllara ait model tarafından üretilen sonuçlar ve ölçülmüş olan akımlar ile bu değerlerin korelasyonu ve bu korelasyonu veren denklem gösterilmiştir.

5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

5.1 Regresyon Analizi Sonuçları

DMİ tarafından elde edilen yağış, sıcaklık, rüzgar ve nem parametrelerinin 1969 ile 1986 hidrolojik yılları arasında ölçülmüş olan Darlık Deresi Havzası'nın çıkışında ölçülmüş akım hidrografi ile ilişkilerini en temel şekilde belirleyebilmek için istatistiksel analizler yapılmış ve ilgili sonuçlar çizelgelerde belirtilmiştir. Her bir meteorolojik değişkenin akım ile olan birebir ilişkisi korelasyon ile verilmiştir. Çoklu lineer regresyon analizi ile de akım ile ilişkisi olduğu kabul edilebilecek meteorolojik değişkenlerin bu akım hidrografını havzanın diğer hidrolojik süreçlerine ait parametrelerden bağımsız bir şekilde büyük ölçüde belirleyebilecek denklem elde edilmiştir. Yapılan regresyon analizi sonucunda bulunmuş olan korelasyon katsayıları Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Korelasyon analiz sonuçları

Yıllar	Korelasyon Katsayıları (R ²)		
	Yağış	Sıcaklık	Nem
1969	0,7979	-0,6625	0,4003
1970	0,3013	-0,5881	-0,154
1971	0,8321	-0,7159	-0,0292
1972	0,4164	-0,6139	-0,493
1973	0,8419	-0,6321	0,0758
1974	0,5522	-0,6838	0,2891
1975	0,483	-0,8321	-0,2111
1976	-0,364	-0,8525	-0,317
1977	0,4889	-0,7804	-0,2277
1978	0,4175	-0,8059	0,439
1979	0,6844	-0,5939	-0,0661
1980	0,7009	-0,9513	0,2832
1981	-	-	-
1982	0,8325	-0,654	0,0985
1983	0,3322	-0,7585	-0,5153
1984	0,4213	-0,9146	0,5045
1985	0,5758	-0,7714	0,2381

Çizelge 5.2 : F istatistiği sonuçları

Yıllar	F İstatistiği Sonuçları		
	Yağış	Sıcaklık	Nem
1969	1	1	1
1970	1	1	1
1971	1	1	1
1972	1	1	1
1973	1	1	1
1974	1	1	1
1975	1	1	1
1976	1	0	1
1977	1	1	1
1978	1	1	1
1979	1	1	1
1980	1	1	1
1981	-	-	-
1982	1	1	1
1983	1	1	1
1984	1	1	1
1985	1	1	1

Yapılmış olan ilk lineer regresyon analizlerinde yağış, sıcaklık, rüzgar ve nem parametreleri kullanılmıştır. Bu analiz sonucunda elde edilen korelasyon katsayılarına güvenilirlik testi uygulandığında rüzgar hızı verilerinin havzada oluşacak akım ile doğrusal bir ilişki kurulamayacağı görülmüştür. Rüzgar parametresinin katıldığı çoklu regresyon analizi sonuçları daha farklı olduğu için burada yer verilmemiştir. Rüzgar hızı değerleri analizden çıkartılarak bu analiz tekrarlanmıştır.

Çizelge 5.2’de verilmiş olan 1 değeri ilgili parametrenin $\alpha=0.05$ güven aralığı için $H_0:R=0$ hipotezinin reddedildiğini yani parametrenin güvenilirlik sınırları içerisinde yer aldığını, 0 değeri ise $\alpha=0.05$ güven aralığı için $H_0:R=0$ hipotezinin kabul edildiğini yani parametrenin güvenilirlik sınırları içerisinde yer almadığını göstermektedir.

Çizelge 5.1, Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3’de verilen analiz sonuçları yağış, sıcaklık ve nem değişkenleri için yapılmış çoklu lineer regresyon analizinin sonuçlarıdır.

Yağış, sıcaklık ve nemin havzada oluşacak akıma olan etkisinin doğrusal bir denklem ile ifade etmek gerekirse ve denklem

A : Akarsudaki akım

Y : Yağış

S : Sıcaklık

N : Nem olmak üzere;

$$A = a + bY + cS + dN \quad (5.1)$$

ile ifade edilirse. Bu denklemde bulunan katsayılar olan a, b, c, ve d sayılarının değerleri Çizelge 5.3 te çoklu doğrusal regresyon analizi sonuçları olarak verilmiştir.

Çizelge 5.3 : Çoklu doğrusal regresyon analizi sonuçları

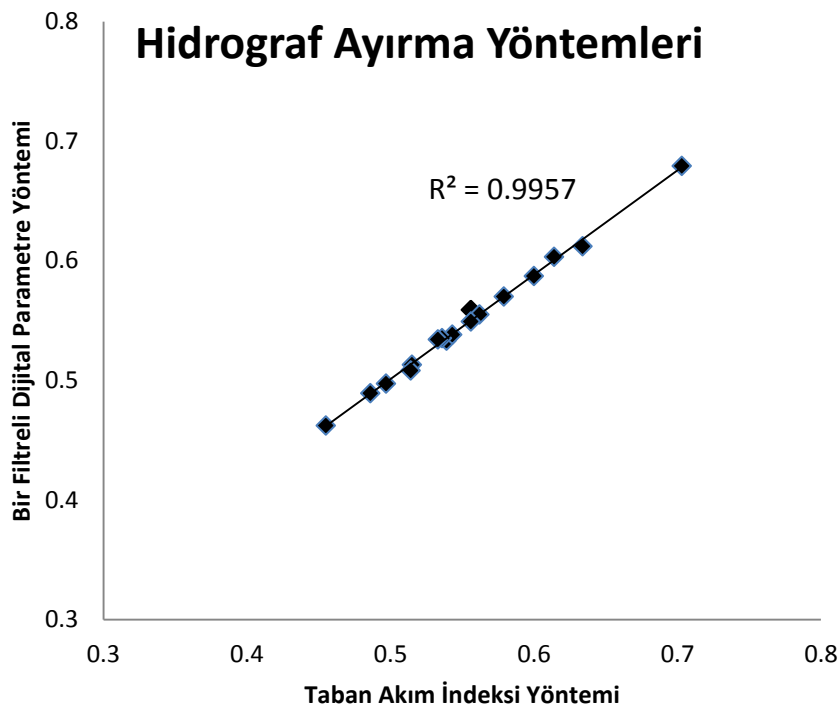
Yıllar	Denklem Katsayıları			
	a	b	c	d
1969	16,4569	-0,1469	-0,2449	0,0785
1970	29,308	-0,2951	-0,3099	0,008
1971	4,9053	-0,0144	-0,3285	0,0892
1972	-9,9651	0,2088	-0,4762	0,0645
1973	-17,3495	0,2504	-0,076	0,0637
1974	3,4134	0,0265	-0,3447	0,0437
1975	-1,3939	0,1137	-0,3818	0,011
1976	36,6874	-0,2732	-0,7109	0,0094
1977	4,1577	0,0289	-0,3579	0,0152
1978	-2,6145	0,1343	-0,4499	0,0124
1979	1,9148	0,0126	-0,232	0,0337
1980	-12,7021	0,3177	-0,6025	0,0066
1981	-	-	-	-
1982	-14,013	0,2286	-0,1853	0,0282
1983	-14,4212	0,3477	-0,6484	-0,0059
1984	5,7612	-0,0021	-0,275	0,0055
1985	1,8173	0,0028	-0,23	0,0111

Yapılmış olan bu çoklu doğrusal regresyon analizi her yılın her ayına ait meteorolojik verilerin aylık ortalamalarına bağlı olarak yapılmıştır. Bu nedenle belli bir döneme ait olması gereken ya da beklenen korelasyon katsayısı değerlerine ulaşamamıştır.

5.2 Hidrograf Analiz Sonuçları

Bölüm 4.2.4’de bahsedilen hidrograf ayırma yöntemlerinin üçü ile de yapılmış olan taban akışı ayırma işlemi sonucu elde edilen taban akımının toplam akıma oranını gösteren çizelge aşağıda verilmiştir. İlk çizelge içinde üç farklı yöntemin birbirinden çok önemli farklar içermediği görülmüştür. Ancak yersel minimum yöntemi grafiksel bir yöntem olduğu için bazı yıllarında değerlerinde sapmalar olduğu gözlemlenmiştir.

Taban akım indeksi ve bir parametrelili dijital filtreleme yöntemleri sonuçları birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Şekil 5.1’de verilen sonuçların birbirleri ile olan korelasyonu verilmiştir. Elde edilen korelasyondan da görüleceği üzere iki yöntemin sonuçları birbirine çok yakındır. Bu çalışma kapsamında elde edilen akım gözlem verilerine ait hidrograf analizi taban akım indeksi yöntemi ile yapılmıştır.



Şekil 5.1: Bir filtreli dijital parametre ve taban akım indeksi yöntemi sonuçlarının karşılaştırılması.

Çizelge 5.4 üç farklı yöntemin 1968 ile 1985 hidrolojik yılları arasındaki akımlara uygulanması sonucu elde edilen baz akım değerinin toplam akıma oranını her hidrolojik yıl için ortalama olarak vermektedir.

Bu çalışmada hidrograf analizi 1968 ile 1985 yılları arasındaki DSİ akım rasatlarına ait günlük zaman serileri için yapılmıştır ancak elde edilen sonuçların analizi aylık olarak yapılmıştır.

Çizelge 5.5 ise söz konusu hidrolojik yıllardaki akım hidrografının analizinin aylık değerlerini göstermektedir. Taban akımının toplam akıma oranı beklenen aralıklarda bulunmuştur. Ancak taban akımının toplama akıma oranının daha yüksek olmasının beklendiği bazı aylarda baz akım değerlerinin çok yüksek çıktığı görülmüştür. Bu durum, o aya ait meteorolojik verilere ve akım hidrografına detaylı bir şekilde bakıldığında söz konusu ayda çok şiddetli bir sağanağın olduğu ve dolayısıyla dereye taşkın debisi olduğu görülmektedir. Bu nedenle baz akımın toplam akıma göre beklenenden düşük çıkmaktadır.

Çizelge 5.4 : Baz akımın toplam akıma oranının farklı yöntemlerdeki değerleri

YILLAR	Yerel minimum yöntemi	Bir filtreli dijital parametre yöntemi	Taban akım indeks yöntemi
1968	0,506	0,556	0,559
1969	0,473	0,497	0,497
1970	-2,02	0,562	0,555
1971	0,413	0,486	0,489
1972	0,458	0,515	0,513
1973	0,427	0,614	0,603
1974	0,5	0,539	0,533
1975	-3,172	0,556	0,549
1976	0,643	0,703	0,679
1977	0,444	0,543	0,538
1978	0,447	0,536	0,535
1979	0,335	0,455	0,462
1980	0,566	0,533	0,534
1981	-	-	-
1982	0,487	0,514	0,508
1983	0,578	0,579	0,57
1984	0,554	0,6	0,587
1985	0,598	0,634	0,612

Yerel minimum yönteminde 1970 ve 1975 hidrolojik yıllarında toplam akımın taban akımına oranının negatif değerler aldığı Çizelge 5.4'de görülmektedir. Yerel minimum yöntemi doğasında geometriksel ilkeleri içermesi nedeniyle bu gibi matematiksel ve fiziksel olarak anlamlı olmayan sonuçlar çıkarabilmektedir. Bu durum yerel minimum yönteminin hem uygulamalardaki göreceliliğine ek olarak bu

çalışma kapsamında taban akımı ayırma yöntemi olarak seçilmeme nedeni olarak verilmiştir.

Çizelge 5.5 : 1968 ile 1985 hidrolojik yılları arasındaki her ay için elde edilen baz akımın toplam akıma oranı

Aylar Yıllar	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
1968	0,35	0,40	0,54	0,50	0,69	0,74	0,64	0,78	0,69	0,73	0,33	0,33
1969	0,49	0,35	0,51	0,52	0,77	0,56	0,39	0,23	0,53	0,71	0,82	0,34
1970	0,24	0,25	0,43	0,40	0,57	0,67	0,61	0,75	0,57	0,77	0,68	0,20
1971	0,41	0,43	0,33	0,49	0,49	0,59	0,76	0,78	0,73	0,76	0,76	0,79
1972	0,23	0,40	0,48	0,49	0,58	0,75	0,74	0,75	0,35	0,62	0,35	0,30
1973	0,40	0,49	0,67	0,57	0,52	0,81	0,71	0,79	0,72	0,82	0,38	0,63
1974	0,31	0,40	0,59	0,58	0,52	0,63	0,70	0,53	0,79	0,81	0,31	0,90
1975	0,76	0,47	0,47	0,50	0,68	0,53	0,81	0,68	0,52	0,85	0,33	0,62
1976	0,51	0,53	0,50	0,58	0,64	0,86	0,68	0,79	0,75	0,43	0,61	0,79
1977	0,33	0,40	0,44	0,58	0,62	0,55	0,71	0,77	0,59	0,62	0,58	0,46
1978	0,67	0,48	0,41	0,67	0,57	0,54	0,56	0,81	0,73	0,59	0,37	0,59
1979	0,23	0,70	0,42	0,48	0,48	0,81	0,18	0,00	0,00	0,00	0,15	0,39
1980	0,35	0,66	0,42	0,57	0,55	0,46	0,56	0,77	0,80	0,62	0,54	0,58
1981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	0,00	0,00	0,00	0,46	0,55	0,50	0,49	0,68	0,71	0,68	0,68	0,75
1983	0,65	0,59	0,24	0,51	0,63	0,63	0,66	0,77	0,47	0,37	0,19	0,57
1984	0,29	0,51	0,55	0,51	0,62	0,63	0,57	0,75	0,67	0,24	0,48	0,83
1985	0,55	0,54	0,51	0,45	0,76	0,62	0,83	0,85	0,62	0,36	0,24	0,64

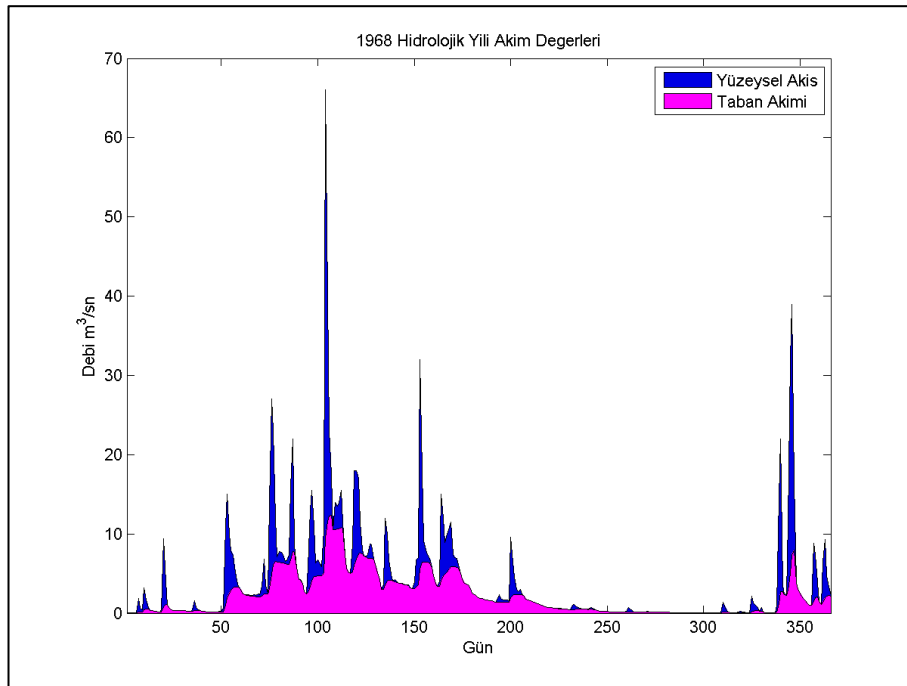
1968 ile 1985 hidrolojik yılları arasındaki her ay için elde edilen baz akımın toplam akıma oranı Şekil 5.5’de verilmiştir. Bu oranın yağışın daha az olduğu ve akarsu akımının genellikle baz akımdan beslendiği yaz aylarında daha yüksek olması beklenmektedir. Model sonuçları da bu durumu desteklemektedir. Ancak yağışın aylık ortalama değerlerinin düşük olduğu bazı aylarda, baz akımın toplam akıma oranının düşük olduğu görülmüştür. 1972, 1974 ve 1975 yıllarının Ağustos ayları bu duruma örnek olarak verilebilir.

Meteorolojik veriler ve akım rasatları ile birlikte karşılaştırıldığında söz konusu bu aylarda şiddetli yağışlar dolayısıyla taşkın debilerinin gerçekleştiği görülmüştür. 1968 ile 2011 yılları arasında DMI’nden alınan verilere göre Ağustos ayına ait ortalama yağış miktarı 1,97 mm olarak hesaplanmıştır. Söz konusu yıllardaki ağustos ayında bölgede yapılan ölçümler sırasıyla 50 mm, 80 mm ve 57 mm olarak

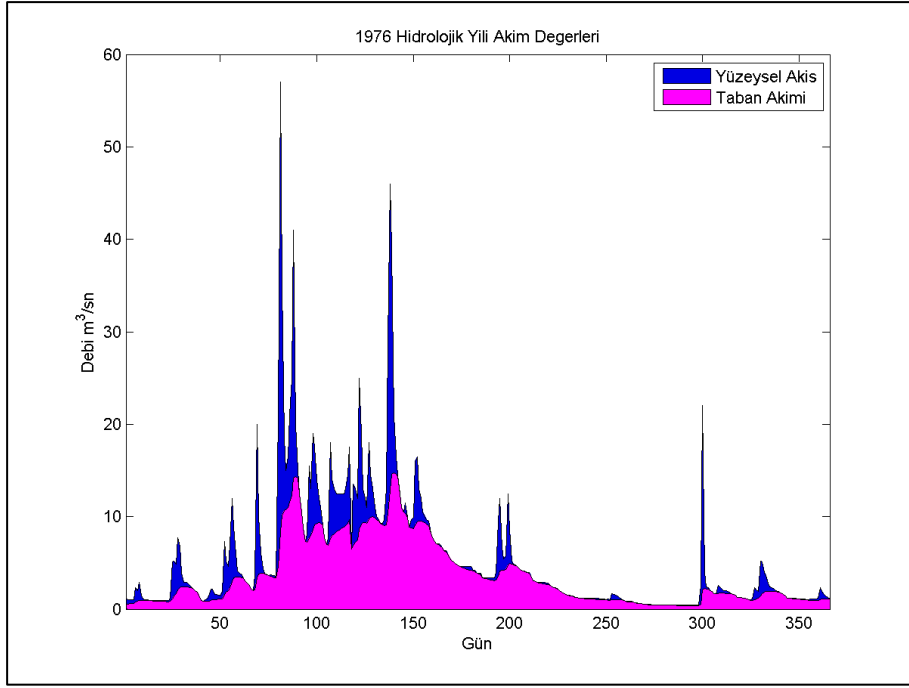
yapılmıştır. Bu yağış değerleri 1968 ile 2011 yılları arasında %1 olasılıkla görülen yağış değerleri içerisinde yer aldığı görülmüştür.

Baz akımın toplam akıma oranı analizi yapılan ay içerisinde ölçülen akım rasatları toplamının hidrograf analizi programı ile hesaplanan taban akımı değerlerinin toplamına oranı olarak verilmektedir. Bu durum ilgili yıl ve aylardaki baz akım değerinin toplam akım değerine oranının merteye olarak beklenen değerden düşük çıktığını açıklamaktadır.

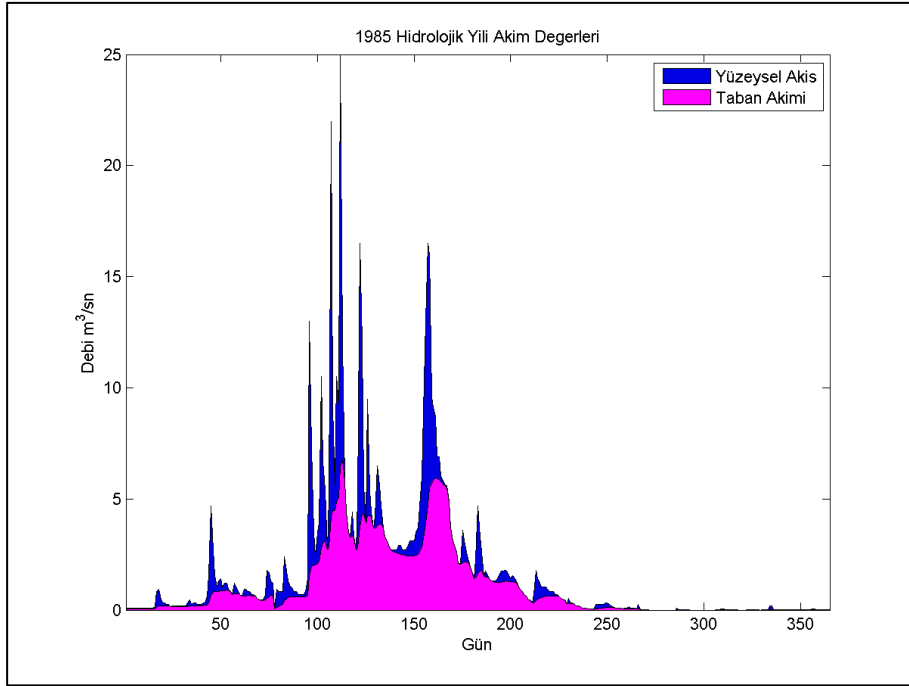
WHAT programı kullanılarak yapılmış olan her bir hidrolojik yıla ait yüzeysel akışı ve taban akışını gösteren şekiller gösterilmiştir. Şekillerde mavi taralı olan akımlar yüzeysel akış değerlerini, mor taralı alanlar ise baz akım değerlerini göstermektedir. Grafiğin yatay eksenini oluşturan günler ise her bir hidrolojik yılın başından itibaren günleri göstermektedir. Bu bölümde 1968, 1976 ve 1986 hidrolojik yıllarına ait sonuçlar Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’de gösterilmiştir. Diğer hidrolojik yıllara (1968-1985) ait grafikler ise Ek-B’da verilmiştir.



