



**T.C.
ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE SAĞLIĞI ANABİLİM DALI**

**AKARSU EKOSİSTEMİNDE SU KALİTESİ
DEĞERLENDİRİLMESİNDE SWAT MODELİ
UYGULAMASI: TATLIÇAY HAVZASI ÖRNEĞİ
(ÇANKIRI, TÜRKİYE)**

Yüksek Lisans Tezi

Çankırı 2022

**AKARSU EKOSİSTEMİNDE SU KALİTESİ
DEĞERLENDİRİLMESİNDE SWAT MODELİ
UYGULAMASI: TATLIÇAY HAVZASI ÖRNEĞİ
(ÇANKIRI, TÜRKİYE)**

Eren GERMEÇ

**Sağlık Bilimleri Enstitüsü
Çevre Sağlığı Anabilim Dalı**

Yüksek Lisans Tezi

**TEZ DANIŞMANI:
Dr. Öğr. Üyesi Okan ÜRKER**

Çankırı 2022

KABUL VE ONAY

ÇAKÜ, Sağlık Bilimleri Enstitüsü'nün 198207004 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Eren GERMEÇ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "Akarsu Ekosisteminde Su Kalitesi Değerlendirilmesinde SWAT Modeli Uygulaması: Tatlıçay Havzası Örneği (Çankırı, Türkiye)" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Savunma Tarihi: 30.12.2022

Tez Danışmanı: **Dr. Öğr. Üy. Okan ÜRKER**
Çankırı Karatekin Üniversitesi **İmza**

Jüri Üyesi: **Prof. Dr. Ülkü Nihan YAZGAN**
TAVŞANOĞLU **İmza**
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Jüri Üyesi: **Doç. Dr. Özlem YAĞBASAN**
Gazi Üniversitesi **İmza**

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

İmza
Doç. Dr. Nazan KAYTEZ
Enstitü Müdürü

ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans tezi olarak hazırlayıp sunduğum “Akarsu Ekosisteminde Su Kalitesi Değerlendirilmesinde SWAT Modeli Uygulaması: Tatlıçay Havzası Örneği (Çankırı, Türkiye)” başlıklı tez; bilimsel ahlak ve değerlere uygun olarak tarafımdan yazılmıştır. Tezimin fikir/hipotezi tümüyle tez danışmanım ve bana aittir. Tezde yer alan araştırma tarafımdan yapılmış olup, tüm cümleler, yorumlar bana aittir.

Yukarıda belirtilen hususların doğruluğunu beyan ederim.

30 Aralık 2022
Eren GERMEÇ

ÖN SÖZ

Çalışma süresi boyunca, desteği ve anlayışı için Sayın Hocam Dr. Öğr. Üy. Okan ÜRKER'e teşekkürü bir borç bilirim. Çalışmanın en yorucu anlarında dahi, bana güvenerek, cesaretlendirip, desteklediği için kendisine minnettarım.

Savunma komitemin tüm üyelerine, değerli vakitlerini ayırdıkları ve anlayışlı yorumları için teşekkür ediyorum.

DSİ Çankırı 52. Şube Müdürlüğü'nden Murat ÇAVDAR ve Yasin GENÇ'e, çalışmanın olmazsa olmazı olan verileri paylaştıkları ve çalışmayı mümkün kıldıkları için teşekkür ediyorum.

Sevgileri ve sonsuz destekleri için aileme en derin şükranlarımı sunuyorum. Eşim, Hatice KILIÇ GERMEÇ'e desteği ve sabrı için minnettarım. Bana inanmaktan vazgeçmediği ve her aşamada sevgisini esirgemediği için kendisine çok teşekkür ediyorum.

Eren GERMEÇ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL VE ONAY	i
ETİK BEYANNAMESİ.....	i
ÖN SÖZ.....	ii
KISALTMALAR VE SEMBOLLER.....	v
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1 Hidroloji ve Su Döngüsü.....	4
2.2 Suyun Önemi.....	5
2.3 Akarsu Ekosistemi ve Kirlilik Kaynakları	8
2.4 Hidrolojik Modelleme	12
2.5 SWAT Modeli	14
2.6 Besin Maddelerinin Modellenmesi	16
2.6.1 SWAT'ta azot döngüsünün modellenmesi.....	16
2.6.2 SWAT'ta fosfor döngüsünün modellenmesi.....	17
2.7 Kalibrasyon, Hassasiyet Analizi ve Validasyon	18
2.7.1 SWAT-CUP yazılımı	19
2.7.2 SUFI-2 algoritması.....	20
2.8 Model Performans İstatistikleri.....	21
2.8.1 NSE (nash-sutcliffe verimlilik katsayısı)	22
2.8.2 R^2 (belirginlik katsayısı)	22
2.8.3 PBIAS (yüzde sapma).....	23
3. ÇALIŞMA ALANININ TANIMLANMASI	24
3.1 Alan Tanıtımı	24
3.2 Çalışma Alanı Fiziksel Özellikleri	25
3.2.1 Coğrafi yapı.....	25
3.2.2 Toprak grupları.....	27
3.2.3 Arazi örtüsü.....	29
3.3 Hidrolojik Özellikler	30
3.4 Hidrometeorolojik Özellikler	32
3.4.1 Yağış	34
3.4.2 Sıcaklık.....	35
3.4.3 Nisbi nem	36
3.4.4 Rüzgar hızı	37
3.4.5 Güneşlenme şiddeti	37
3.4.6 Evapotranspirasyon (buharlaşma-terleme).....	38
3.5 Akım ve Su Kalitesi Değerleri	39

4. SWAT MODELİ UYGULAMASI	42
4.1 Model kurulumu.....	42
4.1.1 Havza bölümlenmesi.....	43
4.1.2 HRU tanımlanması.....	43
4.1.3 Eğim	44
4.1.4 Arazi kullanımı.....	44
4.1.5 Toprak verisi	46
4.1.6 İklimsel parametreler	46
4.2 Model Girdilerinin Tanımlanması.....	46
4.3 Kalibrasyon/Validasyon	49
4.3.1 Manuel kalibrasyon ve validasyon.....	50
4.3.2 SWAT-CUP kullanılarak kalibrasyon ve validasyon	51
5. BULGULAR.....	52
5.1 Genel Model Bulguları.....	52
5.2 Akış Modeli Bulguları	54
5.3 Besin Maddeleri (TN ve TP) Kirlilik Modeli Bulguları	55
6. TARTIŞMA	57
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	60
KAYNAKLAR	61
EKLER.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	65

KISALTMALAR VE SEMBOLLER

AGİ	: Akım Gözlem İstasyonu
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CORINE	: Çevresel Bilginin Koordinasyonu Projesi
DEM	: Sayısal Yükseklik modeli
DSİ	: Devler Su İşleri Genel Müdürlüğü
DSMW	: Dünya Sayısal Toprak Haritası
EEA	: Avrupa Çevre Ajansı
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
HRU	: Hidrolojik Tepki Birimi
HSWD	: Uyumlaştırılmış Dünya Toprak Veritabanı
MGİ	: Meteorolojik Gözlem İstasyonu
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MTA	: Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü
SRTM	: Mekik Radar Topografya Görevi
SUFI-2	: Sıralı Belirsizlik Uygunluğu-2
SWAT	: Toprak ve Su Değerlendirme Aracı
SWAT-CUP	: SWAT-Kalibrasyon Belirsizlik Programları
TN	: Toplam Azot
TP	: Toplam Fosfor
USDA-ARS	: A.B.D. Tarım Bakanlığı-Tarımsal Araştırma İdaresi
UNESCO	: Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü
USGS	: Birleşik Devletler Jeolojik Araştırmalar Kurumu

ÇİZELGELER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1: Su kaynaklarının kıtalara göre dağılımı (DSİ, 2022)	5
Çizelge 2.2: Falkenmark göstergesi (Falkenmark, 1989).	6
Çizelge 2.3: SWAT model başarı istatistikleri (Moriasi ve diğ., 2007, 2015)	22
Çizelge 3.1: Çalışma alanı toprak grupları	28
Çizelge 3.2: Tatlıçay havzasındaki göletler ve özellikleri (DSİ, 2019).....	32
Çizelge 3.3: Meteorolojik gözlem istasyonları ve özellikleri	33
Çizelge 3.4: Tatlıçay havzası AGİ ve KGİ özellikleri.....	39
Çizelge 3.5: 2016-2020 yılları arası aylık debi değerleri	40
Çizelge 3.6: 2016-2020 yılları arası aylık TN değerleri	41
Çizelge 3.7: 2016-2020 yılları arası aylık TP değerleri.....	41
Çizelge 4.1: Model için gerekli veriler	42
Çizelge 4.2: SWAT modeli HRU hesaplamasındaki veri dağılımı	44
Çizelge 4.3: SWAT modeli eğim tanımlaması	44
Çizelge 4.4: CORİNE ve SWAT arazi sınıfları dönüşümü	45
Çizelge 4.5: SWAT toprak özellikleri (Nachtergaele, 2009)	46
Çizelge 4.6: SWAT modelinde tanımlanan gölet alanları bilgileri	47
Çizelge 4.7: Nüfusa bağlı olarak atıksu oluşumu ve kirlilik yüklerinin değişimi	47
Çizelge 4.8: Korgun kentsel deşarj noktası için yıllık nüfus ve kirlilik yükleri	48
Çizelge 4.9: Çankırı kentsel deşarj noktası için yıllık nüfus ve kirlilik yükleri	48
Çizelge 4.10: Kalibrasyon ve validasyon için gerekli akım miktarı (m^3/s).....	50
Çizelge 4.11: Kalibrasyon ve validasyon için gerekli TN yükleri (kg/ay)	50
Çizelge 4.12: Kalibrasyon ve validasyon için gerekli TP yükleri (kg/ay).....	50
Çizelge 4.13: Kalibrasyon parametreleri	51
Çizelge 4.14: SWAT-CUP parametre değerleri	51
Çizelge 5.1: Manuel kalibrasyon model performansı.....	52
Çizelge 5.2: SWAT-CUP model performansı:	52

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Çevre sağlığı alanının halk sağlığı alanındaki yeri	3
Şekil 2.2: Su döngüsü (USGS, 2016)	4
Şekil 2.3: Suyun yeryüzündeki dağılımı (Gleick, 1993)	5
Şekil 2.4: Su, sağlık ve hijyen yetersizliğine bağlı ölüm oranları (WHO, 2022)	6
Şekil 2.5: Sucul ekosistem tipleri	7
Şekil 2.6: Akarsu koridoru kesiti (FISRWG, 2001)	8
Şekil 2.7: Akarsu ekosistemi boyuna kesiti (FISRWG, 2001)	9
Şekil 2.8: Akarsu ekosistemi en kesiti (FISRWG, 2001)	9
Şekil 2.9: Su kalitesini değiştiren baskılar (Germeç ve Ürker, 2020)	10
Şekil 2.10: Azot döngüsü (Neitsch ve diğ., 2011)	11
Şekil 2.11: Fosfor döngüsü (Neitsch ve diğ., 2011)	11
Şekil 2.12: Sadeleştirilmiş hidrolojik model kurgusu (Song ve diğ., 2015)	13
Şekil 2.13: SWAT model kurgusu	14
Şekil 2.14: SWAT modeli su döngüsü (Neitsch ve diğ., 2011)	15
Şekil 2.15: SWAT modelinde azot döngüsü (Neitsch ve diğ., 2011)	17
Şekil 2.16: SWAT modelinde fosfor döngüsü (Neitsch ve diğ., 2011)	18
Şekil 2.17: SWAT-CUP işleyişi (Abbaspour, 2015)	20
Şekil 2.18: SWAT-CUP'ta SUFI2 algoritması (Abbaspour, 2015)	21
Şekil 3.1: Tatlıçay havzası yer bulduru haritası	24
Şekil 3.2: Sayısal yükseklik modeli (USGS, 2017)	25
Şekil 3.3: Eğim analizi	26
Şekil 3.4: Eğim yüzdeleri	26
Şekil 3.5: Tatlıçay havzası toprak özellikleri haritası (FAO-UNESCO, 2003)	27
Şekil 3.6: Çalışma alanı arazi verileri ve oranları	30
Şekil 3.7: Arazi örtüsü ve kullanımları	30
Şekil 3.8: Tatlıçay havzası hidroloji haritası	31
Şekil 3.9: Tatlıçay Havzası ve çevresindeki meteorolojik gözlem istasyonları	34
Şekil 3.10: Çankırı MGİ 1980-2020 yılları arası eklenik sapma grafiği	34

Şekil 3.11: Çankırı MGİ 2013-2020 yılları arası yağış grafiği.....	35
Şekil 3.12: Çankırı MGİ 2013-2020 yılları arası ortalama sıcaklık grafiği.....	35
Şekil 3.13: Çankırı MGİ 2013-2020 yılları arası minimum sıcaklık grafiği	36
Şekil 3.14: Çankırı MGİ 2013-2020 yılları arası maksimum sıcaklık grafiği.....	36
Şekil 3.15: Çankırı MGİ 2013-2020 yılları arası nisbi nem grafiği	37
Şekil 3.16: Çankırı MGİ 2013-2020 yılları arası rüzgar hızı grafiği.....	37
Şekil 3.17: Çankırı MGİ 2013-2020 yılları arası aylık güneşlenme şiddeti grafiği	38
Şekil 3.18: Çankırı MGİ 2013-2020 yılları arası aylık evapotranspirasyon grafiği.....	39
Şekil 3.19: Tatlıçay havzası AGİ ve KGİ yerleri	40
Şekil 4.1: SWAT Modelinde alt havzalar ile tanımlanan göletler ve deşarjlar	43
Şekil 4.2: SWAT Modelinde tanımlanan arazi sınıfları	45
Şekil 4.3: SWAT modelinde genel havza parametreleri	49
Şekil 5.1: SWAT model parametrelerinin hassasiyet analizi	53
Şekil 5.2: Akış modeline ait kalibrasyon ve validasyon sonuçları	54
Şekil 5.3: Tatlıçay akarsu ekosistemi SWAT modeli akım ortalamaları.....	54
Şekil 5.4: SWAT Modelinde TN kalibrasyon ve validasyon sonuçları	55
Şekil 5.5: Tatlıçay akarsu ekosistemi SWAT modeli TN ortalamaları	55
Şekil 5.6: SWAT Modelinde TP kalibrasyon ve validasyon sonuçları	56
Şekil 5.7: Tatlıçay akarsu ekosistemi SWAT modeli TP ortalamaları.....	56

**AKARSU EKOSİSTEMİNDE SU KALİTESİ DEĞERLENDİRİLMESİNDE
SWAT MODELİ UYGULAMASI: TATLIÇAY HAVZASI ÖRNEĞİ
(ÇANKIRI, TÜRKİYE)**

ÖZET

GERMEÇ, Eren. Akarsu Ekosisteminde Su Kalitesi Değerlendirilmesinde SWAT Modeli Uygulaması: Tatlıçay Havzası Örneği (Çankırı, Türkiye), (Yüksek Lisans Tezi), Çankırı, 2022.

Su, çevre sağlığını etkileyen en önemli aktörlerden biridir. Bu nedenle suyun doğadaki davranışının tahmin edilmesi, izlenmesi ve su kirliliğinin oluşmadan önlenmesi, çevre sağlığı açısından oluşabilecek sorunların önüne geçmeyi kolaylaştırmaktadır. Suyun davranışını tahmin etmek için hidrolojik döngünün havza bazında değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu değerlendirmeyi yapabilmek için, hidrolojik süreçlerin matematiksel temsilini yapmaya yarayan hidrolojik modellerden faydalanma potansiyeli yüksektir. Hidrolojik modeller, çevre sağlığı alanında sıklıkla karşılaşılan sorunlardan kötü su kalitesi, kirlilik, partikül ve sediman taşınımı, yağ ve petrol türevlerinin yayılması gibi problemlerin tahmini ve izlenmesinde önemli rol oynamaktadır.

Bu çalışmada, Çankırı İli yerleşiminde çevre sağlığını iyileştirmeye yönelik çözümler önermek için 2 boyutlu bir yüzey suyu modeli olan SWAT kullanılarak, Tatlıçay akarsu ekosistemi ve mevcut su kalitesi simüle edilmiştir. Girilen verilerin doğruluğu ve modelin geçerliliği yapılan kalibrasyon ve validasyon çalışmalarıyla kontrol edilmiş, oluşabilecek olumsuz senaryolar karşısında hızlı, doğru ve etkili çözüm üretebilme imkanı sunulması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çevre sağlığı, Ekohidroloji, Hidroloji, Hidrolojik model, Su kalitesi, SWAT.

APPLICATION OF SWAT MODEL IN WATER QUALITY ASSESSMENT IN THE LOTIC ECOSYSTEM: A CASE STUDY IN TATLIÇAY BASIN (ÇANKIRI, TURKIYE)

SUMMARY

GERMEÇ, Eren. Application of SWAT Model in Water Quality Assessment in the Lotic Ecosystem: A Case Study in Tatlıçay Basin (Çankırı, Türkiye), (Master Thesis), Cankiri, 2022.

Water is one of the most critical actors affecting environmental health. For this reason, estimating and monitoring the behavior of water in nature and preventing water pollution before it occurs can be advantageous to avoid problems that may occur in terms of environmental health. In order to predict the behavior of water, the hydrological cycle needs to be evaluated on a basin basis. At this point, hydrological models can be used to make mathematical representations of hydrological processes. These models play an essential role in predicting and monitoring problems such as poor water quality, pollution, particle and sediment transport, the proliferation of oil and petroleum derivatives from frequently encountered issues in environmental health.

In this study, a 2D surface water model was created by SWAT to simulate the lotic ecosystem and existing water quality of Tatlıçay Basin to propose solutions for improving environmental health in settlement of Cankiri Province. The accuracy of the entered data and the validity of the model have been checked with the calibration and validation studies. It aims to provide the opportunity to produce fast, accurate, and practical solutions in the face of negative scenarios.

Key Words: Environmental health, Ecohydrology, Hydrology, Hydrologic model, Water quality, SWAT.

1. GİRİŞ

Su, doğal döngüsündeyken bulunduğu çevre ile etkileşim halindedir. Bu yüzden bulunduğu çevredeki temas ettiği tüm canlıların yaşam kalitesini ve sürdürülebilirliğini belirlemektedir. Canlı hayatı için temiz su kaynakları, temiz hava gibi oldukça öneme sahiptir. Temiz su kaynaklarının, yeryüzündeki nüfus ve kıtasal dağılımla denge içinde olmadığı bilinmektedir. Ayrıca var olan kaynaklar doğal ya da antropojenik tehditler altındadır. Temiz suyun bulunduğu en bilindik ve en önemli kaynak, akarsu ekosistemidir. Diğer tüm temiz su kaynakları gibi akarsular da doğal ve antropojenik baskı ile tehdit altındadır. Bu yüzden bu baskılar tanımlanmalı ve yarattığı kirlilik yükleri tespit edilmelidir. Bu tespitleri yapacak en doğru araçlardan biri hidrolojik modellerdir. Havza ölçeğinde uygulanacak hidrolojik modeller, parametre ölçümü zor kesimlerde dahi eldeki mevcut veriden üreteceği sonuçlarla, maliyet ve zaman kazancı sağlayacaktır.

Hidrolojik modelin çevre sağlığı alanında kullanımının ve uygulamasının anlaşılması için SWAT Modeli seçilmiştir. SWAT Modelinin uygulaması için örnek çalışma alanı olarak seçilen Tatlıçay akarsu ekosisteminde, tarımsal uygulamalar ve kentsel atık deşarjı gibi antropojenik kökenli çevre sağlığını etkileyen baskı unsurları bulunmaktadır. Tarımsal sulama için, ovalık kesimlerdeki bahçecilik ve tarım uygulamaları için kullanılan akarsu su kullanımları ve havza üzerindeki sulama göletlerinde su toplanması, Tatlıçay'ın debisini düşürmekte ve düşük su kalitesine neden olabilmektedir. Havzadaki tarımsal uygulamalarda, yoğun şekilde gübre ve pestisitlerin kullanımı da Tatlıçay akarsu ekosistemini baskılamaktadır. Ayrıca, Tatlıçay Havzası'ndaki yoğun nüfusa sahip yerleşim yerlerine ait kentsel deşarjlar, hiçbir arıtma işlemine tabi tutulmadan derelere aktarılmaktadır. Tüm bu baskı unsurları ile Tatlıçay akarsu ekosisteminde oluşan kötü su kalitesi, çevre sağlığını olumsuz etkilemektedir. Kötü su kalitesine sahip akarsudan doğrudan yapılan sulama ile elde edilen ürünlerin kullanımı da halk sağlığını benzer oranda etkilenmektedir.

Tatlıçay SWAT Modeli kalibrasyon ve validasyon çalışmasında kullanılmak üzere Tatlıçay üzerinde, uzun yıllar günlük güncel akım gözlem istasyonu verisi bulunmamaktadır.

Ancak havza çıkışında yer alan kısa ölçüm yılına sahip aylık ve 3 aylık periyotta olacak şekilde gözlem yapan kalite gözlem istasyonunun, anlık debi değerleri ve kalite ölçümleri modelde kullanılacaktır. Kalite gözlem istasyonuna ait kısa ölçüm yılına sahip olması ve de eksik olması modeli kısıtlamaktadır. Bu istasyona ait verilerin eksik ölçümler, Ocak ve Şubat ayları için aynı yılın maksimum akım değerin alınmasıyla ve ölçümü olmayan diğer aylarda ise, diğer yıllara ait aynı ayların ortalaması alınmasıyla tamamlanacaktır. Akarsu üzerindeki günlük ya da aylık olarak uzun yıllar akım ve kalite ölçümlerinin alınmasının önemi, modelin doğruluk oranını arttırıp, geleceğe yönelik gerçekçi senaryolar üretilmesini mümkün kılabilir.

Tatlıçay Havzası'nın hidrolojisi ve su kalitesinin SWAT Modeli yardımıyla simüle edilmesi, Çankırı İli yerleşimindeki çevre sağlığının iyileştirilmesine yönelik çözüm önerilerinde bulunmakta faydalı olacaktır. Bu noktada hidrolojik model kullanımı, güncel durumun matematiksel olarak ortaya konulması ve devamlı şekilde izlenmesi açısından yarar sağlarken, mevcut durumu ortaya koyarak su kalitesi ile ilgili hızlı bir şekilde tedbir alınmasını kolaylaştıracaktır.

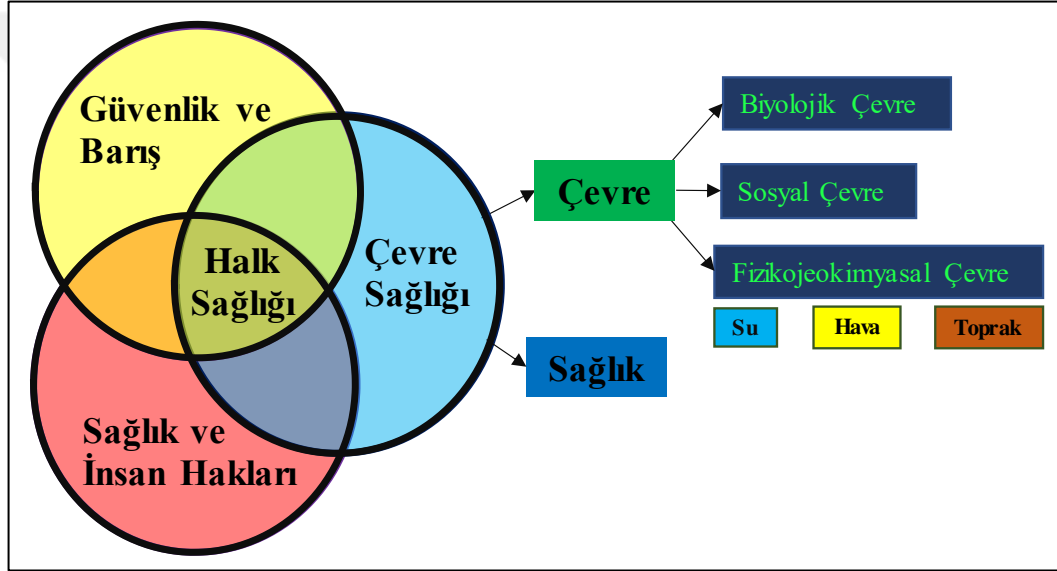
1.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın ana amacı, çevre sağlığı alanında karşılaşılan su kalitesi ile ilgili oluşabilecek problemlerin tahmini ve izlenmesinde hidrolojik model kullanımının alternatif çözüm önerisi olarak sunulması olup, suyun doğadaki davranışı, dağılımı ve su kalitesini bozan kirlilik kaynaklarını incelemektir.

Çalışma kapsamında, Çankırı İli sınırları içerisinde yer alan, Tatlıçay akarsu ekosisteminde, SWAT modeli ile, hidrolojik sistem tanımlanması, su kalitesinin mevcut durumunun ortaya konulması ve ileride çevre sağlığını tehdit edebilecek kirlilik yüklerinin analizi için altlık oluşturulması ve oluşabilecek olumsuz senaryolar karşısında etkili çözüm üretebilme imkanı sunulması amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

Halk sağığı alanının bir parçası olan çevre sağığı, insanın yaşadığı ve bir parçası olduğu çevredeki yaşam sürdürülebilirliği ile ilgilenir. Çevre sağığı, biyolojik, sosyal ve fizikokimyasal çevre ortamlarında, oluşabilecek olası olumsuz etkilerin iyileştirilmesi ile insan yaşamını korumaya yönelik gerekli tedbirlerin alınmasını konu edinir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Çevre sağığı alanının halk sağığı alanındaki yeri

Çevre sağığı alanında insan yaşamını korumaya yönelik en önemli başlıklarından biri de sudur. Su, diğer çevre ortamlarıyla dolaylı ya da doğrudan etkileşim halindedir. Bu etkileşim sırasında oluşabilecek olası problemlerin çözümü, suyun doğadaki hareketinin, fizikojeokimyasal özelliklerinin ve canlı hayatı üzerindeki öneminin doğru ifade edilmesi ile mümkün olacaktır. Bu nedenle, çevre sağığı alanında, su ile ilgili olası problemlerin hızlı ve etkili şekilde çözüme kavuşturulması için çevrenin hidrolojik özelliklerini de değerlendirilmesi gerekmektedir.

