

**GÖLPAZARI HAVZASI'NIN (BİLECİK) MIKE SHE PROGRAMI İLE
BÜTÜNLEŞİK HİDROLOJİK MODELİ**

**INTEGRATED HYDROLOGICAL MODEL OF GÖLPAZARI BASIN
(BİLECİK) BY MIKE SHE PROGRAM**

MEHMETCAN ÖZKADIOĞLU

DR. LEVENT TEZCAN

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim - Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2018

MEHMETCAN ÖZKADIOĞLU'nun hazırladığı "GÖLPAZARI HAVZASI'NIN (BİLECİK) MIKE SHE PROGRAMI İLE BÜTÜNLEŞİK HİDROLOJİK MODELİ" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından JEOLojİ (HİDROJEOLojİ) MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Koray K. Yılmaz

Başkan



Dr. Levent TEZCAN

Danışman



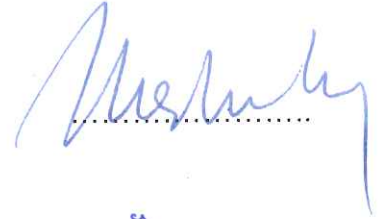
Prof. Dr. Mehmet ÇELİK

Üye



Prof. Dr. Mehmet EKMEKÇİ

Üye



Doç. Dr. Özlem YAĞBASAN

Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

19/10/2018

Mehmetcan ÖZKADIOĞLU

YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin / raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma ama iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “ **Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi / H. Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- o Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir. ⁽¹⁾
- o Enstitü / Fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren Ay ertelenmiştir. ⁽²⁾
- o Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir. ⁽³⁾

19/10/2018

Mehmetcan ÖZKADIOĞLU

“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”

- (1) Madde 6. 1. Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir
- (2) Madde 6. 2. Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internette paylaşılması durumunda 3. Şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü ve fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.
- (3) Madde 7. 1. Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, tezin yapıldığı kurum tarafından verilir*. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, ilgili kurum ve kuruluşun önerisi ile enstitü veya fakültenin uygun görüşü üzerine üniversite yönetim kurulu tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.
Madde 7. 2. Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.

* Tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu tarafından karar verilir.

ÖZET

GÖLPAZARI HAVZASI'NIN (BİLECİK) MIKE SHE PROGRAMI İLE BÜTÜNLEŞİK HİDROLOJİK MODELİ

Mehmetcan ÖZKADIOĞLU

Yüksek Lisans, Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Dr. Levent TEZCAN

Ekim 2018, 86 sayfa

Sakarya Havzası'nın orta kısmında yer alan Gölpazarı Havzası, Bilecik il sınırları içerisinde 170 km²'lik bir alana yayılmaktadır. Havza'nın orta kısmında yaklaşık 35 km² ova alanı bulunmaktadır. Başta Gölpazarı ilçesi olmak üzere, havza içerisindeki yerleşkelerin içme – kullanım ve sulama suyu ihtiyaçları ovada farklı seviyelerde açılmış kuyulardan ve Akçay dere üzerinde yüzeysel akışı yutan Akçay Barajı'ndan karşılanmaktadır.

Bölgesel jeoloji, hidroloji, yüzeysel akım ölçümü ve hidrometeorolojik veriler değerlendirilmiştir. DSİ 3. Bölge Müdürlüğü tarafından sağlanan mevcut veri setine ek olarak, yağış - akış ilişkisini kontrol eden tutulma, evapotranspirasyon ve süzülme süreçlerini denetleyen parametreler uzaktan algılama veri setleri kullanılarak oluşturulmuş ve test edilmiştir.

Yüzeysel ve kanal akımı, yüzey ve bitkiler tarafında tutulma, buharlaşma-terleme ve doymun olmayan zonda akım ve depolama süreçleri kavramsallaştırılarak, tüm havza için 2013 - 2017 yıllarını kapsayan bir dönem için modellenmiştir. Model, havzanın sadece küçük bir kısmını temsil eden tek akım gözlem istasyonunun verileri ile kalibre edilmiştir.

Gölpazarı Havzası'nın bütünleşik hidrolojik modeli sonucunda doymun olmayan bölgede süzölme ve depolama, yağışın %18'i olarak hesaplanırken, yıllık buharlaşma terleme yağışın %78'ine karşılık gelmektedir. Uzaktan algılama veri seti yardımıyla oluşturulan toprak karakteristiği koşullarında, ova alanındaki beslenimin havza üst kotlarından daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bütünleşik Hidrolojik Model, Mike SHE, Gölpazarı, Havza Yönetimi

ABSTRACT

INTEGRATED HYDROLOGICAL MODEL OF GOLPAZARI BASIN (BİLECİK) BY MIKE SHE PROGRAM

Mehmetcan ÖZKADIOĞLU

Master of Science, Department of Geology (Hydrogeology) Engineering

Supervisor: Dr. Levent TEZCAN

October 2018, 86 pages

Gölpazarı Basin, located in the middle part of the Sakarya Basin, is spread over an area of 170 km² within the borders of Bilecik province. The middle part of the basin is a plain with an area of 35 km². Water requirement for drinking, use and irrigation for the settlements in the basin, especially in Gölpazarı district, are provided from the wells drilled in different levels in the plain and also Akçay Irrigation Dam that is located on the Akçay stream.

The available data set of regional geology, hydrology, surface flow records and hydrometeorological data were evaluated. In addition to the existing data set provided by 3rd Regional Directorate of State Hydraulic Works, retention, evapotranspiration and infiltration parameters controlling the rainfall runoff relation were generated and tested using remote sensing data sets.

Overland and channel flow, surface and canopy retention, evapotranspiration and unsaturated flow and storage processes were conceptualized and modeled for the entire basin for the period from 2013 to 2017. The model was calibrated by the merely available gauging station representing only a small part of the basin.

As a result of the integrated hydrological model of the Gölpazarı Basin, Infiltration and storage in the vadose zone are estimated as 18 % of the precipitation, whereas

evapotranspiration correspond to 78 % of precipitation. In the conditions of soil characteristics created by using the remote sensing data set, the infiltration rate in the plain area was calculated relatively higher than the upper elevations of the basin.

Keywords: Integrated hydrologic model, Mike SHE, Gölpaazarı, Basin Management

TEŞEKKÜR

Öncelikle, lisans döneminde tanıştığımız ilk günden bugüne hem mesleki anlamda hem de hayata dair bilgi ve birikimini bizden esirgemeyerek mesleğimizi bize sevdiren, yüksek lisans sürecinde de her konuda yardımcı olan tez danışmanım Dr. Levent TEZCAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın analiz aşamasındaki katkısı ve yardımlarından ötürü Dr. Türker KURTTAŞ'a ve UKAM çalışanlarına teşekkür ederim.

Verilerin sağlanması ve arazi çalışmalarındaki desteklerinden ötürü, başta Jeo. Yük. Müh. Turgay ESER ve Hidrojeoloji Müh. Umur KESKİN olmak üzere DSİ 3. Bölge Müdürlüğü teknik kadrosuna teşekkürü borç bilirim. Bunun yanında, saha çalışmaları sırasında gösterdikleri misafirperverlik ve yardımlarından ötürü, başta Gölpazarı Belediye Başkanı Sn. Vedat KAZICI ve yardımcı olan tüm Gölpazarı Belediyesi çalışanlarına teşekkür ederim.

Saha çalışmalarına olan katkısının yanı sıra her konuda yardımcı olan Meteoroloji Müh. Ersin KÜÇÜKKARACA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans sürecinin başından itibaren teşvik ve desteklerini sunan tüm SRK Danışmanlık ve Mühendislik A.Ş. ailesine teşekkürü bir borç bilirim.

Arazi çalışmaları ve tez sürecine olan katkısı ve desteklerinden ötürü Necati Erdem KALAYCIOĞLU başta olmak üzere, Fuat – Tuğçe YARGICI çiftine de çok teşekkür ederim.

Hayatımın her alanında, aldığım bütün kararlarda beni sonuna kadar destekleyerek yanımda olan annem ve babam başta olmak üzere, tüm aile büyüklerime sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER.....	viii
ÇİZELGELER.....	x
KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
1.2. Çalışma Yöntemi.....	2
1.3. Çalışma Alanı.....	3
1.3.1. Çalışma Alanının Konumu.....	3
1.3.2. İklim ve Bitki Örtüsü.....	5
1.4. Önceki Çalışmalar.....	6
2. BÖLGESEL JEOLJİ.....	10
2.1. Jeolojik Birimler.....	15
2.2. Yeraltısu Taşıyan Formasyonlar ve Yayılımı.....	19
3. METEOROLOJİK VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	21
3.1. Yağış.....	22
3.2. Ortalama Sıcaklık.....	26
4. HİDROLOJİ.....	34
4.1. Drenaj Ağı ve Yüzeysel Akış.....	34
4.2. Akım Ölçümleri.....	38
4.3. Su Bütçesi.....	41
5. MIKE SHE ve BÜTÜNLEŞİK MODEL.....	49
5.1. MIKE SHE Model Kurgusu.....	49
5.2. MIKE SHE Modülleri.....	52
5.2.1. Yüzeysel Akış (OL - Overland Flow).....	52
5.2.2. Kanal Akışı.....	53
5.2.3. Tutulma ve Evapotranspirasyon.....	55
5.2.4. Doymun Olmayan Zon.....	56

6. SAYISAL MODEL	58
6.1. Model Sınırları ve Hücre Yapısı	58
6.2. Model Bileşenleri ve Girdiler	60
6.2.1. Topoğrafya	60
6.2.2. Meteorolojik Veriler	63
6.2.3. Simülasyon Periyodu	65
6.2.4. Bitki Örtüsü ve Arazi Kullanımı	65
6.2.5. Yüzeysel Akış ve Kanal Akışı.....	67
6.2.6. Doygun Olmayan Zon	69
6.3. Model Sonuçları	74
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	79
KAYNAKLAR	81
EKLER.....	84

ŞEKİLLER

Şekil 1.1.	Çalışma Alanı Yer Bulduru Haritası	4
Şekil 1.2.	Gölpazarı Ovası Genel Görünümü (Havza'nın Güneybatısından Kuzeydoğuya Bakış)	5
Şekil 2.1.	Çalışma Alanı Stratigrafik Kesiti ([5]'den sadeleştirilerek alınmıştır.) ..	11
Şekil 2.2.	Bölgesel Jeoloji Haritası (MTA H24 Ve H25 Paftalarından Düzenlenmiştir [5].).....	12
Şekil 2.3.	Kesit IV ([8]'den Değiştirilerek Alınmıştır)	13
Şekil 2.4.	Kesit VI ([8]'den Değiştirilerek Alınmıştır)	13
Şekil 2.5.	Kesit X ([8]'den Değiştirilerek Alınmıştır).....	14
Şekil 2.6.	Kesit XII ([8]'den Değiştirilerek Alınmıştır)	14
Şekil 2.7.	Bilecik Kireçtaşları'nın Sahadaki Görünümü (Havzanın Batısından Güneybatıya Bakış).....	15
Şekil 2.8.	Selvıınar Kireçtaşları (Ovanın Kuzeydoğusu, Kuzeye Bakış)	17
Şekil 3.1.	Bölgesel Meteoroloji İstasyonlarının Konumsal Dağılımı	22
Şekil 3.2.	Gölpazarı Havzası Çevresinde Yer Alan Meteoroloji Gözlem İstasyonların Yağış Kayıt Dönemlerinin Karşılaştırılması	23
Şekil 3.3.	Aylık Ortalama Yağış Grafiği (1964 - 1980).....	24
Şekil 3.4.	Yağış - Yükseklik İlişkisi (1964 - 1980).....	26
Şekil 3.5.	Ortalama Sıcaklık Kayıt Dönemlerinin Karşılaştırılması.....	27
Şekil 3.6.	Aylık Ortalama Sıcaklık Grafiği (1965 - 1980).....	28
Şekil 3.7.	Aylık Ortalama Sıcaklık Grafiği (2014 - 2016).....	29
Şekil 3.8.	İki Farklı Döneme Ait Sıcaklık Ortalamalarının Karşılaştırılması	30
Şekil 3.9.	Yükseklik - Sıcaklık İlişkisi (1965 - 1980).....	31
Şekil 3.10.	Sıcaklık - Yükseklik İlişkisi (2014 - 2016).....	31
Şekil 3.11.	Bilecik – Gölpazarı Meteoroloji İstasyonlarının Sıcaklık Korelasyonu (2014 - 2016)	32
Şekil 4.1.	Gölpazarı Havzası ve Çevresinde Yer Alan Hidrolojik Unsurlar	36
Şekil 4.2.	Eski Göl Alanı Hava Fotoğrafı (DSİ, 1943).....	37
Şekil 4.3.	Kurşunlu Ovası Güncel Görünüm	37
Şekil 4.4.	Akçay Deresi Akım Gözlem Değerleri	38

Şekil 4.5.	Doğancılar AGİ Debi Süreklilik Eğrisi	39
Şekil 4.6.	Anlık Akım Ölçümlerinin Konumsal Dağılımı.....	40
Şekil 4.7.	Gölpazarı Havzası Arazi Örtüsü Sınıflaması (CORINE, 2000)	44
Şekil 4.8.	Gölpazarı Havzası Büyük Toprak Grubu (BTG) Dağılımı	45
Şekil 4.9.	Toprak Kil İçeriği [21].....	46
Şekil 4.10.	Toprak Kum İçeriği [21].....	46
Şekil 5.1.	MIKE SHE Modelinin Kavramsal Yapısı ([26]'dan Değiştirilerek Alınmıştır).....	50
Şekil 5.2.	MIKE SHE'nin Modüler Yapısı ve Şematik Gösterimi ([26]'dan Değiştirilerek Alınmıştır).....	51
Şekil 5.3.	Yüzeysel Akış ve Kanal Akışı Arasındaki Kavramsal İlişki ([13]'ten Değiştirilerek Alınmıştır).....	54
Şekil 5.4.	Tutulma ve Evapotranspirasyon Süreçlerinin Şematik Gösterimi ([13]'ten Değiştirilerek Alınmıştır)	55
Şekil 5.5.	Doygun Olmayan Zon Bileşenlerinin Kavramsal Gösterimi ([13]'ten Değiştirilerek Alınmıştır).....	57
Şekil 6.1.	MIKE SHE Model Sınırı	59
Şekil 6.2.	Model Topoğrafik Yüzeyi	62
Şekil 6.3.	Model Yağış Girdisi	63
Şekil 6.4.	Referans Evapotranspirasyon (ET ₀) Girdisi.....	64
Şekil 6.5.	Model Sınırları İçerisinde Örnek Bir Hücrede LAI ve RD Parametre Değişimi.....	67
Şekil 6.6.	MIKE 11 Programında Oluşturulan Drenaj Ağının MIKE SHE Modeline Aktarımı	68
Şekil 6.7.	Çalışma Alanı Ana Kayaca Derinlik Değerleri [34].....	73
Şekil 6.8.	Gölpazarı Havzası MIKE SHE Modeline Ait Örnek MRC ve HCC Grafikleri	74
Şekil 6.9.	Model Sonucunda Gözlenen ve Hesaplanan Akım Değerleri	75
Şekil 6.10.	Model Sonucu Simülasyon Süresince Hesaplanan Akım Hidrografları	77
Şekil 6.11.	Kümülatif Yağış ve Buharlaşma Değerleri	78

ÇİZELGELER

Çizelge 3.1. Çalışma Alanı Çevresindeki Meteoroloji İstasyonları	21
Çizelge 3.2. Yağış Parametresinin Kayıt Dönemleri	23
Çizelge 3.3. Ortalama Yağış Değerleri (1964 – 1980)	24
Çizelge 3.4. Düzenlenmiş Ortalama Yağış Değerleri (1964 - 1980)	25
Çizelge 3.5. Yağış Verilerinin Korelasyonu (1964 - 1980)	25
Çizelge 3.6. Ortalama Sıcaklık Parametresinin Kayıt Dönemleri	27
Çizelge 3.7. Ortalama Sıcaklık Değerleri (1965 - 1980).....	28
Çizelge 3.8. Ortalama Sıcaklık Değerleri (2014 - 2016).....	29
Çizelge 3.9. Sıcaklık - Yükseklik İlişkisi Özet Tablosu	30
Çizelge 3.10. Göl pazarı İstasyonu İçin Hesaplanan Ortalama Sıcaklık Değerleri ..	33
Çizelge 4.1. ALFAR Tarafından Ölçülen Yüzeysel Akım Değerleri	39
Çizelge 4.2. Göl pazarı Havzası'nda Arazi Örtüsü Dağılımı	44
Çizelge 4.3. Göl pazarı Arazi Örtüsü Grupları İçin CN Katsayıları	47
Çizelge 4.4. Su Bütçesi Hesaplama Detayları	48
Çizelge 5.1. MIKE SHE Modülleri ve Seçilen Metodolojiler	52
Çizelge 6.1. Model Parametreleri İçin Kullanılan Veriler	61
Çizelge 6.2. EU SoilHydroGrid Veri Tabanından Sağlanan Parametreler	71

KISALTMALAR

Kısaltma

AD	MIKE SHE Adveksiyon – Dispersiyon Su Kalitesi Paketi
AGİ	Akım Gözlem İstasyonu
ALFAR	Alfar Proje İnşaat Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.
APEX	Agricultural Policy/Environmental Extender
BTG	Büyük Toprak Grubu
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CN	Eğri Numarası (Curve Number)
CORINE	Çevresel Bilginin Koordinasyonu (Coordination of Information on the Environment)
DHI	Danimarka Hidrolik Enstitüsü (Danish Hydraulic Institute)
DSİ	Devlet Su İşleri
dsy	Deniz Seviyesinden Yükseklik
EEA	Avrupa Çevre Ajansı (European Environment Agency)
ESDAC	Avrupa Toprak Veri Merkezi (European Soil Data Centre)
ET	MIKE SHE Evapotranspirasyon Modülü
ET ₀	Referans Evapotranspirasyon
FAO	Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organisation)
FC	Toprak Kapasitesi (Field Capacity)
FPAR	Fotosentetik Aktif Radyasyon Fraksiyonu (Fraction of Photosynthetically Active Radiation)
HCC	Hidrolik İletkenlik Eğrisi (Hydraulic Conductivity Curve)
HGM	Harita Genel Müdürlüğü
HTG	Hidrolojik Toprak Grubu
ISRIC	Uluslararası Toprak Referans ve Bilgi Merkezi (International Soil Reference and Information Centre)
LAI	Yaprak Alan İndeksi (Leaf Area Index)
LP DAAC	Arazi İşlemleri Dağıtılmış Etkin Arşiv Merkezi (Land Processes Distributed Active Archive Center)

MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MODIS	Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)
MRC	Toprak Nemi Çekilme Eğrisi (Moisture Retention Curve)
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
NASA	Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (National Aeronautics and Space Administration)
NRCS	Amerikan Toprak Koruma Servisi (Natural Resource Conservation Service)
OC	MIKE SHE Nehir ve Göller Modülü
OL	MIKE SHE Yüzeysel Akış Modülü
OMGİ	Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu
PTF	Pedotransfer Fonksiyonu (Pedotransfer Function)
RD	Bitki Kök Derinliği (RD)
SHE	Système Hydrologique Européen
SWAT	Toprak ve Su Değerlendirme Aracı (Soil and Water AssessmentTool)
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
SZ	MIKE SHE Doygun Akış Modülü
UZ	MIKE SHE Yarı Doygun Zon Modülü
WM	MIKE SHE Su Hareketi Paketi
WP	Solma Noktası (Wilting Point)

1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

İklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin gün geçtikçe belirginleşmesi, hızlı nüfus artışı ve sanayileşmenin beraberinde getirdiği su tüketimi ve ihtiyacındaki artış, kısıtlı olan su kaynaklarının etkin ve verimli bir şekilde yönetilmesini gerekli kılmaktadır. Bu hususta, su rezervlerini yöneten hidrolojik sistemin bütün bileşenleri ve birbirleri ile olan etkileşimi iyi tanımlanmalı, mevcut yüzey ve yeraltı su kaynaklarının yönetim planları sürdürülebilirlik ilkesi esasına dayanılarak yapılmalıdır.

Sürdürülebilir su yönetim planlarının oluşturulabilmesi için, jeolojik ve hidrolojik bileşenlerin iyi tanımlanması ile birlikte konunun havza bazında tüm hidrolojik parametreler açısından ele alınması gereklidir. Mevcut çalışma kapsamında, hidrolojik döngünün temel bileşenleri olan tutulma ve buharlaşma süreçleri, yüzeysel ve kanal akışı, doymun olmayan zonda akım ve yeraltısuyuna beslenme süreçleri birlikte değerlendirilerek bütünleşik bir hidrolojik model çalışması yürütülmüştür.

Tez çalışması için Bilecik ilinin 30 km kuzeybatısında yer alan Gölpaşarı Havzası seçilmiştir. Çalışma alanı, Devlet Su İşleri 3. Bölge Müdürlüğü'nün (DSİ) Gölpaşarı Havzası'nda gerçekleştirdiği ya da yaptırdığı önceki çalışmaların birlikte değerlendirilmesi ve ortaya genel sistemi tanımlayan bir yaklaşım ortaya çıkartma ihtiyacı doğrultusunda kurumun talebi üzerine seçilmiştir. Tez çalışması ile bölgede önceki çalışmalarda toplanmış verileri mümkün olduğu ölçüde bir arada değerlendirerek, Gölpaşarı Havzası'nda bütünleşik bir hidrolojik model geliştirmek hedeflenmiştir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında yüzeysel akış, kanal akışı ve doymun olmayan zon akım bileşenleri modellenerek, yeraltısuyuna beslenme miktarı hesaplanmıştır.

Tez kapsamında yürütölen hidrolojik model çalışması için DHI Water & Environment (Danimarka Hidrolik Enstitüsü - Danish Hydraulic Institute) tarafından geliştirilen MIKE SHE yazılımı kullanılmıştır.

1.2. Çalışma Yöntemi

Tez kapsamında yapılan çalışmalarda, yağışın yeraltısuyuna ulaştığı ana kadar geçen tüm süreçler (yüzeysel akış, potansiyel ve gerçek buharlaşma, sızma ve süzülme, yüzey altı akışı, doymun olmayan zon ve yeraltısuyuna beslenme gibi) bütünsel olarak değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

Tez çalışmasının hedefleri doğrultusunda yürütülen çalışmalar ve yöntemler aşağıda özetlenmiştir;

1. Çalışma kapsamında mevcut verilerin konumsal olarak değerlendirilmesi için ArcMap 10.4 (ESRI, 2014) ve QGIS 2.18 (OSGeo, 2018) Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımları kullanılmıştır.
2. Gölpazarı ilçesi yakın çevresine ait Harita Genel Müdürlüğü (HGM) topoğrafik haritalar (1/25000) CBS yazılımları yardımıyla değerlendirilmiştir. 10 metrelik eş yükselti eğrileri ve drenaj ağı bilgisi kullanılarak CBS programları yardımıyla çalışma alanının Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) oluşturulmuştur. Oluşturulan bu yüzey modeli CBS programlarının hidroloji araçları ile analiz edilmiş ve havza sınırları belirlenmiştir.
3. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından hazırlanan jeoloji haritaları (1/25000) sayısallaştırılarak yüzey jeolojisi ve birimlerin yayılımı, havza içerisindeki konumları değerlendirilmiştir. Jeolojik yayılım, hava fotoğrafları yardımıyla CBS ortamında, tez kapsamında yapılan saha çalışmalarında ise yerinde gözlemlerle tekrar değerlendirilmiştir.
4. Gölpazarı Havzası'nın güncel hidrojeolojik etüdü, DSİ tarafından yüklenici firma olan ALFAR Proje İnşaat Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. (ALFAR) firmasına 2013 - 2015 yıllarında yaptırılmıştır. Bu çalışmada yürütülen akım gözlem çalışmaları değerlendirilmiştir.
5. Model çalışmasının önemli bir kısmını yüzeysel akış karakteristiği, buharlaşma mekanizması ve doymun olmayan zonu simülasyonu oluşturmaktadır. Bu kapsamda, arazi kullanımı ve bitki örtüsü için Avrupa Çevre Ajansı (EEA) tarafından belirlenen Arazi Örtüsü/Kullanımı Sınıflandırması verisi olan CORINE (Çevresel Bilginin Koordinasyonu – Coordination of Information on the Environment) veri tabanından

yararlanılmıştır. Toprak sınıflaması ve doymun olmayan zondaki akışı yöneten parametreler için ise Avrupa Toprak Veri Merkezi (ESDAC – European Soil Data Centre – Avrupa Toprak Verisi Merkezi) tarafından oluşturulan 250 m hücre boyutundaki veri setleri CBS ortamında düzenlenerek MIKE SHE modeline aktarılmıştır.

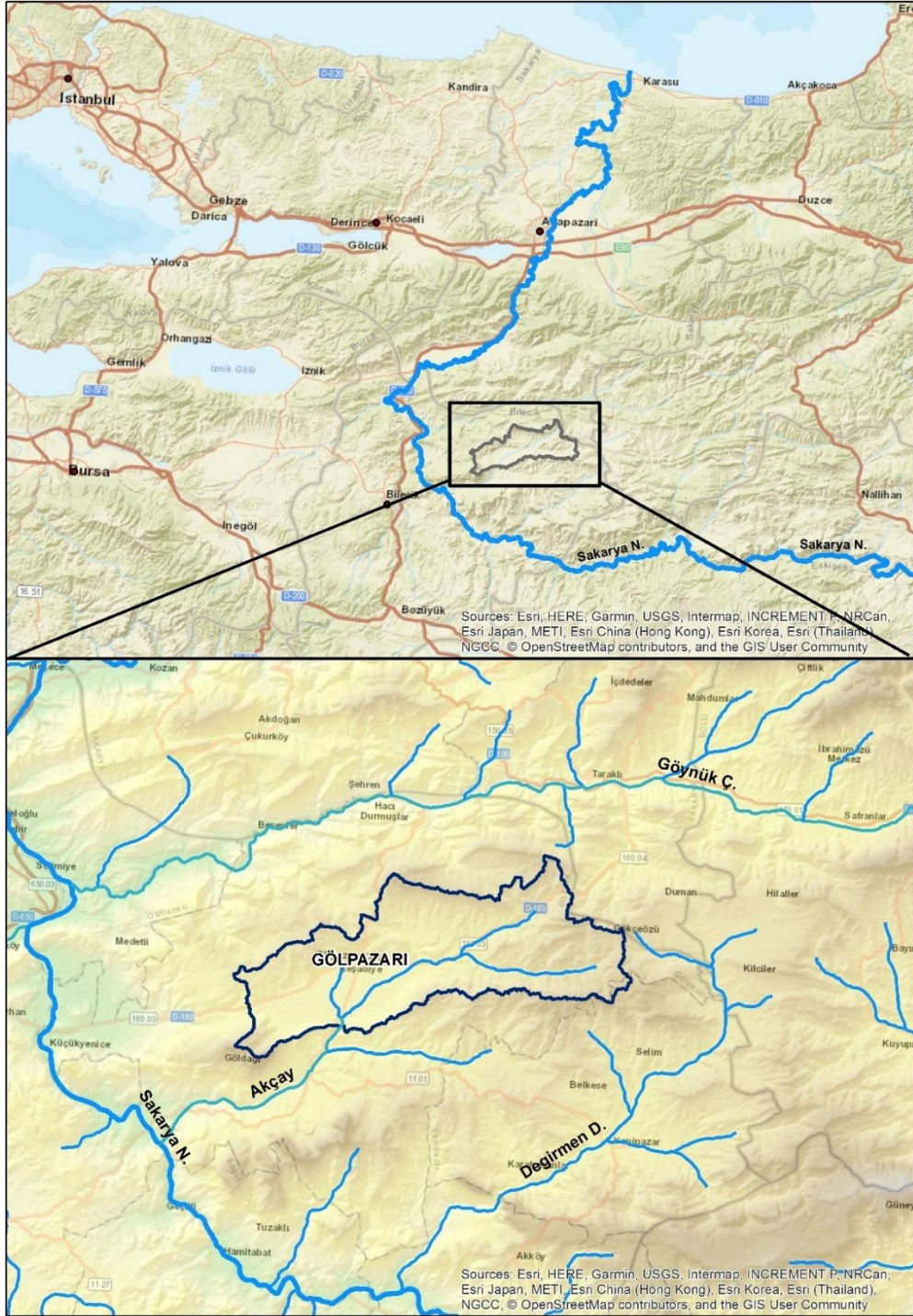
6. Yapılan analizler doğrultusunda, hidrojeolojik sistemin beslenme ve sınır koşullarının belirlenmesi ve kavramsal modeli kurgusu üzerinde çalışılmıştır. Bu kapsamda, sahada gözlenen artezyen bölge ve diğer hidrolojik bulguların eldeki mevcut veriler ile açıklanamadığı, sistem tanımı için gerekli önemli bulguların eksik olduğu gözlenmiştir. Bu doğrultuda, dağınık parametrelili fiziksel bir model alt tabanı içeren MIKE SHE programında nümerik bütünleşik hidrolojik model yeraltısuyu sistemine beslenme koşullarını değerlendirecek şekilde oluşturulmuştur.
7. Kararsız akım koşullarında oluşturulan model sonuçları, sahada ölçülen akım verileri ve ilksel olarak hesaplanan kavramsal su bütçesi ile karşılaştırılarak modelin temsil ediciliği değerlendirilmiştir.
8. Çalışma sürecinde elde edilen bulgular ışığında hidrolojik sistemlerin tanımlanmasında Gölpazarı Havzası için eksik olan veriler ve ileri dönem çalışmalar için altlık oluşturması amacıyla gerekli veriler tartışılmıştır.

1.3. Çalışma Alanı

1.3.1. Çalışma Alanının Konumu

Tez kapsamında çalışılan Gölpazarı Havzası, Marmara Bölgesi'nde Sakarya Havzası'nın orta kısmında yer almaktadır. Çalışma sahası, Bilecik il sınırları içerisinde, adını aldığı Gölpazarı ilçesinde yer almakta olup, Bilecik ilinin kuş uçuşu 30 km kuzeydoğusundadır. Gölpazarı Havzası yaklaşık 170 km² alana yayılmıştır ve bu alanın yaklaşık 32 km²'sini Gölpazarı Ovası kaplamaktadır. DKD - BGB doğrultulu yaklaşık 12 km uzunluğundaki havza, en geniş kısmında 4.5 km genişliğindedir.

Gölpazarı Havzası'nın büyük bir bölümü 1/100000 ölçekli Adapazarı H24 paftasında yer almakta olup, havza sınırları doğuda Adapazarı H25 paftasına uzanmaktadır. Çalışma alanı, doğuda Göynük ve Yenipazar, batıda Osmaneli, kuzeyde Taraklı ve Geyve, güneyde ise Söğüt ilçeleri ile komşudur. Çalışma alanını gösterir yer bulduru haritası Şekil 1.1'de verilmektedir.



Şekil 1.1. Çalışma Alanı Yer Bulduru Haritası

Gölpazarı Havzasında yer alan başlıca yüzey suları Akçay deresi ile Kızılçay deresi olup havzanın hakim yüzey suyu kuzeydoğu – güneybatı akışa sahip olan Akçay deresidir. Akçay deresi havza sınırları dışında akış aşağıda doğuda Sakarya Nehri'ne dökülmektedir. Çalışma alanına ait genel görünüm Şekil 1.2'deki gibidir.



Şekil 1.2. Gölpazarı Ovası Genel Görünümü (Havza'nın Güneybatısından Kuzeydoğuya Bakış)

1.3.2. İklim ve Bitki Örtüsü

Gölpazarı Havzası, coğrafi konumu itibariyle Marmara ve Karadeniz iklimleri arasında geçiş özelliğine sahip olup, Marmara iklimi çalışma alanında daha baskın görülmektedir. Yarı nemli iklim özelliğine sahip bölgede, yağışların büyük kısmı kış aylarında gerçekleşmekte ve yazlar ise nispeten nemli geçmektedir. Bölge genelinde kuzeye gidildikçe, yağışların arttığı gözlenmektedir [1].

Havzada yer alan tek meteoroloji istasyonu, havzanın da adını aldığı ilçede kurulmuş Gölpazarı istasyonudur. Bu istasyon 1950 – 1992 yılları arasında 2354 kodu ile çalıştırılmıştır. 2012 yılında 18086 kodu ile Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu (OMGİ) olarak tekrar açılan istasyon, 537 m kotunda günümüzde tekrar veri toplamaya devam etmektedir. 42 yıllık ölçümlerde bölgenin yıllık ortalama yağışı

477.5 mm olarak ölçülmüştür. Bu yağışların % 36.8'i kış, %30'u ilkbahar, %12.9'u yaz ve %20.3'ü sonbahar aylarında meydana gelmiştir.