Şekil 5.2 : 1968 hidrolojik yılı akım değerleri



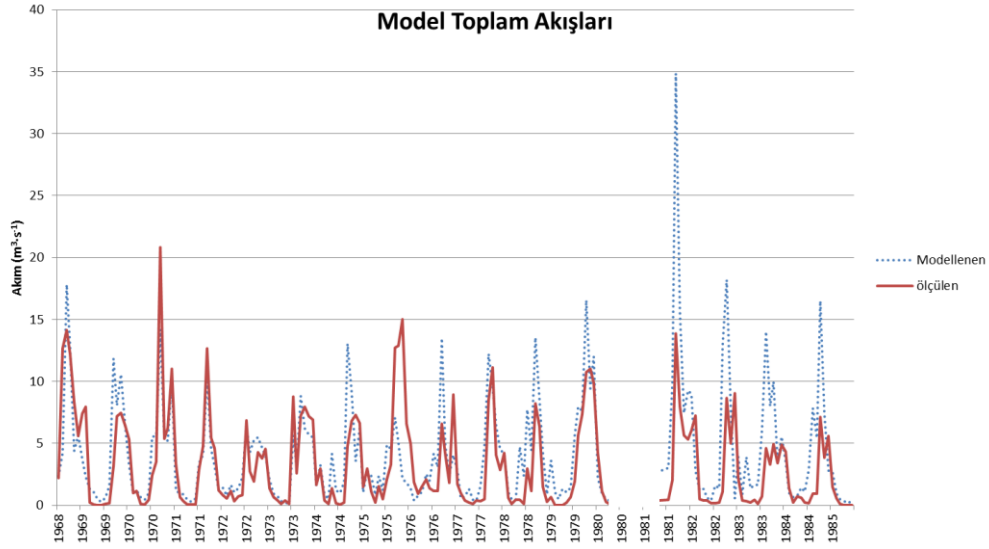
Şekil 5.3 : 1976 hidrolojik yılı akım değerleri



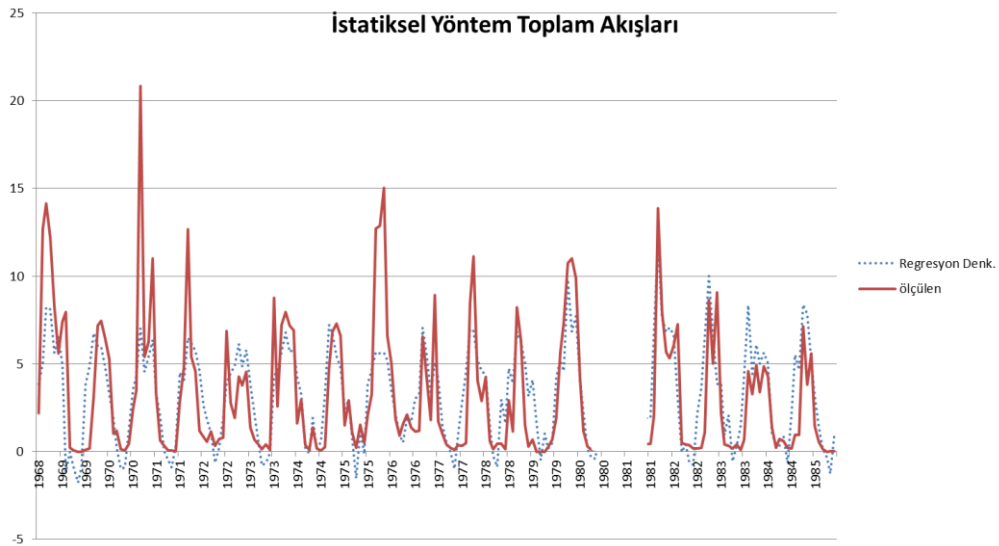
Şekil 5.4 : 1985 hidrolojik yılı akım değerleri

5.3 Model Sonuçları

Model kalibrasyonu ve doğrulaması hidrolojik yıl bazında gerçeğe daha yakın sonuçlar vermiştir. Bu nedenle 1985-2011 hidrolojik yılları arasında çalıştırılan modelin de yıllık su bütçe değerlerini kabul edilen bu hata payı ile vermiştir. Aylık sonuçların doğruluğunun artırılması için bölgeden daha fazla veri toplanarak daha detaylı bir kalibrasyon yapmak gerekmektedir.



Şekil 5.5 : Modele ait kalibrasyon sonuçlarında elde edilen toplam akış değerleri.



Şekil 5.6 : Regresyon denklemleri ile elde edilen toplam akış değerleri

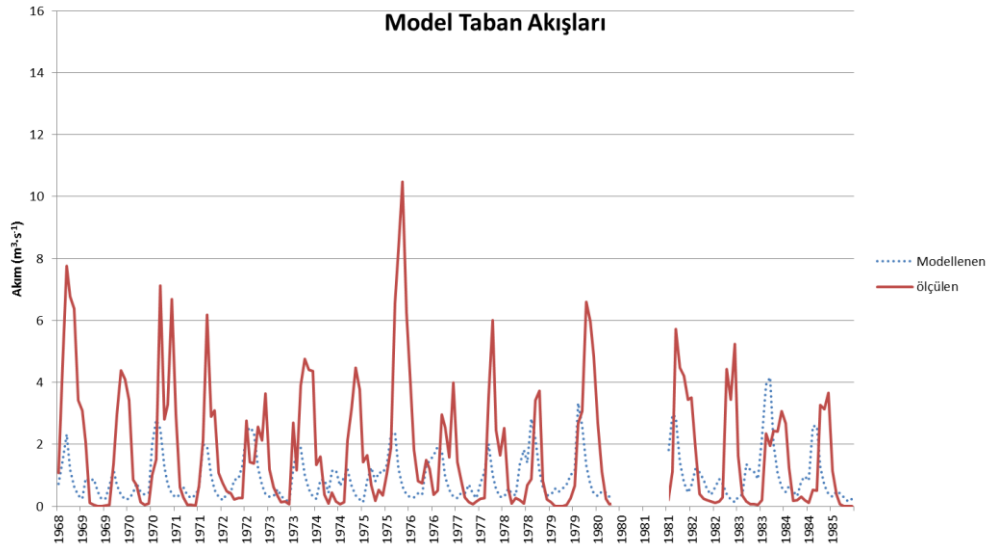
Regresyon denklemleri ile model sonuçları karşılaştırıldığında model sonuçlarının gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu sonuçların 1968 ile 1985

hidrolojik yıllarına ait değerleri Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Yapılmış olan lineer korelasyon işlemi sadece istatistiksel tabanlı olup herhangi bir fiziksel bir hidrolojik süreci içermemektedir.

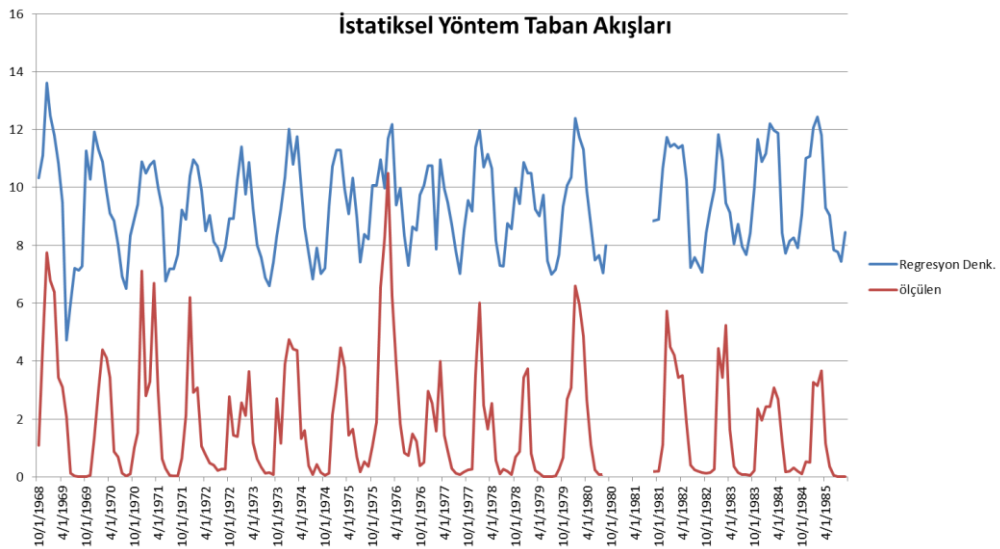
DSİ akım rasatları ve meteorolojik veriler arasında çoklu doğrusal regresyon analizi ile kurulan regresyon denkleminde ait sonuçların toplam akım değerleri için negatif sonuçlar verdiği Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Model akım sonuçlarının ve regresyon denkleminde ait sonuçların akım rasatları ile ilişkisi araştırılmıştır. Yapılan bu analiz sonucunda Model akım sonuçları ile akım rasatları arasındaki korelasyon katsayısı (R^2) 0,76 ve regresyon denklemi ile akım rasatları arasındaki korelasyon katsayısı (R^2) 0,63 olarak bulunmuştur. Bu durum model sonuçlarının Darlık Havzası'nda oluşacak toplam akım değerlerinin belirli meteorolojik koşullar altında istatistiksel yöntemle göre daha doğru değerler verdiği ortaya konulmuştur. Bu nedenle bölge hidrolojisi analizi yapılırken bir hidrolojik model kullanılmasına ihtiyaç duyulmuştur.

Toplam akıma ait yapılmış olan analizler benzer şekilde taban akımı değerleri için de model ve regresyon denklemi sonuçlarına uygulanmıştır. Taban akımı sonuçları grafikler Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de gösterilmiştir.

Şekil 5.7'de gösterilen model sonuçları ile hidrograf analizi yardımıyla elde edilen taban akımı değerleri için yapılan analiz sonucunda korelasyon katsayısı (R^2) 0,39 ve Şekil 5.8'de gösterilen regresyon denklemi sonuçları ile taban akımı değerleri arasındaki korelasyon katsayısı (R^2) 0,51 olarak bulunmuştur. İstatistiksel metoda ait korelasyon katsayısının modele ait korelasyonundan daha yüksek bir değerde çıkmasına rağmen regresyon denklemi ile elde edilen taban akımı değerleri arasında $\alpha=0,05$ için yapılan güvenilirlik testinde regresyon denklemi ve ölçüm sonuçları arasında anlamlı bir bağımlılık bulunmadığı görülmüştür.



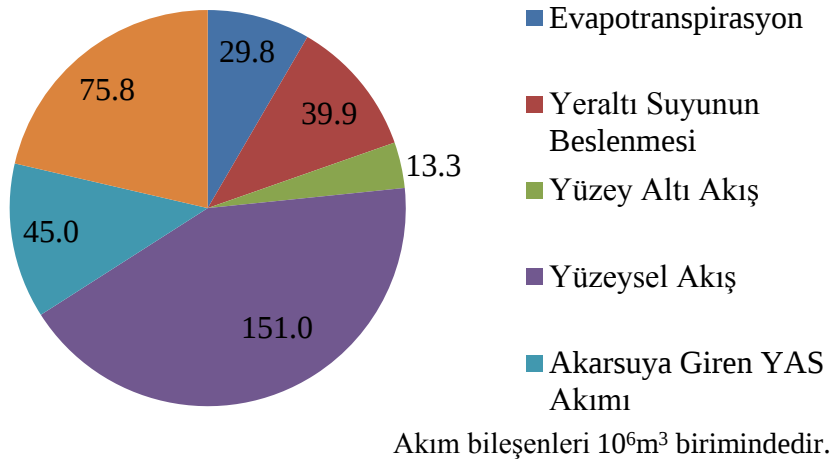
Şekil 5.7 : Modele ait kalibrasyon sonuçlarında elde edilen taban akış değerleri.



Şekil 5.8 : Regresyon denklemi ile elde edilen taban akış değerleri

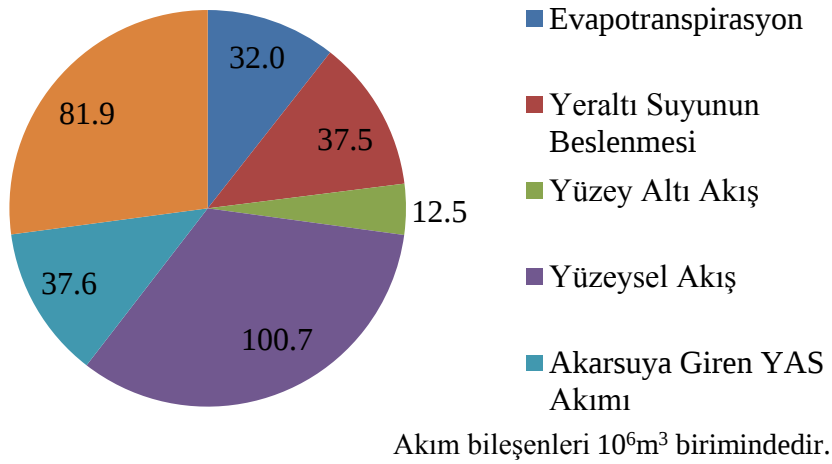
Bu bölümde sadece bazı hidrolojik yıllara ve aylara ait sonuçlar örnek olması açısından verilmiştir.

Çizelge 5.9’da 2009 hidrolojik yılına ait her bir alt havza için model sonuçlarına ait su bütçesi değerleri verilmiştir. 2009 hidrolojik yılı 1985 ile 2011 yılları arasında yağışın en fazla görüldüğü dolayısıyla toplam akım değerinin de en büyük değerini aldığı yıl olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.9 : 2009 Hidrolojik yılına ait yıllık toplam su bütçesi değerleri

1985 ile 2011 hidrolojik yılları arasındaki model sonuçlarına ait ortalama değerlere ait grafik Şekil 5.10’da gösterilmiştir.

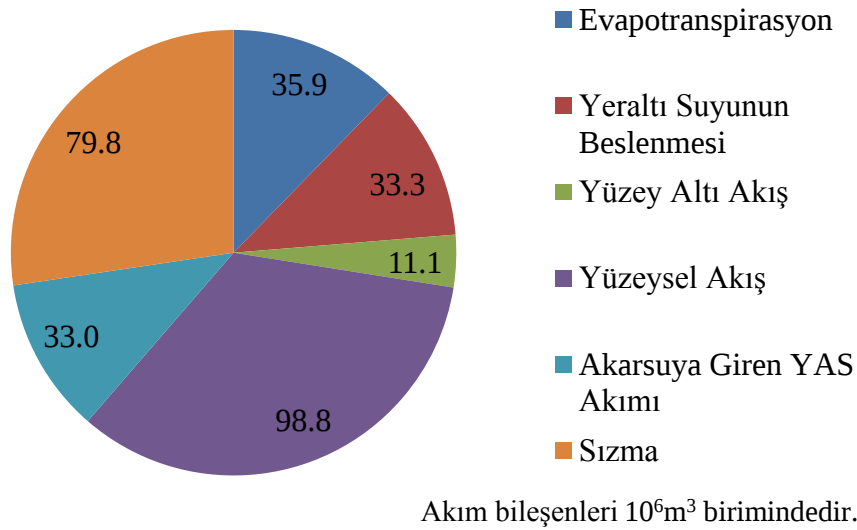


Şekil 5.10 : 1985 ile 2011 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri

Bu değer 1972 ile 1990 yılları için DSİ tarafından yapılan ölçümlerle 96 milyon m³ olarak belirlenmiştir(Gönenç ve diğ., 1995). Darlık Deresi’nin model sonuçlarına göre yüzeysel akış görüleceği aynı yıllara ait hesaplamalara göre yıllık toplam ortalama 98,8 milyon m³ olarak bulunmuştur. Yapılan bu karşılaştırma modelin daha

önce bölgede yapılmış olan bir diğer çalışmaya göre %3'den daha az bir hata oranı ile sonuç verdiğini göstermiştir.

Uzun dönemli değerlendirmelere göre Gönenç ve diğ. (1995) tarafından Darlık rezervuarına gelen yüzeysel akış $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ veya $15 \text{ L} \cdot \text{sn}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ olarak verilmiştir. Model sonuçlarına göre Darlık Deresi'nden Darlık rezervuarına giren yüzeysel akış miktarı $3,13 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ veya $15,00 \text{ L} \cdot \text{sn}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 1972 ile 1990 hidrolojik yılları için elde edilmiş sonuçlar Şekil 5.11'de gösterilmiştir.

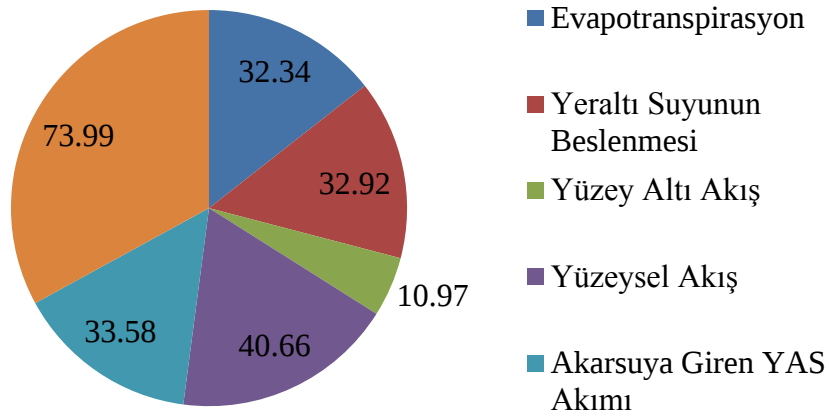


Şekil 5.11 : 1972 ile 1990 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri

DSİ 1986 hidrolojik yılından itibaren akım rasatı ve 1990 hidrolojik yılından sonra Darlık Rezervuarı'na giren yüzeysel akış miktarını hesaplamamış olmasından dolayı model sonuçlarını karşılaştırma olanağı gerçekleşmemiştir. Ancak 1985 ile 2011 meteoroloji verileri yardımıyla çalıştırılan modelde bu yıllara ait toplam ortalama yüzeysel akış değeri $100,7$ milyon m^3 olarak bulunmuştur.

Yağışın en az değerlerinin görüldüğü 2007 yılında yüzeysel akış miktarı $40,6$ milyon m^3 olarak hesaplanmıştır. Ortalama yağışın en fazla olduğu 2009 yılında ise Havza'da görülen toplam yüzeysel akış miktarı 151 milyon m^3 olarak bulunmuştur.

1985 ile 2011 hidrolojik yılları arasında Havza'ya düşen yağışın en az olduğu 2007 yılına ait pasta grafiği Şekil 5.11'de verilmiştir.



Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil 5.12 : 2007 Hidrolojik yılına ait yıllık toplam su bütçesi değerleri

Darlık Havzasına düşen yıllık toplam ortalama yağış miktarı 182,6 milyon³'dür. Model sonuçlarına göre akışın 100,7 milyon m³'ü yüzeysel akışa geçmiştir. Bu değerler göz önüne alındığında yağışın yüzeysel akışa geçen kısmı %55 olarak hesaplanır. Bu değer Gönenç ve diğ. (1995) tarafından %60 olarak verilmiştir. Yüzey altı akışı, yağış miktarının %6'sı ile oluşmaktadır. Darlık Deresi çoğunlukla yüzeysel akışlar ile beslenmektedir.

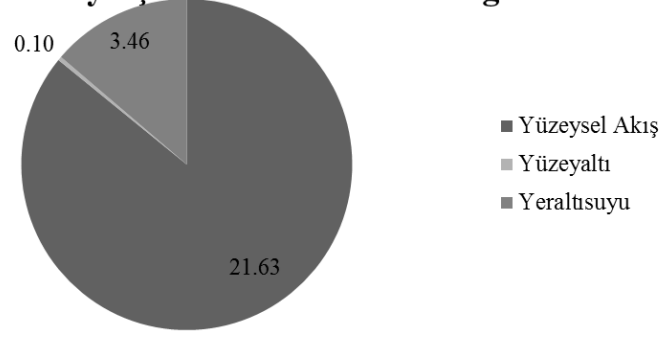
1985 ile 2011 hidrolojik yılları arasında Havza'ya düşen toplam yağışın 32 milyon m³'ü evapotranspirasyon ile atmosfere geri dönmüştür. Bu değer toplam yağışın %20'sine denk düşmektedir. Toplam akışın yaklaşık %20'si Havza'nın yeraltı suyu kaynaklarını beslediği görülmektedir.

Yukarıda bahsedilen değerlere göre Darlık Deresi'nde oluşacak akış yağışa bağlıdır ve bu değerler yağışa bağlı olarak değişken olmaktadır.

1985 ile 2011 hidrolojik yılları arasındaki tüm yıllara ait grafikler Ek-C'de verilmiştir.

Darlık Deresi'nin toplam akımının bileşenleri yüzeysel akış, yüzey altı akışı ve yeraltı suyu akışı olarak tanımlanabilir. 1985 ile 2011 hidrolojik yılları arasında Ocak ayına ait ortalama akış bileşenlerinin miktarlarını göstermektedir.

Ocak Ayı için Ortalama Akım Değerleri

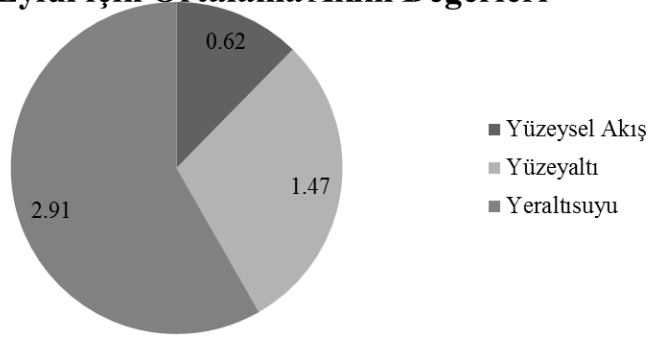


Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil 5.13 : Ocak ayı için ortalama akım değerleri

Havza kış aylarında ortalama yağış miktarının artması ile birlikte Darlık Deresi'nde görülen toplam akım içerisinde yüzeysel akışın oranı artmıştır. Şekil 5.12'den çıkarılabileceği üzere Ocak ayında toplam akışın %85'i yüzeysel akış tarafından oluşturulmaktadır. Aralık, Ocak ve Şubat aylarına ait toplam akış toplam yıllık akışın % 50'sini oluşturduğu görülmüştür. Bu aylarda görülen toplam akışın %83'ü yüzeysel akış, %2'si yüzey altı akış ve %16'sı yeraltı suyu akışı oluşturmaktadır.

Eylül için Ortalama Akım Değerleri



Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil 5.14 : Eylül ayı için ortalama akım değerleri

Darlık Havzası'nda 1985 ile 2011 yılları arasındaki Eylül aylarının ortalama toplam akım bileşenleri Şekil 5.13'de gösterilmiştir. Toplam yağış miktarının en düşük olduğu aylardan biri olan Eylül ayında yüzeysel akış toplam akışın %20'sini oluşturmaktadır. Toplam akımın %59'u yeraltı suyu kaynaklarından beslenmektedir. Bu durum havzada yeraltı suyu kaynaklarını önemli bir hale getirmektedir.

Diğer aylara ait grafikler ise Ek-D'de verilmiştir.

Mevsimlere bağı olarak toplam akım bileşenlerin yüzde cinsinden ifadeleri Çizelge 5.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6 : Mevsimlere bağı toplam akım bileşenlerin yüzde cinsinden miktarları

Aylar	Yüzeysel Akış	Yüzey altı Akışı	Yeraltı suyu Akışı	Toplam Akıma Oranı
Aralık-Ocak-Şubat	83%	2%	16%	50%
Mart-Nisan-Mayıs	83%	4%	13%	16%
Haziran-Temmuz-Ağustos	25%	23%	52%	10%
Eylül-Ekim-Kasım	40%	20%	40%	24%
Toplam	83%	2%	16%	100%

Modelin çalıştırılmış olduğu ve yağışların en fazla olduğu 2009 hidrolojik yılı için hesaplanan tüm su bütçesi bileşenleri akışlar ve biriktirme hazneleri de dahil olmak üzere ilgili yıllara ait toplam ortalama değerleri Çizelge 5.7’de verilmiştir. En kurak yıl olan 2007 ile 1985-2011 yılları arasındaki ortalama yıllık su bütçeleri Ek E’de verilmiştir.

