

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KIZILIRMAK DELTASI ÖRNEĞİNDE SULAK ALAN SU BÜTÇESİNİN
MODELLENMESİ VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ETKİLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ

DOKTORA TEZİ

Eprar ÖZEL ÇELİK

NİSAN 2025

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KIZILIRMAK DELTASI ÖRNEĞİNDE SULAK ALAN SU BÜTÇESİNİN
MODELLENMESİ VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ETKİLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Eprar ÖZEL ÇELİK

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"DOKTOR (İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 / 03 / 2025

Tezin Savunma Tarihi : 22 / 04 / 2025

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Egemen ARAS

Trabzon 2025

ÖNSÖZ

“Kızılırmak Deltası Örneğinde Sulak Alan Su Bütçesinin Modellenmesi ve İklim Değişikliğinin Etkilerinin Değerlendirilmesi” isimli bu tez Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Programı’nda hazırlanmıştır.

Tez çalışma süresince bilimsel bilgi ve tecrübeleriyle her zaman destek olan, görüş ve önerileriyle bana yol gösteren değerli danışman hocam Prof. Dr. Egemen ARAS a en içten teşekkürlerimi sunarım. Tez sürecimde rehberlik eden ve yapıcı görüşleriyle çalışmamın gelişimine katkı sağlayan değerli tez izleme komitesi üyelerim Doç. Dr. Tuğçe ANILAN’a, Sayın Prof. Dr. Ercan KÖSE’e ile jüri üyelerim Doç. Dr. Babak VAHEDDOOST ve Prof. Dr. Gürol YILDIRIM’a teşekkür ederim. Bu sürecin başından sonuna kadar destek aldığım değerli hocam Prof. Dr. Tayfun DEDE’ ye ve eğitim öğretim hayatım boyunca emeği geçen tüm hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışması sürecinde verdikleri teknik destek için Samsun Tarım İl Müdürlüğü Tarımsal Veriler Şube Müdürlüğü çalışanlarına, mesai arkadaşım Teknik Uzman Jeoloji Mühendisi Taner KOÇ’ a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca maddi ve manevi destekleriyle yanımda olan, eğitim ve meslek hayatımın şekillenmesine katkı sağlayan sevgili anne ve babama; bilimsel görüş ve önerileriyle destek veren sevgili ablalarım Prof. Dr. Ümmühani ÖZEL TÜRKCÜ ve Doç. Dr. Ümmükülsüm ÖZEL AKDEMİR ile eniştem Doç. Dr. Andaç AKDEMİR’e gönülden teşekkür ederim. Bu uzun ve yorucu süreçte, tüm sabırları, sevgileri ve anlayışlarıyla bana güç veren canım eşim İnşaat Mühendisi Dr. Hakan Çelik’e ve hayatımın en kıymetli varlıkları sevgili kızlarım Berire ve Liya’ya kalpten teşekkür ederim.

Son olarak, Bu tez çalışmasının bundan sonraki çalışmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Eprar ÖZEL ÇELİK
Trabzon 2025

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Kızılırmak Deltası Örneğinde Sulak Alan Su Bütçesinin Modellenmesi ve İklim Değişikliğinin Etkilerinin Değerlendirilmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Egemen ARAS’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 22/04/2025

Eprar ÖZEL ÇELİK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Delta Sulak Alan Tanımı	2
1.2. Delta Sulak Alan Hidrolojisi	5
1.3. Literatür İncelemesi.....	9
1.4. Amaç ve Hedefler.....	17
1.4.1. Amaç	17
1.4.2. Hedefler.....	17
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
2.1. Materyal.....	18
2.1.1. Çalışma Alanının Konumu ve Genel Özellikleri	18
2.1.2. Meteorolojik Veriler	20
2.1.3. Topografya	21
2.1.4. Toprak ve Jeoloji Haritaları	23
2.1.5. Arazi Kullanımı.....	30
2.1.6. Nehir Ağı.....	35
2.2. Yöntem	36
2.2.1. MIKE SHE Modeli ve Matematiksel Tanımı	36
2.2.2. MIKE SHE Sayısal Modeli.....	47
2.2.3. Kızılırmak Deltası İklim Değişikliğinin İrdelenmesi.....	58
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	63
3.1. Model Testi ve Doğrulama.....	63
3.1.1. Model Kalibrasyonu ve Geçerliliği.....	63

3.1.2. Su Bütçesi	69
3.1.3. İklim Değişikliğinin Kızılırmak Deltası Üzerine Etkisi	71
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	78
5. KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ	



Doktora Tezi

ÖZET

KIZILIRMAK DELTASI ÖRNEĞİNDE SULAK ALAN SU BÜTÇESİNİN MODELLENMESİ VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Eprar ÖZEL ÇELİK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Egemen ARAS
2025, 89 Sayfa

Sulak alanlar, yer altı sularını besleme, yüzey akışını kontrol etme, taşkın riskini azaltma ve suyun doğal filtrasyonunu sağlamasının yanı sıra suyun depolanması ve buharlaşma gibi hidrolojik süreçlere katkıda bulunması nedeni ile de hidrolojideki değişikliklere duyarlı ekosistemlerdir. Bu nedenle sulak alanların su bütçelerini karakterize etmek yönetim ve koruma için çok önemlidir. Bu çalışmada, Kızılırmak Deltası'nın su bütçesi ile iklim değişikliğinin paylaşılan iki sosyoekonomik yol (SPP2-4.5 ve SSP5-8.5) senaryosu altında seçilen üç farklı CMIP-6 iklim modeli kullanılarak delta üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Hidrolojik model, akış için sırasıyla 2011-2014 ve 2015-2021 dönemlerindeki günlük verilere göre kalibre edilmiş ve doğrulanmıştır ($RMSE = 2.66$, $R^2 = 0.68$, ve $R=0.82$, $RMSE = 2.27$, $R^2 = 0.62$ ve $R=0.79$). Hidrolojik bütçede, yağışların büyük kısmı evapotranspirasyonla atmosfere dönerken, yeraltı suyu ve yüzey akışı gibi diğer bileşenlerin, yerel meteorolojik koşullara bağlı olarak su dengesine katkıda bulunduğu görülmüştür. SPP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları altında sıcaklık artışının $1.05^{\circ}C$ ile $7.13^{\circ}C$ arasında, yağışların %12 ile %50 ye varan azalış olacağı ve nehir akışında ise %10 civarında azalma olacağı beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kızılırmak Deltası, MIKE-SHE model, Su Bütçesi, İklim Değişikliği

PhD. Thesis

SUMMARY

MODELING OF WETLAND WATER BUDGET IN CASE OF KIZILIRMAK DELTA AND ASSESMENT OF CLIMATE CHANGE IMPACTS

Eprar ÖZEL ÇELİK

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineer Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Egemen ARAS
2024, 89 Pages

Wetlands are ecosystems that are sensitive to changes in hydrology because they contribute to hydrological processes such as water storage and evaporation, as well as feeding groundwater, controlling surface runoff, reducing flood risk and providing natural filtration of water. Therefore, characterizing the water budgets of wetlands is crucial for management and conservation. In this study, we investigate the water budget of the Kızılırmak Delta and the effect of climate change on the delta using three different CMIP-6 climate models selected under two shared socioeconomic pathway scenarios (SPP2-4.5 and SSP5-8.5). The hydrological model was calibrated and validated for runoff based on daily data for the period 2011-2014 and 2015-2021, respectively (RMSE = 2.66, $R^2 = 0.68$, and $R=0.82$, RMSE = 2.27, $R^2 = 0.62$, and $R=0.79$). In the hydrological budget, the majority of precipitation returns to the atmosphere through evapotranspiration, while other components such as groundwater and surface runoff contribute to the water balance depending on local meteorological conditions. Under the SPP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios, temperature increase is expected to range between 1.05°C and 7.13°C, precipitation is expected to decrease by 12% to 50%, and river runoff is expected to decrease by around 10%.

Key Words: Kızılırmak, Delta, MIKE-SHE model, Water budget, Climate cahange

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Su Bütçesi Bileşenleri (Quijano& Lin, 2014).....	6
Şekil 2. Çalışma alanına ait uydu görüntüsü.....	18
Şekil 3. Kızılırmak Deltasında koruma altına alınmış alanlar (Ramsar 2016)	19
Şekil 4. Kızılırmak deltası ve yakın çevresine ait Sayısal Yükselti Modeli (DEM).....	22
Şekil 5. Kızılırmak deltası ve yakın çevresine ait eğim haritası	22
Şekil 6. Kızılırmak deltası ve yakın çevresine ait jeoloji haritası (Uğur ve Sezgin (2007;2009) ve Keskin (2011) değiştirilerek yeniden çizilmiştir.)	24
Şekil 7. Kızılırmak deltası ve yakın çevresine ait Büyük Toprak Grupları (BTG) dağılımı.....	26
Şekil 8. Kızılırmak deltasının ve çevresinin arazi kullanım haritası (05.10.2019 tarihli Landsat 8 uydu görüntüsüne göre düzenlenmiştir.	33
Şekil 9. Bitki deseni haritası	34
Şekil 10. Nehir Ağı Haritası.....	36
Şekil 11. MIKE SHE’ nin Modülerin Yapısının Şematik Gösterimi (DHI 2009).....	37
Şekil 12. MIKE SHE’de bir girdi dosyası olarak Kızılırmak Deltası çalışma alanının topografya haritası	48
Şekil 13. Model için yağış zaman dosyası dfs0	49
Şekil 14. Model için Referans Evapotranspirasyon (ET0) zaman dosyası dfs0	50
Şekil 15. Arazi kullanımına ait Manning M değeri	53
Şekil 16. Engiz Nehir Güzergahı	57
Şekil 17. Nehir Kesitleri	57
Şekil 18. Kalibrasyon dönemi boyunca ölçülen ve simüle edilen deşarj verileri	65
Şekil 19. Doğrulama dönemi boyunca ölçülen ve simüle edilen deşarj verileri.....	66
Şekil 20. Simülasyon dönemi boyunca ölçülen ve simüle edilen deşarj verileri.....	68
Şekil 21. 2010-2021 hidrolojik yılları için Kızılırmak Deltası için su dengesi verileri.....	70
Şekil 22. Gözlenen ve tarihsel GCM modellerinin ortalama aylık a) yağış, b) minimum sıcaklık, c) maksimum sıcaklık arasındaki korelasyon.....	72
Şekil 23. SSP2-4.5 senaryosu altında gelecek dönemler (2025-2050, 2051-2075 ve 2076-2100) için aylık ortalama yağış değerlerinin referans döneme göre değişimi (1980-2014)	73

Şekil 24.	SSP5-8.5 senaryosu altında gelecek dönemler (2025-2050, 2051-2075 ve 2076-2100) için aylık ortalama yağış değerlerinin referans döneme göre değişimi (1980-2014)	73
Şekil 25.	SSP2-4.5 senaryoları altında gelecek dönemler (2025-2050, 2051-2075 ve 2076-2100) için aylık minimum ortalama sıcaklık değerlerinin referans döneme göre değişimi (1980-2014) senaryosu (Δt)	74
Şekil 26.	SSP5-8.5 senaryoları altında gelecek dönemler (2025-2050, 2051-2075 ve 2076-2100) için aylık minimum ortalama sıcaklık değerlerinin referans döneme göre değişimi (1980-2014) senaryosu (Δt)	75
Şekil 27.	SSP2-4.5 senaryoları altında gelecek dönemler (2025-2050, 2051-2075 ve 2076-2100) için aylık minimum ortalama sıcaklık değerlerinin referans döneme göre değişimi (1980-2014) senaryosu (Δt)	75
Şekil 28.	SSP5-5.8 senaryoları altında gelecek dönemler (2025-2050, 2051-2075 ve 2076-2100) için aylık minimum ortalama sıcaklık değerlerinin referans döneme göre değişimi (1980-2014) senaryosu (Δt)	76
Şekil 29.	Gelecek orta dönem SSP2-4.5 ve SSP5-8,5 senaryoları altında kalibrasyon dönemi kıyasla ortalama aylık akışın yüzde değişimi	77

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Sulak Alanlar İçin ABD’de yaygın tanımlar	4
Tablo 2. Kızılırmak Deltasında Yer Alan İstasyon Bilgileri	20
Tablo 3. Kızılırmak deltası ve yakın çevresine jeolojik birimlerin ait alansal ve yüzde dağılımları	25
Tablo 4. Kızılırmak deltası ve yakın çevresine ait büyük toprak gruplarının alansal ve yüzde dağılımları	27
Tablo 5. Hesaplanan toprak hidrolik özelliklerinin formatı EU-SoilHydroGrids ver1.0	29
Tablo 6. LANDSAT 8 Uydusuna ait Bant Özellikleri.....	32
Tablo 7. Arazi kullanımına göre alansal dağılım.....	33
Tablo 8. Bitki büyüme gelişim tablosu	52
Tablo 9. Arazi kullanımı için Manning pürüzlülük katsayısı n ve Manning M değerleri	53
Tablo 10. Çalışma alanındaki toprakların fiziksel özellikleri	55
Tablo 11. Doygun bölgenin hidrolik özellikleri.....	58
Tablo 12. IPCC altıncı değerlendirme raporuna göre paylaşılan sosyoekonomik yollar.....	60
Tablo 13. Kalibrasyon için kullanılan parametreler ve aralıkları	64
Tablo 14. Kalibrasyon, Doğrulama ve Model Sonuçları İçin İstatistiksel Değerler	67
Tablo 15. MIKE SHE/MIKE11 kullanılarak Kızılırmak Deltası için su bütçesi dağılımları.....	71

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

R^2	: Nash-Sutcliffe korelasyon katsayısı
R	: Korelasyon katsayısı
RMSE	: Kök ortalama karesel hata
κ	: Kappa katsayısı
LAI	: Yaprak alan indeksi
C_{int}	: Tutma kapasitesi
E_{at}	: Gerçek evapotranspirasyon
ET_{ref}	: Referans evapotranspirasyon
θ	: Hacimsel toprak nemi
S	: Spesifik depolama katsayısı
$\theta(\psi)$	: Basınç yüksekliğine göre toprak nem fonksiyonu
$K(\psi)$	: Basınç yüksekliğine göre hidrolik iletkenlik fonksiyonu
p_{Fw}	: Solma noktasındaki basınç yüksekliği
p_{Ffc}	: Tarla kapasitesindeki basınç yüksekliği
θ_s	: Doymuş nem içeriği
θ_r	: Artık nem içeriği

1. GENEL BİLGİLER

Su hayatın temelidir ve varlığı, hayvanların ve bitkilerin Dünya'da nerede ve nasıl var olduğunu belirler. İnsanların tüketim ve üretim için suya ihtiyacı vardır; ayrıca estetik değeri ve sunduğu eğlence olanakları nedeniyle ilgi görmektedir. Aynı zamanda, Dünya'daki diğer tüm yaşam formları, yaşamlarını sürdürmek için suya ihtiyaç duyarlar. Çayır ve ormanlardaki yerel bitkiler; tarım alanlarında buğday ve mısır gibi bitkiler; sulak alanlarda böcekler, amfibiler ve kuşlar; akarsularda ve göllerde balık; vahşi memeliler ve sürüngenler; ve evcil hayvanlar ile çiftlik hayvanları tümüyle suya bağlıdır (USGS, 2007).

Son günlerde su tüketimi nüfus artış oranının iki katı oranında küresel bir biçimde artmakta ve özellikle kurak bölgelerde su ile ilişkili hizmetlerin devamlılığını sıkıntıya düşürecek bir sınıra ulaşmaktadır. İnsanların ve içinde yaşadıkları ekosistemlerin sağlık ve esenliğini sürdürmek için yeterli miktarda tatlı suyun mevcudiyetini sağlamak, dünyanın en acil sorunlarından biri olmaya devam etmekte ve dünyanın birçok bölgesinde acil bir ihtiyaç haline gelmektedir. Bu kıtlık, gıdaları üretmek ve işlemek, enerji oluşturmak ve sürekli büyüyen bir nüfusa endüstri hizmeti sağlamak için suya ihtiyaç duyulması nedeni ile artmaktadır. Su kıtlığı iklim değişikliğine önemli bir katkıda bulunan faktördür. İklimin değişmesiyle hidrolojik döngü de değişmektedir. İklim değişikliğinin hidrolojik döngü üzerindeki bazı etkileri, yağış miktarı ve mevsimsel dağılımındaki değişiklikler, artan yağış yoğunluğu, giderek daha sık ve şiddetli sıcaklık dalgalanmaları ve hava olayları, yağmur ve kar arasındaki yeniden dağıtılmış denge, deniz seviyesinin yükselmesinin kıyı üzerindeki etkilerini içermektedir (DeNicola, Omar, Azhar, Haider & David, 2015).

Artan sıcaklıklar, daha fazla buharlaşmaya ve tarım ve doğal ekosistemler tarafından daha fazla su talebine neden olmakla birlikte atmosferdeki daha fazla ısı ve nem, daha şiddetli fırtınalara ve sele neden olur. Isınan göller ve akarsular balık popülasyonunu azaltmakta ve sayısız su organizması için su kalitesini ve yaşam koşullarını değiştirmektedir. Kuraklık, iklim değişikliğinin etkisi altında daha şiddetli hale gelmekte ve kıyıdaki sulak alanları etkilemektedir.

Bir nehrin okyanusa girdiği yerlerde, su ve kara sınırında değerli ve zengin ekosistemler (sulak alanlar) bulunur. Bu kıyı sulak alanlarının çoğu nehir deltalarından oluşmaktadır. Deltalardaki sulak alanlar insan müdahalelerine karşı oldukça hassastır ve bu

hassasiyetler sürdürülebilir bir yaklaşıma duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır (Hillen, Treffers & Ravesteijn, (t.y))

Son zamanlarda, sulak alanlar çevresel, kültürel ve ekonomik işlevler ve hizmetler sağlamasıyla yaygın olarak tanınmaya başlanmıştır (Acreman, Harding, Lloyd, Mcnamara, Mountford, Mould, Purse, Heard, Stratford & Dury, 2011). Sulak alanlar ıslak ve kuru alanlar arasında belirsiz geçiş bölgeleri işgal etmesi nedeniyle hem sucul hem de karasal ortamların özelliklerini paylaşırlar, ancak her iki kategoriye de girmezler (Ramsar, 2011). Bitki örtüsü, fauna ve biyojeokimyasal döngü üzerinde bir kilit kontrol olduğu için sulak alanların kurulması ve bakımı öncelikle hidrolojik rejime bağlıdır. Sulak alanların hidrolojik rejimlerinde değişikliklerin etkilerini tahmin etme yeteneği bu nedenle, çok istenir (House, 2016). Sulak alan hidrolojik süreçlerini doğru bir şekilde temsil edebilen modeller sulak alanların ekolojik karakterine olası bozulmanın değerlendirilmesinde ve bu etkileri azaltabilecek sulak alan yönetiminin geliştirilmesinde muazzam bir potansiyele sahiptir (Acreman & Jose, 2000). Sürdürülebilir sulak alan yönetimi ihtiyacı, artan ve sıklıkla rekabet eden su taleplerinin yanı sıra iklim değişikliği karşısında yoğunlaşmaktadır (Maltby & Acreman, 2011).

Mevcut ve tarihi sulak alan yönetim uygulamaları, istenen türlerin veya toplulukların korunması, taşkınların azaltılması ve ekilebilir üretkenlik için gerekli su seviyelerinin korunması etrafında dönmektedir (Morris, Bailey, Lawson, Leeds-Harrison, Alsop & Vivash, 2008).

Giriş bölümünde, bir delta sulak alanı olan Kızılırmak Deltasının, hidrolojik ve hidrodinamik modelleme öncesinde sulak alanların yaygın tanımları, bunların kapsamı ve değeri gözden geçirilmektedir. Spesifik bir odak noktası, Kızılırmak deltasındaki sulak alanlardır. Çevresel değişikliklerin, özellikle iklim değişikliğinin, bu tür sulak alanların hidroloji ve ekolojisi üzerindeki etkilerini değerlendirmede hidrolojik modellerin potansiyel rolü de tartışılmaktadır. Bu çalışmanın amaç ve hedefleri sunulmuş ve tezin yapısı özetlenmiştir.

1.1. Delta Sulak Alan Tanımı

Nehir suyu bir göle veya okyanusa veya hatta düz bir zemine ulaştığında hızı ve dolayısıyla taşıma kapasitesi azalmaktadır. Bu, suyun taşıdığı bazı tortu ve diğer maddelerin birikmesine neden olmakta ve genellikle delta şeklinde bir manzara oluşturmaktadır

(Loucks, 2019). Daha geniş bir ifadeyle deltalar, nehir kaynaklı tortulardan türemiş ve nehir kolu kanalları tarafından dağılan hem karasal hem de su altı birikintileri olarak tanımlanabilir. Delta gelişimini kontrol eden farklı süreçler önemli ölçüde çeşitlilik gösterdiğinden, delta düzlüğünün arazi şekilleri neredeyse tüm kıyı özelliklerini kapsar ve nehir kolu kanalları, nehir ağzı çizgileri, gelgit düzlükleri, gelgit sırtları, plajlar, kumullar, kumul alanları, bataklıklar ve tuz kayaç düzlüklerini içerir (Coleman & Roberts, 1989). Ekolojik olarak delta, birçok yerli ve ticari açıdan önemli türler için yaşam alanı sağlar ve su kuşları için önemli bir göç koridoru işlevi görür. Bununla birlikte, Delta ekosistemi ve deltaya bağımlı su kullanıcıları, oldukça değişken yıllık yağış modelleri ile su arzı (yağış) ve talep arasındaki coğrafi dengesizliklerin bir sonucu olarak değişken ve güvenilir su kaynaklarına tabidir (Ariyama, Boisramé & Brand, 2019). Deltalar, nehirlerin sularını ve tortularını okyanus, göl veya başka bir nehir gibi başka bir su kütleline boşaltmasıyla oluşan sulak alanlardır.

Delta terimi ilk olarak Yunan tarihçi Herodot tarafından yaklaşık M.Ö. 450'de Nil Nehri'nin ağzındaki üçgen alüvyon birikintilerine tanımlamada kullanılmasına (Coleman & Roberts, 1989) rağmen, 'Sulak alan' terimi, yirminci yüzyılın ikinci yarısına kadar yaygın olarak kullanılmamaktaydı. Bataklıklar, turba ve fen gibi terimler yüzyıllardır iyi bilinen terimlerdir ve bu terimler bilim adamları tarafından belirli bir sulak alan türlerini tanımlamak için hala kullanılmaktadır. Ancak 1970'lerin ortalarından beri bu peyzaj birimlerini tek bir "sulak alan" terimi altında gruplandırmaya yönelik girişimlerde bulunulmuştur. Aslında, genel terim büyük olasılıkla araziye karakterize etme ve değer verme ihtiyacından ve sulak alan ekosistemlerini yönetme ve düzenleme ihtiyacından doğmuştur (Lewis, 1995; Cowardin, Carter, Golet & Laroe, 1979). Uluslararası anlamda, çeşitlilikleri nedeniyle, amacına göre tek bir tartışılmaz tanımı olmayıp hepsi birbirinden farklıdır. Uluslararası Öneme Sahip Sulak Alanlara İlişkin Uluslararası Sözleşme Ramsar (1971), Sözleşme metni (Madde 1.1) kapsamında sulak alanları gelgitin çekildiği zamanlarda derinliği altı metreyi geçmeyen deniz suyu alanları dahil bataklık, sazlık, turbalık veya su alanları (doğal veya yapay, sürekli veya geçici, suları durgun veya akıcı, tatlı, acı veya tuzlu) şekilde tanımlayarak geniş bir bakış açısından ele almaktadır (Ramsar, 2016). ABD'deki kuruluşlar tarafından geliştirilen sulak alan tanımı ve sınıflandırmasına ilişkin özellikli tanımlar Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1.Sulak Alanlar İçin ABD’de yaygın tanımlar

Organizasyon	Tanım
ABD Balık ve Yaban Hayatı Servisi (Shaw & Fredine, 1956)	Genel olarak vahşi yaşam alanında kullanıldığı şekliyle "sulak alanlar", sığ ve bazen geçici veya aralıklı sularla kaplı ovaları ifade eder. Bataklıklar, turba bataklıkları, sığ sulu - çamurlu araziler, ıslak çayırlar, çukurlar, göletler ve nehir taşan topraklar gibi isimlerle anılırlar. Genellikle belirgin bir özellik olarak ortaya çıkan bitki örtüsüne sahip sığ göller ve göletler tanıma dahil edilir, ancak akarsuların, rezervuarların ve derin göllerin kalıcı suları dahil edilmez. Nemli toprak bitki örtüsünün gelişimi üzerinde çok az etkisi olacak veya hiç etkisi olmayacak kadar geçici olan su alanları da dahil değildir.
ABD Balık ve Yaban Hayatı Servisi (Cowardin, Carter, Golet & Laroe, 1979)	Sulak alanlar, su tablasının genellikle yüzeyde veya yüzeye yakın olduğu veya arazinin sığ sularla kaplı olduğu karasal ve su sistemleri arasında geçiş yapan arazilerdir. Üç özellikten bir veya daha fazlasına sahip olmalıdır: (1) arazi ağırlıklı olarak sucul bitkileri destekler; (2) alt tabaka ağırlıklı olarak drenajsız sulu topraktır; ve (3) alt tabaka toprak değildir ve her yılın büyüme mevsimi boyunca suya doymun veya sığ su ile kaplıdır.
ABD Ordusu Mühendisler Birliği ve Çevre Koruma Ajansı (Environmental Laboratory, 1987)	Yeterli sıklıkta ve sürede yüzey veya yer altı suları ile dolu veya doymun olan bu alanlar normal şartlar altında ve tipik olarak doymuş toprak koşullarında yaşama adapte edilmiş bir bitki örtüsü yaygınlığını destekler. Sulak alanlar genellikle bataklıklar, turba bataklıkları, sığ sulu - çamurlu araziler ve benzeri alanları içerir.

1.2. Delta Sulak Alan Hidrolojisi

Sulak alanlar söz konusu sulak alanın türüne bağlı olarak, su bütçesindeki yağış, yeraltısuyu zenginleşmesi ve akarsu akışı gibi parametrelerin birçoğu veya tümü ile ilişkili bölgesel hidrolojik çevrimlerde aktif bir rol oynamaktadır. Buda onları iklimi kontrol eden ve bu iklim sistemindeki bozulmalara duyarlı olan fiziksel sistemin bir parçası yapar (Awadalla, 2011). Bir sulak alan ile havzasının yeraltısuyu ve yüzey suları arasındaki ilişki sulak alandaki derinliği, süreyi ve su akış modellerini belirlemektedir. Bu faktörler hem bitki örtüsü, toprak çeşitliliğini hem de sulak alanın havzadaki işlevsel rolüyle birlikte gelişen topografyasını belirlemeye yardım eder. Sulak alan sınıflandırmaları, işlevsel değerlendirmeleri ve restorasyon planlamaları için bir sulak alana giren ve çıkan su kaynaklarının, miktarının ve zamanın bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır (Owen,1995; Marandi, 2012). Sulak alan hidrolojisinin de mevzuat zorunlulukları ve ekolojik önem nedeniyle, sulak alan hidrolojisini etkileyen bileşenleri yeterince anlamak önemlidir. Sulak alan su dengesinin nicelleştirilmesi, sulak alan tipinin ve işlevinin ayırt edilmesinde yardımcı olabilir (Neuhaus, 2013).

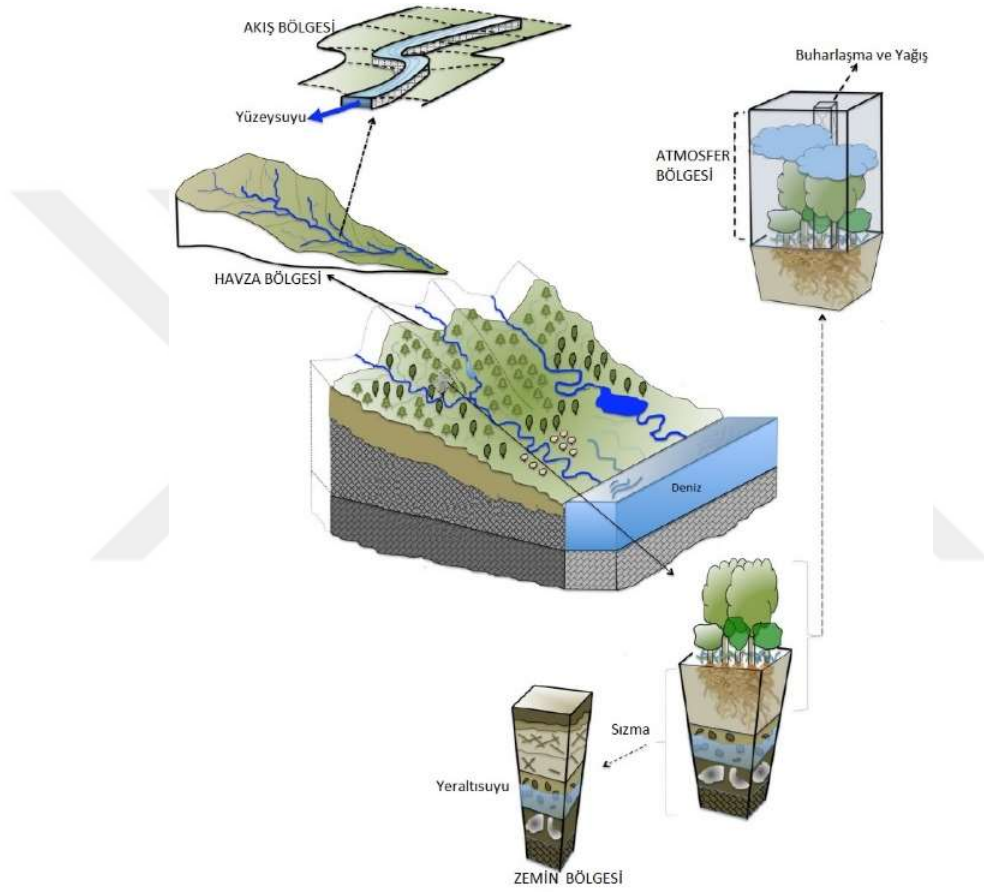
Su bütçeleri, su kullanıcılarının ve yöneticilerinin hidrolojik döngüyü ölçmek için kullandıkları araçlardır. Bir su bütçesi, atmosferin, kara yüzeyinin ve yeraltının tamamında veya bir kısmında su hareketinin ve su depolamasındaki değişimin bir muhasebesidir. Konsept olarak basit olmasına rağmen, su bütçelerini doğru bir şekilde belirlemek zor olabilir. Halkın ve karar vericilerin, su bütçelerinde var olan belirsizlikleri ve bu belirsizliklerin insani ve çevresel ihtiyaçlar için ne kadar su bulunabileceğini değerlendirmedeki göreceli önemini anlaması önemlidir (USGS, 2007).