2.1 Hidroloji ve Su Döngüsü

Hidroloji ya da su bilimi, yerkürede suyun bulunduğu yüzey, yeraltı ve atmosfer gibi farklı ortamlarda, çevrimini, dağılımını, fiziksel ve kimyasal özelliklerini, çevreyle ve canlılarla olan karşılıklı ilişkilerini geçmiş, bugün ve gelecek olarak zamansal bir perspektifte inceleyen temel ve uygulamalı bir bilim olarak tanımlanmaktadır (Bayazıt, 2013).

Su, yerkürede “Su Döngüsü” ya da “Hidrolojik Çevrim” olarak adlandırılan bir döngü biçiminde hareket halindedir. Su döngüsü, atmosferdeki suyun yeryüzüne yağışlarla inmesi, yeraltına süzülmesi, kaynak ve akarsu olarak deşarj olması, bir göl veya denize akması, sonra buharlaşarak tekrar atmosfere karışması olarak ile açıklanmaktadır (Şekil 2.2).

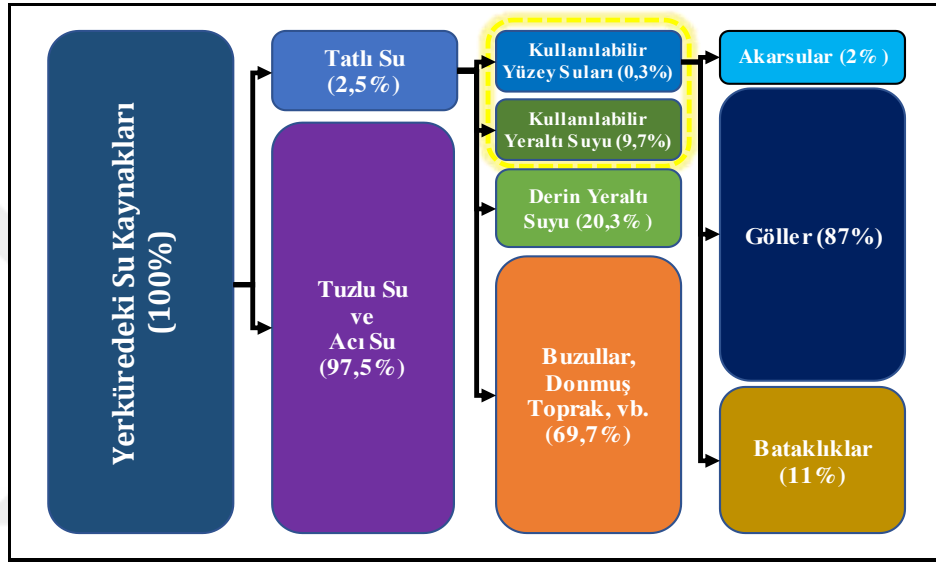


Şekil 2.2: Su döngüsü (USGS, 2016)

Su döngüsü, hidrolojik olarak havza ölçeğinde değerlendirildiğinde, sisteme su girişi akış, yağmur veya kar erimesi ile gerçekleşirken, sistemden su çıkışı, dere akışı ve buharlaşma-terleme şeklinde olmaktadır. Yağışın derelere ulaşması, yüzeysel akış yoluyla kollara karışma, yeraltından süzülme ile ara akış ve kurak dönem sellenmesi yollarıyla gerçekleşmektedir (Freeze ve Cherry, 1979).

2.2 Suyun Önemi

Yerkürede, yaşamın temelini oluşturan suyun miktarı yaklaşık 1,4 milyar km³ olarak hesaplanmıştır (USGS, 2016). Bu suyun % 97,5'i okyanus ve denizleri oluşturan tuzlu su, geriye kalan sadece % 2,5'i ise tatlı su olarak sınıflandırılmaktadır. Tatlı suyun da, kullanılabilir su kaynağı olarak yaklaşık % 9,7'sini yeraltı suyu ve % 0,3'ünü de yüzey suyu kaynakları oluşturmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Suyun yeryüzündeki dağılımı (Gleick, 1993)

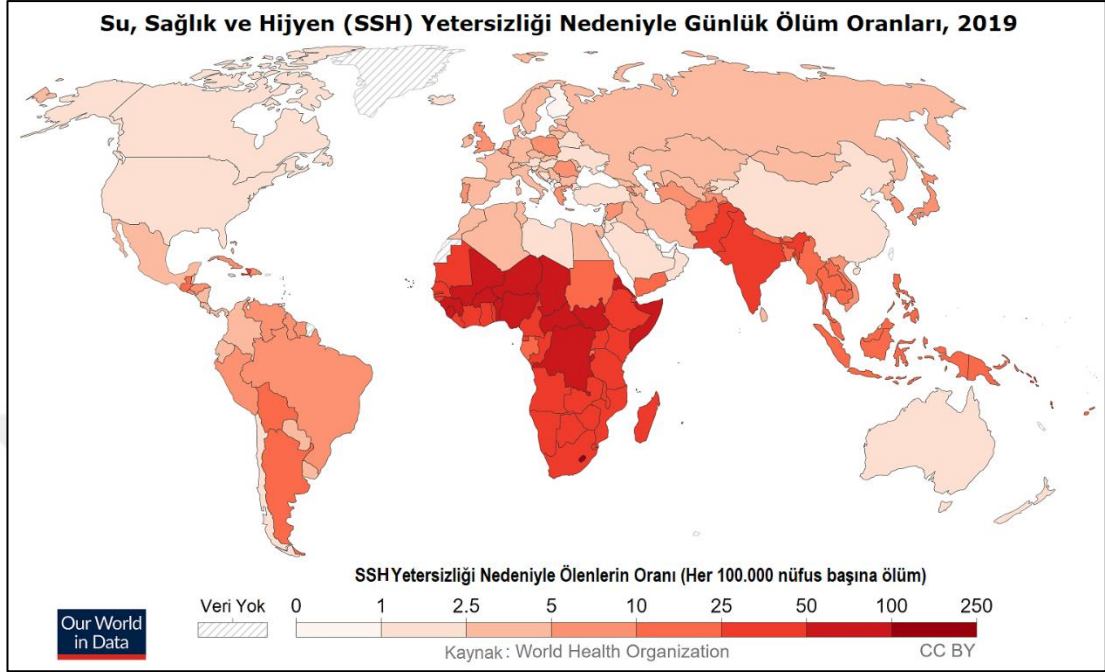
Kullanılabilir su kaynakları, en yüksek miktarda, Asya, Güney Amerika ve Kuzey Amerika kıtalarında bulunmaktadır (Çizelge 2.1). Ancak kıtasal su kaynakları Çizelge 2.1'de verilen kıta nüfusları ile ilişkilendirildiğinde, dengeli bir dağılımın olmadığı görülmektedir. Kişi başına düşen su miktarının daha düşük olduğu Asya, Afrika ve Avrupa kıtalarında, su kaynaklı problemler ile yüksek oranda karşılaşılabilir.

Çizelge 2.1: Su kaynaklarının kıtalara göre dağılımı (DSİ, 2022)

Kıtalar	Nüfus (%)	Su Kaynakları (%)
Asya	60	36
Güney Amerika	6	26
Kuzey Amerika	8	15
Afrika	13	11
Avrupa	13	8

Avustralya ve Adalar	1	5
----------------------	---	---

Su kaynakları ve nüfus dengesizliği olan kıtalarda, ölümlerin büyük oranda su, sağlık ve hijyen yetersizliğine bağlı olarak gerçekleştiği bilinmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4: Su, sağlık ve hijyen yetersizliğine bağlı ölüm oranları (WHO, 2022)

Temiz su kaynaklarının yeterliliğinin ortaya konulması için nüfus aralıklarına göre bir çok farklı gösterge kullanılmaktadır. Bu göstergelerden en sık başvurulandan biri Falkenmark Göstergesi'dir. Falkenmark Göstergesi, nüfus projeksiyonlarına göre su kategorilerindeki değişimi belirlemek ve ülkelerin gelecek yıllardaki su durumlarını karşılaştırmak için de kullanılmaktadır (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2: Falkenmark göstergesi (Falkenmark, 1989)

Aralık (kişi m ³ /yıl)	Kategori
> 1 700	Su baskısı yaşanmıyor (No stress)
1 000 – 1 700	Su baskısı (Stress)
500 – 1 000	Yoğun su baskısı (Scarcity)
< 500	Mutlak su baskısı (Absolute scarcity)

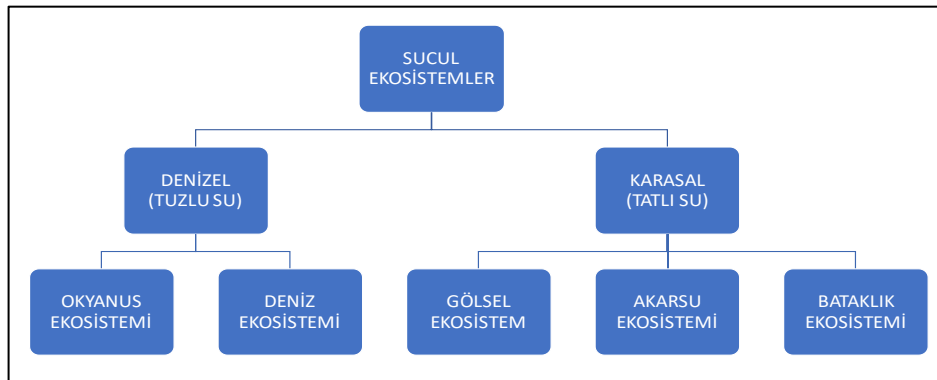
Coğrafi konumu nedeni ile nüfus ve su kaynakları oranı yönünden riskli kıtaların kesişiminde yer alan Türkiye'de, 112 milyar m³ potansiyel su miktarı bulunmaktadır. Falkenmark göstergesine göre, su baskısı olan ülkeler kategorisinde yer alan Türkiye'de, kişi başına düşen kullanılabilir yıllık su miktarı 2000 yılında

1652 m³ iken, 2009 yılında 1544 m³ ve 2020 yılında ise 1346 m³ olmuştur (DSİ, 2022).

Türkiye nüfusunun TÜİK 2040 yılı nüfus projeksiyonunda, 100 milyon olarak hesaplanmıştır (TÜİK, 2000). 2040 yılında artan nüfusla birlikte mevcut su kaynakları korunsu dahi Türkiye’de bu değer 1000’in altına inerek ve yoğun su baskısına neden olacaktır. Ayrıca kullanılabilir su kaynakları üzerinde doğal ve antropojenik kaynaklı potansiyel tehditler bulunmaktadır. Bu tehditler ortadan kaldırılmazsa daha yakın gelecekte mutlak su baskısı altına girilmesi olasıdır. Dolayısıyla, çevre ve insan sağlığında büyük önemi olan kullanılabilir su kaynaklarının üzerindeki potansiyel tehditlerin, tespit edilerek önlenmesi gerekmektedir.

Kullanılabilir su kaynaklarının potansiyel tehditlerden korunması ve sürdürülebilirliği için ekosistem esaslı olarak, havza ölçeğinde, su kalitesi yönetimi sağlanmalıdır. Ekosistem esaslı yönetimde, su kalitesi ve miktarı, havzada bulunan sucül ekosistemlere göre değişir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019). Dolayısıyla, sürdürülebilir bir su yönetimi için, sucül ekosistemlerin tanımlanması yani havzadaki sisteme bağlı canlılar ile bu canlıları (biyotik) birbirine ve bulundukları ortama (abiyotik) bağlayan ilişkilerinin ortaya konulması gerekmektedir (Keleş ve Harmancı, 1998).

Doğal ya da yapay olabilen sucül ekosistemler, suyun bulunduğu ortam ve su tipine göre (tatlı-tuzlu) genel olarak denizel ve karasal olarak ayrılırlar (Şekil 2.5).



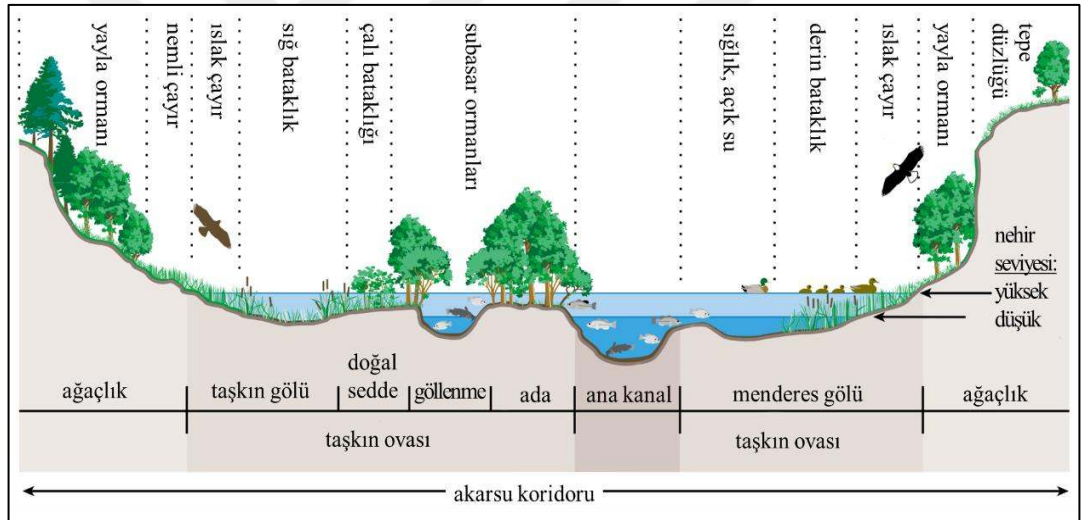
Şekil 2.5: Sucül ekosistem tipleri

Tatlı su ekosistemleri, karasal ortamda yer alan, en bilindik ve en önemli kullanılabilir yüzey sularını içeren ekosistemlerdir. Bu ekosistem, göl (lentik), akarsu

(lotik) ve bataklık alt ekosistemlerinden oluşmaktadır. Akarsu ekosistemi, akarsu kıyı ekosistemi, deniz ekosistemi, dağ ekosistemi, bataklık ekosistemi, orman ekosistemi, gölsel (lentik) ekosistem, kentsel ekosistem, tarım ekosistemi gibi diğer alt ekosistemlerle etkileşim halindedir.

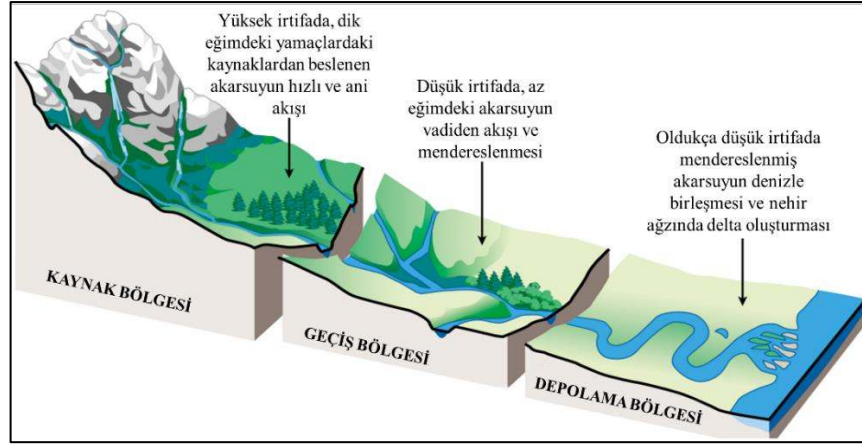
2.3 Akarsu Ekosistemi ve Kirlilik Kaynakları

Akarsular, su döngüsü sürecinde, yağıştan itibaren, su ayırım çizgisinden başlayarak, suyun depolandığı yere kadar sürekli akış (lotik) halindedir. Akarsuyun akışı sırasında akarsu boyunca biyotik ve abiyotik çevrenin etkileştiği ortamların tamamı akarsu ekosistemi olarak tanımlanır (Şekil 2.6). Akarsu ekosistemi hem sulak alanı hem de akarsu çevresindeki etkileşim halinde olduğu sucul ya da sucul olmayan tüm alanları kapsar (FISRWG, 2001).



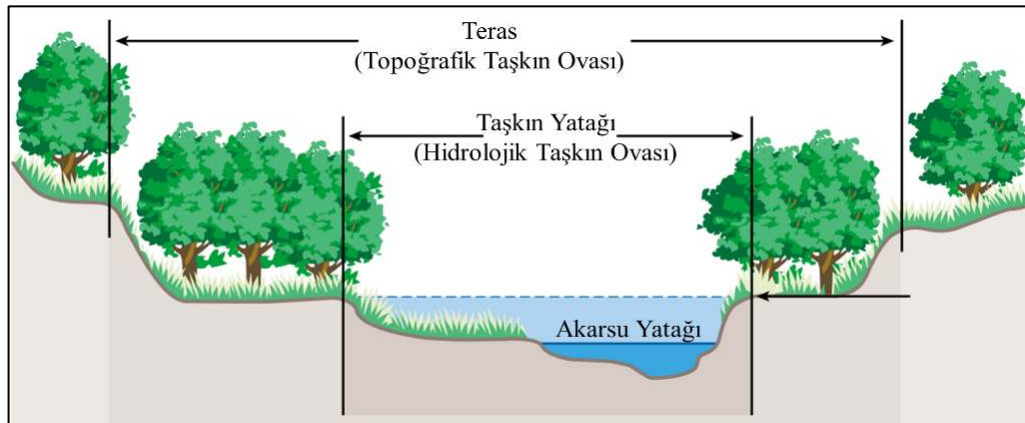
Şekil 2.6: Akarsu koridoru kesiti (FISRWG, 2001)

Akarsu ekosistemi kaynak, geçiş ve biriktirme bölgesi olmak üzere 3 bölgeden oluşur (Şekil 2.7). Kaynak bölgesi, yüksek irtifada, dik eğimli yamaçlardaki kaynaklardan beslenen akarsuyun hızlı ve ani akışının olduğu bölge, geçiş bölgesi düşük irtifada, az eğimdeki akarsuyun vadiden akışı ve mendereslenmesinin görüldüğü bölge, depolama bölgesi ise oldukça düşük irtifada mendereslenmiş akarsuyun denizle birleştiği ve nehir ağzında delta oluşturduğu bölge olarak tanımlanmaktadır.



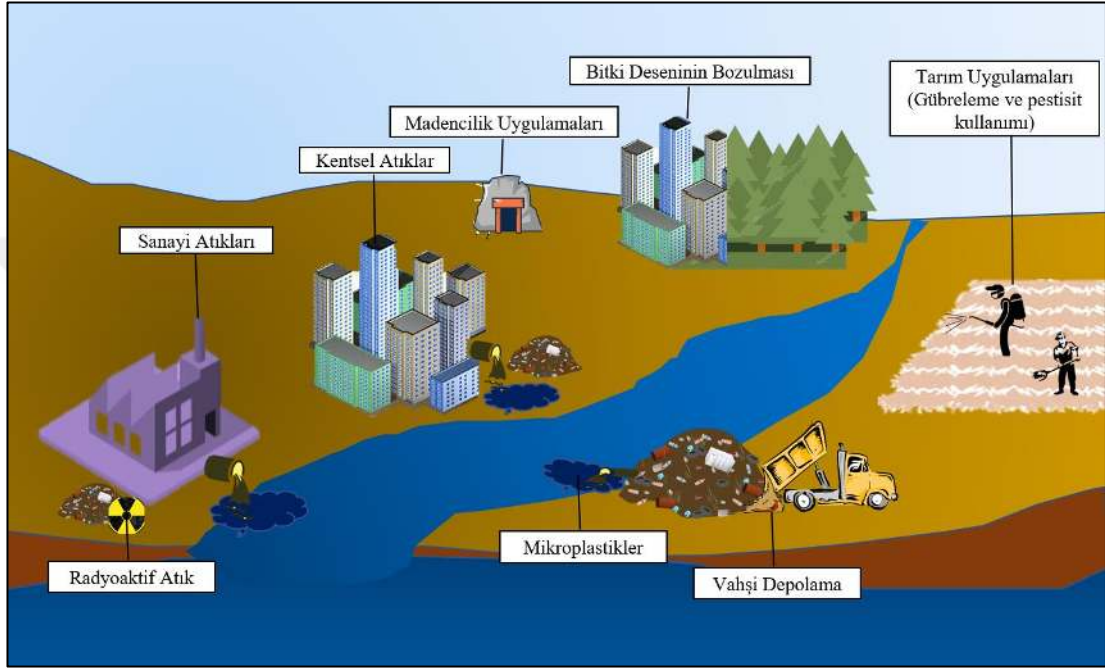
Şekil 2.7: Akarsu ekosistemi boyuna kesiti (FISRWG, 2001)

Akarsu ekosistemi, temelde suyun mevsimsel hareketine bağlı olarak akış kanalı, taşkın yatağı, teras olarak 3 alt ekosisteme ayrılır (Şekil 2.8). Bu alt sistemlerin işleyişi sırasında, besin döngüsü, kirleticileri filtreleme gibi sucul yaşamın devamlılığı için gerekli olan kritik işlevler gerçekleşmektedir (FISRWG, 2001). Bu olaylar gerçekleşirken, akarsu ekosisteminin su kalitesini etkileyen doğal ve antropojenik kökenli baskılar bulunmaktadır. İklim değişikliği, su taşkınları, fırtına-kasırğa ve depremler gibi doğal hadiselerin yanında, su kalitesini büyük oranda etkileyen antropojenik kökenli baskılar da bulunmaktadır. Bu tehditler; suyun doğal akışını ve ortamın iklimsel özelliklerini değiştiren baraj, gölet vb. gibi su yapıları, tarımdaki kötü uygulamaları, karbon salınımı, plansız kentleşme ve sanayileşme, bitki desen değişiklikleri ile atık depolama alanlarındaki sızmalar ve kentsel deşarjlar olarak sıralanabilir (Şekil 2.9).



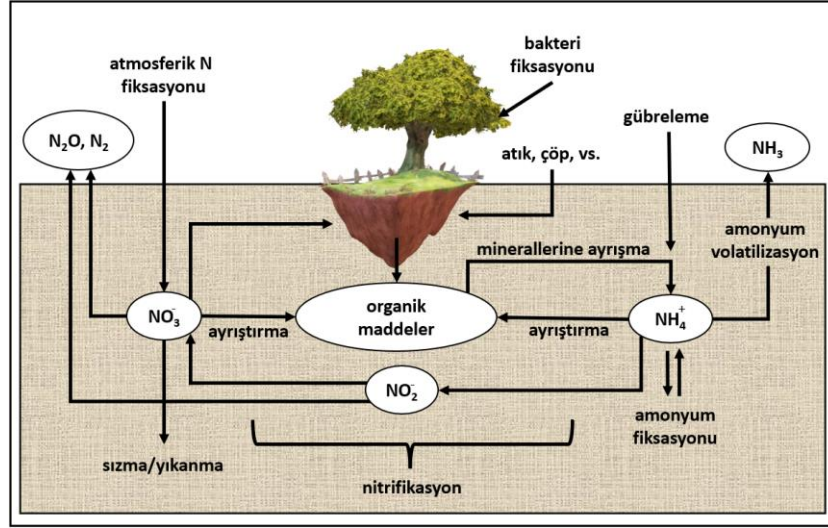
Şekil 2.8: Akarsu ekosistemi en kesiti (FISRWG, 2001)

Söz konusu bu baskıların neticesinde tüm ekosistemlerde olduğu gibi akarsu ekosistemlerinde de fiziksel ve kimyasal bozulmalar oluşabilmektedir. Fiziksel bozulmalar, akarsuyun akış, renk, koku, tat, sıcaklık, pH'ı vb. gibi parametrelerinde gözlemlenirken, kimyasal bozulmalar ise tuzluluk, ağır metaller ve azot, fosfat, sülfür, karbon ve oksijen gibi kimyasal parametrelerdeki değişimlerle tanımlanmaktadır.



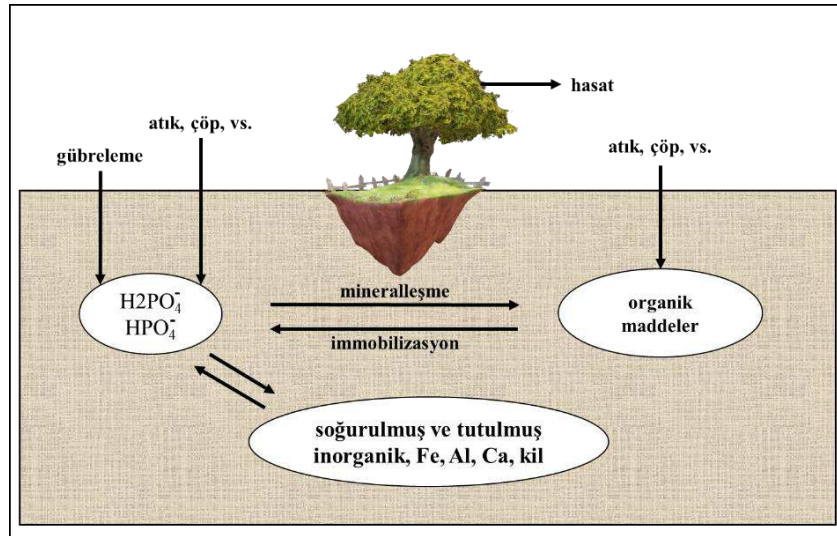
Şekil 2.9: Su kalitesini değiştiren baskılar (Germeç ve Ürker, 2020)

Sucul ekosistemlerde, besin maddesi olarak bilinen azot, fosfor ve bileşikleri diğer ekosistemlerde olduğu gibi yaşamsal sürekliliğin sağlanmasında oldukça önemlidir. Azot, mineral topraklarda, humus ile ilişkili organik azot, toprak kolloidleri tarafından tutulan mineral azot ve çözelti içindeki mineral azot şeklinde üç ana formda bulunabilir. Azot döngüsü, Şekil 2.10'da görüldüğü gibi, azotun gübre uygulaması ve artık maddelerle (atık, çöp, vs.), simbiyotik ve simbiyotik olmayan bakteriler tarafından fiksasyon veya yağmur yoluyla toprağa karışması ve ürün hasadı, sızma/yıkanma, volatilizasyon, denitrifikasyon ve erozyon gibi proseslerle topraktan ayrışması olarak tanımlanabilir (Neitsch ve diğ., 2011).