2007, 2009, 2011 ve 1985 ile 2011 yılları arasındaki su bileşenleri değerlerinin şematik olarak gösterildiği çizimler Ek F’de verilmiştir.

Çizelge 5.7 : 2009 Hidrolojik yılında her bir alt havzaya ait su bütçesi bileşenleri

Havza Numara	Yağış (m ³)	Akarsu Çıkış Debisi (m ³)	Evapotranspirasyon (m ³)	Kar Erimesi (m ³)	Yeraltı Suyunun Beslenmesi (m ³)	Yüzey altı Akış (m ³)	Yüzeysel Akış (m ³)	Akarsuya Giren Yas Akımı (m ³)	Sızma (m ³)
D_1	14.134	125.169.923	2.337	1.349	2.498	833	8.899	2.475	5.235
D_2	13.243.553	119.451.654	2.116.048	1.221.545	2.261.470	753.823	8.057.596	2.635.572	5.185.957
D_3	6.812.585	5.706.062	1.089.014	628.662	1.163.854	387.951	4.146.803	1.171.318	2.665.783
D_4	7.554.620	108.004.684	1.207.486	697.054	1.290.469	430.156	4.597.929	1.334.851	2.956.691
D_5	4.480.476	3.804.664	716.018	413.340	765.225	255.075	2.726.490	823.107	1.753.986
D_6	16.769.985	97.837.094	2.679.860	1.547.020	2.864.029	954.676	10.204.509	3.022.515	6.565.476
D_7	7.809.032	6.653.474	1.247.824	720.339	1.333.579	444.526	4.751.529	1.457.431	3.057.503
D_8	7.201.270	77.001.948	1.151.298	664.617	1.230.419	410.140	4.383.973	1.255.034	2.817.297
D_9	5.526.392	18.547.695	883.668	510.121	944.396	314.799	3.364.876	1.000.893	2.161.516
D_10	4.112.992	52.405.116	657.798	379.731	703.004	234.335	2.504.796	700.582	1.608.197
D_11	4.112.992	3.620.312	658.001	379.848	703.221	234.407	2.505.570	880.343	1.607.423
D_12	12.063.364	10.246.824	1.927.467	1.112.681	2.059.929	686.643	7.339.508	2.220.694	4.723.856
D_13	18.225.786	15.495.574	2.912.030	1.681.046	3.112.154	1.037.385	11.088.577	3.369.641	7.137.209
D_14	8.593.469	33.469.837	1.373.612	792.954	1.468.011	489.337	5.230.512	1.465.367	3.362.957
D_15	84.804	21.629.091	13.818	7.977	14.768	4.923	52.619	14.765	32.185
D_16	5.476.923	4.655.543	875.641	505.487	935.818	311.939	3.334.311	1.009.301	2.142.612
D_17	11.625.211	9.864.841	1.858.172	1.072.679	1.985.871	661.957	7.075.642	2.127.262	4.549.569
D_18	13.893.717	11.691.943	2.219.991	1.281.548	2.372.556	790.852	8.453.396	2.447.719	5.440.321

6. BULGULAR VE ÖNERİLER

Model sonuçları ile yüksek korelasyon katsayısına sahip, gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilebilmesi için model kalibrasyonu aylık ölçekte ve bölgeden daha fazla veri toplanarak detaylı bir şekilde yapılmalıdır. Böyle bir ayrıntıda yapılabilecek bir hidrolojik analiz çalışmasının zaman ve maliyetleri bu tez kapsamı dışında kalmaktadır.

Bu çalışma yardımıyla bölgeye ait meteorolojik verilerin istatistiksel analizi ile birlikte yağış ve sıcaklığın akarsu akımına büyük bir etkisi olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Zira bu çalışma kapsamında kullanılan WEAP modeli sonuçları da bu durumu ortaya koymuştur.

Bu çalışma ile birlikte WEAP modeli İstanbul'un şehirleşmenin görülmediği havzalarından Darlık Havzası'na uygulanarak, İstanbul'un su kaynaklarının planlanmasında kullanılabilecek ve örnek teşkil edebilecek bir model altyapısı kurulmuştur.

Darlık Havzası'nın arazi kullanımı değişimi, küresel ısınma gibi gelecekte su bütçesi bileşenlerinin miktarlarını değiştirecek olan parametrelere bağlı olarak çalışan hidrolojik süreçlerin modellenmesine yardımcı olabilecek bir altlık oluşturulmuştur.

Yapılmış olan bu çalışma ile birlikte Darlık Deresi'nin sahip olacağı akım değerlerinin büyük bir kısmını kış ve bahar aylarında yüzeysel akışın oluşturduğu, yaz aylarında ise akarsu yatağında akış olmamasına rağmen yeraltı suyu akımının dereyi beslediği ortaya koyulmuştur. Baz akım yaz mevsimlerinde çok düşük seviyelerde olsa da akarsuyu beslemektedir.

Bu çalışma kapsamında birlikte Darlık Baraj Gölü'ne gelen suyun miktarı belirli bir hata payı ile birlikte hesaplanmıştır. İçme suyu amaçlı kullanılan bir baraj gölünün su miktarı kadar kalitesi de oldukça önem taşımaktadır. Hidrolojik modeller su kalitesi modellerinin altyapısını oluşturmaktadır. Bu çalışma bu bölgede yapılacak olan su kalitesi çalışmalarına bir altlık olabilecek niteliktedir. İstanbul'a içme suyunun sağlandığı baraj gölünü besleyen bir dere olan Darlık Deresi için oluşturulacak bir su

kalitesi modeli büyük önem taşımaktadır. Ancak bu bölgede hassas bir su kalitesi ve ekosistem modellemesi çalışması yapılması durumunda yapılmış olan bu hidrolojik analizin detayları genişletilmelidir.

Model sonuçlarına göre 1985 ve 2011 yılları arasındaki en kurak hidrolojik yıl 2007 yılı olarak bulunmuştur. İstanbul'da dahil olmak üzere Türkiye'de 2007 yılında ciddi bir kuraklık yaşanmış, bazı barajlar neredeyse kuruma aşamasına gelmiştir. Model sonuçlarının, model kalibrasyonunu takiben bugüne yakın yıllarda yaşanmış olan olgular ile paralellik göstermesi, geliştirilmiş olan hidrolojik modelin uyumluluğunun da bir göstergesidir.

KAYNAKLAR

- Akbari, S. ve Singh, R.** (2012). Hidrological Modelling of Catchments Using MIKE SHE, *IEEE-International Conference on Advances in Egnineering Science and Management(ICAESM-2012)*, India, 30-31 March.
- Akkoyunlu, A., Akiner, M.E.** (2012). Modelling and Forecasting River Flow Rate from Melen Watershed, *Journal of Hydrology*, 456, (Sf. 121-129).
- Arnold, J. G., Allen, P. M., Muttiah, R., Bernhardt, G.** (1995). Automated Baseflow Separation and Recession Analysis Techniques. *Groundwater*, Cilt 33, sayı 6 (Sf. 411-424).
- Aslan, A. Ş. T., Gündoğdu, K. S., Demir, A.O** (2004). Sayısal Yükseklik Modelinden Yararlanılarak Bazı Havza Karakteristiklerinin Belirlenmesi: Bursa Karacabey İnkaya Örneği, *U.Ü Ziraat Fakültesi Dergisi.*, Cilt 18, sayı 1, 167–180.
- Bayazıt, M.** (1998). Hidrolojik Modeller. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Bayazıt, M.** (2003). Hidroloji. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Bayazıt, M.** (2005). Mühendisler için İstatistik. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Beven, K. J., Kirkby, M. J.** (1979). A Physically Based, Variable Contributing Area Model of Basin Hydrology. *Hydrological Sciences-Bulletin-der Sciences Hydroliques*, 24, 3/1979.
- Bicknell, B.R., Imhoff, J.C., Kittle, J.L., Jr., Donigian, A.S., Jr., ve Johanson, R.C.** (2005). Hidrological Simulation Program—Fortran: User's manual for version 11, U.S. Environmental Protection Agency, National Exposure Research Laboratory, Athens, ABD.
- Brodie, R. S. ve Hostetler, S.** (2005). A Review of Techniques for Analysing Base-flow for Stream Hydrographs , *Proceedings of the NZHS-IAH-NZSSS Conference*, New Zeland, 28 November-2 December.

- Chow, T. V., Maidment, D. R. ve Mays, L.W.** (1988). Applied Hydrology. McGraw-Hill International Editions, Civil Engineering Series, ABD.
- Coşkun, A. A.,** (2010). AB Su Çerçeve Direktifi Açısından Türk Hukukunda Nehir Havza Yönetim Planlaması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi.*, Cilt A, sayı 1.
- Dalkılıç, Y. ve Harmancıoğlu, N.** (2008). Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifinin Türkiye’de Uygulama Olanakları. *TMMOB, 2. Su Politikaları Kongresi*, Ankara.
- Darlık Barajı Su Kalitesi İzlemesi Çalışması.** (2006). Sonuç Raporu , TUBİTAK Kimya ve Çevre Enstitüsü, Gebze, Kocaeli.
- Dawdy, D. R., O’Donnell, T.** (1965). Mathematical Models of Catchment Behaviour. *Hydraulics Div. Proc. ASCE*, Cilt **91**, sayı 4 (Sf. 123-138).
- De Vries, J. J., Hromadka, T. V. ve Mays, L.W.** (1993). Computer Models for Surface Water. Handbook of Hydrology, McGraw-Hill, ABD.
- DHI.** (2007). Mike She User Guide, Cilt **1**, DHI Software, Danimarka.
- DPT (2007).** Toprak ve Su Kaynaklarının Korunması. *Özel İhtisas Komisyon Raporu*, 2007 – 2013 Ankara.
- Eckhardt, K.** (2005). How to Construct Recursive Digital Filters for Baseflow Seperation. *Hydrological Processes*. 19, 507-515.
- Erinç, S.** (2002). Jeomorfoloji I. Der Yayınları, İstanbul.
- Fıstıkoğlu, O.** (1999). Hidrolojik Modeller. *TMMOB Türkiye İnşaat Mühendisleri 15.Teknik Kongresi*, Ankara.
- Freeze, R. A., Harlan, R. L.** (1969). Blueprint for a Physically-based Digitally Simulated Hydrologic Response Model. *Journal of Hydrology*, 9, (sf. 237-258)
- Garbrecht, J. ve Martz, L.W.** (1999). Digital Elevation Model Issues In Water Resources Modelling, *19th ESRI International User Conference*, Environmental Research Institute, San Diego, California, ABD, 26-30 Temmuz.

- Gaygusuz, Ö.** (2012). *Darlık Barajına Akan Derelerde Cyprinidae Familyasına Ait Baskın İki Türün Biyoekolojik Özellikleri*, (doktora tezi), İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gonzales, A.L., Nonner, J., Heijkers, J. ve Uhlenbrook S.** (2009). Comparison of Different Base Flow Separation Methods in a Lowland Catchment, *Hydrology and Earth System Sciences*, Cilt 6, Sayı 2, (sf. 3483-3515).
- Gosain, A. K., Mani, A. Dwivedi, C.** (2009). Climatewater Hydrological Modelling-Literature Review, *A Indo-Norwegian Institutional Cooperation Rapor* sayı 1, Bioforsk, Norveç.
- Göncü, S. ve Albek, E.** (2011). İklim Değişikliğinin Havza Buharlaşma ve Terlemesine Etkilerinin Modellenmesi, *I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi-TİKDEK 2007*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, ABD, 11-13 Nisan.
- Gönenç, E. İ. ve diğ.** (1995). 1. Cilt , Darlık Havzası Sonuç Raporu İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Güngör, O., Göncü, S.** (2012). Application of Soil and Water Assesment Tool (SWAT) Model on the Lower Porsuk Stream Watershed, *Hydrological Processes*, Cilt 27, Sayı 3, (sf. 453-466).
- Güzel, Ç.** (2010). *Application of SWAT Model in a Watershed in Turkey*, (yükseklisans tezi), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Heerdegen, R. G.,** (1974). The Unit Hydrograph: a satisfactory model of watershed response?. *Water Resource Bul.*, Cilt 10, sayı 6 (Sf. 1143-1161).
- Jajarmizadeh, M., Harun, S., Salarpour, M.** (2012). A Review on Theoretical Consideration and Types of Models in Hydrology, *Journal of Envionmental Science and Technology*, 5, (Sf. 249-261).
- Jenson, S.K., Domingue, J.O** (1988). Extracting topographic structure from digital elevation data for geographical information system analysis, *Photogrametric Engng Remote Sensing*, 54, 1593-1600.
- Karaca, M.,** (2005). İstanbul İkliminin Analizi, *İstanbul Büyükşehir Belediyesi Nazım İmar Planı Analitik Etüdler İş*, İstanbul.

- Ertürk, A.** (2012). Managing the Effects of the Climate Change on Water Resources and Watershed Ecology. Studies on Water Management Issues (Kitap içinde bölüm). Intech, USA.
- Martin, L.J. ve McCutcheon, S.C.** (1999). Hydrodynamics and Transport for Water Quality Modelling. CRC Press, Florida, USA.
- McCuen, R.H.** (1989). Hydrological Analysis and Design. Prentice Hall, (sf. 335-360).
- Nathan, R. J., McMahon, T.A.** (1990). Evaluation of Automated Techniques for Base Flow and Recession analyses, *Water Resources Research*, Cilt 26, Sayı 7, (Sf. 1465-1473).
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J.R. ve Williams, J.R.** (2011). Soil and Water Assesment Tool Theoretical Documentation, *Texas Water Resources Institute* Teknik Rapor sayı 406, Texas, ABD.
- Özyuvacı, N.** (1978). *Kocaeli Yarımadası Topraklarında Erozyon Eğiliminin Hidrolojik Toprak Özelliklerine Bağlı Olarak Değişimi*, (Doçentlik Tezi), İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Havza Amenanjanmanı Kürsüsü, İstanbul.
- Pinder, G., Jones, J. F.,** (1968). Determination of the Groundwater Component of Peak Discharge form the Chemistry of Total Runoff, *Water Resources Research*, 2, 430-445.
- Prucha, R. H.** (2004). Review of MIKE SHE, *Southwest Hydrology*, Ocak/Şubat 2004.
- SEI.** (2011). WEAP User Manual, Stockholm Environment Institute, USA
- Sherman, L. K.** (1932). Streamflow from rainfall by the unit-graph method, *Eng. News Rec.*, **108**, 501–505.
- Şensoy, D., Demircan, M., Ulupınar, Y. ve Balta, İ.** (2008). Türkiye İklimi , Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
- Turcotte, R., Fotin, J.P., Rousseau, A.N., Massicotte, M., ve Villeneuve, J.P.** (2001). Determination of the drainage structure of a watershed using

digital elevation model and a digital river and lake network, *Journal of Hydrology*, 240, 225-242.

USDA (2007). Hydrology National Engineering Handbook. *Hydrologic Soil Groups Chapter 7, Natural Resources Conservation Service, USA.*

Usul, N. (2008). Mühendislik Hidrolojisi. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayınları ODTÜ Yayıncılık, Ankara.

Van Loon, A., Mathijssen, H. ve Droogers, P. (2007). Water Evaluating and Planning System Gediz Basin - Turkey, *Project WatManSup: Integrated Water Management Support Methodologies for Turkey and Kenya*, Report No 5, Netherlands

Wijesekara, G.N. Gupta, A., Valeo, C., Hasbani, J.G., ve Marceau, D.J. (2010). Impact of land-use changes on the hydrological processes in the Elbow river watershed in southern Alberta, *2010 International Congress on Environmental Modelling and Software Modelling for Environment's Sake, Fifth Biennial Meeting*, Ottawa, Canada.

Winchell, M., Srinivasan, R., Di Luzio, J. ve Arnold, J. (2010). ArcSWAT Interface for SWAT2009 User's Guide, Texas, ABD.

Yılmaz, B., Harmancıoğlu N. B. (2010). An Indicator Based Assessment for Water Resources Management in Gediz River Basin, Turkey. *Water Resource Management*, 24, 4359-4379

Yönüğü, Y. (2007). *İstanbul'daki İçmesuyu Havzaları'nın Önemi, İçme Suyu Koruma Havzaları'nda Yaşanan Sorunlar, İdari Yargıya İntikal Etmiş Uyuşmazlıklar, Nedenleri Ve Çözüm Önerileri*, (doktora tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Yüceil, K., Gönenç, İ.E. (2006). Kırsal Yayılı Kaynaklar için Modelleme Destek Sistemi ve Yerel Uygulaması. *İTÜ Dergisi.*, Cilt 5, sayı 1.

URL-1 <<http://tuik.gov.tr/>>, Alındığı tarih: 09.12.2012

URL-2 <<http://water.usgs.gov/software/HSPF/>>, Alındığı tarih: 07.12.2012

URL-3 <<http://www.iski.gov.tr/web/statik.aspx?KID=1000717>>, Alındığı tarih: 07.12.2012

- URL-4** <<http://cfpub.epa.gov/ncer/abstracts/index.cfm/fuseaction/>>,
Alındığı tarih: 13.12.2012
- URL-5** <<http://cfpub.epa.gov/ncer/abstracts/index.cfm/fuseaction/>>,
Alındığı tarih: 08.12.2012

EKLER

EK A : Kalibrasyon ve doğrulama grafikleri

EK B : Hidrograf analizi sonuçları

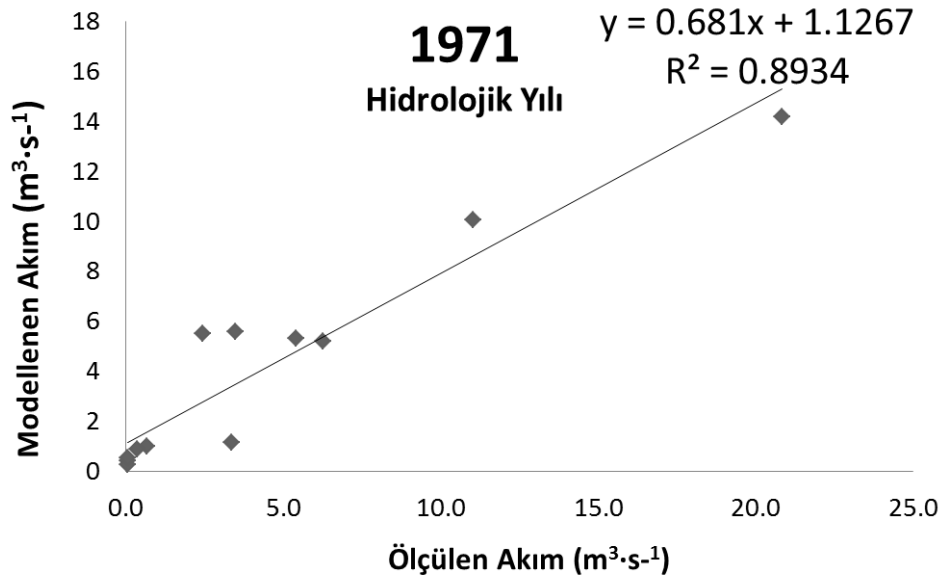
EK C : Yıllara ait su bütçesi bileşenleri

EK D : Aylık ortalama toplam akım bileşenleri

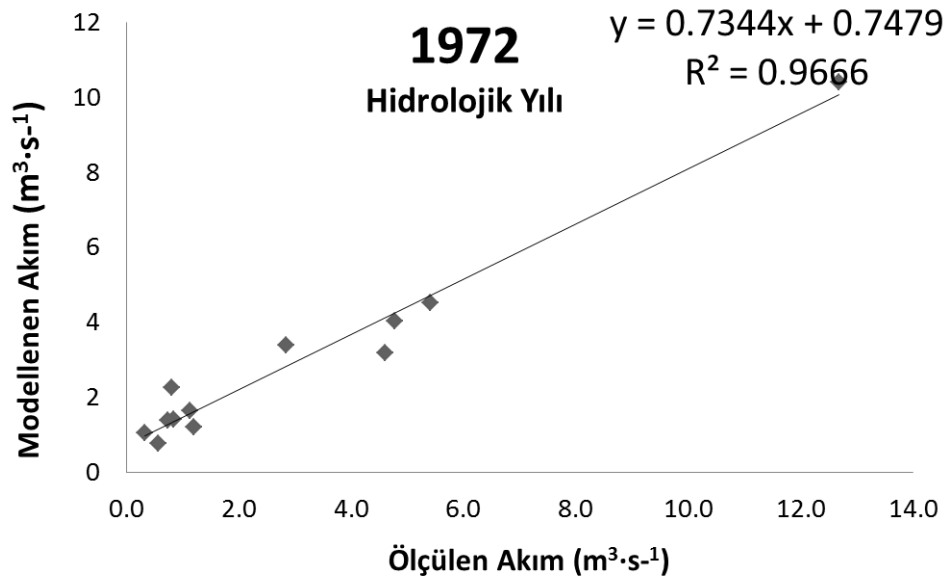
EK E : Modele ait su bütçesi bileşenleri çizelgesi