Temel kütle denklemi, depolama alanındaki değişim = girişler – çıkışlar, bir sulak alandaki hidrolojik çevrimi ya da sulak alan içindeki suyun hareketini ifade etmek için kullanılır ve genellikle su bütçesi olarak adlandırılır, su kütlesi dengesindeki giriş ve çıkışların matematiksel ifadesi (Owen, 1995; Corzine & Jackson, 2007);

$$\Delta S = [P + Si + Gi] - [ET + So + Go] \quad (1)$$

biçiminde verilir. ΔS = Belirli bir alandaki su depolama hacminin zaman içindeki değişimi, P = yağmur, Si = Yüzey suyu girişi, Gi = Yeraltı suyu girişi, ET = Terleme ve Buharlaşma, So = Yüzey suyu çıkışı, Go = Yeraltı suyu çıkışıdır.

Tek tek bileşenlerin göreceli büyüklüğü ve değişkenliği değerlendirilerek, su bütçesi, bir sulak alanda gerçekleşen hidrolojik süreçleri anlamada değerli bir araç olarak hizmet eder ve gelecekteki değişikliklerin sistemin hidrolojik karakteristiklerine olan potansiyel etkileri hakkında fikir verir (Corzine & Jackson, 2007). Sulak alan ile havza ilişkisinin karmaşık doğası nedeniyle, hidrolojik bütçeler ve farklı sulak alanların hidrolojik işlevleri konusunda halen çok fazla belirsizlik bulunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Su Bütçesi Bileşenleri (Quijano & Lin, 2014)

Hidrolojik modeller, bir sulak alanın su dengesini anlamak için yararlıdır ve bu modeller bir su kaynağının planlanması, değerlendirmesi ve yönetimi için bilgi verir. Tatlı suyun zamansal ve mekânsal kullanılabilirliğinin ve değişkenliğinin tahmininde modellerin etkinliği, ancak tek bir bileşenin tahmini ve optimizasyonun yerine tüm su bütçesi bileşenlerinin eş zamanlı ve açıkça modellenmesine bağlıdır (Wuletawu, 2016).

Hidrolojik simülasyon (genellikle yağış-akıntı modellemesi olarak adlandırılan) 1950 ve 1960 lı yıllarda dijital bilgisayarların gelişimiyle başlamıştır. Amaç, havza fırtınası tepki

sürelerine kıyasla kısa zaman ölçeğinde gözlenen yağış verilerine (ve diğer meteorolojik değişkenler) dayanarak akışı tahmin etmektir (Singhdonald & Frevert, 2006). 1959-1966 yılları arasında SWM (Stanford Watershed Model) ile bilgisayar-taban modelleri geliştirmeye yönelik ilk girişimler başlamıştır, ancak günümüzde su denge hesaplamaları için farklı varsayımlara ve parametrelere sahip çok sayıda model vardır (Crawford & Linsley, 1966). Su dengesi modelleri, Saatlik, günlük, aylık ve yıllık gibi çeşitli zaman ölçeklerinde ve farklı karmaşıklık seviyelerinde geliştirilmiştir (Grandhari & Moghaddam, 2011). Pierce (1993), 30 yıllık yağış verilerini kullanarak tipik, kuru ve ıslak yıllar için aylık bir su bütçesi hesaplamasını önermektedir. Su dengesi amaçlarına göre farklı iklimlerde mevsimlik ve yıllık su seviyelerini tahmin etmek için çeşitli modeller kullanılmaktadır. Modellemede yağış, yüzeysel akış, kar erimesi içeren çeşitli etkenler dikkate alınmaktadır (Poiani & Johnson, 1993; Vandewiele & Elias, 1995, Minh, Josette, Gilles, Didier, Julien Quynh, Thai & Anh, 2010). Mevcut su dengesi modellerinde eksik bir bileşen, yüzey akışının ölçüldüğü havza çıkışı ile akışın olduğu alan arasında akış kanallarındaki iletim kaybına neden olmaktadır. Hem su tahsisi hem de su ekosistemleri için düşük akışların önemi arttıkça iletim kaybının önemi artmaktadır. Su denge hesaplama yöntemlerinin başlıca sınıflamaları atmosfer su-toprak sisteminde su kullanım çeşitlerini ve yüzey suları ile yeraltı suları etkileşimlerini dikkate alarak yapılmıştır. Yer altı sularıyla yüzey suları arasındaki etkileşimler birçok sulak alanın ekosistem süreçlerini korumak için kritik önem taşır ve yerüstü ya da yüzeysel su akış örneklerinden herhangi birindeki iyileştirilmesine yönelik yönetim eylemleri genellikle su bütçesinin bu bileşenlerin her ikisini de etkilemektedir (Grandhari ve Moghaddam, 2011; Wilcox, Sweat, Carlson & Kowalski, 2006). Genellikle, bütçe tahminindeki en yüksek belirsizlik, buharlaşma ısı ve sızıntı tahminleriyle ilgilidir. Su taşıma modellerinin doğrulanması için gerçek buharlaşma bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Birçok çalışma, buharlaşmanın su bütçesinin önemli bir bileşeni olduğunu göstermiştir (Arnold, Allen & Morgan, 2001; Petru, Ahn & Chescheir, 2002; Yıldız, 2007; Sun, Wei, Su, Shen, Wang, You & Liu, 2011). Yer altı suyu girdileri genellikle doğrudan ölçülmedikleri için ölçülmesi en zor olarak kabul edilmektedir. Bir yeraltı suyu akışı modeli, su seviyesi ile akışın yönü ve büyüklüğünü tahmin etmek için kullanılabilen gerçek bir yeraltı suyu sistemini matematiksel olarak temsil etmelidir. Bir sulak alan sit alanındaki yeraltı suyu girdilerini tahmin etmek için, yeraltı akış modelleri bir dizi gözlem kuyusu ve piezometre kullanarak anlaşılmalı ve izlenmelidir. Bununla birlikte, sulak alan zeminindeki heterojenlik akış modellerini büyük ölçüde etkileyebilir. (Favero,

Mattiuzzo & Franco, 2007; Alaoui & Eugster, 2001). Bugün, su bütçesi modellemesi, hidrolojik ve mekansal bilgi araçlarından yerinde ve uzaktan algılama verilerinden oluşan kombine bir çözümü gerektirmektedir (Wuletawu, 2016).

Diğer yandan sulak alan kaynakları, kentleşme sürecinde en hızlı ortadan kaybolan yeşil alanlardan bazılarıdır. Birçok insan yaşamsal kaynağını sulak alanlar tarafından sağlanmaktadır ve sulak alanların bozulması, taşkın tehlikesi, su kirliliği ve çevresel bozulmanın yanı sıra ekonomik kalkınmada bir tıkanıklık etkisi yaratmaktadır. Sulak alanların korunması önemli görünmeyebilir, ancak düzgün yönetilen sulak alanlar, tüm bu sorunları hafifletebilir ve bütün bir şehir için kapsamlı bir sürdürülebilir kalkınma sağlayabilir. Farklı alanlardan birçok araştırmacı, çeşitli yöntemler benimseyerek ekolojik kapasite araştırmaları yapmışlardır. Su kaynakları sosyoekonomik gelişme açısından önem taşıırken, ekolojik kapasitelerinin değerlendirilmesi daima bu alandaki en önemli noktalardan biri olmuştur (Wang, Hou & Xue, 2017). Sulak alanların ekolojik kapasitelerini etkileyen en önemli etkenlerden biriside küresel iklim değişikliğidir. Sulak alanlar, küresel iklim değişikliğiyle mücadelede karbon depolama, su rejiminin düzenlenmesi ve biyoçeşitliliğin korunması gibi hayati roller üstlenerek atmosferdeki sera gazlarını azaltmada önemli bir rol oynayan kritik ekosistemlerdir. Bununla birlikte, küresel ısınma, değişen yağış rejimleri ve insan kaynaklı arazi kullanımı değişiklikleri nedeniyle sulak alanlar önemli ölçüde hasar görmekte, bu da ekosistem dengesinin bozulmasına ve sera gazı emisyonlarının artmasına yol açmaktadır (Salimi, Almuktar, & Scholz, 2021; Newton vd., 2020). Sulak alanların korunması, özellikle büyük karbon yutakları olan turba bataklıkları ve kıyı sulak alanlarının tahrip edilmesi önlenerek, atmosferdeki karbon miktarını azaltmada önemli bir strateji sunmaktadır. Ancak bu ekosistemler kurutulduğunda veya zarar gördüğünde, büyük miktarda sera gazı salınımına neden olarak küresel karbon döngüsünü bozabilir ve iklim değişikliğini hızlandırabilir (IPCC, 2019; Kirwan & Megonigal, 2013). Sulak alanların korunması ve restore edilmesi, karbon depolama kapasitesini artırırken su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimine, taşkın kontrolüne ve su döngüsünün sürdürülmesine katkıda bulunur. Dolayısıyla, sulak alanların ekosistem hizmetlerinin güçlendirilmesi, hem ekolojik ve ekonomik faydalar sağlamak hem de iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak adına kritik bir strateji olarak ele alınmalıdır (Ramsar Convention on Wetlands, 2018). Wang, Hou & Xu (2017) sürdürülebilir kalkınmayı hedefleyen Pekin'deki kentsel sulak alanlara odaklanmaktadır. Çalışma, Pekin'de Su kaynakları taşıma kapasitesini bir Sistem Dinamiği modeli oluşturarak bilimsel olarak değerlendirmişlerdir ve böylece bilimsel çalışmaya

teknik destek sağlamak ve kentsel sulak alanların restorasyonu için bilimsel bir temel sunmak üzere tasarlanmıştır.

1.3. Literatür İncelemesi

Son yıllarda birçok hidrolojik model geliştirilmiştir. Belirli bir havza için, iyi simüle edilmiş sonuçları elde edebilmek için en uygun hidrolojik modelin seçilmesi gereklidir ve hidrolojik tahminin başarısı, model girdi parametrelerinin doğru seçilmesinde yatmaktadır. Bu başlık altında hidrolojik modellemeye ilişkin; hidrolojik döngüyü, havza hidrolojisini ve fiziksel temelli havza modeli ile yapılmış geçmiş çalışmaları içerecektir.

Walton ve arkadaşları (1996) tarafından bir Sulak Alan Dinamik Su Bütçesi Modeli geliştirilmiş ve model Cache Nehri'nin Kara Bataklık sulak alanlarındaki hidrolojik süreçleri araştırmak için uygulanmıştır. Modellerine su bütçe bileşenlerinin büyüklükleri yanı sıra Modellenen sistemin baştan sonuna kadar su derinliklerini, deşarjları ve akış hızı büyüklüklerindeki sağlaması nedeniyle sulak alanlar dinamik su bütçesi modeli adını vermişlerdir. Geliştirdikleri programı yaygın olarak kullanılan bilgisayar programlarının konsept ve yaklaşımlarına dayandırmışlardır. Modelleri yüzey akışı, dikey ve yatay yer altı su akışı gibi tipik bir su bütçesinin ana bileşenlerini içeren dinamik olarak bağlantılı üç modülden oluşmuştur. Sonuç olarak modellerin ayar problemlerinden dolayı oluşan veri boşluklarını doldurarak, özellikle herhangi bir ölçüm istasyonundan uzaktaki alanlar için uzun vadeli simülasyon verileri sağlayarak kapsamlı bir hidrolojik saha çalışmasını artırdığını ayrıca bu sulak alanların ileri hareket eden sel dalgasından daha çok mansap kısıtlamalarından dolayı üretilen durgun sulardan sular altında kaldığını belirtmişlerdir.

Caldwell ve arkadaşları (2007) Amerikanın Bladen şehri kuzey Carolinadaki üç doğal Carolina koyu sulak alanının su bütçelerini hesaplamak için bir çalışma yapmışlardır. Koylarda çeşitli lokasyonların DRAINMOD modellerini yağış, hava sıcaklığı ve toprağın fiziksel girdilerini kullanarak su tablası derinliklerini 2 yıl boyunca ölçerek kalibre etmişlerdir. Modellerde, ölçüm periyodu boyunca tüm kuyu konumlarında su tablası derinliklerini simüle etmişler ve ölçülen su tablası derinliklerinde ortalama 4 cm'lik mutlak sapma ile simüle edildiğini gözlemlemişlerdir. Tüm koylarda su tablası derinliklerini ölçümlerde ve simüle edilenlerde 1m'nin altında çok sık çıktığını, çalışma periyodunda yeraltı suyu girişinin, koy çevresine yakın yerlerde toplam su girişinin %3'den %26'sı arasında değişen kısmıyla su dengesinin önemli bir bileşeni olduğunu, koylardan birinin

altındaki yarı kapalı bir akiferin, büyük olasılıkla o koy için yeraltı suyu girişinin kaynağı olduğunu, koyların merkezlerine yakın yerlerde su bütçelerine girdi olarak yeraltı suyu girişi olmadığını, koyların merkezleri için yeraltı suyu çıkışının, yağışın %2 ila %21'i arasında değiştiğini, koyların çevresine yakın alanların, hidrolojik koşullara bağlı olarak beslenme, deşarj veya akan sulak alanlar, koyların merkezlerine yakın alanların ise sadece beslenme sulak alanı olduğunu belirtmişlerdir. Bu sonuçların incelenen üç Carolina koyunda tutarlı olduğu ve Doğal Carolina koylarının hidrolojisini daha iyi anlamak için kullanılabileceği gibi diğer restorasyon projelerinin başarısını artırmak içinde bu çalışmanın kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Zhang ve arkadaşları (2008) çalışmalarında toprak ve su koruma uygulamalarının karmaşık doğası (biyolojik, yapısal ve tarımsal ölçümler) nedeniyle geleneksel ampirik modelleme yaklaşımlarının havza yönetiminin hidrolojik etkilerini ölçmek için sınırlı olduğundan bahsederek havza akışını simüle etmek için dağıtılmış hidrolojik model MIKE SHE'nin neler yapabileceğini değerlendirmişlerdir. Kuzeybatı Çin'deki baskın su havzasının (12 km²) kara akışından ölçülen akış verilerini Model değerlendirmesi için kullanmışlar, modelin kalibrasyonu ve doğrulamasının küçük havzanın baskın akış sürecini yakalayabileceğini öne sürmüşlerdir. Fiziksel temelli modelin uygun ölçeklerde kalibrasyon gerektirdiği ve tahmin edilen model parametrelerinin girdi verilerinin hem zamansal hem de uzamsal ölçeklerden etkilendiğini, modelin yağış-akış mekanizmaları alanında yararlı olduğu sonucuna varmışlardır. Ancak, daha yüksek zamansal çözünürlüğe sahip daha fazla ölçülen veri modeli bölgesel uygulamaları için daha fazla test gerekli olduğunu vurgulamışlardır.

Dai ve arkadaşları (2010) hidrolojik modellerin, ormanlık sulak alanların etkili yönetimi, korunması ve restorasyonu için önemli araçlar olduğundan bahsedip iki kriteri kullanarak (iki ölçülebilir değişken, akarsu akışı ve su tablası derinliği) aşağı Atlantik Kıyısı'nın karakteristiğindeki ormanlık sulak alanın hidrolojik süreçlerini tanımlamak için dağıtılmış bir hidrolojik model MIKE SHE'yi test etmişlerdir. Simülasyonlar, Güney Carolina, ABD'deki birinci dereceden Santee Deneysel Ormanı'ndaki su havzası (WS80) akarsu akışı ve su tablası derinliği gözlemleri ile karşılaştırılmış model performansı belirleme katsayısı (R²) ve Nash-Sutcliffe's model verimliliğini (E) kullanarak değerlendirme yapmışlardır. Model kalibrasyonu ve doğrulama sonuçlarında, akarsu akışı ve su tablasının derinliğinin, özellikle yüzey depolaması, drenaj derinliği, toprak hidrolik özellikleri, bitki köklenme derinliği ve yüzey pürüzlülük gibi model girdi parametrelerinin

çoğuna duyarlı olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca iki kriterli yaklaşımın tek kriterli yaklaşıma oranla daha duyarlı bir model olduğundan bahsetmişlerdir. Sonuç olarak da MIKE SHE'nin düz kıyı havzalarında akarsu akışını ve su tablası derinliğini simüle etmek için iyi bir aday olduğunu belirtmişlerdir.

Ghandhari ve Alavi Moghaddam (2011) çalışmalarında çeşitli hidrolojik koşullar altında farklı hidrolojik parametrelerin önemini değerlendirmek için su dengesi modellerini tanıtmışlar, su dengesi denklemi kavramına rağmen doğru uygulamalar için özel hususlara ihtiyaç duyulduğunu vurgulayarak su dengesi hesaplamalarının toplamda havza hidrolojisinin yeniden yapılandırılması, su temini ve su talep sistemlerinin değerlendirilmesi ve iklim değişikliği etkilerinin değerlendirilmesi gibi üç ana konu üzerinde toplanabileceğinden bahsederek bilinmediklerinde su dengesi sonuçlarında daha az güvenilirliğe ve gerçek durumların yanlış anlaşılmasına yol açacak bazı özel ipuçlarına odaklanmışlardır. Sonuç olarak, İran'da kullanılan yöntemleri ülkenin kuzey doğusundaki beş ayrı havzada incelemiş ve sonuçları yayınlanmış diğer iki sonuçla karşılaştırmışlardır. Farklı iklim koşulları ve bunun gibi faktörler için geliştirilen su dengesi hesaplama yöntemlerinin farklı yerlerde kullanılmadan önce değerlendirilmesi gerektiğini güvenilir sonuca ulaşmak için önceden iyi bir şekilde irdelenmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Rahim ve arkadaşları (2012) toplam su dengesi tahmininin hidrolojik döngünün ana bileşenlerini simüle etmek, farklı antropojenik aktivitelerin mevcut su kaynakları üzerindeki etkisini belirlemek için önemli olduğunu belirterek, çalışmalarında tamamen dağıtılmış fiziksel tabanlı MIKE SHE modellemesini Malezya Yarımadasının batısındaki Paya Indah Sulak Alanları (PIW) havzasının toplam su dengesinin bireysel hidrolojik bileşenlerini simüle etmek için kullanmışlardır. Genel su dengesinin ağırlıklı olarak iklim değişkenleri tarafından kontrol edildiğini, Modelin PIW havzasına uygulanması sonucunda PIW göl sistemine kara akışının (OL) toplam yağışın doğrulama ve kalibrasyon peryotlarında sırasıyla %12,38'ini ve %12,3'ünü gerçek evapotranspirasyonun (ET) yaklaşık %65 ve %58'i temsil ederek 1. derece bir su toplama havzası için ayrıntılı tahmin sağladığını ve genel olarak, modelin bir toplam yağışın %1'inden daha az bir hatayla makul çıktılar verdiğini vurgulamışlardır.

Graf ve Przybylek (2014) çalışmalarında dağıtılmış su dengesi modeli temelli WetSpa GIS'i kullanarak sığ yeraltı suyu şarj tahmini sonuçlarını sunmuşlardır. Toprak, Bitkiler ve Atmosfer arasında su enerji transferi anlamına gelen WetSpa'ı 1961–2000 yılları arasında yarı-sürekli durumda dikkate alarak, su açığı bölge olarak sınıflandırılan

Poznan Platosu alanının (Polonya'nın batısındaki Büyük Polonya Ovası) sığ yeraltı suyu, sızma yeniden doldurma süreci mekansal koşullarını değerlendirmişlerdir. Üç zamansal değişken için, yıl, kış ve yaz yarıyılları için jeolojik sızma metodu verilerini kullanarak çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir.

Golmohammadi ve arkadaşları (2014) Güney Ontario'daki 52,6 km² Canagagigue Havzasının hidrolojisini simüle etme Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) tabanlı Avrupa Hidrolojik Sistem Modeli (MIKE SHE) Tarım Politikası/Çevre Genişletici (APEX) ve Toprak ve Su Değerlendirme Aracı (SWAT) ın performansını değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak üç model tarafından oluşturulan simüle edilmiş akışların oldukça benzer ve özellikle kalibrasyon sonuçları için gözlemlenen akışla yakından eşleştiğini, kalibrasyon ve doğrulama periyotlarında Ortalama MIKE SHE tarafından simüle edilen çıkıştaki günlük/aylık akışın ayrıca, doğrulama dönemi için MIKE SHE akış varyasyonunun SWAT veya APEX'ten biraz daha iyi tahmin ettiğini belirtmişlerdir.

Polatel (2015) çalışmasında inşa edilmiş sulak alanların arıtma performansının doğru bir şekilde değerlendirilmesinin su bütçe analizlerine bağlı olduğunu kapalı bir su bütçesi geliştirmenin yüzey suyu akışı, yağış, evapotranspirasyon, depolamadaki değişiklik ve yeraltı suyu sızıntısı gibi su bütçesi bileşenlerinin tahmini ile ilgili hatalar nedeniyle basit bir iş olmadığını bu hidrolojik değişkenlerin, ölçüm cihazlarının kurulumu ve bakımı, kalibrasyon ve veri azaltma gibi çeşitli kaynaklardan gelen belirsizliklere tabi olduğunu ayrıca ölçüm belirsizliklerine ek olarak, eşitsizlik ve gözlemlerin zamansal ve mekânsal çözünürlüklerinin homojenliğinin de hatalara katkıda bulunduğundan bahsederek çalışmasında çeşitli yöntemlerle elde edilen tarihsel kayıtları Güney Florida'da inşa edilmiş büyük bir sulak alanın veri belirsizliğinde temel olarak kullanılan hidrolojik verilerdeki mekânsal ve zamansal değişimlerini tahmin etmek için kullanmıştır. Her bir bileşen için belirsizlikler tahmin edilmiştir. Sulak alan hidrolojisinin anlaşılmasına ilişkin hidrolojik verilerin kusurlu bilgilerinin etkisini hesaplayabilmek için duyarlılık analizi gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak ta hidrolojik değişkenlerden gelen su bütçesi artıkları ve katkılarının büyük ölçüde zaman adımlarının ve periyodun uzunluğunun seçimine bağlı olduğunu belirtmiştir.

Gayathri ve arkadaşları (2015) hidrolojik modeller üzerine bir derleme çalışması yapmışlardır. Hangi modelin gözlemlenen deşarjla uyumlu sonuçlar vereceği gibi konularda devam eden çeşitli araştırmaları incelemişlerdir. Çalışmalarında değişken sızma kapasite modeli (VIC), TOPMODEL, HBV, MIKESHE ve toprak ve su değerlendirme aracı modeli

(SWAT) hakkında kısaca bilgi vermişlerdir. VIC'in nemli alanlarda iyi performans gösterdiği ve tarımsal amaçlı su yönetiminde verimli bir şekilde kullanılabileceği, büyük veri gereksinimi ve fiziksel parametrelerin MIKE SHE modelinin kullanımını daha küçük havzalarla sınırlı hale getirdiği, SWAT modelinin iyi hidrolojik tahminler elde etmesi için sadece küçük bir doğrudan kalibrasyona gerek duyduğu, HBV modelinin tatmin edici sonuçlar verdiği ve son olarak TOPMODEL in sık toprak ve orta topografyaya sahip havzalar için de kullanılabileceği belirtilmiştir.

Sandu ve Virsta (2015) çalışmasında dağıtılmış fiziksel tabanlı hidrolojik modelleme sistemi MIKE SHE'yi kullanarak Argesel nehri havzasındaki kiremit drenaj altyapısından yönlendirilen yüzeysel ve yüzey altı akışı yüzeysel akış olarak modellemişlerdir. Çalışmalarının odak noktası, hidrolojik etki azaltma önlemlerinin değerlendirilmesi ve arazi kullanımı yönetimi kararlarında kullanılabilecek mevcut verilere dayalı bir MIKE SHE modelinin geliştirilmesidir. Çalışmalarında birkaç bireysel parametrenin hidrolojik modellemede önemli bir rol oynadığını vurgulayarak, ampirik parametrelerin yanı sıra bitki örtüsü parametreleri ve kök derinliğinin doymamış bölgelerde evapotranspirasyon, terleme ve yeniden doldurmayı etkilediğini doymuş bölgelerde toprağın çeşidinin sızma, buharlaşma ve yeniden doldurmaya etkisi olduğunu ve matrisin hidrolik iletkenliğinin baskın parametreleri temsil ettiğini belirtmişlerdir.

Vo ve Gourbesville (2015) çalışmalarında, Vietnam nüfusunun büyük bir kısmının tarımla uğraşması ve yerleşimin kıyı bölgesinde yoğunlaşması sonucunda iklim değişikliğinden en çok etkilenecek ülkelerden biri olması nedeniyle Vietnam'ın merkezindeki bir nehir sistemi olan Vu Gia Thu Bon nehri için gelecekte akarsu akışının değişimini değerlendirmek için hidrolojik modelin oluşturulmasına odaklanmıştır. Bu model (MIKE SHE), yüzey akışından yeraltı suyu akışına, infiltrasyondan evapo-transpirasyona kadar çoğunlukla akış faktörlerini dikkate almaktadır ve sırasıyla 1991-2000 ve 2001-2010 dönemindeki günlük ve aylık verilerle kalibre edilmiş ve doğrulanmıştır. Daha sonra iklim faktörü değişikliklerinin akış üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla, 2091-2100 dönemi için 3 iklim senaryosu (CCSM3.0, MIROC- 3.2, ECHAM 5), boyut küçültme işleminden elde edilen delta değişim faktörleri kullanılarak 1991-2000 dönemine ait mevcut gözlemlerden, tahmin edilmiştir. Bu senaryolar, gelecekteki yüzey akışını belirlemek için onaylanmış hidrolojik modele girdi olarak kullanılmış ve sonuç olarak değişim eğilimi, mevcut ve gelecekteki pik akış, baz akış ve dönüş periyodundaki fark ile gösterilmiştir. Üçüncü bölümde, taşkına eğilimli alan (1.780 km^2) için daha önce açıklanan akış

değişimlerine karşılık gelen su altında kalma alanını haritalamak için bir hidrolik model geliştirilmiştir ve son olarak, taşkın ve arazi kullanım haritaları, dere akışı artışının neden olduğu zararları tahmin etmek için analiz edilmiştir.

Jang ve arkadaşları (2017) havzalarda gözlem eksikliğinin, hidrolojik verilerle, akarsu akış verilerini zorlaştırdığından bahsederek akarsu akışını sığ ölçekli havzalarda yeniden üreten Havza Çevresel Hidroloji Hidro-İklim Modeli (WEHY-HCM)'nin performansını değerlendirmişlerdir. WEHY-HCM içerisindeki proses tabanlı hidrolojik modülle WEHY bağlantılı atmosferik bir modül olan beşinci nesil orta ölçekli modeli (MM5) kullanmışlardır. WEHY-HCM tarafından yapılan hidrolojik simülasyonlar yeniden oluşturularak atmosferik verilere ve tahmini WEHY modeli parametrelerine dayalı olarak Yukarı Putah Deresi'ne uygulanmıştır. WEHY-HCM simülasyon sonuçları, her iki kalibrasyon ve doğrulama süreleri için de istatistiksel testler aracılığıyla değerlendirilmiş gözlemlenen ve simüle edilen değerler kullanılarak elde edilen istatistik sonuçların her iki kalibrasyon ve doğrulama süreleri boyunca kabul edilebilir doğru sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. Sonuç olarakta WEHY-HCM'nin Seyrek ölçülmüş bir havzadaki hidrolojik süreçleri simüle etmek için yararlı bir araç olabileceğini belirtmişlerdir.