Havzanın geçiş iklimi üzerinde yer alması ve Gölpazarı Ovası'nın etrafında yükseltinin farklılık göstermesi sebebi ile bitki örtüsü de çeşitlilik göstermektedir. Alüvyon dolgunun olduğu Gölpazarı Ovası'nda tarımsal faaliyetin olması sebebiyle genellikle tek yıllık bitkiler yetişmektedir. Ovidan yüksek kotlara gidildikçe ormanlık alanlar geniş yer almaktadır.

Gölpazarı ilçe merkezinin üst kotlarında, havzanın kuzeybatı yamaçlarında ve doğudaki yükseklik bölgelerde karışık ormanlar geniş bir alanda yayılmaktadır. Ovanın güneybatısında yer alan Kurşunlu mahallesinin üst kotlarında ise iğne yapraklı ormanlık bölgeler vardır. Yine aynı bölgeye ek olarak, ilçenin kuzeybatısında yer alan Aktaşdamları mahallesinin üst kotlarında ise geniş yapraklı ormanlar gelişmiştir.

1.4. Önceki Çalışmalar

Çalışma alanı çevresinde hem bölgesel anlamda hem de Gölpazarı Havzası odaklı çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Devlet kurumları, özel kuruluşlar ve akademik çevreler tarafından yürütülen farklı çalışmalarda hem jeolojik hem de hidrojeolojik değerlendirmeler yapılmıştır.

- Ürgün [2], Gölpazarı – Geyve – Taraklı – Göynük civarında bölgesel jeolojiyi çalışarak stratigrafik istifi oluşturmuştur.
- Mumcu [3], ovanın hidrojeolojik yapısını çözmek adına yürüttüğü jeofizik çalışmalarda alüvyon ova sınırı içerisinde 90 noktada aldığı elektrikli sondaj ölçümlerini değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda ovayı karakterize eden 6 adet gömülü fay tespit ederek, alüvyon içerisindeki serbest ve basınçlı akifer sistemlerini tanımlamak için 18 adet jeofizik kesit oluşturmuştur. Buna göre, akiferin ova kuzeyinden beslendiği ve ova güneyinde serbest ve basınçlı akiferin birlikte olduğunu yorumlamıştır. Buna ek olarak, eskiden göl alanı

olan ve DSİ tarafından drenaj kanalları ile kurutulan ova batısının yeraltısuyu açısından verimsiz olduğunu belirtmiştir.

- Ural ve Mumcu [4], DSİ'nin önceki dönem çalışmaları ve ilgili etüt kapsamında yapılan çalışmalarını değerlendirerek ovanın hidrojeolojik etüt raporunu hazırlamışlardır. Bölgedeki temel kayaçların Kretase filiş ve Kireçtaşı olduğuna değinen Ural ve Mumcu, havzada su taşıyan birimi alüvyon olarak değerlendirmişlerdir. Çalışma kapsamında, ovada serbest ve basınçlı olmak üzere iki farklı akifer sistemi tanımlanmış ve bu sistemlerin kalınlığı 5 – 30 m aralığında değişen kil tabakası ile ayrıldığı belirtilmiştir. Çalışma kapsamında yürütülen jeofizik çalışmalarda ovanın kuzey sınırında doğu – batı uzanımlı gömülü normal fay tanımlanmış olup, bu fayın kuzeyde akiferi sınırladığı ve güneyde ise Kretase ve Paleosen yaşlı formasyonlara kadar uzandığı belirtilmiştir. Buna ek olarak, ovanın beslenme sahası doğuda tanımlanmıştır. Ayrıca, havzanın en önemli yüzey suyu olan Akçay deresinin doğuda yeraltısuyunu beslediği, batıda ise yeraltısuyundan Akçay deresini beslediği eklenmiştir.
- Duru vd. [5], MTA bünyesinde Adapazarı – H24 paftasının 1:100000 ölçekli jeolojisini çalışmışlardır. Mevcut tez kapsamında, jeoloji bilgisi bu çalışmaya dayandırılmıştır.
- Göncüoğlu [6], [7], sahadaki en yaşlı birimin Üst Permiyen yaşlı re-kristalize karbonatlı kayaçlar olduğunu, Permiyen yaşlı karbonatlı kayaç birimlerinin Bilecik kireçtaşı olarak bilinen re-kristalize Jura yaşlı kireçtaşları tarafından üzerlendiğini ve Kretase yaşlı birimlerin havzanın batı ve kuzeybatısında bantlar halinde yer aldığını belirtmiştir.
- Azdiken [8] tarafından Gölpazarı Ovası'nda jeofizik çalışmaları yürütülerek 86 noktada ölçüm alınmıştır. Ölçüm sonuçlarını 14 kesitte değerlendiren Azdiken, ovada 4 adet gömülü fay tespit ederek ovanın tipik bir graben sistemi olduğunu belirtmiştir. Buna ek olarak, Selvipınar kireçtaşlarının havzadaki önemli su taşıyan akifer sistemi olarak tanımlanmış ve filişin verimsiz olduğu belirtilmiştir.
- Çağlar ve İşseven [9], çalışmalarında Gölpazarı Havzası'nı normal faylarla sınırlandırılmış bir graben olarak tanımlamıştır.

- Ekmekçi ve Nazik [10], havza çökellerinin bölgedeki karstlaşmaya bağlı olduğunu tanımlamıştır. Yürütülen çalışma ile Gölpazarı Ovası'nın geç evre karstik özellikteki güncel morfolojisini, karstlaşma, bölgenin yükselimi ve plüviyal periyotta drenaj ağının oluşması, son olarak ise drenaj ağının yeniden şekillenmesi ile jeomorfolojik sürecin tektonik hareketler tarafından kontrol edilmesi olarak üç ana evreye ayırmıştır.
- Gürbüz ve Seyitoğlu [11] tarafından Gölpazarı'nın kuvaterner gelişimi çalışılmıştır. Sağ yanal doğrultu atımlı Gölpazarı Fayı'na bağlı olarak gelişen bir çek ayır havza olarak tanımlanan çalışma alanının KD – GB kenarlarının normal faylarca sınırlandırıldığı belirtilmiştir.
- ALFAR [12] tarafından havzanın ova sınırları içerisinde hidrojeolojik etüt çalışması yürütülmüştür. Yapılan çalışma kapsamında 9 adet araştırma sondajı açılarak pompaj deneyleri gerçekleştirilmiştir. Etüt kapsamında kuyu ve yüzey sularından 4 dönem su kimyası örnekleme çalışmaları yapılmıştır. Hidrolojik bütçe ve yeraltısuyu modelleme çalışmaları alüvyon akifer alanı için kararlı akım koşullarında yapılmış, bölgedeki karstlaşmaya bağlı gelişen farklı kireçtaşı akifer sistemleri modele aktif olarak dahil edilmemiştir. Bunun yanı sıra, su seviyelerinde model sonucu ve gerçek ölçümlerin kıyaslandığı kalibrasyon çalışmalarında, modelin kalibre olmadığı gözlenmiştir.
- Abbott vd., iki aşamalı olarak yayınladıkları çalışmanın ilk aşamasında [13] fiziksel tabanlı ve dağılımlı MIKE SHE modelinin tarihçesi ve altında yatan felsefeyi detaylandırmıştır. Serinin ikinci kısmında [14] ise modelin fiziksel yapısı tanımlanarak modüler bileşenlerin birbirleri ile ilişkisi anlatılmıştır.
- Bathurst [15], fiziksel tabanlı ve dağılımlı havza modeli olan SHE (Système Hydrologique Européen) modelini uygulamalı olarak test etmiştir. Galler'de yapılan model çalışması kapsamında model, tek bir yağış hadisesi sonucu oluşan yüzeysel akış değerleri ile kalibre edilerek, sonraki dört farklı hadise için geçerliliği doğrulanmıştır. Modelin dağılımlı ve fiziksel parametrelere bağlı olması, eldeki veriler doğrultusunda, görece basit yaklaşımlı modellere göre daha avantajlı olarak değerlendirilmiştir.
- Golmohammadi vd. [16], yaygın olarak kullanılan CBS tabanlı üç hidrolojik modelin performansları kıyaslanmıştır. İlgili çalışmada, MIKE SHE, APEX (Agricultural Policy/Environmental Extender) ve SWAT (Soil and Water

Assessment Tool) hidrolojik model programları Kanada'nın güneyinde bulunan Canagagigue Havzası'nda test edilmiştir. 4 yıllık periyot için kalibre edilen model sonuçları doğrultusunda, MIKE SHE sonuçlarının günlük ve aylık yüzeysel akış değerlerinde, diğer iki modele göre daha hassas olduğu gözlenmiştir.

- Derin [17], üç farklı uydu tabanlı yağış algoritması verilerini değerlendirerek Batı Karadeniz Havzası'nda MIKE SHE ve MIKE 11 programları ile bütünleşik hidrolojik model çalışmaları yürütmüştür. Çalışma sonucunda, uydu tabanlı yağış verilerinin topoğrafik karmaşıklığa sahip havzalarda coğrafi benzerlik prensibinde hata düzeltilmesi yapılmasını önermiş ve bu yaklaşımın hidrolojik modellerde istatistiksel düzeltmelerden daha etkili olduğunu belirtmiştir.
- Tóth vd. [18], kıtasal ölçekte Avrupa için mevcut olan toprak veri tabanı ile çalışarak Pedotransfer Fonksiyonları (PTF) geliştirmiştir. Bu fonksiyonlar Toprak Su Tutması (Soil Water Retention) parametresinin tahmini ve Toprak Nem Tutma Eğrisi (Soil Moisture Retention Curve - MRC) ile Hidrolik İletkenlik Eğrisi (Hydraulic Conductivity Curve – HCC) karakterizasyonunu kapsamaktadır.
- Tombul vd. [19], Sakarya Havzasında yer alan Kurukavak Deresi'nde yaptığı çalışmada, pedotransfer fonksiyonlarını kullanarak toprağın hidrolik parametrelerinin belirlenmesini amaçlamıştır.

2. BÖLGESEL JEOLJİ

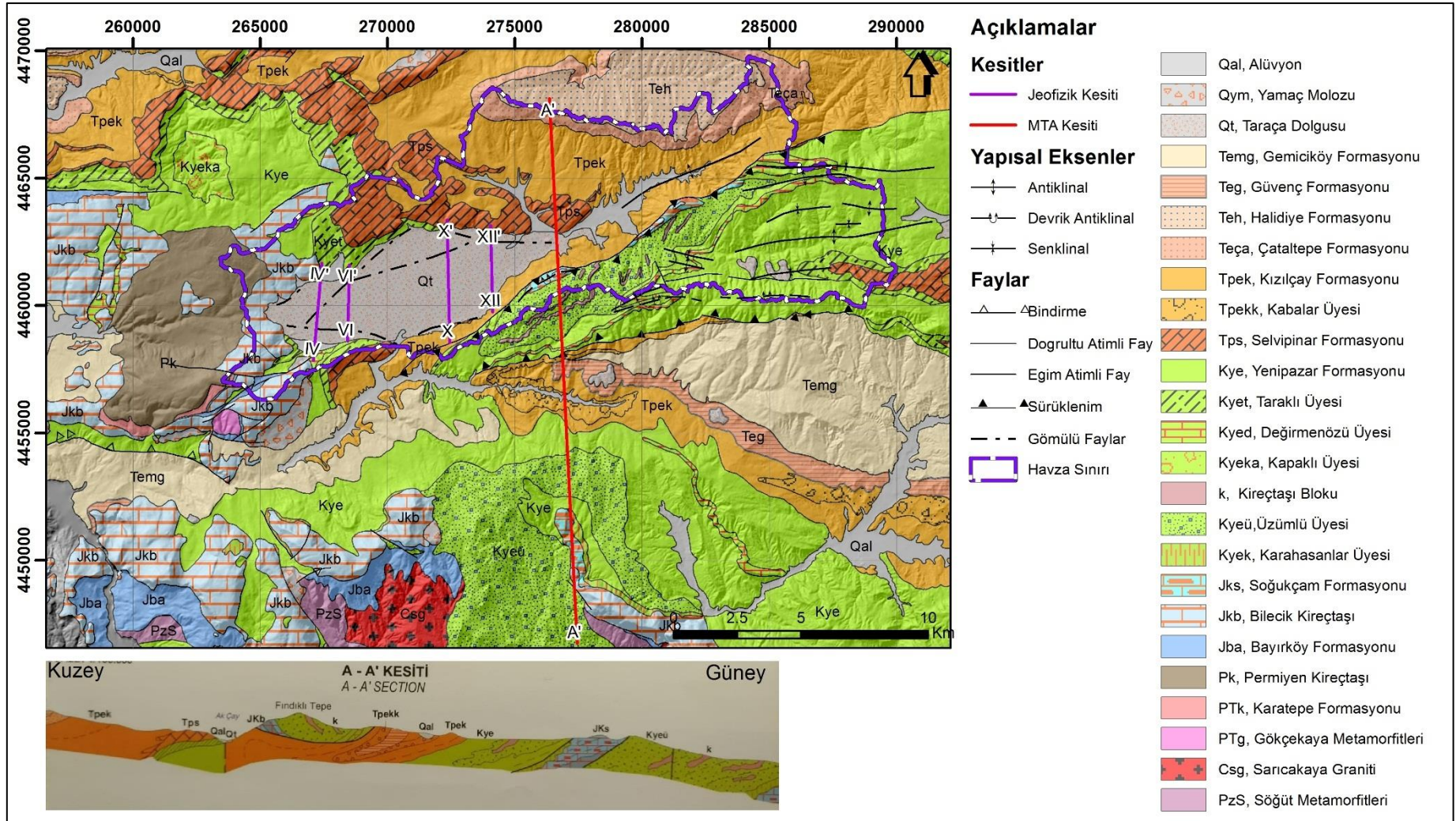
Gölpazarı Havzası'nın büyük bir kısmı Adapazarı – H24 paftasında kalmaktadır. Su bölüm hattının doğu sınırı ise Adapazarı – H25 paftası içerisinde yer almaktadır. Yürütülen çalışmada bölgesel jeoloji değerlendirmesi MTA tarafından hazırlanan 1/25000 ölçekli haritalara bağlı kalınarak yapılmıştır.

Çalışma alanı, kuzeyde Kuzey Anadolu Fay zone ile, güneyde ise Orta Sakarya vadisi ile sınırlandırılmıştır. Çalışma alanı yakın çevresinde gözlenen en yaşlı kayalar, Sakarya Zonu içerisinde yer alan Paleozoyik yaşlı Söğüt Metamorfileri olarak belirlenmiştir [5]. Genel olarak gnays, amfibolit, migmatit ve şistten oluşan bu formasyon, odaklanılan çalışma alanı Gölpazarı Havzası'nın dışında, güneyde yüzeylenmiş olup havza içerisinde yer almamaktadır.

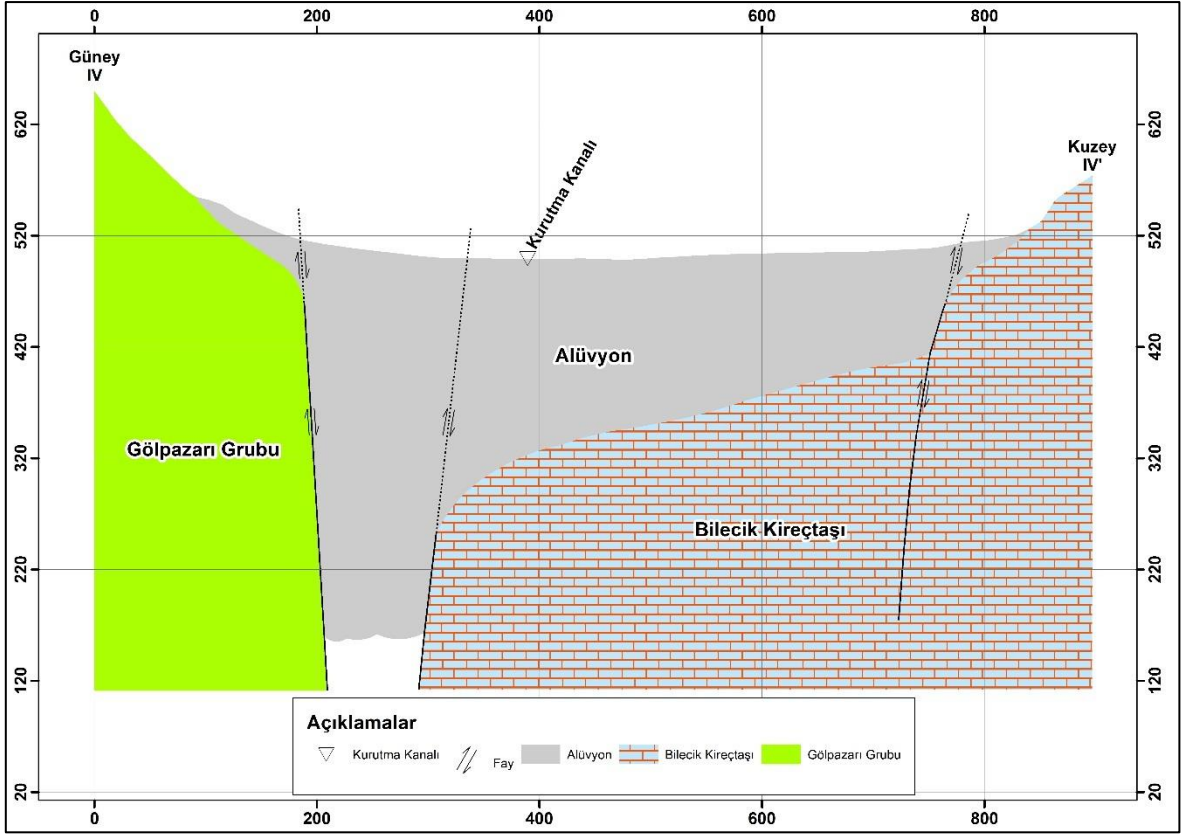
Gölpazarı Havzası'nın stratigrafisi MTA bünyesinde Duru vd. tarafından yürütülen çalışma [5] temel alınarak göre derlenmiştir. Havza sınırı içerisinde gözlenen en yaşlı birim Permiyen yaşlı kireçtaşlarıdır. Üzerinde neritik ortamda çökelmiş kireçtaşlarını temsil eden Jura yaşlı Bilecik kireçtaşları ile bununla yanal ve dikey geçişli, yarı pelajik kireçtaşı olan Soğukçam Formasyonu uyumsuz olarak gelmektedir. Bu formasyonların üzerinde Yenipazar Formasyonu yer almaktadır. Yenipazar Formasyonu, Selvıınar, Kızılçay ve Çataltepe Formasyonları ile geçişlidir. Çataltepe Formasyonu ise Halidiye Formasyonu tarafından uyumlu olarak örtülmektedir. Havzanın genelleştirilmiş stratigrafik istifi Şekil 2.1'de, bölgesel jeoloji haritası ve MTA tarafından oluşturulan genel jeoloji kesiti ise Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Azdiken [8] tarafından yürütülen önceki dönem jeofizik çalışmalarında elde edilen bazı kesitler ise Şekil 2.3, Şekil 2.4, Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da verilmiştir. Kesit lokasyonları Şekil 2.2'de yer alan jeoloji haritası üzerinde gösterilmiştir. Batıdan doğuya doğru ova tabanında alüvyon birimlerin altında Bilecik kireçtaşı, Kızılçay formasyonu, Taraklı ve Selvıınar formasyonları bulunmaktadır.

Üst Sistem	Sistem	Seri	Formasyon Adı	Litoloji	
SENOZOYİK	Kuvaterner			Alüvyon, Alüvyon Yelpazesi, Yamaç Molozu, Taraça Dolgusu, Traverten	
	Neojen	Miyosen	Gemiciköy Fm.	Konglomera, kumtaşı, kiltası	
	Paleojen	Orta Eosen	Güvenç Fm.	kireçtaşı, konglomera, kumtaşı, marn	
			Halidiye Fm.	Türbiditik kumtaşı, kiltası, kireçtaşı	
		Alt-Orta Eosen	Çataltepe Fm.	Kumtaşı, marn, konglomera, kireçtaşı Konglomera, kumtaşı, çamurtaşı	
			Kızılcay Fm.	Kabalar Üyesi: Bitümlü marn, kumtaşı, kireçtaşı	
			Selvipınar Fm.	Resifal Kireçtaşı	
		MESOZOYİK	Kretase	Üst Kretase	Yenipazar Fm.
	Taraklı Üyesi: Konglomera, kiltası, kumtaşı				
	Değirmenözü Üyesi: Yarı-pelajik kireçtaşı				
Kapaklı Üyesi: Serpantin, radyolarit, kireçtaşı					
Üzümlü Üyesi: Volkanojenik kumtaşı, silttaşı, kireçtaşı					
Karahasanlar Üyesi: Killi kireçtaşı, çamurtaşı					
Jura	Alt Kretase		Üst Jura	Soğukçam Fm.	Çörtlü, killi mikritik kireçtaşı
					Bilecik Kireçtaşı

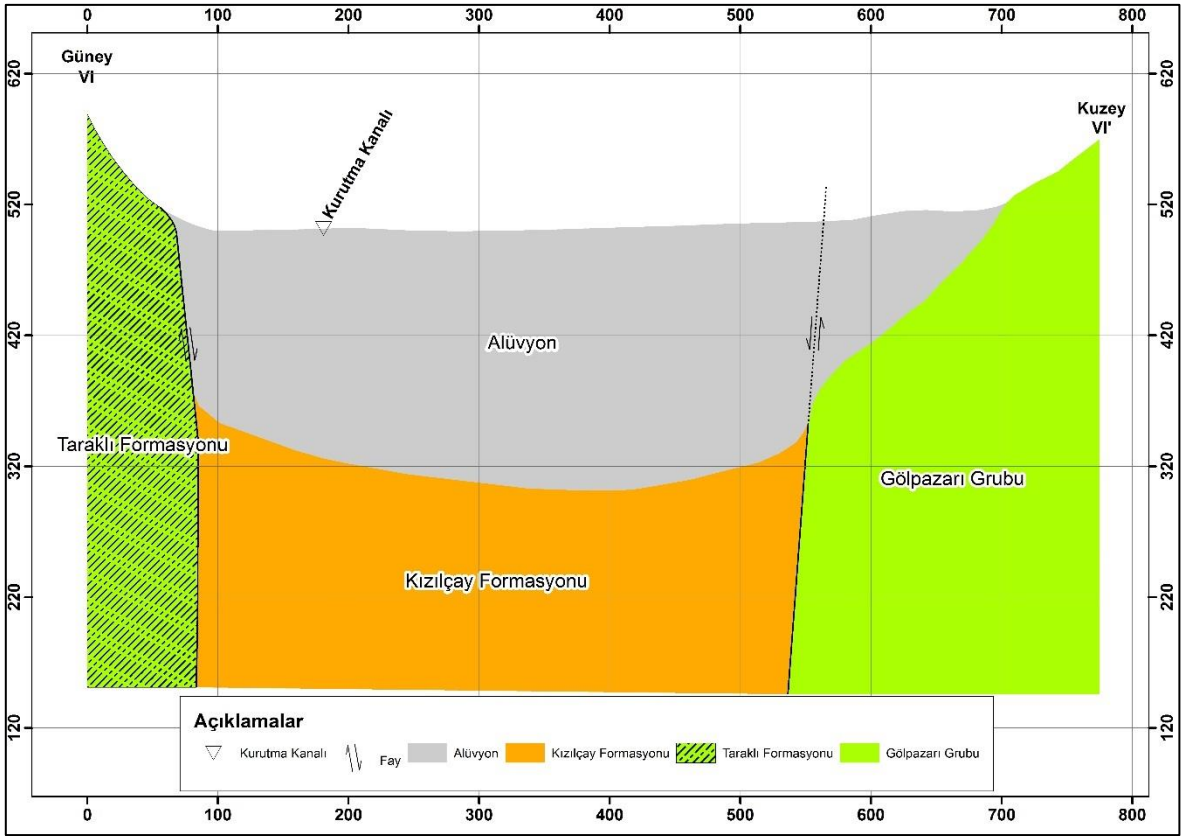
Şekil 2.1. Çalışma Alanı Stratigrafik Kesiti ([5]'den sadeleştirilerek alınmıştır.)



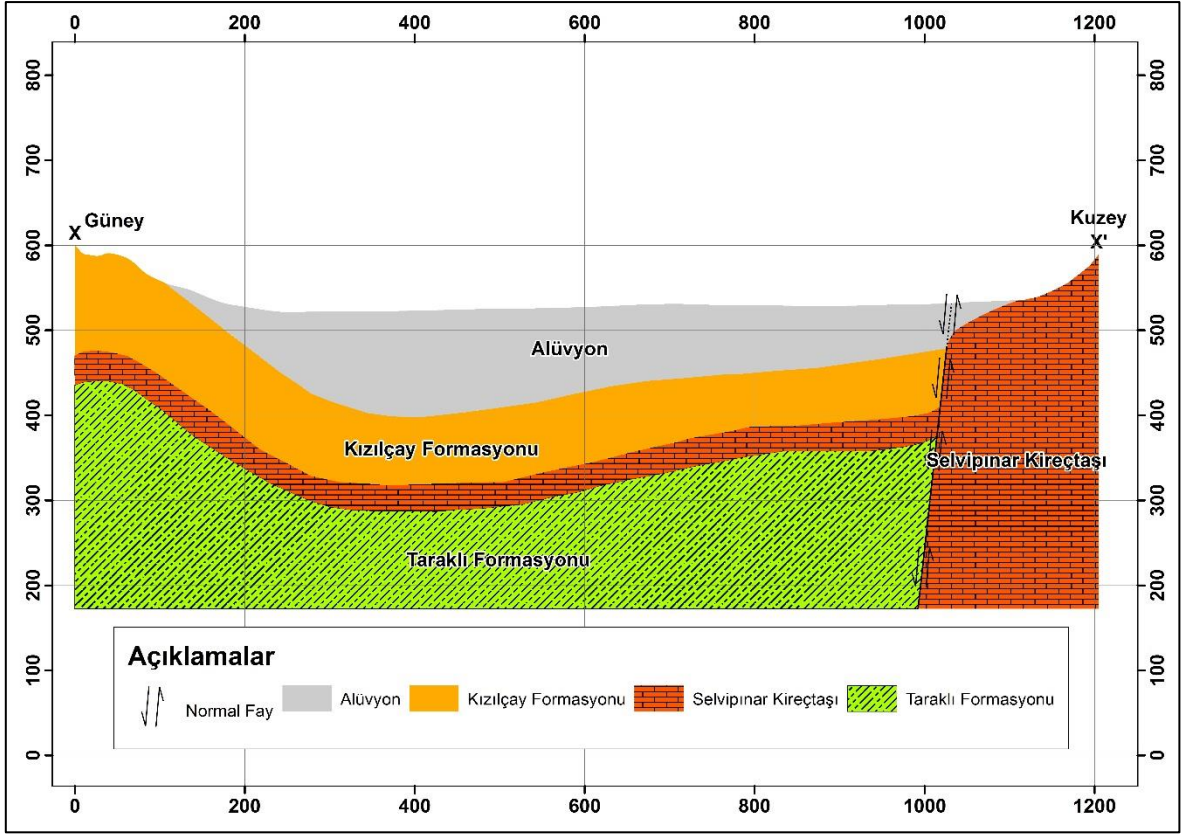
Şekil 2.2. Bölgesel Jeoloji Haritası (MTA H24 Ve H25 Paftalarından Düzenlenmiştir [5].)



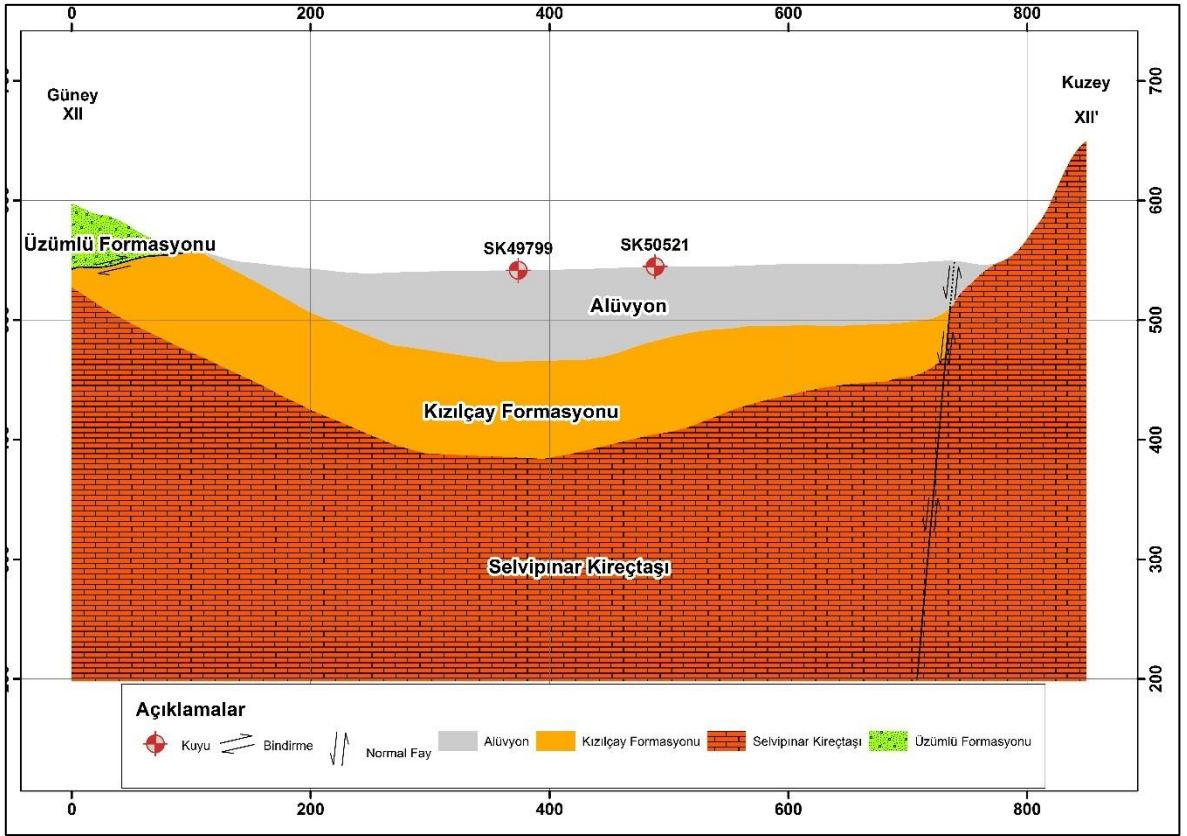
Şekil 2.3. Kesit IV ([8]'den Değiştirilerek Alınmıştır)



Şekil 2.4. Kesit VI ([8]'den Değiştirilerek Alınmıştır)



Şekil 2.5. Kesit X ([8]'den Değiştirilerek Alınmıştır)



Şekil 2.6. Kesit XII ([8]'den Değiştirilerek Alınmıştır)

2.1. Jeolojik Birimler

Permiyen Kireçtaşı (Pk)

Gölpazarı Havzası sınırları içerisinde gözlenen en yaşlı birim olan Permiyen yaşlı kireçtaşları havzanın batısında yer alan Üyük Havzası'nda daha geniş alanda yüzeylenmiştir [5].

Bilecik Kireçtaşı (Jkb)

Beyaz, krem, gri ve pembemsi renklerde olan birim, Gölpazarı Havzası içerisinde batıda Üyük Havzası ile sınır oluşturan yükselti boyunca yayılmaktadır. Havza dışında ise, batıda Üyük Havzası'nda kuvaterner birimleri çevrelemekte olup, güneyde de geniş yayılıma sahiptir [5]. Kurşunlu mahallesinin üst kotlarında yer alan Göladağı ve Jura yaşlı Bilecik Kireçtaşları'nın sahadaki görünümü Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7. Bilecik Kireçtaşları'nın Sahadaki Görünümü (Havzanın Batısından Güneybatıya Bakış)

Soğukçam Formasyonu (JKs)

Çalışma alanında çok küçük bir alanda gözlenen formasyon, beyaz, krem, pembemsi renkli, porselenimsi görünümlü, çörtlü yarı pelajik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Havzanın güney yamacında doğu – batı doğrultulu uzanan bindirme fayı boyunca lokal olarak gözükken birim, alt seviyelerde Bilecik Kireçtaşları ile yanall ve düşey yönde geçişlidir. Üstte ise Yenipazar Formasyonu ile uyumsuz dokanak oluşturmaktadır. Formasyonun üst seviyeleri killi kireçtaşı, marn araldanması şeklindedir [5].