Şekil 2.10: Azot döngüsü (Neitsch ve diğ., 2011)

Fosfor, mineral topraklarda, humus ile ilişkili organik fosfor, çözünmeyen mineral fosfor ve bitki tarafından tutulan fosfor şeklinde görülebilmektedir. Bitkinin fosfor ihtiyacı, azot ihtiyacından önemli ölçüde daha az olmasına rağmen, fosfor birçok temel fonksiyonu için gereklidir. Bunlardan en önemlisi enerji depolama ve transferindeki rolüdür. Karbonhidratların fotosentezi ve metabolizmasından elde edilen enerji, daha sonra büyüme ve üreme süreçlerinde kullanılmak üzere fosfor bileşiklerinde depolanır (Neitsch ve diğ., 2011). Fosfor, gübre uygulaması ve artık maddeler (atık, çöp, vs.) ile toprağa karışabilirken, ürün hasadı veya erozyon gibi proseslerle topraktan ayrışabilir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11: Fosfor döngüsü (Neitsch ve diğ., 2011)

Azot, fosfor ve bileşiklerinin fazla yüklenmesi, sucul ekosistem üzerinde ötrofikasyona neden olabilmektedir. Ötrofikasyon, besin maddelerinin neden olduğu, rezervuar, göl ve nehirlerde biyolojik üretimin doğal prosesinin zenginleşmesidir. Ötrofikasyon sonucunda mavi-yeşil alglerin görülebilir oranda çoğalma ya da algal patlamalar oluşabilir. Bununla birlikte yüzey alg birikintileri, yüzey bitki yığınları ve bentik makrofitlerin toplanmasıyla sonuçlanabilir. Bu durum organik maddelerin bozunmasına neden olurken, toksik maddelerin serbest kalması ya da öncelikle okside olmuş fosfatların sedimanlara bağlanması ile oksijen yokluğundan balık ölümleri gibi ikincil problemler oluşabilmektedir (Doğan-sağlamtimur ve Sağlamtimur, 2018).

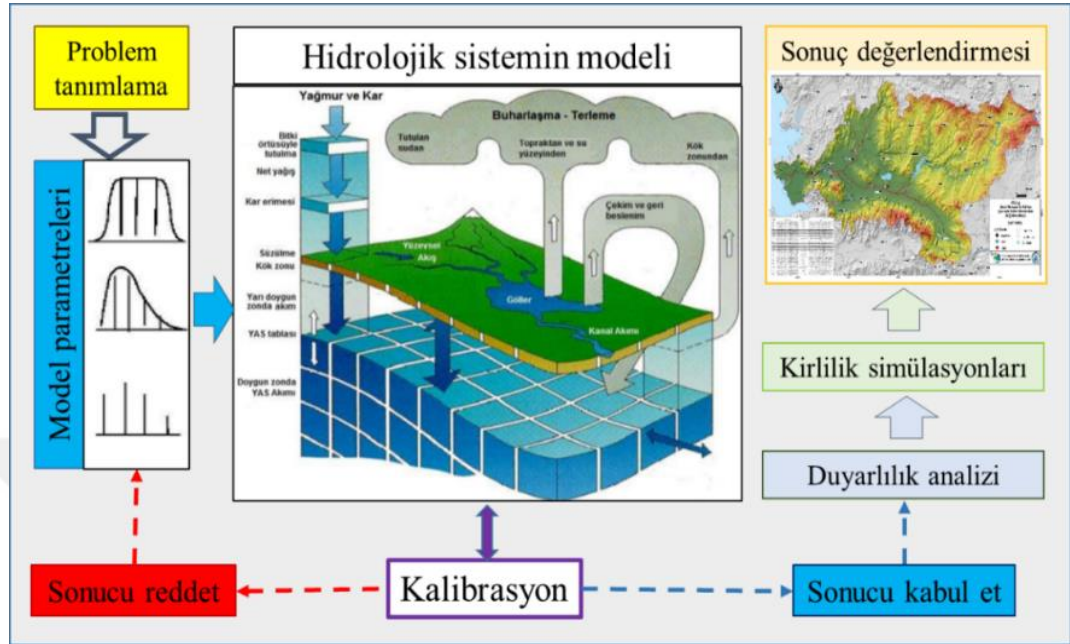
Havza ölçeğinde su ve besin maddesi döngülerinin üzerindeki biyolojik, fiziksel ve kimyasal etkilerin doğru şekilde tespit edilmesi ile ekosistem esaslı su kalitesi yönetimi mümkün olmaktadır. Bu amaçla, tüm dünyada hidrolojik modeller yaygın olarak kullanılmaktadır. Hidrolojik modellerin kullanımı ile kentsel ve çevresel sağlığın korunması adına önlem almak ve yaşanabilecek problemlerin önüne geçmek kolaylaşmaktadır (Gleick, 1996).

Çevreyi iyileştirmeyi amaçlayan çevre sağlığı alanında, su kalitesinin tespiti ve izlenmesi için mevcut ya da olası su kirliliğinin giderilmesine yönelik çalışmalarda hidrolojik modellerin kullanılması, çevre sağlığı çalışanlarının hızlı çözüm üretmelerine katkı sağlayacaktır (Munsuz, 1995). Bununla birlikte hidrolojik modellerin kullanımı, su kalitesinin çevresel standartlarının belirlenmesi ilgili ulusal tebliğ, yönetmelikler ve Avrupa Su Çerçeve Direktifi gibi yasal mevzuatları destekleyici görevdedir.

2.4 Hidrolojik Modelleme

Hidrolojik modelleme, yüzey suyu sistemlerinin, varsayımsal basitleştirme ile matematiksel olarak gerçeğe en yakın ifadelerle çözümlenmesine olanak tanıyan araçlardır. Aynı zamanda suyun kalite parametrelerinin de modellenmesi nedeniyle, büyük ölçekli ve maliyetli kimyasal analizleri, büyük iş gücüne gerek duymadan erişimi olmayan alanlarda bile su ortamında kirleticilerin hareketinin tahmin edilmesi ve su-çevre kirliliği adına ileride atılacak adımların tespitinde önem kazanmaktadır (Wang ve diğ., 2013). Hidrolojik modelleme için kirleticilerin

özelliklerine göre birçok farklı yazılım bulunmaktadır. Bu çalışmada, Şekil 2.12’de verilen adımlarla hidrolojik model kurgusu gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.12: Sadeleştirilmiş hidrolojik model kurgusu (Song ve diğ., 2015)

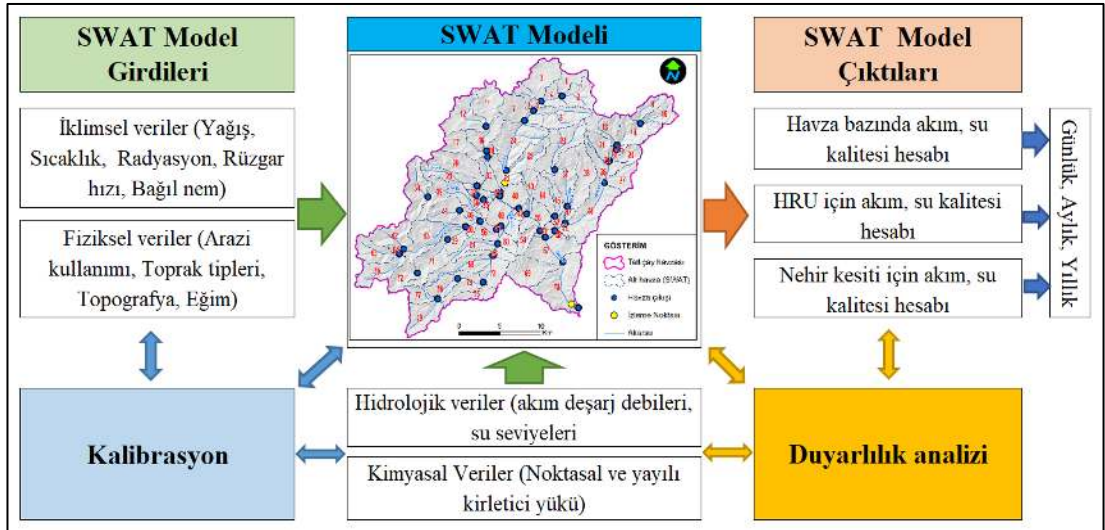
Hidrolojik modellemede, ilk olarak, bölge ya da havza ölçeğinde sistemin hidrolojik döngüsü ve süreçleri kavramsallaştırılmalıdır. Bunun ardından, modelde, yağış, sıcaklık, buharlaşma, güneş radyasyonu, akım vb. gibi çeşitli iklimsel ve hidrolojik veriler ile farklı model çözümlemelerine göre batimetri, eğim, yükseklik, bakı gibi topografik unsurlar ve toprak özellikleri, arazi kullanımı gibi özellikler tanımlanmalıdır. Sonrasında, gözlem ve model verileri arasında en iyi uyum için kalibrasyon ve validasyon süreci devam ettirilmelidir. Kalibrasyon süreci başarılı olursa, parametrelerin model üzerindeki etkisini anlayabilmek amacıyla duyarlılık analizleri yapılmalıdır.

Temel olarak benzer prensipte çalışan hidrolojik model yazılımları, eldeki veri, problemin tipi ve uygulanacak çözüme göre seçilebilir. Bu çalışmada, çevre sağlığı alanında, suyun doğadaki hareketi ile oluşan su kirliliği, partikül/sediman taşınımı ve besin maddeleri gibi çevre sağlığına ciddi anlamda zarar veren problemlerin tespit edilmesi, izlenmesi ve çözümlenmesinde etkin bir şekilde kullanılabilen SWAT modeli kullanılmıştır.

2.5 SWAT Modeli

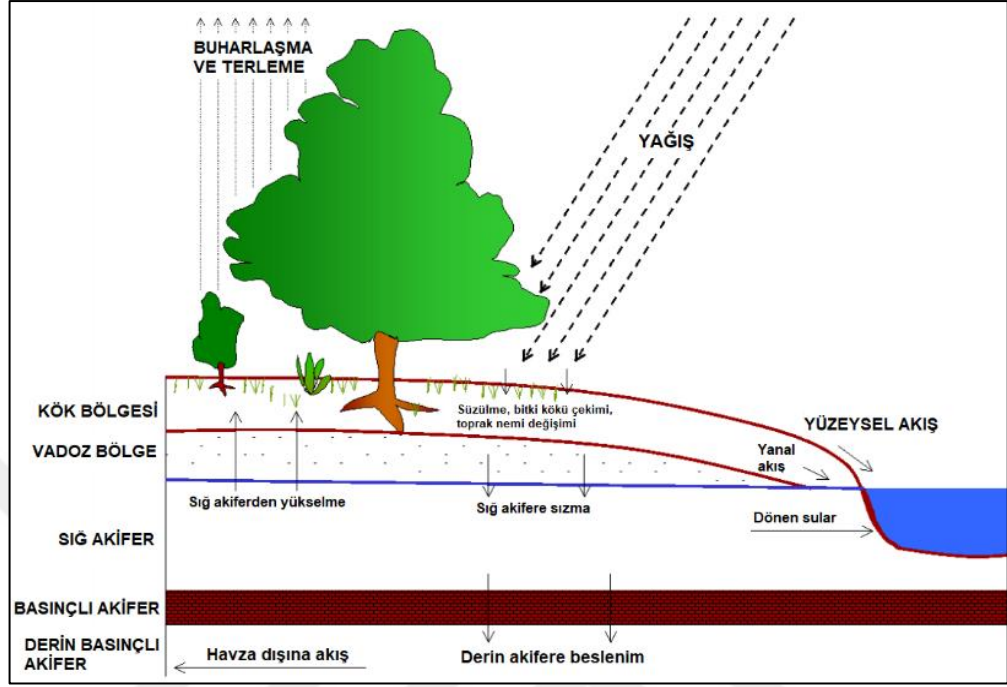
SWAT, USDA-ARS ve Texas A&M Üniversitesi iş birliği ile geliştirilmiş yüzey ve yeraltı sularının kalitesini ve miktarını simüle eden açık kaynak kodlu bir modeldir. Arazi kullanımları, arazi yönetim uygulamaları ve iklim değişikliğinin çevreye olan etkilerini tahmin edilmesi, erozyon önleme ve kontrol, yayılı kaynak kirliliği kontrolü ve bölge ve havza yönetiminin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Model kurulumunun hızlı yapılması, ara yüzünün kullanıcı dostu olması, veri gereksiniminin kolay ulaşılabilir olması ve CBS çözüm desteği sunması nedeniyle sıklıkla tercih edilen bir yazılımdır (Neitsch ve diğ., 2011).

SWAT için hidrolojik model girdileri kolaylıkla ulaşılabilir verilerden oluşmaktadır. Bu veriler, iklimsel (yağış, sıcaklık, güneş radyasyonu ve bağıl nem), fiziksel (arazi kullanımları, toprak özellikleri, topografya ve eğim), hidrolojik (akım deşarj debileri, su seviyeleri) ve kimyasal (noktasal ve yayılı kirletici yükü) veriler şeklinde gruplandırılabilir. Bu veriler modele tanımlanarak gözlem değerlerine göre yapılacak kalibrasyon ve duyarlılık analizi sonrası, çalışmanın amacına göre, günlük, aylık veya yıllık zaman periyodunda, havza bazında akım ve su kalitesi ile ilgili model çıktıları verebilir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13: SWAT model kurgusu

SWAT yazılımı kullanılarak oluşturulan modellerde iklimsel ve fiziksel koşullar birlikte değerlendirilirken, su döngüsü gibi temel hidrolojik ilkeler de dikkate alınır (Şekil.2.14).



Şekil 2.14: SWAT modeli su döngüsü (Neitsch ve diğ., 2011)

SWAT ile kurgulanacak modelde, öncelikle çalışmaya konu olan alan için, sayısal yükseklik haritası, arazi kullanım ve toprak çeşidi haritası, meteorolojik veriler (yağış, sıcaklık, bağıl nem, güneş radyasyonu ve ortalama rüzgar hızı), havzada gerçekleştirilen yönetim uygulamaları ve çalışma alanı içerisinde yer alan göletler/rezervuarlar ile bilgilere gerek duyulmaktadır. Tüm bu veriler modele girdi olarak sunulduktan sonra, SWAT havzayı öncelikle alt havzalara bölmekte, daha sonra her bir alt havzayı hidrolojik tepki birimi (Hydrologic Response Units (HRU)) adı verilen ve homojen arazi kullanımı/yönetimi, topografik özellikler ve toprak özelliklerinden oluşan birimlere bölmektedir. Daha sonra, hidrolojik döngü aşağıda verilen denklem kullanılarak günlük bazda simüle edilir.

$$SW_t = SW_0 + \Sigma R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}$$

SW_t : Nihai toprak su içeriği
 SW_0 : Başlangıç toprak su içeriği
 R_{day} : Yağış miktarı
 Q_{surf} : Yüzeysel akış miktarı
 E_a : Evapotranspirasyon miktarı
 W_{seep} : Vadoz bölgeye geçen su miktarı
 Q_{gw} : Dönen akış miktarı

Modellenen havzaya ait hidrolojik sistemin çalışması doğru şekilde ifade edildikten sonra sistem üzerindeki olumsuz mekanizmaların tanımlaması yapılarak, alana ait kirliliğin mevcut durumu modellenenebilir.

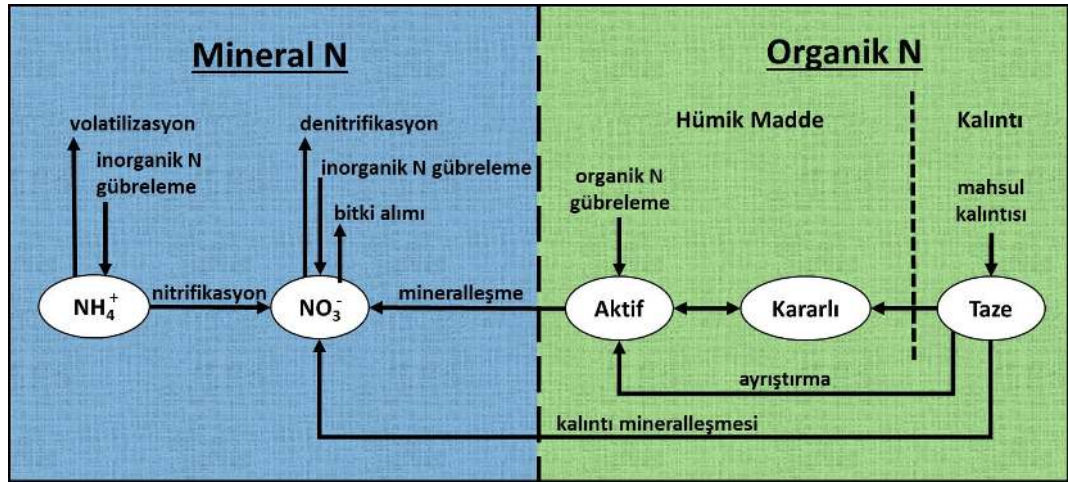
2.6 Besin Maddelerinin Modellenmesi

Besin maddesi döngüsü, azot ve fosfor bileşiklerinin toprak ortamındaki geçirdiği kimyasal dönüşümlere bağlıdır. SWAT modeli kullanılarak azot ve fosfor için tüm besin döngüsünün modellenmesi mümkündür.

2.6.1 SWAT'ta azot döngüsünün modellenmesi

Azot döngüsü, su, hava ve toprak ortamlarını içeren dinamik bir sistemdir. Bitkiler, karbon, oksijen ve hidrojen hariç, diğer tüm temel elementlerden daha fazla azota ihtiyaç duyarlar. Azot, toprak profilinde ve sıkı akiferde SWAT tarafından modellenir (Neitsch ve diğ., 2011).

Azotun değerlik durumu ya da oksidasyon durumu, azot atomunun çekirdeğinin etrafında dönen elektronlara bağlıdır. Azot, elektron kaybettiğinde pozitif, elektron kazandıkça negatif değerlikte olacaktır. Değerlik durumunun bu değişimi azotu oldukça hareketli bir element yapmaktadır. Azotun topraktaki farklı ortamlar arasındaki hareketinin tahmini, bu elementin başarılı bir şekilde modellenmesi için kritik öneme sahiptir. Şekil 2.15'te SWAT modelinde azotun topraktaki beş farklı ortam döngüsü verilmektedir.



Şekil 2.15: SWAT modelinde azot döngüsü (Neitsch ve diğ., 2011)

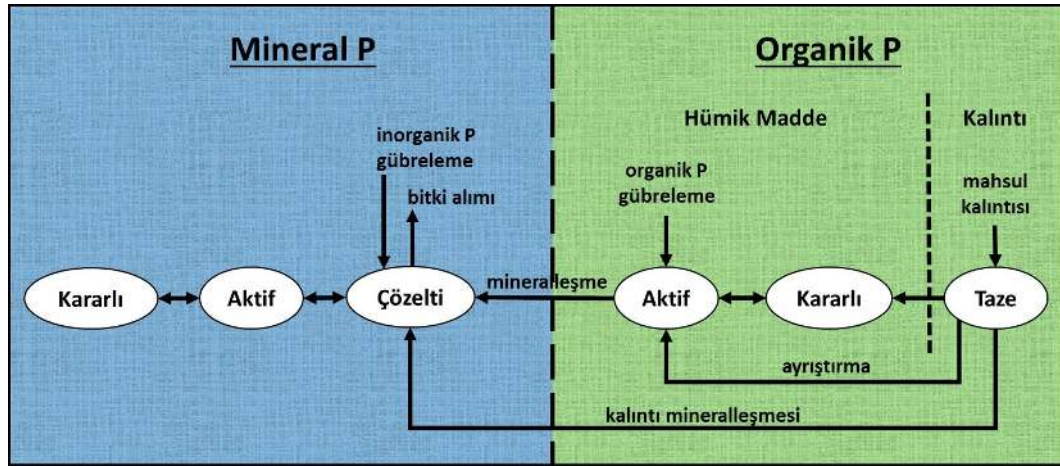
İlk iki ortam inorganik azot (NH_4^+ ve NO_3^-) formlarıdır, diğer üç ortam ise organik azot formlarıdır. Taze Organik N, mahsul kalıntısı ve mikrobiyal biyokütle ile ilişkilendirilirken, aktif ve kararlı organik N kısmı hümkik madde ile ilişkilidir. Aktif ve kararlı organik N, hümkik maddelerin mineralleşmesini hesaba katmak için iki ortama ayrılır.

Azotun döngüsü içerisindeki ayrışma, mineralleşme, immobilizasyon, volatilasyon, nitrifikasyon, denitrifikasyon süreçlerini SWAT ilgili ortama denk gelen formülasyonlarla modeller.

SWAT kurulumunun başlangıcında toprak katmanları için hümkik maddelerde bulunan çözünür N ve organik N miktarını tanımlayabilirler. Başlangıç azot konsantrasyonlarını belirtmezse, SWAT diğer azot ortamlarına göre kendi belirler (Neitsch ve diğ., 2011).

2.6.2 SWAT'ta fosfor döngüsünün modellenmesi

Azotun aksine fosforun çözünürlüğü çoğu ortamda sınırlıdır. Fosfor, çözültiden çökelen bir dizi çözünmez bileşik oluşturmak için diğer iyonlarla birleşir. Şekil 2.16'da SWAT'ta fosforun topraktaki beş farklı ortam döngüsü verilmektedir.



Şekil 2.16: SWAT modelinde fosfor döngüsü (Neitsch ve diğ., 2011)

Üç ortam fosforun inorganik formları iken, diğer üç ortam ise organik fosfor formlarıdır. Taze organik P, mahsul kalıntısı ve mikrobiyal biyokütle ile ilişkilendirilirken, aktif ve kararlı organik P havuzları hümk madde ile ilişkilidir. Hümk madde ilişkili organik fosfor, mineralleşmeyi hesaba katmak için iki ortama ayrılır. Toprakta mineral P, çözelti, aktif ve kararlı ortamlara ayrılır. Çözelti ortamı kısa bir sürede aktif ortamla dengeye girer (birkaç gün veya hafta). Aktif ortamdan, kararlı ortama geçiş yavaş bir süreçte dengelenir.

SWAT modelinin kurululumunun başlangıcında tüm toprak katmanları için hümk maddelerde bulunan çözünür P ve organik P miktarı tanımlanabilir. Başlangıç fosfor konsantrasyonları belirtilmediğinde, diğer fosfor ortamları SWAT tarafından belirlenir (Neitsch ve diğ., 2011).

2.7 Kalibrasyon, Hassasiyet Analizi ve Validasyon

Hidrolojik modeller, dinamik yapıları nedeniyle son yıllarda karar destek sistemlerinin destekleyicisi olarak daha fazla kullanım alanı bulmaktadır. Arazi kullanımı değişikliği, iklim değişikliği, su tahsisi ve kirlilik kontrolü alanlarında, karar vericilere modelin doğru cevap vermesi için, başarılı (istatistiksel limitler dahilinde) kalibrasyon, hassasiyet analizi ve validasyon yapılması gereklidir. Kalibrasyon, model ile elde edilen verilerin alana ait gözlem verileri ile karşılaştırılmasıyla yapılır. Hassasiyet analizinde ise kalibrasyon için gerekli parametrelerin modele olan duyarlılığı ölçülür, validasyon ise kalibrasyonda

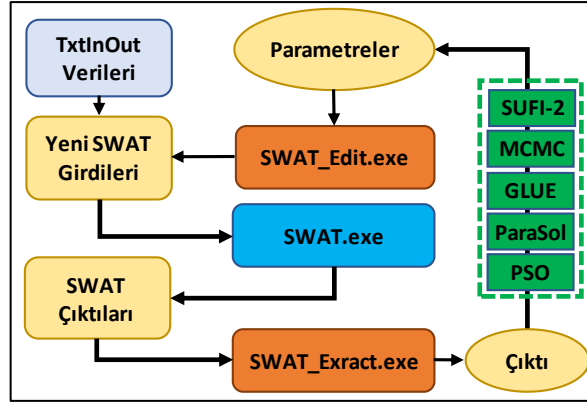
düzenlenen parametrelere göre çıkan sonuçların yine alana ait farklı zaman dilimindeki gözlem verileri ile karşılaştırılması ile yapılır.

Kalibrasyon deneme-yanılma yöntemi ile yapılabilir. Manuel kalibrasyon sınıfına giren bu yöntem, gözlem verileri ile model verileri arasındaki en iyi benzeşmeyi yakalayınca kadar, model parametrelerinin değiştirilmesi esasına dayanmaktadır. Ancak modeller arasındaki parametre geçişlerinde farklı teknik ve prosedürler bulunduğundan manuel kalibrasyon uygulaması kolay bir süreç değildir. Ayrıca girilen parametrelerin belli bir koşula bağlı olması, modellenen sistemin doğru yansıtılmamasına sebebiyet verebilir. Bu nedenle, modelin doğru yorumlaması için önem taşıyan kalibrasyon ve validasyon prosedürlerini kolaylaştırmak için, son yıllarda birçok farklı otomatik kalibrasyon yazılımı kullanılmaktadır. Bunlardan biri olan SWAT-CUP (SWAT Kalibrasyon Belirsizlik Prosedürleri) yazılımı, kolay arayüzüne sahip olması, her tür kullanıcı için kullanımının ve öğrenilmesinin kolay olması nedeniyle SWAT Modelinin kalibrasyon ve validasyonu aşamasında tercih edilebilir.