Abdullah ve arkadaşları (2019) çalışmalarında, Bangladeş' in kuzeybatı bölgelerinde evsel ve sulama amaçlı kullanımı yaygın olan yeraltı suyunun, son yıllardaki aşırı tüketiminin yeraltı su seviyesinin kontrolünde ve yeraltı suyunun tükenmesinde zorluk yaşatması nedeniyle Bangladeş' teki Bogura İlçesindeki yeraltı suyu tablasının 2030 yılına kadar olan durumunu analiz etmektedir. Entegre bir hidrolojik model olan MIKE SHE, yeraltı suyu kaynaklarını ve gelecekteki senaryo analizlerini değerlendirmek amacıyla dalgalanan su tablasını simüle etmek için kullanılmıştır. 1985-2011 yılları arasındaki normal yağış miktarı bulunarak, aynı normal yağış 2012 ila 2030 projeksiyon yılları için de dikkate alınmıştır. 2006 dan 2030 a kadar simüle edilen sonuç, yağış olaylarının kuraklığından sonra, daha düşük bir yeraltı su tablası gözlenmiştir; ancak bu durum sonraki şiddetli yağışlarda yeniden kazanılmıştır.

Yaykiran ve arkadaşları (2019) çalışmalarında su kaynaklarının kullanımının, hızlı nüfus artışı, endüstriyel kalkınma ve tarımsal faaliyetler ile birlikte arttığından, su miktarı üzerindeki potansiyel iklim değişikliği etkileri ile problem daha da arttığından bu nedenle su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımının önem kazandığından, modelleme çalışmalarının, su kaynakları sorunlarının analizine bilimsel destek sağladığından ve su kaynaklarının sürdürülebilir yönetiminin mevcut ve potansiyel problemler için stratejiler geliştirdiğinden

bahsederek WEAP-PGM'i (Su Değerlendirme ve Planlama Sistemi—Bitki Büyüme Modeli) yaklaşık %50'si tarım arazisi olan Sakarya Nehri Havzası'na uygulamışlardır. Çalışmalarındaki ana hedeflerinin WEAP-PGM'nin uygulanabilirliğini araştırılmasının yanı sıra hidrolojik modeller için kıt bir veri ortamında farklı kaynaklardan mevcut verileri derlemek/entegre etmek ve Sakarya Nehri havzasının yıllık bazda su bütçesi bileşenlerinin tahmin edilmesi olarak belirtmişlerdir. Model sonuçlarının akışın 4747 milyon m³, yeraltı suyuna akışın 3065 milyon m³ ve evapotranspirasyonun 23.011 milyom m³ olarak gösterdiğini. Bu model kurulumunun, ileriki çalışmalarda iklim değişikliği altında su-gıda-enerji ilişkisi bağlamında mahsul veriminin hesaplanması için bir temel olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Chen ve arkadaşları (2020) Yeni Güney Galler, Avustralya Thirlmere Gölleri Ulusal Parkında bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında Su dengesi hesaplamalarındaki yağış, evapotranspirasyon ve giriş/çıkışlar gibi bütçe girdileri ile yüzey depolama hesaplamalarının doğruluğu ile ilgili belirsizliklere odaklanmışlar, çeşitli uzaktan algılama tekniklerinden elde edilen batimetrik yükseklik modellerindeki düşey hataları araştırmışlardır. Farklı uzaktan algılama tekniklerinden elde edilen batimetri verileri bir gölün su dengesini hesaplamak için kullanmışlar model tarafından tahmin edilen seviyelerdeki varyasyonların fotogrametrik sayısal yükseklik modellerinin düşük kalitesine bağlamışlardır. Fotogrametrik veriyi geliştirmek için bitki örtüsüne müdahaleden kaynaklı dikey hataları azaltan yeni bir zemin filtreleme yöntemi geliştirmişler. Sayısal yükseklik modellerinin korelasyonunun gerçek zemin yükseklikleri ile karşılaştırıldığında zemin filtrelemeden önce 0,5'ten, zemin filtrelemeden sonra 0,9'a iyileştiğini Su dengesi hesaplamasında zemin filtreli sayısal yükseklik modelleri kullanılarak %70'lik bir iyileştirme sağlandığı belirtilerek göl ve sulak alan batimetrisindeki belirsizliklerin gelecekteki su dengesi çalışmalarında değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Eini ve arkadaşları (2020) çalışmalarında yarı dağıtılmış ve dağıtılmış hidrolojik modellerin çoğunun, kapsamlı su toplama alanları için potansiyel olarak uygulanabilir olduğunu ancak bu modellerin etkili hidrolojik süreçleri belirleyebilmek için modifikasyona ihtiyaç duyduğundan bahsedip açık kaynaklı bir program olan Toprak ve Su Değerlendirme Aracı (SWAT) ekohidrolojik modelini kullanarak İrandaki Zagros dağındaki karst sisteminin hidrolojik süreçlerini simüle etmek için iki yeni yaklaşım değinmişlerdir. Bu iki yöntemde kullanılan başlıca değişiklikler, SWAT-Maharlu Gölü (SWAT-ML) kullanılarak karst hidroloji davranışında süzülme oranlarının ayarlanması ve SWAT-Crack Flow

(SWAT-CF) kullanarak çatlak akışı modifikasyonunu içeriyordu. Çalışmalarında 1980'den 2013'e kadar olan hidrolojik veri kümeleri, akış, taban akışı, mahsul verimi ve gerçek buharlaşma-terleme kalibrasyon ve doğrulanması için kullanılmıştır. Sonuç olarak her iki modifiye modelde, akış simülasyonunda standart SWAT modelinden daha iyi performans gösterdiği, ortalama verimliliklerin SWAT, SWAT-ML ve SWAT-CF'nin 0.64, 0.68 ve 0.66 olduğu, daha derin akifer sızma değerlerinin SWAT'a karşı değiştirilmiş modellerde karst HRU için daha iyi tahmin edildiği ve karst koşullarının ve karstik bölgelerdeki obrukların geometrisinin, yüzey akışının oluşmasında önemli bir rol oynamadığı belirtilmiştir.

Fetene ve arkadaşları (2024), Etiyopya'daki Lake Tana Alt Havzası'nda iklim değişikliğinin akarsu akışı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla MIKE SHE/MIKE HYDRO modelini kullanmıştır. Çalışmada, 2041-2100 yılları arasındaki akış dinamikleri iki farklı emisyon senaryosu (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5) altında değerlendirilmiştir. Modelin 1985-2007 yılları arasındaki kalibrasyon ve doğrulama süreçlerinde başarılı sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Gelecekte sıcaklıkların artacağı, yağış miktarlarında ise dönemsel değişikliklerin olacağı öngörülmektedir. Özellikle SSP2-4.5 senaryosuna göre bazı akarsularda akış miktarlarında ciddi azalmalar beklenirken, SSP5-8.5 senaryosunda belirli dönemlerde akışın artabileceği tespit edilmiştir. Artan yağış ve akışın, Gumara ve Ribb gibi taşkın alanlarında sel riskini yükseltebileceği belirtilmektedir. Çalışma, su yönetimi ve iklim değişikliğine uyum politikalarının geliştirilmesi açısından önemli bulgular sunmakta ve erken uyarı sistemleri, ağaçlandırma ve sulama sistemlerinin güçlendirilmesi gibi önlemlerin alınmasını önermektedir.

Amognehegn ve arkadaşları (2024), CMIP-6 iklim modeli projeksiyonları temel alınarak Soil and Water Assessment Tool (SWAT) modeli kullanılarak gerçekleştirilmiş ve Mille Watershed, Lower Awash Basin, Etiyopya'daki iklim değişikliğinin kuraklık üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Hidrolojik simülasyonlar için SWAT modeli kullanılırken, modelin kalibrasyonu ve doğrulaması SWAT-CUP (SUFI-2) yöntemiyle yapılmıştır. CMIP-6 iklim modeli projeksiyonları kullanılarak 1985-2014 dönemi referans alınmış ve 2041-2100 arasındaki kuraklık özellikleri analiz edilmiş ve gelecek yıllarda kuraklık olaylarının şiddetinde ve sıklığında artış olacağını göstermektedir. Çalışma, kuraklık yönetimi ve su kaynakları planlaması için stratejik önlemler geliştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

1.4. Amaç ve Hedefler

1.4.1. Amaç

Bu tez, iklim değişikliğinin Karadeniz Havzası' nın en büyük sulak alanı özelliğine sahip ve sahip canlı sistemi çeşitliliği yönünden oldukça zengin sulak alanlarından biri olan Kızılırmak deltasının su dengesini araştırarak hidrolojik modellemeye ve hidrolojik döngünün daha iyi anlaşılmasına rehberlik etmektir. Daha spesifik olarak, mevcut literatürün gözden geçirilmesi yoluyla, hidrolojik modelde ortaya çıkan belirsizlik kaynaklarının bir sentezini sağlamak ve iklim değişikliği etki değerlendirmeleri için kullanılan araç ve yaklaşımların hidrolojik model sonuçlarını ne ölçüde etkilediğini anlamaktır.

1.4.2. Hedefler

Bu çalışmanın hedefleri;

1. Mevcut araştırmalar ile izleme ve saha araştırmalarıyla elde edilen ilave verilerin sentezi yoluyla sulak alanın kavramsal bir modelini geliştirmek ve bu doğrultuda yerel meteorolojik verilere, jeolojik ve topoğrafik verilere (yağış yağı, potansiyel evapotranspirasyon, hava sıcaklığı, bitki türü ve dağılımı, toprak dağılımı, dijital yükseklik haritası) dayalı bir çalışma iklimi ve arazi ortamı oluşturmaktır.
2. Günümüz koşullarında sulak alan hidrolojisini simüle etmek ve alanın su dengesini oluşturmak için dağıtılmış bir hidrolojik/hidrolik model geliştirmektir.
3. Modeli referans verilere uyacak şekilde kalibre etmek ve kalibrasyon dönemi parametrelerini kullanarak başka bir dönem için kurulan modeli doğrulamak ve model performansını değerlendirmektir.
4. İklim senaryosu verilerinin üretilmesi için Genel Dolaşım Modeli (GCM) seçilerek çalışma alanının iklim değişikliği etkilerinin incelenmek ve modelin iklim değişikliği senaryosu altında sulak alan hidrolojisini nasıl etkilediğini araştırılmasına altlık oluşturmaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

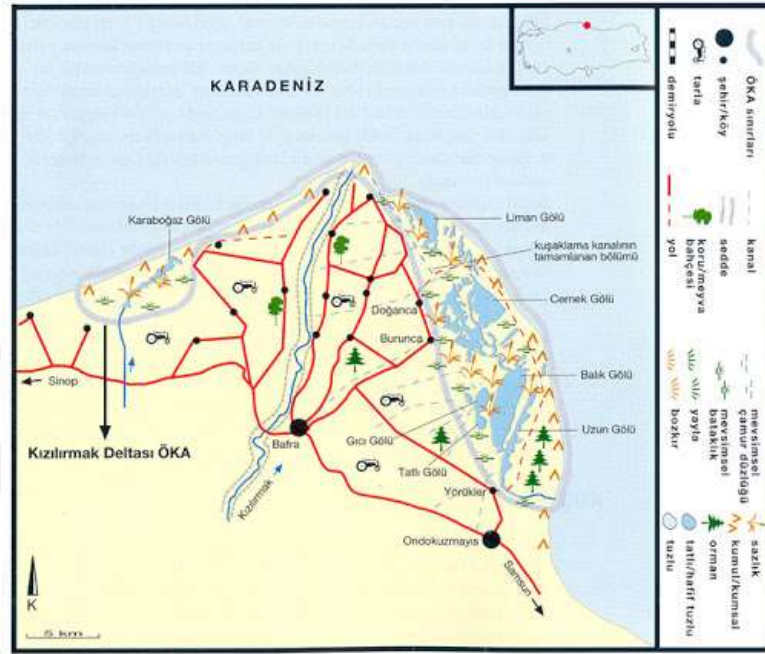
2.1.1. Çalışma Alanının Konumu ve Genel Özellikleri

Türkiye'nin en geniş ve sahip olduğu canlı sistemi çeşitliliği yönünden oldukça zengin sulak alanlarından biri olan Kızılırmak Deltası (N: 41 ° 38' 38.84" E: 36 ° 04' 09.89"), Karadeniz Bölgesi'nin Samsun ili Bafra, Alaçam, 19 Mayıs ve Yakakent ilçe sınırları içinde yer almaktadır ve en büyük sulak alanı olma özelliğine sahiptir. Kızılırmak Deltası Türkiye'nin en uzun nehri Kızılırmak Nehri'nin taşıdığı alüvyonları, menderesler çizerek Karadeniz ile buluşturması ile oluşmakta ve Şekil 2'de çalışma alanına ait konum ve uydu görüntüsü verilmektedir. Deltanın alanı 56000 hektar, sahip olduğu sulak alanın toplamı 16110 hektardır. Göl, ırmak, deniz, çayır, sazlık, mera, bataklık, kumul, orman ve tarım alanları gibi farklı yaşam alanlarını (habitatlari) bir arada barındırması, deltanın eşine az rastlanır bir önemde biyolojik çeşitliliğe sahip olmasını sağlamıştır (Dağıstanlıoğlu, Geyikçi, Yazıcı & Şahin, 2013).



Şekil 2. Çalışma alanına ait uydu görüntüsü

Kızılırmak Deltası'nda doğal hayatı korumaya yönelik yapılan çalışmalar sonucunda I., II. ve III. derece Doğal Sit Alanı, Yaban Hayatı Geliştirme Sahası, Ramsar Alanı statüleri gibi çeşitli sınırlara sahip farklı koruma statüleri bulunmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Kızılırmak Deltasında koruma altına alınmış alanlar (Ramsar 2016)

Delta, Önemli Doğa Alanı, Önemli Kuş Alanı ve 355 bitki türüyle ve uluslararası öneme sahip olması nedeniyle birçok yayında ülkemizin 122 Önemli Bitki Alanı'ndan biri olarak ilan edilmiştir. Kızılırmak Deltası ve yakın çevresinin yüzeysuyu kaynakları niteliğindeki sürekli akarsuları Bafra ovasının doğusunda Engiz ve Piliç Çayı ile Darboğaz ve Mera dereleri, batısında ise İlyaslı Çayı ile Bedeş, Gökçesu, Söğütlük, Gökçeboğaz ve Uluçay (Alaçam) dereleridir. Delta'nın doğu sahilinde, Balık, Uzun, Gıcı, Tatlı, Altınlı, Paralı, Cernek, Liman, Tuzlu ve Sülüklü Gölü yer alırken batı sahilinde ise Karaboğaz ve Mülk Gölü yer almaktadır. 2008-2012 yılları Kızılırmak Deltası Yönetim Planı Alt Projesi kapsamında 14 adet habitat tipi belirlenmiştir. Hidrolojik olarak 8 tane alt havzadan oluşmaktadır. Alanın en önemli akarsuyu olan Kızılırmak Nehrinin ortalama debisi 188 m³/sn dir. Ortalama yüksekliği 308 m olup, Bafra Ovası ve yakın çevresi ile 1810,8 km² lik drenaj alanına sahiptir. Karaboğaz Göl çevresindeki bataklık ve sazlık alanlar ile birlikte toplam 1400 hektar alanı vardır ve ilkbaharda suların yükselmesi ile birlikte doğudaki göllerin çok geniş bir alanın su ile kaplanmasıyla birleşik tek bir göl gibi görünmektedir.

Denizle bağlantısı olan Balık Gölü dışındaki göllerin suları az tuzludur. Taban suyunu dengeleme ve deniz suyunu girişi önleme özelliğine sahip bölgede olması nedeniyle bölgenin su rejiminin düzenlenmesine destek sağlamaktadır (DSİ, 1988).

Kızılırmak Deltası, Türkiye'nin önemli sulak alanlarından biridir ve ülkemizdeki diğer deltalar gibi gerçekten de çeşitli tehditlerle karşı karşıyadır. Bu tehditler arasında, kurutma çalışmaları, tarım alanlarının genişlemesi ve insan müdahaleleri vardır. Bu tür faaliyetler sulak alanların daralmasına ve ekosistem dengesinin bozulmasına neden olmaktadır (Cüce, 2012).

Kızılırmak nehrinin taşıdığı alüvyonların oluşturduğu ülkemizdeki en büyük deltalarından biri olan Kızılırmak deltası Karadeniz kıyısındaki tek sulak alanıdır. Deltanın hidrolojik süreçlerini ve hidrolik mekanizmalarını anlamak ve modelin iklim değişikliği senaryolarının sulak alan hidrolojisi üzerine etkilerini belirleyebilmek için modelleme yazılımında kullanılacak yöntemler aşağıdaki bölümlerde daha ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

2.1.2. Meteorolojik Veriler

Yağış (mm) ve diğer meteorolojik veriler (net güneş radyasyonu, ortalama-minimum maksimum sıcaklık (°C), ortalama bağıl nem (%), rüzgar hızı (m/s) vb.) hidrolojik ve iklim değişikliği modellenmesi sürecinde girdi parametreleri olarak kullanılmıştır. Bu veriler, Kızılırmak Deltasının bulunduğu Bafra, Alaçam ve Ondokuzmayıs İlçe sınırları içerisinde yer alan istasyonlara ait kayıtların Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) ve Devlet Su İşleri'nden (DSİ) temin edilmesi ile oluşturulmuştur. İstasyonlara ait bilgiler Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Kızılırmak Deltasında Yer Alan İstasyon Bilgileri

İlçe	İstasyon	İstasyon No	Enlem (°)	Boylam (°)	Rakım (m)
ALAÇAM	Alaçam Meteoroloji	17623(2004-2021)	41.6307	35.6353	7
BAFRA	Bafra (Meteoroloji)	17622 (1963-2021)	41.5515	35.9247	103
ENGİZ	Bafra (DSİ)	15-020 (1963-2015)	41.483333	36.1	25
GELENMAĞRI	Bafra (DSİ)	15-018 (1962-2004)	41.6667	35.91666	4

Delta Orta Karadeniz kıyısında yer aldığından genellikle ılıman bir iklime sahiptir ve Karadeniz ikliminin etkileri, yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlı, ilkbahar yağışlıdır.

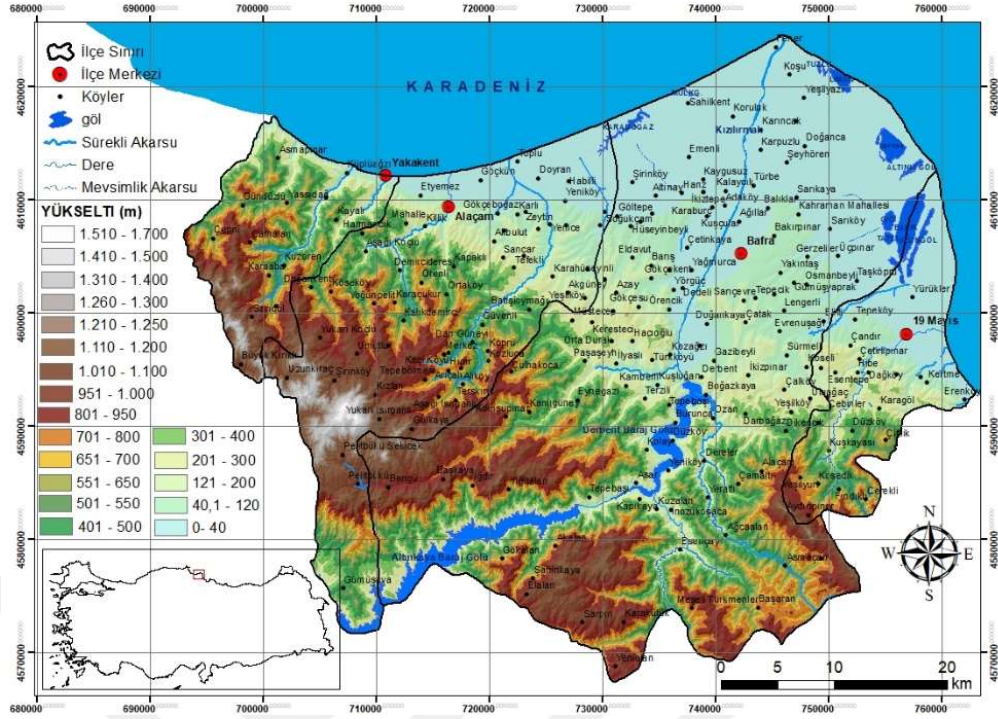
Delta ve yakın çevresi için yıllık ortalama sıcaklık, yıllık ortalama yağış ve yıllık ortalama bağıl nem miktarları sırası ile 13.88 °C, 783.52 mm/yıl ve %75 olmakla birlikte yıllık ortalama rüzgâr hızı ise 2,29 m/sn dir. Kızılırmak Deltası'ndaki iklim tipi nemli-yarı nemli olmakla birlikte Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre ikinci derece Mezotermal (C2), yarı nemli, yaz mevsiminde su noksanı, deniz koşullarına yakın olarak yer almaktadır (Aras & Çelik, 2019).

MIKE model araştırmasının kısmı üç ana girdiden oluşmaktadır: hava sıcaklığı, referans evapotranspirasyon ve yağış oranı (toplam yağış). Tüm değerler günlük ortalama değer olarak girilmiştir.

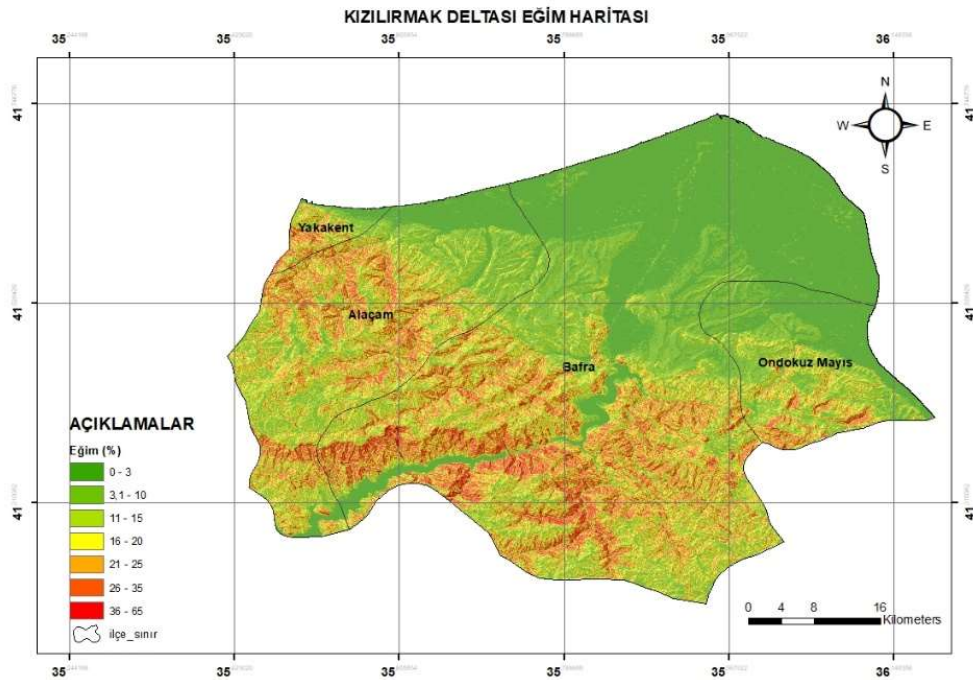
2.1.3. Topografya

Deltatik Sulak alan hidrolojisi mekansal varyasyonunu yakalamak için topografik verilere ihtiyaç vardır. Sayısal yükseklik modeli (SYM), hidrolojik modellemenin en temel girdi verilerinden olan çalışma alanının yükseltisi ve topografik yapısı hakkında bilgi verir. Topografya giriş verileri Alaska Uydu Merkezi (ASF) Dağıtılmış Aktif Arşiv Merkezi (DAAC) temin edilen 12,5 m çözünürlüklü ALOS -PALSAR (The Advanced Land Observing Satellite - Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar) sayısal yükseklik modelinden elde edilmiştir.

Elde edilen Şekil 4, Şekil 5 haritaları (SYM) ArcGIS 10.4 kullanılarak hidrolojik modelleme sürecinde çalışma alanının akış yönü, Kızılırmak Nehri akış potansiyelini, eğim haritalarının oluşturulmasında kullanılmıştır ve MIKE SHE'ye uygun bir dosyaya dönüştürülerek kullanılmıştır.



Şekil 4. Kızılırmak deltası ve yakın çevresine ait Sayısal Yükselti Modeli (DEM)



Şekil 5. Kızılırmak deltası ve yakın çevresine ait eğim haritası

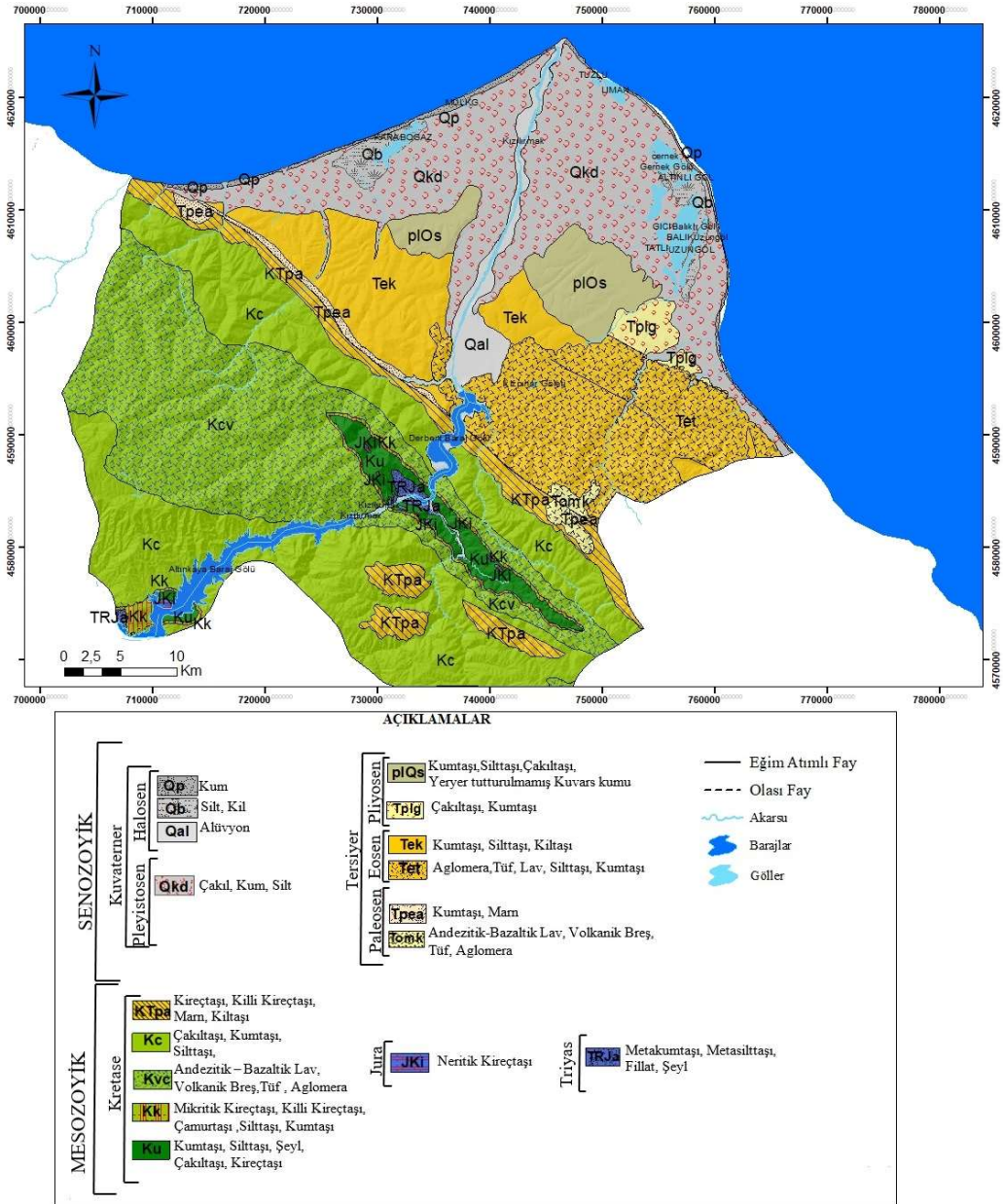
Deltanın yaklaşık 0 ile 25-35 m yükselti aralığında, ortalama % 10 eğime sahip olduğu görülmektedir.

2.1.4. Toprak ve Jeoloji Haritaları

Karadaki akışın, yeraltı drenajının ve havzadan derin sızıntının belirlenmesi için çalışmanın hidrojeolojik bileşimi ile ilgili modelleme girdileri, çok önemlidir. Kara akışını belirlemek için topografya verisi dışındaki kritik girdiler zemin hidrolik parametreleri olan jeoloji ve toprak verileridir. Toprak bilgisi suyun ne kadar miktarda toprakta tutulduğu ya da yüzey akışına geçtiğinin belirlenebilmesi açısından önemlidir. Hidrolojik modelleme sürecinde, modelin ihtiyaç duyacağı toprak sınıflarına ait derinlik, geçirgenlik ve su tutma kapasitesi değerleri literatür çalışmaları ile belirlenmiştir.

Yeraltındaki suyun hareketinin ve depolanmasının ölçülmesindeki temel zorluk, tüm uzaysal ölçeklerde zemin malzemelerinin fiziksel ve hidrolojik özelliklerindeki doğal değişkenliktir. Kolaylık sağlamak için, yeraltı hidrolojisi tartışması doymamış bölge (toprak malzemelerindeki açık alanların veya boşlukların kısmen su ve kısmen hava ile doldurulduğu) ve doymuş bölge (toprak malzemelerindeki boşlukların tamamen su ile doldurulduğu) olarak bölünmüştür. Çalışmada kullanılan jeoloji haritası, her bir jeoloji sınıf için maksimum su depolama kapasitesi ve süzülme değerlerinin içerecek şekilde düzenlenmiştir. Doymamış bölge akış hesaplamaları için bazı toprak fiziksel parametrelerine ihtiyaç vardır. Gerekli tüm veriler ilgili kurumlarda elde edilemediğinden bazı toprak fiziksel parametreleri literatüre dayanmaktadır.