Yenipazar Formasyonu (Kye)

Volkanitli, bloklu, kumtaşı – şeyl araldanmasından oluşan filiş fasiyesindeki çökeller olarak tanımlanan formasyon, Saner [20] tarafından adlandırılmıştır. Çalışma alanı yakın çevresinde Soğukçam Formasyonu'nun üzerine gelen kırıntılılarla başlamaktadır. Üst kısımlarda ise, Paleosen yaşlı Selvıpnar ve Kızılçay Formasyonları'yla bunların bulunmadığı istiflerde ise Alt Eosen yaşlı Çataltepe Formasyonu'na kadar çıkartılmaktadır.

Birim genel olarak grimsi yeşil renkli kumtaşı – şeyl araldanmaları ile yeşil ve kahverengi volkanit, yeşil renkli marn ve beyaz, bej renkli mikritik kireçtaşı ve az miktarda konglomeradan oluşmaktadır [5].

Yenipazar Formasyonu ve alt üyeleri çalışma alanı ve yakın çevresinde en yaygın görülen birimlerdir. Havza içerisinde, havzanın güney sınırı ve bindirme fayı boyunca yer alan formasyon, Akçay Deresi'nin de yer aldığı alt havzanın tamamını kaplamaktadır.

Yenipazar Formasyonu ile birlikte değerlendirilen üyeler ise;

- Karahasanlar Üyesi (Kyek): Kırmızı renkli, killi alt mikritik kireçtaşı,
- Kapaklı Üyesi (Kyeka): Serpantin blokları ve ofiyolitten türeme olistrostrom,
- Üzümlü Üyesi (Kyeü): Seyrek kumtaşı, kahverengi volkanitler ve kireçtaşı araldanması,

- Üzümlü Üyesi Merceksel Kireçtaşları (k); Beyaz, bej renkli, ince – orta katmanlı killi kireçtaşı,
- Değirmenözü Üyesi (Kyed); Beyaz, bej, kırmızı renkli pelajik kireçtaşları,
- Taraklı Üyesi (Kyet); Formasyonun en üstünde yer alan Kumtaşı, konglomera ve marnlar,

olarak tanımlanmıştır.

Selvipınar Formasyonu (Tps)

İlk defa Eroskay [21] tarafından tanımlanan birim, resifal kireçtaşlarından oluşmaktadır. Gölpazarı Havzası'nın kuzey yamaçlarında geniş yayılıma sahip birim genel olarak sarımsı beyaz, bej, yer yer kırmızı ve pembe renkli görülmektedir. Formasyon 0 – 100 m kalınlıkta değişmekte olup belli bir yanal değişim göstermemektedir.

Altta Taraklı Üyesi ile tedrici geçişli, üstte Kızılçay formasyonu ile yanal ve düşey geçişlidir. Çalışma alanında, Gölpazarı ilçesinin kuzeyinde ova üst kotlarında yayılan birim, havza dışında da kuzeye doğru yayılım göstermektedir (Şekil 2.8). Çalışma alanında ovanın kuzeyinde açılmış kuyularda alüvyal örtü birimin altında gözlenen birim, çalışma alanında su taşıyan önemli birimlerden biridir.



Şekil 2.8. Selvipınar Kireçtaşları (Ovanın Kuzeydoğusu, Kuzeye Bakış)

Kızılçay Formasyonu (Tpek)

Birim kırmızı renkli karasal çökellerden oluşmaktadır. Eroskay [21] tarafından adlandırılan birim, ovanın güneyinde kalan yamaçlarda ve Gölpazarı'nın kuzeydoğusunda yer alan Kızılçay Deresi Alt Havzası'nda geniş alana yayılmaktadır.

Birim, kırmızı renkli, ince – kalın tabakalı, kötü boyanmalı konglomera, kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmasından oluşmaktadır [5].

Çataltepe Formasyonu (Teça)

Gölpazarı'nın kuzeydoğusunda havza sınırına yakın yüzeylenen formasyon, kumtaşı, marn, konglomera ve kireçtaşı litolojilerinden oluşmaktadır. Birim, altta Kızılçay, üstte Halidiye Formasyonu ile uyumludur [5].

Halidiye Formasyonu (Teh)

Saner [22] tarafından adlandırılan birim, türbiditik kumtaşı, kiltası ve kireçtaşı vb. türlerden oluşmaktadır. Birim yaklaşık 500 m kalınlık göstermekte olup, altta Çataltepe formasyonu ile geçişli ve üstte aşınma yüzeylidir.

Halidiye Formasyonu, çalışma alanının kuzeydoğusunda Gölpazarı Havzası sınırının dışında, sınırı takip edecek şekilde görülmektedir.

Güvenç Formasyonu (Teg)

Nümmilitli kireçtaşı, konglomera, kumtaşı ve marnlarla temsil edilen birim, çalışma alanı çevresinde doğu – batı uzanımlı olarak yer almaktadır. Güvenç formasyonu üstte Gemiciköy formasyonu ile paralel uyumsuzdur [5].

Gemiciköy Formasyonu (Temg)

Konglomera, kumtaşı, çamurtaşı ardalanmasından oluşan formasyon, Gölpazarı Havzası sınırı dışında güneyde doğu – batı doğrultulu geniş bir alanda yayılım göstermektedir.

Kuvaterner Birimler

Çalışma alanı içerisinde yaklaşık 35 km² alana yayılmış örtü birimi, kendi içerisinde taraça dolgusu (Qt), yamaç molozu (Qym), Alüvyon yelpazesi (Qym) ve alüvyon (Qal) olarak ayrılmıştır. Ovada doğudan batıya gidildikçe alüvyal birimin kalınlığı artmakta ve tane boyu genel olarak incelmektedir.

2.2. Yeraltısuyu Taşıyan Formasyonlar ve Yayılımı

DSİ tarafından yürütülen çalışmalar sonucunda, ovada yeraltısuyu taşıyan en önemli birimin Kuvaterner yaşlı alüvyon örtü olduğu tanımlanmış, alüvyon örtüde serbest ve basınçlı akifer seviyelerinin olduğu belirtilmiştir. Doğu batı uzanımlı alüvyon örtü, ovanın batısında yer alan ve eski göl alanı olan kil sahasına kadar devam etmektedir. Ova genelinde kalınlığı 5 – 25 m arasında değişen serbest sistem ile basınçlı sistem arasında 5 – 30 m kil tabakalarının olduğu ve bu iki sistemin ovanın batısında, kil sahasına ulaşmadan tek sisteme döndüğü iddia edilmiştir [4].

Kuvaterner litolojisi üzerine yoğunlaşan çalışmada alüvyon örtünün en derin olduğu yer, ovanın ortasında yaklaşık 300 m olarak tanımlanmıştır. Taban kayalık olarak tanımlanan Paleosen ve Kretase kayalarının üzerinde, Alüvyon örtü öncelikle kil tabakaları ile başlamakta ve batıya doğru çakıl, kum ve kil aralanmalı devam etmektedir. Buna ek olarak havzanın batısında, yüzeyden taban kayaca kadar killi seviye devam etmektedir.

Formasyonların rezistivite değerleri ve kuyu loglarındaki litolojik değişimler değerlendirilerek, alüvyal örtünün altında kalan ve basınçlı sistemi yarattığı düşünülen kil katmanının yayılımına yönelik bulgular araştırılmıştır. Çalışma sahasında temel kaya Kretase yaşlı fliş ve kalker olarak tanımlanmış, Kretase üzerine Paleosen yaşlı flişin diskordan olarak geldiği belirtilmiştir. İlgili çalışma kapsamında, alüvyon örtünün altındaki kireçtaşı seviyelerinden bahsedilse de su taşıyan önemli bir akifer sistemi olarak tanımlanmamış, ovadaki hem basınçlı hem de serbest akifer sisteminin alüvyonda gerçekleştiğine değinilmiştir. Bunun yanında, Kretase yaşlı fliş tanımı içerisinde marnlı, greli ve sarı renkli olmak üzere farklı kireçtaşı seviyelerinin aralanmalı geçildiği belirtilmiştir. Paleosen yaşlı flişlerin ise

havzanın güney yamacında ince bir şerit haline uzandığı ve konglomera ile kalker ar dalanması olduğu belirtilmiştir [8].

ALFAR tarafından yürütülen çalışmada alüvyon akifer sistemine ek olarak Kızılçay Formasyonu içerisinde yer alan konglomera ve kumtaşlarından oluşan kırıntılı birimler ve Selvîpınar ile Bilecik Kireçtaşları'nın alüvyon örtü tabakası altında yer sel akifer özelliği taşıdığı belirtilmiştir. Kuvaterner yaşlı birimler, ova genelinde yeraltısuyu taşıyan en önemli birimler olarak tanımlanmıştır [12].

Gölpazarı Ovası'nda Jura yaşlı Bilecik ve Paleosen yaşlı Selvîpınar Kireçtaşları yer sel karstik akifer, alüvyal örtü ise yaygın akifer özelliğindedir. Bilecik Kireçtaşları havzanın batısında kısıtlı bir alanda yayılmakta ve göl tabanında çökelmiş ve oldukça kalın bir kil katmanı (Kurşunlu Ovası) tarafından örtülmektedir. Kurşunlu Ovası'nın kuzeyinde ova sınırında açılan 58062 numaralı DSİ kuyusu, 250 m kristalize kireçtaşı birimi içerisinde açılmış ve herhangi bir su girişi gözlenmemiştir. Buna ek olarak, karstik özellik gösteren Bilecik Kireçtaşları'nın, karstik kanallar ile Gölpazarı Havzası'ndan batıda Hüyük Havzası'na boşaldığı belirtilmektedir [10]. Bu sebeple gerek kısıtlı yayılımı gerekse sahadaki bulgular doğrultusunda Bilecik Kireçtaşı havza önemli akifer özelliği göstermemektedir.

Karstik Selvîpınar Kireçtaşı, yüzeyde ovanın kuzeyinde kısıtlı bir alana yayılmaktadır. Fakat, Bilecik Kireçtaşları'ndan farklı olarak, kuyu logları incelendiğinde ovanın kuzey kesiminde KB – GD yönlü bir yayılımda görülmektedir. Selvîpınar Kireçtaşı alüvyal örtünün altında basınçlı bir akifer özelliği göstermekte ve görece verimi yüksektir.

Alüvyal ve karstik birimlere ek olarak, konglomera, kumtaşı ve çamurtaşı ar dalanmasından oluşan kırıntılı Kızılçay Formasyonu da özellikle konglomeralı seviyelerde, havzanın doğusunda alüvyal birimin altında yeraltısuyu açısından elverişli olduğu gözlenmektedir.

3. METEOROLOJİK VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

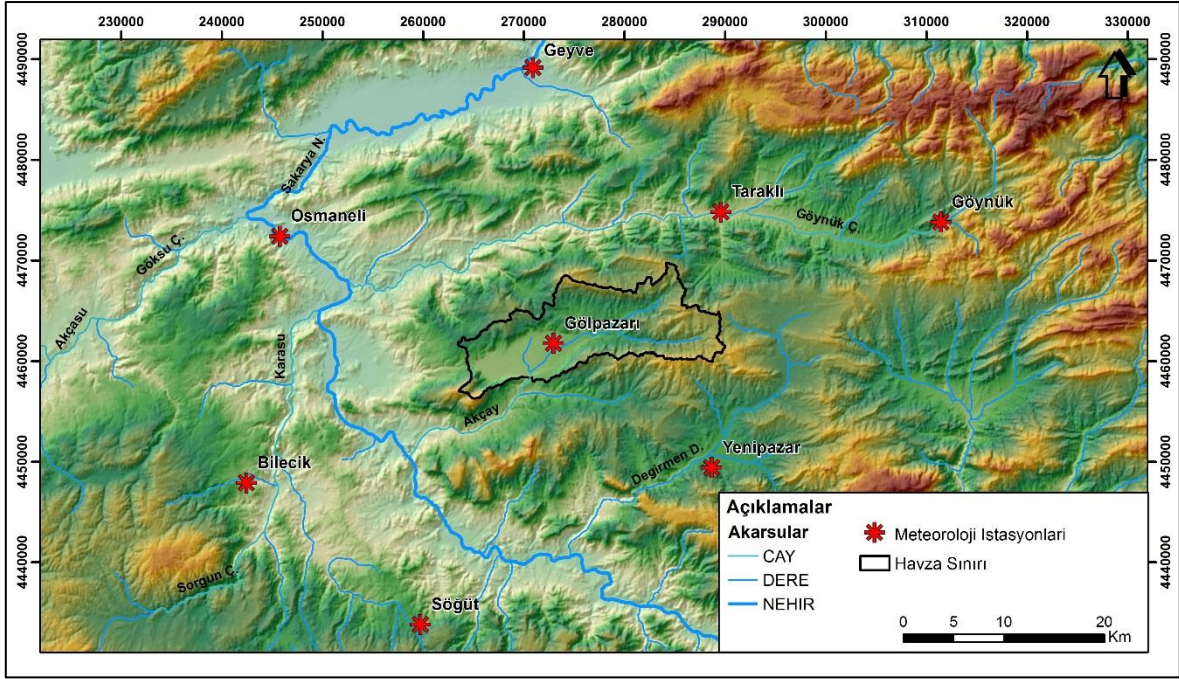
Çalışma alanı ve yakın çevresinde yer alan meteoroloji gözlem istasyonlarında kaydedilen yağış ve sıcaklık parametreleri, bölgesel olarak değerlendirilmiştir. İlgili veriler iki farklı kaynaktan temin edilmiştir. Bölgede yürütülen meteorolojik kayıt çalışmaları ilk etapta DSİ Etüt ve Plan Dairesi Başkanlığı'nın Rasatlar Şube Müdürlüğü tarafından başlatılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen aylık ortalama veriler DSİ 3. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Mevcut istasyonların bir kısmı süreç içerisinde kapatılmış olup Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından OMGİ (Otomatik Meteorolojik Gözlem İstasyonu) olarak tekrar faaliyete geçirilmiş, güncel veriler ilgili kurumdan temin edilmiştir.

Tez çalışması kapsamında, Gölpazarı Havzası ve çevresinde yer alan 8 adet istasyonun yağış ve ortalama sıcaklık parametreleri incelenmiştir. Çalışma alanı içerisinde yer alan istasyon 18086 kodlu Gölpazarı Meteoroloji İstasyonu'dur. Havzaya en yakın diğer istasyonlar ise 20 km güneydoğusunda yer alan Yenipazar istasyonu ile 21 km kuzeydoğusunda yer alan Taraklı istasyonlardır.

İlgili istasyonların listesi ve genel bilgiler Çizelge 3.1'de, istasyonların çalışma alanına göre konumsal dağılımı ise Şekil 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Çalışma Alanı Çevresindeki Meteoroloji İstasyonları

Güncel İstasyon Kodu	Eski İstasyon Kodu	İstasyon Adı	İl	Enlem (K)	Boylam (D)	Yükseklik (m dsy)	Çalışma Alanına Göre Konum
17120	-	Bilecik	Bilecik	40.14	29.98	539	33.5 km – B
17662	-	Geyve	Sakarya	40.52	30.30	100	27.5 km – K
17703	2980	Söğüt	Bilecik	40.02	30.19	695	31 km – G
18086	2354	Gölpazarı	Bilecik	40.28	30.33	537	-
18087	2351	Osmaneli	Bilecik	40.36	30.01	96	29 km – K
18246	2186	Göynük	Bolu	40.39	30.78	735	40.3 km – K
18381	2707	Yenipazar	Bilecik	40.17	30.52	668	20 km – GD
18420	2183	Taraklı	Sakarya	40.40	30.52	460	21 km - KD



Şekil 3.1. Bölgesel Meteoroloji İstasyonlarının Konumsal Dağılımı

Yağış ve sıcaklık ölçümlerinin zaman içerisinde dağılımının birbirinden farklılık göstermesi sebebiyle, kayıtlar ortak ölçüm süreleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

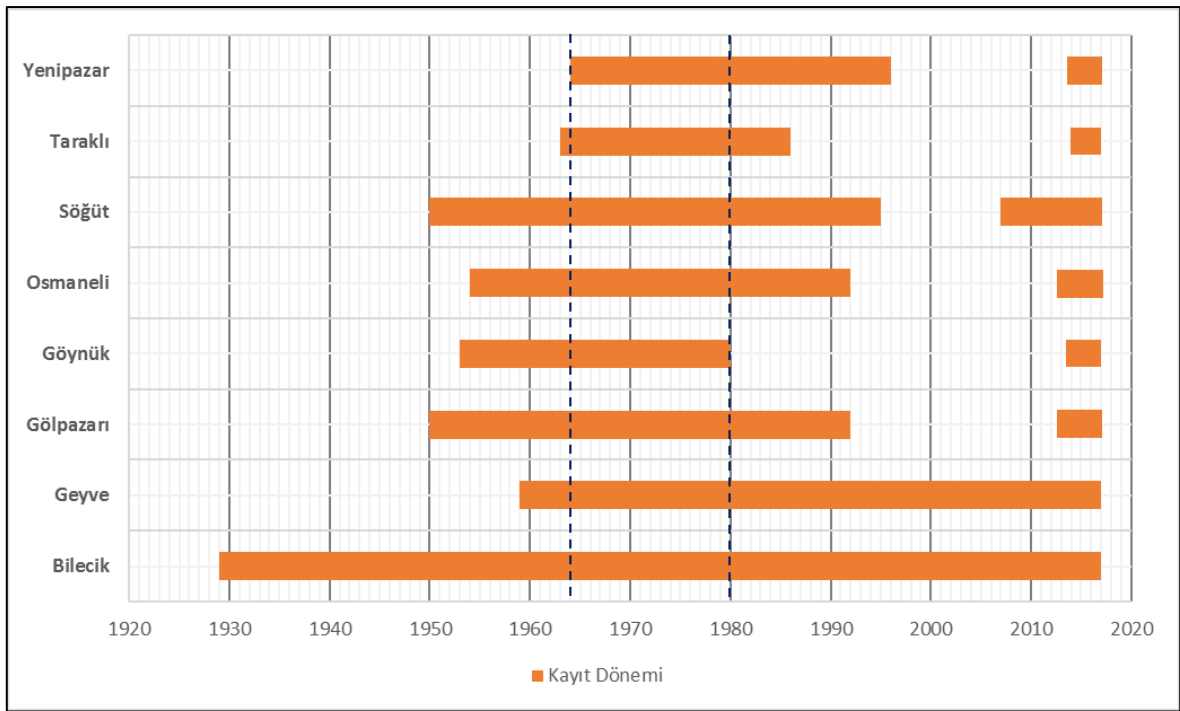
3.1. Yağış

Gölpaşarı Havzası ve çevresinde yağış karakteristiğinin değerlendirilmesi amacıyla bölgesel istasyonların yağış kayıtları değerlendirilmiştir. İncelenen istasyonlar arasında en uzun kayıt dönemi, havzanın batısında yer alan 17120 – Bilecik Meteorolojik Gözlem İstasyonu olup 1929 yılından beri yağış ölçümü yapılmaktadır. Gölpaşarı Havzası'nın kuzeyinde yer alan Geyve Meteorolojik Gözlem İstasyonu da 1941 yılından itibaren yağış ölçümlerine aralıksız devam etmektedir. Diğer istasyonlar ise belirli bir dönem kapalı kaldıktan sonra tekrar faaliyete alınmıştır. Gölpaşarı Meteorolojik Gözlem İstasyonu 1950 – 1992 yılları arasında faaliyet göstermiş, 2012 yılının sonunda tekrar aktif hale getirilmiştir.

İlgili istasyonlara ait ölçüm dönemleri Çizelge 3.2'de verilmiş ve zaman serilerinin sürekliliği Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Yağış Parametresinin Kayıt Dönemleri

İstasyon Adı	Yükseklik (m dsy)	Kayıt Dönemi
Bilecik	539	1929 - 2017
Geyve	100	1941 - 2017
Gölpazarı	537	1950 - 1992 / 2012 - 2017
Göynük	735	1953 - 1980 / 2013 - 2017
Osmaneli	96	1954 - 1992 / 2012 - 2017
Söğüt	695	1950 - 1995 / 2004 - 2017
Taraklı	460	1963 - 1986 / 2014 - 2017
Yenipazar	668	1964 - 1996 / 2013 - 2017



Şekil 3.2. Gölpazarı Havzası Çevresinde Yer Alan Meteoroloji Gözlem İstasyonlarının Yağış Kayıt Dönemlerinin Karşılaştırılması

DSİ ve MGM kurumlarından temin edilen yağış verileri ve mevcut zaman serileri birlikte değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, ortalama yağış miktarlarının birbirleri ile kıyaslanması adına en fazla istasyonun eş zamanlı çalıştığı 1964 – 1980 yılları belirlenmiştir.

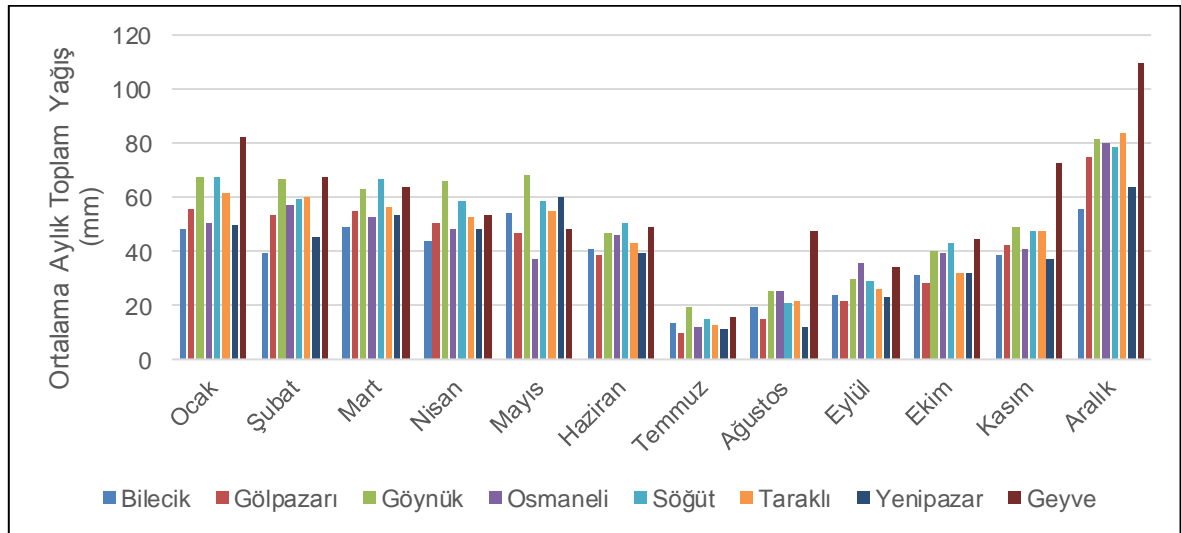
1964 – 1980 yıllarına ait ortalama yağış değerleri Çizelge 3.3'te verilmiştir. 17 yıllık verilerin değerlendirilmesi sonucunda en yüksek yıllık ortalama yağış değerleri 689.1 mm ile Geyve istasyonu ve 625.2 mm ile Göynük istasyonlarında gözlenmiştir.

En düşük yıllık ortalama yağış değeri ise Bilecik istasyonunda 457.9 mm olarak ölçülmüştür. Gölpazarı istasyonunda ise 491.2 mm yıllık ortalama yağış değeri görülmektedir.

Bölgesel istasyonların eş zamanlı çalıştığı 1964 – 1980 yıllarına ait aylık ortalama yağış miktarları Şekil 3.3'te verilmektedir. Bölgede, yaz aylarında ortalama yağış değeri diğer mevsimlere göre düşükken, Geyve istasyonunun Ağustos ayında da 40 mm üzerinde yağış aldığı gözlenmiştir.

Çizelge 3.3. Ortalama Yağış Değerleri (1964 – 1980)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	YILLIK
Bilecik	48.3	39.6	48.7	43.8	53.9	40.9	13.3	19.5	24.0	31.3	39.0	55.6	457.9
Gölpazarı	55.8	53.6	55.0	50.4	46.6	38.7	9.5	14.9	21.6	28.0	42.5	74.6	491.2
Göynük	67.8	66.8	63.4	66.2	68.2	47.1	19.7	25.2	29.7	40.4	49.1	81.6	625.2
Osmaneli	50.5	57.3	52.6	48.6	37.2	45.8	12.1	25.3	35.3	39.3	40.8	79.7	524.6
Söğüt	67.9	59.1	66.9	58.7	58.5	50.6	14.9	20.8	28.9	42.8	47.4	78.9	595.3
Taraklı	61.2	60.1	56.6	53.0	54.7	42.8	12.4	21.7	26.1	31.8	47.8	83.7	551.8
Yenipazar	49.9	45.3	53.2	48.5	59.7	39.3	11.6	11.8	23.4	32.2	37.5	63.8	476.2
Geyve	82.6	67.2	63.7	53.7	48.6	49.0	15.8	47.4	34.2	44.8	72.7	109.4	689.1



Şekil 3.3. Aylık Ortalama Yağış Grafiği (1964 - 1980)

Bölgesel istasyonların birbirleri ile olan ilişkisini belirlemek ve yüksekliğin yağış üzerine etkisini değerlendirmek için, 1964 – 1980 yılları arasında ölçüm yapan istasyonların veri setleri düzenlenmiştir. 17 yıllık süreçte, herhangi bir istasyonun ölçüm almadığı döneme ait tüm kayıtlar çıkartılarak gerçek ilişkinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu yaklaşımda elde edilen yıllık ortalama yağış değerleri ise Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Düzenlenmiş Ortalama Yağış Değerleri (1964 - 1980)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	YILLIK
Bilecik	46.1	40.9	49.2	43.7	52.8	43.3	11.3	19.4	26.3	31.6	35.3	56.1	455.9
Gölpazarı	53.0	53.6	55.0	50.4	44.0	39.1	6.5	15.9	20.7	29.1	37.4	73.0	477.7
Göynük	63.8	69.9	62.4	66.6	68.4	49.8	14.8	26.0	27.6	39.7	45.7	84.0	618.7
Osmaneli	51.0	59.8	54.3	48.8	34.4	50.1	10.8	24.0	37.1	35.9	40.5	79.4	526.0
Söğüt	67.4	61.1	66.1	58.1	57.3	53.3	11.9	21.4	24.8	43.2	44.2	75.6	584.5
Taraklı	57.4	63.0	57.0	53.2	53.7	43.8	8.3	21.2	25.6	32.6	39.2	83.6	538.7
Yenipazar	48.4	46.9	54.3	48.5	62.6	39.9	11.1	11.3	23.4	32.2	34.4	63.8	476.7
Geyve	81.0	69.9	62.1	54.1	51.5	52.7	12.1	52.5	36.1	44.3	65.3	104.2	685.8

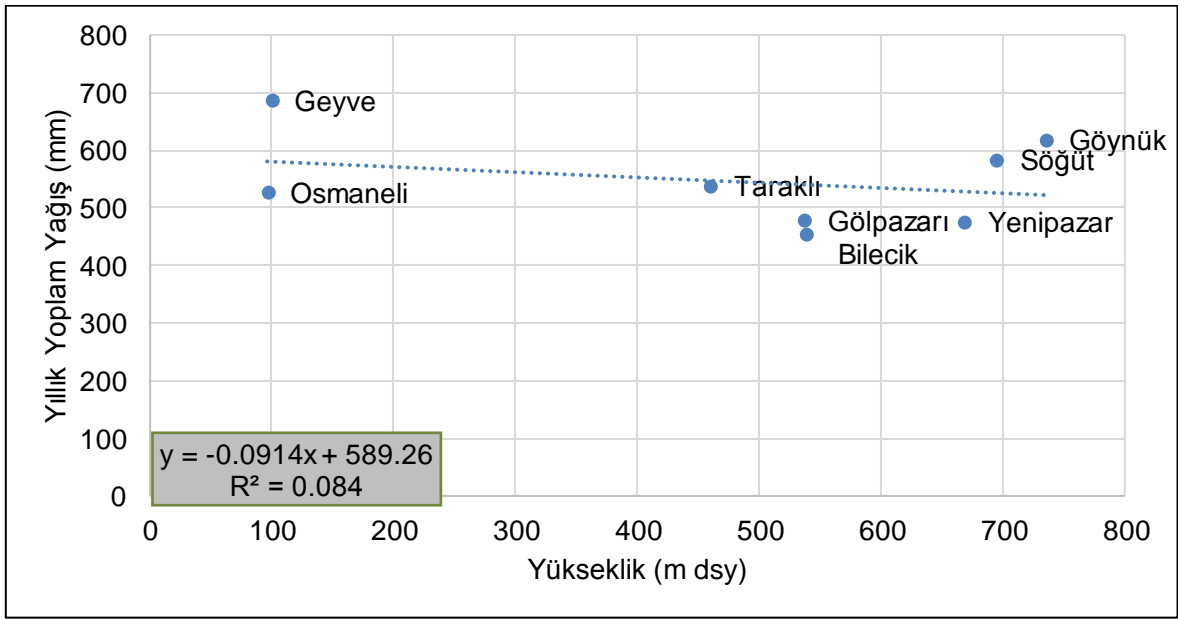
Eksik dönemlerin temizlendiği yağış serilerinin birbirleri ile korelasyonu değerlendirilmiştir. Buna göre, Gölpazarı istasyonu ile korelasyonu en yüksek istasyon Taraklı, en düşük istasyon ise Osmaneli olarak belirlenmiştir (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Yağış Verilerinin Korelasyonu (1964 - 1980)

	Gölpazarı	Bilecik	Göynük	Osmaneli	Söğüt	Taraklı	Yenipazar	Geyve
Gölpazarı	1.00							
Bilecik	0.83	1.00						
Göynük	0.85	0.77	1.00					
Osmaneli	0.70	0.69	0.68	1.00				
Söğüt	0.86	0.83	0.77	0.65	1.00			
Taraklı	0.93	0.79	0.90	0.73	0.82	1.00		
Yenipazar	0.82	0.81	0.83	0.64	0.83	0.80	1.00	
Geyve	0.78	0.67	0.69	0.70	0.72	0.80	0.62	1.00

İlgili döneme ait yıllık ortalama yağış değerleri ile istasyonların ölçüm aldığı yükseklik değerleri karşılaştırılmıştır. Bölgede genel olarak yüksek yağış değerlerinin daha düşük kotlarda gerçekleştiği görülmektedir. 100 m kotunda yer

alan Geyve istasyonu, mevcut istasyonlar arasında en yüksek yağış değerine sahiptir. Bunun yanında, 96 m kotunda yer alan Osmaneli istasyonu ise, bölge ortalama yağış değerlerine uyum sağlamaktadır. Buna ek olarak, biri havzanın kuzeydoğusunda diğeri ise havzanın güneyinde yer alan Göynük ve Söğüt istasyonlarının davranışları, diğer istasyonlardan ayrılmaktadır. Buna göre, Taraklı, Gölpazarı, Bilecik ve Yenipazar istasyonlarının benzer meteorolojik sistemleri temsil ettiği görülmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Yağış - Yükseklik ilişkisi (1964 - 1980)

3.2. Ortalama Sıcaklık

Ortalama sıcaklık ölçümlerinin bölgesel istasyonlarda yağış ölçüm sürelerine göre farklılık göstermesi sebebiyle, sıcaklığın bölgesel değerlendirilmesi ayrıca ele alınmıştır. Ortalama sıcaklık ölçümlerine ait dönemler Çizelge 3.6'da verilmiştir.