2.7.1 SWAT-CUP yazılımı

Bu çalışmada SWAT-CUP, yazılımının 2W2E tarafından geliştirilen bağımsız versiyonu olan 5.2.1 kullanılmıştır. SWAT-CUP, SWAT modellerinin kalibrasyonu ve validasyonu için daha hızlı bir yol sağlamayı ve kalibrasyon adımlarını standartlaştırmayı amaçlar.

SWAT-CUP yazılımında, kullanıcı tarafından seçilebilen GLUE (Genelleştirilmiş Olasılık Belirsizlik Tahmini), ParaSol (Parametre Çözümü), SUFI-2 (Sıralı Belirsizlik Uydurma) ve MCMC (Monte Carlo Markov Zinciri) algoritmaları yardımıyla model sonuçlarının havza parametrelerine göre çözümlenmesi sağlanmaktadır (Şekil 2.17). Modelin amacına ve kullanılan parametrelere göre seçilen bu algoritmalar ile hassasiyet analizi, kalibrasyon, validasyon ve belirsizlik analizi yapılabilmektedir (Abbaspour, 2015).



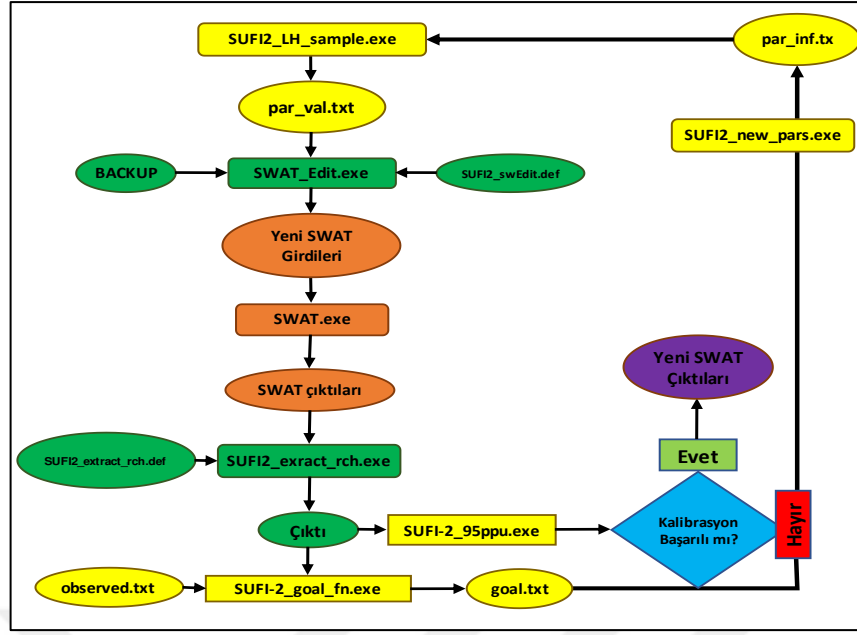
Şekil 2.17: SWAT-CUP işleyişi (Abbaspour, 2015)

2.7.2 SUFI-2 algoritması

SUFI-2 algoritmasındaki belirsizlik kavramı, kavramsal model parametreleri ve ölçülen veriler gibi değişkenler için parametre belirsizliğini tanımlar. Bu parametre belirsizlikleri, 95PPU, d faktörü ve p-faktörü olarak adlandırılan ölçülerle tanımlanır (Abbaspour ve diğ., 2007).

95PPU (%95 tahmin belirsizliği) değerinin hesaplanması, Latin hiperküp örnekleme yöntemiyle parametre değerlerinin rastgele dağılımı ile sağlanır. Bu hesap, gözlem verileri ile model verilerinin kümülatif dağılımını %2.5 ve %97.5 düzeylerinde vermektedir. Böylece parametre belirsizliklerinin tümünü açıklayan 95PPU, modeldeki tüm belirsizlikleri de açıklar. Bir belirsizlik analizinin güvenilirliği d-faktörüne bağlıdır. Bu faktör, ölçülen verilerin standart sapmasına bölünen 95PPU bandının ortalama kalınlığıdır. SUFI-2, gözlem verilerinin çoğunu mümkün olan en küçük d-faktörü ile kategorize etmeye çalışır (Abbaspour, 2015).

SUFI-2’de, modelde tanımlanan parametreler belli bir aralık içinde parametre belirsizliğinde tanımlanır. Bununla birlikte, model verileri ile ölçülen verilerin 95PPU bandına düşmesi sağlanır. Daha sonra p-faktörü ve d-faktörüne göre belirsizlik aralığı adım adım azaltılır. Her adımda, önceki parametre aralıkları, duyarlılık matrisi ve bir Hessian matrisi eşdeğeri hesaplanarak güncellenir. Ardından kovaryans matrisi, parametrelerin % 95 güven aralıkları ve korelasyon matrisi hesaplanır ve parametrelere ait yeni aralıklar, önceki aralıklardan daha küçük olacak ve en iyi tahmin etrafında toplanacak şekilde güncellenir (Abbaspour ve diğ., 2007). SWAT-CUP’ta SUFI2 algoritması Şekil 2.18’deki gibi işlemektedir.



Şekil 2.18: SWAT-CUP'ta SUFI2 algoritması (Abbaspour, 2015)

Kalibre edilmiş model için, %100'lük bir p-faktörü ve sıfıra yakın bir d-faktörü ideal ölçüt olarak tanımlanır. Kalibrasyon sonucunda kabul edilebilir değerlere sahip d-faktörü ve p-faktörü elde edildiğinde, gözlem verisi ve en iyi tahmin arasındaki R^2 ve/veya NS model performans değerleri ile anlaşılır. Ayrıca 95PPU bandında verilerin çoğunu kapsayacak şekilde parametre aralığı bulunamıyorsa sorun parametre kalibrasyonundan kaynaklanmaz. Bu durumda kavramsal modelin yeniden incelenmesi gerekir (Abbaspour ve diğ., 2007).

2.8 Model Performans İstatistikleri

Modelleme uygulamalarının kalibrasyon ve validasyon aşamaları, gözlem ile model sonuç verileri arasındaki bağlantı değerlerini baz alan model performans istatistikleri ile değerlendirilmektedir. Hidrolojik modellerde, NSE (Nash-Sutcliffe etkinlik istatistiği), R^2 (belirginlik katsayısı) ve PBIAS (yüzde hata istatistiği) gibi hem doğrudan hem de türetilmiş istatistiksel yöntemlerin, model performansını daha kapsamlı değerlendirmesi ve model çıktılarına olan güveni sağlaması açısından birlikte kullanımı önerilmektedir (Moriassi ve diğ., 2015). Çizelge 2.3'te akım ve besin maddesi SWAT modeline ait model başarı istatistikleri aralık değerleri verilmektedir.

Çizelge 2.3: SWAT model başarı istatistikleri (Moriasi ve diğ., 2007, 2015)

Parametre	Model Başarısı			
	Çok İyi	İyi	Başarılı	Başarısız
Akım Modeli				
R²	R2 > 0,85	0,75 < R2 ≤ 0,85	0,60 < R2 ≤ 0,75	R2 ≤ 0,60
NSE	NSE > 0,80	0,70 < NSE ≤ 0,80	0,50 < NSE ≤ 0,70	NSE ≤ 0,50
PBIAS	PBIAS < ± 10	± 10 < PBIAS ≤ ± 15	± 15 < PBIAS ≤ ± 25	PBIAS ≥ ± 25
Besin Maddesi (N, P) Modeli				
R²	R2 > 0,70	0,60 < R2 ≤ 0,70	0,30 < R2 ≤ 0,60	R2 ≤ 0,30
NSE	NSE > 0,65	0,50 < NSE ≤ 0,65	0,35 < NSE ≤ 0,50	NSE ≤ 0,35
PBIAS	PBIAS < ± 25	± 25 < PBIAS ≤ ± 40	± 40 < PBIAS ≤ ± 70	PBIAS ≥ ± 70

2.8.1 NSE (nash-sutcliffe verimlilik katsayısı)

Nash-Sutcliffe verimlilik katsayısı (NSE), ölçülen veri varyansına ("bilgi") kıyasla artık varyansın ("gürültü") göreceli büyüklüğünü belirleyen normleştirilmiş bir istatistiktir (Nash ve Sutcliffe, 1970). Aşağıda verilen denklemle hesaplanabilir.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$$

O_i : Gözlenen değer
 P_i : Hesaplanan değer
 $\bar{O}$: Gözlenen değerler varyansı

NSE, gözlemlenen veri ile simüle edilen veriye ait grafiğin, 1:1 çizgisine ne kadar iyi uyduğunu gösterir. NSE, “-∞” ile “1” arasında değişir. NSE’nin “1” olması ideal değerdir ve gözlenen değerler ile hesaplanan değerler arasında bire bir uyum olduğunu gösterir. Genellikle kabul edilebilir performans seviyeleri “0” ile “1” arasındaki değerler olarak görülürken, “0”dan küçük değerler, modelin doğru cevap vermediğini ve yeniden kurgulanması gerektiğini gösterir (Moriasi ve diğ., 2007).

2.8.2 R² (belirginlik katsayısı)

Belirginlik katsayısı (R²), model verisi ile ölçülen veriler arasındaki bağlantı derecesini ifade eder. Başka bir ifade ile model verisinin ölçülen verilerdeki varyansının oranını tanımlar. R², “0” ile “1” arasında değişir, “1”e yaklaştıkça daha az hata varyansını gösterir ve tipik olarak 0,5’ten büyük değerler “kabul edilebilir” olarak kabul edilir. Aşağıda verilen denklemle hesaplanan R², model değerlendirmesi için yaygın olarak kullanılmasına rağmen, yüksek uç değerlere (aykırı değerler) karşı aşırı duyarlıdır ve model tahminleri ile ölçülen veriler arasındaki toplama ve orantısal farklılıklara karşı duyarsızdır (Moriasi ve diğ., 2007).

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})^2}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \right]^2$$

O_i : Gözlenen değer
 P_i : Hesaplanan değer
 $\bar{O}$: Gözlenen değerler varyansı
 $\bar{P}$: Hesaplanan değerler varyansı

2.8.3 PBIAS (yüzde sapma)

PBIAS, değerlendirilen verilerin yüzde olarak ifade edilen sapmasıdır. Aşağıda verilen denklem ile hesaplanır. PBIAS, model verilerinin gözlemlenen verilerle olan benzerliğini ifade eder. PBIAS, “ $-\infty$ ” ile “ $+\infty$ ” arasında değişir ve ideal değeri “0”dır. “0”a yakın büyüklük değerleri, modelin doğruluğunu gösterir. Ayrıca pozitif değerler, model sonuçlarının gözlenen değerlerden düşük tahmin yanlılığını, negatif değerler ise model sonuçlarının gözlenen değerlerden fazla tahmin yanlılığını gösterir (Moriasi ve diğ., 2007).

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \times 100$$

O_i : Gözlenen değer
 P_i : Hesaplanan değer

3. ÇALIŞMA ALANININ TANIMLANMASI

3.1 Alan Tanıtımı

Tatlıçay Havzası, Çankırı İli sınırlarında büyük oranda Korgun ilçesi ve Çankırı İl Merkezi olmak üzere Ilgaz, Yapraklı, Eldivan ve Kurşunlu İlçelerine ait bucak köyleri içinde yer almaktadır (Şekil 3.1).



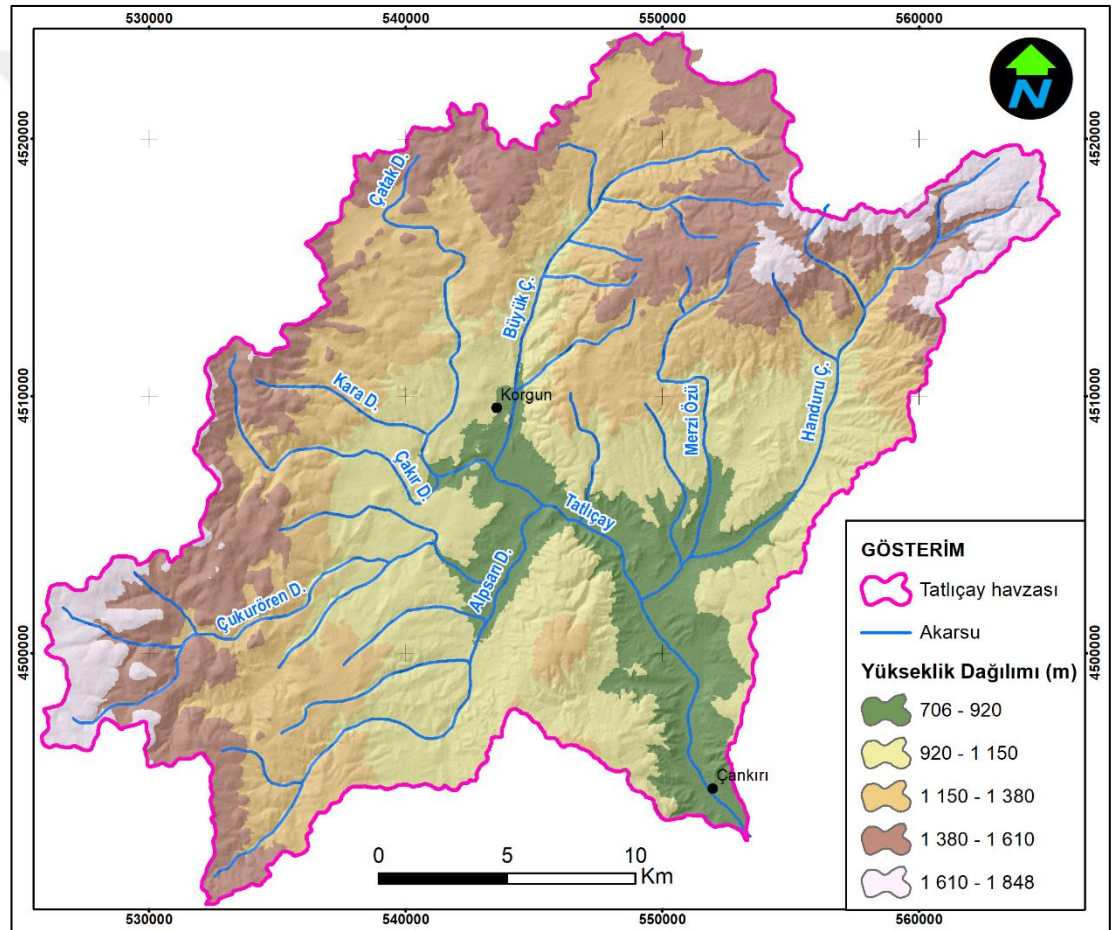
Şekil 3.1: Tatlıçay havzası yer bulduru haritası

3.2 Çalışma Alanı Fiziksel Özellikleri

Çalışma alanı fiziksel özellikleri topoğrafya ve eğim, toprak grupları ile arazi kullanımı olmak üzere 3 başlıkta incelenmiştir.

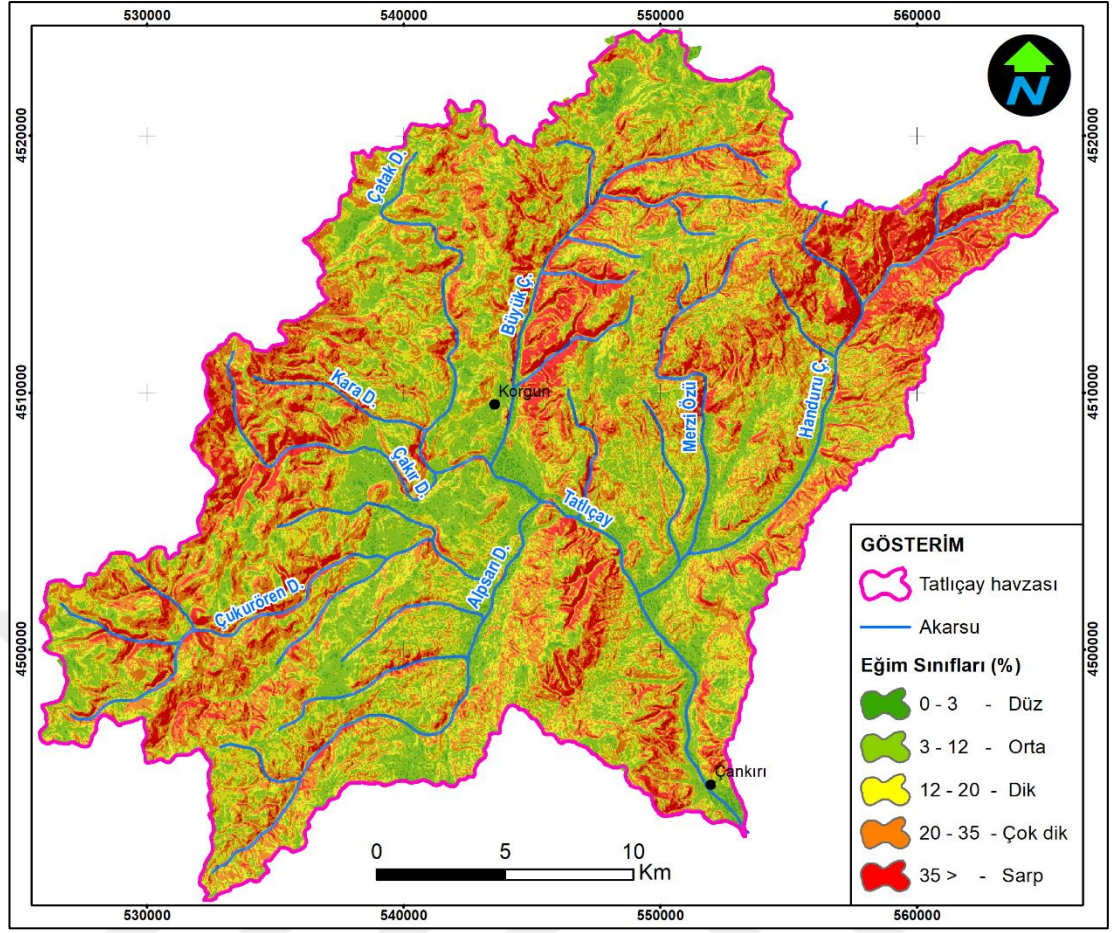
3.2.1 Coğrafi yapı

Çalışma alanında USGS'e ait 30 m çözünürlüklü SRTM verisi, sayısal yükseklik modeli olarak kullanılmıştır. Tatlıçay Havzası'nda yükseklikler 706 m ile 1848 m arasında değişmektedir. Çankırı, havzanın en düşük kotunda yer almaktadır (Şekil 3.2).



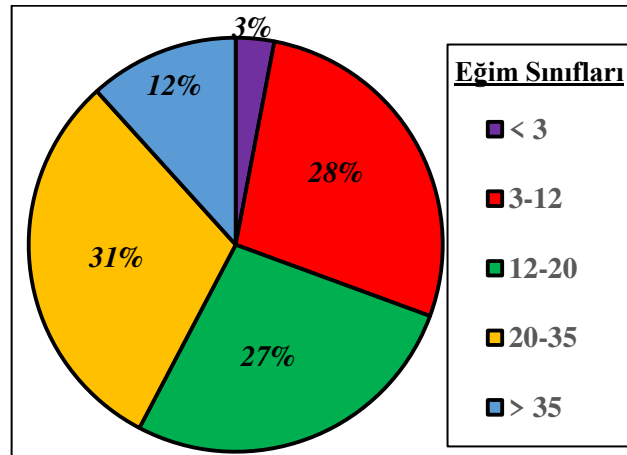
Şekil 3.2: Sayısal yükseklik modeli (USGS, 2017)

Havzada yaklaşık 1100 m kot farkı bulunmaktadır. Havza bu yönüyle yüksek eğimli bir havzadır. Genel yükselti ve eğim ovalık kesime gelince düşmektedir. Vadi kesiminde %20'den fazla dik eğim görülmektedir. Tatlıçay Havzası eğim haritası Şekil 3.3'te verilmektedir.



Şekil 3.3: Eğim analizi

Yapılan eğim analizi sonucunda, alansal dağılıma göre, havzanın % 3'ünde düz alan, %28'inde orta eğime sahip alan, %27'sinde ise dik eğim sınıfına sahip alan yer almaktadır. Çok dik alanlar, havzanın %31'ini kapsarken, sarp alanlar %12'sinde görülmektedir (Şekil 3.4).

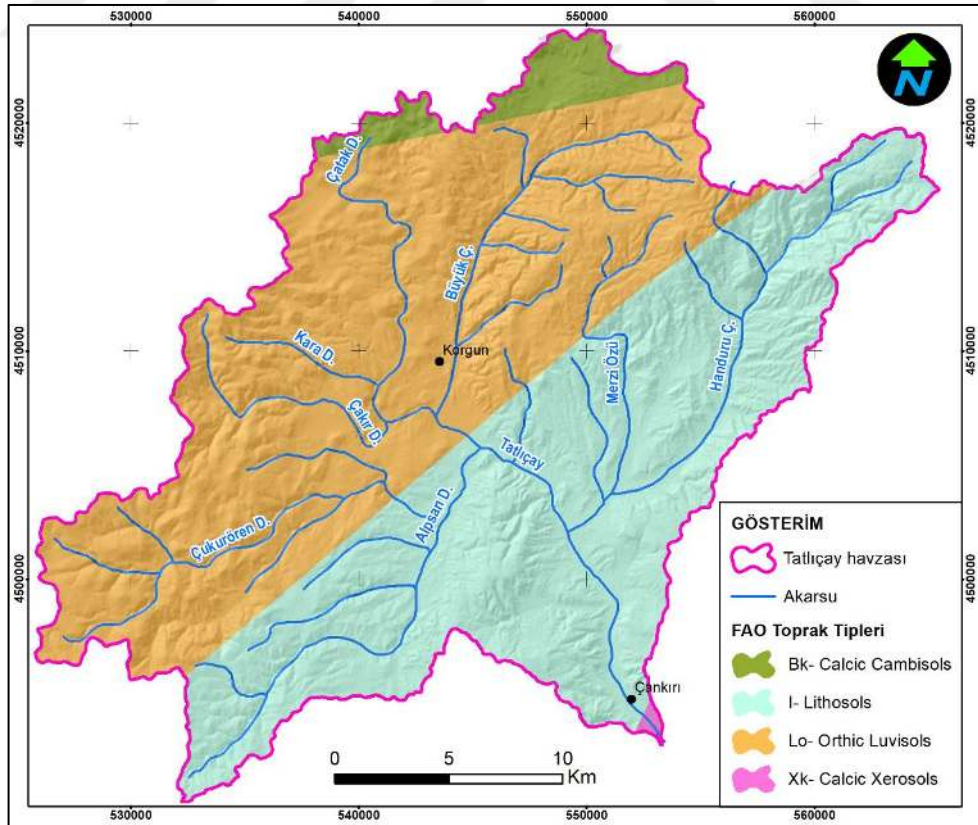


Şekil 3.4: Eğim yüzdeleri

3.2.2 Toprak grupları

Tatlıçay Havzası'nda toprak özelliklerinin tanımlanması için 1:5000000 ölçekli FAO ve UNESCO'nun 2003 yılında yayımladığı DSMW verisi kullanılmıştır. DSMW verisi 1:5000000 ölçekli FAO-UNESCO Dünya Toprak Haritası'ndan üretilmiştir. Dünya Toprak Haritası, FAO-UNESCO'nun 1961-1971 yılları arasında, farklı ülkelerde gerçekleştirdiği toplantılar sonrasında hazırlanmaya başlanmıştır. İlk taslağı 1976'da hazırlanan harita, 1978'de revize edilmiş ve 1979'da son haline getirilmiştir (FAO-UNESCO, 2003). Benzer iklimsel, arazi kullanımı, vejetasyon ve litolojik özelliklere göre tüm ülkeler için ortak bir gösterim ve isimlendirmeye sahip bölgesel ve kıtasal ölçekte toprak haritaları hazırlanırken, coğrafya, toprak ve iklimdeki benzerlikler ve farklılıklar dikkate alınarak bir bölgeden diğerine aktarılmıştır.

DSMW verisi ile oluşturulan ve Şekil 3.5'te verilen Toprak Özellikleri Haritasında görüldüğü üzere, Tatlıçay Havzası'ndaki toprak grupları, Calcic Cambisol (Bk), Lithosoller (I), Orthic Luvisols (Lo) ve Calcic Xerosols (Xk)'den oluşmaktadır.



Şekil 3.5: Tatlıçay havzası toprak özellikleri haritası (FAO-UNESCO, 2003)

Tatlıçay Havzası'nda yer alan toprak gruplarına ait bilgiler ve alansal dağılımları Çizelge 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1: Çalışma alanı toprak grupları

FAO/UNESCO Toprak Tipi	Baskın Toprak Tipi	Baskın Toprak Adı	Alan (ha)	Alan (%)
Bk45-2bc	Bk	Calcic Cambisol	2366,12	3,5%
I-Rc-Xk-2c	I	Lithosol	30470,12	45,2%
Lo91-2bc	Lo	Orthic Luvisol	111,91	0,2%
Xk56-2/3ab	Xk	Calcic Xerosol	34471,18	51,1%
Toplam:			67419,33	

FAO/UNESCO Toprak Grupları'na ait detaylı bilgiler aşağıda verilmektedir:

Bk. Kalsik Cambisols: Büyük ölçüde Akdeniz iklim koşullarında meydana geldikleri için İspanya, Portekiz ve Türkiye ile sınırlıdır. Tepelik ve dağlık topografya ile ilişkilidirler ve çoğunlukla taşlıktırlar. Türkiye'de genellikle meşe ormanları baskındır, ormansız alanlarda çeşitli tarla bitkileri yetiştirilir ve bahçecilik de yapılmaktadır. Kalsik Cambisols şiddetli nem stresine maruz kalır ve eğim, erozyona duyarlılıkla birlikte önemli bir sınırlamadır.