Çalışma alanına ait toprak haritası Tarım Orman Bakanlığı - Tarım Reformu Genel Müdürlüğünden ve jeoloji haritası, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğünden (MTA) temin edilmiştir ve bu haritalar ArcGIS 10.4'de çokgen şekil dosyalarına dönüştürülmüş ve MIKE SHE modeline girilmiştir. Şekil 6'da Kızılırmak deltası ve yakın çevresine ait jeoloji haritası ve Tablo 3'de haritaya ait jeolojik birimlerin alansal ve yüzdesel dağılımları verilmiştir.



Şekil 6. Kızılırmak deltası ve yakın çevresine ait jeoloji haritası (Uğur ve Sezgin (2007;2009) ve Keskin (2011) değiştirilerek yeniden çizilmiştir.)

Tablo 3. Kızılırmak deltası ve yakın çevresine jeolojik birimlerin ait alansal ve yüzde dağılımları

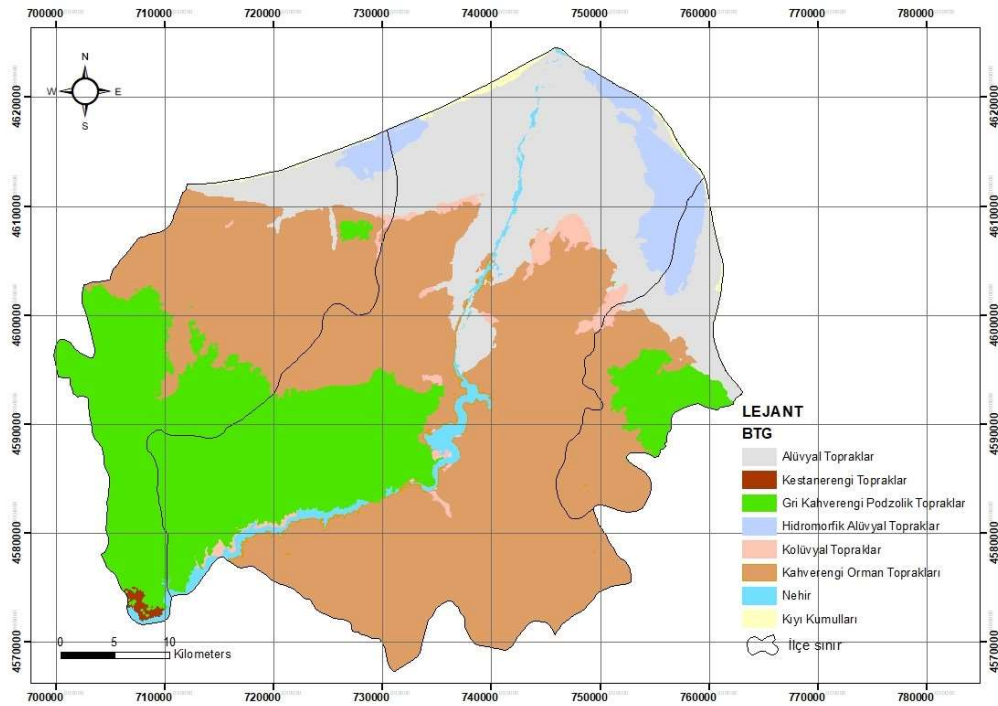
Jeolojik Yaş Sınıfları	Alan (km ²)	Yüzde (%)
Halosen	134.695	4.94
Pleyistosen	462.213	16.96
Pliyosen	123.119	4.52
Eosen	455.1175	16.69
Paleosen	33.7045	12.36
Maastrichtiyen- Alt Paleosen	109.412	4.02
Kampaniyen-Maastrichtiyen	1018.82	37.37
Senomaniyen-Alt Kampaniyen	21.567	0.79
Alt Kretase	54.641	2.00
Üst jurasik-Alt kretase	2.629	0.1
Triyas-Liyas	6.915	0.25

Çalışma alanının jeolojik yapısı incelendiğinde, delta düzlüklerinde Kızılırmak'ın yataklarında biriktirdiği alüvyon ve yer yer Kızılırmak vadisinde görülen taraçalar kuaterneri temsil etmektedir. Bu birim genel olarak killi, kumlu ve çakıllı malzemelerin yanı sıra çakıl ve kum, kaba kum vb. taneli malzemeler içermektedir. 25-40 m yükseltilerdeki alçak seviyeler genel olarak değişik boyutlardaki kumlar ile beraber kil ve benzeri ince taneli çökeller ile karışık bir yapıya sahiptir. Daha yüksek kısımlarda ise kil, kum ve çakıllarla birlikte, bu birimleri yer yer örten ya da karışık olarak bulunan güneydeki eosen karbonatlı ve magmatik birimlerin kırıntılarının da yer almaktadır. Deltanın güneyindeki alt-orta eosen magmatik ve karbonatlı çökeller ile daha yüksek seviyelerinde üst kretase magmatik ve karbonatlı çökellerin kayaç gruplarını oluşturmaktadır.

Jeoloji haritasına ek olarak, DSİ' ye ait Hidrojeolik etüt raporunda, çalışma alanında resmi kurumlarca açılmış kuyu loglarının detaylı olarak incelenmesi sonucu jeolojik birimlerin yeraltındaki yayılım ve uzanımı da değerlendirilmiştir (DSİ, 1998). Hidrojeolojik etüt raporuna göre Bafra'daki yeraltı suyu oluşumlarının genel yapısı, Kızılırmak'ın geçmişte taşkın yaptığı alanlarda basınçlı su tabakaları bulunmakta olup, bu tabakaların üstünde kalın kil tabakaları, ardından çakıl ve kum karışımı bir akifer gelmektedir. Daha derinde ise genellikle geçirimsiz bir kil veya marn tabakası bulunmaktadır. Doğu'da açılan kuyularda üstte kil, ardından çakıl ve kum, daha derinde tekrar kil tabakaları gözlenmektedir. Batıdaki

kuyularda da benzer bir yapı vardır, ancak kalınlıklar ve derinlikler değişebilir. Deltanın sağ kısmında Engiz'den başlayarak Yörükler köyüne kadar olan bölgede serbest akifer bulunmaktadır. Bu bölgelerde alüvyon tabakası altında kil seviyesine ulaşılmıştır. Deltanın sol kısmında ise İkiztepe'den başlayarak Alaçam'a kadar olan sol sahil boyunca da serbest akiferler bulunmaktadır. Bu bölgelerde açılan kuyuda, siltli sarı kil, mavi kil, kumtaşı, marn, konglomera seviyeleri geçilmiştir. Ayrıca, iki sahil arasındaki orta kesimlerde de serbest akifer bulunmaktadır. Çalışma alanında görülen birimlerin hidrolojik koşulları ve genel hidrolojik sisteme etkisi, sınır koşulları kullanılarak matematiksel olarak ifade edilmiştir.

Delta ve yakın çevresinin Büyük toprak grubu (BTG) olarak Amerikan toprak sınıflandırma sistemine göre Alüviyal Topraklar (A), Kolüviyal Topraklar (K), Kahverengi Orman Toprakları (M), Gri Kahverengi Podzolik Topraklar (G) yaygın olarak görülmektedir. Delta ve yakın çevresinin BTG göre hazırlanmış Şekil 7'de gösterilmiştir ve bu haritaya göre alansal dağılımları ile toprak serilerinin genel özellikleri Tablo 4'de verilmiştir.



Şekil 7. Kızılırmak deltası ve yakın çevresine ait Büyük Toprak Grupları (BTG) dağılımı

Tablo 4. Kızılırmak deltası ve yakın çevresine ait büyük toprak gruplarının alansal ve yüzde dağılımları

Büyük Toprak Grupları	Alan (km ²)	Alan (%)	Özellikleri (Toprak Su Genel Müdürlüğü, 1970)
Alüviyal Topraklar (A)	0.04473	19.679	Akarsular tarafından taşınarak yığılmış bulunan genç sedimentler üzerinde yer alan; düz - düze yakın eğime sahip, (A) C profilli, azonal genç topraklardır. Yüzey sularının tabanlarında veya tesir alanlarında, düz - düze yakın eğime sahip alanlardaki topraklardır. Üst toprağın alt toprağa geçişi belirsizdir. Her iklim ve vejetasyona sahip olabilir.
Kolüviyal Topraklar (K)	0.00349	1.537	Yüzey akımı veya yan derelerin kısa mesafelerden taşıyarak eğimin azalmış olduğu yerlerde depo ettikleri materyallerin meydana getirdiği genç (A) C profili topraklardır. Rengi meydana geldiği ana materyale bağlıdır. Her iklim de bulunabilirler ve vejetasyonu çok çeşitli olabilir.
Kahverengi Orman Toprakları (M)	0.11398	50.142	Yüksek derecede kireç içeriğine sahip ana madde üzerinde gelişen İnterzonal topraklardır ve A (B) C horizonları mevcut olup bunlar birbirlerine tedrici olarak geçiş yapar. Eğimli arazi topraklarıdır ve doğal vejetasyonu yaprağını döken ağaçlardır. Ana madde pH değerleri asit veya alkali olmakla beraber, çoğunlukla alkali görülen kireççe zengin kil taşları, mikasistler ve gnaysdır.
Gri Kahverengi Podzolik Topraklar (G)	0.05467	24.052	Bariz olarak A, B ve C horizonları yer alır. A, horizonu ince olup humus mineral madde ile iyice karışmış haldedir, Yapısı genellikle gözeneklidir. B horizonunda kil birikmesi görülür ve yapısı genellikle yuvarlak köşeli blok olduğundan, bu topraklar iyi bir drenaja sahip değildir. Doğal vejetasyonu yaprağını döken, kısmen de iğne yapraklı orman ağaçlarıdır ve ana madde Kum taşından siltlere, kalkerden volkanik kayalara kadar çeşitliliğe sahiptir.
Kestanerengi Topraklar (CE)	0.00046	0.203	A, B ve C profiline sahip, kalsifikasyon ameliyesi sonucu oluşmuş zonal bir topraktır. A horizonu nisbeten kalın, granüler yapıda, orta derecede organik madde muhtevasına ve dağılabilir kıvama sahip, rengi koyu kahverengi ve organik madde miktarı kahverengi topraklardan fazladır. B horizonunun rengi koyu kahverengi veya kırmızımsı kahverengi; yapısı prizmatik olup kil birikmesi gösterir. B horizonunun altında çoğu kez sertleşmiş halde bulunan birikmiş kireç horizonu yer alır. Tabii vejetasyon kısa ve uzun otlarla çalılardan ve seyrek ağaçlardan ibarettir. Ana madde kalkerden volkanik kayalara kadar değişen kireççe zengin materyaller; ayrılmış kalker, gnays, şist bazalt ve diğer püskürüklerden ibarettir.
Hidromorfik Alüviyal Topraklar (Hh)	0.00910	4.002	Su duran, su sızan veya etraftan sık sık su alan; uzun süre yaş kalan alüviyal arazi, fazla suya maruz kalmaları halinde uzun süre bataklık durumundadırlar.
Sahil Kumuları (SK)	0.00087	0.385	Herhangi bir toprak benzeri yapısı olmayan, denizlerin ve göllerin sahilllerinden esas olarak rüzgar olmak üzere, kısmen de dalga hareketleri ile taşınarak belirli alanlara depo edilmiş kumlardan ibarettir.

Delta bulunduğu alanın büyük bir kısmı akarsuların etkisi ile meydana gelmiş geniş alüvyal topraklardan oluşmaktadır ve ırmak yatağından uzaklaştıkça, toprakların bünyesinde ve drenajlarında farklılıklar görülebilmekle birlikte topoğrafyalarında da belirli farklılıklar görülmektedir. Ayrıca alüvyal toprakların bulunduğu araziler içerisinde bir miktar hidromorfik alüvyal araziler bulunmaktadır. Bu araziler, devamlı etrafından su alan veya sızan ve uzun süreli yaş kalabilen niteliktedir, suya fazla maruz kalmaları durumunda uzun süre bataklık durumunda kalırlar. Basit drenaj tedbirleri ile çayır, ve suyu seven ağaç cinsleri yetiştirilebilmektedir. Yine yüzey suları ve dalga tesiri ile göller ve deniz kıyısında oluşan araziler alüvyal sahil bataklığı bulunmaktadır ve bu araziler devamlı yaş kalarak bataklık halindedir, tarımda kullanılmayan arazilerdir. Delta alanın sahil kesiminden uzaklaşarak iç kısımlara geçildiğinde ise kahverengi orman toprakları, kolüviyal toprakları ve gri kahverengi Podzolik toprakların bulunduğu görülmektedir.

BTG sınıflaması toprağın genel karakteristiği için önemli bir bilgi olmakla birlikte, toprağın hidrolojik özelliklerini tanımlamak toprak serilerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle çalışma alanı ilgili yapılmış mevcut çalışmalar ile Avrupa Toprak Veri Merkezi (ESDAC – European Soil Data Centre) tarafından sağlanan Avrupa üç Boyutlu Toprak Hidrolik Veri Tabanından (EU - SoilHydroGrids ver1.0) temin edilen veriler derlenerek kullanılmıştır. Çok katmanlı olan bu veritabanı (EU-SoilHydroGrids ver1.0) Avrupa kıtasının tümünü kapsayacak şekilde kıtasal ölçekte 1 km ve 250 m çözünürlüklerde sırasıyla 0,5, 15, 30, 60, 100 ve 200 cm katman derinlikleri için temin edilmektedir. 250 m ve 1 km veri kümelerinin toprak karakteristiğini belirlemede yaygın olarak kullanılan Pedotransfer Fonksiyonlarından (PTF) türetilmiştir. Türetilen Pedotransfer fonksiyonlar, farklı toprak grubundan saha örneklerinin toprak bilgileri kullanılarak kalibre edilmiş ve bunların dışında kalan saha örnekleri ile de doğrulanmıştır. Tablo 5, SoilGrids veri setinin yedi derinliği için 250 m ve 1 km çözünürlükte hesaplanan toprak hidrolik parametrelerini listelemektedir (Tóth, Weynants, Pásztor & Hengl, 2017).

Tablo 5. Hesaplanan toprak hidrolik özelliklerinin formatı EU-SoilHydroGrids ver1.0

Toprak Hidrolik Parametreleri	Birim	Veri Setleri	
		250 m Çözünürlüklü	1 km Çözünürlüklü
THS x 100	$\text{cm}^3 \text{ cm}^{-1}$	THS	THS
FC x 100	$\text{cm}^3 \text{ cm}^{-1}$	FC	FC
WP x 100	$\text{cm}^3 \text{ cm}^{-1}$	WP	WP
KS x 100	cm day^{-1}	KS	KS
Nem Çekilme Eğrisi (MRC) parametreleri			
$\theta_r \times 10000$	$\text{cm}^3 \text{ cm}^{-1}$	band 1	MRC_thr
$\theta_s \times 10000$	$\text{cm}^3 \text{ cm}^{-1}$	band 2	MRC_ths
$\alpha \times 10000$	cm^{-1}	band 3	MRC_alp
$n \times 10000$	—	band 4	MRC_n
$m \times 10000$	—	band 5	MRC_m
Doygun Olmayan Hidrolik İletkenlik Eğrisi (HCC)			
$\theta_r \times 10000$	$\text{cm}^3 \text{ cm}^{-1}$	band 1	HCC_thr
$\theta_s \times 10000$	$\text{cm}^3 \text{ cm}^{-1}$	band 2	HCC_ths
$\alpha \times 10000$	cm^{-1}	band 3	HCC_alp
$n \times 10000$	—	band 4	HCC_n
$m \times 10000$	—	band 5	HCC_m
$K_o \times 10000$	cm day^{-1}	band 6	HCC_Ke
$L \times 10000$	—	band 7	HCC_L
FC: alan kapasitesi; THS = doymuş su içeriği; WP = solma noktası; KS: doymuş hidrolik iletkenlik; θ_s = doyunluktaki toprak nemi; θ_r = artık toprak nemi içeriği. n, m ve L parametreleri boyutsuzdur.			

Ayrıca, çalışma alanı ile ilgili mevcut birçok çalışmalardan; Yüksel & Dengiz (1996), Arpalı & Dengiz (1996), Sürücü (1999), Taşan (2017) ve Taşan (2018) ait çalışmalara bakıldığında, toprak katmanlarının kum, kil ve silt içerikleri, hacim ağırlığı ve tarla kapasitesi ile solma noktası gibi sulama açısından önemli bazı fiziksel özelliklerin belirlendiği görülmüştür. Çalışmalarında, deltanın toprak derinliklerini 1.5 m veya daha fazla ve toprak bünyelerinin de genellikle ağır ve geçirgenliklerinin normal olduğunu belirlemişlerdir. Toprakların bünye dağılımının çok ağırdan hafife değişkenlik gösterdiğini, bunların büyük kısmını ağır (kil, siltli kil, kumlu kil) olmakla birlikte, orta (killi tın, siltli tın, kumlu siltli tın), hafif (kumlu tın, tın) ve çok hafif (tınli kum, kum) bünyeli olarak alanda

değişik oranlarda yayılım gösterdiğini belirtmişlerdir. Mevcut çalışmalar ile EU-SoilHydroGrids ver1.0 derlenerek hazırlanan toprak serisi girdi verileri ArcGIS ortamından MIKE SHE modeline aktararak toprak serisi haritası oluşturulmuştur.

2.1.5. Arazi Kullanımı

Arazi örtüsü ve kullanım haritaları, dünya yüzeyinin biyolojik ve fiziksel örtüsünü gösterir. Arazi kullanımı bileşeni, arazi kullanım sınıflandırmaları ile ilişkili parametreleri tanımlamakta ve hidrolojik süreçleri etkilemektedir. Tipik olarak sınıflar su ve sulak alanları, tarım arazileri, mera arazileri, orman arazileri gibi bitki örtüsü sınıflandırmalarını ve özel kanunlarla belirlenen alanlar, yerleşim-sanayi-turizm alanları ile diğer arazi kullanım şekillerini içermektedir. Arazi kullanımı ve arazi örtüsü ile ilgili bilgiler, arazi planlaması ve yönetimine yönelik stratejilerin geliştirilmesinin yanı sıra özellikle çevresel değişimi izlerken birçok bilimsel ve toplumsal uygulama için önemlidir. Afet Yönetimi ve Acil Durum Müdahalesinde arazi örtüsü haritaları genellikle tarımsal değişiklikleri gözlemlemek, kuraklık ve sel riskini değerlendirmek ve izlemek, yangın veya gelecekteki iklim değişikliği risklerini haritalamak ve modellemek için kullanılır. Arazi kullanım bilgileri, Kristensen ve Jensen formülasyonu ile gerçek buharlaşma-terlemenin tahmini için ve kara akışını tahmin etmek için Manning'in pürüzlülük katsayısına karar vermek için önemlidir. Son yıllarda arazi kullanım şekillerinin ve doğal kaynaklarımızın tür ve miktarına göre belirlenmesine yönelik çalışmalarda uzaktan algılama tekniği yaygın olarak kullanılmaktadır.

Uzaktan algılama, dünya yüzeyiyle temasa geçmeden veri toplama işlemidir ve farklı çözünürlüklerdeki uydu uzaktan algılanan verileri, geleneksel envanter tahminlerinden daha yüksek bir güvenle tahminler üretmek için kullanılabilecek eşsiz bir bilgi kaynağı olmuştur. Uzaktan algılamada, bir görüntüdeki her bir piksel değerinin ait olduğu özellik grubunu güncel yöntemler yardımıyla sınıflamaları belirlenerek tanımlanmış yeryüzü özelliklerinin konumsal dağılımını göstermekte ve tematik haritalar elde edilmektedir. Buradaki amaç görüntü verisinin yüzeydeki farklı materyalleri ve durumlarını birbirinden ayırt ederek tanımlamaktır (Jehnsen, 1996 ; Schowengerdt, 1997). Sınıflandırma farklı spektral yansıma değerlerine sahip nesnelerin görüntüdeki her piksel için değişik bantlardaki değerleri esas alınarak belirlenen bir matematiksel işlem sonucu o pikselin ait olduğu sınıf bulunarak yapılır. Uzaktan algılama görüntü verilerinin analizinde yaygın kullanılan iki sınıflandırma vardır. Biri kontrollü sınıflandırma, diğeri kontrolsüz sınıflandırma olarak adlandırılır.

Bunlar alternatif yaklaşımlar olarak kullanılabilir, ancak genellikle hibrit metodolojilerde birleştirilir. Kontrolsüz sınıflandırma, bir görüntüdeki piksellerin, kullanıcının bu sınıfların varlığından veya adlarından haberdar olmadan spektral sınıflara atandığı bir yöntemdir. En sık kümeleme yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilir. Bu sınıflandırma, verilerin içine düştüğü spektral sınıfların sayısı ile konumunu ve her pikselin spektral sınıfını belirlemek için kullanılabilir. Kullanıcı bu sınıfları daha sonra haritaları ve yer ziyaretlerinden elde edilen bilgileri içerebilen mevcut referans verileri ile ilişkilendirerek tanımlar. Belirli bir alıştırma için bilgi sınıfları bilinse de, kullanıcı genellikle spektral sınıflardan veya bazen adlandırıldığı gibi alt sınıflardan tamamen habersizdir. Bu nedenle kontrolsüz sınıflandırma, kontrollü sınıflandırma yöntemleriyle ayrıntılı analizden önce verilerin spektral sınıf bileşimini belirlemek için yararlıdır. Uzaktan algılamada, özellikle, kontrollü sınıflandırma algoritmaları, istatistiksel ve hesaplamalı zekâ çerçevelerine dayanmaktadır. İstatistiksel denetimli sınıflandırmada önemli bir varsayım genellikle her bir spektral sınıfın, multispektral alanda bir olasılık dağılımı ile tanımlanabilen uzaktan algılamayı benimsemektedir. Bu, alanın birçok değişken boyutu kadar çok değişkenli bir dağılımı olacaktır. Böyle bir dağılım, multispektral alanda herhangi bir yerde o sınıfa ait bir piksel bulma şansını tanımlar. Kontrollü sınıflandırma işlem adımlarında öncelikle Görüntünün bölümlere ayrılacağı zemin örtüsü tiplerine karar verilir ve bunlar bilgi sınıflarıdır (örneğin su, kentsel bölgeler, ekili alanlar, meralar vb.). İstenen sınıfların her birinden temsili veya prototip pikselleri (eğitim kümeleri) seçilir ve her sınıf için eğitim setleri, saha ziyaretleri, haritalar, hava fotoğrafları ve hatta görüntü verilerinden oluşturulan renkli bir bileşik ürünün fotoğraf yorumu kullanılarak oluşturulabilir. Eğitilmiş sınıflandırıcıyı kullanarak, görüntüdeki her pikseli istenen zemin örtüsü türlerinden (bilgi sınıfları) birine etiketlenir veya sınıflandırılır. Sınıflandırmanın sonuçlarını özetleyen tematik (sınıf) haritalar üretilir ve etiketli bir test veri seti kullanarak nihai ürünün doğruluğunu değerlendirilir (Richards & Jia, 2006). Doğruluk analizlerinde kullanılan yöntemlerden biri Kappa (κ) katsayısıdır. Kappa (κ) katsayısı, sınıflandırmanın doğruluğunu ağırlıklı olarak hesaplayan bir istatistiksel ölçü olarak kullanılmaktadır ve eşitlik aşağıdaki formülle ifade edilmektedir:

$$\kappa = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - N \sum_{i=1}^r x_i + *_{x+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r x_i + *_{x+i}} \quad (2)$$

r ; sınıf sayısı, x_i+ ; satır toplamı, x_{ii} ; hata matrisinin köşegen elemanları, $x+i$; sütun toplamı ve N ; hata matrisindeki toplam piksel sayısıdır. Kappa (κ) değeri 1.00 ise uyuşumun tam, 0.75 ve fazlası ise sınıflandırma performansı çok iyi, 0.40'ın aşağısı performansının yetersiz ve 0.00 ise sınıflandırılmış veriler ve referans verileri arasında uyuşumun olmadığını göstermektedir (Kaya, 2009).

Çalışma alanının ait arazi kullanımın belirlenmesinde Landsat 8 uydu görüntüsünden yararlanılmıştır. Uydu görüntüleri, 19.05.2019 yılına ait olup, Landsat 8 uydusunun pankromatik ve multispektral bandlarını kapsamaktadır. 30 m çözünürlük olan her iki uydu görüntüsünden sadece Landsat 8 uydusunun Pankromatik bantı 15 m çözünürlüklüdür. Landsat 8 uydu görüntüsü yerbilimleri veri tabanından (USGS) tedarik edilmiştir. Landsat 8 uydusuna ait bilgiler Tablo 6'da verilmektedir.

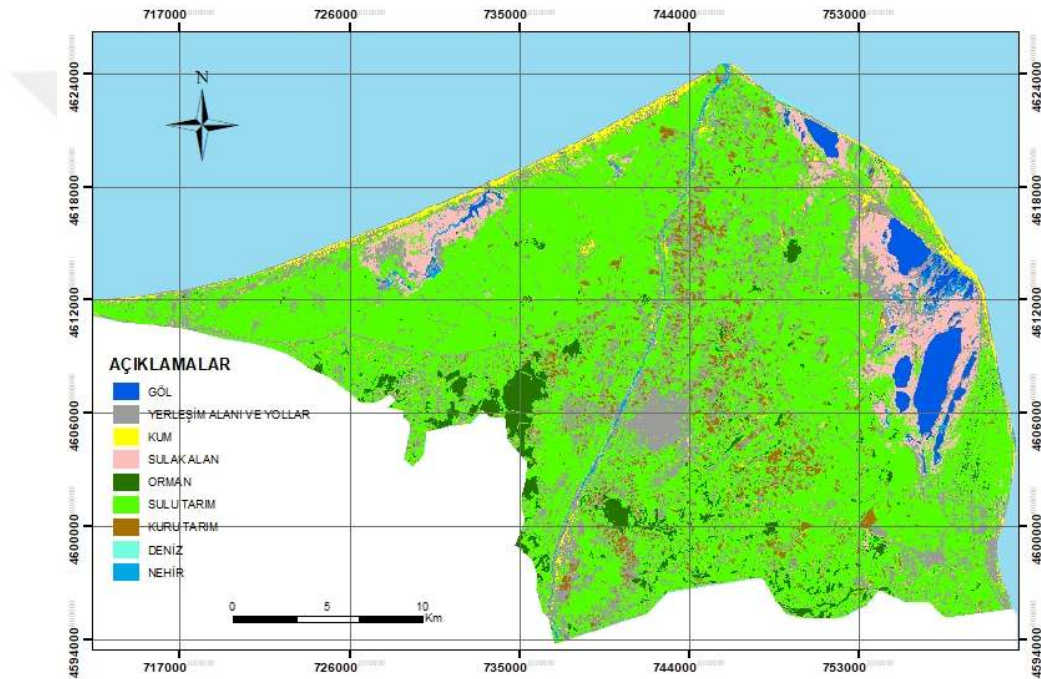
Tablo 6. LANDSAT 8 Uydusuna ait Bant Özellikleri

Landsat 8 Operasyonel Arazi Görüntüleyici (OLI) ve Termal Kızılötesi Sensör (TIRS) 11 Şubat 2013 fırlatıldı	Bantlar	Dalga Boyu Aralığı Mikrometre (μm)	Çözünürlük
	Band 1 - Kıyı/ Aerosol	0.43 - 0.45	30 m
	Band 2 - Mavi	0.45 - 0.51	30 m
	Band 3 - Yeşil	0.53 - 0.59	30 m
	Band 4 - Kırmızı	0.64 - 0.67	30 m
	Band 5 - Yakın Infrared	0.85 - 0.88	30 m
	Band 6 - Kısa Dalga Infrared (SWIR 1)	1.57 - 1.65	30 m
	Band 7 - Kısa Dalga Infrared (SWIR 2)	2.11 - 2.29	30 m
	Band 8 - Pankromatik (PAN)	0.50 - 0.68	15 m
	Band 9 - Sırrus	1.36 - 1.38	30 m
	Band 10 - Uzun Dalgaboyu Infrared (TIRS1)	10.6 - 11.19	100 m
	Band 11 - Uzun Dalgaboyu Infrared (TIRS2)	11.50 - 12.51	100 m

Çalışmanın görüntü analizleri, ArcGIS 10.4 yazılımı ile yapılmıştır. Bu çalışmada, bu yöntemlerden en yaygın kullanılanlardan biri olan “Kontrollü Sınıflandırma yöntemi” ile sınıflandırma yapılmış, ancak bu sınıflandırmadan önce arazide sınıfların nerede ve hangileri olabileceğini tahmin edilerek arazi hakkında bilgi sahibi olmak adına kontrolsüz sınıflandırma işlemi de yapılmıştır. Kontrollü sınıflandırma yapıldıktan sonra ise doğruluk

analizleri Google Earth görüntüleri ile kıyaslanarak yapılmıştır. Doğruluk analizlerinde Kappa (κ) indexi kullanılmıştır.