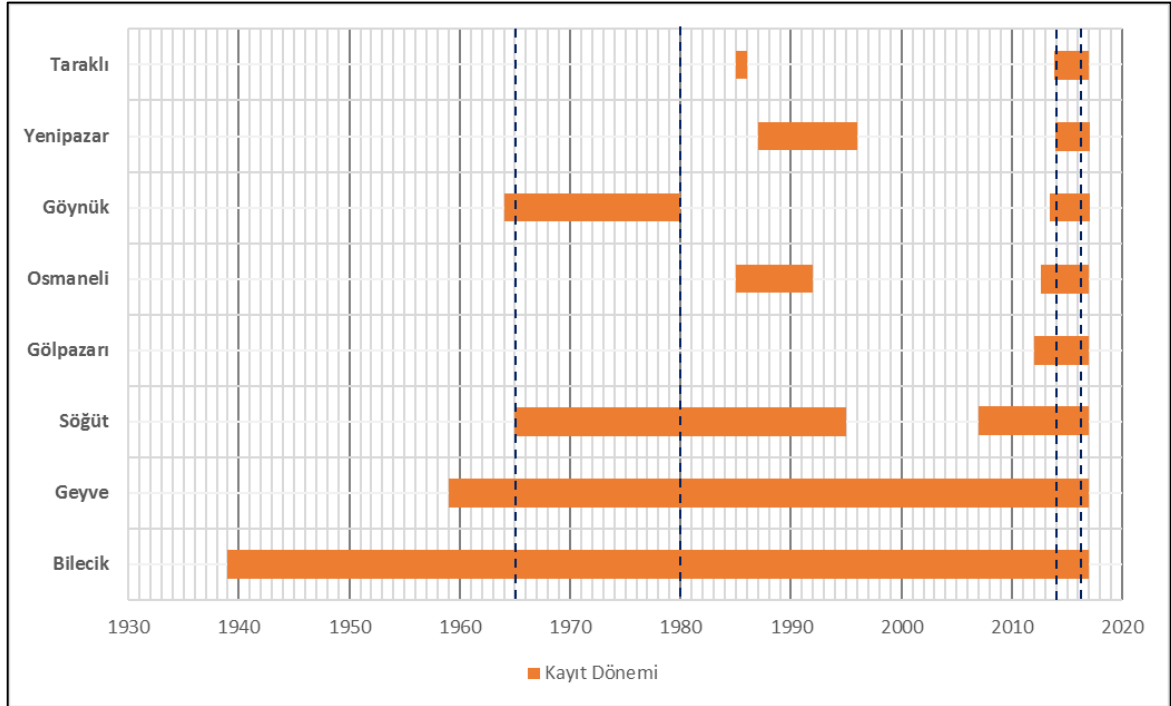
Bölgede yer alan istasyonlarda, ortalama sıcaklık değerinin uzun dönem ölçüldüğü istasyonlar yağış parametresinde olduğu gibi Bilecik ve Geyve istasyonlarıdır. Çalışma alanı içerisinde yer alan Gölpazarı istasyonunda ortalama sıcaklık değerleri ise 2012 yılının Ekim ayı itibarıyla ölçülmeye başlanmıştır. Sıcaklık değerlerinin bölgesel olarak karşılaştırılması için Göynük, Söğüt, Geyve ve Osmaneli

Meteorolojik Gözlem İstasyonları'nın eş zamanlı uzun dönem kayıt aldığı 1965 – 1980 yılları seçilmiştir.

Çizelge 3.6. Ortalama Sıcaklık Parametresinin Kayıt Dönemleri

İstasyon Adı	Yükseklik (m dsy)	Kayıt Dönemi
Bilecik	539	1939 - 2017
Geyve	100	1959 - 2017
Gölpazarı	537	2012 - 2017
Göynük	735	1964 - 1980 / 2013 - 2017
Osmaneli	96	1985 - 1992 / 2012 - 2017
Söğüt	695	1965 - 1995 / 2004 - 2017
Taraklı	460	1985 - 1986 / 2014 - 2017
Yenipazar	668	1987 - 1996 / 2013 - 2017

Buna ek olarak çalışma alanı içerisinde yer alan Gölpazarı istasyonu ve diğer tüm istasyonların eş zamanlı ölçüm aldığı 2013 – 2016 yılları ise ayrıca değerlendirilmiştir. Tez çalışması kapsamında MGM'den temin edilen verilerin Mart 2017 dönemine kadar olması sebebiyle, tüm bir yılı kapsamayan 2017 yılı değerlendirmeye alınmamıştır (Şekil 3.5).

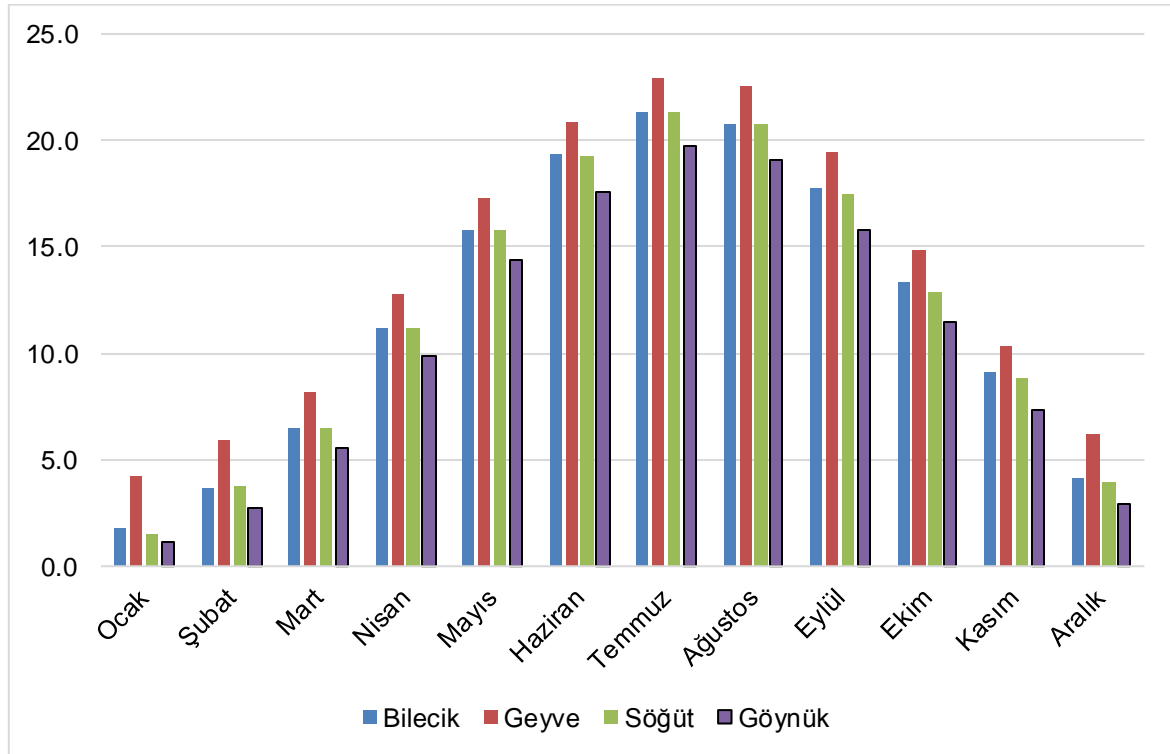


Şekil 3.5. Ortalama Sıcaklık Kayıt Dönemlerinin Karşılaştırılması

1965 – 1980 yılları arasında ortalama sıcaklık değerinin ölçüldüğü istasyonlar değerlendirildiğinde en yüksek yıllık ortalama sıcaklık değerinin 12.4 °C ile Geyve’de ölçüldüğü görülmektedir. En düşük yıllık ortalama değer ise 10.9 °C ile Göynük’te ölçülmüştür. İlgili değerler Çizelge 3.7 ve Şekil 3.6’da aylık olarak gösterilmektedir.

Çizelge 3.7. Ortalama Sıcaklık Değerleri (1965 - 1980)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	YILLIK
Bilecik	1.8	4.1	6.5	11.2	15.8	19.3	21.4	20.8	17.8	13.2	9.1	4.0	12.4
Geyve	4.2	6.3	8.3	12.8	17.3	20.8	23.0	22.5	19.6	14.8	10.3	6.1	14.1
Söğüt	1.6	4.0	6.5	11.2	15.8	19.2	21.3	20.7	17.6	12.7	8.8	3.9	12.2
Göynük	1.0	3.0	5.5	9.8	14.4	17.5	19.8	19.1	15.8	11.4	7.3	2.9	10.9



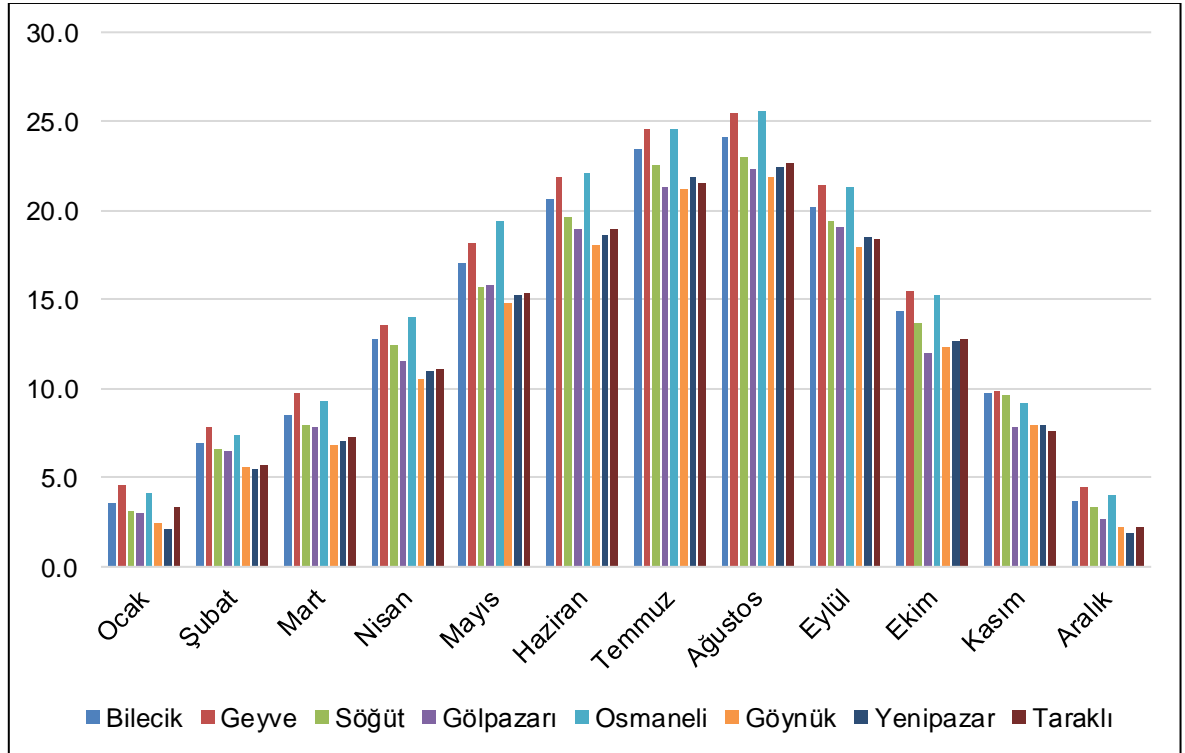
Şekil 3.6. Aylık Ortalama Sıcaklık Grafiği (1965 - 1980)

Tez çalışması kapsamında değerlendirilen bütün istasyonların ortalama sıcaklık parametresini ölçtüğü 2014 – 2016 dönemine ait aylık ve yıllık ortalama sıcaklık değerleri ise Çizelge 3.8’de verilmektedir. Buna göre, yıllık ortalama sıcaklığın en yüksek değeri yine Geyve’de (14.8 °C) ölçülmüştür. Göynük Meteorolojik Gözlem

İstasyonu ise ölçülen 11.8 °C değeri ile yine bölgesel olarak minimum ortalama sıcaklık değerinin gözleendiği istasyondur. Gölpezarı Meteorolojik Gözlem İstasyonu'na ait ortalama sıcaklık değeri ise 12.4 °C'dir. Aylık ortalamaların dağılımı Şekil 3.7'de sunulmuştur.

Çizelge 3.8. Ortalama Sıcaklık Değerleri (2014 - 2016)

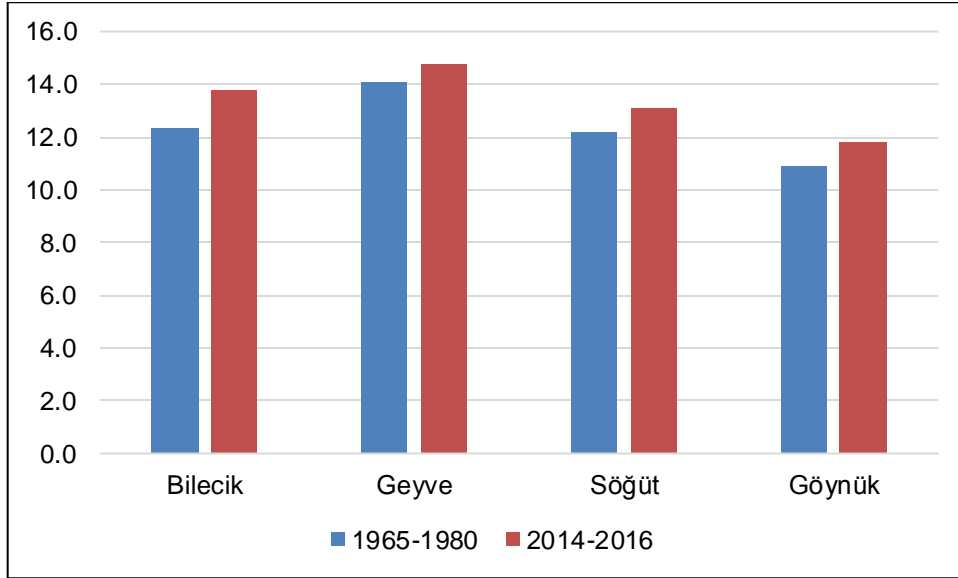
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Bilecik	3.5	7.0	8.5	12.8	17.0	20.7	23.5	24.1	20.2	14.4	9.8	3.7	13.8
Geyve	4.6	7.9	9.8	13.6	18.1	21.9	24.6	25.5	21.4	15.5	9.9	4.5	14.8
Söğüt	3.1	6.6	7.9	12.4	15.7	19.7	22.6	23.0	19.4	13.7	9.7	3.3	13.1
Gölpezarı	3.1	6.5	7.8	11.5	15.8	19.0	21.3	22.4	19.1	12.0	7.8	2.6	12.4
Osmaneli	4.1	7.4	9.4	14.0	19.5	22.1	24.5	25.6	21.3	15.3	9.1	4.0	14.7
Göynük	2.5	5.6	6.9	10.6	14.8	18.1	21.2	21.9	18.0	12.4	8.0	2.3	11.8
Yenipazar	2.1	5.5	7.1	11.0	15.2	18.7	21.9	22.5	18.5	12.7	7.9	1.9	12.1
Taraklı	3.4	5.7	7.3	11.1	15.4	19.0	21.6	22.7	18.3	12.8	7.7	2.3	12.3



Şekil 3.7. Aylık Ortalama Sıcaklık Grafiği (2014 - 2016)

Bölgesel ortalama sıcaklık değerlerinin değerlendirilmesi amacıyla, mevcut veriler göz önünde bulundurularak 1965 – 1980 ve 2014 – 2016 yıllarını kapsayan iki farklı

dönem incelenmiştir. Her iki dönemde de faaliyette bulunan Bilecik, Geyve, Söğüt ve Göynük istasyonlarının ortalama sıcaklık değerleri değerlendirilmiştir. 2014 – 2016 yıllarında ölçülen bölgesel ortalama sıcaklıklar 1965 – 1980 yılına göre daha fazla gözlenmiştir. Buna ek olarak, uzun dönem ortalamada gözlenen sıcaklık ilişkisi son üç yıllık dönemde de gözlenmiştir (Şekil 3.8).

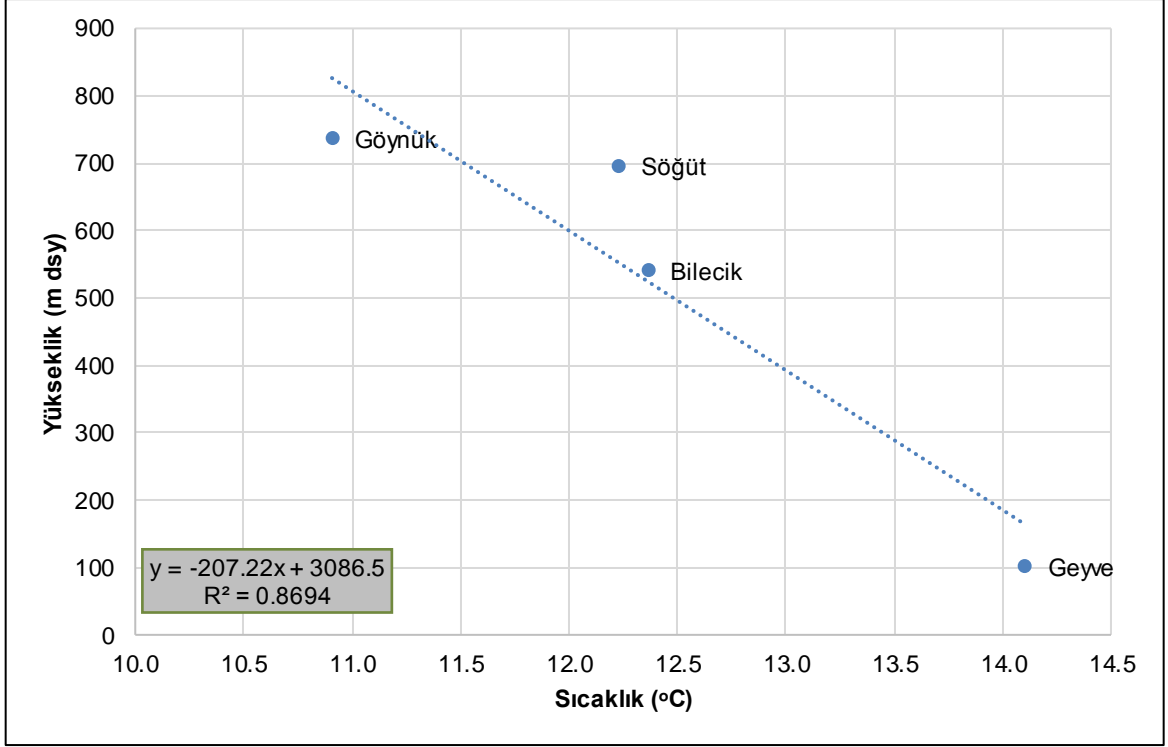


Şekil 3.8. İki Farklı Döneme Ait Sıcaklık Ortalamalarının Karşılaştırılması

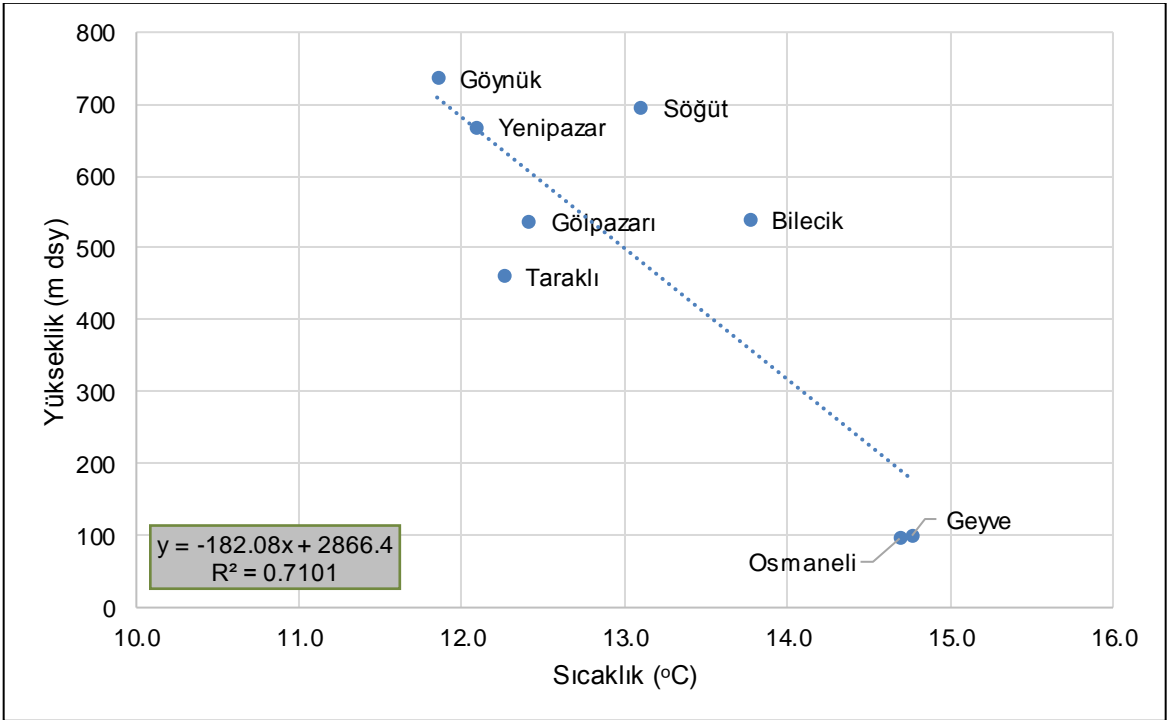
Her iki inceleme dönemine ait yıllık ortalama sıcaklık ile yükseklik değerleri karşılaştırılmıştır. Özet bilgiler Çizelge 3.9'da 1965 – 1980 yıllarına ait değerlendirme Şekil 3.9 ve 2014 – 2016 yıllarına ait değerlendirme ise Şekil 3.10'da verilmektedir.

Çizelge 3.9. Sıcaklık - Yükseklik İlişkisi Özet Tablosu

	Yükseklik (m dsy)	Yıllık Ortalama Sıcaklık (°C)	
		1965 - 1980	2014 - 2016
Bilecik	539	12.4	13.8
Geyve	100	14.1	14.8
Söğüt	695	12.2	13.1
Gölpazarı	537	-	12.4
Osmaneli	96	-	14.7
Göynük	735	10.9	11.8
Yenipazar	668	-	12.1
Taraklı	460	-	12.3



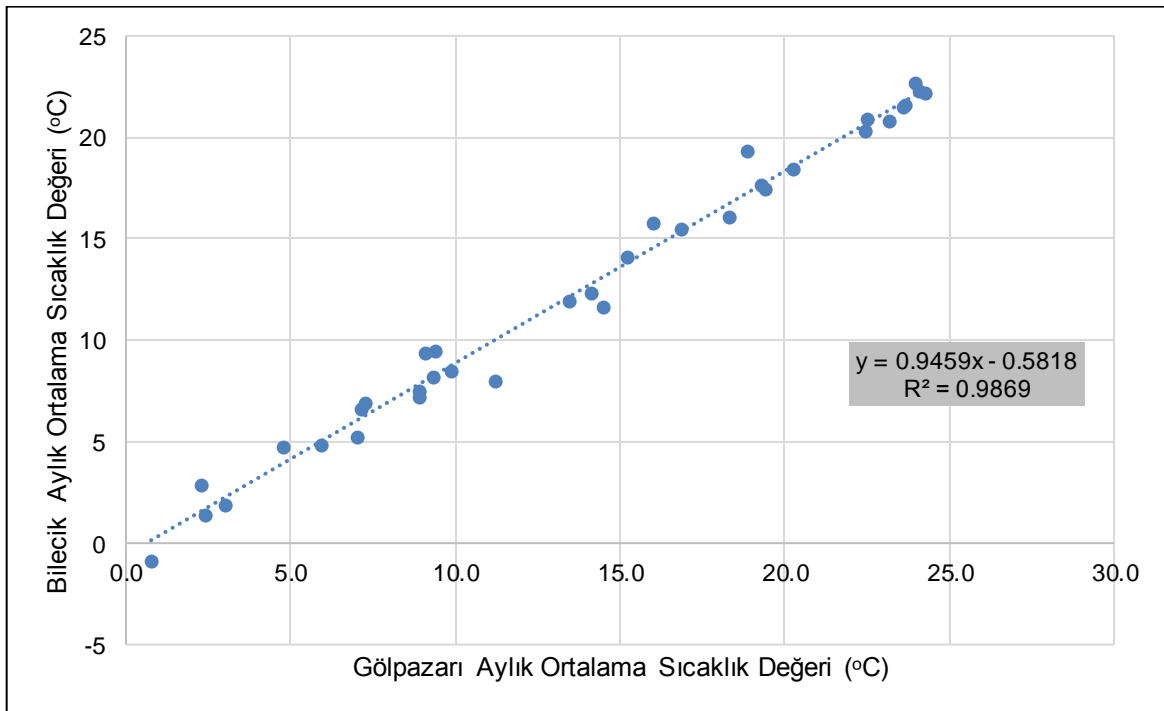
Şekil 3.9. Yükseklik - Sıcaklık İlişkisi (1965 - 1980)



Şekil 3.10. Sıcaklık - Yükseklik İlişkisi (2014 - 2016)

Yapılan her iki değerlendirmede de, sıcaklığın yükseklik ile ters orantılı olduğu görülmektedir. Sırasıyla 96 ve 100 m kotlarında yer alan Osmaneli ve Geyve istasyonları bölgede en yüksek ortalama sıcaklık değerlerinin gözlendiği istasyonlardır. 735 m ile mevcut istasyonlar arasında en yüksek kotta yer alan Göynük Meteorolojik Gözlem İstasyonu ise en düşük ortalama sıcaklık değerlerine sahiptir. 537 m kotundaki Gölpazarı Meteorolojik Gözlem İstasyonu bölgesel trende daha yakın değer alırken, yaklaşık olarak aynı kotta yer alan Bilecik Meteorolojik Gözlem İstasyonu ise (539 m dsy) daha yüksek ortalama sıcaklık değerlerine sahiptir.

Gölpazarı istasyonunun 1964 – 1980 yılı yağış verileri, hidroloji hesaplamalarında kavramsal su btcesinin hesaplanması için kullanılmıştır. Fakat, Gölpazarı istasyonunun aynı döneme ait ortalama sıcaklık değeri bulunmamaktadır. Bu sebeple, yaklaşık olarak aynı yükseklikte bulunan ve ilgili dönemde sıcaklık verisi bulunan tek istasyon olan Bilecik Meteorolojik Gözlem İstasyonu ile Gölpazarı Meteorolojik Gözlem İstasyonu'nun ortak sıcaklık verisine sahip olduğu dönemler için regresyon denklemi oluşturulmuştur (şekil 3.11).



şekil 3.11. Bilecik – Gölpazarı Meteoroloji İstasyonlarının Sıcaklık Korelasyonu (2014 - 2016)

Gölpazarı istasyonunun 1950 – 1992 dönemi için hesaplanan yıllık ortalama sıcaklık değerleri 11 °C olarak belirlenmiştir. Aylık ortalama değerler Çizelge 3.10'da gösterilmektedir.

Çizelge 3.10. Gölpazarı İstasyonu İçin Hesaplanan Ortalama Sıcaklık Değerleri

Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	YILLIK
1.5	2.6	5.3	10.2	14.2	17.8	19.8	19.7	16.5	12.3	7.9	3.7	11.0

4. HİDROLOJİ

4.1. Drenaj Ağı ve Yüzeysel Akış

Çalışma alanı içerisindeki hidrolojik sistemin temel bileşenlerini tanımlamak, yüzeysel sularının davranışını ve yeraltı suyu sistemi ile ilişkisini incelemek adına, havzanın hidrolojik özellikleri değerlendirilmiştir.

Bölgenin hidrolojik karakteristiğini Akçay, Kızılçay gibi sürekli dereler ve bunlara ek olarak hem sulama hem de drenaj amaçlı yapılan yapay kanallar belirlemektedir. Çalışma alanının hakim yüzeysel suları olan Akçay ve Kızılçay dereleri, havzanın doğudaki yüksek kotlarından doğmaktadır. Bu iki yüzeysel suyu Doğancılar mahallesi yakınlarında birleşerek ovaya akmaktadır. Ova içerisinde doğal drenaja ek olarak DSİ tarafından inşa edilen kanallar vasıtasıyla havza dışına boşalmaktadır. Havza dışında, doğu – batı doğrultulu akışa sahip Aşağısürüm Çayı ile birleşerek, akış aşağıda Erbis Deresi'ni oluşturmakta ve Sakarya Nehri'ne dökülmektedir.

Mevcut durumun değerlendirilmesi ve nümerik model sınırlarının belirlenmesi için hidrolojik havza sınırları CBS ortamında belirlenmiştir. Doğal drenaj ağının ve havza sınırlarının belirlenmesi için ArcGIS programının bir eklentisi olan ArcHydro programı kullanılmıştır. Havza sınırlarının belirlenmesi ve doğal akım ağının çıkarılması için, 1/25000 ölçekli 10 metrelik eş yükseklik eğrileri kullanılarak SYM oluşturulmuş ve ilgili hidrolojik analizler yapılmıştır. Gölpazarı Havza alanı 170 km² olarak belirlenmiştir. Bu alanın 35 km²'sini ova düzlüğü kaplamaktadır.

Ova alanında drenaj ağı çok fazla gelişmemiştir. Ovanın doğu ve orta kesimlerinde, DSİ tarafından yapılan ve sulama suyunu iletmek amaçlı kullanılan arklar yer almaktadır.

Ova düzlüğünün batısı Kurşunlu Ovası olarak adlandırılmaktadır. Bu bölge eski bir göl alanı olup hem su potansiyeli hem de tarımsal anlamda verimsizdir. 1963 yılına kadar mevcut olan bu göl, bölgede sıtma hastalığındaki artış sebebiyle, 1947 ve 1962 - 1963 yıllarında DSİ tarafından yapılan drenaj kanalları ile kurutulmuştur [1].

Günümüzde tamamen kuru olan bu bölge, mevsimsel yağışların gerçekleştiği dönemlerde bataklık haline gelmektedir.

Gölpazarı Havzası'nda yer alan hidrolojik unsurları gösterir harita Şekil 4.1'de verilmiştir.

Drenaj kanalları ile kurutulan bu bölge, yeraltısuyu potansiyeli açısından da oldukça elverişsizdir. Göl tabanında çökelen kil boyutunda malzeme, ovanın doğusunda geçirimsiz bir bölge yaratmakta olup, havzanın ortasında yer alan akifer sistemlerinin doğu sınırını oluşturulduğu düşünülmektedir. Kurşunlu ovasına ait 1943 yılında çekilmiş hava fotoğrafı ve günümüz koşulları Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Eski Göl Alanı Hava Fotoğrafı (DSİ, 1943)

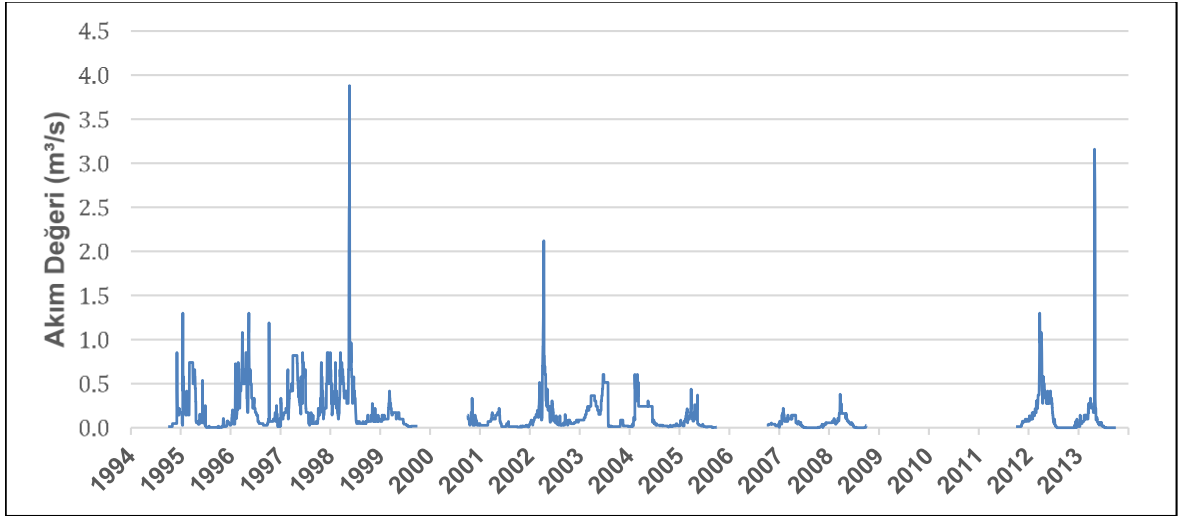


Şekil 4.3. Kurşunlu Ovası Güncel Görünüm

4.2. Akım Ölçümleri

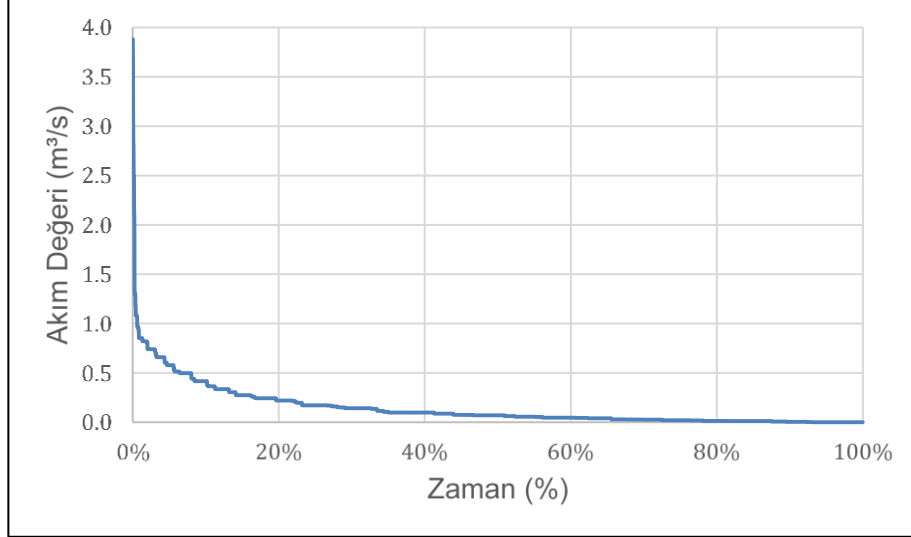
Çalışma alanında yer alan en önemli yüzey suyu Akçay deresi olmakla birlikte, doğu – batı yönlü akışa geçen Akçay deresi üzerinde DSİ tarafından akım gözlem çalışmaları yürütülmüştür. 1995 – 2013 yılları arasında akım ölçümü yapılan 12-210 numaralı Akçay Deresi - Doğancılar Akım Gözlem İstasyonu (AGİ), mevcut durumda inşası tamamlanıp sulama amaçlı su tutmaya başlayan Akçay Barajı'nın planlama çalışmalarında veri toplamak amaçlı kurulmuştur. Barajın inşası ve suyun regüle edilmesiyle birlikte AGİ'de veri toplama işlemlerine son verilmiştir. Tez kapsamında yapılan modelleme çalışmaları, yağış verileri göz önünde bulundurularak, barajın olmadığı koşullar üzerine kurulmuştur.