EK F : Alt havza bazında akım değerleri şeması

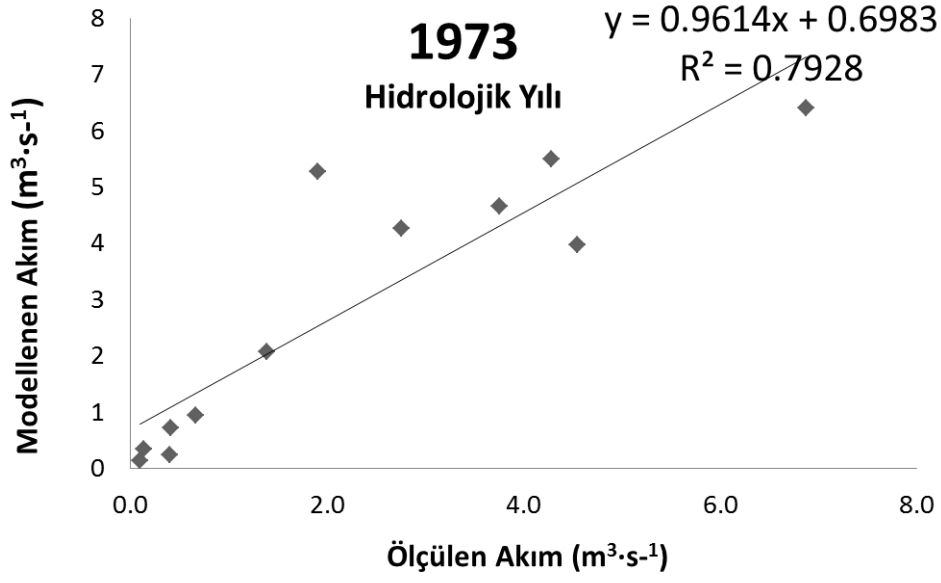
EK A



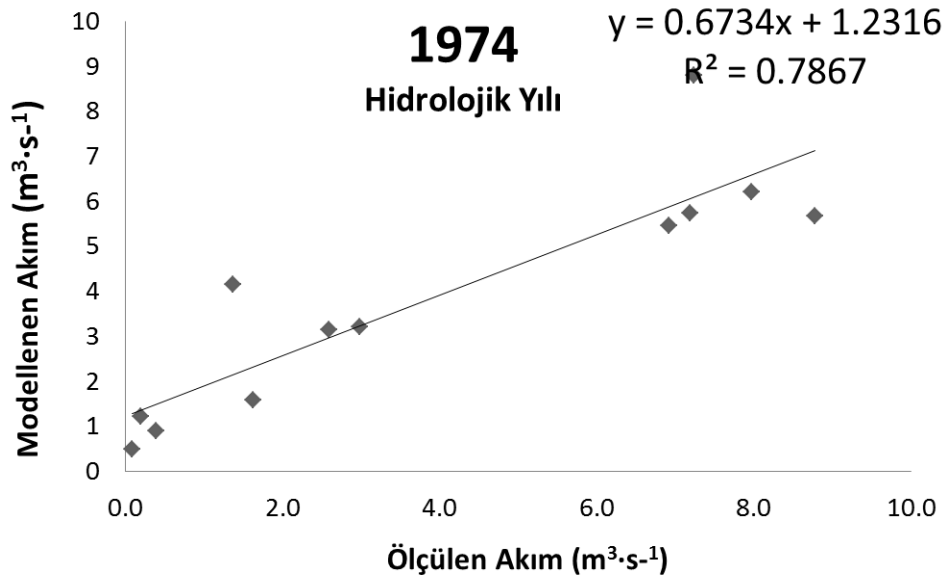
Şekil A.1 : 1971 hidrolojik yılı ölçülen akım ve modellenen akımın korelasyonu



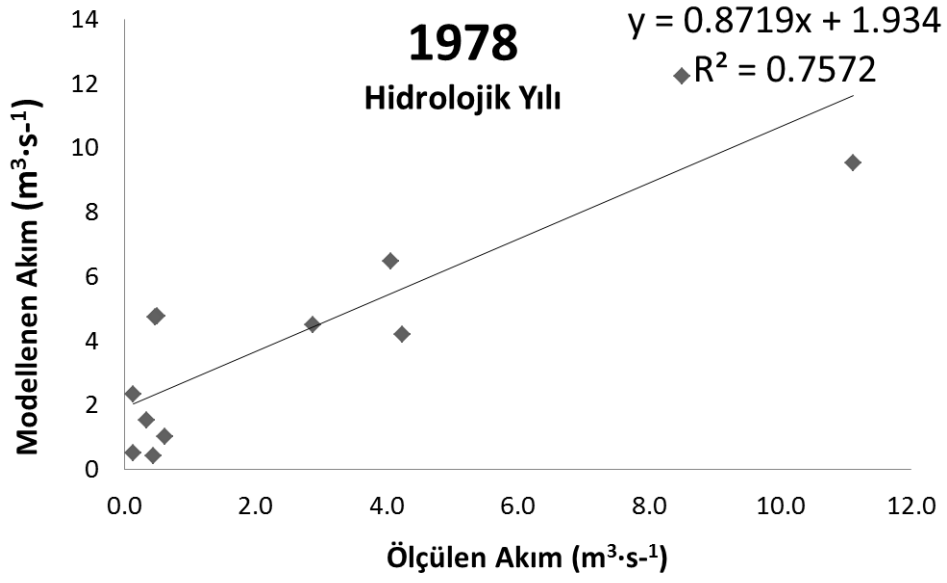
Şekil A.2 : 1972 hidrolojik yılı ölçülen akım ve modellenen akımın korelasyonu



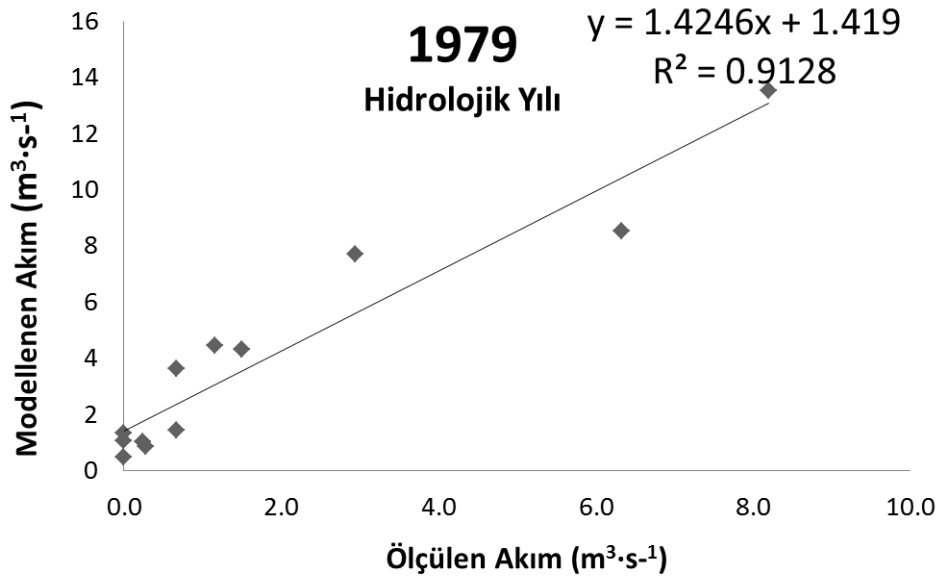
Şekil A.3 : 1973 hidrolojik yılı ölçülen akım ve modellenen akımın korelasyonu



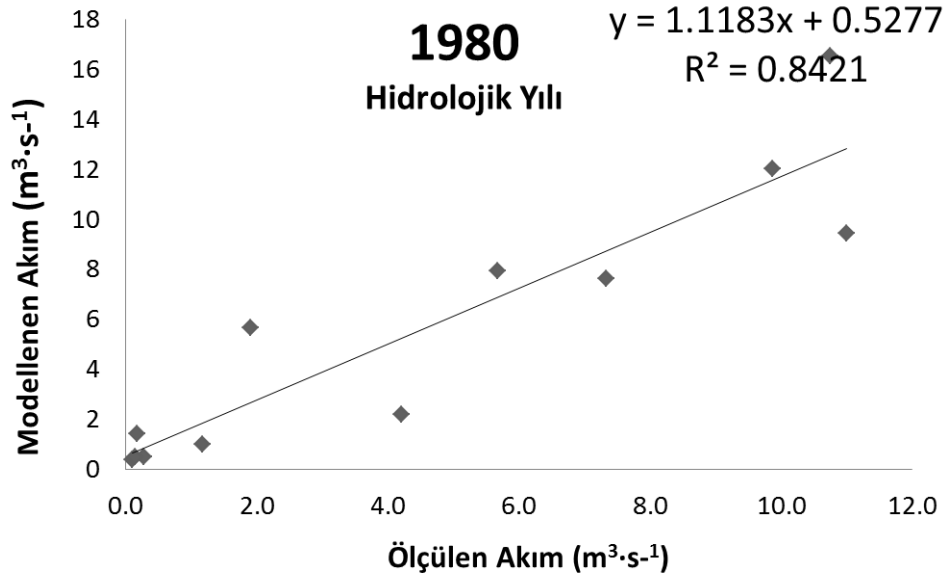
Şekil A.4 : 1974 hidrolojik yılı ölçülen akım ve modellenen akımın korelasyonu



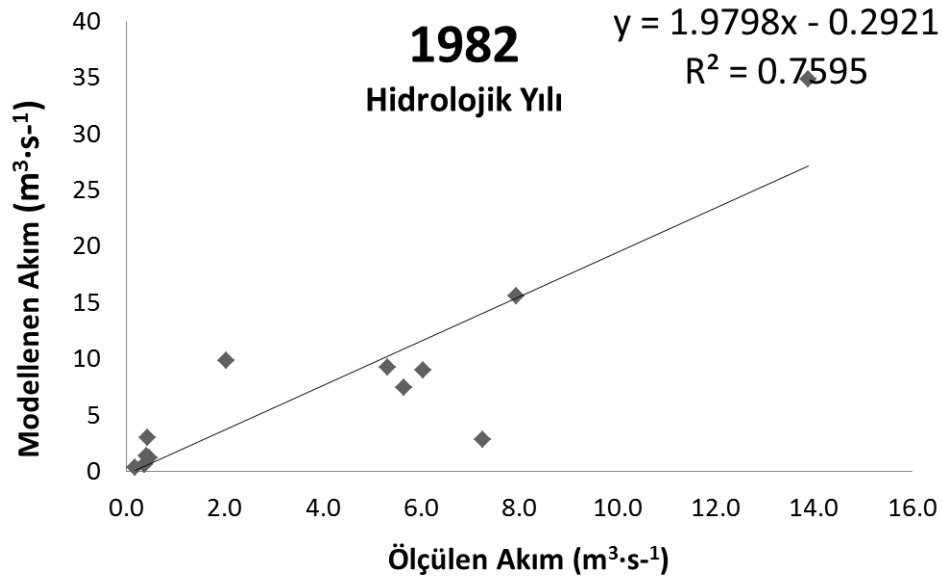
Şekil A.5 : 1978 hidrolojik yılı ölçülen akım ve modellenen akımın korelasyonu



Şekil A.6 : 1979 hidrolojik yılı ölçülen akım ve modellenen akımın korelasyonu

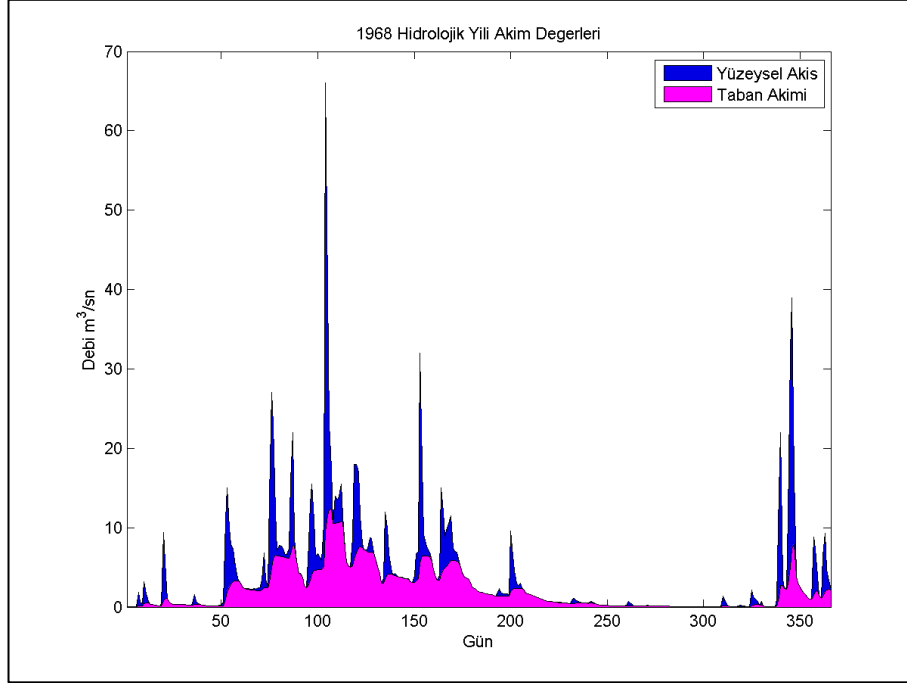


Şekil A.7 : 1980 hidrolojik yılı ölçülen akım ve modellenen akımın korelasyonu

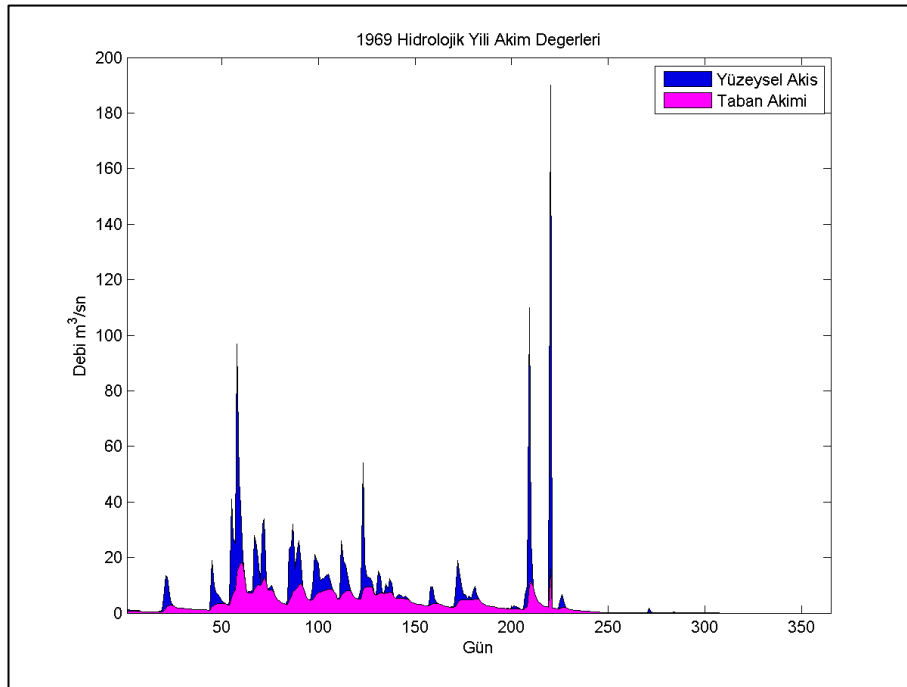


Şekil A.8 : 1982 hidrolojik yılı ölçülen akım ve modellenen akımın korelasyonu

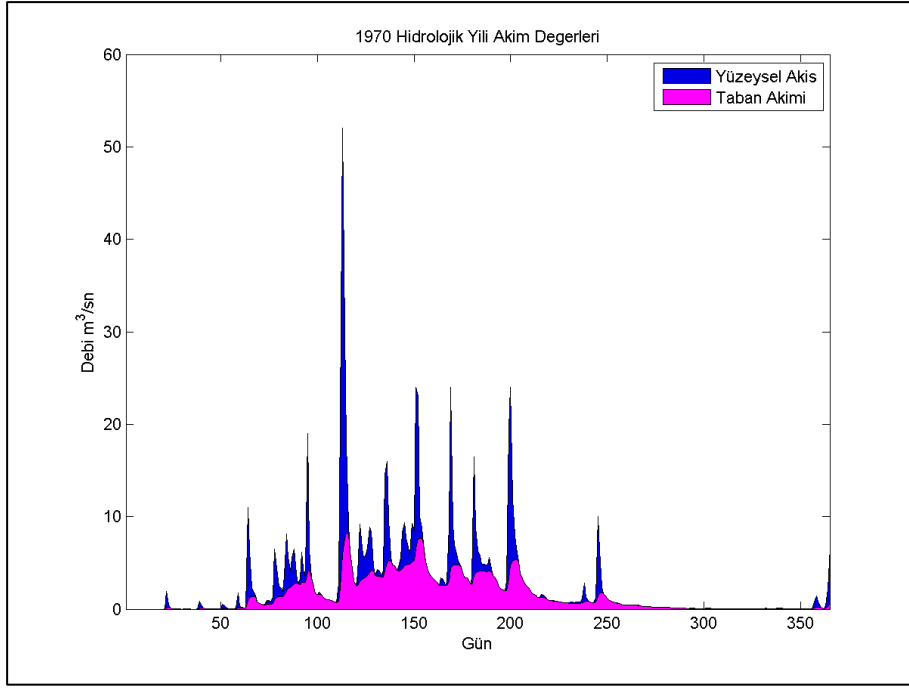
EK B



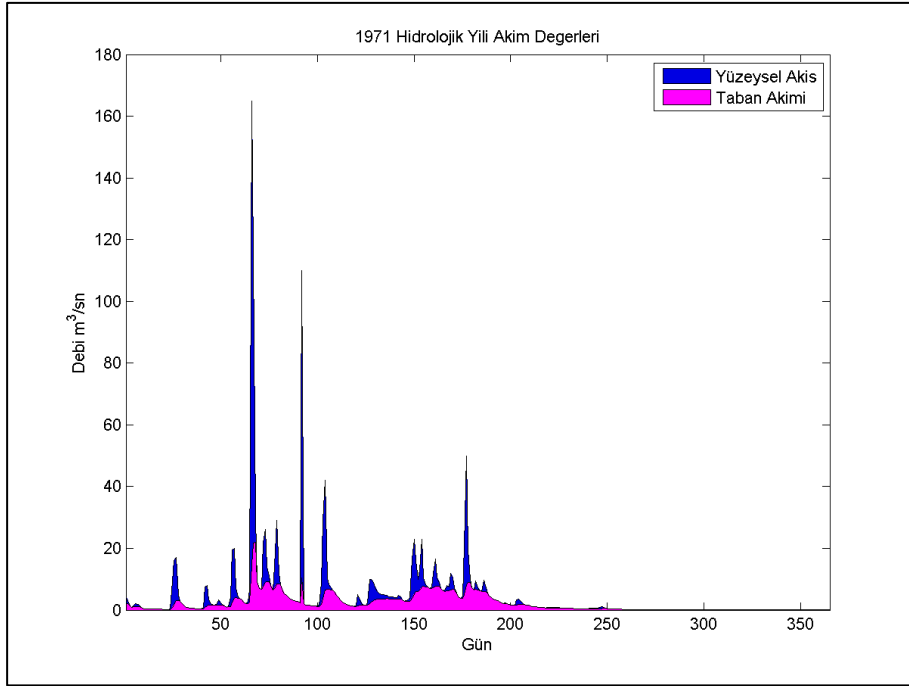
Şekil B.1 :1968 hidrolojik yılı akım değerleri



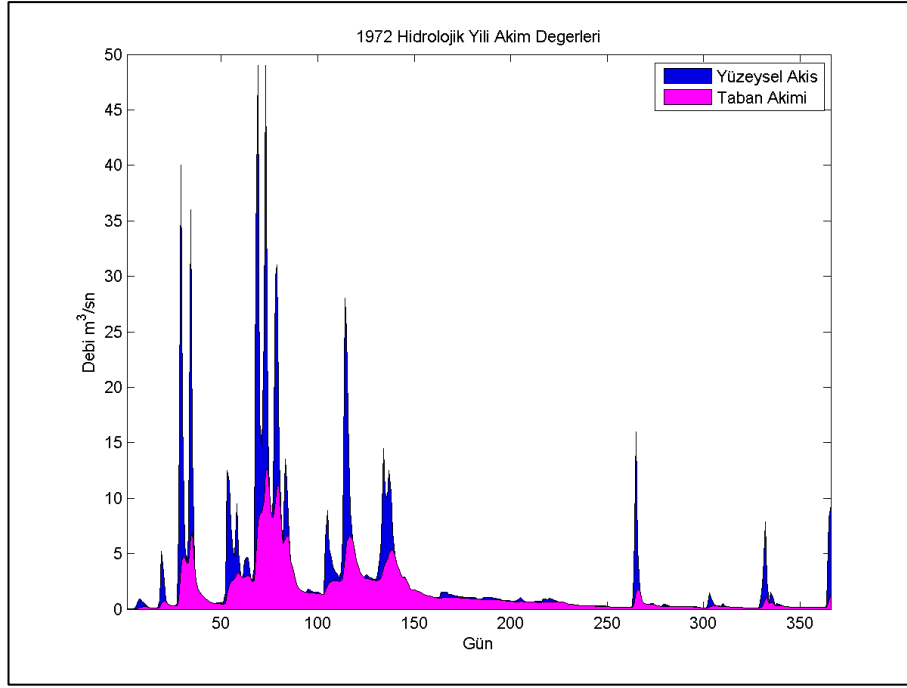
Şekil B.2 :1969 hidrolojik yılı akım değerleri



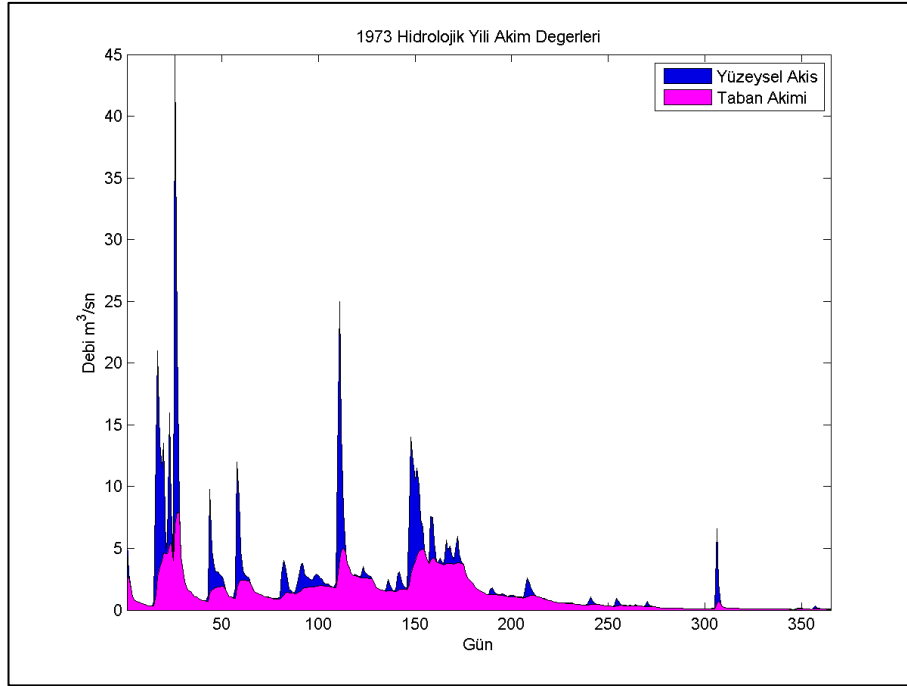
Şekil B.3 : 1970 hidrolojik yılı akım değerleri