Şekil 8 verilen çalışma alanına ait arazi kullanım haritası 05.10.2019 ait Landsat 8 uydu görüntüsünden oluşturulmuştur. Bu çalışmada, görüntü analiz yöntemlerinden “Kontrollü Sınıflandırma yöntemi” kullanılmıştır. Kontrollü sınıflandırma doğruluk analizleri Google Earth görüntüleri ile kıyaslama yapılarak Kappa (κ) indexi 0,85 bulunmuş ve % 85 oranında doğruluk sağlanmıştır. Çalışma alanının arazi kullanımı, Tablo 7’de derlenmiştir.



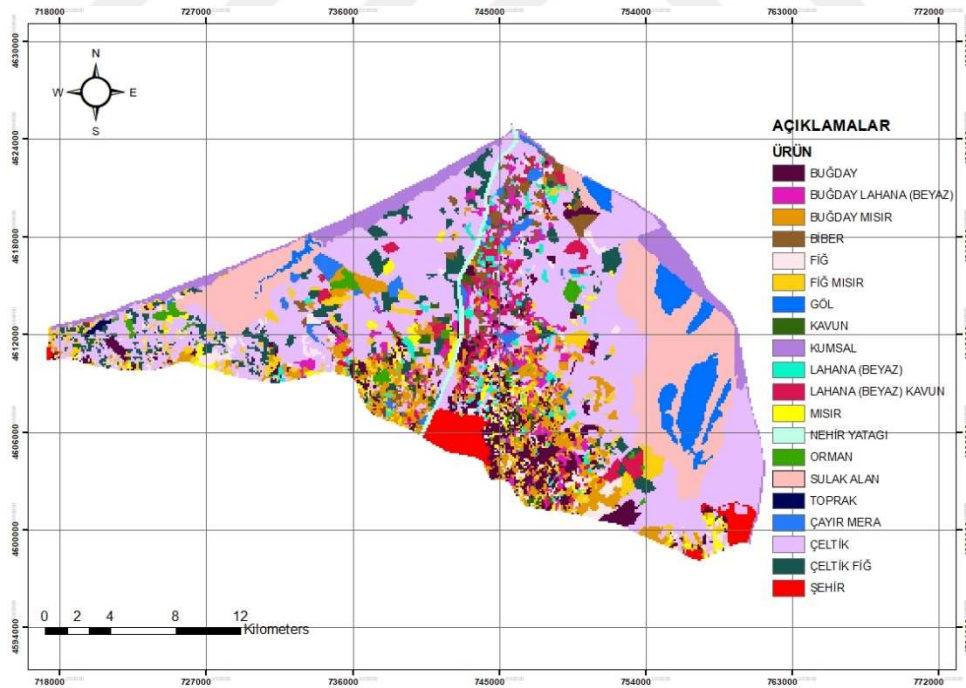
Şekil 8. Kızılırmak deltasının ve çevresinin arazi kullanım haritası (05.10.2019 tarihli Landsat 8 uydu görüntüsüne göre düzenlenmiştir).

Tablo 7. Arazi kullanımına göre alansal dağılım

Arazi Örtüsü Tanımı	Alan (ha)	Yüzde Toplam (%)
Göl, Nehir	2813	3.62
Sulak alan	4466	5.74
Sulu tarım ve Kuru tarım	51699	66.47
Orman	2845	3.66
Kumsal	1603	2.06
Yerleşim, yol	14347	18.45

Kızılırmak Deltasında arazi kullanım sınıfları içerisinde en geniş alanı tarım arazileri oluşturmaktadır. 2015- 2022 yılları arasında TÜİK' in Bitkisel Üretim İstatistiklerinden yararlanılarak alanda en çok yetişen yazlık ve kışlık ürünler belirlenmiştir. Bitkisel üretim verilerine göre; Deltanın sınırlarının bulunduğu Alaçam, Bafra ve Ondokuzmayıs ilçeleri incelendiğinde hemen hemen her türlü sebze ürünü yetiştirilmekte olup, tahıllar ve bitkisel ürünler için kullanılan tarım alanları sebze ürünleri için kullanılan tarım alanlardan daha fazla olduğu görülmektedir. Deltanın sulak alanına ve suya yakın çevresinde ise daha çok çeltik ve hububat üretilmektedir. Deltanın büyük bir bölümün yer aldığı Bafra İlçesi tahıllar ve diğer bitkisel ürünler için en fazla ekilen alana sahiptir.

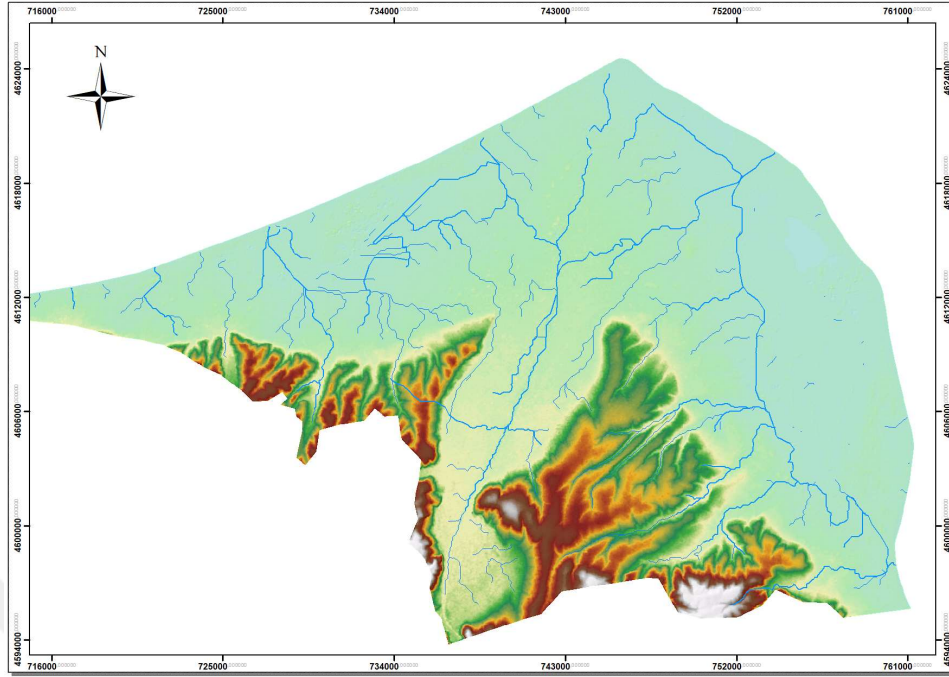
Ayrıca Samsun Tarım İl Müdürlüğünden elde edilen, çalışma alanı içerisinde kalan Bafra, Alaçam, Ondokuzmayıs İlçelerinin mahallerine ait CBS ortamından elde edilmiş arsalar ve bu arsalarla ait ürün verileri düzenlenerek Landsat uydu görüntüleri ile ArcGIS ortamında entegre edilmiş ve Şekil 9'da verilen bitki deseni haritası üretilmiştir. Tüm veriler irdelendiğinde ekili alanlar için sebze üretiminde özellikle biber, kavun, lahana gibi ürünler ile tahıllar içinde çeltik, buğday, mısır, fiğ gibi ürünlerin en fazla ekildiği görülmektedir.



Şekil 9. Bitki deseni haritası

2.1.6. Nehir Ağı

Deltanın hidrolojik karakteristiğini Kızılırmak Nehri dışında Ovası'nın doğusunda Engiz ve Piliç Çayı, Darboğaz, Mera, batısında İlyaslı Çayı ile Bedeş, Gökçesu, Söğütlük, Gökçeboğaz ve Uluçay (Alaçam) dereleri ile ayrıca sulama ve drenaj için yapılan kanallar belirlemektedir. Alan içerisindeki yüzey suları yüksek kotlardan akarak doğal drenaja ek olarak inşa edilen kanallar vasıtasıyla denize göllere ulaşmaktadır. Hidrolojik modellemede, nehir sistemindeki akım ağı ve akış yönünün belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu unsurlar, modelleme çalışmalarında bölgedeki drenaj yapısının ve suyun dağılımının doğru bir şekilde analiz edilmesini sağlar. Delta sınırları içinde drenaj ağının belirlenmesi için DEM haritası kullanılarak ArcGIS programında hidrolojik analizler yapılarak belirlenmiştir. Deltanın bir yapıya sahip olması nedeni ile DEM kullanılarak drenaj ağı hassas bir şekilde belirlenmesini zorlaştırmıştır. Bu sebeple Google Earth görüntüleri ile 1/25000 ölçekli paftaların birlikte değerlendirilmesiyle hazırlanmıştır ve Şekil 10'da gösterilmektedir. DSİ hidrojeolojik raporuna göre Kızılırmak Nehrinin 1962-1983 yılları arasında yıllık ortalama akış $188 \text{ m}^3/\text{sn}$ olarak belirtilmiş olup, Kızılırmak Nehri yatağı üzerinde yapılan değişiklikler ile Altinkaya ve Derbent barajlarının yapımından sonra herhangi bir ölçüm istasyonu bulunmamaktadır. Kızılırmak nehri üzerine kurulu Derbent HES Derbent HES ten $30 \text{ m}^3/\text{s}$ debide su verilmektedir. Buradan Bafra Sağ sahil sulamasına $12 \text{ m}^3/\text{s}$ ve Sol sahil sulamasına $14 \text{ m}^3/\text{s}$ olmak üzere toplam $26 \text{ m}^3/\text{s}$ su tarımsal sulamaya verilmektedir. DSİ tarafından Kızılırmak nehir yatağına verilecek Cansuyu debisi ise $3-4 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak belirlenmiştir. Alaçam-Uluçay, Mandıra-Yenice, Taşkelik, Bedeş akarsular küçük olması nedeniyle mevsimsel olarak kuruyabilmektedir. Engiz Çayı üzerine kurulu 19 Mayıs Barajı, çayın debisini azaltmaktadır. Engiz Çayı yıllık ortalama debisi yaklaşık $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$.



Şekil 10. Nehir Ağı Haritası

2.2. Yöntem

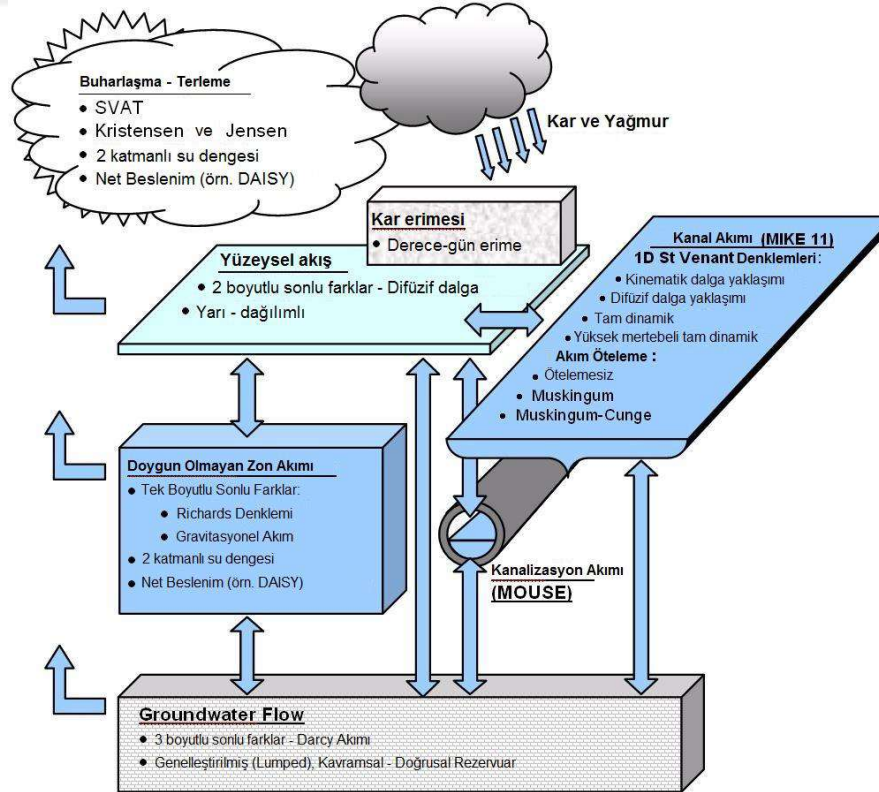
2.2.1. MIKE SHE Modeli ve Matematiksel Tanımı

MIKE SHE hem olay tabanlı olabilen hem de sürekli simülasyon yeteneğine sahip, fiziksel tabanlı, dağıtılmış entegre bir modeldir, daha açık bir ifade ile hidrolojik döngünün kara bazlı aşamasını simüle eden entegre bir sistemdir (Graham & Butts, 2005). MIKE SHE, orijinal formülasyonunda, deterministik, fizik tabanlı, dağıtılmış bir model kodu olarak karakterize edilebilir. Fizik tabanlı kod, kütle akışı ve momentum transferini tanımlayan kısmi diferansiyel denklemleri çözen bir koddur. Kısmi fark kütlesi ve enerji korunumu denklemlerinin sonlu fark çözümleri, hidrolojik süreçlerin çoğunu sayısal olarak simüle etmek için kullanılır, ancak bazı süreçler analitik/ampirik olarak da modellenir. Bu denklemlerdeki parametreler ölçümlerden elde edilebilir ve modelde kullanılabilir (Graham & Butts, 2010; Jaber & Shukla, 2012). Model, arsa, alan ve su havzası ölçeklerinde hidrolojiyi simüle edebilir, çözünen maddelerin partikül takibini yapabilir ve su havzası-nehir ilişkilerini simüle etmek için MIKE 11 ile bağlanabilir. MIKE SHE modeli ilk olarak 1977 yılında üç Avrupa kuruluşu (Danimarka Hidrolik Enstitüsü, İngiliz Hidroloji Enstitüsü ve bir Fransız danışmanlık şirketi SOGREAH) tarafından geliştirilmiştir. DHI, iyileştirmeler

ve eklemeler için MIKE SHE'nin geliştirilmesi ve araştırılmasına öncülük etmiştir (DHI, 2009).

MIKE SHE/MIKE 11, yeraltı suyu yönetimi, arazi kullanımları ve iklim değişikliğinin yeraltı suyu ve yüzey suyu akışları üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi dahil dünya çapında farklı iklim türlerinde çeşitli amaçlarla kullanılmıştır. Ayrıca yüz binlerce km² alana sahip havzalar (Feyen, Vázquez, Christiaens, Sels & Feyen, 2000; Huang, Chen, Li, Willems & Liu, 2010; Singh, Thompson, French, Kingston & Mackay, 2010; Singh, Thompson, Kingston & French, 2011) ile 50 km² den küçük alana sahip havzalara ve bireysel sulak alanlara uygulanabilirliği kanıtlanmıştır (Al-Khudhairy, Thompson, Gavin & Hamm, 1999; Thompson, Sorenson, Gavin & Refsgaard, 2004; Thompson, 2012).

MIKE SHE modeli, su kalitesi (WQ) ve su hareketi (WM) olmak üzere iki ana modülden oluşmaktadır. Bu çalışmada modelinin toprak suyu hareketi modülü kullanılmıştır ve birçok alt modülden oluşur: evapotranspirasyon (ET), toprak suyu hareketi (SWM), karasal akış (OF), kanal akışı (CF), yeraltı suyu akışı (GWF) ve sulama (IR) (DHI 2009). Su hareketi modülünde kullanılan diğer bileşenler, Şekil 11'de gösterildiği gibi doymamış bölge (UZ), doymuş bölge (SZ), kar erimesi ve kök bölge modelleridir.



Şekil 11. MIKE SHE'nin Modülerin Yapısının Şematik Gösterimi (DHI 2009)

MIKE SHE fiziksel tabanlı bir model olduğundan, yukarıda bahsedilen modüller kütle, momentum ve enerjinin korunumu yasalarından türetilen fiziksel yasalara dayanmaktadır.

Yağış, evapotranspirasyon, kara akışı, doymamış akış, yeraltı suyu akışı ve kanal akışı için proses modülleri ve etkileşimleri dahil edilmiştir. Kanal akışı, MIKE SHE'de, kararsız akışı ve su seviyelerini sonlu fark yaklaşımı veya basit akış yönlendirme yöntemiyle simüle eden hidrolik modelleme sistemi MIKE 11 ile temsil edilir. MIKE SHE ve MIKE 11, aynı zaman adımıyla ayrı ayrı ancak yinelemeli olarak çözülerek birleştirilir. Evapotranspirasyon modeli, kullanıcı girdi referansı ET_{ref} 'si çeşitli şekillerde hesaplanabilmesine rağmen, Kristensen ve Jensen yöntemleri kullanılarak hesaplanır. Kanal akışı, tek boyutlu (1 D) yayılımlı dalga Saint Venant denklemleri kullanılarak ele alınır ve karasal akış, iki boyutlu (2-D) yayılma dalga Saint Venant denklemleri kullanılarak hesaplanır. Doymamış bölgeye sızan su, 1-D Richards akışı veya yerçekimi akışı kullanılarak modellenenebilir. Doymamış bölge, kısmi diferansiyel denklemleri çözmek için sonlu fark yöntemlerini kullanan üç boyutlu (3-D) Boussinesq denklemi kullanılarak modellenmiştir. MIKE SHE'nin bazı yönleri ampirik temellidir, ancak bu rutinler, kar erimesi denklemlerini ve durdurma ile ilgili katsayıları içerir (DHI, 2009).

a) Tutulma ve Evapotranspirasyon Bileşeni

MIKE SHE'nin tutulma ve evapotranspirasyon modülü, toprak ve bitki örtüsü ile temas süresine dayalı olarak dört bölüme ayrılır ve modellenir. İlk olarak yağışın bir kısmı bitki örtüsü tarafından tutulur, bir kısmı buharlaşarak atmosfere geri döner. Yüzeye ulaşan kalan su ya yüzey akışı üretir ya da doymamış bölgeye sızar. Sızan suyun bir kısmı kök bölgesinin üst kısmından buharlaşır veya bitki kökleri tarafından dışarı atılır. Sızan suyun geri kalan kısmı yeraltı suyunu doymuş bölgede eğer kökler su seviyesine ulaşıyorsa direk olarak ya da kökler tarafından doymamış bölgeden uzaklaştırılan suyun kapilerite ile yeraltı suyunu yukarı doğru çekmesiyle dolaylı olarak zenginleştirir (DHI, 2017).

Kristensen Jensen yöntemi Danimarka, Kopenhag'daki Kraliyet Veterinerlik ve Tarım Üniversitesi'nde (KVL) yapılan ampirik çalışmalarla geliştirilmiştir. Ampirik denklemler saha ölçümlerine dayanır ve referans evapotranspirasyon (ET_{ref}), yaprak alan indeksi (LAI), kök derinliği ($AROOT$) ve çeşitli kullanıcı kontrollü ampirik parametrelerin girdilerini gerektirir. Bu yöntemdeki ilk adım, bitki yüzey örtüsünün maksimum tutma depolama kapasitesinin (I_{max}) belirlenmesidir ve aşağıda şekilde belirlenir;

$$I_{max} = C_{int} * LAI \quad (3)$$

C_{int} , tutma kapasitesi [L] ve LAI , yaprak alan indeksidir. MIKE SHE modelinde C_{int} 'in varsayılan değeri 0,05 mm'dir. LAI değerleri, bitki örtüsüne ve bölgeye göre ampirik olarak kalibre edilmiştir ve literatürde de bulunabilir. Eğer yeterli su tutulursa, bitki yüzey örtüsü deposundan buharlaşma meydana gelebilir ve aşağıda şekilde verilir;

$$E_{can} = \min (I_{max}, ET_{ref}\Delta t) \quad (4)$$

E_{can} , bitki yüzey örtüsünden buharlaşma [LT^{-1}], ET_{ref} , referans evapotranspirasyon hızı [LT^{-1}], Δt , simülasyon için zaman adımı uzunluğu [T];

Bitki yüzey örtüsü depolamasından buharlaşmaya ek olarak, su dengesinin belirlenmesi için bitki örtüsünden terleme önemlidir. Bu, toprağın üstündeki ve altındaki ekin materyalinin yoğunluğuna bağlıdır. Gerçek terleme;

$$E_{at} = f_1(LAI) * f_2(\theta) * RDF ET_{ref} \quad (5)$$

E_{at} is gerçek terleme [LT^{-1}], f_1 yaprak alan indeksine dayalı bir fonksiyondur [-], f_2 kök bölgesinin toprak nem içeriğine dayalı bir fonksiyon [-], RDF kök dağılım fonksiyonudur [-], $f_1(LAI)$ fonksiyonu bitkinin yaprak alanında terlemeye bağlı aşağıdaki şekilde ifade eder;

$$f_1(LAI) = C_2 + C_1 * LAI \quad (6)$$

C_1 ve C_2 ampirik parametreler [-],

$f_2(\theta)$ fonksiyonu;

$$f_2(\theta) = 1 - \left(\frac{\theta_{FC} - \theta}{\theta_{FC} - \theta_W} \right)^{(C_3 Ep)} \quad (7)$$

θ_{FC} tarla kapasitesindeki hacimsel nem içeriği [$L^3 L^{-3}$], θ_W solma noktasındaki hacimsel su içeriği [$L^3 L^{-3}$], θ zaman adımıdaki gerçek hacimsel su içeriği [$L^3 L^{-3}$] ve C_3 ampirik bir parametre [LT^{-1}]; C_3 ' ün daha yüksek değerleri çok fazla terlemeye yol açacaktır,

bu da toprağın daha hızlı kuruyacağı anlamına gelir. MIKE SHE için varsayılan değer 20 mm/gün day^{-1} ' dir. Kök dağıtım fonksiyonu RDF , Kök dağılım fonksiyonu, belirli bir bitki türü için zamana göre değişen kök derinliği dağılımıdır. Her katmandaki bu fonksiyon değeri daha sonra katmandan çıkarılan su miktarının kökler tarafından çıkarılan toplam su miktarına bölünmesiyle hesaplanır.

$$RDF_i = \frac{\int_{Z_1}^{Z_2} R(z) dz}{\int_0^{L_R} R(z) dz} \quad (8)$$

Formülasyondaki pay kısmı Z_1 ve Z_2 [L] ile i tabakasında çıkarılan toplam su miktarıdır, payda ise toprak yüzeyi ile L_R maksimum kök derinliği arasındaki kökler tarafından çıkarılan toplam su miktarıdır. $R(z)$ derinliğin bir fonksiyonudur ve derinliğe göre logaritmik olarak değiştiği varsayılır.

$$\log R(z) = \log(R_0) - AROOT * z \quad (9)$$

R_0 toprak yüzeyinde kök çıkarmadır, $AROOT$ [L^{-1}], kök kütle dağılımını tanımlayan bir parametredir; MIKE SHE varsayılan değeri $0,25 \text{ m}^{-1}$ 'dir, Z yer yüzeyinin altındaki derinliktir [L].

Bitki yüzey örtüsü tutma ve evapotranspirasyonun hesaplanması için gereken son bileşen, toprak profilinin üst tabakasında meydana gelen buharlaşmadır. Toprak buharlaşması, E_s ;

$$E_s = ET_{ref} * f_3(\theta) + (ET_{ref} - E_{at} - ET_{ref} * f_3(\theta)) * f_4(\theta) * (1 - f_l(LAI)) \quad (10)$$

E_s hesaplanan toprak buharlaşmasıdır, ET_{ref} referans evapotranspirasyon olduğunda, E_{at} gerçek terlemedir (Eşitlik (2.)), $f_l(LAI)$ (2.5) denklemdendir ve $f_3(\theta)$ ve $f_4(\theta)$ toprak nemine dayalı ampirik fonksiyonlardır;

$$f_3(\theta) = \begin{cases} C_2 & \theta \geq \theta_w \\ C_2 \frac{\theta}{\theta_w} & \theta_r \leq \theta \leq \theta_w \\ 0 & \theta_r \leq \theta \end{cases} \quad (11)$$

$$f_4(\theta) = \begin{cases} \frac{\theta - \frac{\theta_W + \theta_{FC}}{2}}{\theta_{FC} - \frac{\theta_W + \theta_{FC}}{2}} & x < 0 \\ 0 & 0 \geq 0 \end{cases} \quad (12)$$

C_2 , varsayılan MIKE SHE değeri 0,2 [-] olan deneysel bir parametredir.

Bu parametre (C_2) toprak buharlaşması ve terleme arasındaki dağılımı etkiler. Daha yüksek C_2 değerleri, gerçek ET'nin daha büyük bir yüzdesini toprak buharlaşmasına tahsis eder. Bitki örtüsünün (kuru zemin) yokluğunda $f_1(LAI)$ fonksiyonu sifıra eşit olur ve topraktan buharlaşma sadece toprak profilinin üst düğüm noktasında (maksimum 10 cm) meydana gelir.

b) Kara ve Kanal Akış Bileşenleri

MIKE SHE'de kara akışını belirlemek için iki yöntem vardır; birincisi, Saint Venant denklemlerinin fiziksel tabanlı yayılımlı dalga yaklaşımıdır ve ikincisi, Manning denklemine dayalı yarı dağıtılmış bir yaklaşım olan karasal akış yönlendirmesinin basitleştirilmiş bir versiyonudur. Kara akışı, topografya (eğim), toprak özellikleri, yüzeysel depolama, buharlaşma ve sızma gibi çeşitli faktörlere bağlıdır.

Serbest yüzey akışının gerçekçi temsili, akışkanlar dinamiğinin temel denklemlerinin kullanılmasını gerektirir. Genellikle, akışkan hareketi zamana bağlı 3D Navier-Stokes denklemleriyle tanımlanır ve momentum ve kütle korunumuna ilişkin birleştirilmiş diferansiyel denklemleri içerir. Ancak, yüksek hesaplama gereksinimleri ve Navier-Stokes denklemlerini çözmek için gereken hesaplama süresinin uzunluğu nedeniyle, kara akışı için yaygın bir yöntem olan ve MIKE SHE' de uygulanan, iki boyutlu Saint Venant denklemlerini kullanmaktır. Bu yaklaşım, bir tabaka akış yaklaşımı sağlayan Navier-Stokes denklemlerinin derinlik ortalaması alınarak elde edilir. Yüzey sürtünme eğimleri Manning denklemi ile ifade edilir (House, 2016). Tam dinamik Saint Venant denklemlerinin yaklaşımları, yerel ve konvektif ivmeden kaynaklanan momentum kayıplarını ve akış yönün dik olan yanal akışları ihmal eder

$$S_{fx} = S_{0x} - \frac{\partial h}{\partial x} - \left(\frac{u}{g} \frac{\partial u}{\partial x} \right) - \left(\frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} \right) - \left(\frac{qu}{gh} \right) \quad (13)$$

$$S_{fy} = S_{0y} - \frac{\partial h}{\partial y} - \left(\frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \left(\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} \right) - \left(\frac{qv}{gh} \right) \quad (14)$$

x yönünde bu azalır;

$$S_{fx}=S_{0x}-\left(\frac{\partial h}{\partial x}\right) \quad (15)$$

S_{fx} sürtünme eğimi [$L L^{-1}$], S_{0x} zemin eğimi [$L L^{-1}$], h zemin yüzeyinin üzerindeki akış derinliğidir [L], x akış yönü [L].

Eğimi basitleştirirsek, x yönündeki orijinal denklem aşağıdaki şekilde indirgenir:

$$S_{fx}=\frac{\partial z_g}{\partial x}-\frac{\partial h}{\partial x} \quad (16)$$

z_g zemin yüzey seviyesidir [L], $z = z_g + h$ ilişkisi daha da azalır

$$S_{fx}=-\frac{\partial z}{\partial x} \quad \text{ve} \quad S_{fy}=-\frac{\partial z}{\partial y} \quad (17)$$

Manning denklemi kullanılırsa;

$$S_{fx}=\frac{u^2}{K_x^2 h^{4/3}} \quad \text{ve} \quad S_{fy}=\frac{v^2}{K_y^2 h^{4/3}} \quad (18)$$

u ve v sırasıyla x ve y yönündeki hız bileşenleridir [$L T^{-1}$], K_x ve K_y sırasıyla Manning veya Strickler katsayılarıdır [-], Strickler sayısı ve Manning Manning'in n pürüzlülük katsayısının tersi olduğuna dikkat edilmelidir.