Doğancılar AGİ'nin yağış alanı 35 km²'dir. Kayıt altında olduğu döneme ait ortalama akım değeri 0.145 m³/s olarak kaydedilmiştir. İstasyona ait günlük akım değerleri Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Akçay Deresi Akım Gözlem Değerleri

AGİ'nin işletildiği 19 yıl boyunca, 2000 ve 2006 yılları ile 2009–2011 yılları arasında ölçüm bulunmamaktadır. Ölçüm yapılan süre içerisinde maksimum günlük ortalama değeri 3.88 m³/s ile 21.05.1998 tarihinde kaydedilmiştir. Ölçümlerin %90'ında 0.4 m³/s'den küçük akım değerleri gözlenmiştir. Akçay Deresi'nde akımın 1 m³/s'yi geçtiği süre ise sadece toplam sürenin %0.6'sıdır. AGİ verilerinden elde edilen debi süreklilik eğrisi Şekil 4.5'de gösterilmektedir.



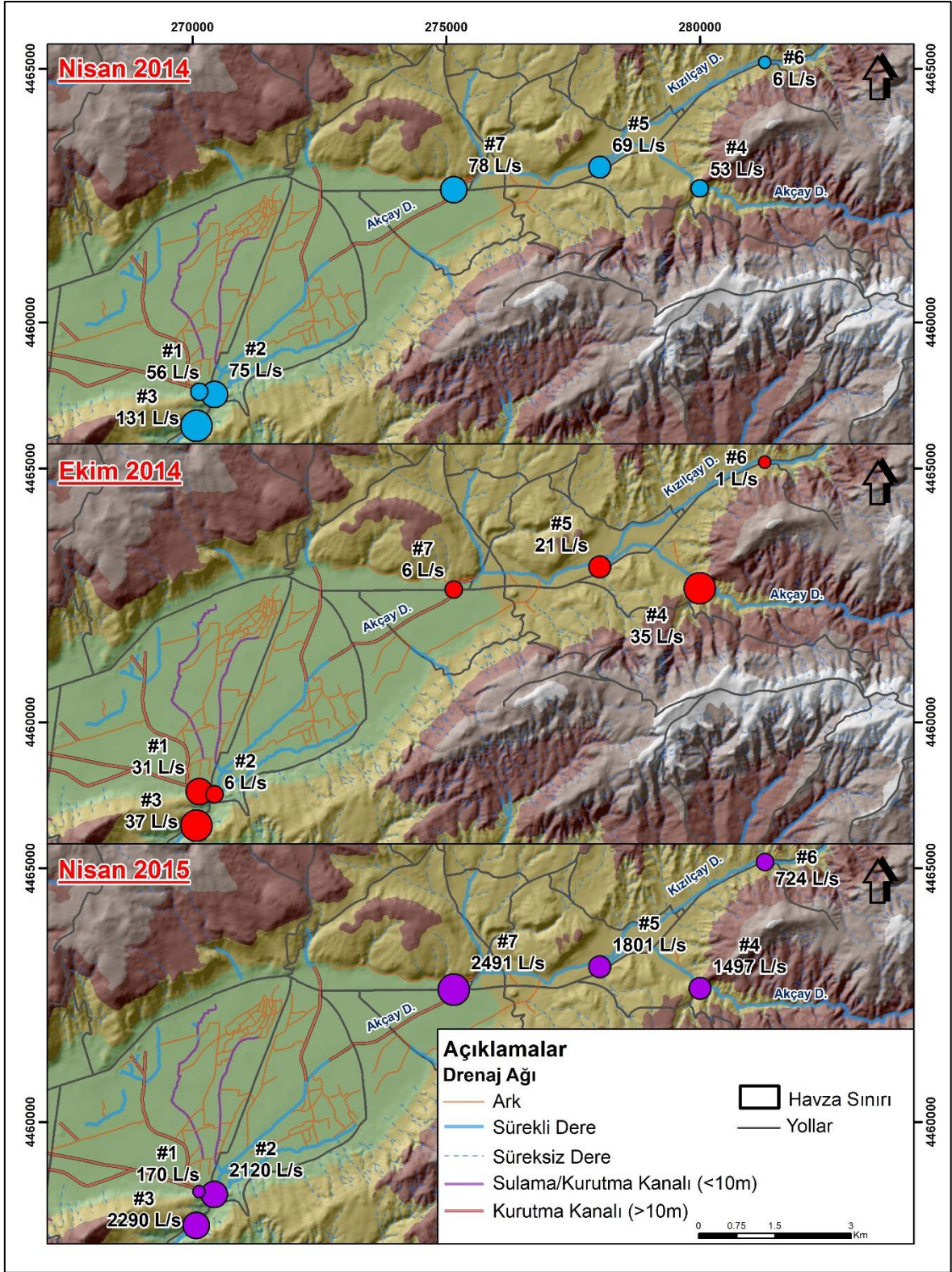
Şekil 4.5. Doğancılar AGİ Debi Süreklilik Eğrisi

DSİ'nin Akçay deresi üzerinde yaptığı uzun dönem sürekli akım gözlemine ek olarak, ALFAR firması tarafından dönemsel olarak 7 noktada anlık akım gözlemi yapılmıştır. Nisan ve Ekim 2014 ile Nisan 2015 yıllarında üç dönem yapılan yüzey suyu gözlem çalışmasında, Akçay Deresi ve Kızılçay Deresi ayrı olarak, birleştikleri noktada, birleşimin ovaya girdiği ve ovoidan çıktığı noktada ve havzanın çıkışında yer alan kurutma kanalında ölçümler yapılmıştır.

İlgili çalışmaya ait özet bilgiler Çizelge 4.1'te, ölçümlerin konumsal dağılımı ise Şekil 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.1. ALFAR Tarafından Ölçülen Yüzeysel Akım Değerleri

Nokta	X	Y	Açıklama	Debi (L/s)		
				Nisan '14	Ekim '14	Nisan '15
1	270376	4458418	Drenaj Kanalı	56	31	170
2	270395	4458224	Akçay D. (Mansap)	75	6	2120
3	270420	4457941	Havza Çıkışı (Drenaj kanalı+Akçay)	131	37	2290
4	279993	4462634	Akçay AGİ	53	35	1497
5	278022	4463058	Akçay D. - Kızılçay D. Birleşimi	69	21	1801
6	281273	4465123	Kızılçay D.	5.6	1	724
7	275146	4462610	Ova Girişi	78	6	2491



Şekil 4.6. Anlık Akım Ölçümlerinin Konumsal Dağılımı

ALFAR tarafından drenaj ağının farklı konumlarında yapılan akım ölçümleri değerlendirilmiştir. 2014 yılında yapılan ölçümlerde, ova giriş ve çıkışında yapılan ölçümler ile alüvyon arasındaki ilişki, arklardaki su tüketim ihtimalinden dolayı net olarak kurulamamaktadır. Bununla beraber, Nisan 2015 döneminde yapılan ölçümlerde, ova girişinde ölçülen akım 2491 L/s iken, ovanın ve havzanın çıkışında bu değer 2120 L/s'ye düşmektedir. 7 ve 2 numaralı ölçüm noktalarına ait akım değerleri karşılaştırıldığında, aradaki mesafede yer alan ark ve tarım faaliyetleri de göz önünde bulundurularak, akım yolu boyunca yüzey suyunun alüvyon örtü tabakayı besleme olasılığı bulunmaktadır.

4.3. Su Bütçesi

Havzanın su bütçesi Eğri Numarası (CN – Curve Number) - Thornthwaite su bütçesi yaklaşımları ile belirlenmiştir.

CN - Thornthwaite Yöntemi

Thornthwaite yöntemi ile aylık sıcaklık ve yağış verisi ve alana özgü solar radyasyon bilgileri kullanılarak potansiyel evapotranspirasyon hesaplanmaktadır. CN metodu, Amerikan Toprak Koruma Servisi (NRCS - Natural Resource Conservation Service) tarafından yağıştan olacak yüzey akışını belirlemek amacıyla geliştirilmiştir [20]. Thornthwaite metodu ile hesaplanan buharlaşma, toprak bütçesi modeli ve CN metodu ile birlikte çalıştırılarak toprakta tutulması gereken su miktarı ve eğri numarasının bağlı olarak oluşabilecek yüzey akışını hesaplamaktadır.

Thornthwaite yöntemi ile potansiyel evapotranspirasyon değeri Eşitlik [4.1]'deki gibi hesaplanmaktadır. Bu eşitlikteki parametreler ise Eşitlik [4.2], Eşitlik [4.3] ve Eşitlik [4.4] yardımıyla bulunmaktadır.

$$ET_p = 16 \left(\frac{10t}{I} \right)^a G$$

Eşitlik [4.1]

$$a = 6.751 * 10^{-7} * I^3 - 7.711 * 10^{-5} * I^2 + 1.791 * 10^{-2} * I + 0.492$$

Eşitlik [4.2]

$$I = \sum_{1}^{12} i$$

Eşitlik [4.3]

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$$

Eşitlik [4.4]

Bu eşitliklerde ET_p , Aylık potansiyel evapotranspirasyon (mm), t , aylık ortalama sıcaklık ($^{\circ}C$), I , yıllık sıcaklık indeksi, G , enlem düzeltme katsayısı olarak tanımlanmıştır.

CN yönteminde yüzey akışı aşağıdaki formüller (Eşitlik [4.5], Eşitlik [4.6] ve Eşitlik [4.7]) ile hesaplanır.

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}$$

Eşitlik [4.5]

$$I_a = 0.2 S$$

Eşitlik [4.6]

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

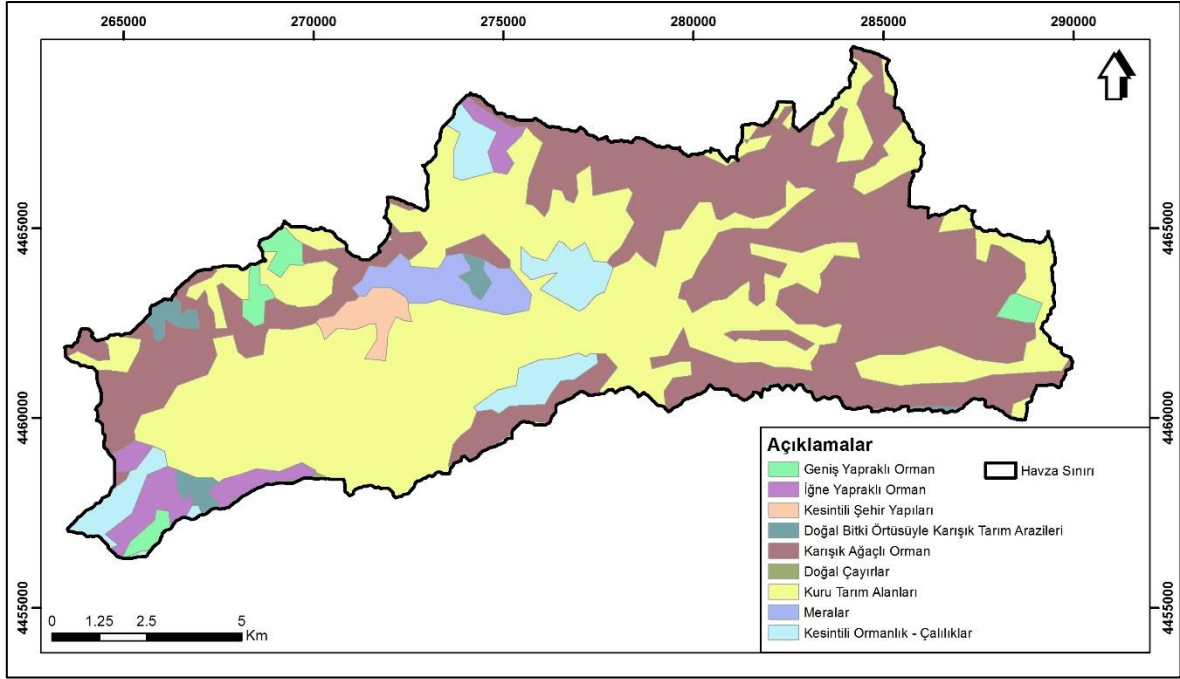
Eşitlik [4.7]

Bu eşitliklerde Q doğrudan akışı, P yağışı, S ise akışın başlamasından sonra maksimum tutulma potansiyelini ifade etmektedir. S ve CN değişkeni yüzey örtüsü / arazi kullanımı ve toprak özelliklerine bağlıdır. Genellikle CN 30 - 100 arasında değişmektedir. Yüksek CN değerleri yüksek potansiyel yüzey akışına işaret etmektedir. Eğri Numaraları, arazi bitki örtüsü ve kullanım şekline ve hidrolojik toprak grubuna bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir. Hidrolojik toprak grupları (HTG), akış ve potansiyel süzülme oranlarına bağlı olarak dört sınıfta değerlendirilmektedir.

- **A Grubu:** İyi drenajlı, akış potansiyeli düşük, doymun olsa da süzölme miktarı fazla olan kum, çakıl, silt gibi zeminler (>90% kum ve <10% kil).
- **B Grubu:** Akış potansiyeli ve süzölme miktarı orta olan zeminler (kumlu lom) (50 - 90% kum ve 10 - 20% kil).
- **C Grubu:** Akış potansiyeli yüksek, süzölme miktarı az olan zeminler (killi lom, siltli kil, silt) (<50% kum ve 20 - 40% kil).
- **D Grubu:** Akış potansiyeli çok yüksek, sızma miktarı çok az zeminler (plastik kil, siltli kil) (<50% kum ve >40% kil).

Gölpazarı Havzası'nın su bütçesinin hesaplanması için gerekli CN katsayısının belirlenmesi için arazi kullanımı ve toprak özellikleri birlikte değerlendirilmiştir. Havzanın arazi kullanım özelliklerini tanımlamak için CORINE Arazi Örtüsü veri setinden yararlanılmıştır. CORINE programı Avrupa Çevre Ajansı (EEA) tarafından yürütülen, uydu görüntüleri ve saha ölçümleri yardımıyla Avrupa ülkelerinin arazi örtüsü veri tabanını oluşturmaktadır. Havzanın toprak özelliklerini değerlendirmek ve Hidrolojik Toprak Grubunu (HTG) belirlemek için ise TOPRAKSU Genel Müdürlüğü tarafından oluşturulan Büyük Toprak Grupları (BTG) sınıflamasına ek olarak uzaktan algılama veri setlerinden de yararlanılmıştır. Toprağın kil ve kum boyu tane içeriğini belirlemek ve havzadaki alansal dağılımını değerlendirmek için Uluslararası Toprak Referans ve Bilgi Merkezi (ISRIC – International Soil Reference and Information Centre) tarafından sağlanan SoilGrids toprak veri tabanından yararlanılmıştır [21].

CORINE veri tabanından alınan arazi örtüsü sınıflarının Gölpazarı Havzası'ndaki alansal dağılımı Şekil 4.7'de verilmiştir. Havza, CORINE verisine göre üç ana gruptan ve 9 farklı alt sınıftan oluşmaktadır. Çalışma alanı temel olarak Orman ve Yarı Doğal Alanlar, Tarımsal Alanlar ve Yapay Yüzeylerden oluşmaktadır. Alt sınıflar incelendiğinde ise havzanın %38.8'inin karışık ağaçlı orman ve %46.7'sinin kuru tarım alanı olarak tanımlandığı görülmektedir (Çizelge 4.2).

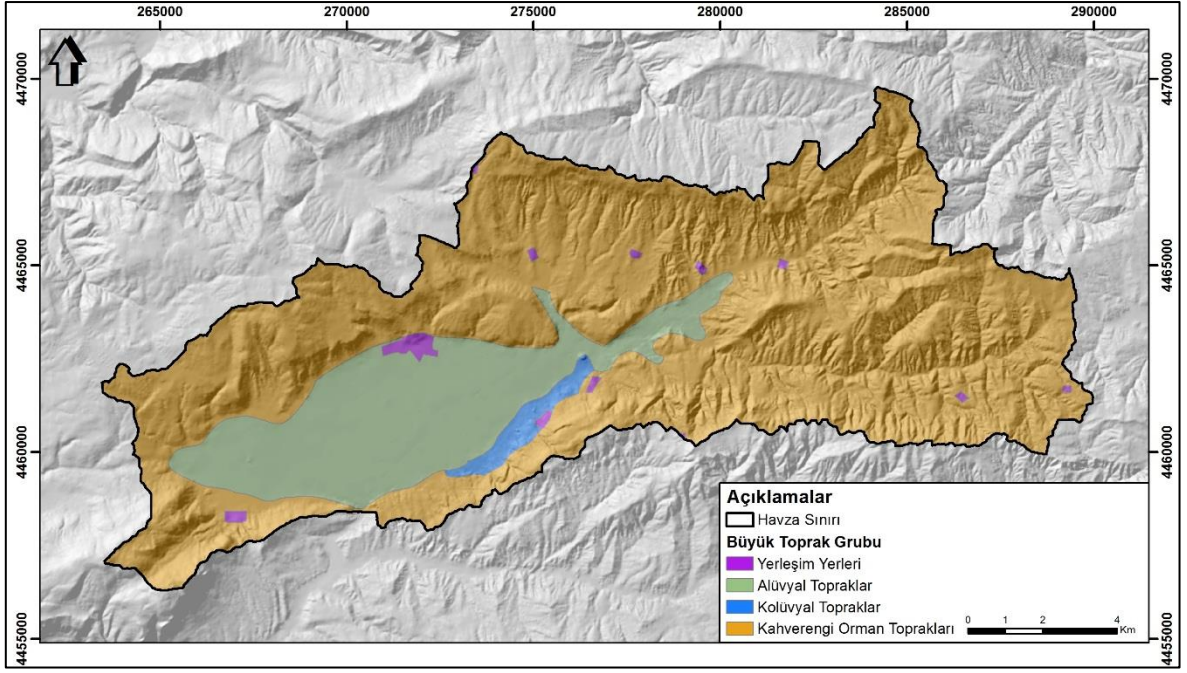


Şekil 4.7. Gölpezarı Havzası Arazi Örtüsü Sınıflaması (CORINE, 2000)

Çizelge 4.2. Gölpezarı Havzası'nda Arazi Örtüsü Dağılımı

Sınıf	Arazi Örtüsü	Alan (km ²)	Yüzdesel Dağılım (%)
Orman ve Yarı Doğal Alanlar	Geniş Yapraklı Orman	2.9	1.7
	İğne Yapraklı Orman	4.9	2.9
	Karışık Ağaçlı Orman	66.5	38.8
	Doğal Çayırlar	0.1	0.1
	Kesintili Ormanlık - Çalılıklar	8.4	4.9
Tarımsal Alanlar	Doğal Bitki Örtüsüyle Karışık Tarım Arazileri	2.4	1.4
	Kuru Tarım Alanları	80.0	46.7
	Meralar	4.0	2.3
Yapay Yüzeyler	Kesintili Şehir Yapıları	2.1	1.2

Gölpezarı Havzası'nın toprak örtüsünün hidrolojik karakteristiğini belirlemek için BTG sınıflaması değerlendirilmiştir. Havza genelinde üç farklı toprak grubu tanımlanmıştır. Bunlardan ilki alüvyal topraklar olup havzanın ova kısmında yer almaktadır. Ova güneyinde kısıtlı bir alanda kolüvyal topraklar yer almakta, havzanın geri kalan ve büyük kısmını ise genellikle kalkerli sedimanlar olarak tanımlanan kahverengi orman toprakları yer almaktadır. Gölpezarı Havzası'nda BTG dağılımı Şekil 4.8'de verilmiştir.

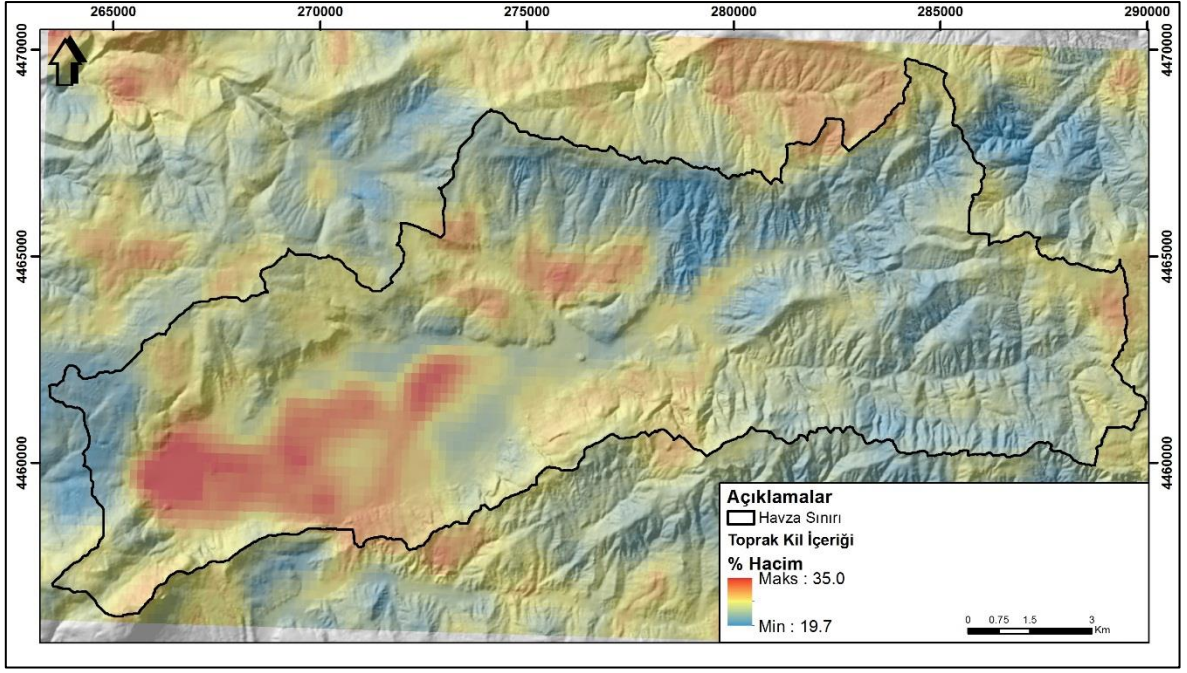


Şekil 4.8. Gölpaşarı Havzası Büyük Toprak Grubu (BTG) Dağılımı

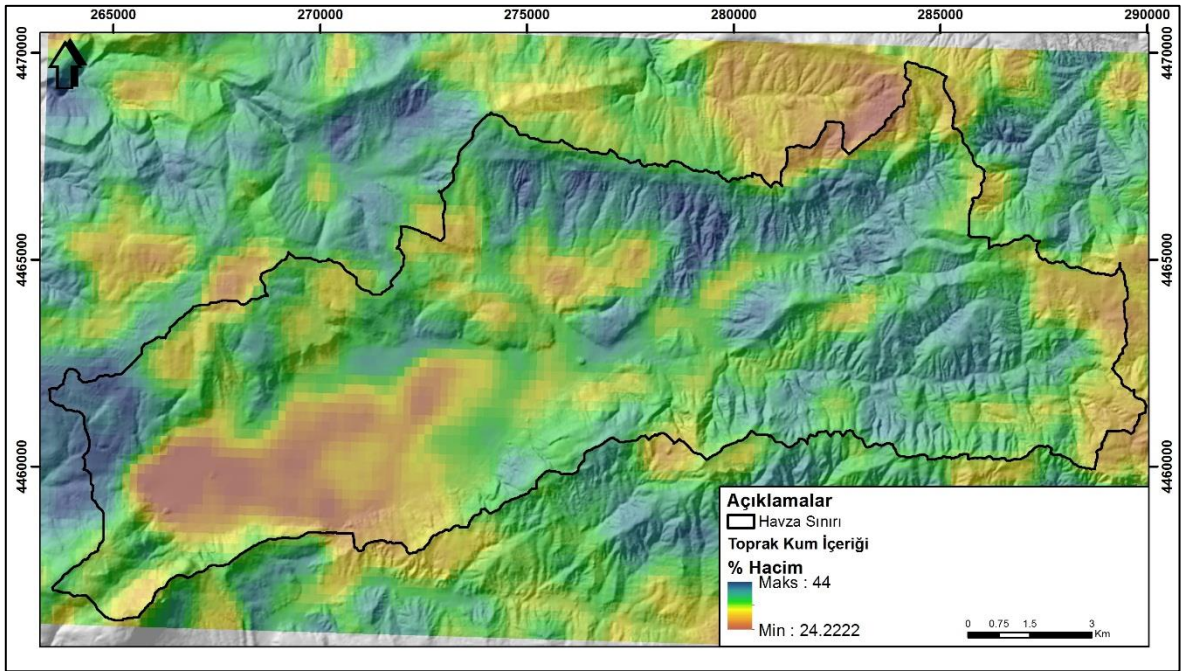
BTG sınıflaması toprağın genel karakteristiği için önemli bir veritabanı olmakla birlikte, toprağın hidrolojik özelliklerini tanımlamak için yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple, ISRIC tarafından saha ölçümleri ve uzaktan algılama verilerinin birlikte derlenmesi ile oluşturulan SoilGrids veritabanından yararlanılmıştır [21]. HTG karakteristiğini tanımlamak için kullanılan bu yaklaşımda, toprak örtüsünün kil ve kum boyu tanelerinin yüzdesel içeriğini veren uzaktan algılama verileri değerlendirilmiştir.

Havzanın jeolojik sürecinin değerlendirildiği bölümlerde, havza batısında yer alan eski göl tabanından ve bu alanın su potansiyeli açısından verimsiz olduğuna değinilmiştir. SoilGrids sisteminden temin edilen verilerde de tanımlanan alanın havza içerisinde en yüksek kil içeriğine sahip alan olduğu görülmüştür. Çalışma alanı toprak örtüsünün hidrolojik toprak grupları, saha ölçümlerine alternatif bir yaklaşımla uzaktan algılama verileri yardımıyla tanımlanmıştır.

Gölpaşarı Havzası'nın uzaktan algılama yöntemleri ile belirlenen hacimsel kil ve kum boyu tane içerikleri sırasıyla Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Toprak Kil İçeriği [21]



Şekil 4.10. Toprak Kum İçeriği [21]

Uzaktan algılama verileri doğrultusunda, saha genelinde kil içeriğinin maksimum % 35 ve minimum %19.7 olduğu görülmektedir. Eski göl tabanı ve alüvyon alanında genel olarak yüksek kil içeriğine sahip havzanın kuzeydoğusu ve doğusu görece daha düşük kil oranına sahiptir. Buna ek olarak, havzada kum boyu tane içeriği %44 ile % 24 arasında değişmektedir. Kil oranının aksine, kum boyu tane oranı havzanın kuzeydoğusunda ve yüksek kottlara yayılmaktadır.

TOPRAKSU Genel Müdürlüğü'nün hazırladığı BTG sınıflaması ile SoilGrids sisteminden temin edilen kil ve kum içerikleri Hidrolojik Toprak Grubu tanımları göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Havza genelinin görece yüksek yüzeysel akış potansiyeli içeren C grubu (<%50 kum ve %20 – 40 kil içeriği) olduğu belirlenmiştir.

Arazi sınıflaması ve belirlenen hidrolojik toprak grubu yardımıyla, havzanın kavramsal su bütçesinde önemli bir parametre olan CN katsayısı değerlendirilmiştir. Gölpazarı Havzası'nın CN katsayısı, CORINE arazi örtüsü gruplarının C grubu hidrolojik toprak için tanımlanan CN değerleri ile alana bağlı ağırlıklı ortalama alınarak 78 hesaplanmıştır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Gölpazarı Arazi Örtüsü Grupları İçin CN Katsayıları

Arazi Örtüsü	Alan (km ²)	Hidrolojik Toprak Grupları (HTG)			
		A	B	C	D
Geniş Yapraklı Orman	2.9	36	60	73	79
İğne Yapraklı Orman	4.9	36	60	73	79
Karışık Ağaçlı Orman	66.5	36	60	73	79
Doğal Çayırlar	0.1	49	69	79	84
Kesintili Ormanlık - Çalılıklar	8.4	43	65	76	82
Doğal Bitki Örtüsüyle Karışık Tarım Arazileri	2.4	64	75	83	86
Kuru Tarım Alanları	80.0	64	75	83	86
Meralar	4.0	49	69	79	84
Kesintili Şehir Yapıları	2.1	61	75	83	87

Gölpazarı Havzası'nın su bütçesi, 1950 – 1992 yılları arası uzun dönem ortalama yağış ve sıcaklık verileri ile hidrolojik toprak özelliklerini temsil edecek şekilde hesaplanmıştır. Buna göre, Gölpazarı Havzası'na düşen yağışın uzun dönemde % 71'inin gerçek buharlaşma, % 21.7'sinin yüzeysel akış ve geri kalan % 7'sinin sızma olduğu hesaplanmıştır. Hesaplama detayları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Su Bütçesi Hesaplama Detayları

Parametre	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK		
T (°C)	1.5	2.6	5.3	10.2	14.2	17.8	19.8	19.7	16.5	12.3	7.9	3.7	11.0	Ortalama
i	0.2	0.4	1.1	2.9	4.9	6.8	8.0	8.0	6.1	3.9	2.0	0.6	44.9	
a _i	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	14.4	
UPET	4.4	8.4	19.4	42.6	63.8	83.8	95.0	94.7	76.5	53.4	31.5	12.8	586.5	
PET	3.8	7.1	20.0	47.3	78.5	103.9	119.7	111.8	79.6	51.3	26.5	10.5	659.9	
r : aylık düzeltme	0.9	0.8	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.2	1.0	1.0	0.8	0.8		
P (mm)	60.9	51.9	54.3	46.1	45.2	31.9	14.3	13.3	21.6	33.3	42.4	71.0	486.2	Toplam
ST	83.9	100.0	100.0	89.6	58.5	27.5	9.6	3.6	2.0	1.6	9.6	45.1		
DELTA ST	38.8	16.1	0.0	-10.4	-31.1	-31.0	-17.9	-6.0	-1.6	-0.4	8.0	35.5		
AET	3.8	7.1	20.0	46.7	67.0	59.4	32.2	19.3	22.6	29.7	26.5	10.5	344.7	71%
Yağış Fazlası (P-AET)	18.3	28.7	34.3	9.8	9.3	3.5	0.0	0.0	0.7	4.0	7.9	25.0	141.5	
Yüzeysel Akış	18.3	12.9	14.3	9.8	9.3	3.5	0.0	0.0	0.7	4.0	7.9	25.0	105.7	22%
Süzülme	0.0	15.8	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.8	7%

Not: Tablodaki değerler CN - 78 ve başlangıç toprak neminin 100 değeri olduğu varsayımına dayanmaktadır.