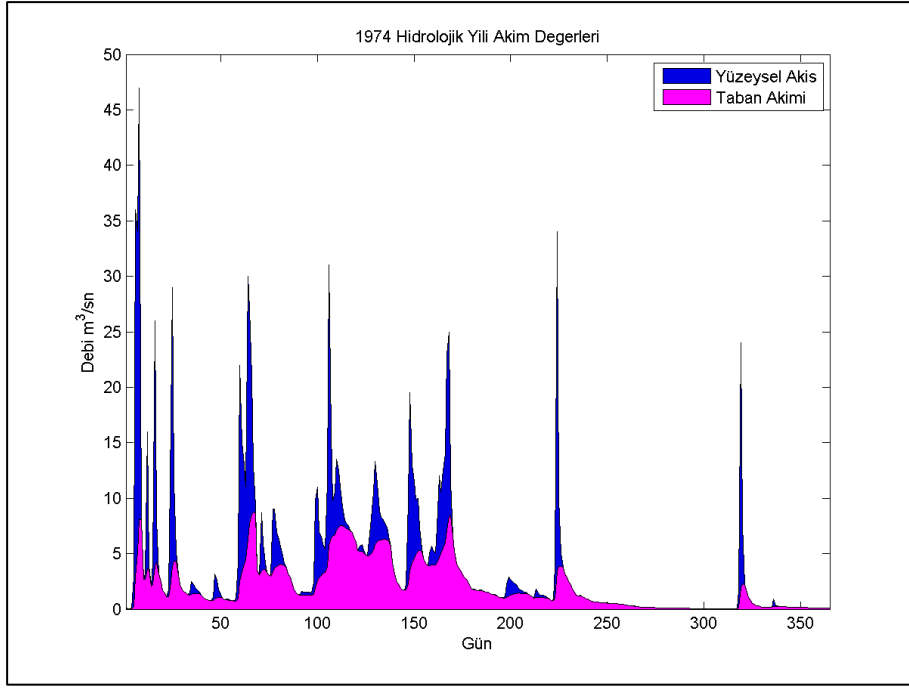
Şekil B.4 : 1971 hidrolojik yılı akım değerleri



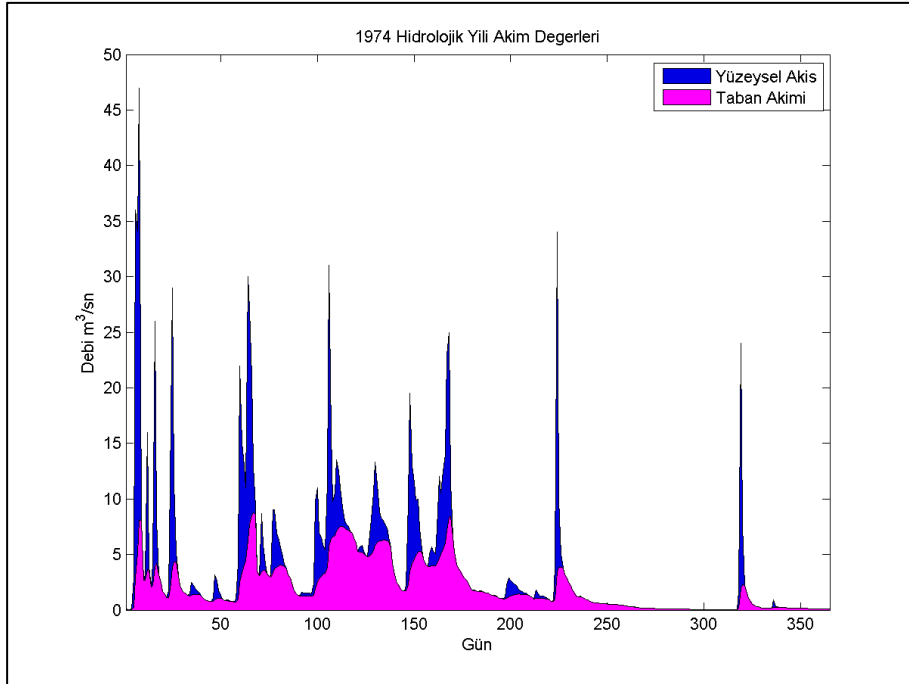
Şekil B.5 : 1972 hidrolojik yılı akım değerleri



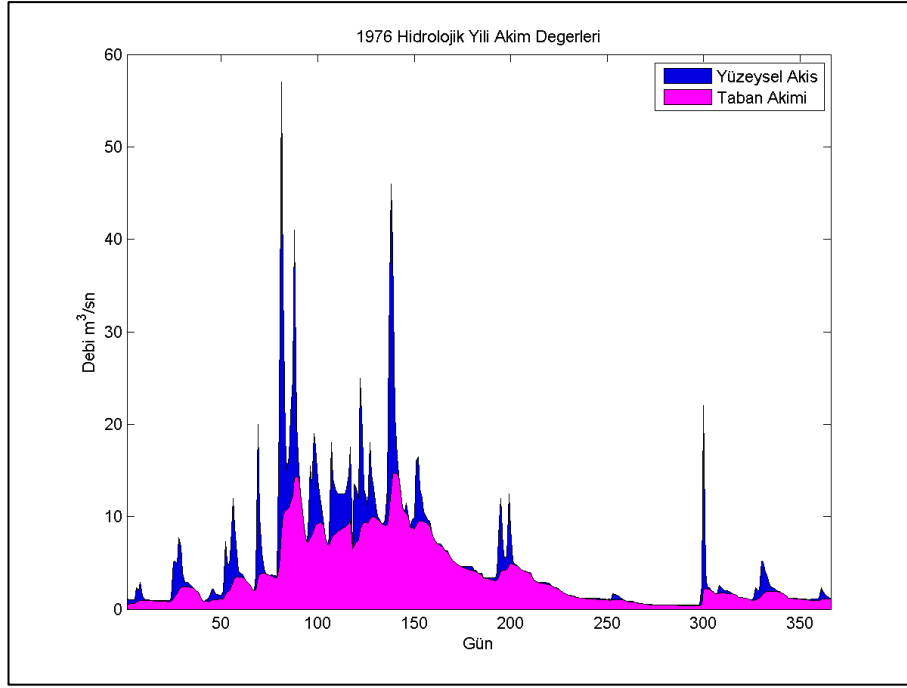
Şekil B.6 : 1973 hidrolojik yılı akım değerleri



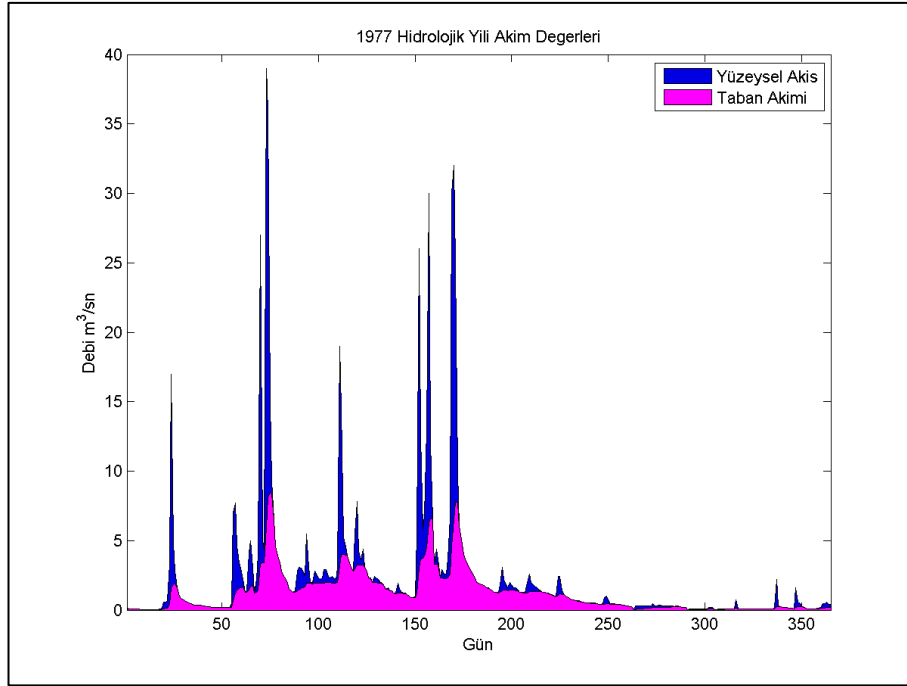
Şekil B.7 : 1974 hidrolojik yılı akım değerleri



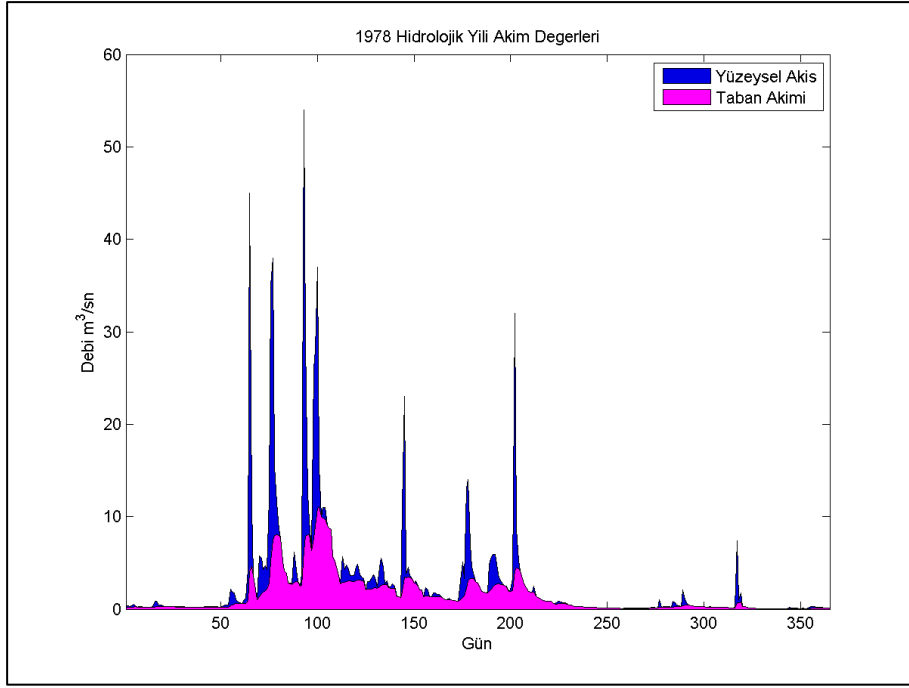
Şekil B.8 : 1975 hidrolojik yılı akım değerleri



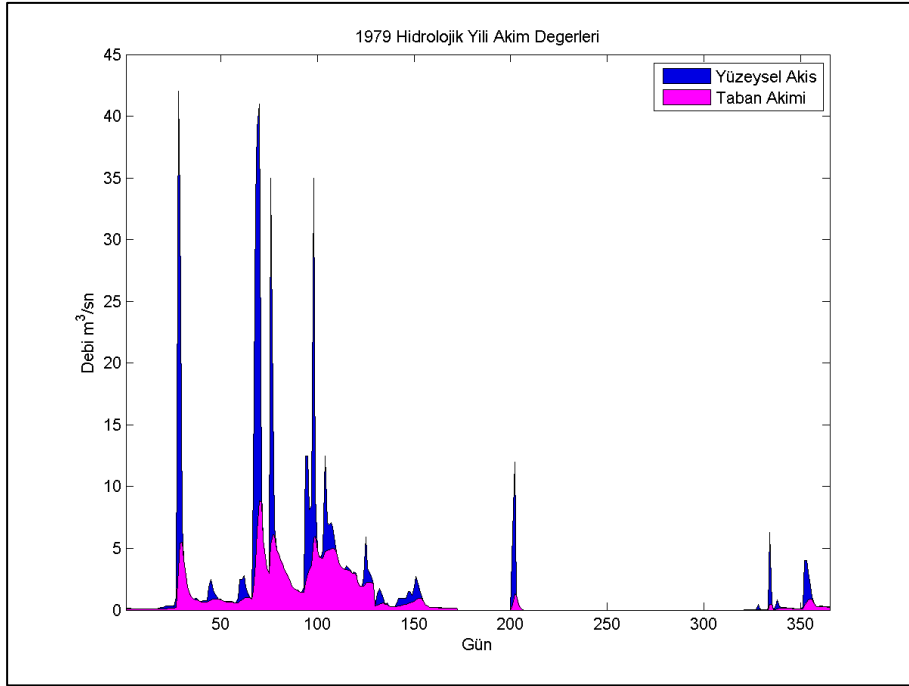
Şekil B.9 : 1976 hidrolojik yılı akım değerleri



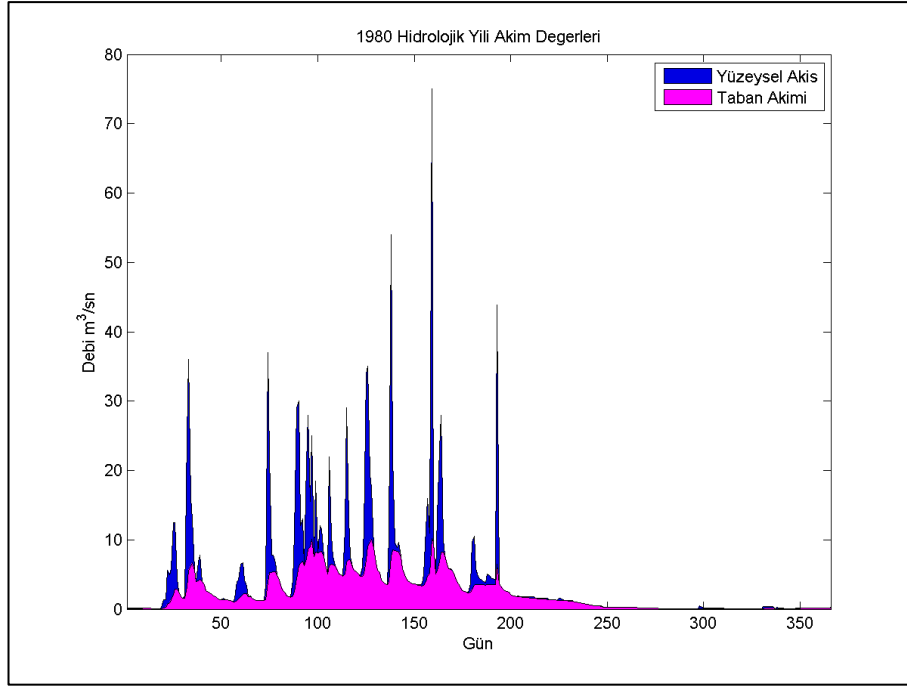
Şekil B.10 : 1977 hidrolojik yılı akım değerleri



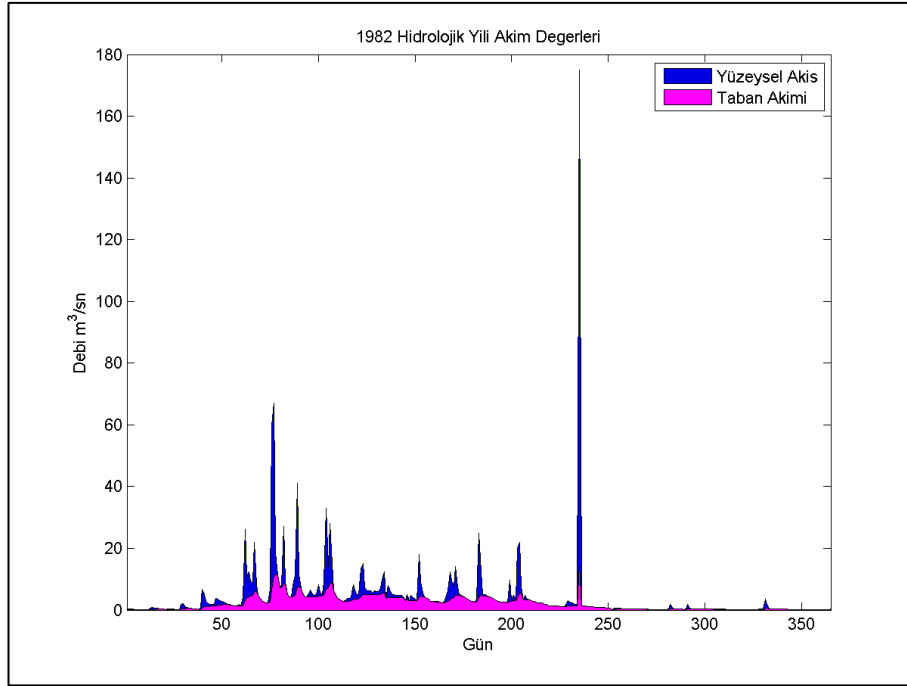
Şekil B.11 : 1978 hidrolojik yılı akım değerleri



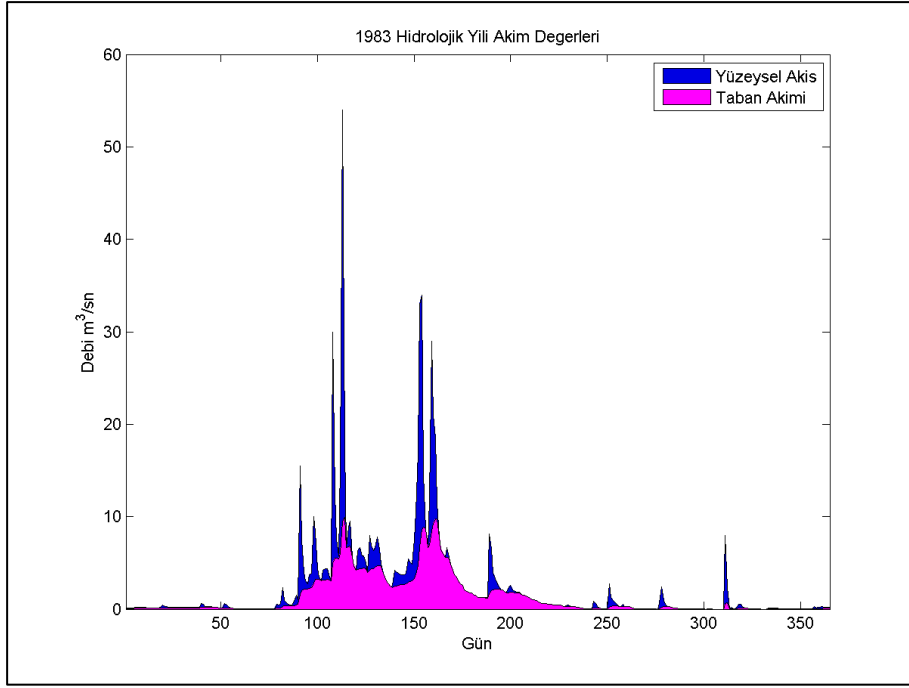
Şekil B.12 : 1979 hidrolojik yılı akım değerleri



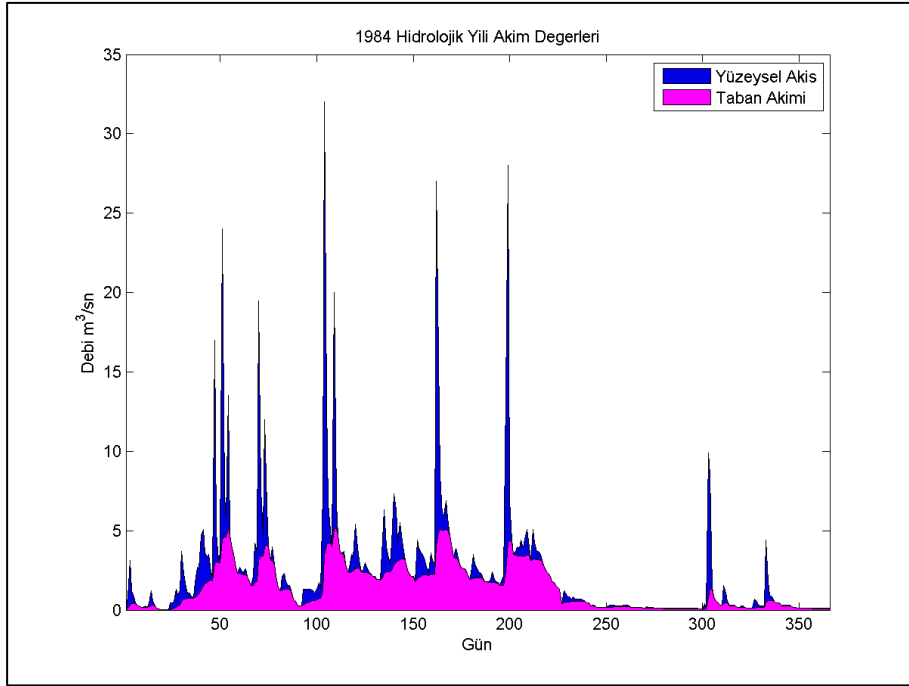
Şekil B.13 : 1980 hidrolojik yılı akım değerleri



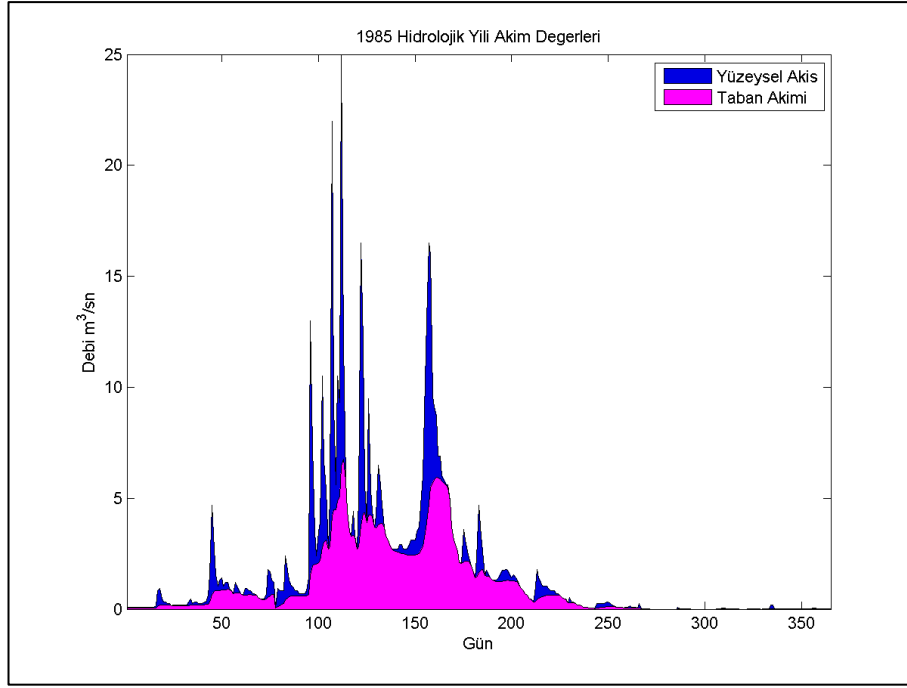
Şekil B.14 : 1981 hidrolojik yılı akım değerleri