I: Lithosols: Başlıca Litosol birlikleri, çok bölünmüş topografyalar ile orta ve yüksek yükseltilerde bulunur. İzlanda'dan Alpler'e, Pireneler'e, Toroslar'a, Urallar'a kadar büyük dağ zincirlerinin ve masiflerin çoğunda bulunur. Türkiye'de Litosoller, Rendzinas, Cambisols ve Luvisols ile; Cambisols, Chernozems ve Kastanozems gibi birçok farklı tipleriyle birlikte sık görülür. Ana malzemesi çok çeşitli kayalardır. Litosoller orman ya da mera ile kaplıdır. Genel olarak, düşük toprak kalitesi ve şiddetli iklim koşullarında tarım veya ormancılık faaliyetlerini kârsız hale getirmektedir. Hayvancılıkta kaba otlatma ve bazı bölgelerde ağaçlandırma en büyük kullanımdır.

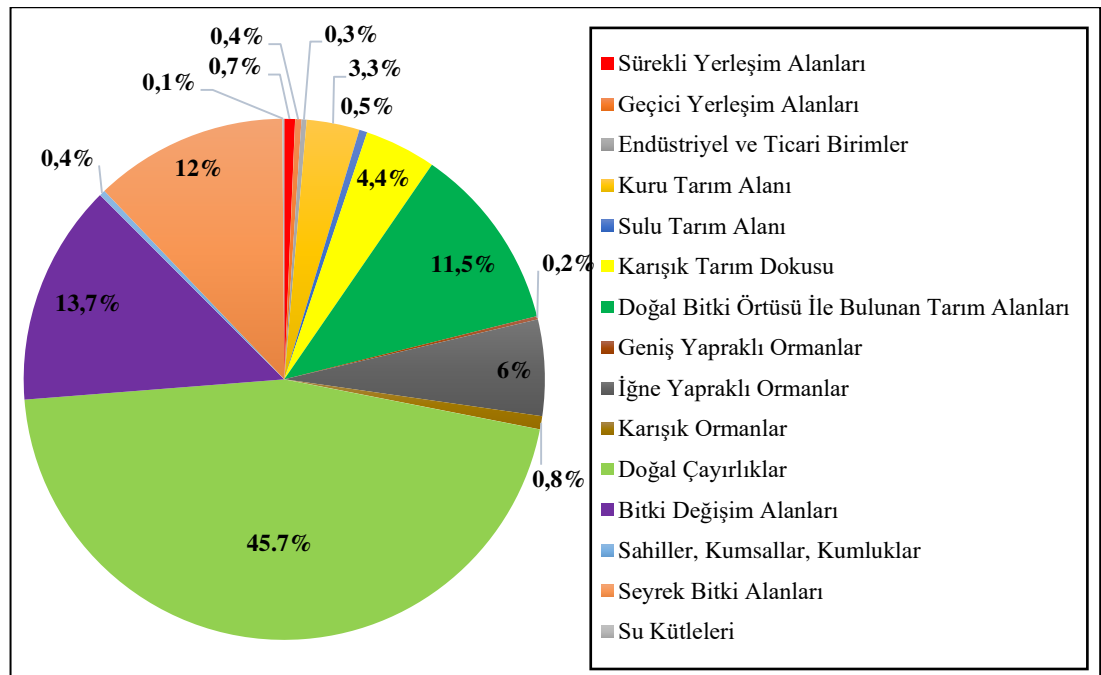
Lo. Orthic Luvisols: Serin denizden yarı sıcak bozkırlara kadar değişen iklim koşulları altında Avrupa genelinde meydana gelen oldukça önemli tarım topraklarıdır. Tepelik ve dağlık topografyadaki Ortik Luvisoller Türkiye'de sığ ve taşlık karakterdedir. Eğim sınırlamasına tabidirler ve erozyona karşı hassastırlar. Türkiye'de orman arazi kullanımı hakimdir; doğal bitki örtüsü yaprak döken ormandır, genellikle kayındır. Ancak bu toprakların çok verimli olmasından dolayı orman alanları tarla bitkileri ile değiştirilmiştir. Ege ve Marmara bölgelerinde

ekilebilir tarım ve meyve üretimi, ormancılık ve kaba otlatma yapılmaktadır. Doğu Anadolu arazi kullanımı ise koyun, keçi ve sığırların göçebe otlatılması ile sınırlıdır.

Xk. Calcic Xerosols: Bu topraklar en çok Türkiye ve İspanya'da geniş alan kaplamaktadır. Türkiye'de daha çok Orta Anadolu'da geniş yayılıma sahip olup, burada ekilebilir ekimle ve çalı bozkır bitki örtüsü üzerinde otlayan sığır, keçi ve koyunlar otlatılmaktadır. Türkiye'nin dağlık bölgesinde ise daha taşlıdır ve çoğunlukla kaba otlatma için kullanılırlar. Şiddetli nem stresi bulunmakta olup, özellikle tepe ve dağ bölgelerinde erozyona karşı oldukça hassastır.

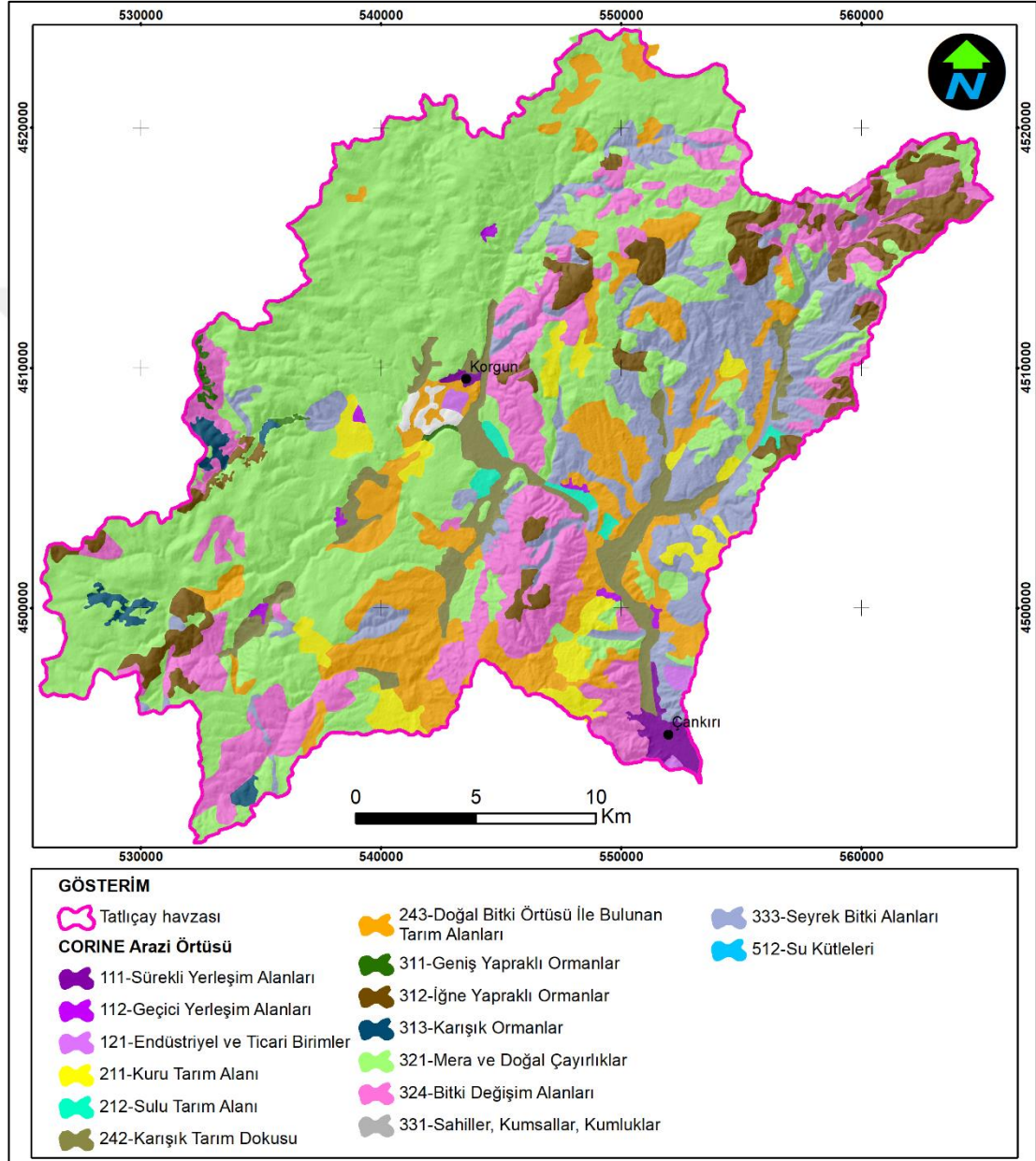
3.2.3 Arazi örtüsü

Tatlıçay Havzası'ndaki arazi örtüsü ve kullanımlarını sınıflandırmak için EAA tarafından 2018 yılında hazırlanmış olan CORINE verisi kullanılmıştır (EEA, 2020). Arazi kullanımlarına bakıldığında havzanın genelini doğal çayırliklar, bitki değişim alanları, seyrek bitki alanları, doğal bitki alanları ile bulunan tarım alanları ve iğne yapraklı ormanlar oluşturmaktadır. Havzada doğal çayırliklar alansal olarak % 45,7 oranında yer almaktadır. Bitki değişim alanları alansal olarak % 13,7 oranında, seyrek bitki alanları, % 12 oranında, doğal bitki alanları ile bulunan tarım alanları % 11,5 ve iğne yapraklı ormanlar ise % 6 oranında bulunmaktadır. Havzada bulunan CORINE arazi örtüsü tiplerinin alansal dağılımları Şekil 3.6'da verilmektedir.



Şekil 3.6: Çalışma alanı arazi verileri ve oranları

Çalışma alanında CORINE verisi ile oluşturulan arazi örtüsü ve kullanımları haritası Şekil 3.7’de gösterilmektedir.



Şekil 3.7: Arazi örtüsü ve kullanımları

3.3 Hidrolojik Özellikler

Tatlıçay Havzası’nın yüzey suyu sistemini, kaynağını Köroğlu Dağları’ndan alan yüksek eğimli ve mevsimsel akışa sahip dereler ve bu derelerin birleşmesinden

Çizelge 3.2: Tatlıçay havzasındaki göletler ve özellikleri (DSİ, 2019)

Adı	Kurum	Tarih	Normal Hacmi (hm ³)	Maks. Hacmi (hm ³)	Amacı	Akarsu Dere
Demirçevre Ildızım Glt.	DSİ	1.01.2014	0,816	0,882	Sulama	Gazel D.
Alanpınar Göleti	DSİ	1.01.2014	1,726	1,95	Sulama	Çörtencik D.
Bugay Göleti	DSİ	1.01.2021	1,977	2,385	Sulama	Söğütlü D.
Maruf Göleti	DSİ	1.01.2002	0,811	0,985	Sulama	Eşek D.
Karatekin Göleti	DSİ	1.01.2020	1,848	2,205	Sulama	Kara Dere
Dereçatı Göleti	DSİ	1.01.2017	2,016	2,179	Sulama	Büyükdere
Yolkaya Göleti	DSİ	1.01.2020	1,157	1,43	Sulama	Maruf Çayı
Korgun Göleti	KHGM	1.01.1999	1,4	1,525	Sulama	İnönü D.
Kayıçivi Göleti	KHGM	1.01.1990	1,14	1,14	Sulama	Değirmen D.
Alpsarı Göleti	KHGM	1.01.1978	2,14	2,14	Sulama	Alpsarı D.

Tatlıçay Havzası'nda içme ve kullanma suyu, tek kaynak olarak havzanın dışında bulunan Güldürcek Barajı'ndan sağlanmaktadır. DSİ tarafından 1981-1988 yıllarında Yazı Nehri üzerine inşaa edilen, 53 hm³ hacme sahip Güldürcek Barajı, Çankırı İli'nde Merkez, Orta, Şabanözü, Eldivan, Yaylakent, Gümerdiğin, Gürpınar, Elmalık, Dodurga, Kalfat, Dumanlı, Taşkaracalar ve Saray yerleşim alanlarına içme suyu sağlamaktadır. Çekilen su miktarı yıllık 18 hm³ ve arıtılan su miktarı 16 hm³ olarak belirlenmiş olup, 2020 yılı içerisinde yaklaşık 10 hm³ kullanım yapılmıştır. Baraj faaliyete geçtikten sonra Tatlıçay Havzası'nda içme suyu amaçlı yeraltı suyu kullanımından vazgeçilmiştir (Çankırı İÇDR, 2021).

3.4 Hidrometeorolojik Özellikler

Tatlıçay Havzası'nın bulunduğu bölgedeki meteorolojik özelliklerin ortaya konulması amacıyla Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından işletilmekte olan ve detaylı bilgileri Çizelge 3.3'de verilen havza ve çevresindeki meteoroloji gözlem istasyonlarına (MGİ) ait veriler incelenmiştir (Şekil 3.9). Bu istasyonlardan Çankırı Merkez'de bulunan 17080 No'lu istasyon ile Korgun Merkez'de bulunan

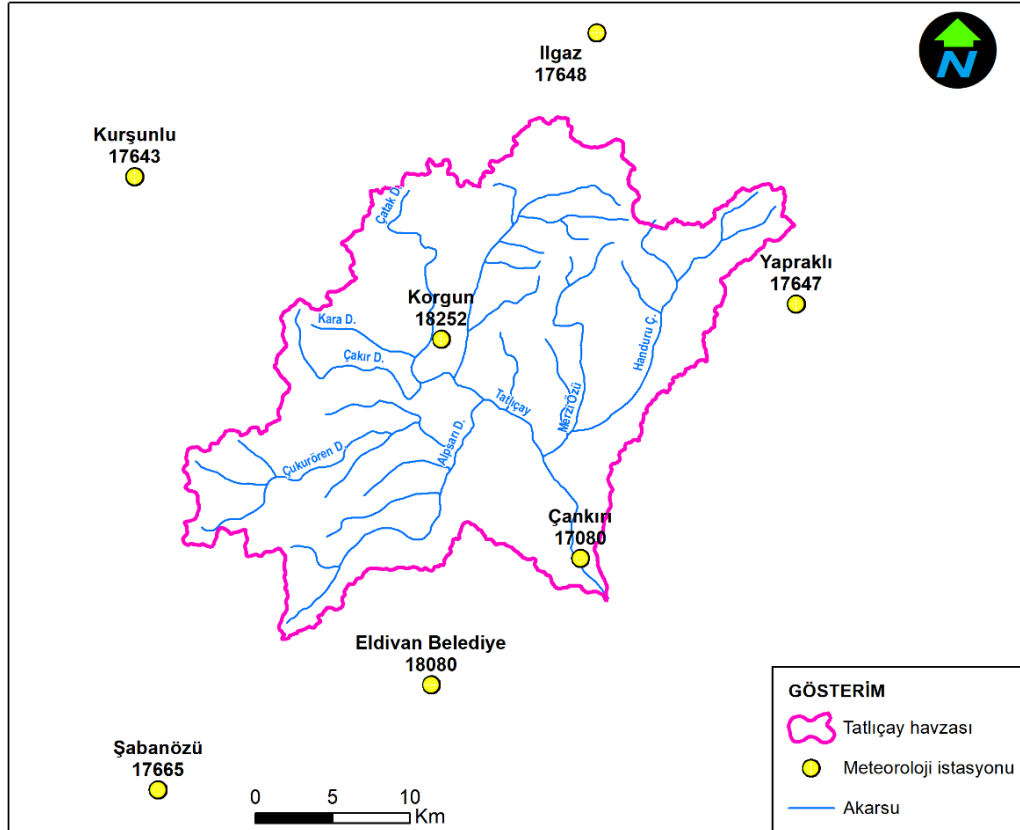
18252 No'lu MGİ havzanın içinde yer almaktadır. Bu iki istasyonda uzun dönem veriler sadece Çankırı Merkez'de yer alan 17080 No'lu MGİ'de bulunmaktadır.

Çizelge 3.3: Meteorolojik gözlem istasyonları ve özellikleri

No	İstasyon No	İstasyon Adı	X (UTM ED50)	Y (UTM ED50)	Yükseklik (m)	Gözlem Periyodu	Ölçülen Parametre*	Havza Konumu
1	17080	Çankırı	551656,68	4495621,63	755	1980-2021	P, T, G, R, N	Havza içi
2	17643	Kurşunlu	522723,75	4520409,21	1075	2005-2021	P, T, R, N	Havza dışı
3	17647	Yapraklı	565656,52	4512139,74	1225	2005-2021	P, T, R, N	Havza dışı
4	17648	İlgaz	552733,07	4529754,30	885	1980-2021	P, T, G, R, N	Havza dışı
5	17665	Şabanözü	524252,69	4480607,72	1060	2004-2021	P, T, R, N	Havza dışı
6	18080	Eldivan	541956,58	4487435,06	923	2012-2021	P, T, R, N	Havza dışı
7	18252	Korgun	542624,17	4509851,23	1042	2013-2021	P, T, R, N	Havza içi

* P: Ortalama yağış, T: Sıcaklık (maksimum, minimum, ortalama), R: Ortalama rüzgar hızı, N: Nispi nem

Havzanın dışındaki istasyonlar kısa periyotlu ölçüm ve farklı iklimsel koşulları yansıtımalarından dolayı değerlendirilmeye alınmamıştır. Uzun dönem tarihsel verilerin değerlendirilmesi için havzayı temsil eden ve Çankırı Merkez'de bulunan 17080 No'lu meteorolojik gözlem istasyonunun verileri kullanılmıştır.

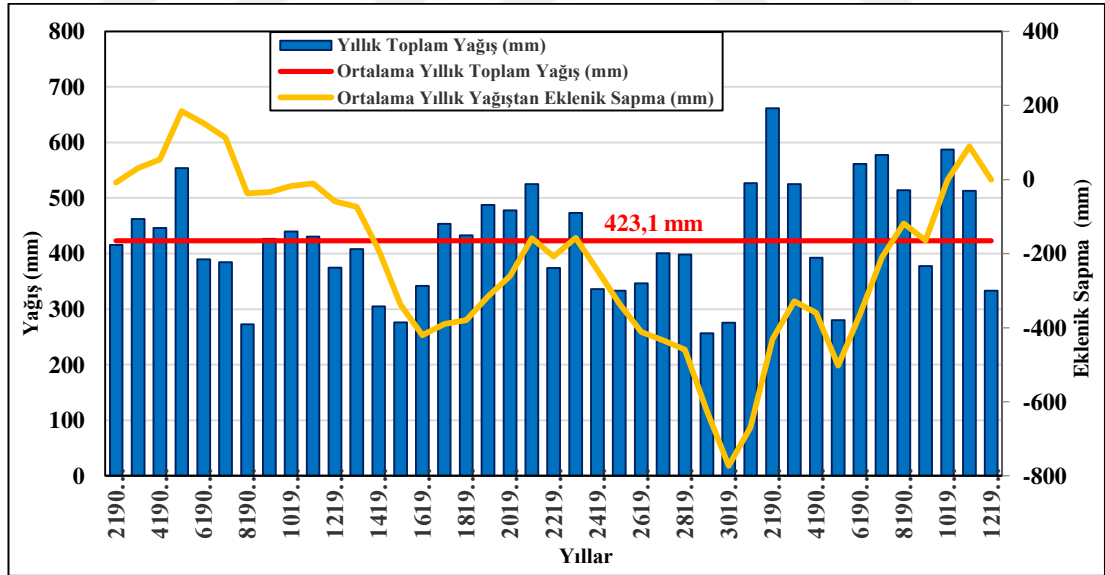


Şekil 3.9: Tatlıçay Havzası ve çevresindeki meteorolojik gözlem istasyonları

17080 No’lu meteorolojik gözlem istasyonuna ait yağış, sıcaklık, nisbi nem, rüzgar hızı, güneşlenme ve buharlaşma parametreleri sırasıyla aşağıda incelenmiştir.

3.4.1 Yağış

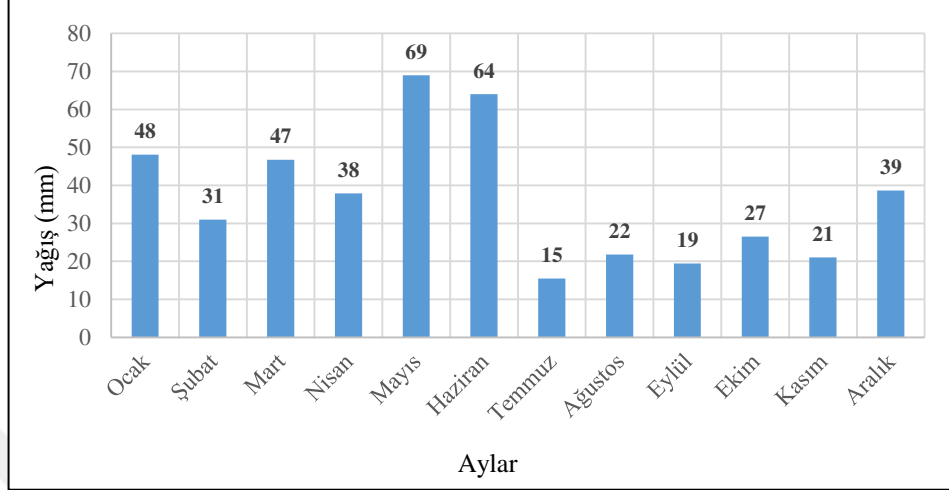
Tatlıçay Havzası’nda yağış rejimini incelemek amacıyla Çankırı il merkezinde bulunan 17080 No’lu meteoroloji istasyonunda manuel olarak ölçülen yıllık toplam yağış ve ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafiği 1980-2020 periyodu için Şekil 3.10’da sunulmuştur. Şekil 3.10’da görüldüğü gibi 1980-2020 yılları arasında 2008 yılı 275,8 mm yağış ile en kurak yıl ve 2010 yılı 661,5 mm yağış ile en yağışlı yıldır. Çankırı il merkezinde uzun dönemdeki ortalama yıllık yağış miktarı 423,1 mm’dir. Ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafiği incelendiğinde 1983-1994, 2001-2008 ve 2011-2013 yılları arasında kurak dönemin, 1980-1983, 2008-2011 ve 2013-2020 yılları arasında yağışlı dönemin hâkim olduğu görülmektedir.



Şekil 3.10: Çankırı MGİ 1980-2020 yılları arası eklenik sapma grafiği

Aylık ortalama yağışın yıl içerisindeki değişimi 17080 No’lu istasyonda manuel olarak ölçülen veriler kullanılarak eklenik sapmada belirlenen son yağışlı dönem olan 2013-2020 yılları için incelenmiştir (Şekil 3.11). 17080 No’lu meteoroloji istasyonunun 2013-2020 yılları arası dikkate alındığında Mayıs ayının en

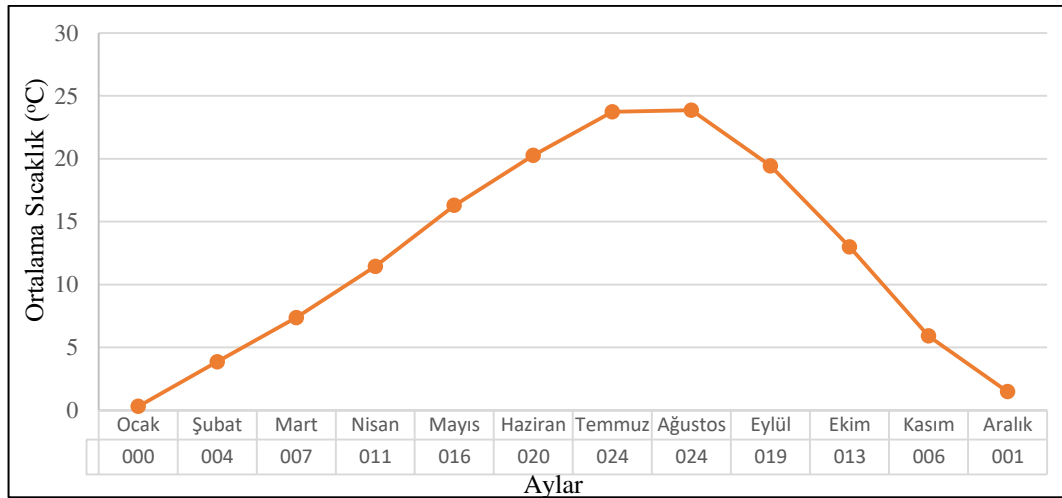
yağışlı ay (68,94 mm/ay) ve Temmuz ayının en kurak ay (15,48 mm/ay) olduğu görülmektedir. Yağışlar genellikle kış ve ilkbahar (Aralık – Haziran arası) döneminde görülmekte iken, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları yağışların en az olduğu aylardır.



Şekil 3.11: Çankırı MGİ 2013-2020 yılları arası yağış grafiği

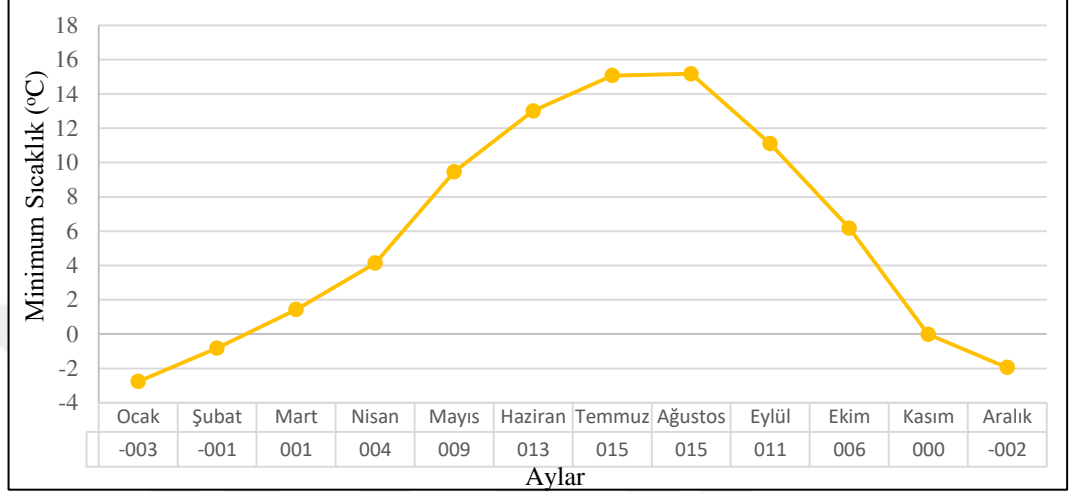
3.4.2 Sıcaklık

17080 No'lu meteoroloji istasyonunda 2013-2020 yılları arasında ölçülen aylık ortalama sıcaklıkların dağılımı Şekil 3.12'de sunulmaktadır. Aylık ortalama sıcaklık değerleri incelendiğinde, en az aylık ortalama sıcaklık 0,31°C ile Ocak ayında gözlemlenirken, en fazla aylık ortalama sıcaklık 23,85°C ile Ağustos ayında izlenmiştir.