Kısaltmalar:

T (°C): Sıcaklık

PET: Potansiyel Buharlaşma - Terleme

DELTA ST: Depolamadaki Değişim

i: T<0 için i=0

P: Yağış

I: Süzülme

UPET= 1.6(10t/l)^a

C_{R/D}: Yüzeysel Akış katsayısı

ST: Toprak Nem İçeriği

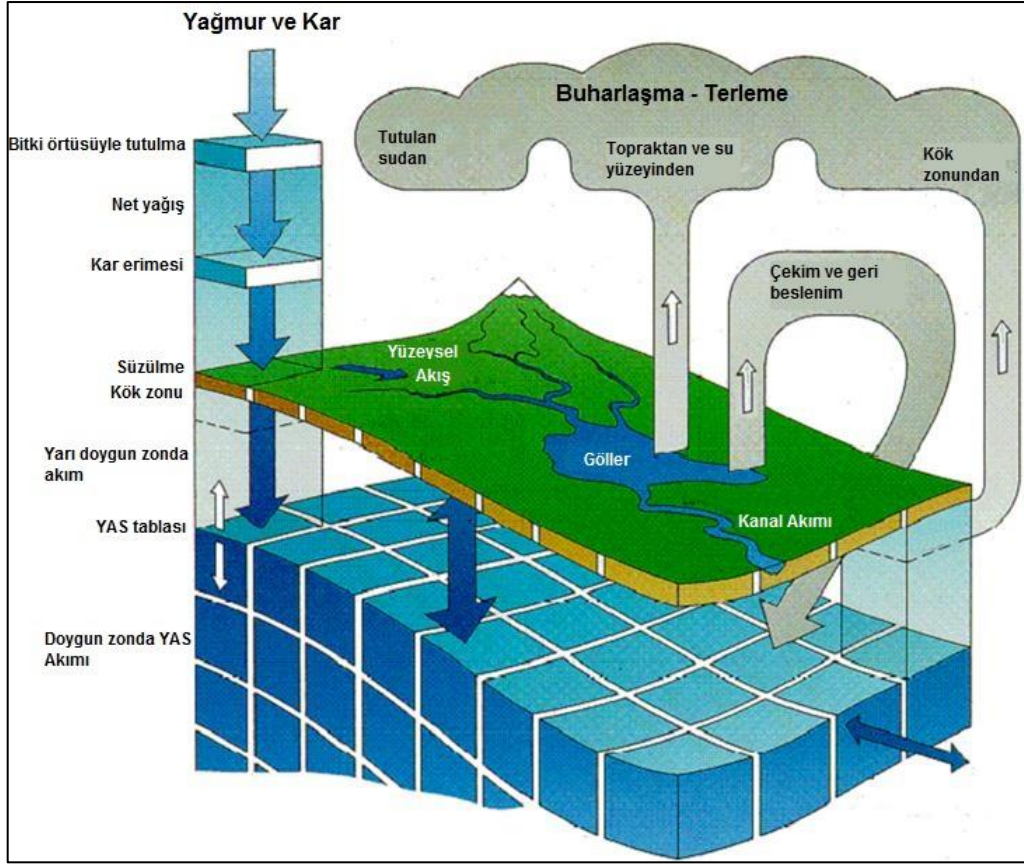
5. MIKE SHE ve BÜTÜNLEŞİK MODEL

5.1. MIKE SHE Model Kurgusu

Bu başlık altında, tez çalışmasında kullanılan MIKE SHE bütünleşik modeli detayları ile değerlendirilmiştir. Freeze ve Harlan [22], hidrolojik döngü için taslak bir model geliştirmiş olup, farklı akım süreçlerini kısmi diferansiyel yöntemler ile tanımlamıştır. 1977'den sonra DHI (Danish Hydraulic Institute), İngiliz Hidroloji Enstitüsü (British Institute of Hydrology) ve SOGREAH (Fransız Çevre Danışmanlık Firması) kurumları tarafından oluşan bir konsorsiyum, Système Hydrologique Européen (SHE) adı ile Freeze ve Harlan'ın taslak çalışmalarını baz alarak bütünleşik hidrolojik modeli geliştirmiştir. 1980'in ortalarından günümüze SHE modeli MIKE SHE adıyla DHI firması tarafından geliştirilmektedir [23].

MIKE SHE modeli fiziksel tabanlı, dağılımı ve bütünleşik bir havza modelleme programıdır [13]. Modelin fiziksel tabanlı ve hidrolojik döngü unsurlarının bütünüyle etkileşimini ifade eden bütünleşik yapıda olmasının amacı, geleneksel yağış/akım modellerinin karmaşık hidrolojik sistemlerin modellenmesinde, özellikle insani aktiviteler ve arazi kullanımlarının değiştiği sistemlerde yeterli olmaması sebebiyle ortaya çıkan ihtiyaçtır.

Hidrolojik döngü, yağışın yüzeye yağmur ya da kar olarak düştüğü andan itibaren ele alınacak olursa, gelen yağışın bir miktarı bitki yüzeyinde tutulacak ve buharlaşacaktır. Kalan suyun bir kısmı doymun olmayan zona süzülecek, bir kısmı da yüzeysel akışa geçerek derelere katılacaktır. Bitki köklerinin erişebildiği derinliğe kadar gerçekleşen transpirasyon süreci de su kaybına yol açacak olup, geriye kalan su yeraltısu sistemine beslenme olarak katılacak veya baz akım olarak derelere boşalacaktır. Dereler, göller, deniz ve okyanuslardan tekrar buharlaşan su, hidrolojik döngüyü tamamlayarak tekrar yağış olarak sisteme girecektir. MIKE SHE modeli ise, hidrolojik döngüde yer alan tüm sistemleri ve birbirleri ile olan etkileşimi zaman ve konuma bağlı olarak modellemektedir. Modelin bütünleşik yapısını ve hidrolojik unsurların ilişkisi kavramsal olarak Şekil 5.1'de verilmektedir [23].



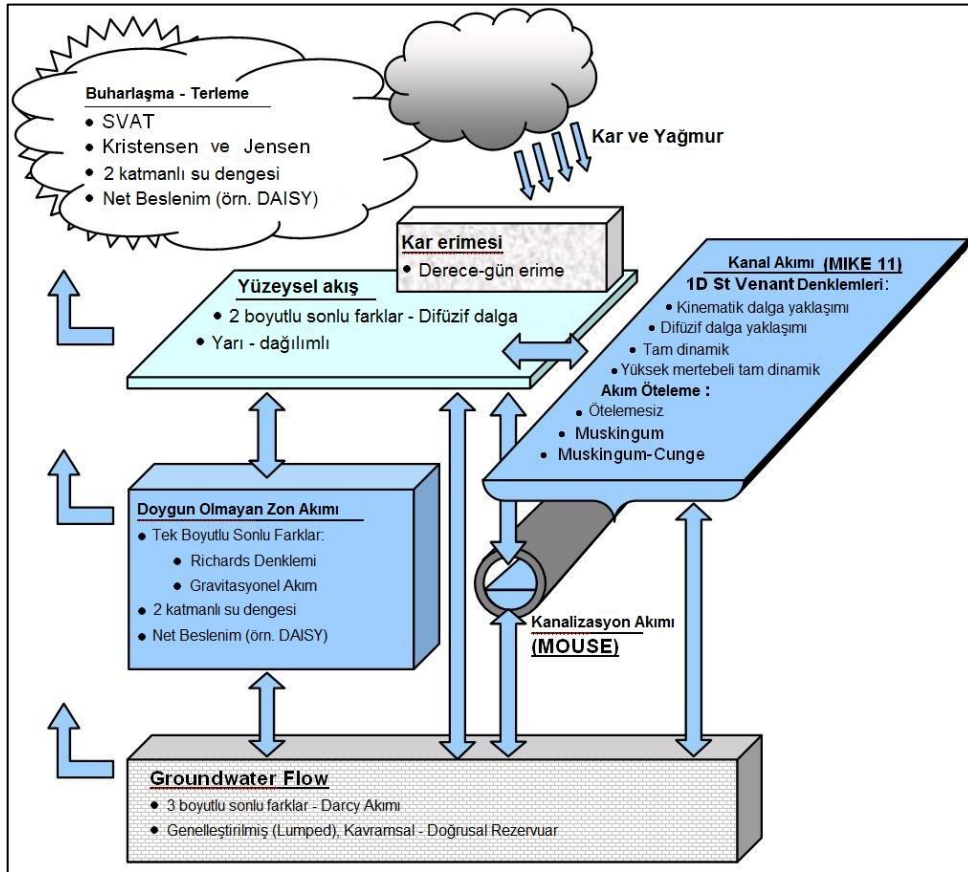
Şekil 5.1. MIKE SHE Modelinin Kavramsal Yapısı ([26]'dan Değiştirilerek Alınmıştır)

Hidrolojik döngü, yağışın yüzeye yağmur ya da kar olarak düştüğü andan itibaren ele alınacak olursa, gelen yağışın bir miktarı bitki yüzeyinde tutulacak ve buharlaşacaktır. Kalan suyun bir kısmı doymun olmayan zona süzülecek, bir kısmı da yüzeysel akışa geçerek derelere katılacaktır.

MIKE SHE modeli modüler yapıya sahip olup, birbirinden bağımsız ya da birbiri ile etkileşimde çalışabilme esnekliğine sahip modüllerden oluşmaktadır. Temel olarak Su Hareketi (WM) ve Adveksiyon - Dispersiyon Su Kalitesi (AD) olarak iki ayrı başlık mevcuttur. Tez kapsamında taşınım süreçlerine değinilmemiş, yüzey suyu ve yeraltısuyunun zamana ve konuma bağlı hareketleri WM paketi kullanılarak çalışılmıştır. WM paketi, kendi içerisinde 6 ayrı modül olarak tasarlanmıştır. Yüzey sularının ve drenaj ağının detayları MIKE 11 programı ile ayrıca tasarlanmış ve SHE modeli ile eşleştirilmiştir. WM ana paketi altındaki modüller aşağıda listelenmiştir;

- Yüzeysel Akış (OL)
- Nehir ve Göller (OC)
- Doygun Olmayan Akış (UZ)
- Evapotranspirasyon (ET)
- Doygun Akış (SZ)

Belirtilen modüllerin her biri tek başına kullanılabilir gibi, paketlerin tümü ya da bir kısmı birlikte çalışabilmektedir. Her modülün altında, basitten karmaşığa doğru giden çözüm teknikleri mevcuttur. MIKE SHE'nin modüler ve esnek yapısı sonucunda, mevcut verinin kapsamı ve çözülecek problemin karmaşıklığı doğrultusunda farklı metodolojiler kullanılarak sistem temsil edilebilmektedir. MIKE SHE'de yer alan modüller ve sayısal motorların listesi şematik olarak Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. MIKE SHE'nin Modüler Yapısı ve Şematik Gösterimi ([26]'dan Değiştirilerek Alınmıştır)

5.2. MIKE SHE Modülleri

Gölpazarı Havzası'nın bütünleşik nümerik modeli, hidrolojik döngünün yeraltısuyuna beslenme sınır koşulunu da kapsayacak şekilde kurulmuştur (yüzeysel akış, kanal akışı, evapotranspirasyon, doymun olmayan zon). MIKE SHE programı içerisinde yer alan modüller ve ilgili çözüm motorları, mevcut veriler doğrultusunda değerlendirilmiş ve uygun metodoloji seçilmiştir. Gölpazarı Havzası için kurulan bütünleşik modelde seçilen modüller ve metodolojiler Çizelge 5.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 5.1. MIKE SHE Modülleri ve Seçilen Metodolojiler

Hidrolojik Bileşen	Modül Kodu	Metodoloji
Yüzeysel Akış	OL	Sonlu Farklar Metodu
Kanal Akışı	OC	1D - St. Venant Yaklaşımı (MIKE 11)
Yarı Doymun Akış	UZ	Richard Eşitliği
Evapotranspirasyon	ET	Kristensen - Jensen Metodu

5.2.1. Yüzeysel Akış (OL - Overland Flow)

Yüzeysel akış modülü, havzaya düşen yağışın tutulma ve buharlaşmadan geriye kalan net yağışın yarı doymun zona iletilmeyen kısmını hesaplamak için kullanılır. Yüzeysel akış, topoğrafya, akışa karşı direnç, buharlaşma ve akım yolu üzerindeki süzülmenin etkisi altında kalan bir süreçtir. Yağışın yüzeysel akışa geçiş sürecini tanımlamak için MIKE SHE programında iki farklı metot kullanılmaktadır. Bunlardan ilki St. Venant eşitliğinin difüzyif dalga yaklaşımı, ikincisi ise basitleştirilmiş yüzeysel akış iletim metodudur.

Tez kapsamında, St. Venant eşitliğinden türetilen difüzyif dalga yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşım, tamamen dinamik olan St. Venant denkleminin karmaşıklığını gidermek için uygulanmıştır [24]. Bu metodoloji için gerekli veriler, Manning katsayısı, tutulma depolaması ve ilksel su derinliği parametreleridir (Eşitlik [5.1]).

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

Eşitlik [5.1]

Eşitlikte h, zemin yüzeyinin üzerindeki akış derinliğini, u ve v sırasıyla x ve y yönlerindeki akış hızlarını, q, yüzeysel akış net girdisini ifade etmektedir.

St. Venant eşitliği ve Manning's Katsayısının difüzyon dalga yaklaşımı ile sadeleştirilmiştir (Eşitlik [5.2] ve Eşitlik [5.3]).

$$uh = k_x \left(-\frac{\partial z}{\partial x} \right)^{1/2} h^{5/3}$$

Eşitlik [5.2]

$$vh = k_y \left(-\frac{\partial z}{\partial y} \right)^{1/2} h^{5/3}$$

Eşitlik [5.3]

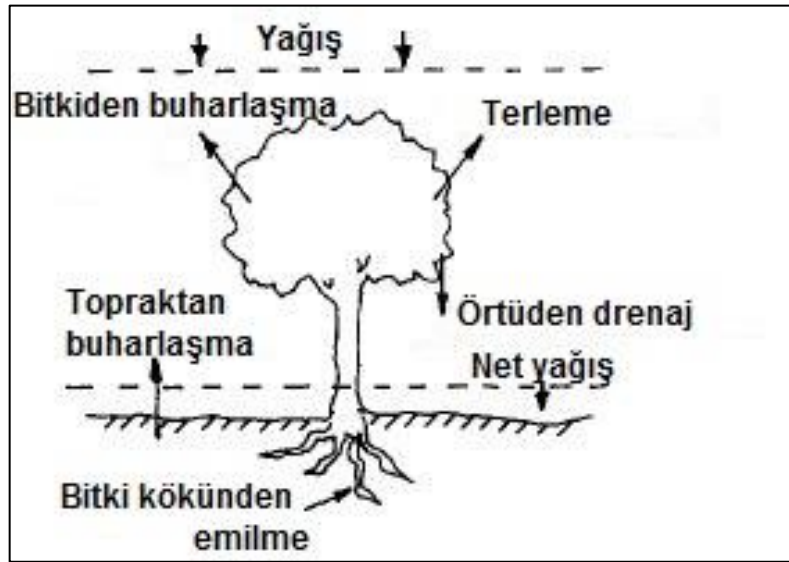
Bu eşitliklerde uh ve vh, sırasıyla x ve y yönlerinde hücre sınırı boyunca birim uzunluk başına deşarjı (m²/s), k_x ve k_y, sırasıyla x ve y yönlerinde Strickler katsayısını (Manning M), h, akış derinliğini (m), z ise zemin yüzeyinin seviyesini ifade etmektedir.

5.2.2. Kanal Akışı

Yüzeysel akış ile toplanan sular dere ve nehir gibi drenaj kanallarında toplanmaktadır. MIKE SHE modeli, yüzey suları ve yeraltısuları arasındaki beslenme boşalım ilişkisini hesaplama kapasitesine sahiptir. Bu farklı sistemler arasındaki girdi ve çıktılar MIKE SHE ve MIKE 11 programlarının eşlenmesi yardımıyla gerçekleştirilir.

5.2.3. Tutulma ve Evapotranspirasyon

MIKE SHE modelinin bu bileşeni, meteorolojik girdileri ve bitki örtüsünü temsil eden parametreleri kullanarak toplam evapotranspirasyon ve geriye kalan net yağış miktarını hesaplamak için kullanılmaktadır. Bu süreçte, yağışın bitki örtüsü tarafından tutulması, bitki örtüsünden süzülme, bitki ve toprak yüzeyinden buharlaşma, bitki kökü tarafından alınan suyun buharlaşması (transpirasyon) süreçlerini kapsamaktadır [13]. Tutulma ve evapotranspirasyon süreçlerinin kavramsal gösterimi Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4. Tutulma ve Evapotranspirasyon Süreçlerinin Şematik Gösterimi ([13]'ten Değiştirilerek Alınmıştır)

Tutulma bileşeni, yağışın bitki örtüsünden yüzeye ulaşan net yağış miktarını, bitki örtüsü depolama miktarını ve bitki yüzeyinden buharlaşmayı belirlemektedir. Tutulma depolama kapasitesi, bitki tipi, bitkinin gelişim evresi ve yoğunluğu ile diğer iklimsel koşullarına bağlıdır [13].

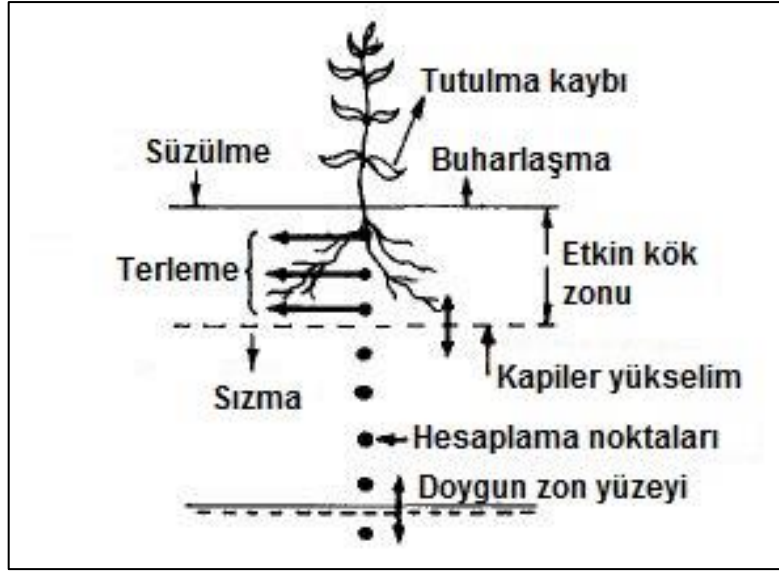
Evapotranspirasyon bileşeni ise toprak ve su yüzeylerinden gerçekleşen buharlaşma (evaporasyon) ile bitki yapraklarından buharlaşma (transpirasyon) miktarını hesaplamaktadır. Hesaplanan bu miktar gerçek buharlaşma değeri olup, modelin genel su bütçesinde çıktı olarak yer alan bir sınır koşuludur.

MIKE SHE modeli, tutulma ve evapotranspirasyon bileşenlerini hesaplamak için iki farklı metot sunmaktadır. Bunlardan ilki daha kapsamlı olan Kristensen - Jensen metodu olup, tez kapsamında bu metodoloji kullanılmıştır. Buna ek olarak, 2 Katmanlı UZ/ET modülünde sadeleştirilmiş bir evapotranspirasyon metodu yer almaktadır.

Kristensen ve Jansen'in [25] yılında geliştirdiği ampirik eşitlik, kök derinliğindeki gerçek evapotranspirasyon ve gerçek toprak nemini hesaplamaktadır. Hesaplamalarda, ilgili orta sıcaklığının her zaman 0°C olduğu varsayılmıştır [24]. Bu metodolojide, Yaprak Alan İndeksi (LAI – Leaf Area Index) ve Bitki Kök Derinliği (RD – Root Depth) parametreleri konumsal ve zamana bağlı olarak MIKE SHE modeline girilmiştir. LAI parametresi zemin yüzeyinin birim alanına düşen yaprakların alanını ifade etmektedir. Kök Derinliği parametresi ise, kök bölgesindeki maksimum aktif kök derinliği olarak tanımlanmıştır. Bitki kökünün ulaştığı derinlik miktarı, doymun olmayan zonda zamana bağlı değişen su seviyesi ile bağlantılı olarak evapotranspirasyon miktarını kontrol etmektedir.

5.2.4. Doymun Olmayan Zon

Doymun olmayan zon MIKE SHE model yapısının tam merkezinde, yüzeysel akış ve buharlaşma süreçleri ile yeraltısuyu tablasının arasındaki geçiş sürecini tanımlamaktadır. Genelde heterojen karakteristiğe sahip doymun olmayan zon, toprak nemindeki döngüsel dalgalanmaları ifade etmektedir. Bu dalgalanmalara sebep olan girdi yağışın sistemi beslemesi iken, buharlaşma ve yeraltısuyuna beslenim miktarları doymun olmayan zondan çıktıkları temsil etmektedir. Doymun olmayan zonda gerçekleşen akım, yer çekiminin infiltrasyon sürecinde hakim güç olduğu esas alınarak, düşey yönlü gerçekleşmektedir. Bu süreç, MIKE SHE programında 1 boyutlu olarak irdelenmektedir [24]. Doymun olmayan zon ve etkileşimdeki sistemlerin kavramsal gösterimi Şekil 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5.5. Doymun Olmayan Zon Bileşenlerinin Kavramsal Gösterimi ([13]'ten Değiştirilerek Alınmıştır)

Doymun olmayan zondaki akımın hesaplanması için MIKE SHE modelinde üç farklı metodoloji sunulmaktadır. Bunlar, Richards Eşitliği, Basitleştirilmiş Yerçekimi Akım Prosedürü ve sıg su tablası için geçerli olan 2 Katmanlı Su Dengesi Metodudur. Tez kapsamında yürütülen model çalışmasında, Richards Eşitliği kullanılmıştır.

Richards Eşitliği, yarı doymun zondaki tüm fiziksel süreçleri en detaylı ve hassas şekilde temsil eden, bununla beraber en fazla girdiye ihtiyaç duyulan yaklaşımdır. Darcy yasası ve süreklilik ilkesini temel alan Richards Eşitliği, nümerik olarak sonlu farklar yaklaşımı kullanılarak çözülmüştür (Eşitlik [5.6]).

$$C \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K(\theta) \frac{\partial \Psi}{\partial z} \right) + \frac{\partial K(\theta)}{\partial z} - S$$

Eşitlik [5.6]

Burada C, toprak su kapasitesi (mm^{-1}), $\Psi(\theta)$, toprak nemi çekilme eğrisi (mm), $K(\theta)$, hidrolik iletkenlik katsayısı (mm/s), z, yerçekimi yükü (mm), S ise kök çekimi olarak tanımlanmıştır.

6. SAYISAL MODEL

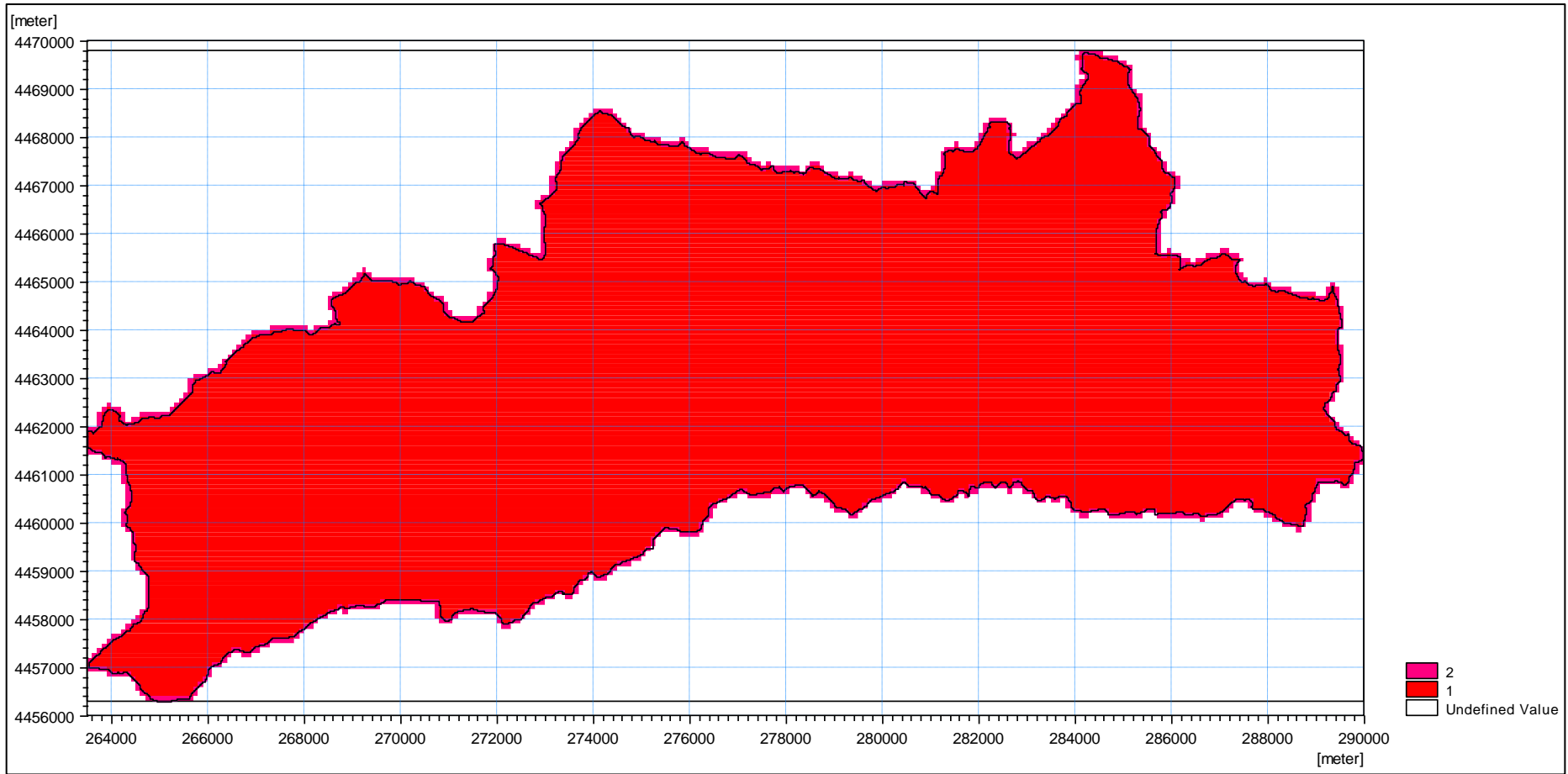
Bu bölümde, önceki bölümlerde değerlendirilen mevcut veriler doğrultusunda oluşturulan kavramsal modelin nümerik değerlendirilmesi ve model sonuçları detaylarıyla verilmiştir. Bu kapsamda, verilerin MIKE SHE modeline aktarımı, model bileşenlerinin oluşturulması ve model sonuçları değerlendirilmiştir.

6.1. Model Sınırları ve Hücre Yapısı

MIKE SHE'nin bütünleşik bir model olması ve yüzey suları ile yeraltısuyu sisteminin birlikte modellendiği bir yaklaşıma sahip olması sebebiyle, model sınırları Gölpazarı havza sınırları olarak belirlenmiştir. Havzaya düşen yağışın tamamı, tutulma, buharlaşma ve yeraltısuyuna süzülme aşamalarından sonra havza mansabında akışa dönüşeceği için, topoğrafik veriler yardımıyla havza sınırları belirlenmiş ve MIKE SHE'ye model sınırı olarak aktarılmıştır. 1/25000 ölçekli jeoloji haritası, kesitler ve kuyu loglarının detaylı incelenmesi sonucu jeolojik birimlerin yeraltındaki yayılım ve uzanımı da değerlendirilmiştir. Havza içerisinde görülen ve havzanın dışında da (model sınırı dışı) yayılımı devam eden birimlerin hidrolojik koşulları ve genel hidrolojik sisteme etkisi, sınır koşulları kullanılarak matematiksel olarak ifade edilmeye çalışılmıştır.

Gölpazarı Havzası için kurulan MIKE SHE modeli, 100 m'lik hücre boyutunda oluşturulmuştur. Hidrolojik sistem yatayda $NX = 286$ ve $NY=135$ olacak şekilde toplam 35910 hücreden oluşmaktadır.

Gölpazarı Havzası'nın model sınırları Şekil 6.1'de verilmiştir. 1 kodlu alanlar aktif model alanını, 2 kodlu alanlar ise model sınırlarını tanımlamaktadır. Bu alanın dışında kalan tanımlanmamış alan ise aktif olmayan hücreleri kapsamaktadır.



Şekil 6.1. MIKE SHE Model Sınırı

6.2. Model Bileşenleri ve Girdiler

MIKE SHE'nin modüler yapısı ve modüllerin altında sunduğu farklı detaydaki çözüm teknikleri sebebiyle, modelin kurulumu için ihtiyaç duyulan veri seti sayısı değişkenlik göstermektedir. Gölpazarı Havzası'nın bütünleşik modelinin kurulumu için gerekli verinin bir kısmı çeşitli kamu kurum ve kuruluşların veri tabanından temin edilmiştir. Saha ölçümlerinin olmadığı ve model için gerekli olan parametrelerin bir kısmı, uzaktan algılama ve uydu görüntülerinin analizi ile belirlenmiş, bir kısmı ise literatür değerleri kullanılarak temsil edilmiştir. Bu kapsamda, Gölpazarı'nın bütünleşik modeli için kullanılan verilerin detaylı bir listesi ve veri temin kaynakları Çizelge 6.1'de listelenmiştir.

6.2.1. Topoğrafya

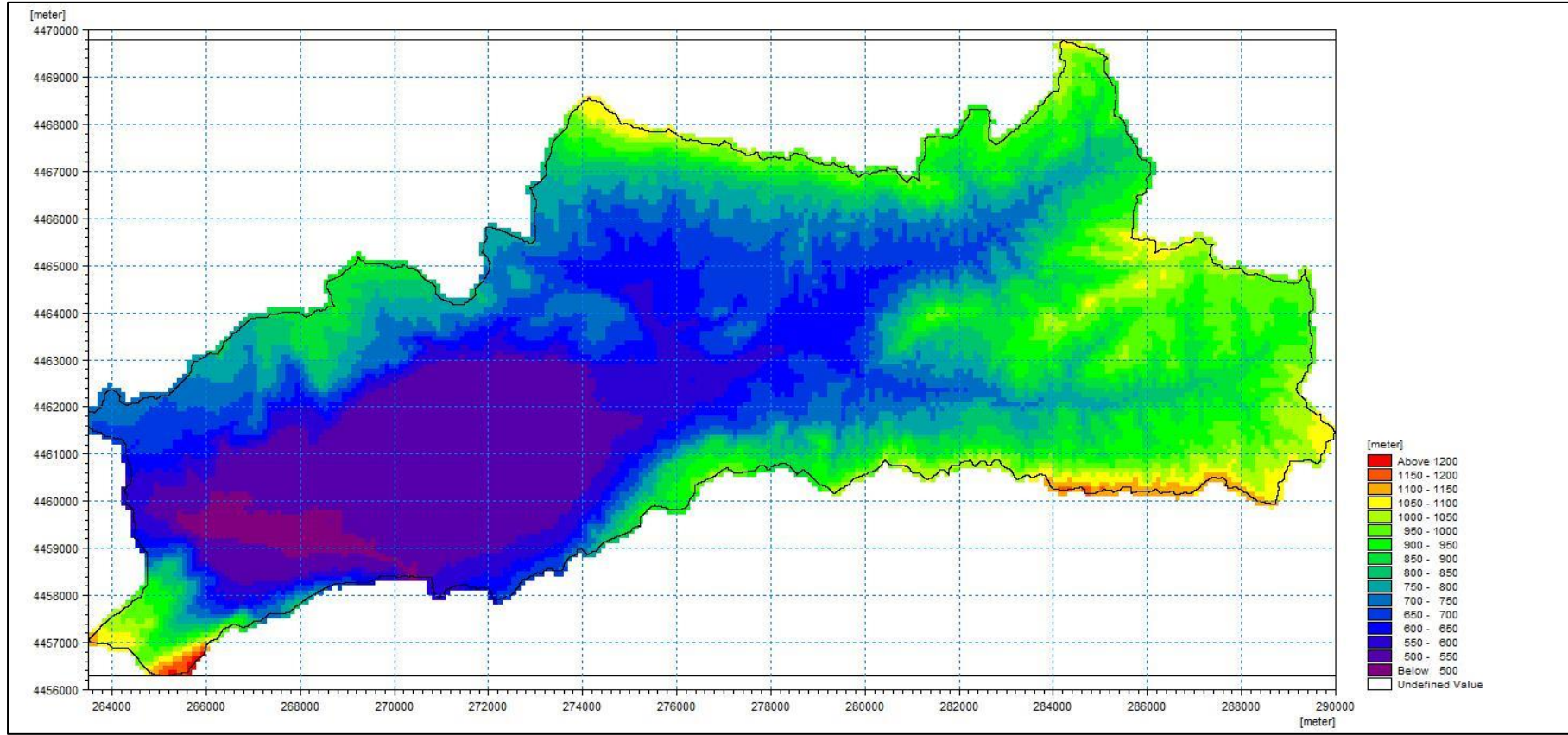
MIKE SHE modelinin üst sınırı topoğrafya tarafından tanımlanmaktadır. Topoğrafya, model tarafından hem doygun olmayan zon (UZ) modelinin hem de doygun zon (SZ) modelinin üst kotu olarak kabul edilmektedir. Buna ek olarak, yüzeysel akışın yüzeyini ve akışın yönelimi de topoğrafya tarafından oluşturulmaktadır.