Şekil B.15 : 1982 hidrolojik yılı akım değerleri

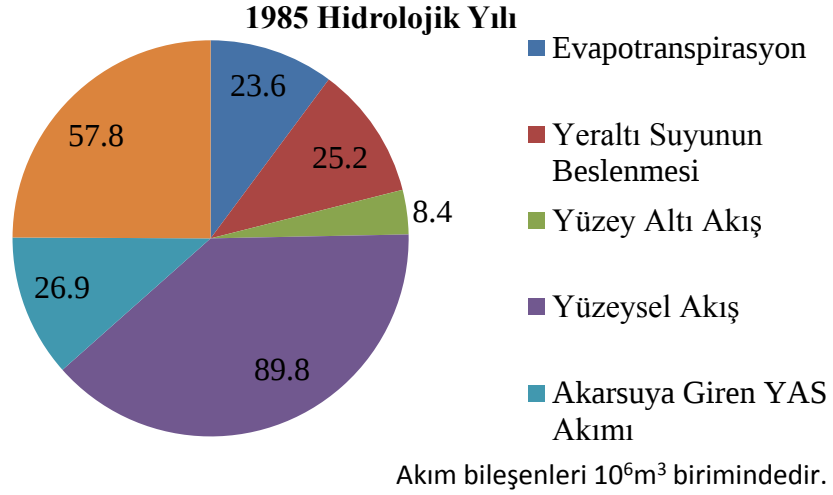


Şekil B.16 : 1984 hidrolojik yılı akım değerleri

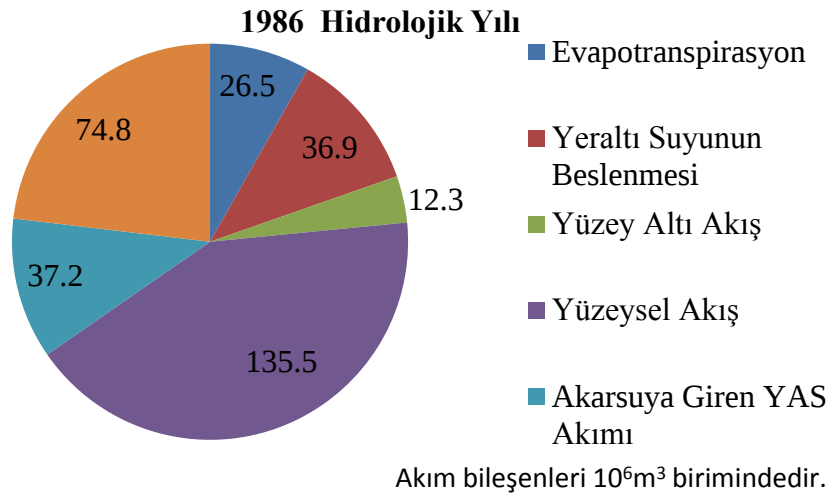


Şekil B.17 : 1985 hidrolojik yılı akım değerleri

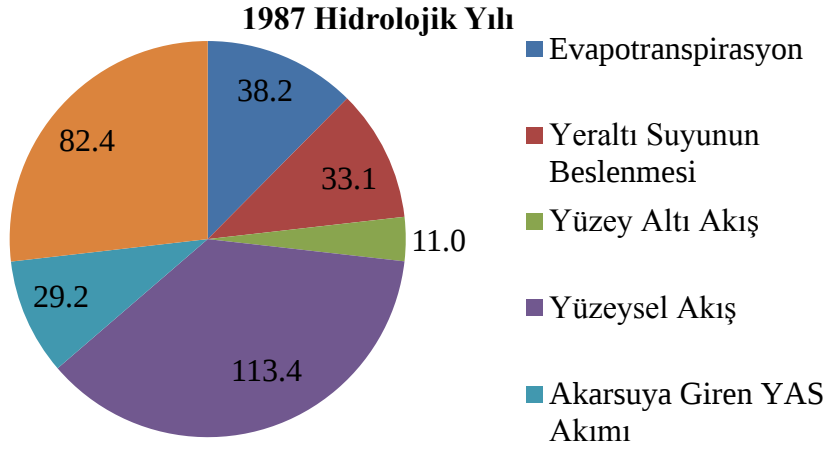
EK C



Şekil C.1 : 1972 ile 1990 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri

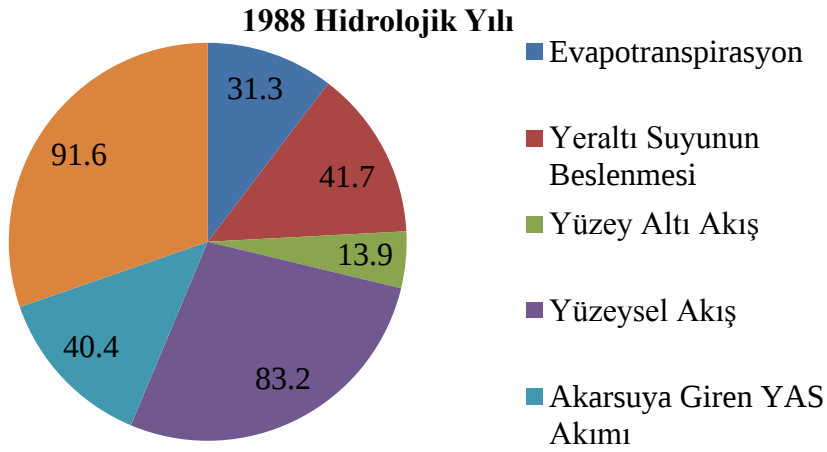


Şekil C.1 : 1986 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri



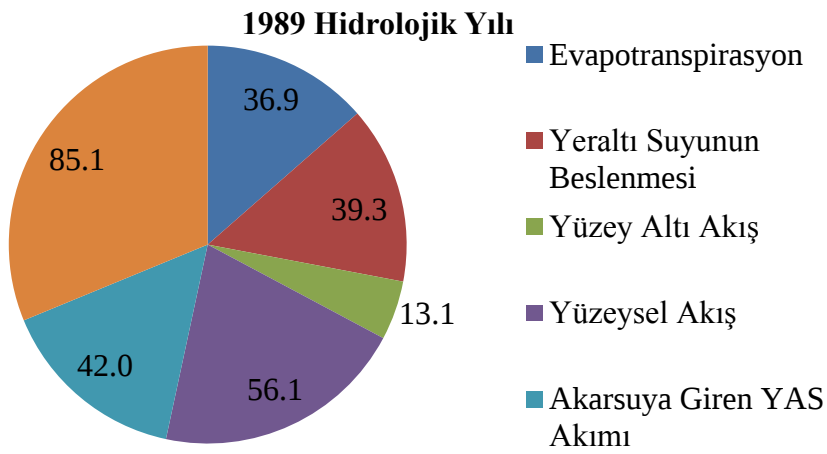
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil C.2 : 1987 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri



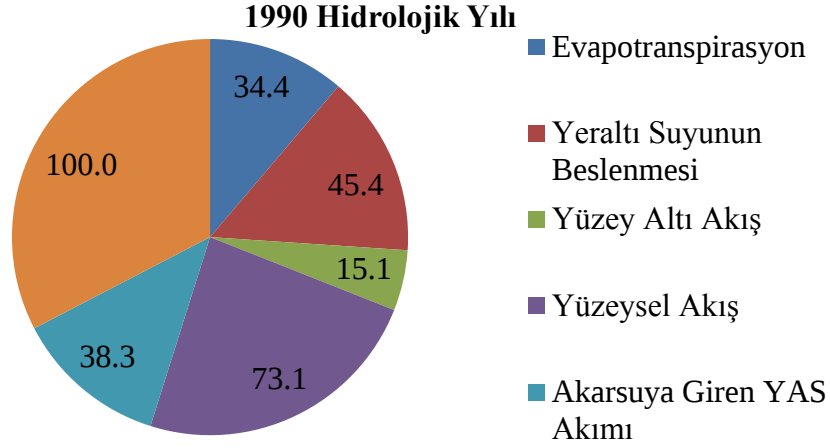
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil C.2 : 1988 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri



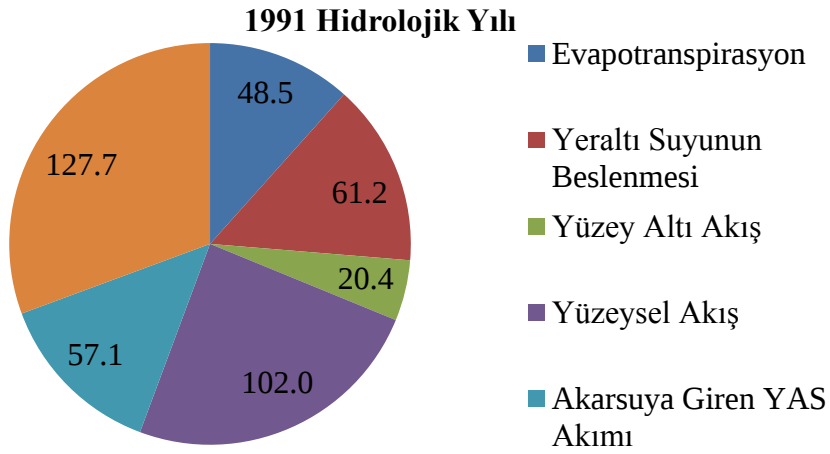
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil C.3 : 1989 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri



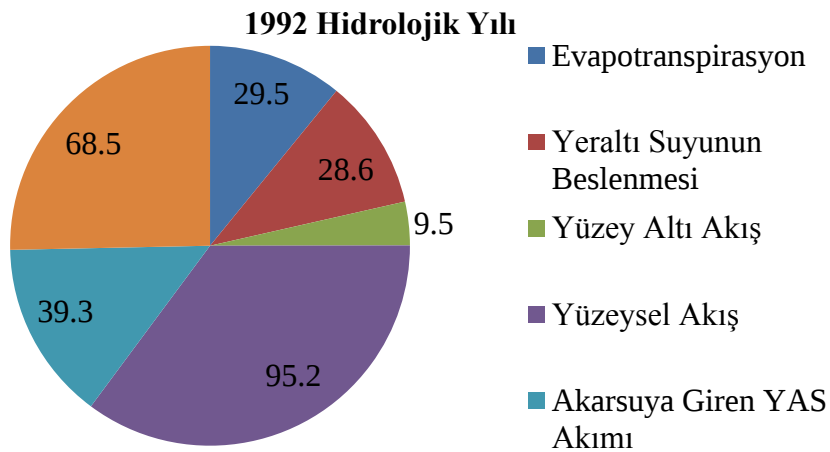
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil C.4 : 1990 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri



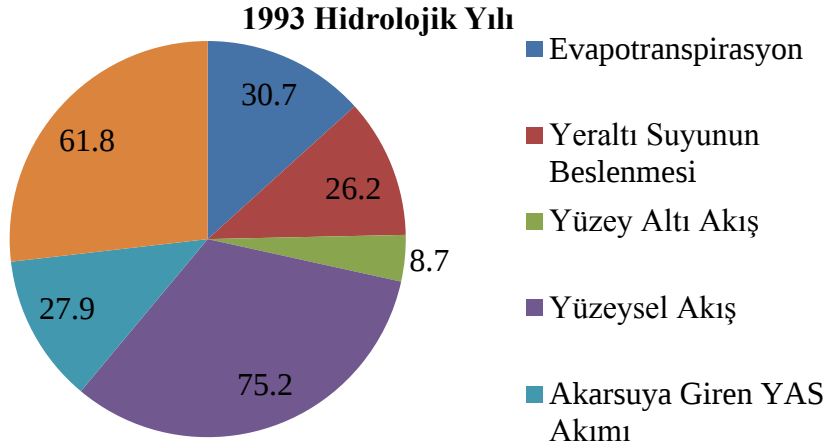
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil C.5 : 1991 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri



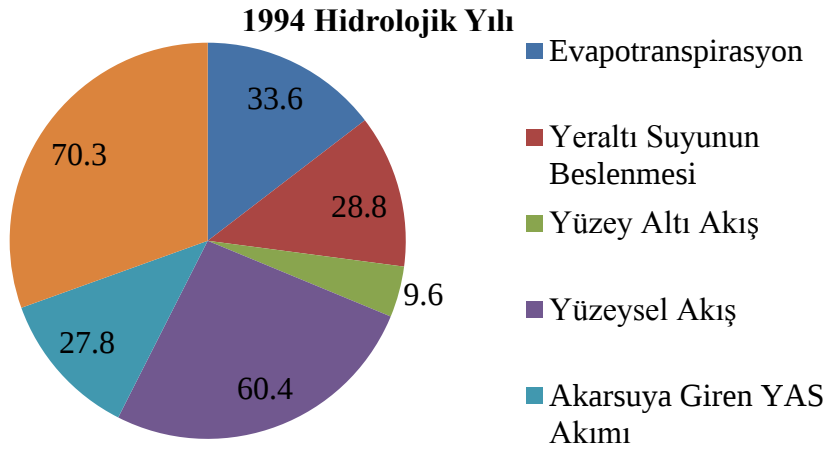
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil C.6 : 1992 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri



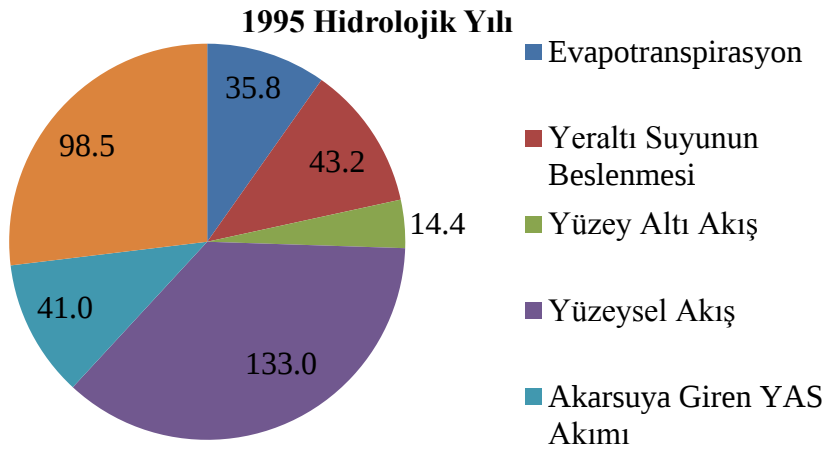
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil C.7 : 1993 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri



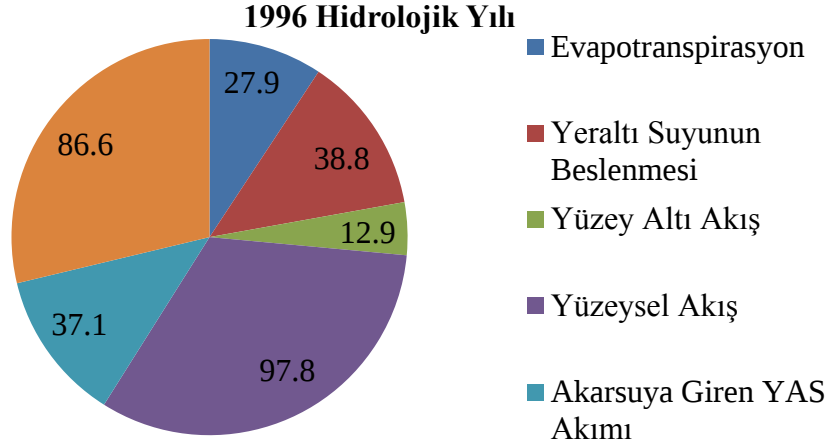
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil C.8 : 1994 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri



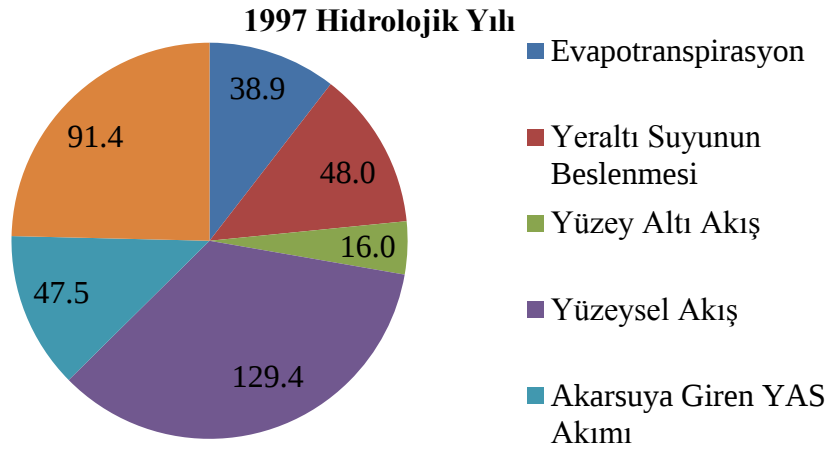
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil C.9 : 1995 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri



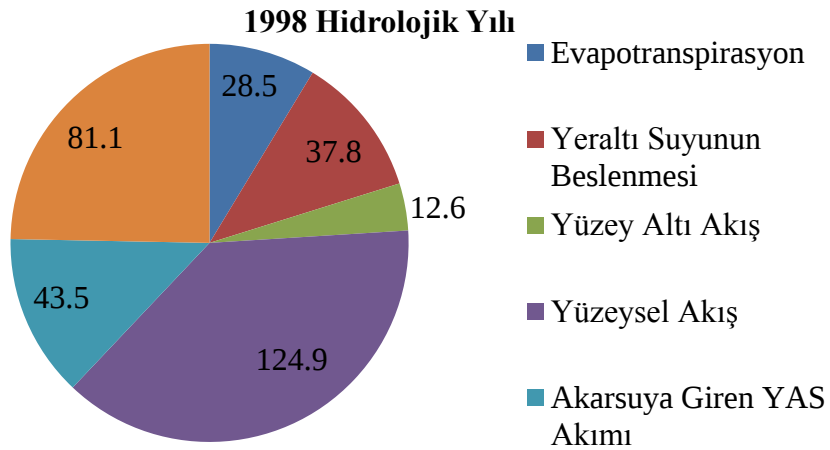
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil C.10 : 1996 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri



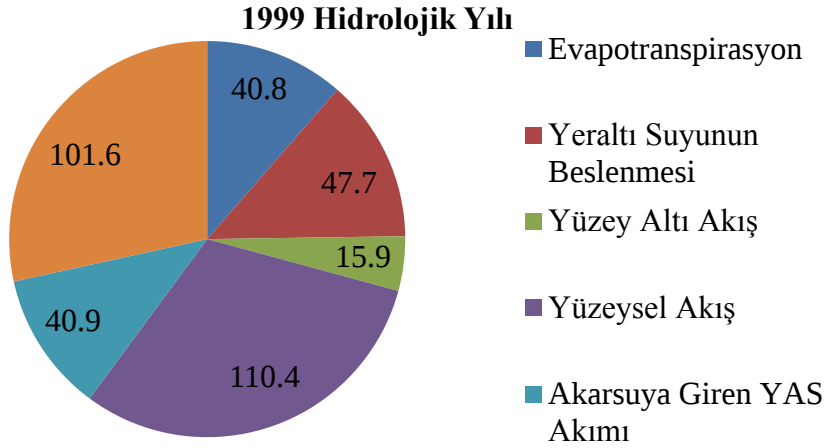
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil C.11 : 1997 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri



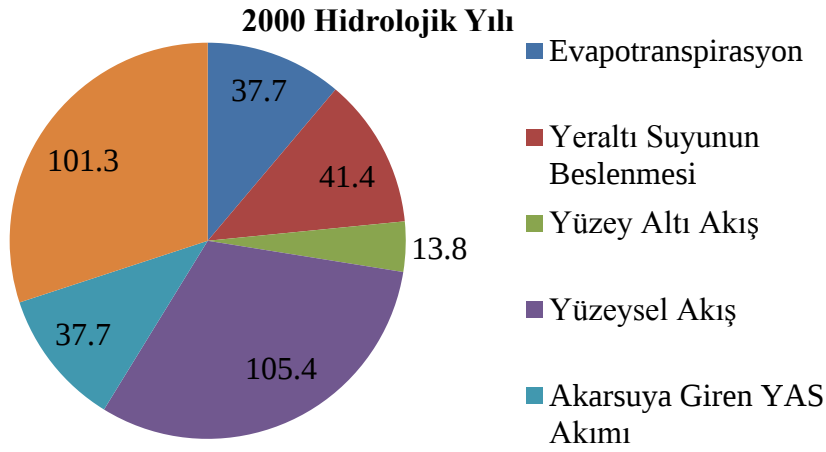
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil C.12 : 1998 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri



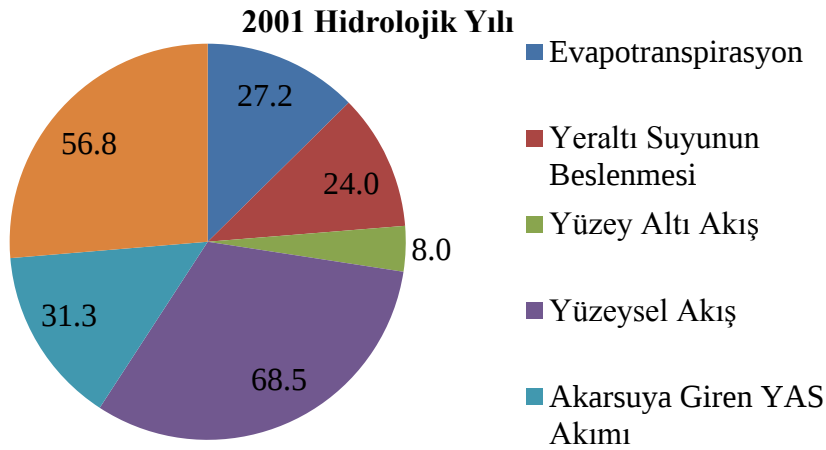
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil C.13 : 1999 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri



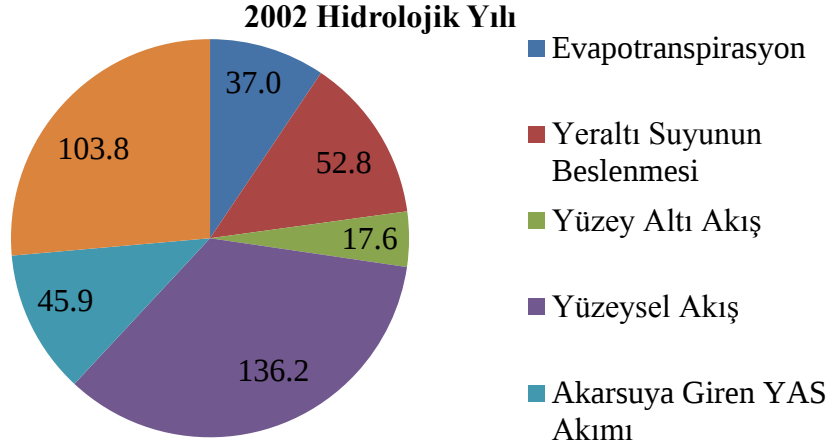
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil C.14 : 2000 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri



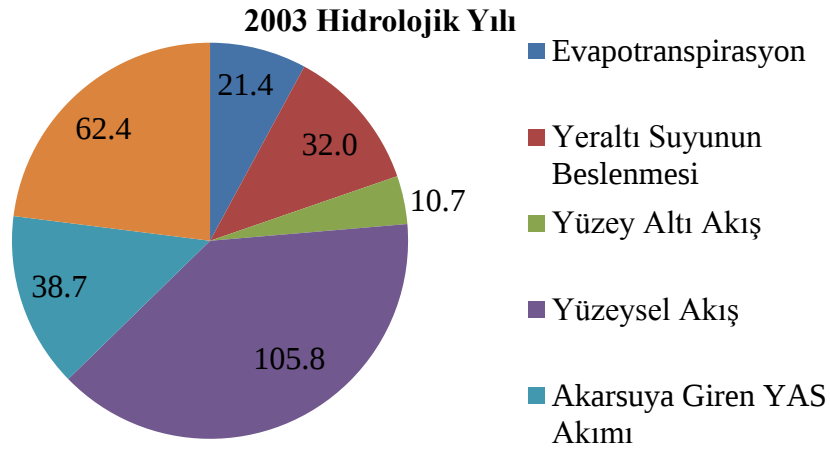
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil C.15 : 2001 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri