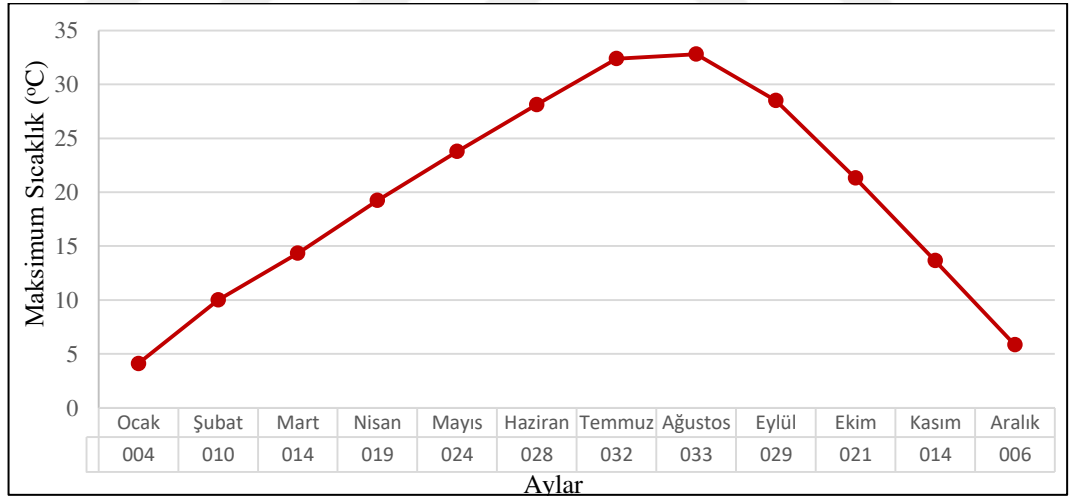


Şekil 3.12: Çankırı MGİ 2013-2020 yılları arası ortalama sıcaklık grafiği

17080 No'lu meteoroloji istasyonunda 2013-2020 yılları arası ölçülen aylık maksimum ve minimum sıcaklık değerleri incelendiğinde, her bir ay için, maksimum ve minimum sıcaklık değerleri arasında 6° C'den 15° C'ye kadar değişimin olduğu görülmektedir (Şekil 3.13 ve 3.14).



Şekil 3.13: Çankırı MGİ 2013-2020 yılları arası minimum sıcaklık grafiği

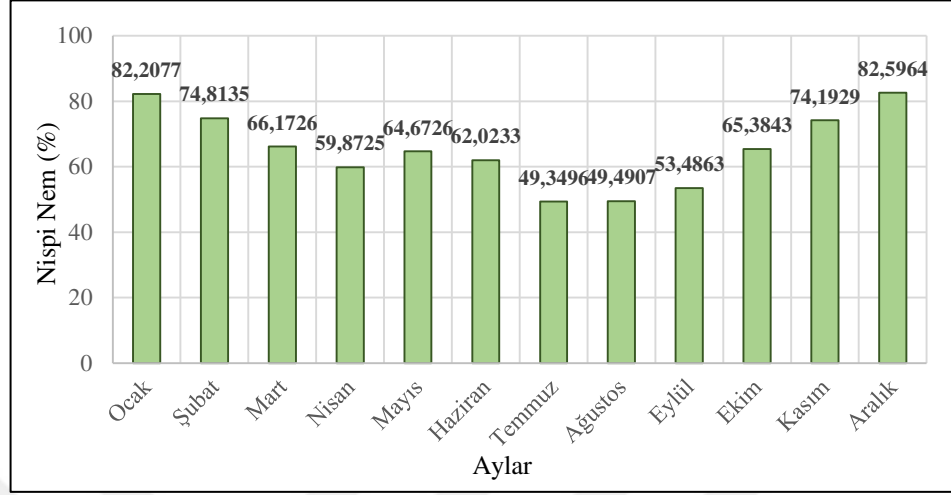


Şekil 3.14: Çankırı MGİ 2013-2020 yılları arası maksimum sıcaklık grafiği

3.4.3 Nisbi nem

17080 No'lu istasyonda 2013-2020 yılları arası ölçülen aylık ortalama nisbi nem değerleri Şekil 3.15'te sunulmuştur. Şekil 3.15 incelendiğinde 17080 No'lu istasyonda en yüksek aylık ortalama nisbi nem değerinin Ocak ve Aralık aylarında

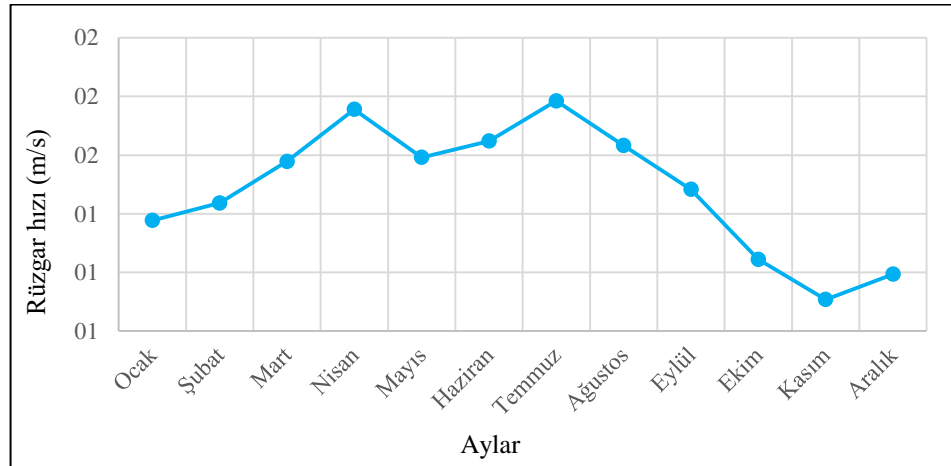
(%82-83) ve en düşük aylık ortalama nisbi nem değerinin Temmuz ve Ağustos aylarında (%49-49,5) gözleendiği görölmektedir.



Şekil 3.15: Çankırı MGİ 2013-2020 yılları arası nisbi nem grafiği

3.4.4 Rüzgar hızı

17080 No'lu istasyonda 2013-2020 yılları arası ölçölen aylık ortalama rüzgar hızı değerleri Şekil 3.16'da sunulmuştur. Şekil 3.16'dan göröleceği üzere, rüzgar hızı, yıl boyunca 1 ile 2 m/s arasında değişmektedir.

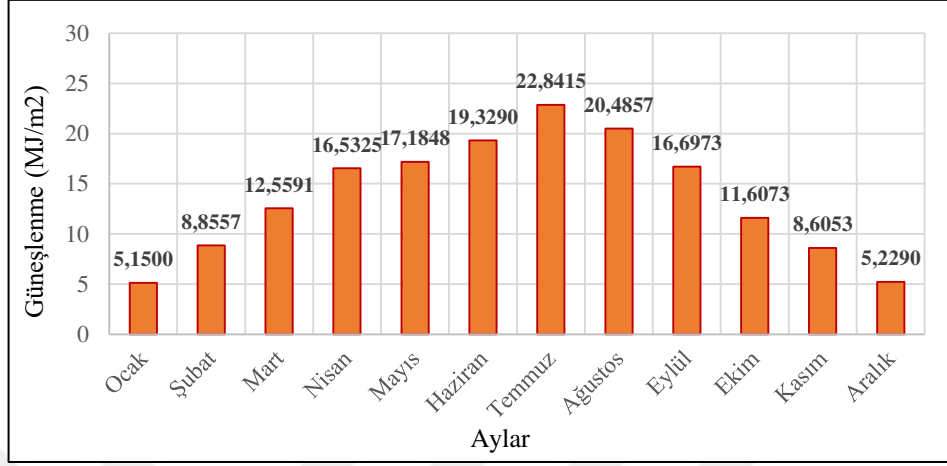


Şekil 3.16: Çankırı MGİ 2013-2020 yılları arası rüzgar hızı grafiği

3.4.5 Güneşlenme şiddeti

17080 No'lu istasyonda 2013-2020 yılları arası ölçölen aylık ortalama güneşlenme değerleri Şekil 3.17'de sunulmuştur. Şekil 3.17 incelendiğinde, 17080

No'lu istasyonda en yüksek aylık ortalama güneşlenme değerinin Temmuz ayında (22,8 MJ/m²) ve en düşük aylık ortalama güneşlenme değerinin Aralık ve Ocak aylarında (5,2 MJ/m²) gözleendiği görülmektedir.



Şekil 3.17: Çankırı MGİ 2013-2020 yılları arası aylık güneşlenme şiddeti grafiği

3.4.6 Evapotranspirasyon (buharlaşıma-terleme)

Çankırı il merkezinde bulunan, 17080 No'lu istasyonda aylık ortalama buharlaşma değerleri ölçümü bulunmamaktadır. Buharlaşıma Terleme değerleri hesaplaması için, FAO, FAO-56 Belgesi'nde Penman-Monteith yöntemini önermektedir (Allen ve diğ., 1998). Bu yöntemi uygulamak için, 17080 istasyonunun 2013-2020 yılları arasında ölçülen yağış, maksimum-minimum sıcaklık, rüzgar hızı, güneşlenme süresi değerleri aşağıda verilen formüle entegre edilmiş ve hesaplamalar yapılmıştır.

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)}$$

ET₀: referans evapotranspirasyon (mm/gün)

R_n: mahsul yüzeyinde net radyasyon (MJ/m².gün)

G: toprak ısı akışı yoğunluğu (MJ/m².gün)

T: 2 m yükseklikte ortalama günlük hava sıcaklığı (°C)

u₂: 2 m yükseklikte rüzgar hızı (m/s)

e_s: doymunluk buharı basıncı (kPa)

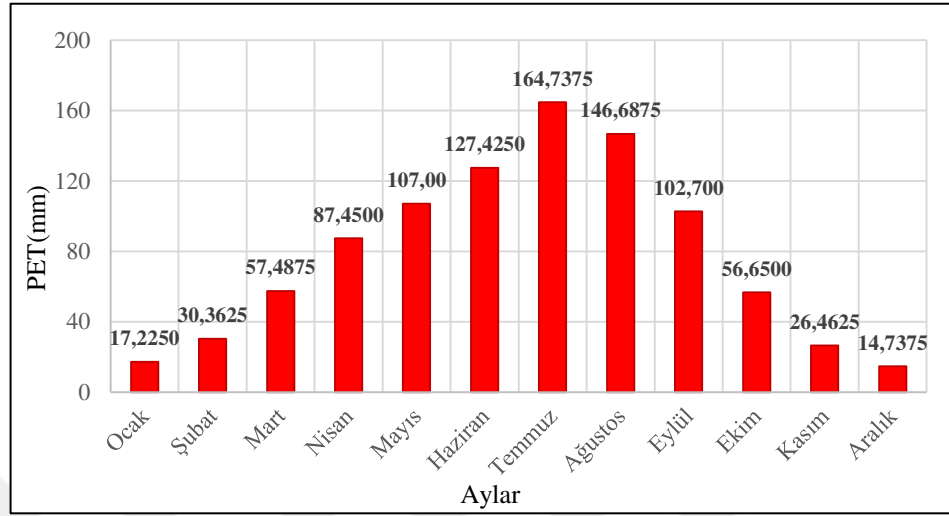
e_a: gerçek buhar basıncı (kPa)

e_s-e_a: doymunluk buharı basınç açığı (kPa)

Δ: eğim buharı basınç eğrisi (kPa/°C)

γ: psikrometrik sabit (kPa/°C)

Bu hesaplama göre en yüksek aylık ortalama evapotranspirasyon değeri Temmuz ayı için (164,7 mm) ve en düşük aylık ortalama evapotranspirasyon değeri ise Aralık ayı için (14,7 mm) hesaplanmıştır (Şekil 3.18).



Şekil 3.18: Çankırı MGİ 2013-2020 yılları arası aylık evapotranspirasyon grafiği

3.5 Akım ve Su Kalitesi Değerleri

Su toplama havzası 674,2 km² olan Tatlıçay üzerinde güncel ölçümü olan akım gözlem istasyonu bulunmamaktadır (Çizelge 3.4, Şekil 3.19). Ancak Tatlıçay Havzası çıkışında, DSİ'ne ait 400 farklı parametre ölçümü yapan 15-05-140 No'lu Tatlıçay su kalite istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonda, 2016 yılından 2020 yılına kadar aylık ya da 3 aylık periyotta anlık akım değerleri ve kalite parametreleri ölçülmektedir.

Çizelge 3.4: Tatlıçay havzası AGİ ve KGİ özellikleri

No	İstasyon No	İstasyon Adı	Nehir Adı	UTM X	UTM Y	Kot	Alan	Tip	Durum	Açılış Yılı	Kapanış Yılı	Ölçüm Periyodu
1	15-104	Buğday	Tatlı Ç.	543017	4507722	924	111,6	AGİ	Kapalı	1965	1972	Günlük
2	15-080	Çankırı	Tatlı Ç.	551088	4497860	720	666,7	AGİ	Kapalı	1964	1967	Günlük
3	15-009	Alpsarı	Tatlı Ç.	549990	4501095	808	432	AGİ	Kapalı	1960	1967	Günlük
4	15-155	Gümüşdüven	Tatlı Ç.	544767	4505609	820	192	AGİ	Kapalı	1970	1972	Günlük
5	15-05-140	Tatlıçay	Tatlı Ç.	552956	4493735	720	670	KGİ	Açık	2007	-	Aylık

TN ve TP verileri, 15-05-140 No'lu Tatlıçay DSİ Su kalite istasyonunda 2016'dan 2020 yılına kadar aralıklı şekilde ölçülmüştür. Ölçüm alınmayan aylar için, yukarıda bahsedilen eksik akım ölçümlerini tamamlama yöntemleriyle hesaplamalar yapılmıştır. Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7'de mevcut veriler (sarı) ve tamamlanmış değerler (mavi) gösterilmektedir.

Çizelge 3.6: 2016-2020 yılları arası aylık TN değerleri

TN	Yıl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mg/L	2016	6,80	2,71	2,40	1,77	3,53	5,17	6,80	6,11	1,02	5,87	4,98	3,94
mg/L	2017	6,37	1,84	1,84	1,98	3,51	2,36	6,37	6,16	4,67	3,58	2,90	3,84
mg/L	2018	6,29	1,75	1,75	2,18	3,48	2,25	5,94	6,21	6,29	5,65	4,22	4,03
mg/L	2019	6,71	2,59	2,59	1,98	3,51	6,58	6,37	6,16	6,71			

Sarı: Mevcut Değer, Mavi: Tamamlanmış değer

Çizelge 3.7: 2016-2020 yılları arası aylık TP değerleri

TP	Yıl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mg/L	2016	1,86	0,20	0,15	0,09	0,08	0,09	0,14	1,86	0,01	0,03	0,01	0,19
mg/L	2017	0,95	0,06	0,06	0,07	0,05	0,05	0,08	0,95	0,12	0,02	0,02	0,35
mg/L	2018	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,01	0,03	0,02	0,00	0,01	0,03
mg/L	2019	0,95	0,12	0,12	0,07	0,05	0,01	0,08	0,95	0,33			

Sarı: Mevcut Değer, Mavi: Tamamlanmış değer

4. SWAT MODELİ UYGULAMASI

Tatlıçay'a ait akarsu ekosisteminin SWAT Modeline aktarılmasında kullanılacak olan veriler ve kaynakları Çizelge 4.1'de verilmektedir. Çizelgede yer alan verilere ait açıklamalar ilgili bölümlerde detaylandırılacaktır. SWAT Modeli, model kurulumu, model girdilerinin tanımlanması ve kalibrasyon/validasyon prosedürleri ile üç aşamada tamamlanmıştır.

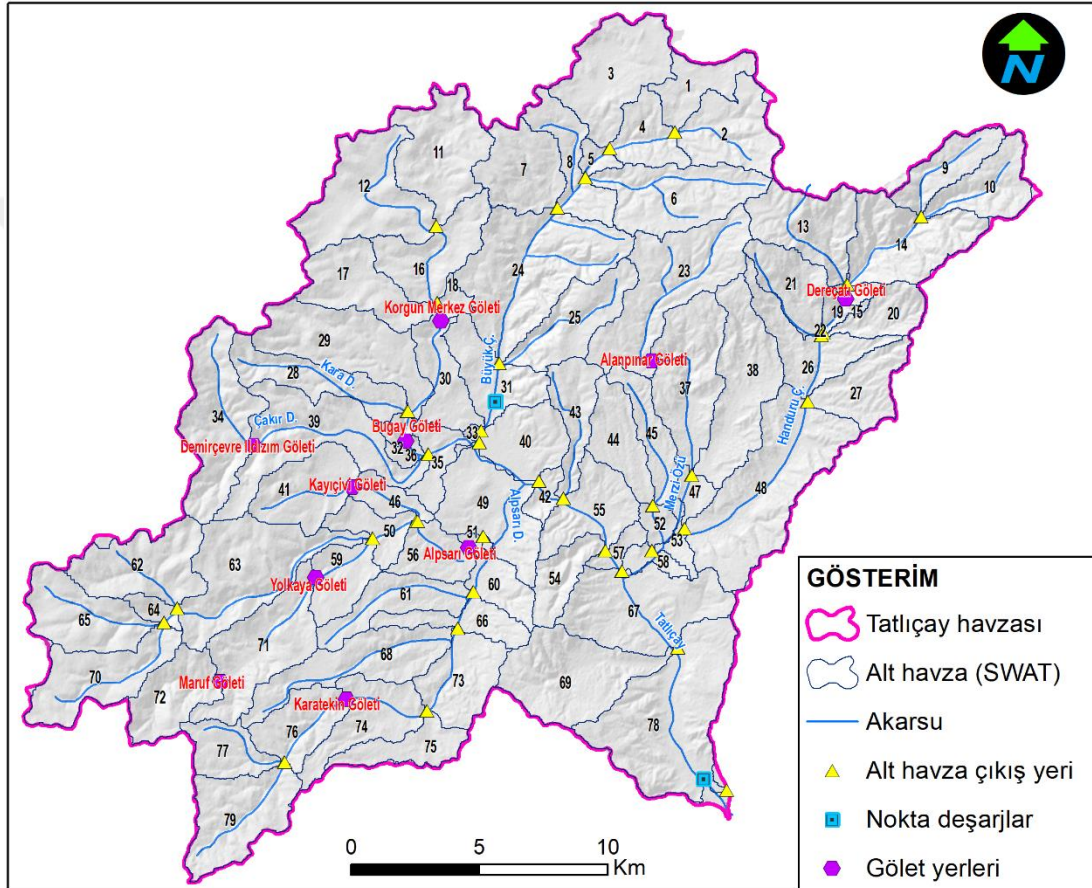
Çizelge 4.1: Model için gerekli veriler

Veri adı	Tipi	Kaynağı
Sayısal Yükseklik Modeli	Raster	STRM 30
Arazi Örtüsü	Vektör	CORINE 2018
Toprak Verisi	Vektör	FAO Toprak Verisi
İklimsel Veriler	Tablo	MGM
Hidrolojik Veriler	Tablo	DSİ
Noktasal Kirletici Kaynağı	Tablo	TÜİK
Akım (m ³ /s)	Tablo	DSİ
Toplam Azot (TN) Yüğü	Tablo	DSİ
Toplam Fosfor (TP) Yüğü	Tablo	DSİ

4.1 Model kurulumu

Tatlıçay SWAT Modeli için ArcGIS 10.5 üzerinde çalışan TAMU (Teksas A&M Üniversitesi) tarafından geliştirilmiş ArcSWAT Versiyon 2012 arayüzü seçilerek model kurulumu gerçekleştirilmiştir. ArcSWAT model arayüzünde, model kurulum aşamaları havza bölümlenmesi, HRU tanımlanması, iklimsel verilerin girilmesi ve havza karakteristiklerinin tanımlanması şeklinde 4 aşamadan oluşmaktadır.

Tatlıçay SWAT Modeli için, havza bölümlenmesi aşamasında ArcSWAT arayüzü, DEM verisi havza bölümlleme aracı kullanılmıştır. Havza, her biri 500 ha'lık alana sahip, 79 adet alt havzaya ayrılmıştır. Havza üzerinde Korgun ve Çankırı merkezlerine ait 2 adet noktasal kirletici deşarj noktası ile mevcut ve planlanan 10 adet gölet modele tanımlanmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: SWAT Modelinde alt havzalar ile tanımlanan göletler ve deşarjlar

4.1.2 HRU tanımlanması

Tatlıçay SWAT modeli için, arazi kullanımı, eğim, toprak yapısı verileri ve alansal dağılımları dikkate alınarak 269 adet HRU tanımlanmıştır. HRU tanımlanmasında kullanılan kriterler Çizelge 4.2’de verilmektedir.

Çizelge 4.2: SWAT modeli HRU hesaplamasındaki veri dağılımı

Katman	Katman Tipi	Alan [ha]	Alan %
ARAZİ ÖRTÜSÜ	Agricultural Land-Generic --> AGRL	5720,72	8,58
	Residential-Med/Low Density --> URML	194,64	0,29
	Residential-High Density --> URHD	429,72	0,64
	Commercial --> UCOM	192,24	0,29
	CROPLAND/GRASSLAND MOSAIC --> CRGR	7711,72	11,56
	GRASSLAND --> GRAS	30162,28	45,22
	SHRUBLAND --> SHRB	9372,12	14,05
	MIXED FOREST --> FOMI	4543,84	6,81
	BAREN OR SPARSLY VEGETATED --> BSVG	8366,68	12,54
EĞİM	0-12	21394,72	32,08
	12-999	45299,24	67,92
TOPRAK	Bk45-2bc-3026	2272,68	3,41
	I-Rc-Xk-2-3121	30177,8	45,25
	Lo91-2bc-3208	34220,16	51,31
	Xk56-2-3a-3310	23,32	0,03

4.1.3 Eğim

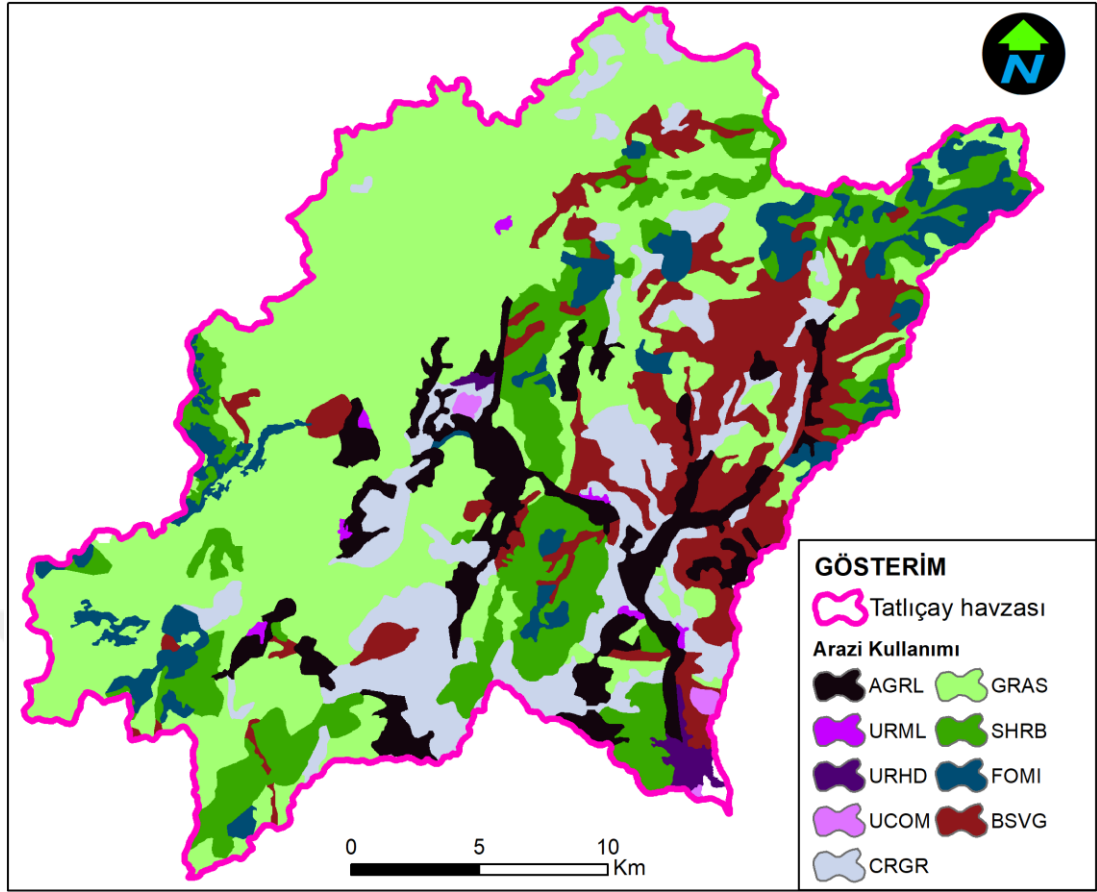
Coğrafi yapı başlığı altında anlatılan eğim sınıfları, SWAT model HRU tanımlaması için yeniden sınıflandırılmıştır. Havza, %12'den az alanlar “düz/eğimli”, 12%'den büyük alanlar ise “dik” olmak üzere 2 sınıfa ayrılmıştır (Çizelge.4.3).