Gölpazarı Havzası'nın topoğrafyası, 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalarda kullanılan 10 m'lik eş yükseklik eğrilerinin CBS ortamında işlenmesi ile SYM oluşturulmuştur. Eş yükseklik veri seti Harita Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmış olup, mevcut tez çalışmaları kapsamında DSİ 3. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

Ham topoğrafik yüzey ArcGIS programı ile oluşturulmuştur. CBS programı içerisinde yer alan "Fill" fonksiyonu yardımı ile topoğrafyada yer alan gerçek dışı çöküntüler giderilmiş, interpolasyondan kaynaklı hatalar temizlenerek model için daha pürüzsüz bir yüzey oluşturulmuştur. ArcGIS programının grid formatıyla oluşturulan topoğrafik yüzey, MIKE programının yardımcı araçları ile modele uygun veri formatına dönüştürülerek modele aktarılmıştır. Raster verileri MIKE model ortamında, DHI'nin tanımladığı "dfs2" veri formatıyla çalışmaktadır. Gölpazarı Havzası ve yakın çevresine ait topoğrafik yüzeyin modele aktarılmış hali Şekil 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Model Parametreleri İçin Kullanılan Veriler

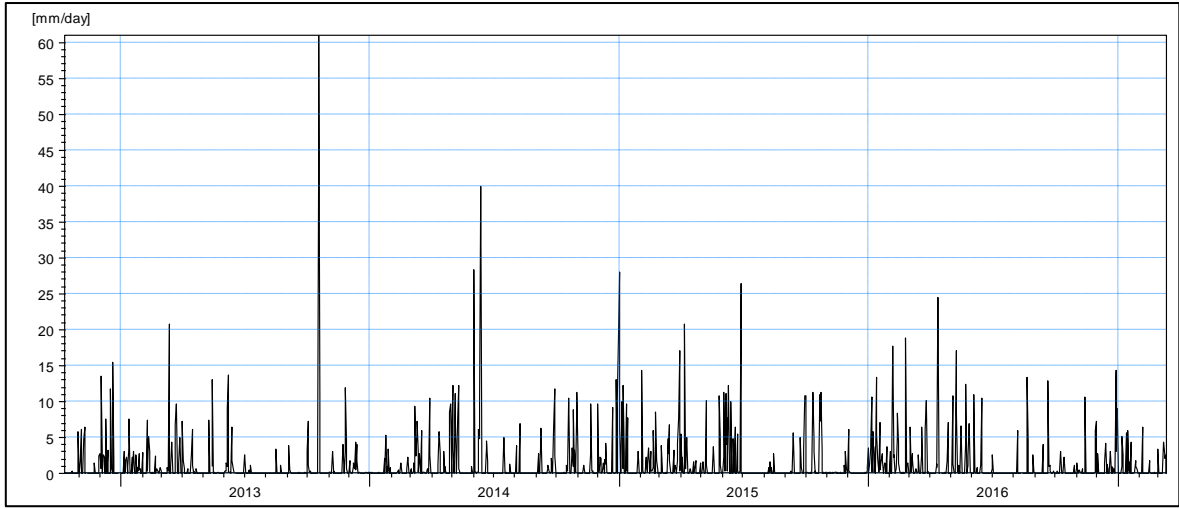
Model Bileşenleri ve Parametreler		Veri Detayları
1 Temel Bileşenler		
1.1	Topoğrafya	<ul style="list-style-type: none"> ■ Model yüzeyi Harita Genel Komutanlığı tarafından üretilen 10 metrelik eş yükseklik eğrileri kullanılarak oluşturulmuştur.
1.2	Model Sınırı	<ul style="list-style-type: none"> ■ Oluşturulan sayısal yükseklik modelinden hesaplanan havza alanı model sınırı olarak belirlenmiştir.
2 Meteorolojik Girdiler		
2.1	Yağış	<ul style="list-style-type: none"> ■ Günlük toplam yağış verisi kullanılmıştır.
		<ul style="list-style-type: none"> • 18086 - Gölpaazarı Meteoroloji İstasyonu
		<ul style="list-style-type: none"> • 11.10.2012 - 14.03.2017
2.2	Referans Evapotranspirasyon (ET ₀)	<ul style="list-style-type: none"> ■ FAO Penman-Monteith metodu ile "FAO ET₀ Calculator" programında günlük olarak hesaplanmıştır.
		<ul style="list-style-type: none"> ■ 18086 - Gölpaazarı Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu'ndan kullanılan parametreler
		<ul style="list-style-type: none"> • 2 m yükseklikte günlük minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık
		<ul style="list-style-type: none"> • 2 m yükseklikte ortalama rüzgar hızı
		<ul style="list-style-type: none"> • Günlük minimum, maksimum ve ortalama bağıl nem
		<ul style="list-style-type: none"> ■ ET₀ Calculator programı tarafından hesaplanan parametreler • Buhar basıncı, günlük güneşlenme süresi ve radyasyon
3 Bitki Örtüsü ve Arazi Kullanımı		
3.1	Arazi Kullanımı	<ul style="list-style-type: none"> ■ Avrupa Toprak Ajansı (EEA) tarafından sağlanan CORINE arazi örtüsü veri tabanı kullanılmıştır.
3.2	Yaprak Alan İndeksi (LAI)	<ul style="list-style-type: none"> ■ MODIS veri tabanının 8 günlük 500 m piksel boyutuna sahip MOD15A2H uydu görüntüleri kullanılmıştır.
3.3	Bitki Kök Derinliği (RD)	<ul style="list-style-type: none"> ■ CORINE veri setinde belirtilen arazi örtüsü için literatür verisi kullanılmıştır.
4 Yüzeysel Akış ve Kanal Akışı		
4.1	Yüzey Pürüzlülük Katsayısı	<ul style="list-style-type: none"> ■ Kanal akışı için geçerli Manning n katsayısı ve yüzeysel akış için geçerli Manning M katsayısı, literatür verileri ile temsil edilmiştir.
4.2	Drenaj Ağı/Kanal Akım Şeması	<ul style="list-style-type: none"> ■ Harita Genel Müdürlüğü'nün 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar sayısallaştırılarak modele aktarılmıştır.
5 Doymun Olmayan Zon ve Toprak Profili		
5.1	Toprak Hidrolik Parametreleri	<ul style="list-style-type: none"> ■ Van Genuchten parametrelerinin hesaplanması için gerekli veriler ESDAC tarafından sağlanan uzaktan algılama veri seti olan EUsoilHydroGrids sisteminden temin edilmiştir.
		<ul style="list-style-type: none"> • Doymun Su İçeriği (THS)
		<ul style="list-style-type: none"> • Toprak Kapasitesi Su İçeriği (FC)
		<ul style="list-style-type: none"> • Solma Noktasında Su İçeriği (WP)
		<ul style="list-style-type: none"> • Doymun Hidrolik İletkenlik Katsayısı (Ks)
		<ul style="list-style-type: none"> • Nem Çekilme Eğrisi Parametreleri (MRC) - 5 Bant
5.2	Toprak Derinliği / Ana Kayaya Derinlik	<ul style="list-style-type: none"> ■ ISRIC tarafından geliştirilen uzaktan algılama veri tabanı SoilGrids sisteminden 250 m çözünürlükte temin edilmiştir.



Şekil 6.2. Model Topoğrafik Yüzeji

6.2.2. Meteorolojik Veriler

Oluşturulan hidrolojik modelin girdisi olan yağış verisi, 18086 numaralı Gölpazarı Meteoroloji İstasyonu'ndan temin edilmiştir. Çalışma alanı içerisinde yer alan tek istasyon olan Gölpazarı Meteoroloji İstasyonu'nun 11 Ekim 2012 tarihinden itibaren olan yağış değeri günlük olarak modele aktarılmıştır (Şekil 6.3).



Şekil 6.3. Model Yağış Girdisi

Yağış girdisi MIKE SHE modelinde Gölpazarı Meteoroloji İstasyonu ile tanımlanmış, yağışın yükseklikle değişimi ise Şekil 3.4'de sunulan yağış – yükseklik ilişkisi kullanılarak girilmiştir.

MIKE SHE modelinde, yağışa ek olarak referans evapotranspirasyon (ET₀) değerine ihtiyaç duyulmaktadır. ET₀ değeri Gıda ve Tarım Örgütü (FAO – Food and Agriculture Organization) tarafından geliştirilen Penman-Monteith denklemi ile hesaplanmaktadır. MIKE SHE modeli, referans evapotranspirasyon değeri ve bitki karakteristiğini göz önünde bulundurarak gerçek buharlaşma değerini hesaplamaktadır.

FAO tarafından türetilen FAO Penman-Monteith denklemi Eşitlik [6.1]'deki gibi tanımlanmıştır [26].

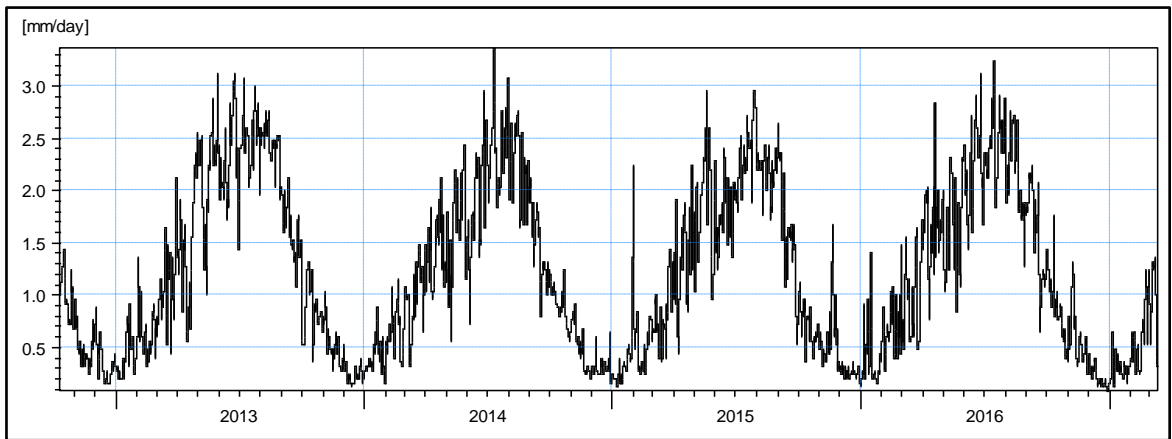
$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

Eşitlik [6.1]

Bu eşitlikte, ET_0 , referans evapotranspirasyon (mm/gün), R_n , Bitki Yüzeyindeki Net Radyasyon (MJ m⁻² gün⁻¹), G , toprak ısı akı yoğunluğu (MJ / m² gün), T , 2 m yükseklikte günlük ortalama hava sıcaklığı (°C), u_2 2 m yükseklikte rüzgar hızı (m/s), e_s , doymun buhar basıncı (kPa), e_a , gerçek buhar basıncı (kPa), $e_s - e_a$, doymun buhar basıncı açığı (kPa), Δ , buhar basıncı eğimi (kPa/°C), γ , psikrometrik sabit (kPa/°C) olarak tanımlanmıştır.

ET_0 değerinin hesaplamasında FAO tarafından geliştirilen “ ET_0 Calculator” programı kullanılmıştır. Referans evapotranspirasyon hesaplamalarında gerekli meteorolojik veri, yağışta olduğu gibi 18086 numaralı Gölpazarı Meteoroloji İstasyonu’ndan temin edilmiştir. Hesaplamalar için gerekli olan 2 m yükseklikte sıcaklık, 2 m yükseklikte rüzgar hızı ve buhar basıncı parametreleri Gölpazarı istasyonunda ölçülmüştür ve hesaplamalarda kullanılmıştır. Geri kalan parametreler ise, çalışma alanı konum bilgisi girilerek ET_0 Calculator programı tarafından hesaplanmıştır.

Gölpazarı Havzası için hesaplanan ve MIKE SHE modeline aktarılan referans evapotranspirasyon zaman serisi Şekil 6.4’deki gibidir.



Şekil 6.4. Referans Evapotranspirasyon (ET_0) Girdisi

6.2.3. Simülasyon Periyodu

Modelin simülasyon periyodu belirlenirken eldeki mevcut meteorolojik zaman serileri değerlendirilmiştir. Modelin en önemli girdilerinden olan yağış miktarı 2012 yılından başlamaktadır. Bu sebeple, MIKE SHE modelinin simülasyon periyodu olarak MGM'den temin edilen meteorolojik verileri kapsayan 11 Ekim 2012 – 14 Mart 2017 dönemi simülasyon periyodu olarak belirlenmiştir. Bununla beraber, zamana bağlı değişimin modele girdi olarak eklenmesi gereken diğer parametreler ve veri setleri de bu simülasyon periyodu süresince değerlendirilmiştir.

6.2.4. Bitki Örtüsü ve Arazi Kullanımı

Arazi kullanımı ve arazi örtüsü parametreleri, yüzeye düşen yağışın tutulması ve kökten emilen suyun transpirasyonla kaybını hesaplamakta kullanılmaktadır. MIKE SHE modeli, ilgili hesaplamalar için Yaprak Alan İndeksi (LAI) ve Kök Derinliği (RD) verilerine konumsal ve zamana bağlı olarak ihtiyaç duymaktadır. İlgili verilerin modele girilmesi için Evapotranspirasyon (ET) paketinin açık olması gereklidir.

Gölpazarı Havzası'nın LAI ve RD parametreleri için uzaktan algılama yöntemleri ile hazırlanmış veri setleri kullanılmıştır. LAI parametresi MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer – Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi) uydu görüntülerinin işlenmesi ile elde edilmiştir. RD parametresinin tanımlandığı alanlar ise CORINE arazi örtüsü veri tabanından alınmıştır.

MODIS, Terra (EOS AM-1) ve Aqua (EOS PM-1) uydularında yer alan önemli bir araçtır. MODIS yardımıyla toplanan veriler karada, okyanuslarda ve daha düşük atmosferde meydana gelen küresel dinamikler ve süreçlerin anlaşılması için önemli rol oynamaktadır [27]. MODIS veri seti Temmuz 2002'den itibaren mevcuttur ve günümüzde küresel ölçekte veri toplamaya devam etmektedir.

Gölpazarı Havzası'nın bitki örtüsü özelliklerini karakterize etmek ve MIKE SHE modeline gerekli girdileri oluşturmak için MODIS'in MOD15A2H veri seti kullanılmıştır. MOD15A2H, MODIS'in Seviye 6 Sürüm 4, FPAR (Fraction of Photosynthetically Active Radiation – Fotosentetik Aktif Radyasyon) ve LAI ürünlerini birleştiren 8 gün aralıklı bir veri setidir. Görüntüler 500 metrelik piksel

boyutuna sahiptir. MODIS'in algoritması, Terra sensörünün 8 günlük periyotta tüm kayıtlardan elde edilen en iyi pikseli, tüm periyot için seçmektedir [28].

MODIS MOD15A2H veri seti, NASA'ya (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi - National Aeronautics and Space Administration) bağlı LP DAAC (Land Processes Distributed Active Archive Center – Arazi İşlemleri Dağıtılmış Etkin Arşiv Merkezi) kurumunun çevrimiçi veri havuzundan ücretsiz olarak temin edilmiştir [29].

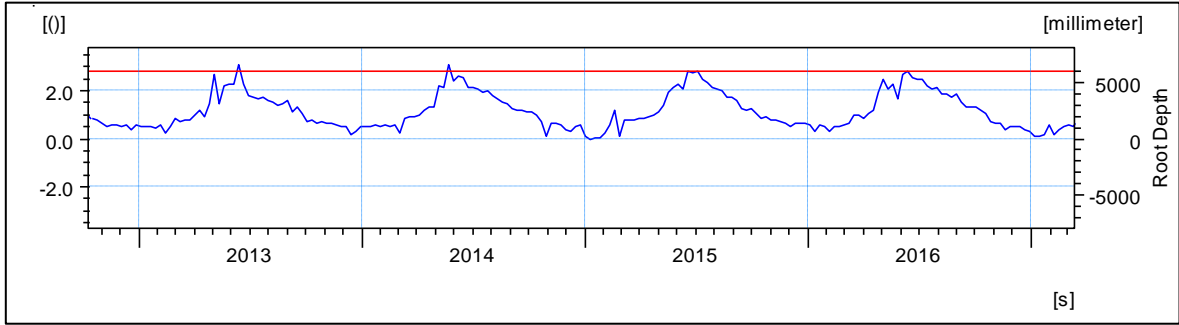
LAI, geniş yapraklı bitkilerdeki birim zemin alanı başına tek taraflı yeşil yaprak alanı ve iğne yapraklı bitkilerdeki birim alan başına toplam iğne yüzey alanı olarak tanımlanmıştır. FPAR, bitki örtüsü gölgesinin yeşil elemanları tarafından absorbe edilen fotosentetik olarak aktif radyasyonun (400 - 700 nm) fraksiyonu olarak tanımlanmıştır [30].

Temin edilen veriler analiz edilerek LAI parametresinin hem konumsal hem de zamana bağlı değişimi çıkartılmıştır. Evapotranspirasyon sürecinde etkin ana parametrelerden olan LAI değeri, her bir model hücresinde zaman serisi oluşturacak şekilde MIKE SHE'ye aktarılmıştır.

Buna ek olarak, bitki köklerinin uzandığı etkin kök derinliğinin alansal dağılımının belirlenmesinde CORINE'de belirlenen arazi sınıflandırmasını temsil edecek RD parametreleri için daha önce yapılmış bir saha çalışması bulunmamaktadır. Bu sebeple, alanları karakterize eden örtü sınıflarına ait kök derinlikleri için literatür değerleri kullanılmıştır [30]. RD parametresi literatür çalışmalarından temin edildiği için, bitkinin gelişim evrelerini ve kök derinlik değişimlerini zaman içerisinde yansıtabilecek bir veri bulunmamakta ve her bir model hücresi için sabit değer girilmiştir.

Çalışma alanı için LAI ve RD parametreleri mevzu bahis veri kaynaklarından temin edilerek MIKE SHE modelinin her bir hücresine ilgili parametre değerleri aktarılmıştır. Model alanı içerisinde yer alan rastgele bir hücreye ait LAI VE RD değerleri örnek olarak Şekil 6.5'te gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, birim alana düşen yaprak alanı bahar döneminde artarak yaz aylarında maksimum değerine ulaşmakta, sonbahar sonunda tekrar minimum değerlere inmektedir. Bu

değişim, MIKE SHE modelin simülasyon sürecinde hidrolojik döngünün evapotranspirasyon bileşenini önemli ölçüde etkilemektedir.



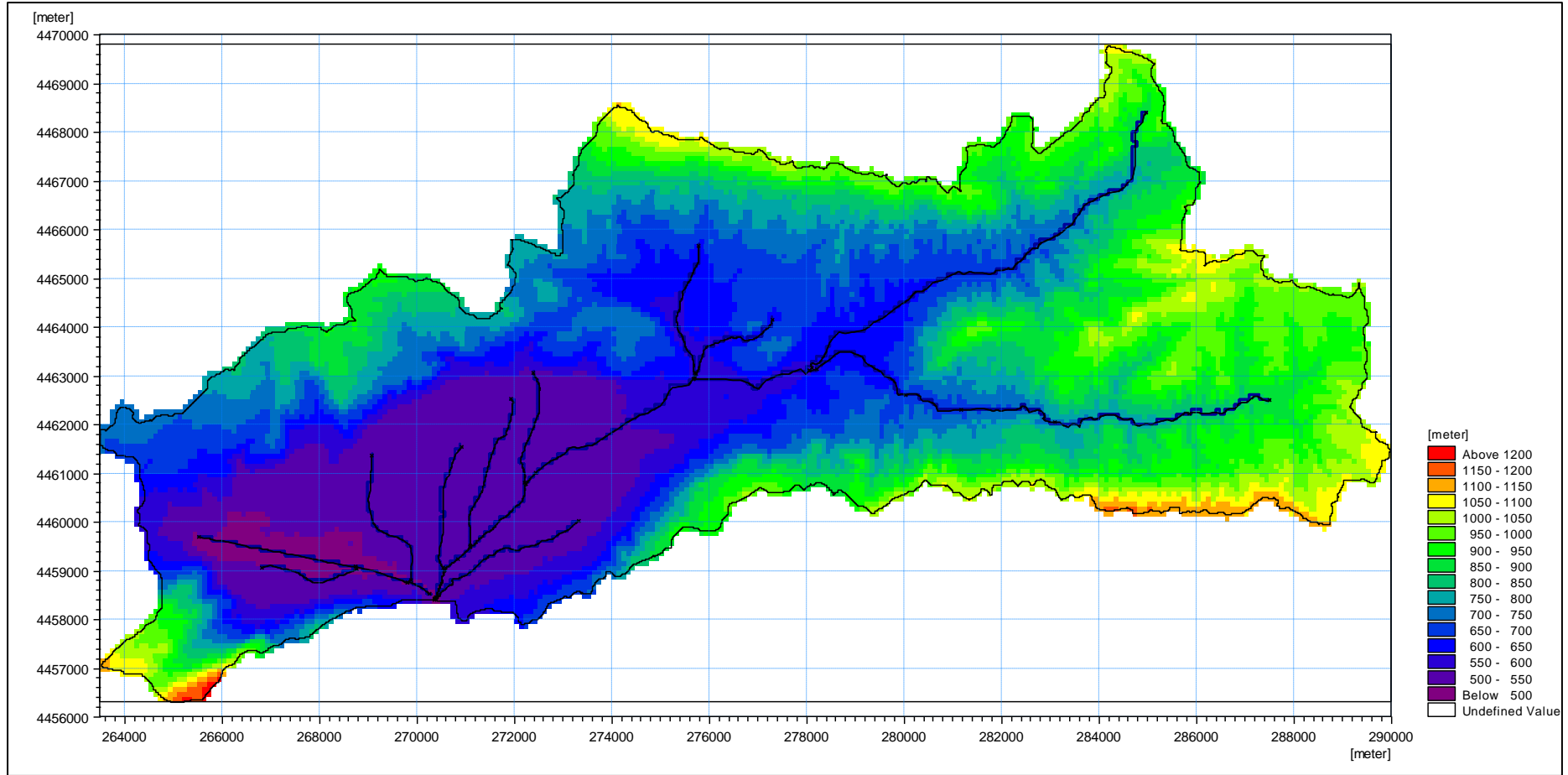
Şekil 6.5. Model Sınırları İçerisinde Örnek Bir Hücrede LAI ve RD Parametre Değişimi

6.2.5. Yüzeysel Akış ve Kanal Akışı

Model alanına düşen yağışın yüzeysel akışa geçmesi ve drenaj ağında toplanarak kanal akımını oluşturması için MIKE SHE'nin yüzeysel akış modülü ve MIKE 11 modeli kurularak birbirleri ile eşleştirilmiştir.

Gölpazarı Havzası ve model sınırı içerisinde kalan drenaj ağı, MIKE 11 modeline konumsal olarak aktarılmış ve dere yataklarının kesit bilgisi de eklenmiştir. MIKE 11 modelinde Gölpazarı Havzası'nın drenaj ağının gösterimi Şekil 6.6'da verilmiştir.

MIKE SHE ve MIKE 11 modellerinin yüzeysel ve kanal akış tiplerini hesaplaması için yüzey pürüzlülük katsayısı olan Manning Katsayısı modele aktarılmıştır. MIKE SHE programı, MIKE 11'de tanımlanan kanal akımı için doğrudan Manning Katsayısı n parametresini kullanırken, yüzeysel akışı temsil ederken Manning Katsayısı M (Stickler Pürüzlülük Katsayısı) kullanılmaktadır.



Şekil 6.6. MIKE 11 Programında Oluşturulan Drenaj Ağının MIKE SHE Modeline Aktarımı

Manning M katsayısı, geleneksel Manning n katsayısının tersi olarak ifade edilmektedir. Manning n katsayısı genel olarak 0.01 (görece pürüzsüz yüzey) ile 0.1 (kalın bitki örtüsü olan kanallar) arasında değişmektedir. Buna göre, Manning M katsayısı ise sırasıyla 100 ve 10 arasında değişmektedir. Yüzeysel akışın simüle edilmek istenmediği koşullarda MIKE SHE için 0 değeri tanımlanmaktadır [24].

Buna göre, kanallar için sabit bir Manning n katsayısı $0.012 \text{ m}^{(1/3)}/\text{s}$ kullanılmış, yüzeysel akış için geçerli olan Manning M katsayısı ise literatür değerleri aralığında modelin kalibrasyonunda kullanılmıştır.

6.2.6. Doygun Olmayan Zon

Doygun olmayan zon modülü, Richards eşitliğini çözerek toprak profilindeki akımı modellemektedir. Richards eşitliğindeki en önemli parametreler toprak nemi çekilme eğrisi ve hidrolik iletkenlik eğrisidir. Bu parametreler, model alanındaki bağımsız toprak profillerini tanımlayan tüm toprak grupları için tanımlanmalıdır [24].

Bu karakteristik özellikler, aşağıda listelenen parametreler ile birlikte toprak özelliği olarak MIKE SHE veri tabanında tutulmaktadır [24];

- Doygunluktaki toprak nemi (θ_s),
- Etkin doyumlukta toprak nemi (θ_{eff}),
- Toprak kapasitesindeki (FC – Field Capacity) kapiler basınç (pF_{fc}),
- Solma noktasındaki (WP – Wilting Point) kapiler basınç (pF_w),
- Artık toprak nemi içeriği (θ_r),
- Doygun hidrolik iletkenlik (K_s).

Bu kapsamda, çekilme eğrisi ve hidrolik iletkenlik eğrisinin tanımlanmasında Van Genuchten eşitliği kullanılmıştır [31]. Çekilme eğrisi hesaplanırken Eşitlik [6.2], hidrolik iletkenlik eğrisi hesaplanırken ise Eşitlik [6.3] kullanılmaktadır.

$$\theta(\Psi) = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \cdot \Psi)^n]^m}$$

Eşitlik [6.2]

$$K(\Psi) = K_s \frac{((1 + |\alpha\Psi|^n)^m - |\alpha\Psi|^{n-1})^2}{(1 + |\alpha\Psi|^n)^{m(1+2)}}$$

Eşitlik [6.3]

Bu eşitliklerde, Ψ , basınç yükü, $k(\Psi)$, basınç yüküne göre hidrolik iletkenlik fonksiyonu, $K(\theta)$, basınç yüküne göre nem içeriği fonksiyonu olarak belirtilmiştir.

Doğru olmayan zonda toprak nem içeriği ve hidrolik iletkenliğin hesaplanması için gerekli parametrelerin doğrudan ölçümleri Gölpazarı Havzası için mevcut değildir. İlgili parametreler için ulusal bir veri tabanı da bulunmamaktadır. Bu sebeple, model alanında toprak karakteristiğini belirlemek için Pedotransfer Fonksiyonları (PTF – Pedotransfer Function) kullanılmıştır. Hidrolik fonksiyonların belirlenmesi için yaygın olarak kullanılan dolaylı metodolojiler PTF olarak adlandırılmıştır ve bu yöntemler saha ölçümlerinin mevcut olmadığı durumlarda alternatif olarak kullanılmaktadır.

İlgili hesaplamaları yapmak için gerekli toprak parametreleri, Avrupa Toprak Veri Merkezi (ESDAC – European Soil Data Centre) tarafından sağlanan Avrupa 3 Boyutlu Toprak Hidrolik Veri Tabanından (EU - SoilHydroGrids ver1.0) sağlanmıştır [34]. Veri seti tüm Avrupa kıtasını kapsayacak şekilde kıtasal ölçekte 1 km ve 250 m çözünürlüklerde temin edilmektedir. Tez çalışması kapsamında, ilgili veri setinin 250 m çözünürlükte verileri değerlendirilmiştir.

Çok katmanlı bir veri seti olan Avrupa Toprak Hidrolik Veri Tabanı Avrupa pedotransfer fonksiyonları (EU - PTFs) ile türetilmiştir. Türetilen fonksiyonların temsil özellikleri farklı toprak grubundan saha örnekleri ile kalibre edilmiş, bunların dışında kalan saha örnekleri ile de doğrulanmıştır [18].

Tóth tarafından yürütülen PTF hesaplamalarında [18], SoilGrids sisteminin veri tabanı da kullanılmıştır. SoilGrids veri tabanı Avrupa kıtasını kapsayan oldukça

kapsamlı toprak sınıflama, fiziksel ve kimyasal veri setini içermektedir. 250 m çözünürlükteki veri setinde yüzdece kil, silt ve kum içeriği, organik karbon içeriği, birim hacim ağırlık gibi toprak parametreleri konumsal olarak hesaplanmıştır [33]. İlgili çalışmada toprak karakteristikleri 0, 5, 15, 30, 60, 100 ve 200 cm derinlikler olmak üzere toplam 7 katmanda tanımlanmıştır [18].

ESDAC sisteminden indirilen 3 Boyutlu Avrupa Toprak Hidrolik Veri Tabanı doymun su içeriği, toprak kapasitesi ve solma noktasındaki su içeriği, doymun hidrolik iletkenlik, nem çekilme eğrisi ve doymun olmayan hidrolik iletkenlik eğrileri için gerekli Van Genuchten parametrelerini kapsamaktadır. Veri seti içerisinde bulunan parametreler ve kullanım amaçları Çizelge 6.2’de özetlenmiştir.