Manning denklemini ve Saint Venant denklemlerinin difüzyon dalga yaklaşımlarını birleştirilmesiyle aşağıdaki formül elde edilir;

$$uh=K_x \left(-\frac{\partial z}{\partial x}\right)^{1/2} h^{5/3} \quad (19)$$

$$vh=K_y \left(-\frac{\partial z}{\partial y}\right)^{1/2} h^{5/3} \quad (20)$$

uh ve vh sırasıyla x ve y yönündeki hücre sınırı boyunca birim uzunluk başına deşarjı [$L^2 T^{-1}$] temsil eder. Son olarak, grid hücreleri arasındaki akış aşağıdaki şekilde verilebilir;

$$Q = \frac{K \Delta x}{\Delta x^{1/2}} (Z_U - Z_D)^{1/2} h_u^{5/3} \quad (21)$$

Q ; bir hücreden diğerine akıştır [$L^3 T^{-1}$], K ; uygun Strickler sayısıdır, Z_U ve Z_D sırasıyla maksimum ve minimum su seviyeleridir [L], h_u bir sonraki hücreye serbestçe akabilen suyun derinliğidir [L]. h_u sıfır ise, akış meydana gelmez. Her kara akış adımının başlangıcında sızma, buharlaşma, yeniden doldurma veya yağış nedeniyle Su hücreden eklenir ya da çıkarılır. Modifiye Gauss Seidel yöntemiyle, kara akışları bazı durumlarda su dengesindeki dâhili hataları ve bir çözümden olası sapmaları önlemek için azaltılır. Bu önlemler göz önünde bulundurularak, akış, giriş ve çıkış olarak ikiye ayrılır.

$$\sum |Q_{out}| \leq \sum Q_{in} + \frac{\Delta x^2 h(t)}{\Delta t} \quad (22)$$

Denklem bir zaman adımımda bir ızgara hücresindeki akışın nasıl hesaplanacağını göstermektedir. Yukarıdaki eşit işaretini sağlamak için hesaplanmış çıkış akışı bahsi geçen nedenler için azaltılabilir. Ayrıca, önce giriş akışın toplanmasını sağlamak için, ızgara hücreleri, her bir zaman adımıdaki iterasyonlar boyunca azalan zemin seviyesine (topografi) göre işlenir.

c) Doymamış Bölge Bileşenleri

MIKE SHE'deki doymamış bölge akışı tek boyutludur ve zemin profili boyunca dikey olduğu varsayılır. Model, kullanıcılara Richards denklemi, basitleştirilmiş yerçekimi akışı ve iki katmanlı su dengesi olmak üzere üç yöntemden birini seçmesine olanak tanır.

i) Richards denklemi;

Richards denklemi, Darcy yasasına ve süreklilik denklemine dayanmaktadır. Zemin matrisinin sıkıştırılmaz, sabit yoğunluğu ve itici kuvvet olarak hidrolik yük gradyanı olduğunu varsayar. İlk olarak gradyan şu şekilde verilir:

$$h = z + \psi \quad (23)$$

h hidrolik yük [L], z yerçekimi bileşeni [L] (yukarı pozitif varsayılmış), ψ is basınç bileşeni [L] (doymamış koşullarda negatif düşey akış için, düşey gradyanda suyun taşınması itici güçtür,

$$\Delta h = \frac{\partial h}{\partial z} \quad (24)$$

Hacimsel akış aynı zamanda Darcy yasasından elde edilebilir;

$$q = -K(\theta) \frac{\partial h}{\partial z} \quad (25)$$

q birim alana deşarj [$L T^{-1}$], $K(\theta)$ doymamış hidrolik iletkenliktir [$L T^{-1}$]. Zemin profili (sıkıştırılmaz, sabit yoğunluk) için yukarıdaki varsayımlar geçerliyse, süreklilik denklemi aşağıdaki şekilde olacaktır;

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial q}{\partial z} - S(z) \quad (26)$$

θ hacimsel toprak nemi[-] ya da [$L^3 L^{-3}$], S kök çıkarma (batma) terimi [$L T^{-1}$]. Yukarıdaki üç denklem Richards denkleminde birleşirse;

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial q}{\partial z} \left(K(\theta) \frac{\partial K(\theta)}{\partial z} \right) + \frac{\partial K(\theta)}{\partial z} - S(z) \quad (27)$$

Richards denkleminin 1boyutlu biçimi en doğru, ancak dinamik doymamış akış için hesaplama gerektiren bir yöntemdir. Bununla birlikte, hesaplama taleplerini azaltmak için hesap düğümleri dağıtılabilir. Doygunluğun fonksiyonları olarak basınç yükü ve hidrolik iletkenlik gereklidir. Bu nedenle, girdi için toprak nemi tutma eğrisi ve etkin iletkenlik ilişkilerinin tanımlarına ihtiyaç vardır. Richards denklemi bir sonlu fark çözümü ile hesaplanır (Refsgaard ve Storm, 1995). Üst toprak tabakasında ve kök bölgesinde evapotranspirasyon ve doymuş bölgeye yinelemeli bir bağlantı, sınırlar sağlar.

ii) Yerçekimi akışı;

Yerçekimi akışı, Richards denkleminin basınç yükü teriminin dahil edilmemiş olarak basitleştirilmiş bir versiyonudur. Aşağı akış için fonksiyon, kılcal hareket göz ardı edilerek yalnızca yerçekimi ile olur. Ana odak, doymamış bölgede ve kaba topraklarda akışkan dinamiklerinden ziyade yağış ve buharlaşma- terlemeye dayalı yeraltı suyu beslemesi olduğundan kullanışlıdır.

Doymamış bölgede suyun taşınması için itici kuvvet hidrolik yükün gradyanıdır. Bir noktadaki yerçekimi yükü, referans noktasının üzerindeki noktanın yüksekliğidir (z pozitif yukarı doğrudur). Basınç yükü bileşeni için referans seviyesi, atmosfer basıncıdır.

Doymamış koşullar altında basınç yükü ψ , toprak matrisi ile su molekülleri arasındaki kılcal kuvvetler ve kısa mesafeli adsorpsiyon kuvvetleri nedeniyle negatiftir. Bununla birlikte, yerçekimi akış modülünde, basınç yükü terimi göz ardı edilir ve itici kuvvet tamamen yerçekiminden kaynaklanır. Böylece dikey akış için, hidrolik yükün dikey gradyanı şu şekilde olur;

$$\Delta h = \frac{\partial z}{\partial z} = 1 \quad (28)$$

Hacimsel akış daha sonra Darcy yasasından elde edilir.

$$q = -K(\theta) \frac{\partial h}{\partial z} = -K(\theta) \quad (29)$$

Toprak matrisinin sıkıştırılmaz ve toprak suyunun sabit bir yoğunluğa sahip olduğunu varsayarsak süreklilik denklemi aşağıdaki şekilde olacaktır;

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial q}{\partial z} - S(z) \quad (30)$$

$$\Delta h = \frac{\partial z}{\partial z} = 1 \quad (31)$$

Yerçekimi Akış Modülünde, Denklem (31) zemin kolonunun tepesinden aşağıya doğru açık bir şekilde çözülür. Toprak kolonunun tepesinde, sızma hızı, ilk olarak, sızma için yer yüzeyindeki karasal suyun derinliği olan mevcut su miktarına eşit olarak ayarlanır. Bu, toprak kolonu için maksimum sızma hızı olan birinci doymamış toprak hücresinin doymuş iletkenliğine indirgenir (Denklem (30)). Su tablası zemin yüzeyinin üzerindeyse sızma sıfıra ayarlanır. Su tablasının toprak kolonunun üst düğümünün üstünde, ancak zemin yüzeyinin altında olduğu özel durumda, sızma hızı, üst hücredeki nem açığının bir tahminine indirgenir. Bu, doymamış bölge ile yüzeydeki göllenmiş su arasındaki yapay su döngüsünü azaltmak veya önlemek için yapılır.

iii) İki katmanlı su dengesi

İki Katmanlı Su Dengesi Yöntemi, evapotranspirasyonun tanımlanması için Kristensen ve Jensen modülüne bağlı daha karmaşık doymamış akış sürecine bir alternatiftir.

Evapotranspirasyon için iki katmanlı su dengesi yönteminde olduğu gibi, doymamış bölge bir kök bölgesi ve kök bölgesinin altında bir bölge olmak üzere ikiye ayrılır. Doymamış depolama sıfır olduğunda sızma doymuş bölgeye yönlendirilir. Bu yöntem, su tablasının sığ olduğu, yer altı suyunun beslenmesine kök bölgesindeki evapotranspirasyonun hakim olduğu ve doymamış bölgede hareket eden suyun zamanının önemli olmadığı durumlarda uygundur (Graham & Butts, 2010).

İki katmanlı su dengesi yöntemi, Yan ve Smith'te (1994) sunulan bir formülasyona dayanmaktadır. Modülün temel amacı, gerçek buharlaşma-terlemeyi ve doymuş bölgeyi yeniden dolduran su miktarını hesaplamaktır. Modül, özellikle gerçek evapotranspirasyon hızının potansiyel hıza yakın olduğu bataklıklar veya sulak alanlar gibi sığ yeraltı suyu seviyesine sahip alanlar için kullanışlıdır. Daha derin ve daha kuru doymamış bölgelere sahip alanlarda, model doymamış bölgedeki akış dinamiklerini gerçekçi bir şekilde temsil etmemektedir. Model yalnızca ortalama koşulları dikkate alır ve doymamış hidrolik iletkenlik ile toprak nem içeriği ve dolayısıyla toprağın suyu köklere taşıma yeteneği arasındaki ilişkiyi hesaba katmaz. Model, kök bölgesinde yeterli su varsa, suyun evapotranspirasyon için mevcut olacağını varsayar. Bununla birlikte, modelin çoğu koşulda makul ölçüde iyi performans göstermesi için girdi parametrelerini "kalibre etmek" genellikle mümkündür.

d) Doymuş Bölge Bileşenleri

MIKE SHE 'nin Doymuş Bölge bileşeni, havzadaki doymuş yeraltı akışını hesaplar. MIKE SHE, serbest ve sınırlı koşullar arasında değişen koşullara sahip heterojen bir akiferde tamamen üç boyutlu bir akışa izin verir. Bağımlı değişkenin (hidrolik yük) uzaysal ve zamansal varyasyonları, 3 boyutlu Darcy denklemi ile matematiksel olarak tanımlanır ve yinelemeli bir örtük sonlu fark tekniği ile sayısal olarak çözülür. Doymuş gözenekli ortamdan geçici yeraltı suyu akışı denkleminin üç boyutlu formu;

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) - L = S \left(\frac{\partial h}{\partial t} \right) \quad (32)$$

Burada S , spesifik depolama katsayısı [L^{-1}], h ; hidrolik yük [L], K_x, K_y, K_z ; x, y ve z eksenleri boyunca hidrolik iletkenlikleri [$L T^{-1}$], L kaynak temsil eder /batma terimidir [T^{-1}].

Denklemden iki özel özelliğe dikkat edilmelidir. İlk olarak, akış sınırlandırıldığından denklem doğrusal değildir. İkinci olarak, depolama katsayısı sabit olmayıp ancak sınırlı koşullar için özel depolama katsayısı ile sınırsız koşullar için spesifik verim arasında geçiş yapar.

e) Performans Ölçümleri

Standart kalibrasyon istatistikleri, aynı yer ve zamanda ölçülen gözlemler ile hesaplanan değerler arasındaki farklara dayanarak hesaplanır. MIKE SHE modelin doğruluk değerleri için farklı performans ölçümleri kullanılmaktadır. Çünkü farklı ölçümler, hataların ortaya çıkardığı durumlara duyarlıdır ve çeşitli yönlerden hatalar yakalanabilir (DHI, 2009; Holmes vd., 2022).

Bu çalışmada MIKE SHE, simülasyonun model etkinliğini ölçmek için kök ortalama karesel hata (RMSE) (Denklem 33), korelasyon katsayısı (R) (Denklem 34) ve Nash-Sutcliffe korelasyon katsayısı (R^2) (Denklem 35) istatistiksel ölçümleri ile gerçekleştirilmiştir. Burada X_{obs} ; ve X_{model} değerleri sırasıyla i zamanındaki/yerindeki gözlenen ve modellenmiş değerlerdir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{n}} \quad (33)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - \bar{X}_{obs}) \cdot (X_{model,i} - \bar{X}_{model})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - \bar{X}_{obs})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (X_{model,i} - \bar{X}_{model})^2}} \quad (34)$$

$$R^2 = 1 - \frac{(X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - \bar{X}_{obs})^2} \quad (35)$$

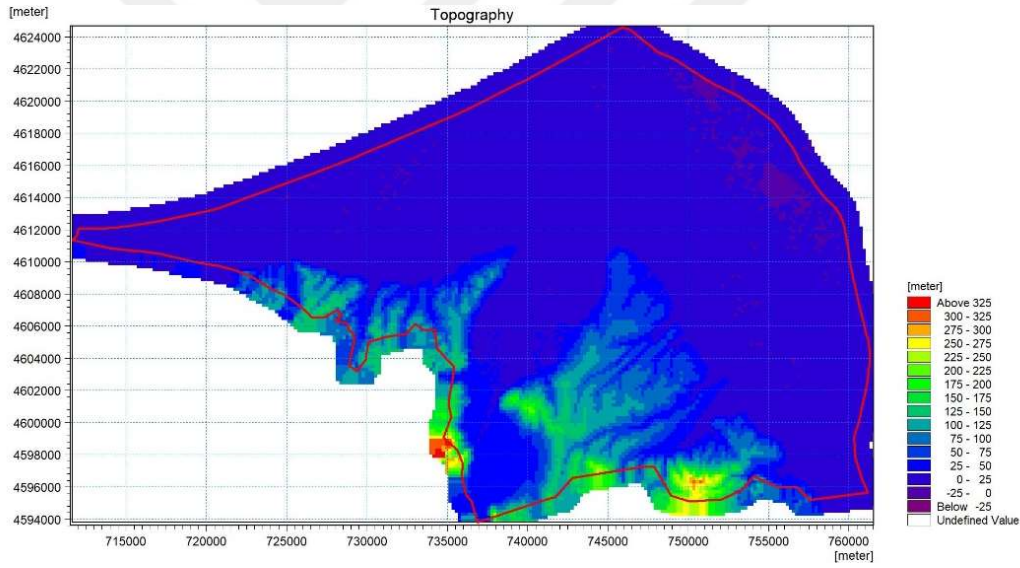
2.2.2. MIKE SHE Sayısal Modeli

Bu bölümde, önceki bölümlerde değerlendirilen ve düzenlenen mevcut verilerin MIKE SHE modeline aktarımı ve model bileşenlerinin oluşturulması verilmiştir. Öncelikli

olarak model sınırları Kızılırmak delta sınırları olarak belirlenmiştir ve birimlerin hidrolojik koşulları ve genel hidrolojik sisteme etkisi, sınır koşulları kullanılarak matematiksel olarak ifade edilmiştir. Topografya ve hesaplama süresi gibi alanın fiziksel özelliklerinin temsili arasında iyi bir denge sağlamak için model $N_x=500m$ ve $N_y=200 m$ 'lik hücre boyutunda oluşmaktadır.

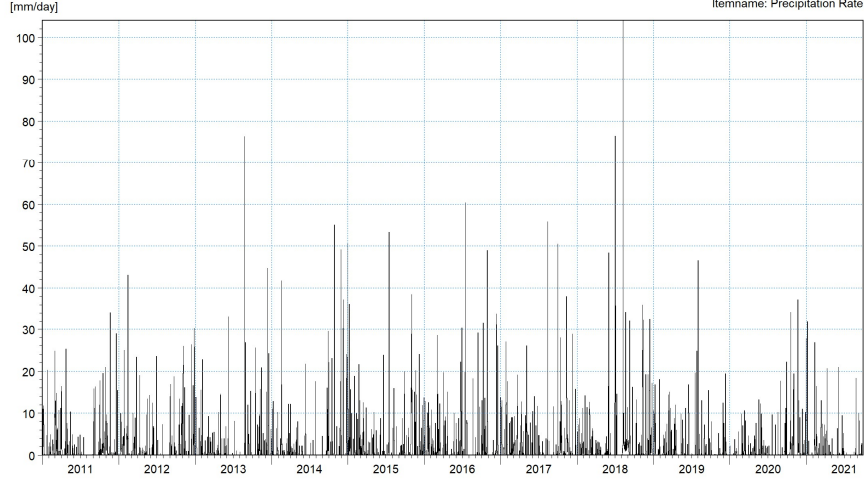
ArcGIS programının oluşturulan raster veriler, MIKE programının yardımcı araçları ile modele uygun veri formatına dönüştürülerek modele aktarılmıştır. Raster verileri MIKE model ortamında, DHI'nın tanımladığı "dfs2" veri formatıyla çalışmaktadır. Arazi verileri Arcgis 10.4 tarafından ASCII formatına ardından ASCII kodu MIKE Zero aracı tarafından "dfs2" formatına dönüştürülmüştür.

Çalışma alanının model sınırları ve topoğrafik yüzeyin modele aktarılmış hali Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 12. MIKE SHE'de bir girdi dosyası olarak Kızılırmak Deltası çalışma alanının topografya haritası

MIKE SHE programında iklim kısmı hava sıcaklığı, referans evapotranspirasyon ve yağış miktarı olmak üzere üç ana girdiden oluşmaktadır. Referans evapotranspirasyon (ET_{ref}), günlük sıcaklık ve yağış miktarı günlük değerler olarak girilmiştir. Yağış verileri, çalışma alanının güneybatısında bulunan kayıt aralığı en çok olan 17622 numaralı Bafra Meteoroloji İstasyonu kullanılmıştır. Bafra İstasyonu için 01 Ocak 2011 tarihinden itibaren olan yağış değeri günlük olarak modele aktarılması (Şekil 13) gösterilmektedir.



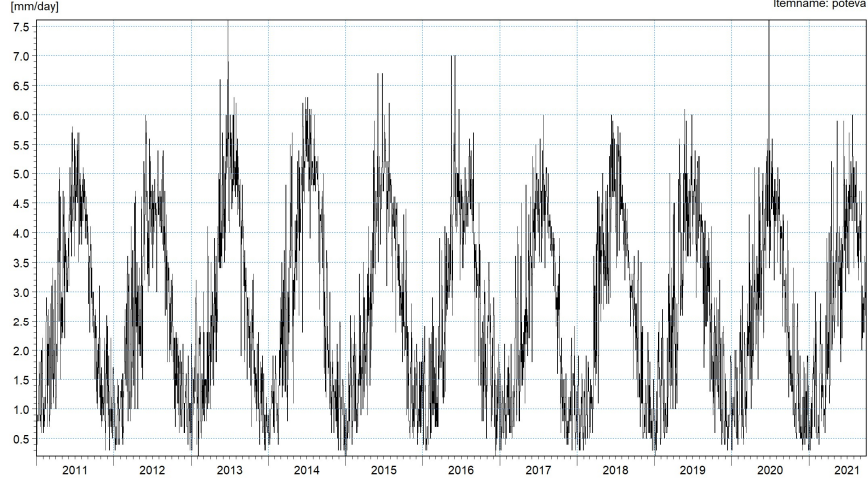
Şekil 13. Model için yağış zaman dosyası dfs0

MIKE SHE modelinde, referans evapotranspirasyon (ET_{ref}) değeri için Gıda ve Tarım Örgütü (FAO – Food and Agriculture Organization) tarafından geliştirilen Penman-Monteith denklemi ile hesaplanmıştır. FAO tarafından türetilen FAO Penman-Monteith denklemi aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır (Allen, Pereira, Raes & Smith, 1998);

$$ET_{ref} = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (36)$$

ET_{ref} ; Referans evapotranspirasyon (mm/gün), R_n ; Bitki Yüzeyindeki Net Radyasyon ($MJ m^{-2} gün^{-1}$), G ; toprak ısı akı yoğunluğu ($MJ / m^2 gün$), T ; 2 m yükseklikte günlük ortalama hava sıcaklığı ($^{\circ}C$), u_2 ; 2 m yükseklikte rüzgar hızı (m/s), e_s ; doymuş buhar basıncı (kPa), e_a ; gerçek buhar basıncı (kPa), $e_s - e_a$; doymuş buhar basıncı açığı (kPa), Δ ; buhar basıncı eğimi ($kPa/^{\circ}C$), γ ; psikrometrik sabit ($kPa/^{\circ}C$) olarak tanımlanmıştır.

ET_{ref} değerinin hesaplamasında FAO tarafından geliştirilen “ET0 Calculator” programı kullanılmıştır. Referans evapotranspirasyon hesaplamalarında gerekli meteorolojik veri, yağışta olduğu gibi 17622 numaralı Bafra Meteoroloji İstasyonu’ndan temin edilmiştir. Hesaplamalar için gerekli olan minimum ve maksimum sıcaklık, bağıl nem ve buhar basıncı parametreleri Bafra istasyonunda 1911 ile 2021 tarihleri arasında kayıt alınmış verilerdir ve hesaplamalarda kullanılmıştır. Geri kalan parametreler ise, çalışma alanı konum bilgisi girilerek “ET0 Calculator” programı tarafından hesaplanmıştır. Delta için hesaplanan ve MIKE SHE modeline aktarılan referans evapotranspirasyon zaman serisi Şekil 14’de verilmiştir.



Şekil 14. Model için Referans Evapotranspirasyon (ET0) zaman dosyası dfs0

MIKE SHE modelinde gerçek buharlaşma değeri, referans evapotranspirasyon değeri ile bitki karakteristiği dikkate alınarak hesaplanmaktadır.

MIKE SHE'deki birçok süreç, doğrudan deltanın bitkisel arazi örtüsü ile ilgili girdilere bağlıdır. Gerçek evapotranspirasyon (ET), bitki örtüsünün ürün büyüme döngüsüne ile yaprak alan indeksine (LAI), köklenme derinliğine ve bu döngünün çeşitli aşamalarındaki ürün katsayısına bağlıdır. Kara akışı, kanopi tutma değerleri ve daha da önemlisi çeşitli bitki örtüsünün Manning pürüzlülük katsayısı bağlıdır. Sızma, kök bölgesinde ve köklenme derinliğinde evapotranspirasyondan etkilenebilen toprak neminden etkilenebilmektedir.

Deltadaki her ürünün yetiştirme döngüsü, o bitki türü için tipik bir değerlere sahiptir. Deltanın yer aldığı Bafra ilçesine mısır, pirinç, kavun, biber, buğday (kışlık), lahana (beyaz), fiğ, çayır mera için çok yıllık otlar (*Plantago coronopus* subsp. *coronopus*-*Hordeum geniculatum*, *Juncus littoralis*-*Alopecurus pratensis*, *Agrostis castellanae* subsp. *byzantina*-*Poa annua*, *Trifolium fragiferum* var. *pulchellum*-*Galium tricornutum*, *Paspalum paspalodes*-*Trifolium hybridum* var. *anatolicum*, *Lolium perenne*-*Medicago minima* var. *minima*), sulak alan (*Schoenoplectus lacustris* L. subsp. *tabernaemontani* C.C. Gmel, *Hydrocharis morsus ranae* L., *Lythrum salicaria* L., *Sparganium erectum* L., *Butomus umbellatus* L., *Polygonum salicifolium* Brouss., *Carex divisa* Huds., *Mentha aquatica* L., *Alisma plantago* L. subsp. *Aquatica*, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel, *Ranunculus trichohyllus* Chaix., *Typha latifolia* L., *Cyperus fuscus* L.) (Hüseyinova, 2008) ve orman için (karışık orman ağaçları olarak başlıca Gürgen, Kayın, Meşe, Gökmar, Çam) başlıca bitki çeşitleridir ve MIKE SHE'de simüle edilmiştir. Model içinde sulak alan ve çayır mera çok yıllık otlar olarak tek bir vejetatif durumda toplanmıştır. Mahsul ve çayır mera,

sulak alan parametreleri için değerler literatürden alınmıştır. Bu parametreler büyüme gününe göre (B.G.) Tablo 8'de özetlenmiştir. MIKE SHE içinde çok dağınık ve küçük olan yerleşim alanları, sulama kanalları ile yol yüzeylerinden oluşan arazi kullanım alanları, mekansal çözünürlük nedenleriyle mahsül olarak değerlendirilip modellenmiştir.

MIKE SHE modeli, ilgili hesaplamalar için Yaprak Alan İndeksi (LAI) ve Kök Derinliği (KD) verilerine konumsal ve zamana bağlı olarak ihtiyaç duymaktadır. İlgili verilerin modele girilmesi için Evapotranspirasyon (ET) paketinin açık olması gereklidir.



Tablo 8. Bitki büyüme gelişim tablosu

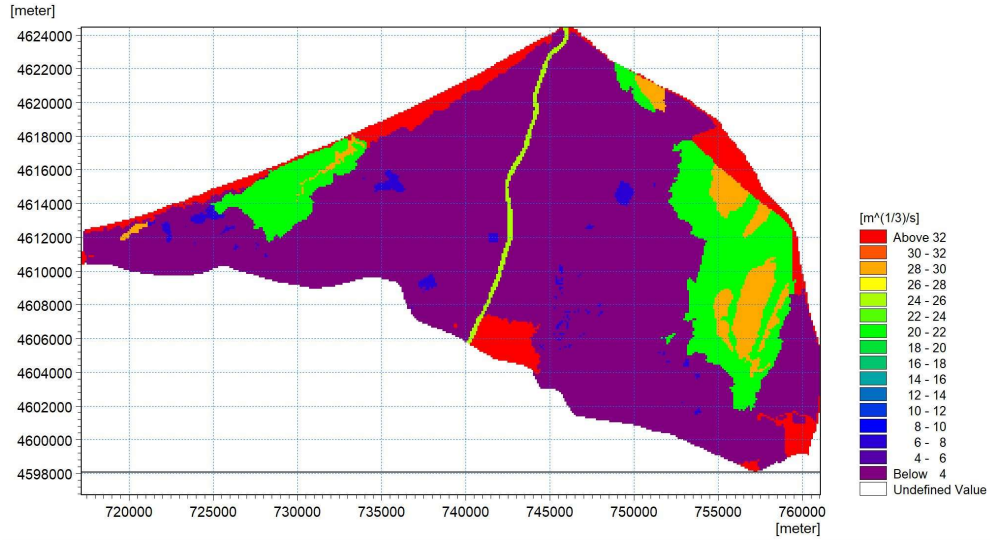
Ürün Gelişim Aşamaları	Kışlık Buğday				Çeltik			
	BG ^a	LAI ^b	KD ^c	Kc ^a	BG	LAI	KD	Kc ^a
Başlangıç	30	0	0,3	1,01	30	1,25	0,4	0,77
Gelişme Dönemi	151	7	1,9	1,09	35	3,8	1,2	1,14
Orta dönem	40	2	2	1,09	60	1,25	1,2	1,14
Son dönem	30	0	2,3	0,18	30	0,8	0,9	0,73
Ürün Gelişim Aşamaları	Çayır-mera				Sulak-Alan			
	BG ^a	LAI	KD	Kc ^a	BG	LAI	KD	Kc ^a
Başlangıç	15	0	300	0,79	180	0	0	0,6
Gelişme Dönemi	35	0,15	700	1,01	60	3,1	0,5	1,2
Orta dönem	125	1,2	700	1,01	90	2,5	0,5	1,2
Son dönem	60	0	300	0,95	35	0,8	0,5	0,6
Ürün Gelişim Aşamaları	Lahana (Beyaz)				Kavun			
	BG ^a	LAI	KD	Kc ^a	BG	LAI	KD	Kc ^a
Başlangıç	30	0,5	0,9	0,51	26	0,01	0,4	0,46
Gelişme Dönemi	45	3,9	0,9	1,02	36	1,65	0,6	1
Orta dönem	35	6,5	1,88	1,02	49	4,23	0,8	1
Son dönem	15	4,5	1,88	0,92	20	2,49	0,8	0,7
Ürün Gelişim Aşamaları	Mısır (DANE)				Orman			
	BG ^a	YAI	KD	Kc ^a	BG ^a	YAI	KD	Kc ^a
Başlangıç	30	1,5	0,4	0,4	90	4	5	0,31
Gelişme Dönemi	40	5,5	1	1,14	92	4	5	0,61
Orta dönem	45	4	1	1,14	92	4	5	0,58
Son dönem	45	1	1	0,27	91	4	5	0,33
Ürün Gelişim Aşamaları	Fığ				Biber			
	B.G.	LAI	KD	Kc	B.G.	LAI	KD	Kc
Başlangıç	35	0	0	0,98	30	0	0,4	0,56
Gelişme Dönemi	81	4,06	0,6	1,11	30	0,34	0,6	1
Orta dönem	28	6,12	0,7	1,11	45	2	1,21	1
Son dönem	18	0	0,8	1,04	30	4	1,21	0,84
BG.: Büyüme Günü, LAI :yaprak alan indeksi, KD: kök derinliği, Kc: Bitki Katsayısı a: (								

Yüzeysel akış modülü için; kara akışı, net yağış oranının toprağın infiltrasyon kapasitesini aşmasından sonra ortaya çıkar, su daha sonra zemin yüzeyinde göllenir. Bu akışı

hesaplamak için ana parametre Strickler pürüzlülük katsayısıdır (M). Yüzey pürüzlülüğü ile ilişkili MIKE SHE girdi parametresi Manning'in pürüzlülük katsayısının tersidir, çalışma alanı için Manning pürüzlülük katsayısı (n) ve Manning'in M'si, Tablo 9'da gösterilmiştir. MIKE SHE modeli dağıtılmış noktalar kullanıldığında girdi değerlerini enterpole eder, bu nedenle Şekil 15'de alan sınırına yakın hücreler Tablo 9'da belirtilmeyen değerlere sahip olamayabilir.