Çizelge 4.3: SWAT modeli eğim tanımlaması

Eğim (%)	Sınıf	Alt Sınıf	Alan (%)
<3	Düz/Eğimli (<%12)	Düz/Az Eğimli	3%
3-12		Orta Eğimli	28%
12-20	Dik (>%12)	Dik Eğimli	27%
20-35		Çok Dik	31%
35>		Sarp	12%

4.1.4 Arazi kullanımı

Tatlıçay Havzasına ait CORINE verisi, mevcut arazi kullanımları dikkate alınarak, SWAT arazi kullanım sınıflarına dönüştürülmüş ve modele tanımlanmıştır. Bu dönüşüm sonucunda elde edilen harita, Şekil 4.2'de verilmektedir. CORINE ve SWAT arazi sınıfları dönüşümü, Çizelge 4.4'da gösterildiği gibidir.



Şekil 4.2: SWAT Modelinde tanımlanan arazi sınıfları

Çizelge 4.4: CORINE ve SWAT arazi sınıfları dönüşümü

Kod	CORINE Tanımlama	SWAT Kod	SWAT Açıklama	Alan (ha)
111	Sürekli Yerleşim Alanları	URHD	Urban High Density	449,45
112	Geçici Yerleşim Alanları	URML	Urban Medium Density	259,53
121	Endüstriyel ve Ticari Birimler	UIDU	Urban Industrial	215,00
211	Kuru Tarım Alanı	AGRL	Generic	2219,10
212	Sulu Tarım Alanı	AGRL	Generic	337,99
242	Karışık Tarım Dokusu	AGRL	Generic	2999,22
243	Doğal Bitki Örtüsü İle Bulunan Tarım Alanları	AGRL	Generic	7771,02
311	Geniş Yapraklı Ormanlar	FRSE	Evergreen Forest	137,88
312	İğne Yapraklı Ormanlar	FRSD	Deciduous Forest	4026,86
313	Karışık Ormanlar	FRST	Mixed Forest	550,91
321	Doğal Çayırliklar	PAST	Pasture/Hay	30848,02
324	Bitki Değişim Alanları	RNGB	Range Shrubland	9283,26
331	Sahiller, Kumsallar, Kumluklar	WETN	Emergent/Herbaceous Wetlands	241,72
333	Seyrek Bitki Alanları	RNGB	Range Shrubland	8113,07
512	Su Kütleleri	WATR	Water	85,80

4.1.5 Toprak verisi

FAO/UNESCO toprak verisine ait fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri, HWSD verisi kullanılarak, SWAT Modeli için yeniden düzenlenmiş olup, Çizelge 4.5'te listelenmiştir.

Çizelge 4.5: SWAT toprak özellikleri (Nachtergaele, 2009)

Parametreler	Bk45-2bc	I-Rc-Xk-2c	Xk56-2/3ab	Lo91-2bc
DOMSOI	Bk	I	Xk	Lo
SNUM	3026	3121	3310	3208
Alan	2428,39	30524,42	111,91	34479,15
HYDGRP	C	D	D	D
SOL_ZMX	660	690	800	910
ANION_EXCL	0,5	0,5	0,5	0,5
SOL_CRK	0,5	0,5	0,5	0,5
TEXTURE	LOAM	LOAM	LOAM	LOAM
SOL_Z1	660	690	800	910
SOL_BD1	1,3	1,4	1,4	1,4
SOL_AWC1	0,117	0,122	0,106	0,16
SOL_K1	8,49	4,45	5,95	4,34
SOL_CBN1	1,2	0,8	1	0,7
CLAY1	22	26	22	27
SILT1	40	41	34	40
SAND1	39	33	44	33
ROCK1	0	0	0	0
SOL_ALB1	0,0484	0,1047	0,0712	0,1269
USLE_K1	0,2671	0,3164	0,287	0,3315
SOL_EC1	0	0	0	0

4.1.6 İklimsel parametreler

SWAT Modelde, iklimsel parametre girdisi olarak, havzayı temsil eden Çankırı il merkezindeki 17080 No'lu meteoroloji istasyonunun Hidrometeorolojik Özellikler başlığı altında detayları verilen, 2013 – 2020 yılları arasına ait, günlük yağış (mm), sıcaklık (maks/min, °C), nisbi nem (%), rüzgar hızı (m/s), güneşlenme (MJ/m²) ve evapotranspirasyon (mm) ölçüm verileridir.

4.2 Model Girdilerinin Tanımlanması

Model girdileri olarak, gölet alanları, noktasal kirlilik yükleri ve aşağıda detayları verilen havza özellikleri tanımlanmıştır. Gölet alanlarına ait parametreler

Kızılırmak Havzası Master Planı'nda (DSİ, 2019) verilen gölet bilgilerine göre modele uygun şekilde girilmiştir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6: SWAT modelinde tanımlanan gölet alanları bilgileri

ADI	SUBBASIN	MORES	IYRES	RES_ESA	RES_EVOL	RES_PSA	RES_PVOL	RES_VOL
Dereçatı Göleti	15	1	2019	14,27	217,9	13,59	201,6	0
Merkez Göleti	18	0	0	13	152,5	11	140	140
Alanpınar Göleti	23	0	0	10,5	195	9,5	172,6	0
Bugay Göleti	32	1	2021	16,25	238,5	14,33	197,7	0
Demirçevre Ildırım Göleti	34	1	2018	8,24	88,2	7,59	81,6	0
Kayıçivi Göleti	41	0	0	12,5	140	10,5	114	114
Alpsarı Göleti	56	0	0	30	214	22,7	200	200
Yolkaya Göleti	71	1	2020	12,56	143	10,91	115,7	0
Maruf Göleti	72	0	0	11,4	98,5	9,8	81,1	81,1
Karatekin Göleti	76	1	2019	19,2	220,5	17,1	184,8	0

Tatlıçay Havzası'nda en önemli noktasal kirlilik yükleri, kentsel deşarjlardır. Kentsel deşarjların kirlilik yükü hesaplamalarında 20.03.2010 tarihli "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği"nde yer alan "Nüfusa Bağlı Olarak Atıksu Oluşumu ve Kirlilik Yüklerinin Değişimi" çizelgesi dikkate alınmıştır (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7: Nüfusa bağlı olarak atıksu oluşumu ve kirlilik yüklerinin değişimi

	NÜFUS	ATIKSU OLUŞUMU	SIZMA DEBİSİ	TOPLAM ATIKSU DEBİSİ	KOİ	BOİ	AKM	TN	TP
	kişi	L/kişi-gün	L/kişi-gün	L/kişi-gün	g/kişi-gün	g/kişi-gün	g/kişi-gün	g/kişi-gün	g/kişi-gün
2010 Yılı İçin Birim Atıksu Oluşumu	2 000	70	35	105	50	35	30	4	0,8
	10 000	80	40	120	55	40	35	5	0,9
	50 000	90	45	135	75	45	45	6	1
	80 000	96	47,5	145	83	47,5	47,5	6,6	1,06
	100 000	100	50	150	90	50	50	7	1,1

Tatlıçay Havzası'nda nüfusu 2000 kişi ve üzerinde olan yerleşimler Korgun ve Çankırı merkezleridir. Çankırı Merkezi'nde kentsel atık su, doğrudan Tatlıçay'a deşarj edilmektedir (TÜBİTAK-MAM, 2018). Korgun Merkez'de ise TÜBİTAK-MAM, 2018'e göre 2000 kişilik arıtma tesisi olduğu belirtilse de tüm kentsel atıksu yükünün yerleşim yerinden 500 m uzaktaki dereye deşarj edildiği gözlemlenmiştir. Havza üzerindeki diğer köy ve mezralardaki atık sular, nüfuslarının 2000 kişinin altında olması ve foseptik kullanılması nedeniyle kirlilik kaynağı olarak modele işlenmemiştir.

Çankırı ve Korgun kentsel deşarj noktaları için, kirlilik yüklerinin hesaplanmasında, TÜİK adrese dayalı nüfus verisi (TÜİK, 2022) ve Çizelge 4.7’de verilen kişi başına düşen kirlilik yükü değerleri kullanılmıştır. Korgun kentsel deşarj noktası için yıllık nüfus ve kirlilik yükleri, Çizelge 4.8’de ve Çankırı kentsel deşarj noktası için yıllık nüfus ve kirlilik yükleri, Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.8: Korgun kentsel deşarj noktası için yıllık nüfus ve kirlilik yükleri

Yıl	Nüfus	TN	TP	Atıksu Miktarı	Askıda Madde	Organik Azot	Organik Fosfor	NO3	NH3	NO2	Mineral Fosfor	Biyo-Oksijen İhtiyacı
2013	1987	13,11	0,01	288,12	94,38	5,25	0,00	0	7,87	0	0,01	94,38
2014	2015	13,30	0,01	292,18	95,71	5,32	0,00	0	7,98	0	0,01	95,71
2015	2071	13,67	0,01	300,30	98,37	5,47	0,00	0	8,20	0	0,01	98,37
2016	2115	13,96	0,01	306,68	100,46	5,58	0,00	0	8,38	0	0,01	100,46
2017	2149	14,18	0,02	311,61	102,08	5,67	0,00	0	8,51	0	0,01	102,08
2018	2277	15,03	0,02	330,17	108,16	6,01	0,00	0	9,02	0	0,01	108,16
2019	2301	15,19	0,02	333,65	109,30	6,07	0,00	0	9,11	0	0,01	109,30
2020	2538	16,75	0,02	368,01	120,56	6,70	0,01	0	10,05	0	0,01	120,56

Çizelge 4.9: Çankırı kentsel deşarj noktası için yıllık nüfus ve kirlilik yükleri

Yıl	Nüfus	TN	TP	Atıksu Miktarı	Askıda Madde	Organik Azot	Organik Fosfor	NO3	NH3	NO2	Mineral Fosfor	Biyo-Oksijen İhtiyacı
2013	1987	74442	491,32	0,52	10794,09	3536,00	196,53	0,16	0	294,79	0	0,36
2014	2015	76490	504,83	0,54	11091,05	3633,28	201,93	0,16	0	302,90	0	0,37
2015	2071	79091	522,00	0,55	11468,20	3756,82	208,80	0,17	0	313,20	0	0,39
2016	2115	82740	546,08	0,58	11997,30	3930,15	218,43	0,17	0	327,65	0	0,41
2017	2149	86369	570,04	0,60	12523,51	4102,53	228,01	0,18	0	342,02	0	0,42
2018	2277	84331	556,58	0,59	12228,00	4005,72	222,63	0,18	0	333,95	0	0,41
2019	2301	87748	579,14	0,61	12723,46	4168,03	231,65	0,18	0	347,48	0	0,43
2020	2538	87589	578,09	0,61	12700,41	4160,48	231,23	0,18	0	346,85	0	0,43

SWAT Modeli, genel havza parametreleri için buharlaşma yöntemi kullanıcı tanımlı olarak seçilmiştir. Evapotranspirasyon (buharlaşma-terleme) bölümünde hesaplama detayları verilen değerler modele entegre edilmiştir. Eğri numarası yöntemi için bitki evapotranspirasyon fonksiyonu olan Plant ET Method, akarsu kanalı çözümü için ise Muskingum yöntemleri seçilmiştir (Şekil 4.3).

Şekil 4.3: SWAT modelinde genel havza parametreleri

4.3 Kalibrasyon/Validasyon

Model kurulumu ve girdilerin tanımlanması basamaklarının ardından, 2013-2015 ısınma yılları olmak üzere, 2013-2020 arasında ilk koşu yapılmıştır. Model kalibrasyonu, girdi parametrelerinin sahada ölçülen değerlerin limitlerine sadık kalınarak değiştirilip, model sonuçları ile saha ölçümleri yakın bir eşleşme gösterene kadar devam ettirilir. Kalibrasyonu yapılan modelin doğru çalışıp çalışmadığını anlamak için ise validasyona gerek duyulur.

Kalibrasyon ve validasyon için zaman periyodu, sırasıyla 2016-2017 ve 2018-2019 yılları arası olacak şekilde seçilmiştir. Bu aşamada gerekli ölçüm verisi için Tatlıçay Havzası çıkışında bulunan DSİ'ne ait 15-05-140 No'lu kalite gözlem istasyonunun 2016 – 2019 yılları arasına ait aylık akım (m^3/s) (Çizelge 4.10) ve TN ve TP konsantrasyonlarından oluşturulmuş TN ve TP yükleri verisinden faydalanılmıştır (Çizelge 4.11, Çizelge 4.12). Konsantrasyon-yük dönüşümü aşağıdaki formülasyonla hesaplanmıştır.

$$\text{Yük (kg/ay)} = \text{Konsantrasyon (mg/L)} \times \text{Akım (m}^3\text{/s)} \times 86,4$$

Çizelge 4.10: Kalibrasyon ve validasyon için gerekli akım miktarı (m³/s)

Debi	Yıl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
m3/s	2016	2,88	2,05	2,88	1,03	1,55	0,27	0,25	0,23	0,45	0,33	0,53	0,45
m3/s	2017	2,61	2,61	2,61	0,87	0,96	1,21	0,42	0,28	0,29	0,33	0,21	0,38
m3/s	2018	1,06	0,74	0,74	0,71	0,37	1,06	0,59	0,33	0,05	0,33	0,85	0,52
m3/s	2019	1,73	1,73	1,73	0,87	0,96	0,72	0,42	0,28	0,37			

Çizelge 4.11: Kalibrasyon ve validasyon için gerekli TN yükleri (kg/ay)

TN	Yıl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
kg/ay	2016	52472,0	13913,1	18519,5	4743,8	14692,7	3631,6	4535,1	3714,9	1179,2	5156,9	6834,9	4705,9
kg/ay	2017	44479,1	11604,6	12848,0	4466,5	9031,1	7401,7	7191,4	4562,0	3504,0	3135,5	1556,0	3887,8
kg/ay	2018	17790,6	3115,9	3449,8	4017,6	3448,7	6158,6	9450,4	5422,3	864,1	5009,0	9319,4	5558,9
kg/ay	2019	31058,7	10818,0	11977,1	4466,5	9031,1	12347,0	7191,4	4562,0	6414,7			

Çizelge 4.12: Kalibrasyon ve validasyon için gerekli TP yükleri (kg/ay)

TP	Yıl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
kg/ay	2016	14337,2	1026,8	1165,2	241,2	316,3	64,6	96,0	1129,7	10,4	28,1	9,6	226,6
kg/ay	2017	6598,6	359,5	398,0	150,4	130,1	144,3	86,4	699,9	91,9	14,9	8,6	350,3
kg/ay	2018	121,6	73,0	80,8	79,3	24,8	82,1	14,3	27,9	3,3	0,8	22,1	45,5
kg/ay	2019	4376,3	499,2	552,7	150,4	130,1	18,8	86,4	699,9	320,2			

Kalibrasyon ve validasyon, akış ve besin maddeleri (TN ve TP) için, manuel kalibrasyon ve validasyon ve SWAT-CUP ile yapılan otomatik kalibrasyon ve validasyon olmak üzere iki aşamada yapılmıştır.

4.3.1 Manuel kalibrasyon ve validasyon

Manuel kalibrasyon aşamasında literatürde en çok kullanılan ve modelin en hassas olduğu ALPHA_BF, ESCO ve GWQMN, ESCO, SLSUBSN, HRU_SLP parametreleri seçilmiştir (Çizelge 4.13). Bu seçilen parametrelerin yüzeysel akışı ve besin maddeleri (TN ve TP) yükünü doğrudan etkilediği görülmüştür.

Çizelge 4.13: Kalibrasyon parametreleri

No	Parametre	Data	Açıklama
1	ALPHA_BF	.gw	Baz akış alfa faktörü (1/gün)
2	GWQMN	.gw	Sulamadan kaynaklı sığ akifere olan geri akışın oluşması için gerekli eşik su derinliği (mm H ₂ O)
3	GW_DELAY	.gw	Yeraltısuyu gecikmesi (gün)
4	SLSUBSN	.hru	Yüzeyden alt katmana toprak derinliği (mm)
5	HRU_SLP	.hru	HRU ortalama eğim dikliği (m/m)
6	ESCO	.hru	Toprak buharlaşma dengeleme faktörü

Belirlenen hassas parametreler, ArcSWAT yazılımı üzerinde doğal sistem üzerindeki etkisi düşünülerek %10(±) ile %20(±) arasında manuel olarak değiştirilmiştir. Parametrelerin daha hassas şekilde en uygun değerini saptamak için, manuel kalibre edilmiş model SWAT-CUP yazılımına aktarılmıştır.

4.3.2 SWAT-CUP kullanılarak kalibrasyon ve validasyon

Model sonuçlarının iyileştirilmesi için, Çizelge 4.14’de verilen değer aralıklarına göre SWAT-CUP yazılımı ile SUFI-2 algoritması kullanılarak 1000 adet koşu yapılmış ve uyan değerler bulunmuştur.

Çizelge 4.14: SWAT-CUP parametre değerleri

No	Parametre İsmi	Min_değer	Mak_değer	Uyan Değer
1	r__ALPHA_BF.gw	-0,2	0,2	-0,1642
2	v__GW_DELAY.gw	200	300	264,55
3	r__GWQMN.gw	-0,2	0,2	0,161
5	r__SLSUBSN.hru	-0,2	0,2	0,0782
6	r__HRU_SLP.hru	-0,2	0,2	0,1498
7	r__ESCO.hru	-0,2	0,2	0,011

5. BULGULAR

5.1 Genel Model Bulguları

Manuel kalibrasyon (2016-2017) ve validasyon (2018-2019) sonucunda, akım, TN ve TP için hesaplanan R^2 , NSE, ve PBIAS model performans istatistikleri Çizelge 5.1’de sunulmaktadır.

Çizelge 5.1: Manuel kalibrasyon model performansı

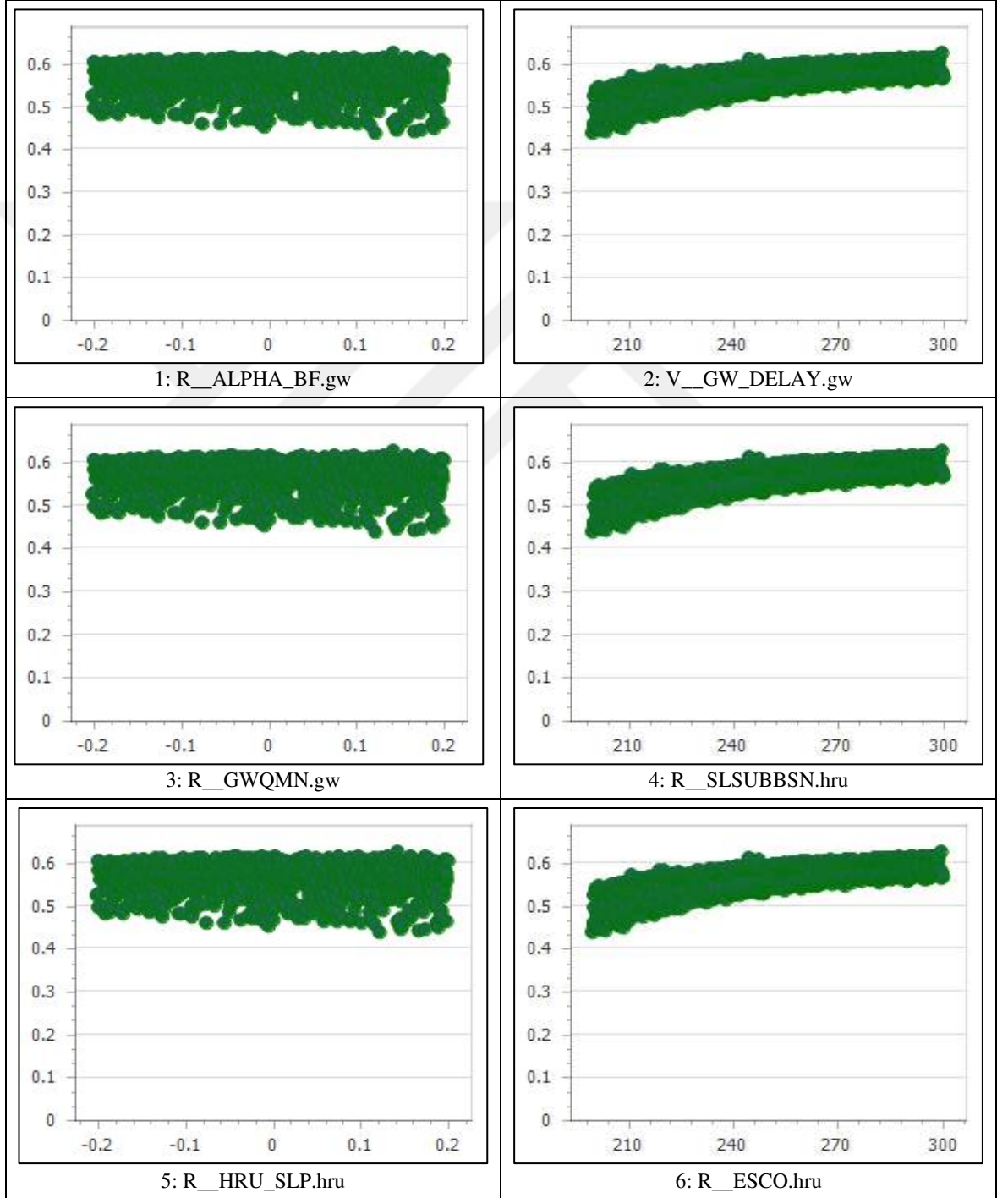
	Akış		TN		TP	
Kalibrasyon	R^2	0,58	R^2	0,54	R^2	0,62
	NSE	0,50	NSE	0,53	NSE	0,59
	PBIAS	24,55	PBIAS	3,64	PBIAS	33,07
Validasyon	R^2	0,79	R^2	0,40	R^2	0,35
	NSE	0,57	NSE	0,10	NSE	0,23
	PBIAS	4,45	PBIAS	-17,53	PBIAS	-33,36

Manuel kalibrasyondaki sonuçlar, SWAT-CUP yazılımı ile SUFI-2 algoritması kullanılarak, 1000 adet koşu yapılmış ve 792. koşu sonucunda elde edilen değerlerin en iyi performansı verdiği saptanmıştır. Akış, TN ve TP için SWAT-CUP model performans istatistikleri (R^2 , NSE ve PBIAS) Çizelge 5.2’de sunulmaktadır.

Çizelge 5.2: SWAT-CUP model performansı:

	Akış		TN		TP	
Kalibrasyon	R2	0,64	R2	0,56	R2	0,63
	NSE	0,60	NSE	0,55	NSE	0,60
	PBIAS	15,4	PBIAS	7,2	PBIAS	29,8
Validasyon	R2	0,81	R2	0,39	R2	0,34
	NSE	0,66	NSE	0,04	NSE	0,17
	PBIAS	-2,1	PBIAS	-10,0	PBIAS	-43,9

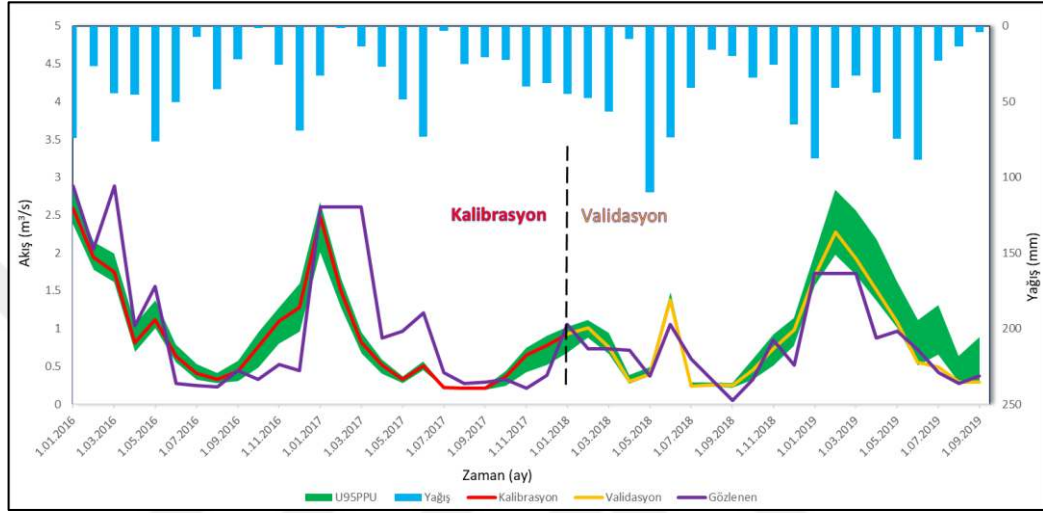
Kalibrasyon ve validasyon aşamasında kullanılmak üzere belirlenen parametreler için SWAT-CUP yazılımı hassasiyet analizi sonuçları Şekil 5.1’de sunulmaktadır. Bu şekilde yer alan grafikler, parametre değerlerinin veya göreceli değişikliklerin amaç fonksiyonuna karşı grafikleridir. Bu grafiklerin temel amacı, örnekleme noktalarının dağılımını göstermek ve parametre duyarlılığı hakkında fikir vermektir (Abbaspour, 2015).