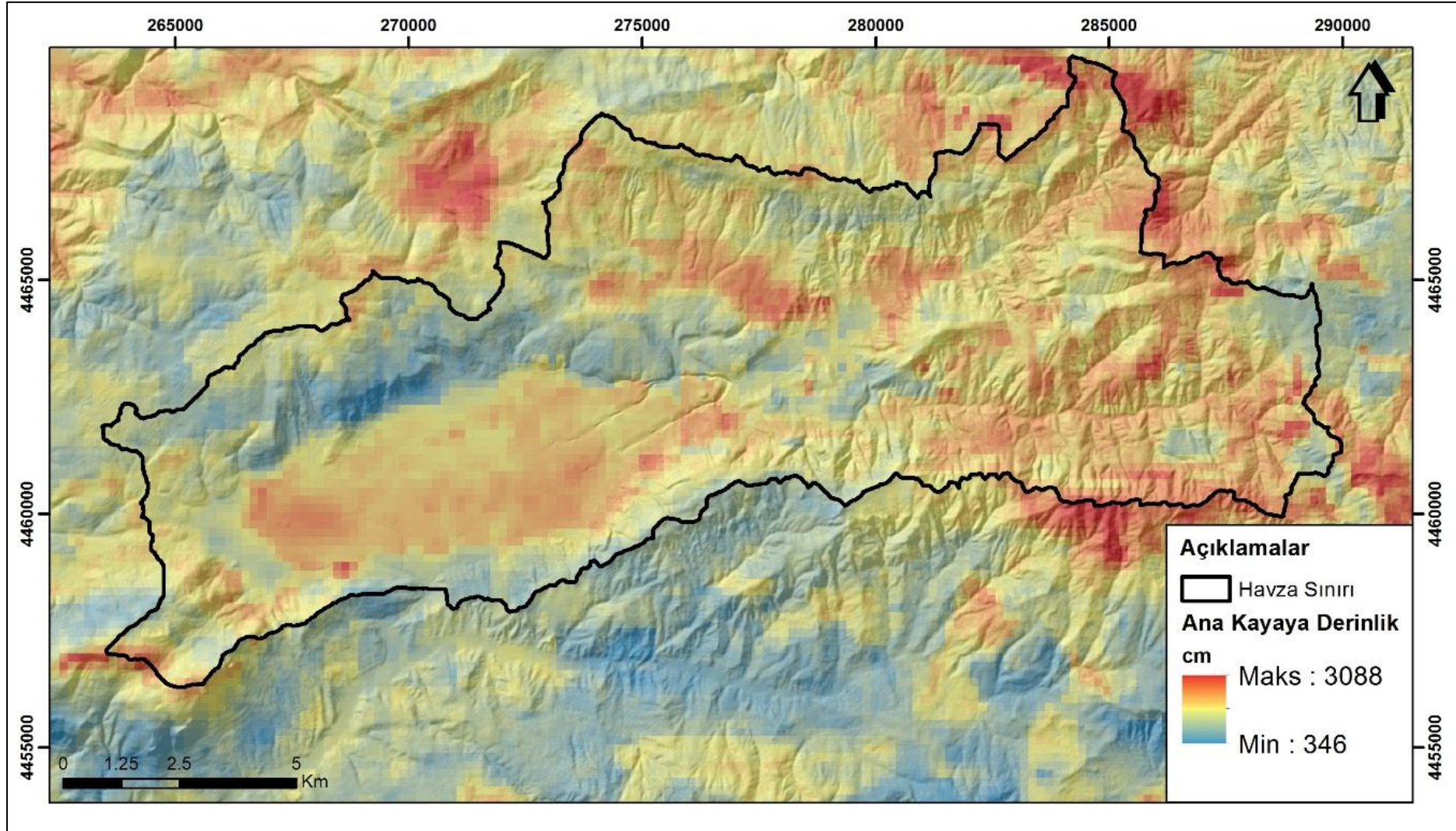
Çizelge 6.2. EUsoilHydroGrid Veri Tabanından Sağlanan Parametreler

Parametre		Birim
Doymun Su İçeriği (THS)		$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$
Toprak Kapasitesinde Su İçeriği (FC)		$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$
Solma Noktasında Su İçeriği (WP)		$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$
Doymun Hidrolik İletkenlik (Ks)		cm gün^{-1}
Nem Çekilme Eğrisi (MRC)	Bant 1: θ_r	$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$
	Bant 2: θ_s	$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$
	Bant 3: α	cm^{-1}
	Bant 4: n	-
	Bant 5: m	-
Doymun Olmayan Hidrolik İletkenlik Eğrisi (HCC)	Bant 1: θ_r	$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$
	Bant 2: θ_s	$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$
	Bant 3: α	cm^{-1}
	Bant 4: n	-
	Bant 5: m	-
	Bant 6: K_0	cm gün^{-1}
	Bant 7: L	-

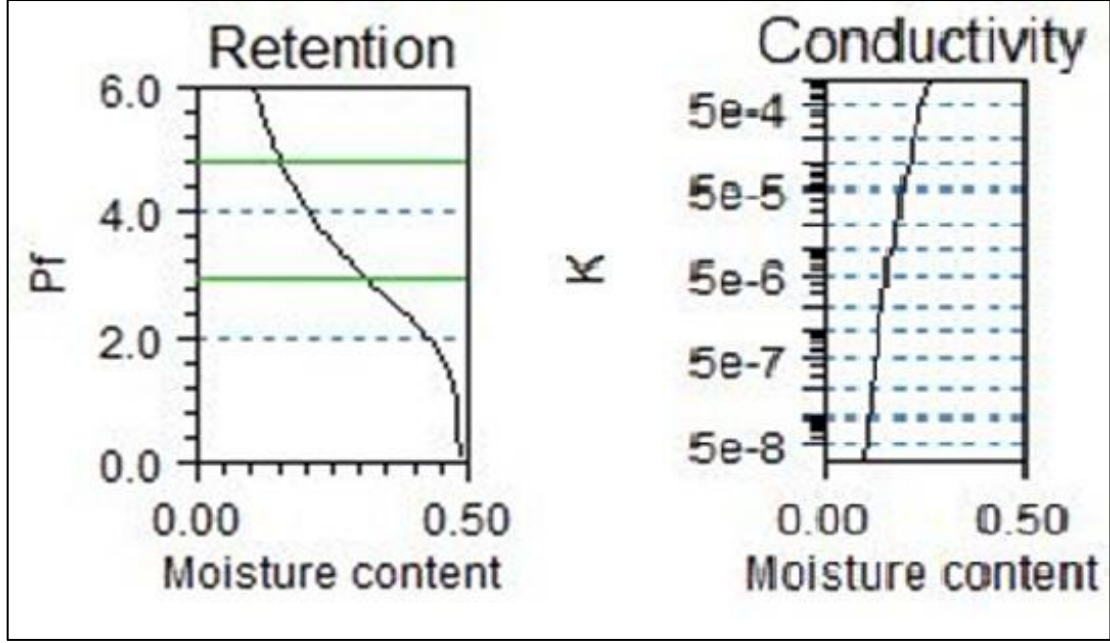
İlgili veri seti 0 – 200 cm aralığındaki toprak profili için bilgi sağlamaktadır. Ana kayanın 200 cm’den daha sığ olduğu koşullarda parametreler bu derinliğe kadar verilmiştir. Model alanı içerisinde ana kayaca derinliği belirlemek için Uluslararası Toprak Referans ve Bilgi Merkezi (ISRIC – International Soil Reference and Information Centre) tarafından sağlanan SoilGrids toprak veri tabanından yararlanılmış ve “Ana Kayaca Derinlik” verisi temin edilmiştir [34].

Toprak parametreleri ve profil MIKE SHE modele aktarılırken profil kalınlığı olarak SoilGrids'ten temin edilen ana kayaca derinlik parametresi kullanılmıştır. Profilin hidrolik parametrelerinin atanması aşamasında 200 cm'e kadar olan ilk 7 katman EU SoilHydroGrids veri tabanından alınmış, 200 cm'den kalın profillerde ise son katmanın özellikleri ana kayaç derinliğine kadar uzatılmıştır.

SoilGrids sisteminden temin edilen ana kayaca derinlik değerlerinin çalışma alanı ve yakın çevresindeki dağılımı Şekil 6.7'de verilmiştir. Temin edilen uzaktan algılama verileri yardımıyla Van Genuchten formülleri kullanılarak oluşturulan ve model gridleri için tanımlanan çekilme ve hidrolik iletkenlik eğrilerinin Gölpazarı Havzası'ndaki örnek görüntüleri ise Şekil 6.8'de verilmiştir.



Şekil 6.7. Çalışma Alanı Ana Kayaya Derinlik Değerleri [34]



Şekil 6.8. Gölpazarı Havzası MIKE SHE Modeline Ait Örnek MRC ve HCC Grafikleri

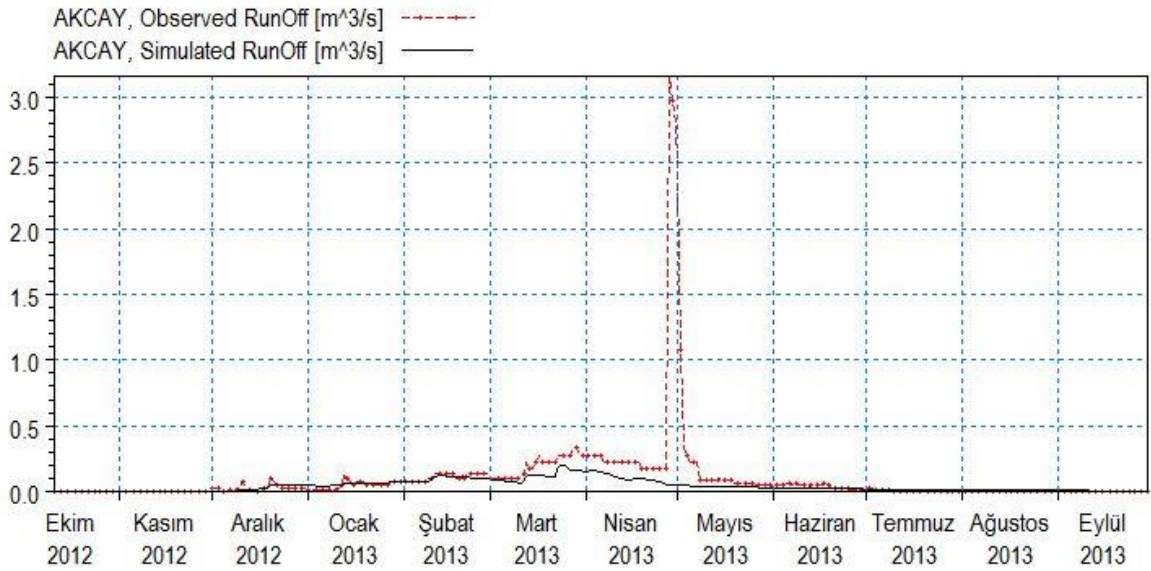
6.3. Model Sonuçları

Bütünleşik hidrolojik model, eldeki mevcut veriler ve uzaktan algılama kaynaklarından temin edilen parametrelerin yardımıyla MIKE SHE programında oluşturulmuştur. Model, sahayı temsil eden mevcut günlük meteorolojik veriler doğrultusunda 11 Ekim 2012 – 14 Mart 2017 tarihlerinde çalıştırılmıştır.

Kurulan modelin kalibrasyonu için modellenen akım değerleri ile havzada toplanan sürekli akım ölçüm değerleri karşılaştırılmış ve yağıştan akışa geçişi belirleyen fiziksel parametreler değerlendirilmiştir. Havzanın doğusunda Akçay Deresi üzerinde kurulmuş 12-210 numaralı Akçay Deresi - Doğancılar AĞI verileri ile modelin kalibrasyonu tamamlanmaya çalışılmıştır. Fakat, Akçay Deresi üzerinde yer alan Akçay Barajının inşaat çalışmalarının başlaması sebebiyle 30 Eylül 2013 tarihinden itibaren havzada sürekli akım gözlem ölçümü verisi bulunmamaktadır. Havzada yer alan meteoroloji istasyonunun 2012 yılının Ekim ayında veri toplamaya başlaması model simülasyonunun ilk yılından sonra sürekli akım gözlem değeri olmaması, kalibrasyon çalışmalarını zorlaştırmıştır.

Buna ek olarak, Doğancılar AGİ Gölparazı Ovası'nın akış yukarısında ve havzanın görece üst kotlarında yer almaktadır. 35 km²'lik yağış alanına sahip istasyon, Gölparazı Havzası'nın yalnızca %20'lik bir kısmını karakterize edebilme kapasitesine sahiptir. Havzanın çıkış noktasında, havzanın genel hidrolojik karakteristiğini temsil eden sürekli ölçüm eksikliği, modelin kalibrasyon kalitesini büyük ölçüde etkilemektedir.

Akım gözlem değerlerine göre kalibre edilmeye çalışılan modelde, AGİ'de ölçülen değerler ile hesaplanan değerler Şekil 6.9'da verilmektedir. Modelde hesaplanan akım değerleri ile sahada ölçülen değerler 11 Ekim 2012 - 30 Eylül 2013 periyodu için karşılaştırılmıştır.



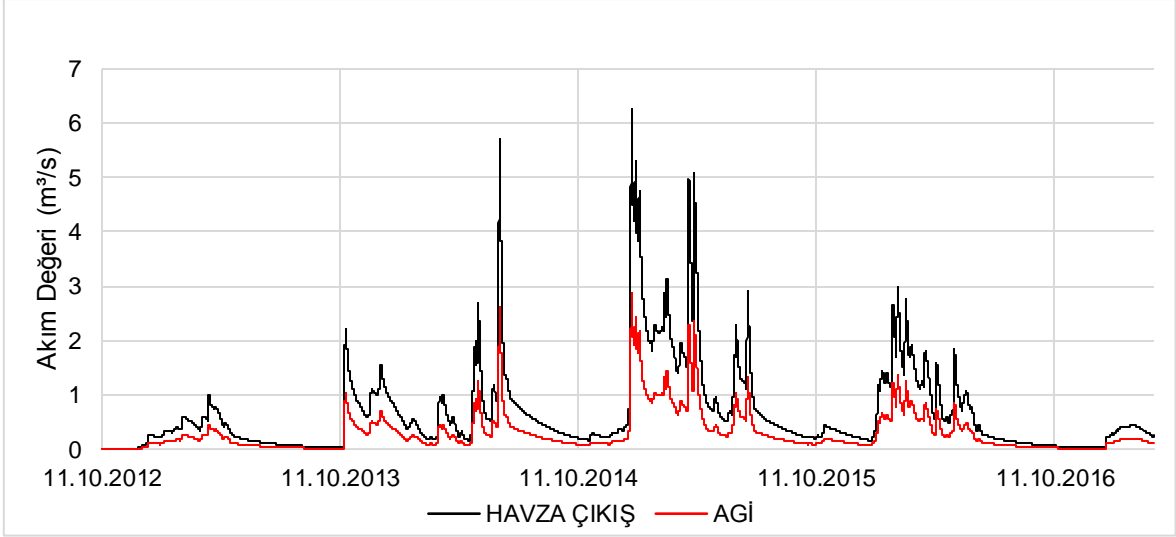
Şekil 6.9. Model Sonucunda Gözlenen ve Hesaplanan Akım Değerleri

Şekil 6.9'da kırmızı renk ile gösterilen kesikli çizgiler AGİ'de ölçülen akım değerlerini, siyah renk ile gösterilen seri ise modelde hesaplanan akım değerlerini belirtmektedir. AGİ'de gözlenen akım değerlerine bakıldığında Nisan ayında 3.16 m³/s'lik bir akım ölçüldüğü görülmektedir. Fakat, aynı dönemde meteoroloji istasyonunda ekstrem bir yağış hadisesi görülmemektedir. Pik akım değerinden önce yaşanan en büyük yağış değeri 12 Mart 2013 tarihinde 20.8 mm'dir. Mevcut yağış kayıtları içerisinde gözlenen en yüksek yağış değeri ise 18.10.2013 tarihinde ölçülen 60.9 mm'dir. İlgili ekstrem akış döneminde, yağış ve akışın birbirleri ile

uyumsuz olmasının sebebinin, akım gözlemdaki hatalardan ya da meteoroloji istasyonunun havza üst kotlarını temsil yeteneğinin düşük olması sebebiyle olduğu düşünülmektedir.

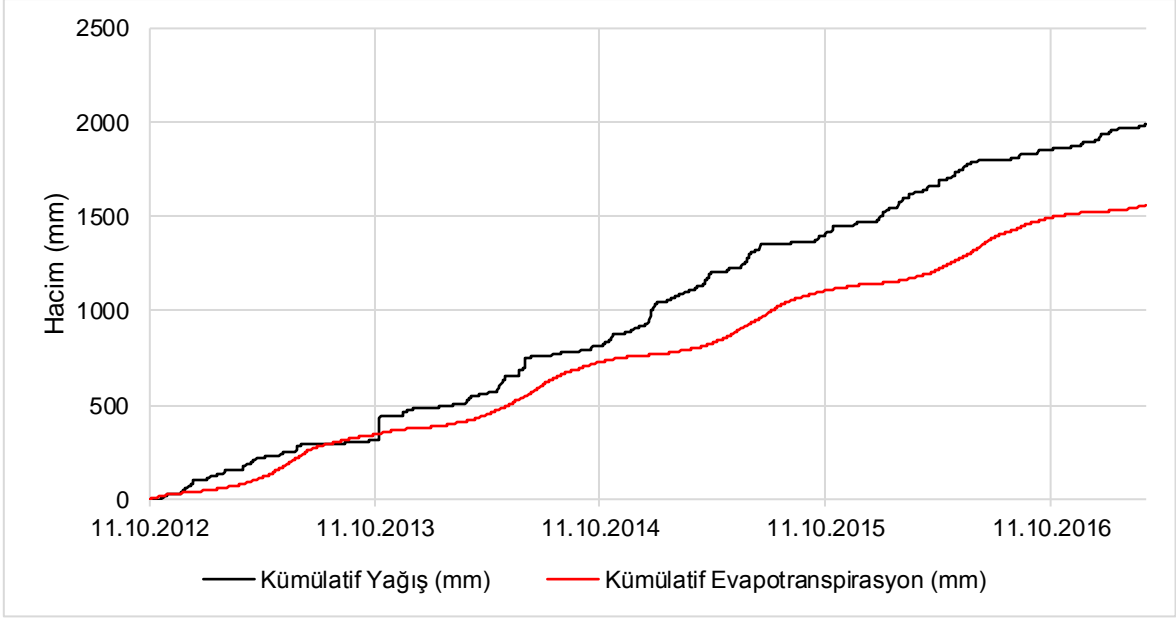
Kalibrasyon için kullanılan süre boyunca AGİ'de ölçülen ortalama akım değeri 95 L/s, modelde hesaplanan ortalama akım değeri ise 93 L/s'dir. Modelde hesaplanan akım değerlerinin, düşük akım koşullarında gerçek değerlere oldukça yakın olduğu görülmektedir. Saha ölçümlerinin yapıldığı dönemde, ölçülen akım değerleri ile hesaplanan değerlerin genel akım trendini takip ettiği ve gerçek değerleri yakınsadığı gözlenmiştir. Her ne kadar sahada gözlenen pik akım hadisesinin güvenilirliği düşük olsa da, kurulan modelin mevcut durumda böyle bir ekstrem hadiseyi temsil edemediği görülmektedir.

Kalibrasyon döneminde elde edilen parametreler doğrultusunda, eldeki mevcut meteorolojik veriler ve hidrolojik koşullar sonucunda, geri kalan zaman serisi için de akım değerleri hesaplanmıştır. Model sonucunda AGİ'nin olduğu nokta ve havza çıkışında hesaplanan akım hidrografları Şekil 6.10'da verilmektedir. AGİ noktasında hesaplanan ortalama akım değeri, model süresince 0.295 m³/s'dir. Bütünleşik olarak kurulan hidrolojik modelde, drenaj ağının MIKE 11 ile MIKE SHE modeline aktarılması sonucu, havza çıkışındaki akım değerleri de hesaplanmıştır. Modelde hesaplanan havza çıkışı akım değerleri ortalama 0.649 m³/s'dir. Fakat, havza çıkışında hesaplanan akım değerleri, AGİ verisinin kalibrasyonu ile belirlenen parametre değerlerinin tüm havzaya uygulanması sonucu hesaplanmıştır. Hesaplanan akım değerlerinin doğruluğunu test edecek uzun dönem bir veri seti bulunmamaktadır. AGİ'de hesaplanan maksimum akım değeri 2.883 m³/s iken, havza çıkışında bu değer 6.26 m³/s olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.10. Model Sonucu Simülasyon Süresince Hesaplanan Akım Hidrografları

Akım hidrograflarının yanı sıra, model sonucu hesaplanan hidrolojik bütçe elemanları da değerlendirilmiştir. Model alanına, simülasyon süresi boyunca yıllık ortalama 450 mm yağış düşmüş olup, bu yağışın 352.5 mm'si toprak, bitki ve açık yüzeyden kayıp olarak evapotranspirasyonu oluşturmaktadır. Bu rakam, toplam yağışın %78'ine denk gelmektedir. Kavramsal su bütçesi hesabında gerçek buharlaşma yağışın %71'i olarak hesaplanmıştır. Kavramsal su bütçesi Gölpazarı havzasının uzun yıllar ortalama değerlerinden hesaplanmış olup model süresince hesaplanan gerçek buharlaşma değerleri uzun dönem ortalama değer ile tutarlıdır. Model alanına düşen yağış ve sistemden çıkan evapotranspirasyon hacimlerinin kümülatif karşılaştırılması Şekil 6.11'de verilmiştir.



Şekil 6.11. Kümülatif Yağış ve Buharlaşma Değerleri

Toplam yağışın buharlaşmadan geriye kalan %18'lik kısmı ise modelde doymun olmayan zona süzülme ve %4'lük kısmı ise yüzeysel akış olarak belirlenmiştir. Model sonuçları değerlendirildiğinde beslenim değerinin oldukça yüksek buna karşılık yüzeysel akış değerinin de oldukça düşük olduğu görülmektedir. Yüzeysel akış ve beslenimi yöneten fiziksel parametreler kalibrasyon amacıyla değiştirilerek simülasyonlar yapılsa da tez çalışması kapsamında bu iki bütçe bileşenin sağlıklı bir şekilde ayrımı yapılamamıştır.

Yüzeyde depolanan suyun yarı doymun ve doymun zona süzülme değerlerini yöneten veriler EUsoilHydroGrids veri tabanından temin edilmiş ve model için gerekli eşitlikler türetilmiştir. Buna ek olarak, bazı hücrelerde çekilme ve hidrolik iletkenlik eğrilerinin eğiminin çok yüksek olduğu belirlenmiş ve model programı tarafından otomatik ayarlamalar yaparak bu hatalar giderilmeye çalışılmıştır.

Beslenimin konumsal dağılımı incelendiğinde, modelin erken zamanlarında öncelikle ova alanı ve orta değerdeki kotlarda beslenimin gerçekleştiği gözlenmiştir. Havzanın kuzeydoğusunda Kızılçay Deresi'nin üst kotlarında kalan alanlar ise hem eğim hem de toprak karakteristiği açısından genel olarak düşük beslenim alanı olarak belirlenmiştir.

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında, Gölpaazarı Havzası'nın hidrolojik sistemi bütün bileşenleri ile ele alınmaya çalışılmıştır. Çalışma alanı içerisinde, kurum ve kuruluşlar tarafından toplanan önceki dönem çalışmaları birlikte değerlendirilerek, yağışın yüzeye düştüğü andan itibaren meydana gelen tutulma, buharlaşma, yüzeysel ve kanal akışı, doymun olmayan zon ve yeraltısuyu hareketlerinin bir bütün olarak değerlendirilmesi ve önceki çalışmaları kapsayan farklı bir yaklaşım geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Öncelikle, yüzey jeolojisi, havzada açılmış kuyuların litolojik bilgileri ve jeofizik çalışmalar sonucunda oluşturulan jeolojik kesitler birlikte değerlendirilerek jeolojik yapı genel olarak tanımlanmaya çalışılmıştır. Jeolojik birimlerin yeraltısuyu taşıma özellikleri de değerlendirilmiştir. Önceki dönem hidrojeolojik çalışmaların, havzanın yalnızca ova çevresinde, tüm tez alanının küçük bir kısmında odaklanmıştır. Bu sebeple, bütünleşik hidrolojik model çalışması, hidrolojik sistemin yeraltısuyuna beslenme sınırı dahil edilerek yapılmıştır.

MIKE SHE ile yürütülen hidrolojik model kapsamında, tutulma ve evapotranspirasyon, yüzeysel ve kanal akışı, doymun olmayan zon kısımları birbirleri ile etkileşimli olarak modellenmiştir. Model sonucu ortaya çıkan akım değerleri, Akçay deresi üzerinde işletilen akım gözlem istasyonu verileri ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Fakat, ilgili kalibrasyon çalışmaları hem meteoroloji hem de akım verilerinin olduğu yalnızca bir yıllık veri ile yapılmıştır. Akımın doğrulandığı gözlem istasyonunun havzanın küçük bir alanını temsil etmesi ve havza çıkış noktasında uzun dönem gözlem verisi bulunmaması sebebiyle, elde edilen model parametreleri tüm model alanına uygulanmıştır.

Model sürecinde yapılan değerlendirmelerde, modelin tek girdisi olan yağış parametresinin havzanın en düşük alanında ölçülen tek bir istasyonla temsil edilmesi sonucu, yağışın konumsal dağılımı modele aktarılamamıştır. Çevre istasyonların sahayı temsil özellikleri değerlendirilmiş olsa dahi, yağış ve akım verilerinin eş zamanlı

Bu süreçte, yağışın akıma geçiş karakteristiğini belirlemek için farklı uzaktan algılama algoritmaları değerlendirilerek Gölpazarı Havzası için önemli veri setleri oluşturulmuştur. Meteorolojik verilere ek olarak, MODIS uydu görüntüleri bitki karakteristiklerinin zamana bağlı değişimi elde edilmiştir. Buna ek olarak, EUsoilHydroGrids ve SoilGrids gibi uzaktan algılama yöntemleri ile oluşturulmuş toprak parametreleri ve pedotransfer fonksiyonları, çalışma alanında doygun olmayan zon için gerekli hidrolik parametrelerin oluşturulmasında kullanılmıştır. Uzaktan algılama ile türetilmiş verilerin kullanımı saha verisinin olmadığı yerlerde model çalışmaları için önemli veri setleri oluşturmakta faydalı olsa da kullanılan verilerin kavramsal kurgu ve model sürecinde denetlenmesi gerekliliği görülmüştür.

Gölpazarı havzasının bütünleşik hidrolojik modeli, tez çalışması kapsamında yeraltısuyunun beslenme sınır koşuluna kadar kurulmuş ve denetlenmiştir. Model sonuçları kısıtlı döneme ait ve temsil ediciliği düşük akım verileri ile kalibre edilmiş ve bütçe elemanları model sonuçları değerlendirilmiştir.

Mevcut çalışmanın daha hassas bir şekilde doğrulanabilmesi adına, özellikle havzanın tümünü temsil edecek çıkış noktasında uzun süreli akım gözlem istasyonlarının yapılması gereklidir. Su kaynakları yönetimi hususunda havzada yapılacak olası çalışmalar için, havzayı karakterize eden uzun dönem hidrolojik veri setlerinin oluşturulması gereklidir.

KAYNAKLAR

- [1] T.C. Gölpaazarı Kaymakamlığı, İklim ve Bitki Örtüsü, <http://www.golpazari.gov.tr/iklim-ve-bitki-ortusu> (Mayıs, **2018**).
- [2] Ürgün, S., Gölpaazarı-Geyve-Taraklı-Göynük civarının jeolojisi. MTA Raporu, No: 2711, **1956**.
- [3] MUMCU, N., Bilecik Gölpaazarı Ovası Jeofizik Rezistivite Etüt Raporu, DSİ 3. Bölge Müdürlüğü, 9 s., ESKİŞEHİR, **1973**.
- [4] URAL, R., VE MUMCU, N., Gölpaazarı Ovası Hidrojeolojik Etüt Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, 29 s., ANKARA, **1974**.
- [5] Duru, M., Gedik, Q. ve Aksay, A., MTA Genel Müdürlüğü, 1:100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Adapazarı-H24 Paftası, No:37, MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara, **2002**.
- [6] Göncüoğlu, M.C., Turhan, N., Şentürk, K., Özcan, A., Uysal, Ş. and Işık, A., Orta Sakarya'da Nallıhan- Sarıcakaya Arasındaki Yapısal Birliklerin Jeolojik Özellikleri, M.T.A Genel Müdürlüğü Raporu, 10 094, **1996**.
- [7] Göncüoğlu, M.C., Turhan, N., Şentürk, K., Özcan, A., Uysal, Ş. and Yalınz, M. K., A geotraverse across Turkey: tectonic units of the Central Sakarya region and their tectonic evolution, Geological Society, London, Special Publications, 173, 139- 161, **2000**.
- [8] Azdiken, Gölpaazarı Ovası (Bilecik) Akifer Seviyelerinin Jeofizik Rezistivite Yöntemiyle Belirlenmesi. Yüksek Lisans tezi. EÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, **2012**.
- [9] Çağlar, İ. and İşseven T., Two-dimensional geoelectrical structure of the Göynük geothermal area, northwest Anatolia, Turkey. Journal of Volcanology and Geothermal Research 134, 183– 197, **2004**.
- [10] Ekmekçi, M. and Nazik, L. Evolution of Gölpaazarı-Hüyük karst system (Bilecik-Turkey): Indications of morpho-tectonic controls. Int. J. Speleol., 33 (1/4), 49-64, **2004**.
- [11] Gürbüz E, Seyitoğlu, G., Gölpaazarı Havzası'nın Kuvaterner Gelişimi (KB Türkiye) Türkiye Jeoloji Bülteni: 57:1-17, **2014**.

- [12] ALFAR, Bilecik Gölüzarısı Ovası Hidrojeolojik Etüt Raporu, GPR-R-011, **2017**.
- [13] Abbott, M.B.; Bathurst, J.C.; Cunge, J.A.; O'Connell, P.E.; Rasmussen, J. An introduction to the European Hydrological Systems–Systeme Hydrologique Europeen, "SHE". 2. Structure of a physically based distributed modelling system. *J. Hydrol.* 1986, 87, 61–77.
- [14] Abbott, M.B.; Bathurst, J.C.; Cunge, J.A.; O'Connell, P.E. Rasmussen, J. An introduction to the European Hydrological Systems–Systeme Hydrologique Europeen, "SHE". 1. History and philosophy of a physically based distributed modelling system. *J. Hydrol.* 1986, 87, 45–59.
- [15] Bathurst, J.C., Physically-based distributed modelling of an upland catchment using the Système Hydrologique Européen. *J. Hydrol.*, 87: 79-102, **1986**.
- [16] Golmohammadi, G., Prasher, S., Madani, A. And Rudra, R., 2014. Evaluating Three Hydrological Distributed Watershed Models: MIKE-SHE, APEX, SWAT. *Hydrology* 2014, 1, 20-39; doi:10.3390/hydrology1010020.
- [17] Derin, Y., Advancement of Satellite-Based Rainfall Applications for Basin-Scale Hydrological Modeling, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2014**.
- [18] Brigitta Tóth, Melanie Weynants, László Pásztor and Tomislav Hengl, "3D soil hydraulic database of Europe at 250 m resolution", in *Hydrological Processes*, John Wiley & Sons Ltd, Vol.31 Issue 14, 1 July 2017, Pages 2497–2666 (pages 2662 -2666); DOI:10.1002/hyp.11203; <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/hyp.11203/full>
- [19] Tombul, M., Akyürek, Z., and A. Ü. Sorman, Determination of soil hydraulic properties using pedotransfer functions in a semi-arid basin, Turkey. *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 8, 1200–1209, **2004**.
- [20] Soil Conservation Service, Urban Hydrology for Small Watersheds, Technical Release 55 (TR-55), **1986**.
- [21] Hengl T, Mendes de Jesus J, Heuvelink GBM, Ruiperez Gonzalez M, Kilibarda M, et al. 2017. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLOS ONE* 12(2): e0169748.
- [22] Freeze, R. A., and R. L. Harlan, Blueprint for a physically-based digitally-simulated hydrologic response model. *Journal of Hydrology*, 9, 237-258, **1969**.

- [23] DHI, MIKE SHE User Guide. Horsholm, Denmark: Danish Hydraulic Institute , **2014**.
- [24] DHI, The MIKE SHE Reference Guide Horsholm, Denmark: Danish Hydraulic Institute, **2014**.
- [25] Kristensen, K. J., Jensen, S. E., A model for estimating actual evapotranspiration from potential evapotranspiration. *Nordic Hydrology*, 6, 170-188, **1975**.
- [26] Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. & Smith, M., Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO irrigation and drainage paper, 56, Food and Agriculture Organization, Rome, Italy, **1998**.
- [27] NASA, Modis, <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/> (Eylül, **2018**)
- [28] Myneni, R., Knyazikhin, Y., Park, T., MOD15A2H MODIS/Terra Leaf Area Index/FPAR 8-Day L4 Global 500m SIN Grid V006 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. doi: 10.5067/MODIS/MOD15A2H.006, **2015**.
- [29] USGS, LP Daac – Data Pool, https://lpdaac.usgs.gov/data_access/data_pool (Eylül, **2018**)
- [30] Canadell, J., Jackson, R.B., Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. *Oecologia* (1996) 108:583-595, **1996**.
- [31] M. Th. Van Genuchten, "A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils". *Soil Science Society of America Journal* 44 (5): 892–898, **1980**.
- [32] European Soil Data Centre (ESDAC), esdac.jrc.ec.europa.eu, European Commission, Joint Research Centre
- [33] Hengl T, Mendes de Jesus J, Heuvelink GBM, Ruiperez Gonzalez M, Kilibarda M, et al., SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLOS ONE* 12(2): e0169748, **2017**.
- [34] Shangquan, W., T. Hengl, J. Mendes de Jesus, H. Yuan, and Y. Dai, Mapping the global depth to bedrock for land surface modeling, *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 9, doi:10.1002/ 2016MS000686, **2017**.

EKLER

Ek 1: Tez Çalışması Orjinallik Raporu

Ek 2: Özgeçmiş Sayfası



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 19/10/2018

Tez Başlığı / Konusu: GÖLPAZARI HAVZASI'NIN (BİLECİK) MIKE SHE PROGRAMI İLE BÜTÜNLEŞİK HİDROLOJİK MODELİ

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 86 sayfalık kısmına ilişkin, 19/10/2018 tarihinde ~~şahsım~~/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 5 'tir.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza
19.10.2018

Adı Soyadı: Mehmetcan ÖZKADIOĞLU

Öğrenci No: N14126938

Anabilim Dalı: JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ

Programı: JEOLJİ (HİDROJEOLJİ) MÜHENDİSLİĞİ

Statüsü: Y.Lisans Doktora Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Dr. Levent TEZCAN

(Unvan, Ad Soyad, İmza)

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri:

Ad-Soyad: Mehmetcan Özkadıoğlu

Doğum Yeri: Karabük

Medeni Hali: Bekar

E-posta adresi: mozkadioglu@gmail.com

Adres: AŖađı Ayrancı Mahallesi, HoŖdere Caddesi, Seğkin Apartmanı, 64/6, Çankaya/ANKARA

Eğitim:

Lise (2004-2008): 75. Yıl Karabük Anadolu Lisesi

Lisans (2008-2013): Hacettepe Üniversitesi Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Bölümü

Yabancı Dil:

İngilizce: İyi

Tecrübe:

2013 - : Hidrojeoloji Mühendisi, SRK DanıŖmanlık ve Mühendislik A.Ŗ.

Deneyim Alanları:

Hidrojeoloji, Akifer Testleri, Çevresel İzotoplar, Sondaj, Hidrolojik Modelleme, Yüzey Suyu Yönetim Planı, Hidrometeoroloji, Yüzey Suyu Akım Gözlem ve Savak Tasarımı – Kurulumu, Coğrafi Bilgi Sistemleri

Tezden ÜretilmiŖ Projeler ve Bütçesi:

-

Tezden ÜretilmiŖ Yayınlar:

-

Tezden ÜretilmiŖ Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar:

-