Tablo 9. Arazi kullanımı için Manning pürüzlülük katsayısı n ve Manning M değerleri

Alan Adı	Manning n	Manning M
Tarım	1	1
Göl	0.035	29
Kumsal	0.03	33
Nehir Yatağı	0.04	25
Orman	0.16	6
Sulak Alan	0.05	20
Toprak	0.035	29
Çayır Mera	1.04	1
Şehir	0.03	33



Şekil 15. Arazi kullanımına ait Manning M değeri

Doygun olmayan zon modülü, basitleştirilmiş yerçekimi akışından kesin ve toprak profili için basit iki katmanlı su dengesinden daha uygun olduğu için Richards denklemini

çözerek toprak profilindeki akımı modellemektedir. Richards denklemindeki parametreler toprak nemi çekilme eğrisi ve hidrolik iletkenlik eğrisidir. Her toprağın hidrojeolojik özellikleri için benzersiz bir değer seti vardır ve bu değerler toprağın dikey profili boyunca da farklılık gösterir. Kum, silt ve kil yüzdesini kullanan toprak tekstür sınıfları ve araştırma alanından elde edilen yığın yoğunlukları, van Genuchten parametrelerini elde etmek için MIKE SHE toprak özellik dosyalarına girilmiştir. Bu parametreler: doymuş nem içeriği θ_s , artık nem içeriği θ_r , tarla kapasitesindeki basınç yüksekliği p_{Ffc} , solma noktasındaki basınç yüksekliği p_{Fw} , α , n ve l . Son üç parametre ampirik sabitler olup, α [L^{-1}] ve n [-] eğri şekli faktörleridir, l [-] ise bir gözenek kıvrımlılığı / bağlanabilirlik parametresidir. Doymamış hidrolik iletkenliği belirlemek (37) ve alıkonma eğrisi (38) için van Genuchten formülü:

$$K(\Psi) = K_r + \frac{((1 + |\alpha\Psi|^n)^m - |\alpha\Psi|^{n-1})^2}{[1 + |\alpha\Psi|^n]^{m(l+2)}} \quad (37)$$

$$\theta(\Psi) = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \cdot \Psi)^n]^m} \quad (38)$$

Ψ toprak matrisinin basınç yüksekliğidir [L]; $K(\Psi)$, basınç yüksekliğine göre hidrolik iletkenlik fonksiyonu; $\theta(\Psi)$ basınç yüksekliğine göre toprak nem fonksiyonudur.

Toprak karakteristikleri 0 - 0,3 m, 0,3 - 0,6 m, 0,6 - 1,0 m ve 1,0 - 3 m derinlikler olmak üzere toplam 3 katmanda tanımlanmıştır. Birim hacim ağırlığı ve toprak su tutma kapasitesinin toprak profili derinliği ile ilişkilerdir. Birim hacim ağırlığı derinlikle birlikte artar, bu da su için mevcut olan etkili gözenek alanını azaltır ve böylece doygunluğun meydana geldiği toprak nemini azaltır. Bu yüzden, düşey yönde Dikey yönde her hücrede bir toprak sütunu oluşturulmuştur ve toprak özelliklerindeki farklılık, toprak sütunundaki farklı yatay katmanlarla Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 10. Çalışma alanındaki toprakların fiziksel özellikleri

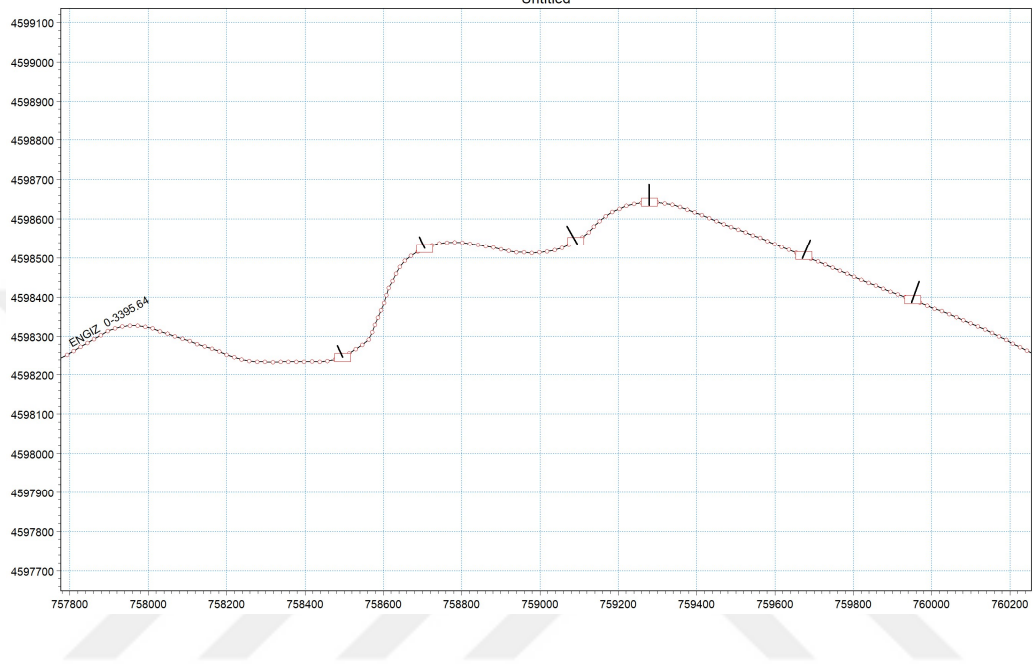
Derinlik	Toprak Numarası	Tekstür Sınıfı	Hacim ağırlığı (kg/m ³)	θ_{sat} (%)	θ_r (%)	α (cm ⁻¹)	n (---)	Ks (m s ⁻¹)
0-0.3 m	1	siltli kil	1520	0.360	0.112	0.020	1.356	1.14E-06
	2	siltli kil	1500	0.390	0.080	0.031	1.470	1.26E-06
	3	tın	1350	0.400	0.060	0.040	1.408	1.97E-06
	3	siltli killi tın	1410	0.442	0.070	0.049	1.397	1.43E-06
	5	killi tın	1430	0.402	0.080	0.060	1.450	1.06E-06
	6	tın	1380	0.381	0.052	0.030	1.476	1.51E-06
	7	kil	1500	0.396	0.067	0.035	1.360	1.68E-06
0.3-0.6 m	1	siltli kil	1530	0.420	0.114	0.119	1.330	1.49E-06
	2	killi tın	1530	0.406	0.085	0.018	1.326	1.11E-06
	3	siltli killi tın	1490	0.420	0.090	0.172	1.368	1.16E-06
	3	siltli tın	1400	0.430	0.050	0.015	1.610	4.05E-06
	5	kil	1550	0.440	0.060	0.032	1.430	1.8E-06
	6	ince kumlu tın	1480	0.397	0.040	0.030	1.443	1.1E-05
	7	tınlı kum	1550	0.376	0.050	0.090	1.330	1.04E-05
0.6-1 m	1	killi tın	1550	0.427	0.110	0.050	1.380	1.09E-06
	2	siltli kil tın	1480	0.450	0.075	0.072	1.370	1.35E-06
	3	tın	1450	0.400	0.063	0.040	1.324	1.53E-06
	3	siltli tın	1450	0.415	0.060	0.014	1.570	3.56E-06
	5	kil	1600	0.440	0.049	0.040	1.450	1.54E-06
	6	ince kumlu tın	1500	0.370	0.050	0.030	1.443	1.1E-05
	7	tın	1530	0.398	0.012	0.050	1.310	1.34E-06
1-3 m	1	siltli kil	1590	0.436	0.090	0.080	1.400	1.13E-06
	2	siltli kil	1600	0.400	0.089	0.070	1.370	1.37E-06
	3	siltli kil	1620	0.403	0.110	0.017	1.330	1.39E-06
	3	siltli tın	1520	0.400	0.040	0.020	1.550	3.47E-06
	5	kil	1590	0.430	0.070	0.061	1.420	1.7E-06
	6	ince kumlu tın	1550	0.330	0.050	0.020	1.573	1.17E-05
	7	tın	1580	0.398	0.060	0.050	1.330	1.45E-06

Nehir ve göller modülünde nehir akışlarını daha iyi simüle etmek için MIKE SHE modeli, hidrodinamik MIKE 11 modeliyle (1D model) birleştirilir. MIKE 11 nehir ağı, MIKE SHE ızgarasına enterpolasyonlu sayısallaştırılmış noktalardan ve hesaplamalı düğümlerden oluşmaktadır. MIKE SHE, alışverişi MIKE SHE ağıyla kesişen MIKE 11 nehir

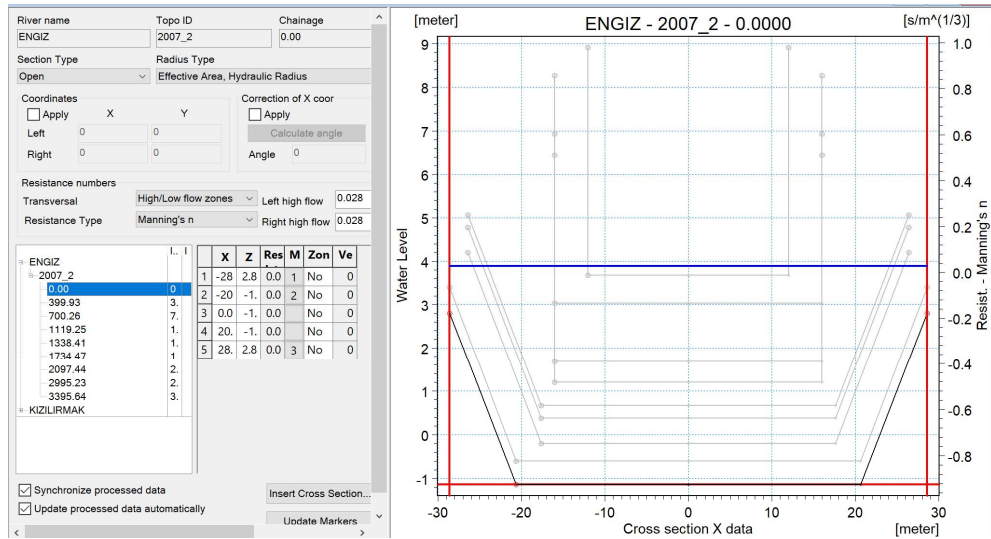
ağının bir alt kümesiyle sınırlar. MIKE SHE'deki nehir bağlantısı konumları, MIKE 11 ağını tanımlayan koordinatlara bağlı olarak otomatik olarak konumlandırılır. MIKE 11 aynı zamanda alternatif yatak malzemelerinin belirlenebilmesi özelliğini de içermektedir. Doymuş bölge ile nehir arasındaki değişim, yalnızca akifer malzemesinin hidrolik iletkenliğine, yalnızca nehir yatağı malzemesinin iletkenliğine veya hem nehir yatağının hem de akifer malzemesinin iletkenliğine bağlı olabilir. (DHI, 2009).

MIKE 11 için girdiler hendek ağı yolu, hendek enine kesitleri, drenaj hendeklerinin aşağı akış uçlarının sınır koşulları (debi-su seviyesi) ve yatak direncinden (Manning pürüzlülük katsayısı) oluşmaktadır.

Kızılırmak Deltasını oluşturan Kızılırmak Nehrinin nehir yatağı üzerinde yapılan değişiklikler, üzerine yapılan barajlar gibi sebeplerden doğal akış bozulmuş ve uzun yılları kapsayan akım gözlem istasyonu bulunmamaktadır. Her nehir kolunun geometrisi enine kesitler (genişlik ve derinlik) ile belirlenmektedir, bu model için de uygulanan kesitler DSI nehir ıslah projelerinden ve DEM' den çıkarılarak elde edilmiştir. Engiz deresine ait DSI' den elden edilen yaklaşık 3 km'lik nehir kolu ve nehir kolunun geometrisini belirleyen 5 adet enine kesitler ve güzergah (genişlik ve derinlik) örnek olarak Şekil 16 ve Şekil 17'de sunulmuştur. Tüm kollar için Manning katsayısı $n = 0.028$ olarak alınmıştır.



Şekil 16. Engiz Nehir Güzergahı



Şekil 17. Nehir Kesitleri

Toprak profilinin jeolojik özellikleri, doymamış ve doymuş bölge arasındaki suyun etkileşimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Daha sıkı veya akışı daha az olarak kabul

edilen topraklar, orta derecede geçirgen ve iyi drene olma eğiliminde olan daha az sıkı toprağa göre yeraltı faaliyetlerine daha az su katkısında bulunmaktadır. Yüzey altı faaliyetlerini etkileyen özellikler arasında doymuş bölge katmanlarının hidrolik iletkenliği, özgül verim ve özgül depolama yer almaktadır. Bu özelliklere ilişkin değerler Tablo 11'de gösterilmektedir; dikey ve yatay doymuş hidrolik iletkenlikler DSI' ye ait Hidrojeolojik etüt raporundan belirlenmiştir. MIKE SHE modelinde özgül verim ve özgül depolama varsayılan değerlerde tutulmuştur çünkü çalışma alanının genel yapısı itibari ile serbest akifer olup akiferin sınırlandırılmamış olduğu düşünülmüştür ve raporda bahsedilen zemin türleri için belirlenmiş değerler varsayılan değerlere uyumaktadır.

Tablo 11. Doygun bölgenin hidrolik özellikleri

Katman	Üst Seviye (yüzeyin m altında)	Alt Seviye (yüzeyin m altında)	Yatay Ks (m s ⁻¹)	Düşey Ks (m s ⁻¹)
Üst	0	3	6.24x 10 ⁻⁴	4.19 x 10 ⁻⁴
Alt	3	30	6.98x 10 ⁻⁵	4.66 x 10 ⁻⁵

Bu çalışmada, çalışma alanı için derin sızıntıyı simüle etmek için iki katman kullanılmıştır. İlk katman, doymamış bölge doymun hale geldiğinde yüzey seviyesini doğal su tablasının derinliğine kadar simüle etmek, son katman, su tablasının yüzeye göre 3 ila - 30 m arasındaki yeraltı suyu aktivitesini simüle etmek için kullanılmıştır.

Model zaman adımı, yağış ve sızma oranlarına bağlı olarak MIKE SHE içinde otomatik olarak ayarlanmıştır (DHI, 2009) ve maksimum zaman adımı 24 saattir. Her model çalışması için hesaplama süresi yaklaşık 2 saattir.

2.2.3. Kızılırmak Deltası İklim Değişikliğinin İrdelenmesi

Gelecekteki iklim değişikliği, dünya genelinde büyük ilgi gören ve giderek daha fazla önem kazanan bir konu olmakla birlikte su kaynaklarının yönetiminde büyük bir öneme sahiptir (Vo; 2015, Choi, Lee, Jo, & Kim, 2010). IPCC 'nin (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) altıncı değerlendirme raporunda, atmosferdeki sera gazı konsantrasyonlarında gözlenen artışların tartışmasız bir şekilde insan faaliyetlerinden kaynaklandığı ve bu sebeple insan kaynaklı iklim değişikliğinin dünyanın her yerinde sıcak hava dalgaları, yoğun yağışlar, kuraklıklar ve tropik siklonlar gibi birçok ekstrem hava ve

iklim olaylarına sebep olacağı kesin olarak ortaya koymaktadır. 1850 yılından bu yana, her on yıllık dönem bir önceki on yıldan daha sıcak olmuştur ve son kırk yılın her biri, önceki on yıllardan daha sıcak geçmiştir. Küresel yüzey sıcaklığındaki artış, son 2000 yılın herhangi bir döneminde görülen değişimlerden daha büyük ve hızlıdır. Küresel yüzey sıcaklığının 2050 yılına kadar artmaya devam etmesi beklenmektedir. Sera gazı emisyonlarında önemli ölçüde düşüşler olmadıkça, küresel sıcaklık artışının 2030 yılların başlarında 1,5°C eşiğini büyük olasılıkla aşacağı ve 21. yüzyılda 2°C ve üzeri ısınma seviyelerine ulaşacağı tahmin edilmektedir (IPCC 2021).

Hidrolojik faktörlerin iklim değişikliğine tepkisi 20. yüzyılın ortalarından beri incelenmekte ve bununla ilgili araştırmalar aktif olarak yürütülmektedir (Zhang, Zhang, Song, & La, 2021) Gelecekteki iklim değişikliğinin tahminleri büyük ölçüde tarihsel iklim analizi, iklim deneyleri ve AO-GCM'ler (Atmosferik-Okyanus Genel Dolaşım Modelleri) yoluyla yapılır. Araştırmaların çoğu, öncelikle geçmiş ve mevcut iklimleri simüle etmek için tasarlanmış küresel atmosferik genel dolaşım modellerini (GCM'ler) kullanmaktadır. Bunun sebebi, atmosferik ve deniz süreçlerini fiziksel ve matematiksel olarak uygulayarak gelecekteki iklimi nicel olarak tahmin edebilmeleridir ve ilk olarak Manabe ve Bryan (1969) tarafından geliştirilmiştir. Ancak GCM'ler, karmaşık özellikleri ve hesaplama kapasitesinin sınırlandırılması nedeniyle genellikle yüzlerce kilometre mertebesinde çok kaba uzamsal çözünürlükle çalışır durumdadır. GCM'lerden alınan yaklaşık 200-500 km çözünürlüğe sahip veriler, bölgesel etki çalışmaları için gelecekte hidrolojik faktörlerin değişimini tahmin etmek için uygun olmayabilir ve büyük hücre boyutuna sahip iklim verileri, gelecekteki olayların meydana gelmesini doğru bir şekilde temsil edemeyebilir. Sonuç olarak, özellikle karmaşık iklim koşullarına sahip alanlarda hidrolojik modellerde yanlış sonuçlara yol açabilir. Bu sorunu aşmak için bölgesel veya istasyon ölçeğine küçültmek gerekmektedir. (Choi, Lee, Jo & Kim, 2010, Do, Udo & Mano, 2012; Zhang, Zhang, Song, & La, 2021). Dinamik Ölçek Küçültme (DD) ve İstatistiksel Ölçek Küçültme (SD) olmak üzere iki ana ölçek küçültme tekniği vardır. Bununla birlikte, her yöntemin avantajları ve dezavantajları vardır. Dinamik ölçek küçültme yöntemi daha yüksek çözünürlüklerde çözümlenir ve bölgesel iklim özelliklerini daha gerçekçi bir şekilde tanımlama yeteneklerine sahiptirler. Buna karşılık, bu teknik hesaplama kabiliyeti, sınırlı senaryo sayısı ve GCM sınır zorlamalarına bağımlılığı nedeniyle sakıncalıdır (Fowler, Blenkinsop & Tebaldi, 2007). İstatistiksel Ölçek Küçültme tekniği esnek ve hızlı bir çözüm sunması, tarihsel verilerle kalibrasyon yaparak gelecekteki iklim değişimlerini daha doğru şekilde tahmin etme ve yerel

iklim etki analizlerine uygunluk bulması yönünden sıklıkla kullanılmaktadır (Bedia, Baño-Medina, Legasa, Iturbide, Manzanas, Herrera, Casanueva, San-Martín, Cofiño & Gutiérrez, 2020).

IPCC, sera gazı emisyonlarının gelecekteki iklim üzerindeki etkilerini tahmin edebilmek amacıyla, demografik, sosyo-ekonomik ve teknolojik gelişmelere dayalı alternatif senaryolar geliştirmiştir. Bu senaryolar, 'altıncı değerlendirme raporu' (SSP) kapsamında yayımlanmış olup, bir GCM' ye uygulanarak iklim üzerindeki potansiyel etkileri değerlendirilmelidir (IPCC, 2021; Choi, Lee, Jo & Kim, 2010). Tablo 12'de özet olarak sunulmuştur.

Tablo 12. IPCC altıncı değerlendirme raporuna göre paylaşılan sosyoekonomik yollar

SSP Senaryosu	Açıklama	Sera Gazı Emisyonları	2100 Yılına Kadar Tahmini Küresel Sıcaklık Artışı (°C)
SSP1-1.9 (Yeşil Yol Sürdürülebilirlik)	Çevre dostu politikalar, düşük eşitsizlik, düşük nüfus artışı, yenilenebilir enerjiye hızlı geçiş.	Çok Düşük	1.4°C (1.0 - 1.8°C arası)
SSP1-2.6 (Sürdürülebilir Kalkınma)	Paris Anlaşması hedeflerine ulaşan, orta düzeyde sürdürülebilir kalkınma senaryosu.	Düşük	1.8°C (1.3 - 2.4°C arası)
SSP2-4.5 (Orta Yol - Devam Eden Trendler)	Mevcut politikalar büyük değişiklik olmadan devam ediyor, sürdürülebilirlik çabaları sınırlı.	Orta	2.7°C (2.1 - 3.5°C arası)
SSP3-6.0 (Bölgesel Rekabet - Parçalanmış Dünya)	Küresel iş birliği düşük, ulusal çıkarlar ön planda, çevre politikaları yetersiz.	Yüksek	3.6°C (2.8 - 4.6°C arası)
SSP4-6.0 (Eşitsiz Dünya)	Teknolojik gelişmeler bazı ülkelerde hızla ilerlerken, diğerleri geri kalıyor, büyük ekonomik ve sosyal eşitsizlikler var.	Orta-Yüksek	3.6°C (2.8 - 4.6°C arası)
SSP5-8.5 (Fosil Yakıt Odaklı Kalkınma - Yüksek Enerji Kullanımı)	Ekonomik büyüme fosil yakıtlarla sağlanıyor, sürdürülebilirlik ikinci planda.	Çok Yüksek	4.4°C (3.3 - 5.7°C arası)

Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi (CMIP), iklimdeki geçmiş, şimdiki ve gelecekteki değişiklikleri daha iyi anlamak için tasarlanmış uluslararası bir iklim modelleme projesi olmakla birlikte gelecekteki insan faaliyetlerinin iklim üzerindeki etkilerini tahmin etmek için kullanılır. CMIP, iklim modellerinin çıktısını standart bir formatta kamuya açık hale getirerek geniş bir kullanıcı kitlesinin analiz yapmasını sağlamaktadır. Veriler, Dünya

Sistemi Izgara Federasyonu (ESGF) aracılığıyla toplanır, arşivlenir ve erişime sunarak birçok modellenin analizlerini kolaylaştırır. Son sürümü olan CMIP6, CMIP5'e kıyasla daha geniş model çeşitliliği, modüler bir organizasyon yapısı ve geliştirilmiş fiziksel süreçlerle iklim projeksiyonlarını detaylandırmıştır. CMIP6'da denge iklim duyarlılığı (ECS) aralığı genişlemiş, özellikle bulutlar ve yüzeyin güneş ışığını yansıtma şekli nedeniyle bazı modellerde daha yüksek ECS değerleri gözlemlenmiştir. Atlantik Meridyenel Devrilme Dolaşımı (AMOC) zayıflaması ve deniz buzu azalmasıyla ilişkili yansıtıcılık değişimlerinin güçlenmesi, CMIP6'nın önceki sürümlere göre kutup bölgelerindeki ısınma ve geri besleme mekanizmalarını daha iyi yakalayabildiğini gösterir. Ancak, bu durum aynı zamanda bazı CMIP6 modellerinin denge iklim duyarlılığını (ECS) önceki modellere göre daha yüksek tahmin etmesine yol açmış ve bazı belirsizlikleri beraberinde getirmiştir. Ayrıca, CMIP6 senaryo çeşitliliğini artırarak RCP senaryolarının yerine, iklim değişikliğine karşı farklı sosyoekonomik tepkileri modelleyen SSP senaryolarını kullanmıştır (Eyring, Bony, Meehl, Senior, Stevens, Stouffer & Taylor, 2015; Wang, Li, Wang, Zuo, Wang, & Xie, 2025).

Küresel ve bölgesel iklim modelleri (GCM ve RCM'ler), gerçek dünya verileriyle karşılaştırıldığında genellikle sistematik hatalar içerir. Bu hatalar, modelleme süreçlerindeki eksikliklerden, düşük çözünürlüklerden veya belirli bölgelere özgü dinamiklerin yeterince temsil edilememesinden kaynaklanır. Yanlılık düzeltme yöntemi (Bias correction), bu sistematik hataları düzelterek daha güvenilir simülasyonlar sağlar. Yanlılık düzeltme yöntemleri doğrusal ölçekleme, yerel yoğunluk ölçekleme, varyans ölçekleme, güç dönüşümü, dağılım haritalama, ampirik kantil haritalama ve delta değişim yöntemi gibi birden fazla yanlılık düzeltme yöntemi vardır (Körpınar, 2023).

Kızılırmak Deltası sulak alanının gelecekteki iklim değişikliği tahmini için, yağış ve sıcaklık (maksimum ve minimum) verileri gerekli olmalıdır. Bu çalışmada, Dünya Sistemi Izgara Federasyonu (ESGF) web sitesinden (<https://esgf-node.llnl.gov/projects/cmip6/>) elde edilmiştir. Elde edilen veri setleri, gerekli tüm iklim değişkenlerinin mevcudiyetine bağlı olarak ve CMIP6 tarafından geliştirilen dönemler, iki SSP2-4.5 (ara emisyonlar) ve SSP5-8.5 (en kötü durum senaryosu) temsilcisi için tarihsel (1985-2014), yakın gelecek (2025-2050), orta gelecek dönemler (2051-2075) ve uzak gelecek (2076-2100) dönemlerini kapsamaktadır. Bu çalışmada EC-Earth3-CC (r1i1p1f1), MRI-ESM 2-0 (r1i1p1f1) ve CNRM-CM6-1 (r1i1p1f2) olmak üzere 3 adet GCM kullanılmıştır.

İklim Modeli verileri CMhyd yazılımı (<https://swat.tamu.edu/software/cmhyd/>), dağılım haritalaması kullanılarak modellerin Gamma dağılımı yanlılık düzeltmesini

uygulamak için kullanılmıştır. 1985'ten 2014'e kadar olan tarihsel dönem ve sırasıyla 2025'den 2050'ye, 2051'den ve 2075'e ve 2076'dan 2100'e kadar olan kısa, orta ve uzun vadeli dönemler için düzeltilmiştir. Gamma dağılımına dayalı Beşli Haritalama (QM) yanlılık düzeltmesi, diğer tekniklere kıyasla özellikle yağış analizi için yaygın kullanıldığı ve araştırmalarda daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Matematiksel modeli Denklem 39'da verilmiştir Fetene, Lohani & Mohammed, 2024). Burada α ve β sırasıyla biçim ve ölçek parametrelerini, Γ ise Gamma fonksiyonunu temsil etmektedir. Bu nedenlerden dolayı, bu araştırmada kullanılan yanlılık düzeltme tekniği gama fonksiyonudur.

$$f_y(x, \alpha, \beta) = x^{\alpha-1} \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} e^{-\frac{x}{\beta}}; x \geq 0; , \beta > 0 \quad (39)$$

Daha sonra, iki senaryo (yağış ve sıcaklık verileri) için düzeltilmiş hem geçmiş (1985-2014) hem de gelecekteki meteorolojik veriler (2025- 2100) gözlemlenen verilerle (1985-2014) karşılaştırılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu Bölümde, ilk olarak MIKE SHE modelinden elde edilen kalibrasyon sonuçları sunulmaktadır, ardından model doğrulama sonuçları gelmektedir. Daha sonra, iki farklı Sosyoekonomik Yol Haritası (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5) senaryosu altında MRI-ESM2-0, CNRM-CM6-1, EC-Earth3-CC olan GCM iklim modelleri, yağış ve sıcaklık verilerinin geçmiş gözlem verileri ile düzeltilmiş ve karşılaştırılmıştır. Bu analizler sayesinde, geçmiş dönemleri referans alarak gelecek dönemde oluşacak yağış sıcaklık farklarının iklim değişikliği açısından irdelenmesi ve çıkan sonuçların hidrolojik etkisi olarak değerlendirmelerinin sonuçları sunulmaktadır.

3.1. Model Testi ve Doğrulama

3.1.1. Model Kalibrasyonu ve Geçerliliği

Klemeš (1986), Refsgaard, (1997) ve Henriksen ve arkadaşları (2003) gibi birçok araştırmacının yaklaşımını temel alarak, bölünmüş örneklem yöntemi MIKE SHE modelinin kalibrasyonu ve doğrulaması için uygulanmıştır. Modelleme için 2011-2021 yılları arasında çalışılmıştır. Bu yıllar içerisinde, 2011-2014 zaman aralığı kalibrasyon, 2015-2021 zaman aralığı ise doğrulama süreci olarak tanımlanmıştır. Bu zaman aralıklarında, model test edilmiştir. Bu kısımda kalibrasyon sürecinde kullanılan parametre yüzey akışı gözlemleri ile simülasyon değerleri kalibrasyon ve doğrulama sürecinde oluşturulan grafikler ve model performans istatistik değerleri verilmiş ve daha sonrasında modele dayalı 2011-2021 yılları arasındaki su bütçesi hesaplanmıştır.

Girdi verilerindeki hatalar ve kaba simülasyon çözünürlüğü nedeniyle, dağıtık modelin fiziksel özellikleri tam olarak temsil edilememekte ve bu durum modelin simülasyon performansında düşüşe yol açmaktadır. Modelin davranışını mümkün olduğunca doğru bir şekilde simüle eden en uygun parametre değerleri kümesini bulmak ve zayıf yönlerin iyileştirilebilmesi için kalibrasyon gereklidir. Kalibrasyon, model girdi değerlerini tam olarak tanımlamak için önemli özelliklerin doğru ve/veya tam olarak ölçülemediği karmaşık hidrolojik sistemler için faydalı modeller geliştirmek açısından kritik öneme sahiptir (Vo, 2015). Ayrıca doğadaki fiziksel süreçleri matematiksel denklemlerle tanımlamak zor bir iş olması nedeniyle, model parametrelerini kabul edilebilir aralıkta ayarlayarak, model

tarafından tahmin edilen değerler ile gözlemlenen değerler arasında kabul edilebilir bir uyum elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Karmaşık sistemlerin modelleri genellikle çok sayıda parametreye sahip olacak şekilde tasarlanmaktadır. Birçok bileşenden ve birbirleri ile bağlantılı parametrelerden oluşan tam dağıtılmış bir modeli kalibre etmek zordur ve birçok parametreye özel önem verilmesi ve hatta akış grafikleri üzerinde küçük etkisi olan unsurlar bile göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Refsgaard ve diğerleri (1995) tarafından geliştirilen yaklaşıma göre, MIKE SHE kalibrasyonunun tüm parametreler için uygulanmasının gereksiz olduğu ve kalibrasyon işleminde ayarlamaya tabi tutulan parametre sayısının mümkün olduğunca küçük tutulması gerektiği vurgulanmıştır.