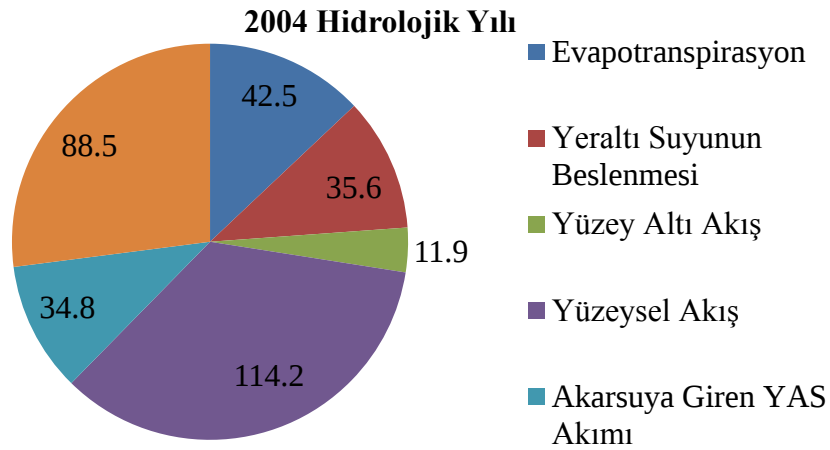
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil C.16 : 2002 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri



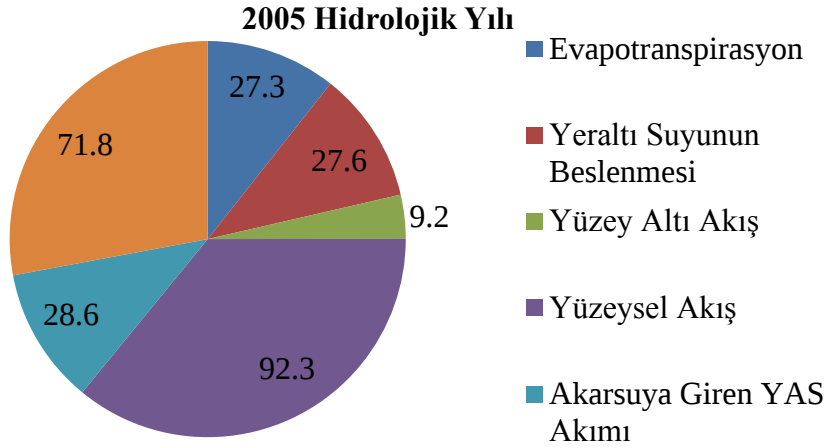
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil C.17 : 2003 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri



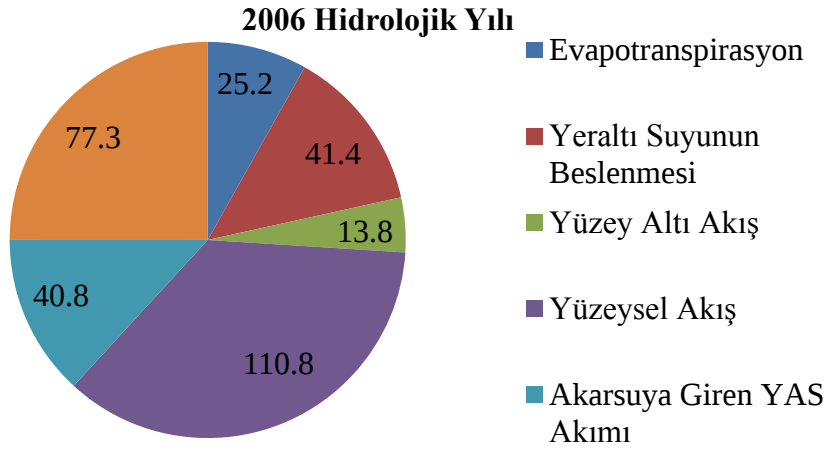
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil C.18 : 2004 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri



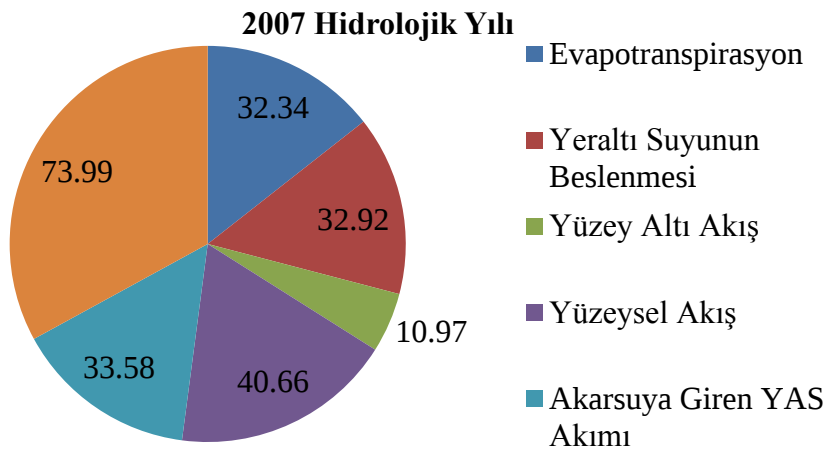
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil C.19 : 2005 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri



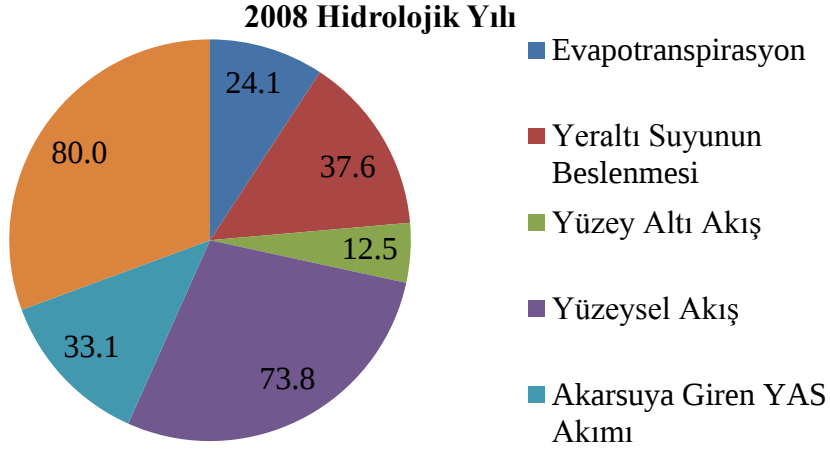
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil C.20 : 2006 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri



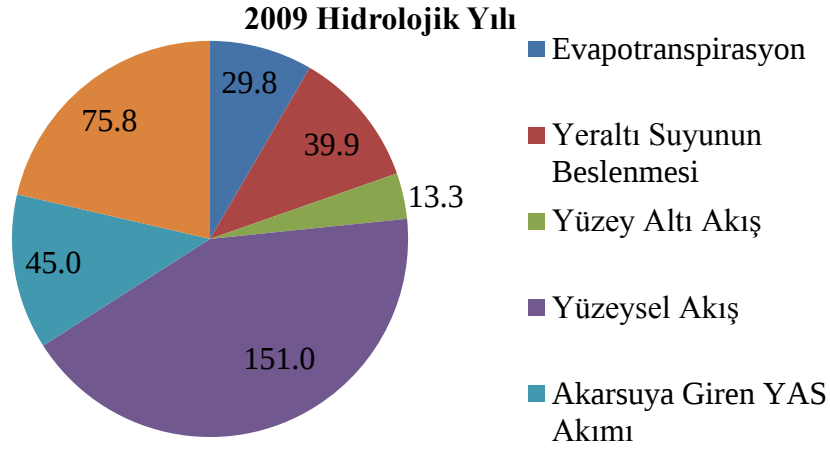
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil C.21 : 2007 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri



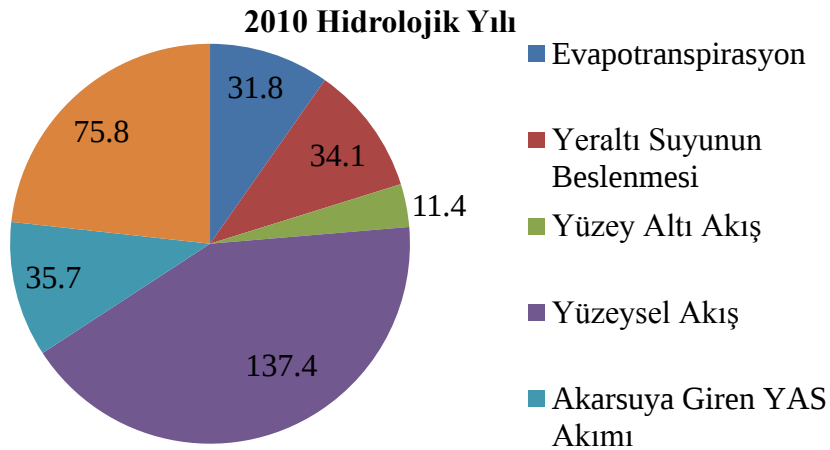
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil C.22 : 2008 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri



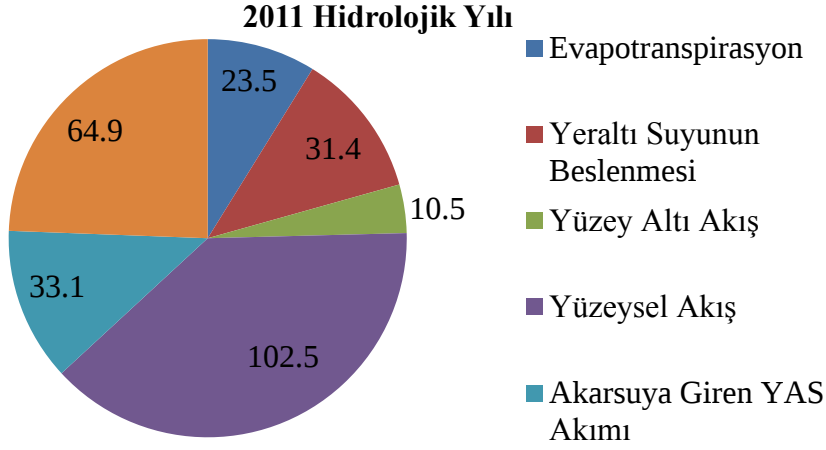
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil C.23 : 2009 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri



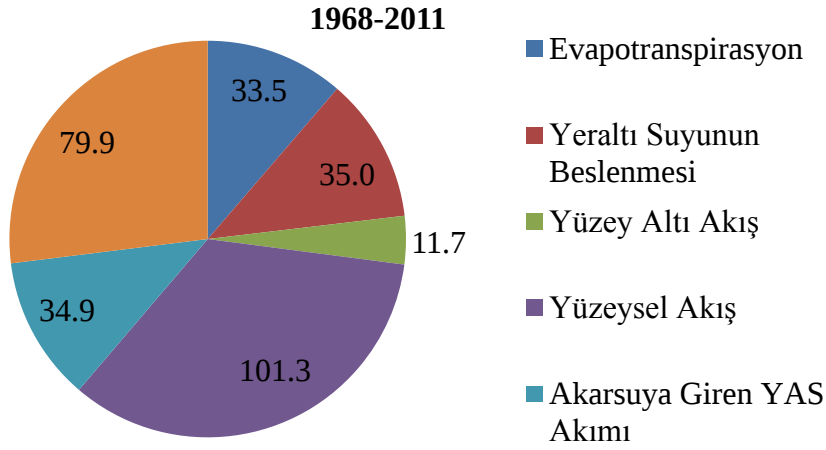
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil C.24 : 2010 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri



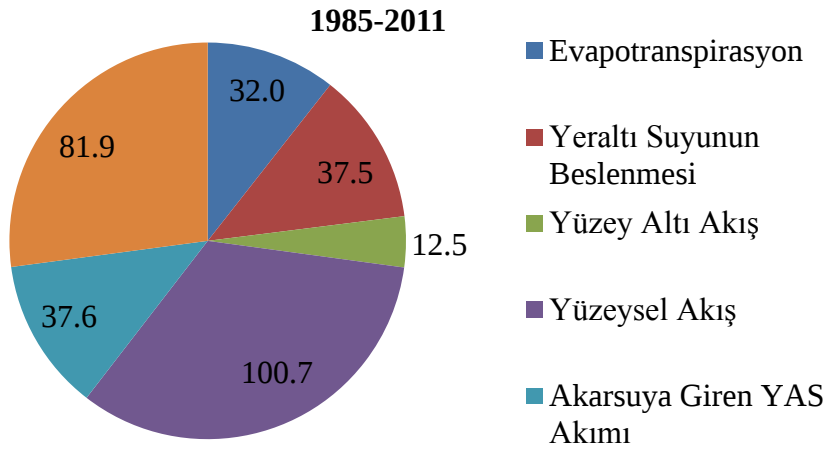
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil C.25 : 2011 Hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri



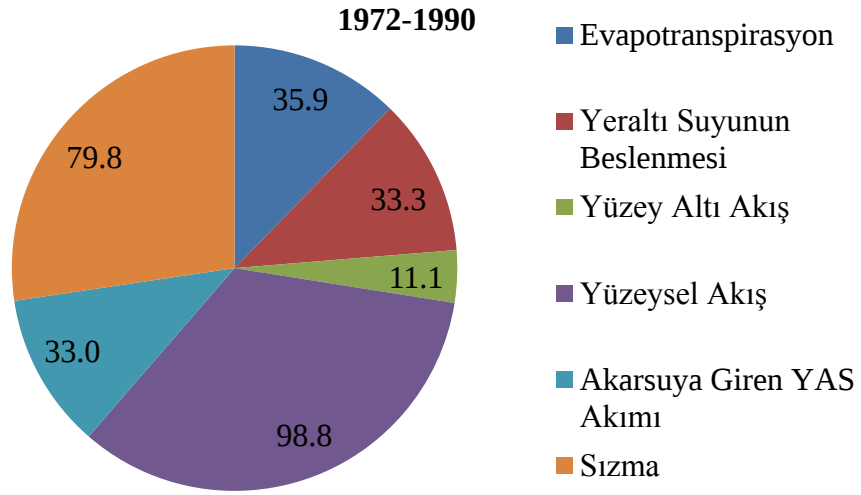
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil C.26 : 1968 ile 2011 arasındaki hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri



Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

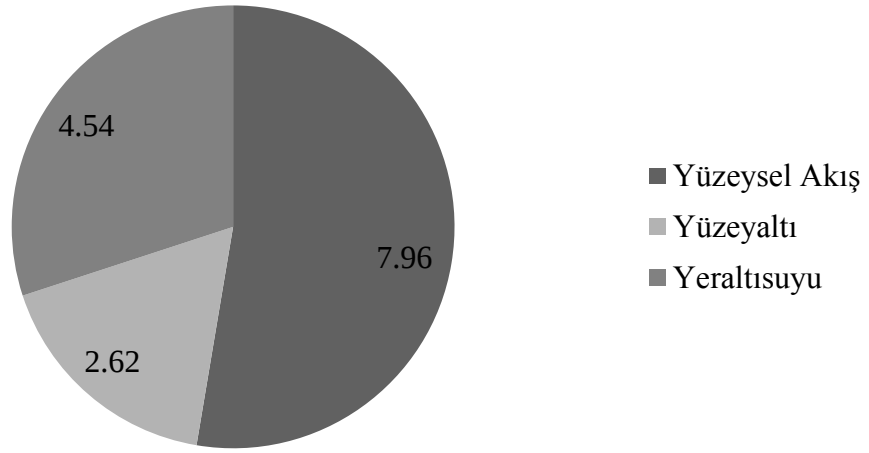
Şekil C.27 : 1968 ile 2011 arasındaki hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri



Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

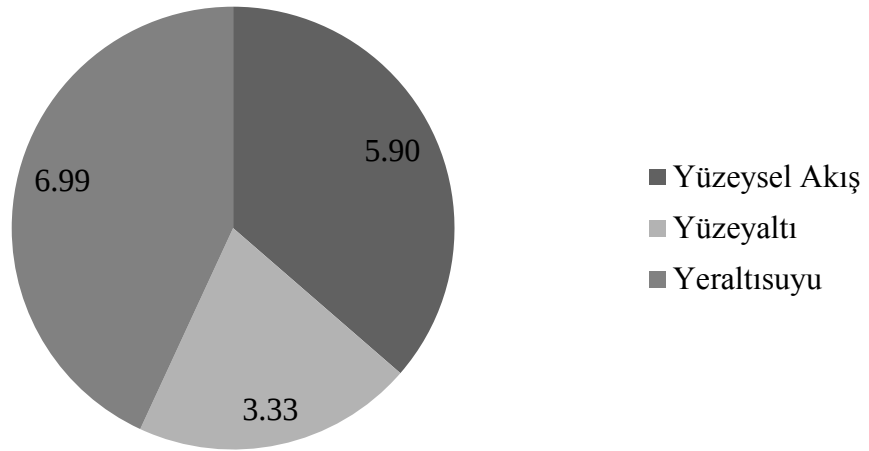
Şekil C.28 : 1968 ile 2011 arasındaki hidrolojik yıllarına ait yıllık toplam ortalama su bütçesi değerleri

EK D



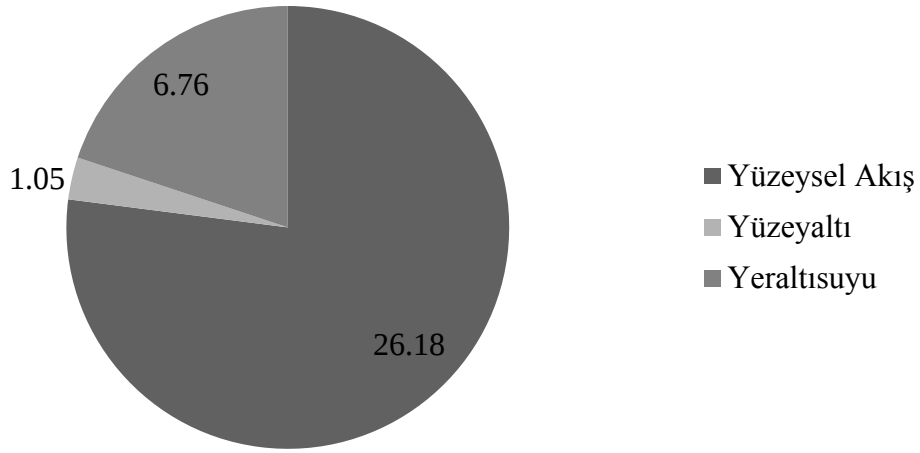
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil D.1 : Ekim ayı için ortalama akım değerleri



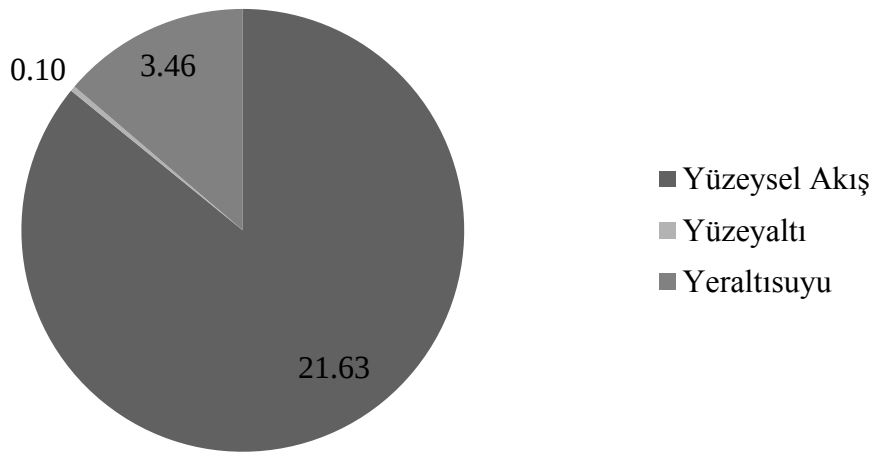
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil D.2 : Kasım ayı için ortalama akım değerleri



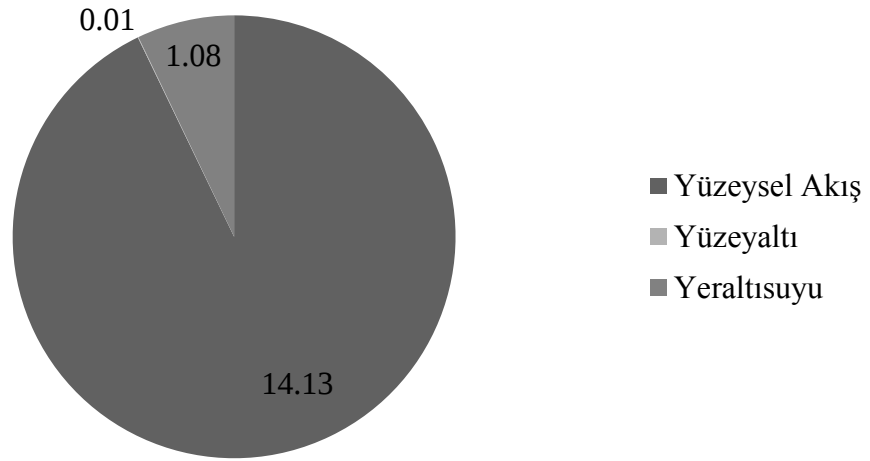
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil D.3 : Aralık ayı için ortalama akım değerleri



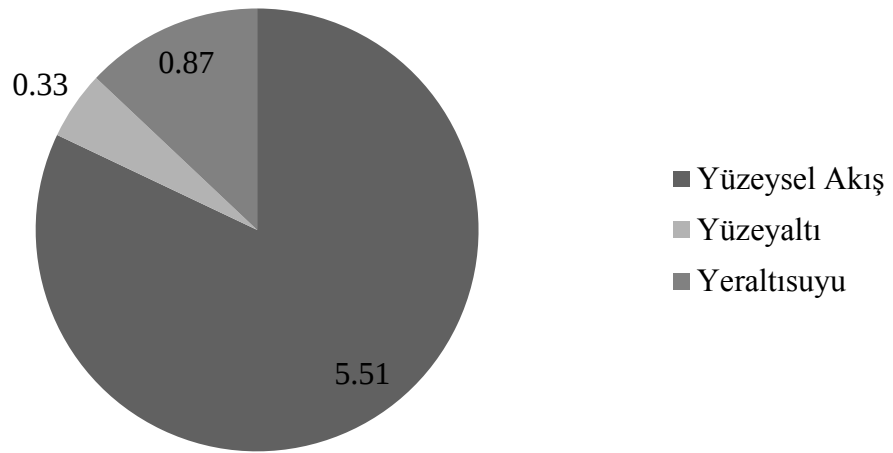
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil D.4 : Ocak ayı için ortalama akım değerleri