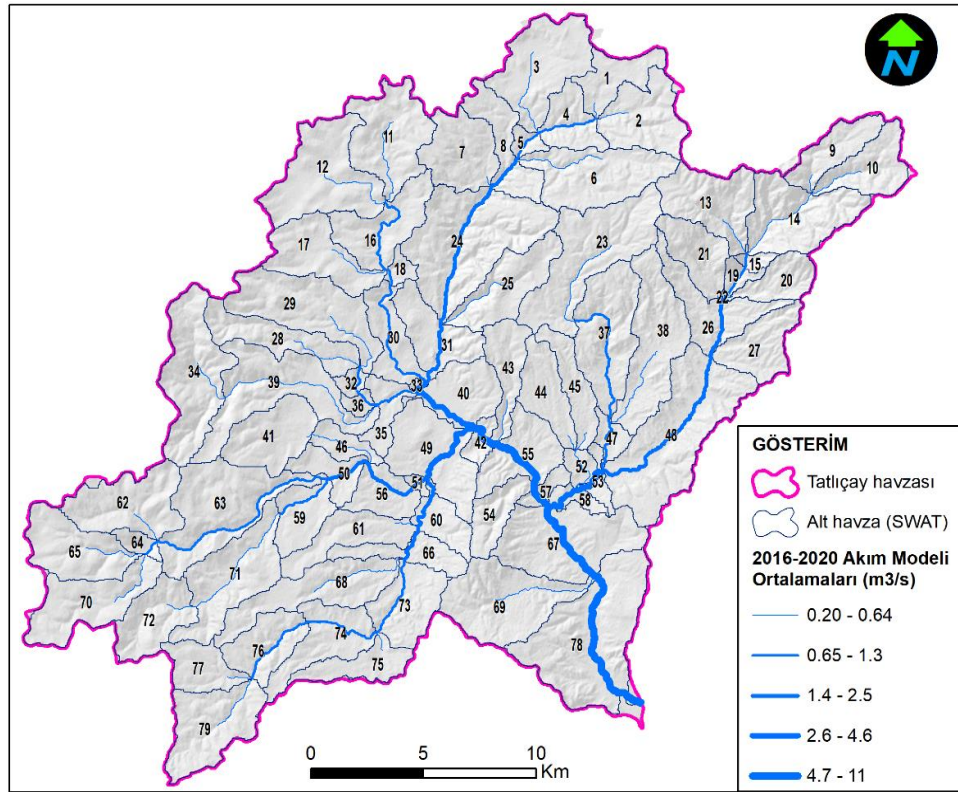
Şekil 5.1: SWAT model parametrelerinin hassasiyet analizi

5.2 Akış Modeli Bulguları

2016-2020 yılları arası akış modeli için kalibrasyon ve validasyon sonuçlarının, yağış ile karşılaştırılma grafikleri Şekil 5.2’de verilmiştir. Tüm akarsu ekosistemi için 2016-2020 yılları arası ortalama akım dağılımı Şekil 5.3’te sunulmaktadır.



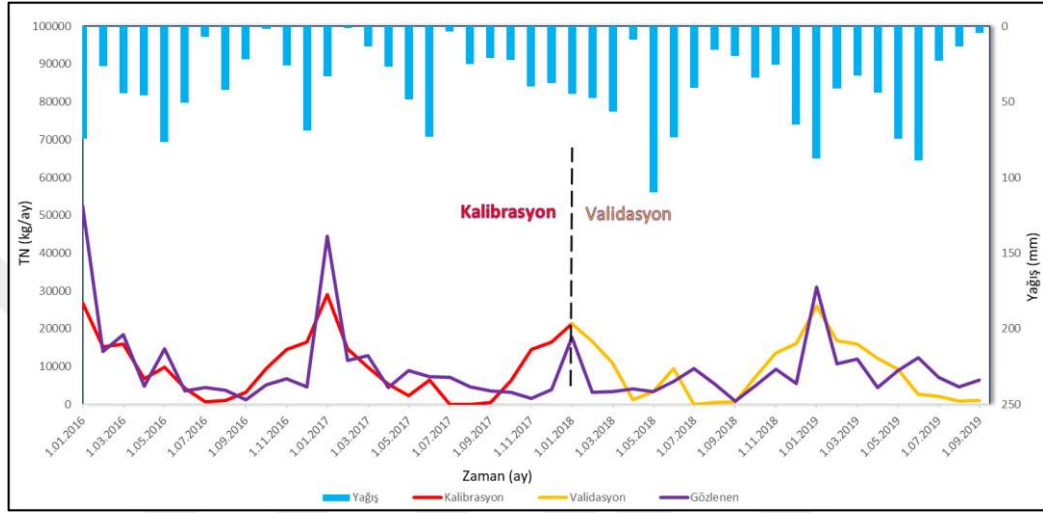
Şekil 5.2: Akış modeline ait kalibrasyon ve validasyon sonuçları



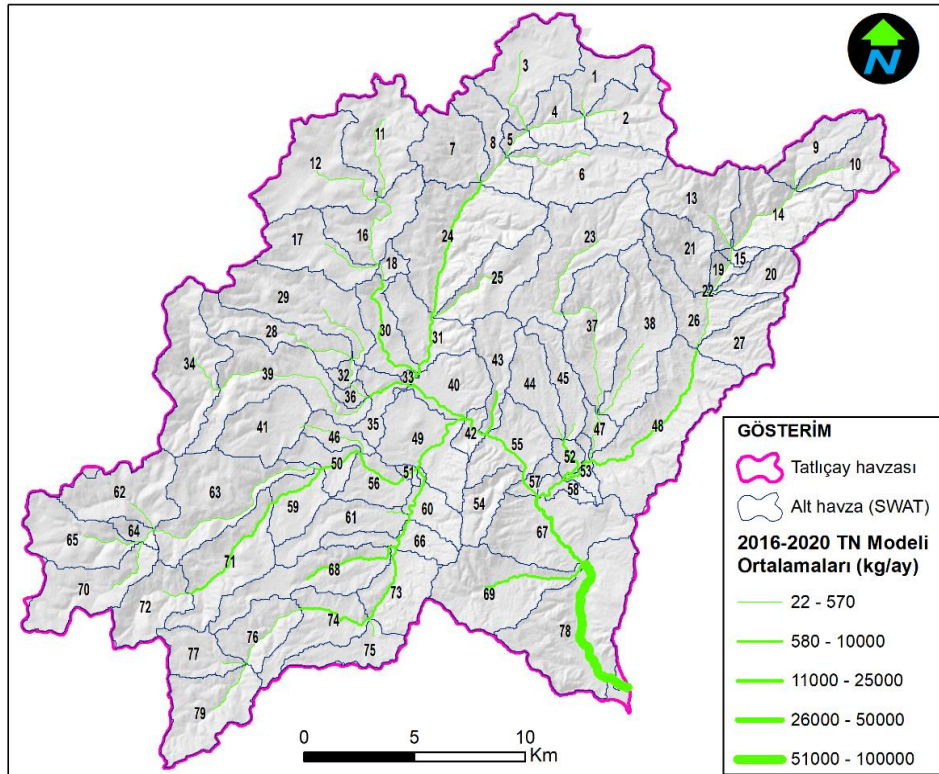
Şekil 5.3: Tatlıçay akarsu ekosistemi SWAT modeli akım ortalamaları

5.3 Besin Maddeleri (TN ve TP) Kirlilik Modeli Bulguları

2016-2020 yılları arası TN modeli için kalibrasyon ve validasyon sonuçlarının, yağış ile karşılaştırılma grafikleri Şekil 5.4’de, tüm akarsu ekosistemi için 2016-2020 yılları arası ortalama TN dağılımı ise Şekil 5.5’te verilmektedir.

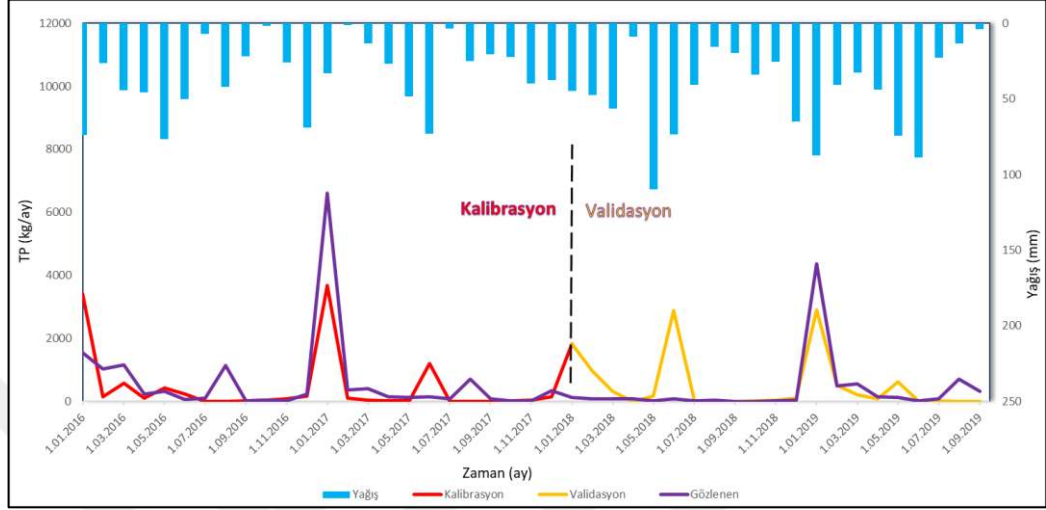


Şekil 5.4: SWAT Modelinde TN kalibrasyon ve validasyon sonuçları

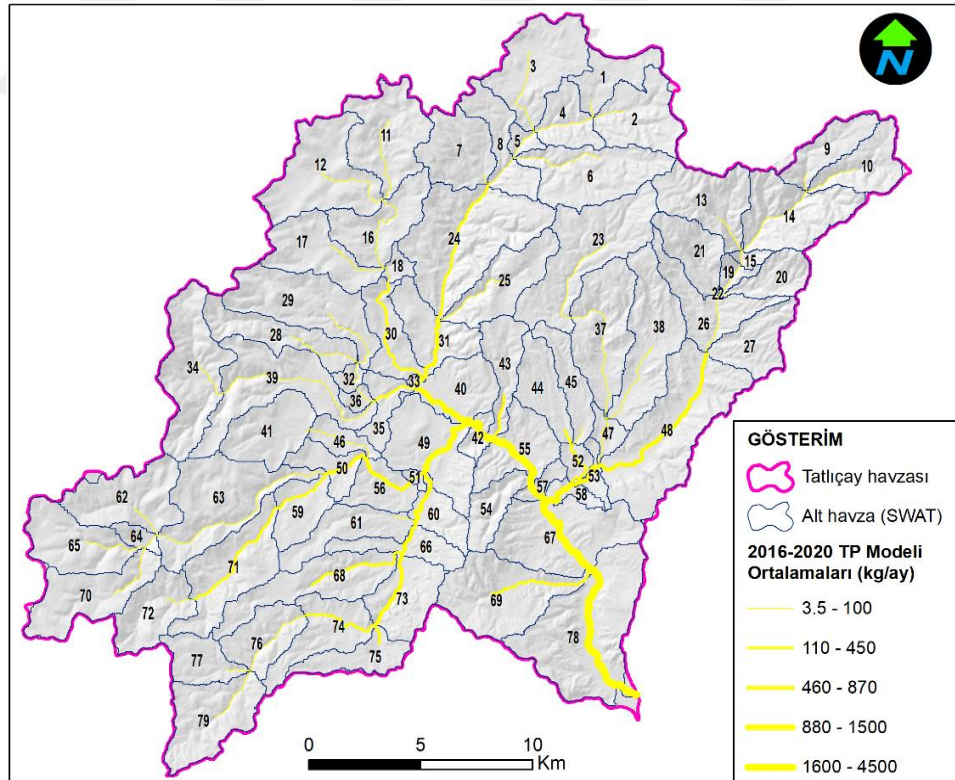


Şekil 5.5: Tatlıçay akarsu ekosistemi SWAT modeli TN ortalamaları

2016-2020 yılları arası TP modeli için kalibrasyon ve validasyon sonuçlarının, yağış ile karşılaştırılma grafikleri Şekil 5.6 ve tüm akarsu ekosistemi için 2016-2020 yılları arası ortalama TP dağılımı Şekil 5.7’de sunulmaktadır.



Şekil 5.6: SWAT Modelinde TP kalibrasyon ve validasyon sonuçları



Şekil 5.7: Tatlıçay akarsu ekosistemi SWAT modeli TP ortalamaları

6. TARTIŞMA

Bu çalışmada, hidrolojik modelleme yazılımlarından SWAT yazılımı ile Türkiye'nin Orta Anadolu Bölgesi'ndeki Çankırı İl sınırları dahilinde yer alan Tatlıçay akarsu ekosistemi örnek çalışma alanı olarak modellenmiştir. Tatlıçay Havzası üzerinde günlük kayıt alan akım gözlem istasyonu bulunmamaktadır. Çankırı Havzası'nın çıkışında yer alan aylık periyotlarla ölçüm alan bir adet kalite gözlem istasyonu bulunmaktadır. Uzun yıllar güncel günlük veriye sahip bir veya birden fazla istasyonunun olmayışı model kalitesini düşürmektedir. Tatlıçay Akarsu Ekosistemi modelleme çalışması için Çankırı Merkezde bulunan kalite gözlem istasyonunun akım ve besin maddeleri (TN ve TP) verileri ile model kurulumu tamamlanmıştır. Model kurulumu sonrasında manuel kalibrasyon ve validasyon çalışmaları yapılmış ve ilk model sonuçları elde edilmiştir. Bu model sonuçlarının iyileştirilmesi için SWAT-CUP yazılımı SUFI-2 algoritması kullanılarak otokalibrasyon ve validasyon yapılmıştır. Model otokalibrasyonunda, hassasiyet analizi sonuçlarında, GW DELAY, SLSUBBSN, ESCO, ALPHA_BF, GWQMN ve HRU_SLP parametrelerine daha duyarlı olduğu tespit edilmiştir. SWAT-CUP yazılımı SUFI-2 algoritmasının model başarı istatistikleri incelendiğinde, karşılaştırılan gözlem verilerinin kısa bir periyotta olmasına rağmen, başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Akım modelinin kalibrasyon ve validasyon sonuçlarının model başarı istatistikleri karşılaştırılmıştır. Validasyon aşamasında R^2 değerinin, kalibrasyon aşamasına göre arttığı görülmektedir. R^2 'deki bu artış, modelin geleceğe yönelik tahmin kapasitesinin validasyonda arttığı anlamına gelmektedir. Validasyon aşamasında NSE değerinin de kalibrasyon aşamasına göre arttığı görülmektedir. NSE değerindeki bu artış, model tahminlerinin doğruluk oranının, validasyon sürecinde daha yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Kalibrasyondaki PBIAS değeri, model verilerinin gözlem verilerinden fazla değerde tahmin edildiğini göstermektedir. Ancak validasyon aşamasında bu değer negatif yönlü azalmış olsa da kalibrasyon sonucuna göre "0" a daha yakın olduğundan başarılı bir tahminde bulunduğu söylenebilir.

TN ve TP modelinde kalibrasyon ve validasyon sonuçlarının model başarı istatistikleri karşılaştırıldığında, validasyon aşamasında R^2 değerinin, kalibrasyon aşamasına göre azaldığı görülmektedir. Bu da modelin geleceğe yönelik tahmin kapasitesinin azaldığı anlamına gelmektedir. NSE değeri de validasyon aşamasında, kalibrasyon aşamasına göre düşük hesaplanmıştır. Bu durum, her ne kadar tahminlerde sapma olduğunu anlamına gelse de validasyon, model periyodunun kısalığı nedeniyle diğer istatistiksel performanslara bakılarak geçerli kabul edilmiştir. Kalibrasyon aşamasında PBIAS değeri model verilerinin gözlem verilerinden daha yüksek değerde tahminde bulunduğunu göstermekteyken, validasyon aşamasında gözlem verilerinden çok daha düşük değerler tahmin etmektedir.

Akım modeli sonuçları, Çankırı MGI'ye ait aylık ortalama yağış verisiyle karşılaştırıldığında, akarsu ekosistemindeki akışın yağış verileriyle uyumlu olduğu görülmektedir (Bknz. Şekil 5.2). Şekil 5.3'de verilen akarsu ekosisteminin tümü ele alındığında da tüm dere kollarındaki akımın düzenli birikmeli devam etmesi bu durumu destekler niteliktedir.

TN ve TP modeli sonuçları, Çankırı MGI'ye ait aylık ortalama yağış verisiyle karşılaştırıldığında, akarsu ekosistemindeki TN ve TP'nin yağış verileriyle çok uyumlu olmadığı görülmektedir (Bknz. Şekil 5.4, ve Şekil 5.8). Akarsu ekosisteminin tümü ele alındığında, Şekil 5.5 ve Şekil 5.7'de de görüldüğü gibi tüm dere kollarındaki TN ve TP yükünün kent merkezlerinde ve Tatlıçay'ın düşük eğimli ana kolunda arttığı görülmektedir.

Bu modelleme çalışmasının az gözlem verisiyle dahi kalibrasyon ve validasyon sürecinde başarılı sonuçlar edilmiştir. Model sonuçları değerlendirildiğinde Tatlıçay'a ait TN ve TP yükünün kaynağının tarımsal faaliyetler ve kentsel deşarjlar gibi antropojenik etkilerin olduğu görülmüştür.

Su kalitesinin ölçülemeyen ya da ölçülmesi zor alanlarda bile yüksek doğruluk ile ortaya konulmasını sağlayan hidrolojik modelleme konusu, çoğunlukla hidroloji, hidrojeoloji, inşaat ve çevre gibi mühendislik alanlarının literatüründe yer almaktadır. Bununla birlikte hidrolojik modelleme ile su kalitesi çalışmaları dünya çevre sağlığı literatüründe yer almaktadır. Ancak Türkiye'de belli bir bölgenin noktasal mevcut su kalitesinin ortaya konulması şeklinde akademik çalışmalar ve Çevre Sağlığı Bilgi Sistemi (ÇSBS) gibi ulusal ve yerel projelerde yer almaktadır. Bu tez çalışması ile hidrolojik modelleme konusu, Türkiye çevre sağlığı literatürüne

eklenecektir. Ayrıca ekosistem esaslı su kalitesi yönetiminde yer alan hidrolojik modeller, ulusal ve yerel yönetimlerin bilgi sistemlerinin geliştirilmesinde faydalı olacaktır.



7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çevre sağlığı alanında su en önemli başlıklardan biri olmuştur. Suyun kalitesi ile ilgili oluşabilecek problemlerin tahmini ve izlenmesinde hidrolojik model kullanımının alternatif çözüm önerisi olarak sunulması ve suyun doğadaki davranışı, dağılımı ve su kalitesini bozan kirlilik kaynaklarını incelemek amacıyla yapılan bu çalışmada, Tatlıçay Akarsu Ekosistemi için, SWAT modeli, kabul edilebilir hata payı istatistikleri ile kalibre edilip, doğrulanmıştır. Ölçüm verisi az olan Tatlıçay havzasındaki gibi akım ve su kalitesi verilerine sahip istasyonlarda dahi, yapılan model kalibrasyon çalışmalarında, yüksek doğruluk oranları elde edilmiştir. Çevre sağlığını tehdit edebilecek olumsuz durumlarda, gelecek senaryoları ile etkili çözüm üretilebilecek model ortaya konulmuştur.

Yüzey suyu modellerinin dinamik olması gerektiğinden, uzun süreli günlük ya da aylık akım ve su kalitesi ölçümleri alınarak tahminlerin doğruluk oranları iyileştirilmelidir. Ayrıca çalışmadaki belirsizlikler ortadan kaldırılmalı ve çevre sağlığını bozan kirlilik kaynaklarının etki değerlendirmesi yapılmalıdır.

Model sonuçları, Tatlıçay Akarsu Ekosistemi kötü su kalitesinin nedeninin kentsel deşarjlar ve tarımsal kullanımlar olduğunu göstermektedir. Tatlıçay havzasındaki kötü su kalitesine yol açan bu nedenlerin önüne geçmek için nüfusça yoğun yerleşim birimlerinde paket su arıtma tesisleri ve Çankırı İl Merkezi'ne gelecek nüfus projeksiyonunu da öngören su arıtma tesisinin yapılması önerilmektedir. Ayrıca tarımsal faaliyetlerde gübreleme ve sulama uygulamaları için iyi tarım uygulamaları ile yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abbaspour, K. C., Vejdani, M., Haghighat S.** (2007). SWATCUP calibration and uncertainty programs for SWAT. In Proc. Intl. Congress on Modelling and Simulation (MODSIM'07), 1603-1609. L. Oxley and D. Kulasiri, eds. Melbourne, Australia: Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand.
- Abbaspour, K. C.** (2015). SWAT-CUP: SWAT Calibration and Uncertainty Programs - A User Manual. EAWAG.
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, D., Smith M.** (1998). Crop evapotranspiration, guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrig. and Drain. Paper 56, Food and Agric. Orgn. of the United Nations, Rome, Italy. 300 pp.
- Bayazit, M.** (2013). Hidroloji. Birsen Yayınevi. ISBN: 975-511-364-9
- Çankırı İDÇR** (2021). Çankırı İli Çevre Durum Raporu
- Doğan-sağlamtimur, N. & Sağlamtimur, B.** (2018). Sucul Ortamlarda Ötrofikasyon Durumu Ve Senaryoları. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi , 7 (1) , 75-82 . DOI: 10.28948/ngumuh.386307
- DSİ**, (2019). Kızılırmak Havzası Master Plan Raporu Yapım İş, Havza Master Plan Nihai Raporu, Dolsar Mühendislik.
- DSİ** (2022). Toprak Su Kaynakları, Erişim adresi: <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/754>
- EEA** (2020). CORINE Land Cover (CLC) 2018, Versiyon 2020_20u1
- Falkenmark, M.** (1989) The Massive Water Scarcity Now Threatening Africa: Why Isn't It Being Addressed? Ambio, 18, 112-118.
- FAO-UNESCO** (2003). Digital soil map of the world (DSMW), and derived soil properties. Rome, Italy: FAO.
- Freeze, R. A., Cherry J. A.** (1979). Physical Properties and Principles. Groundwater. New Jersey: Prentice-Hall International, Inc.
- FISRWG** (2001). Stream Corridor Restoration. Principles, Processes, and Practices. 653 s. ISBN-0-9342 13-59-3.
- Germeç, E., Ürker, O.** (2020). Hydrological Modeling in Environmental Health: Role, Significance and Comparative Analysis of Application Methods. Review. The Turkish Journal of Health Science and Life, 3(3), 12-18. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjhsl/issue/59044/760115>.
- Gleick, P. H.** (1993). Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources. Oxford University Press. New York.
- Gleick, P. H.** (1996). Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather. Oxford University Press. New York.
- Keleş, R., Harmancı C.** (1998). Çevrebilim, 3. Baskı, İmge Kitabevi, ISBN: 975-533-043-7
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L, Harmel, R. D, Veith, T. L.,** (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of

Accuracy in Watershed Simulations. Transactions of the ASABE, 50, 885-900. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.23153>

- Moriasi, D. N., Zeckoski, R. W., Arnold, J. G., Baffaut, C. B., Malone, R. W., Daggupati P., Guzman, J. A., Saraswat, D., Yuan, Y., Wilson, B. W., Shirmohammadi, A., Douglas-Mankin, K. R.,** (2015). Hydrologic and Water Quality Models: Key Calibration and Validation Topics. Transactions of the ASABE, 58, 1609-1618, <https://doi.org/10.13031/trans.58.11075>
- Munsuz, N.** (1995). Su Kalitesi. Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Nachtergaele, F. O., van Velthuisen, H. T., Verelst, L.** (2009). Harmonized World Soil Database. FAO, Rome, Italy, and IIASA, Laxenburg, Austria (March 2009)
- Nash, J. E., Sutcliffe, J. V.** (1970). River Flow Forecasting through Conceptual Model. Part 1—A Discussion of Principles. Journal of Hydrology, 10, 282-290. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R.** (2011). SWAT (Soil and Water Assessment Tool) Theoretical Documentation Version 2009, TAMU.
- Raes D.** (2012). Reference Manual – ETo Calculator (Version 3.2, September 2012), FAO
- Serengil Y, Augustaitis A., Bytnerowicz A., Grulke N., Kozovitz A.R., Matyssek R., Müller-Starck G., Schaub M., Wieser G., Aydin Coskun A., Paoletti E.** (2011). Adaptation of forest ecosystems to air pollution and climate change: a global assessment on research priorities. iForest 4: 44-48. - doi: 10.3832/ifor0566-004
- Song, X., Zhang, J., Zhan, C., Xuan, Y., Ye, M., Xu, C.** (2015). Global Sensitivity Analysis in Hydrological Modeling: Review of Concepts, Methods, Theoretical Framework, and Applications, Journal of Hydrology, 523 (2015), 739-757.
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği.** (2009). T. C. Resmi Gazete, 27372, 20/03/2010
- Tarım Orman Bakanlığı** (2019). Ekosistem Esaslı Su Kalitesi Yönetimi, ISBN No: 978-605-7599-12-4
- TÜBİTAK-MAM** (2018). Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması-Kızılırmak Havzası, Tübitak MAM Çevre Enstitüsü
- TÜİK** (2002). Türkiye 2040 yılı Nüfus Projeksiyonları. Erişim adresi: tuik.gov.tr
- TÜİK** (2022). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları. Erişim adresi: tuik.gov.tr
- USGS** (2016). Su Döngüsü, The Water Cycle, Turkish
- USGS** (2017). Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global, Rev.2021 DOI: 10.5066/F7PR7TFT
- Wang, Q. G., Li, S. B., Qi, C., Ding F.** (2013). A Review of Surface Water Quality Models, The Scientific World Journal, vol. 2013, DOI: 10.1155/2013/231768.
- WHO** (2022). Mortality rate attributable to unsafe water, sanitation, and hygiene, 2019. Erişim adresi: <https://ourworldindata.org/grapher/mortality-rate-attributable-to-wash>

EKLER



EK 1

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum “Akarsu Ekosisteminde Su Kalitesi Değerlendirilmesinde SWAT Modeli Uygulaması: Tatlıçay Havzası Örneği (Çankırı, Türkiye)” konulu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, tezin Çankırı Karatekin Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü’nden başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve bu çalışmanın Çankırı Karatekin Üniversitesi tarafından kullanılan “Bilimsel İntihal Tespit Programı”yla tarandığını, “intihal içermediğini” beyan ederim. Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm. Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim. (30/12/2022).

Eren GERMEÇ

EK 2.

ÖZGEÇMİŞ

Adı – Soyadı : Eren Germeç