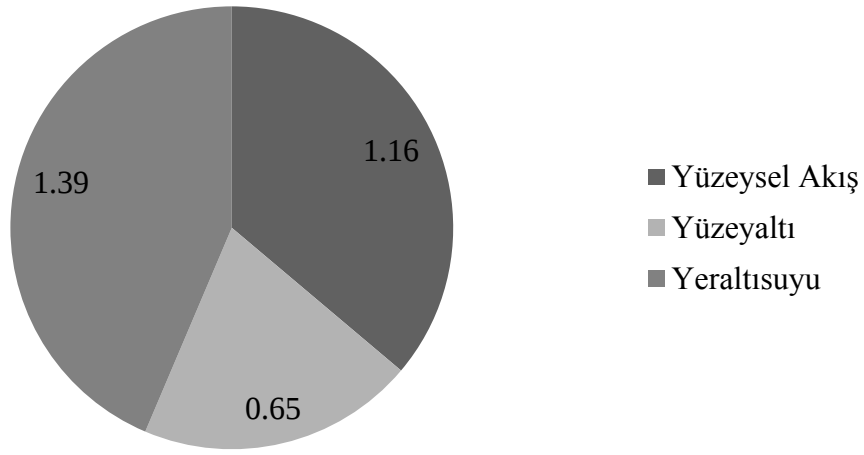
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil D.5 : Şubat ayı için ortalama akım değerleri



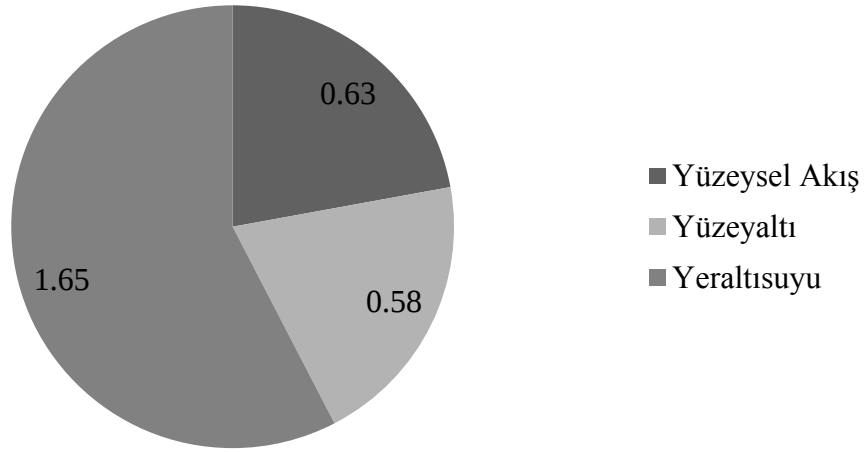
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil D.6 : Mart ayı için ortalama akım değerleri



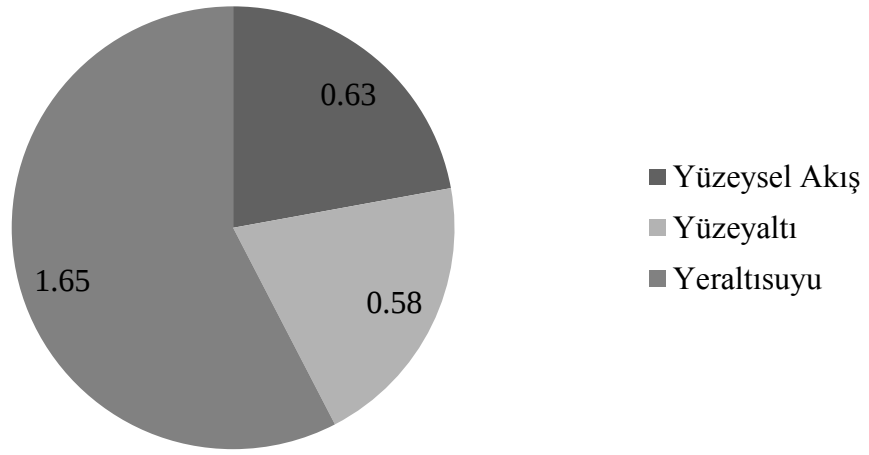
Akım bileşenleri $10^6 m^3$ birimindedir.

Şekil D.7 : Nisan ayı için ortalama akım değerleri



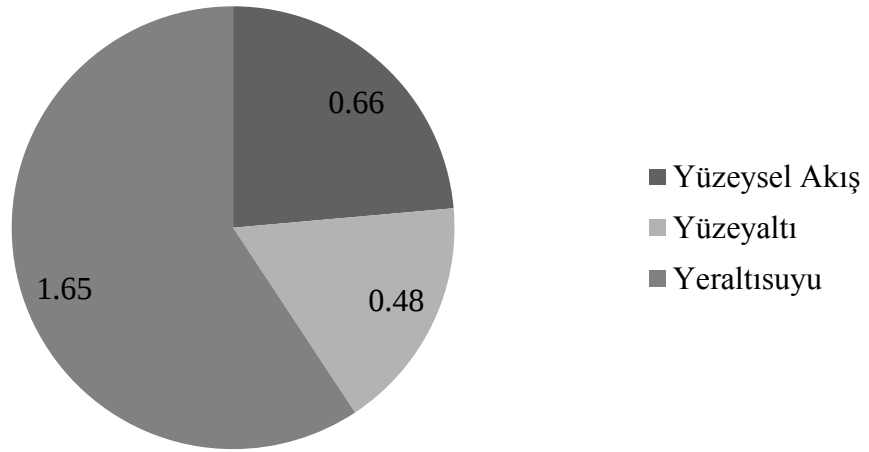
Akım bileşenleri $10^6 m^3$ birimindedir.

Şekil D.8 : Mayıs ayı için ortalama akım değerleri



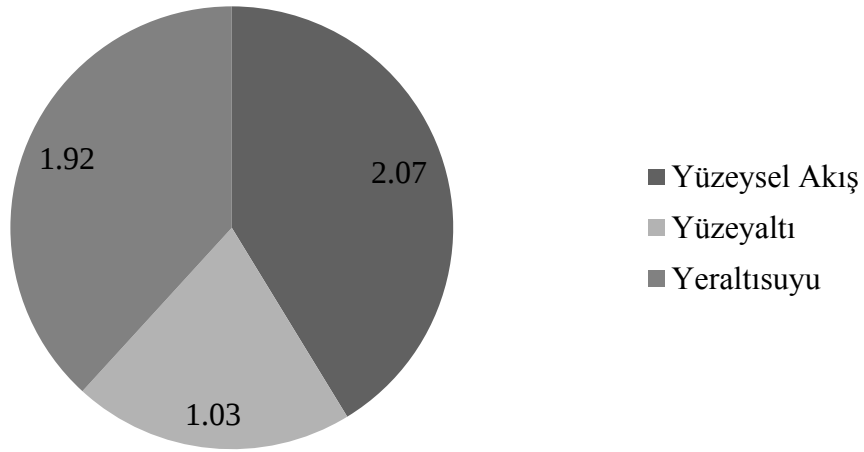
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil D.9 : Haziran ayı için ortalama akım değerleri



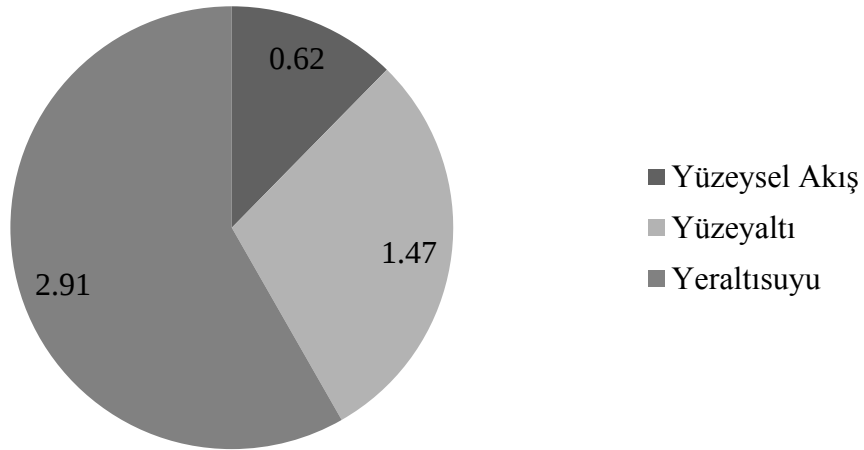
Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil D.10 : Temmuz ayı için ortalama akım değerleri



Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil D.11 : Ağustos ayı için ortalama akım değerleri



Akım bileşenleri 10⁶m³ birimindedir.

Şekil D.12 : Eylül ayı için ortalama akım değerleri

EK-E**Çizelge E.1 : 2007 Hidrolojik yılında her bir alt havzaya ait su bütçesi bileşenleri**

2007	Yağış (m ³)	Akarsu Çıkış Debisi (m ³)	Evapotranspirasyon (m ³)	Kar Erimesi (m ³)	Yeraltı Suyunun Beslenmesi (m ³)	Yüzey altı Akış (m ³)	Yüzeysel Akış (m ³)	Akarsuya Giren Yas Akımı (m ³)	Sızma (m ³)
D_1	10.978	85.210.965	3.204	148	3.261	1.087	4.028	3.209	6.950
D_2	10.286.366	81.256.227	2.900.838	134.221	2.952.686	984.229	3.646.864	3.010.659	6.639.503
D_3	5.291.386	3.946.414	1.492.902	69.076	1.519.586	506.529	1.876.841	1.563.051	3.414.545
D_4	5.867.730	73.614.492	1.655.313	76.591	1.684.900	561.633	2.081.020	1.724.154	3.786.710
D_5	3.480.019	2.581.802	981.571	45.417	999.115	333.038	1.234.008	1.014.760	2.246.011
D_6	13.025.372	66.665.890	3.673.753	169.983	3.739.417	1.246.472	4.618.555	3.810.366	8.406.817
D_7	6.065.333	4.496.515	1.710.611	79.149	1.741.186	580.395	2.150.539	1.765.587	3.914.794
D_8	5.593.280	52.494.000	1.578.286	73.027	1.606.496	535.499	1.984.184	1.648.862	3.609.097
D_9	4.292.390	12.530.869	1.211.398	56.051	1.233.051	411.017	1.522.941	1.255.421	2.769.449
D_10	3.194.592	35.794.594	901.758	41.724	917.876	305.959	1.133.669	942.833	2.060.923
D_11	3.194.592	2.392.293	902.037	41.737	918.160	306.053	1.134.019	952.226	2.060.572
D_12	9.369.705	6.949.202	2.642.317	122.259	2.689.545	896.515	3.321.857	2.730.843	6.047.848
D_13	14.156.104	10.496.760	3.992.029	184.710	4.063.382	1.354.461	5.018.684	4.123.637	9.137.420
D_14	6.674.611	22.915.377	1.883.051	87.128	1.916.708	638.903	2.367.327	1.970.616	4.307.284
D_15	65.868	14.781.615	18.943	877	19.282	6.427	23.815	19.334	42.053
D_16	4.253.967	3.156.926	1.200.395	55.542	1.221.850	407.283	1.509.107	1.240.540	2.744.859
D_17	9.029.388	6.701.754	2.547.321	117.864	2.592.851	864.284	3.202.432	2.635.052	5.826.956
D_18	10.791.353	8.030.284	3.043.330	140.814	3.097.726	1.032.575	3.826.002	3.171.725	6.965.351

Çizelge E.2 : 2009 Hidrolojik yılında her bir alt havzaya ait su bütçesi bileşenleri

Alt havza No	Yağış (m ³)	Akarsu Çıkış Debisi (m ³)	Evapotranspirasyon (m ³)	Kar Erimesi (m ³)	Yeraltı Suyunun Beslenmesi (m ³)	Yüzey altı Akış (m ³)	Yüzeysel Akış (m ³)	Akarsuya Giren Yas Akımı (m ³)	Sızma (m ³)
D_1	21.721	209.235.908	2.951	488	3.948	1.316	14.958	4.015	6.763
D_2	20.352.718	199.551.241	2.671.679	441.575	3.574.826	1.191.609	13.544.466	3.969.611	6.808.251
D_3	10.469.594	9.664.376	1.374.967	227.255	1.839.767	613.256	6.970.594	2.080.548	3.499.000
D_4	11.609.955	180.845.587	1.524.548	251.977	2.039.913	679.971	7.728.918	2.312.979	3.881.037
D_5	6.885.605	6.355.438	904.030	149.418	1.209.632	403.211	4.583.110	1.369.127	2.302.494
D_6	25.772.145	163.768.305	3.383.537	559.231	4.527.324	1.509.108	17.153.332	5.131.435	8.618.812
D_7	12.000.935	11.070.773	1.575.478	260.395	2.108.059	702.686	7.987.112	2.380.997	4.013.824
D_8	11.066.926	128.903.703	1.453.606	240.252	1.944.990	648.330	7.369.267	2.204.124	3.697.659
D_9	8.492.970	30.732.948	1.115.701	184.403	1.492.858	497.619	5.656.210	1.691.690	2.836.760
D_10	6.320.855	87.949.056	830.522	137.269	1.111.276	370.425	4.210.452	1.248.081	2.110.403
D_11	6.320.855	5.779.966	830.779	137.311	1.111.619	370.540	4.211.753	1.197.686	2.109.102
D_12	18.539.002	17.107.480	2.433.581	402.222	3.256.240	1.085.413	12.337.392	3.684.713	6.201.610
D_13	28.009.423	25.843.222	3.676.670	607.680	4.919.549	1.639.850	18.639.413	5.564.003	9.370.010
D_14	13.206.459	56.276.886	1.734.295	286.644	2.320.564	773.521	8.792.262	2.612.606	4.414.198
D_15	130.327	36.326.745	17.447	2.884	23.345	7.782	88.449	23.603	41.877
D_16	8.416.946	7.771.780	1.105.567	182.728	1.479.298	493.099	5.604.831	1.673.865	2.812.115
D_17	17.865.646	16.494.712	2.346.090	387.762	3.139.173	1.046.391	11.893.844	3.554.510	5.971.802
D_18	21.351.891	19.712.199	2.802.916	463.266	3.750.426	1.250.142	14.209.788	4.252.306	7.142.103

Çizelge E.3 : 2011 Hidrolojik yılında her bir alt havzaya ait su bütçesi bileşenleri

Alt havza No	Yağış (m ³)	Akarsu Çıkış Debisi (m ³)	Evapotranspirasyon (m ³)	Kar Erimesi (m ³)	Yeraltı Suyunun Beslenmesi (m ³)	Yüzey altı Akış (m ³)	Yüzeysel Akış (m ³)	Akarsuya Giren Yas Akımı (m ³)	Sızma (m ³)
D_1	16.026	146.084.391	2.325	278	3.113	1.038	10.152	3.106	5.875
D_2	15.016.694	139.372.446	2.105.304	251.300	2.818.840	939.613	9.192.064	3.141.328	5.824.630
D_3	7.724.703	6.697.649	1.083.484	129.330	1.450.702	483.567	4.730.651	1.483.447	2.994.051
D_4	8.566.086	126.099.466	1.201.355	143.400	1.608.522	536.174	5.245.294	1.661.735	3.320.792
D_5	5.080.354	4.437.604	712.382	85.034	953.825	317.942	3.110.366	1.009.305	1.969.989
D_6	19.015.269	114.218.673	2.666.253	318.258	3.569.907	1.189.969	11.641.251	3.727.882	7.374.018
D_7	8.854.561	7.755.278	1.241.488	148.191	1.662.257	554.086	5.420.520	1.780.684	3.434.041
D_8	8.165.427	89.904.330	1.145.453	136.727	1.533.673	511.224	5.001.214	1.575.585	3.164.214
D_9	6.266.304	21.563.855	879.181	104.944	1.177.156	392.385	3.838.634	1.232.594	2.427.671
D_10	4.663.669	61.252.464	654.458	78.119	876.268	292.089	2.857.458	891.034	1.806.211
D_11	4.663.669	4.149.959	654.660	78.144	876.539	292.180	2.858.341	999.449	1.805.328
D_12	13.678.493	11.950.296	1.917.680	228.904	2.567.626	855.875	8.372.873	2.721.573	5.305.620
D_13	20.665.984	18.068.337	2.897.244	345.830	3.879.187	1.293.062	12.649.792	4.125.517	8.016.192
D_14	9.744.023	39.143.554	1.366.638	163.129	1.829.823	609.941	5.966.941	1.863.583	3.777.082
D_15	96.158	25.273.713	13.748	1.641	18.408	6.136	60.027	18.414	36.131
D_16	6.210.212	5.429.395	871.195	103.990	1.166.463	388.821	3.803.765	1.236.819	2.406.447
D_17	13.181.676	11.508.193	1.848.737	220.675	2.475.316	825.105	8.071.856	2.611.256	5.109.820
D_18	15.753.906	13.680.944	2.208.719	263.644	2.957.305	985.768	9.643.590	3.051.613	6.110.316

Çizelge E.4 : 1985 -2011 Hidrolojik yılları arasında her bir alt havzaya ait su bütçesi bileşenleri

Alt havza No	Yağış (m ³)	Akarsu Çıkış Debisi (m ³)	Evapotranspirasyon (m ³)	Kar Erimesi (m ³)	Yeraltı Suyunun Beslenmesi (m ³)	Yüzey altı Akış (m ³)	Yüzeysel Akış (m ³)	Akarsuya Giren Yas Akımı (m ³)	Sızma (m ³)
D_1	17.483	150.738.258	3.173	669	3.715	1.238	9.972	3.713	7.510
D_2	16.381.505	143.766.852	2.873.222	606.063	3.364.259	1.121.420	9.029.878	3.376.367	7.351.627
D_3	8.426.772	6.956.481	1.478.690	311.908	1.731.400	577.133	4.647.183	1.732.178	3.779.589
D_4	9.344.626	130.239.212	1.639.555	345.840	1.919.757	639.919	5.152.745	1.921.829	4.191.881
D_5	5.542.089	4.575.477	972.227	205.077	1.138.382	379.461	3.055.486	1.140.539	2.486.603
D_6	20.743.496	117.949.257	3.638.780	767.546	4.260.652	1.420.217	11.435.851	4.267.055	9.307.645
D_7	9.659.319	7.974.461	1.694.327	357.393	1.983.889	661.296	5.324.879	1.988.300	4.334.440
D_8	8.907.553	92.851.707	1.563.261	329.747	1.830.425	610.142	4.912.972	1.831.835	3.994.581
D_9	6.835.826	22.171.561	1.199.866	253.094	1.404.925	468.308	3.770.904	1.407.159	3.064.921
D_10	5.087.533	63.325.212	893.174	188.402	1.045.818	348.606	2.807.041	1.045.974	2.280.492
D_11	5.087.533	4.208.215	893.450	188.460	1.046.142	348.714	2.807.908	1.051.603	2.279.625
D_12	14.921.681	12.316.985	2.617.163	552.051	3.064.439	1.021.480	8.225.141	3.070.390	6.696.539
D_13	22.544.238	18.608.999	3.954.026	834.043	4.629.774	1.543.258	12.426.597	4.639.181	10.117.641
D_14	10.629.621	40.514.600	1.865.125	393.420	2.183.877	727.959	5.861.660	2.184.340	4.767.962
D_15	104.898	26.145.086	18.763	3.958	21.970	7.323	58.968	21.969	45.930
D_16	6.774.635	5.595.572	1.188.967	250.795	1.392.163	464.054	3.736.651	1.394.878	3.037.984
D_17	14.379.710	11.873.783	2.523.072	532.204	2.954.268	984.756	7.929.435	2.959.617	6.450.275
D_18	17.185.720	14.183.043	3.014.359	635.834	3.529.516	1.176.505	9.473.437	3.533.129	7.712.283

Çizelge E.5 : 1962 -1990 Hidrolojik yılları arasında her bir alt havzaya ait su bütçesi bileşenleri

Alt havza No	Yağış (m ³)	Akarsu Çıkış Debisi (m ³)	Evapotranspirasyon (m ³)	Kar Erimesi (m ³)	Yeraltı Suyunun Beslenmesi (m ³)	Yüzey altı Akış (m ³)	Yüzeysel Akış (m ³)	Akarsuya Giren Yas Akımı (m ³)	Sızma (m ³)
D_1	17.348	147.887.355	3.322	704	3.464	1.155	10.034	3.464	7.313
D_2	16.254.749	141.044.424	3.008.256	637.177	3.136.928	1.045.643	9.085.794	3.128.712	7.168.955
D_3	8.361.568	6.828.277	1.548.184	327.920	1.614.405	538.135	4.675.960	1.614.196	3.685.608
D_4	9.272.320	127.784.301	1.716.610	363.594	1.790.034	596.678	5.184.653	1.789.443	4.087.667
D_5	5.499.205	4.488.900	1.017.919	215.605	1.061.458	353.819	3.074.407	1.060.683	2.424.799
D_6	20.582.988	115.724.642	3.809.793	806.950	3.972.749	1.324.250	11.506.666	3.970.725	9.076.323
D_7	9.584.577	7.822.486	1.773.955	375.740	1.849.833	616.611	5.357.852	1.848.037	4.226.725
D_8	8.838.628	91.100.549	1.636.731	346.675	1.706.738	568.913	4.943.394	1.706.356	3.895.234
D_9	6.782.932	21.743.800	1.256.257	266.087	1.309.991	436.664	3.794.255	1.309.265	2.988.677
D_10	5.048.167	62.138.099	935.151	198.074	975.150	325.050	2.824.423	975.095	2.223.744
D_11	5.048.167	4.119.929	935.440	198.135	975.451	325.150	2.825.295	969.492	2.222.871
D_12	14.806.220	12.083.700	2.740.162	580.392	2.857.367	952.456	8.276.074	2.855.195	6.530.147
D_13	22.369.796	18.255.867	4.139.855	876.860	4.316.929	1.438.976	12.503.546	4.313.381	9.866.250
D_14	10.547.372	39.757.672	1.952.781	413.617	2.036.307	678.769	5.897.957	2.036.164	4.649.415
D_15	104.086	25.655.229	19.645	4.161	20.485	6.828	59.333	20.485	44.753
D_16	6.722.215	5.489.571	1.244.845	263.670	1.298.091	432.697	3.759.789	1.297.096	2.962.426
D_17	14.268.443	11.649.502	2.641.649	559.526	2.754.640	918.213	7.978.536	2.752.776	6.289.907
D_18	17.052.741	13.919.080	3.156.026	668.476	3.291.018	1.097.006	9.532.100	3.290.003	7.520.641

EK F

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Gökhan Cüceloğlu

Doğum Yeri ve Tarihi: Üsküdar 04.07.1986

Adres: Vişnezade Mah. Şenlikdede Dere Sk. No:5/1 Beşiktaş/İstanbul/Türkiye

E-Posta: cuceloglugokhan@gmail.com

Lisans: İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü 2010 Mezunu

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

- Kasım 2011'den bir İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.
- İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü 2010 Mezunları Bölüm üçüncülüğü