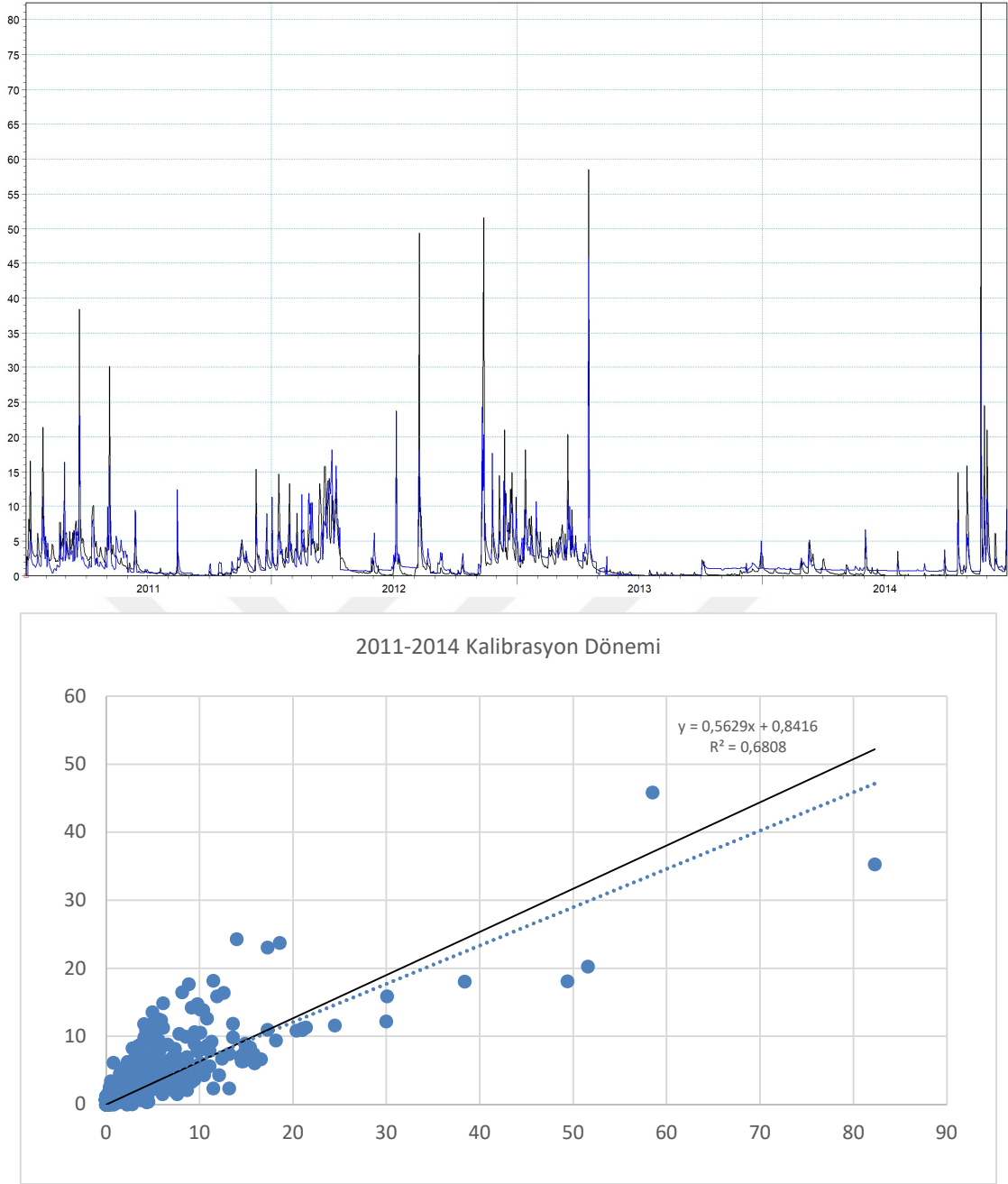
Kızılırmak Deltası nehir sistemi oldukça karmaşık ve çok yönlü bir yapıya sahip olmakla birlikte deltada ana nehir olan Kızılırmak Nehri Karadeniz'e dökülmeden önce deltada birçok farklı kola ayrılmaktadır. Ana nehrin uzunluğu delta alanı içerisinde 25 km'ye ulaşmakta ve bu sınırlar dahilinde ana nehir üzerinde herhangi bir akış ölçüm istasyonu bulunmamaktadır. Ancak çalışma alanı içerisinde bulunan Engiz deresine ait bir akış ölçüm istasyonu bulunmaktadır. Ayrıca model alanına ait yeraltı suyu yüksekliğine ilişkin ölçüm verileri bulunmamaktadır. Bu durum, simülasyonlar ve gözlemler arasındaki sonuçların karşılaştırılması için çeşitli zorluklara neden olmakta ve dağıtık modelin performansını düşürmektedir. Buna göre Engiz deresi üzerinde bulunan gözlem istasyonu MIKE SHE model çıktısıyla karşılaştırılarak güvenilirlik artırılmaya çalışılmıştır.

Modelin pik akışları, ortalama normal nehir akışlarını, sızma oranını, kara akışı ve temel akışı tahmin edebilmek için parametreler ayarlanmıştır ve kalibre edilmiş değer aralıkları aşağıdaki Tablo 13'de gösterilmiştir.

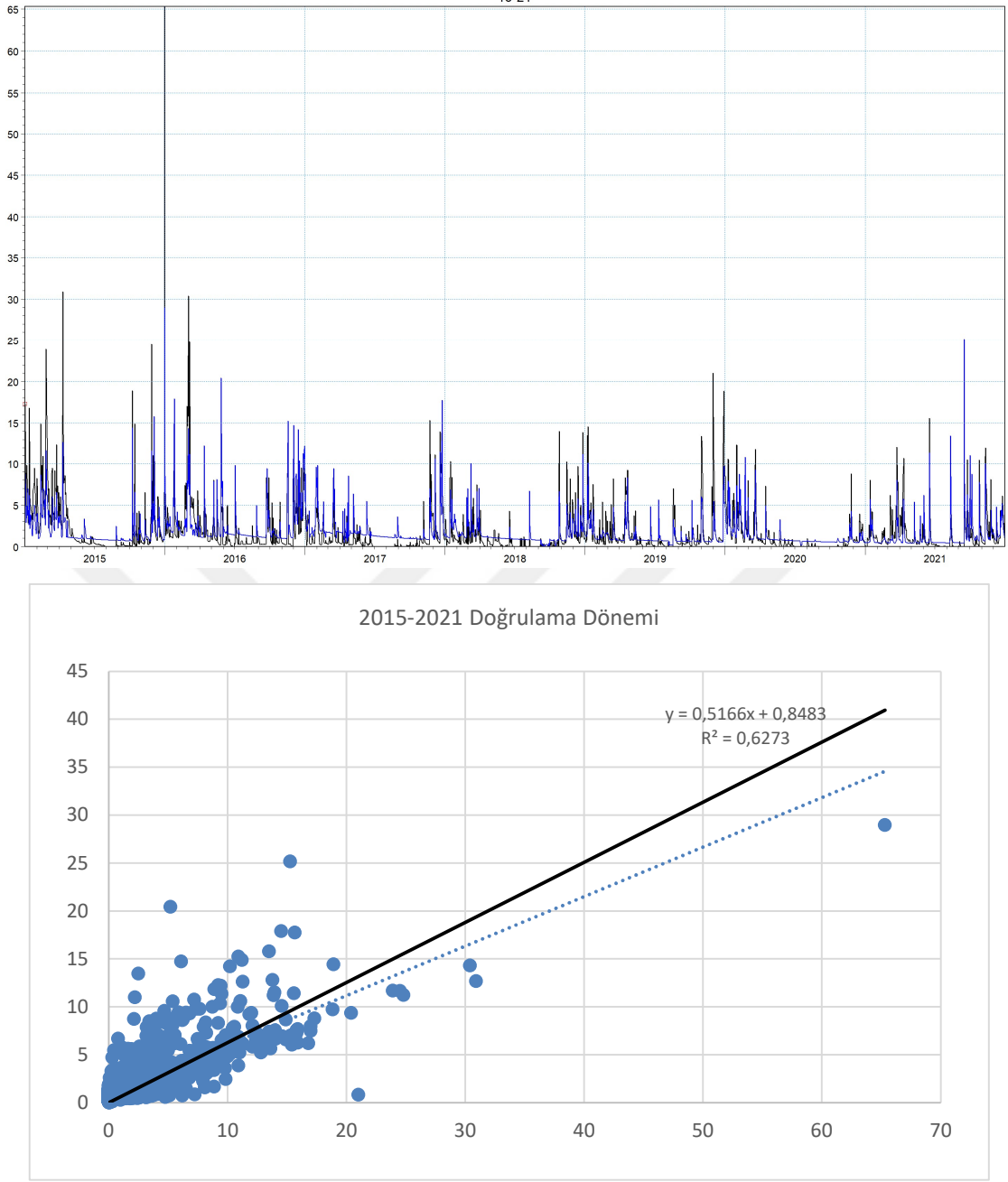
Tablo 13. Kalibrasyon için kullanılan parametreler ve aralıkları

Modül	Parametreler	Aralık Değer
Kara Akışı	Alıkoyma depolaması (mm)	2-25
Doygun Bölge	Yatay Hidrolik İletkenlik (m/s)	1×10^{-6} - 1×10^6
Doygun Bölge	Dikey Hidrolik İletkenlik (m/s)	1×10^{-6} - 1×10^6
Kanal Akışı	Manning katsayısı ($s/m^{1/3}$)	0.025-0.030
Kanal Akışı	Sızıntı katsayısı (s^{-1})	1×10^{-4} - 1×10^{-6}

Şekil 18 ve Şekil 19'da gözlemlenen ve simüle edilen günlük ortalama akış için kalibrasyon ve doğrulama performansının sonucunu göstermektedir.



Şekil 18. Kalibrasyon dönemi boyunca ölçülen ve simüle edilen deşarj verileri



Şekil 19. Doğrulama dönemi boyunca ölçülen ve simüle edilen deşarj verileri

Simüle edilen ve ölçülen veriler arasındaki genel uyumu göstermek ve model performansını değerlendirmek için kriter olarak istatistiksel hesaplamalar (kök ortalama karesel hata (RMSE), korelasyon katsayısı (R) ve Nash-Sutcliffe korelasyon katsayısı (R^2)) kullanılmıştır.

Kalibrasyon ve doğrulama dönemi için gözlenen ve simüle edilen karşılaştırmalı verilere göre istatistiksel performans, Tablo 14'de verilmiştir.

Tablo 14. Kalibrasyon, Doğrulama ve Model Sonuçları İçin İstatistiksel Değerler

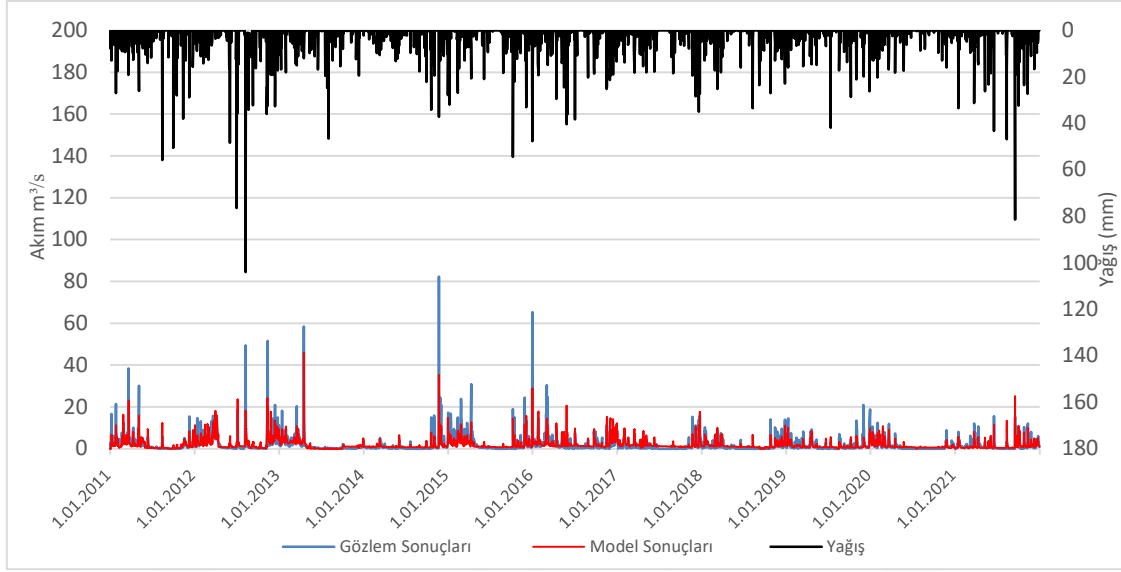
	Kalibrasyon (2011-2014)	Doğrulama (2015-2021)	Model
RMSE	2.66	2.00	2.27
R	0.82	0.79	0.81
R^2	0.68	0.62	0.65
Performans Göstergeleri (Wang et al., 2012)	R	R^2	
Mükemmel	>0.95	>0.85	
İyi	0.85-0.95	0.65-0.85	
Geçerli	0.75-0.85	0.50-0.65	
Zayıf	<0.75	<0.5	

Günlük akış kalibrasyonunun RMSE, R ve R^2 değerleri sırasıyla 2.66, 0.80, ve 0.68 ile doğrulama değerleri ise sırasıyla 2.00, 0.79, ve 0.62' dir. Kalibrasyon dönemi ise doğrulamaya göre daha iyi performans göstermiştir. Genel olarak bakıldığında Modelin performansı RMSE; 2.27, R;0.81, ve R^2 ; 0.65 tir. Genel olarak, R^2 değerinin 0,5'ten büyük olması, ölçülen verilerde önemli ölçüde kabul edilebilir varyans anlamına gelmekte olup referans değerlerine göre modelin geçerli olduğu anlaşılmaktadır.

Kalibrasyon dönemi için R değeri doğrulama döneminden yüksek olmasına rağmen, model kalibrasyonu için ortalama akış simülasyon hatası, model doğrulaması için olandan yüksektir. Kalibrasyon döneminde modellenen ve ölçülen deşarj arasındaki yüksek olan korelasyon katsayısı, temel olarak yüksek pik debilere sahip daha fazla sayıda akış olayının eksik tahmin edilmesinden ve daha fazla modelleme hatasının meydana gelmesinden kaynaklanmış olabilir. Kalibrasyon döneminin 2014 yılında gözlenen ve simüle edilen en yüksek pik debiler sırasıyla 82.3 ve 35.82 m³/s'dir, kalibrasyon döneminde simülasyon hatası sadece bu değer için %50 den fazladır. Kalibrasyon döneminin sadece 2014 yılı dışında 2011, 2012, ve 2013 yıllarında da pik debiler olduğu görülmektedir. Buda kalibrasyon döneminin doğrulama döneminden daha yüksek bir simülasyon hatasına işaret etmektedir.

Ayrıca, Samsun' un iklim değişikliğine adaptasyonu sürecinde Kızılırmak deltası su yönetiminin modellenmesi projesi kapsamında hazırlanan raporda 1970-2017 yılları arasında SWAT modelinden elde edilen kalibrasyon ve doğrulama sürecinin benzer istatistiksel değerleri yaklaşık 0,71 civarlarında olup modeli iyi olarak değerlendirmektedir (Samsun Büyükşehir Belediyesi, 2018).

Tüm model zamanını kapsayan gözlenen ve simüle edilen debi zaman serileri ile yağış karşılaştırılmalı olarak Şekil 20'de verilmiştir.



Şekil 20. Simülasyon dönemi boyunca ölçülen ve simüle edilen deşarj verileri

Şekil 20 modelin Kızılırmak Deltasının yüzey akışını nispeten doğru bir şekilde simüle ettiğini ve temel akışlar ölçümlerine benzer olduğunu göstermektedir. Genel olarak, simüle edilen akışlar yağışın az olduğu dönemlerde gerçek akışlara çok benzemektedir. Model kalibrasyon ve doğrulama dönemleri için hidrografların, deltanın yıllık modelini akış süreci ve akış dinamiklerinde yakalayabildiği, ancak model simülasyonunun bu dönemler boyunca akarsu akışını bazı yerlerde olduğundan fazla bazı yerlerde de olduğundan az tahmin ettiği görülmektedir. Bununla birlikte, yağış seviyeleri belirli bir eşiğin ötesinde arttıkça, simüle edilen değerler gerçek değerlerin altında kaldığı görülmektedir. Gözlem verisinin kalitesi ve istasyon sayısının azlığı bu sınırlamaya neden olmakla birlikte, tarımsal faaliyetler için kullanılan suyun belirsizliği, yeraltı suyu verilerinin yetersizliği, taban akışının simülasyon performansını etkilemektedir. Ayrıca bu sorun, küçük bir alan ve simülasyonun kısa bir süreli olmasından kaynaklı düşünülebilir ve teorik olarak bu sorun kontrol altına alınabilir. Ancak geniş bir alanda kısa süreli simülasyon için, bu çalışmadaki gibi birçok parametre içeren modelden mükemmel bir sonuç elde edilmesi çok zordur. Uzun süreli simülasyonlarda kalibrasyon için parametreleri analiz etmek ve ayarlamak için daha fazla zaman ayırmak gerekmektedir. Model sonucunun dikkatlice dengelenmesi için sonuçların kabul edilebilir olması ya da uzun süreli kalibrasyon ile daha yüksek performanslı bir sonuç elde edilmesine karar verilmelidir. Bu çalışmada, verilerin eksik olması ve simülasyon süresi göz önünde bulundurulduğunda, sonuçların kabul edilebilir olması daha fazla önem

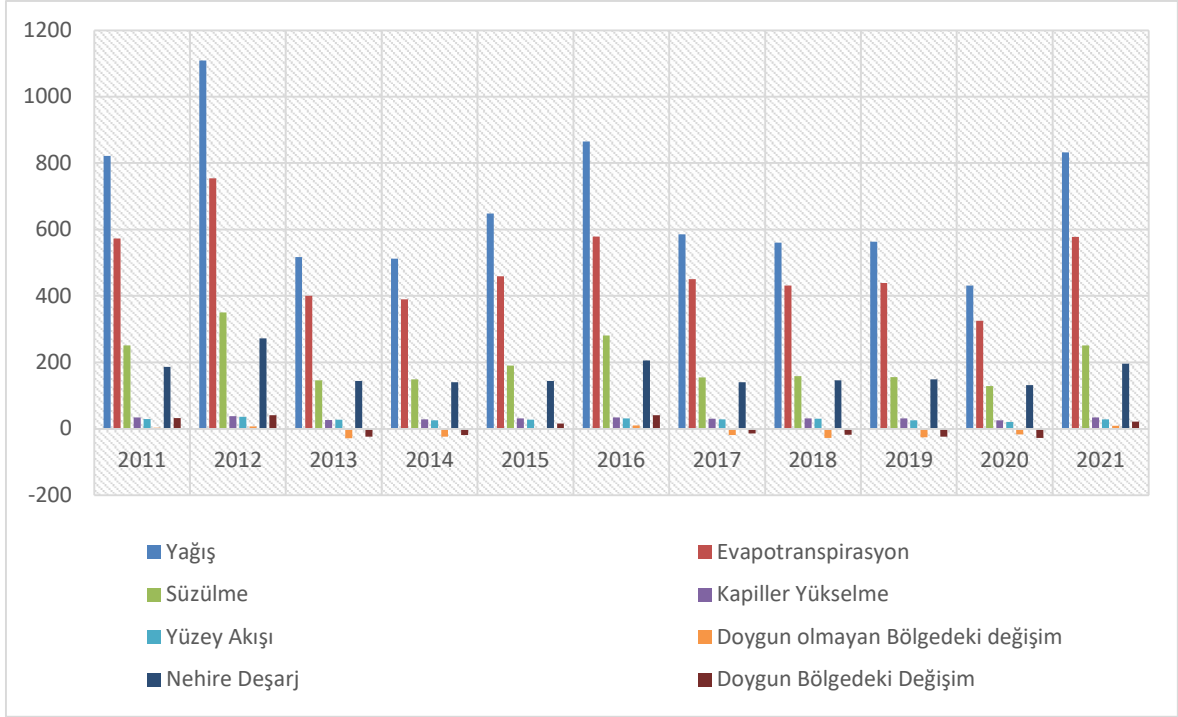
kazanmaktadır. Eksik verilerle ilgili sorunları gidermek oldukça zordur, bu yüzden simüle edilmiş bir temel akış, makul bir çözüm olabilir.

3.1.2. Su Bütçesi

Kalibrasyon ve doğrulama sürecinin ardından her bir hidrolojik yıl için hidrolojik su dengesi bileşenleri elde edilerek bir su dengesi tahmini gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı, Kızılırmak Deltası' nın hidrolojik süreçlerinin etkileşimi ve su dengesini araştırarak hidrolojik modelleme ve hidrolojik döngünün daha iyi anlaşılması hakkında fikir edinmektir.

Su dengesi tüm kalibrasyon ve doğrulama dönemini kapsayan 1 Ocak ile 31 Aralık tarihleri arasında tanımlanan her hidrolojik yıl için gerçekleştirilmiştir. Modele toplam su girişi yağış, yüzey ve yeraltı su girişi yoluyla olmuş, bu da ET, yüzeysel akış ve depolamadaki değişim ile yeraltı suyu ve yüzey suyu etkileşimlerine ayrılmıştır. Su dengesi, yağış, ET, yüzeysel akış, yüzey ve yüzey altı girişi ve depolamadaki değişimi içeren tüm ana hidrolojik bileşenlerin dengelenmesinden sonra hesaplanmıştır. Kalibrasyon dönemi boyunca %4'den daha az bir su dengesi hatası ile toplam tahmini su dengesi tatmin edici derecede iyidir.

Toplam su dengesi: Şekil 21'de gösterilen genel su dengesi sonuçları, yağışların önemli bir kısmının, toplam yağışın yaklaşık ortalama %65-70'ını temsil eden bir ET (Evapotranspirasyon) kaybı olarak atmosfere geri döndüğünü açıkça göstermektedir. Küçük göller, tarım arazileri, sulak alanlar, göletler ve ormanlık alanlar ET kaybının büyük bölümüne katkıda bulunmaktadır. Yüzey akışına yeraltı suyu katkısı drenaj yoluyla %24-30 civarındayken, doymun bölge depolaması simüle edilen son on yıl için azalmıştır. Yüzeysel akış ve yeraltı suyu depolamasının daha çok yağış ve ET gibi yerel meteorolojik koşullara bağlı olduğunu göstermektedir. Çalışmada yeraltı suyu hareketinin yaklaşık olarak modellenmesi nedeniyle, yeraltı suyu giriş ve çıkış için hataların kaçınılmaz olarak ortaya çıktığı ve bunun da depolama fark hatalarına yol açtığı dikkate alınmalıdır. Bu nedenle, bu çalışmada elde edilen doymun olmayan ve doymun bölgedeki değişiklikler kesin değerlerden ziyade yalnızca kaba tahminler olarak yorumlanabilir.



Şekil 21. 2010-2021 hidrolojik yılları için Kızılırmak Deltası için su dengesi verileri

Delta alanında, doymun olmayan bölge kuru mevsimlerde sıgıdır. Bu nedenle, infiltrasyon ve ET yeniden şarj oranını kontrol eden hayati süreçlerdir. Sonuçlar, doymun bölgenin toplam yağışın yaklaşık %30 'unu aldığını ve bunun büyük bir kısmının çalışma alanında bulunan yapay drenaj yoluyla nehre drene edildiği düşünülmektedir.

Islak ve kuru hidrolojik yıllarda su dengesi: Islak hidrolojik yıl (2012-2013) ve kurak hidrolojik yıl (2019-2020) için su dengesi sonuçları Şekil 21'de gösterilmektedir. Yağışlı hidrolojik yıl boyunca, ET toplam P'nin %68'sini oluştururken, drenaj pozitif yeraltısu depolamasıyla nehre yağışın %24'ünü katmaktadır. Kurak hidrolojik yılda, ET toplam P'nin %75'ine yükselirken, drenajın nehir akışlarına katkısı %30'ya yükselir ve negatif bir yeraltı suyu depolamasıyla sonuçlanır. Su dengesi sonuçları, yeraltı suyunun düşük yağış veya kısmi kuraklık dönemlerinde yüzey akışlarına ana katkı sağlayıcı olduğunu ve deltadaki yüzey suyu deşarjlarını dengelediğini göstermektedir.

Tablo 15, 2011'den 2021'e kadar 11 hidrolojik yıl için yıllık su dengesi bileşenlerini göstermektedir. Yeraltı suyunun depolanması, doymun ve doymun olmayan bölge arasındaki değişimden tahmin edilmiştir. Su dengesi sonuçları, iklim değişiklikleri ve delta özellikleri tarafından kontrol edildiğinden, ılıman iklim ovalarındaki su dengesi sonuçları dikkatle

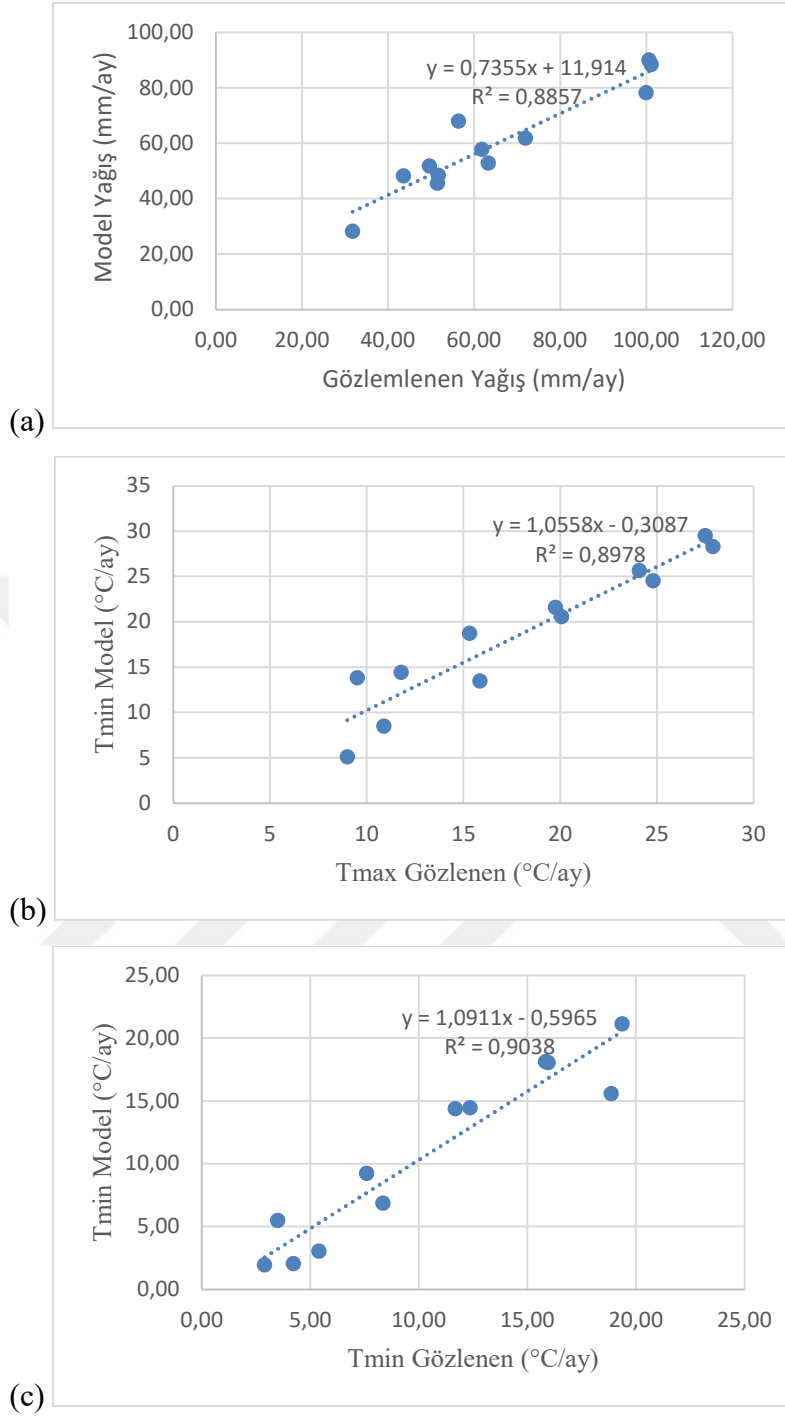
incelenmelidir. Farklı bileşenler arasında karşılaştırma yapmayı kolaylaştırmak için Tablo 15'deki tüm sayılar mm birimindedir.

Tablo 15. MIKE SHE/MIKE11 kullanılarak Kızılırmak Deltası için su bütçesi dağılımları

BİLEŞENLER	YILLAR										
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Yağış	821.9	1108.8	517.2	511.6	648.1	865	585	559.8	563	431.4	831.8
Evapo-transpirasyon	572.673	753.984	400	390	459.227	578.55	450.67	430.97	439.05	325.3	577.306
Süzülme	250.95	350.4	145.5	148.05	190.05	280.5	154.78	158.43	155.45	128.32	250.86
Kapiller Yükselme	33.65	38	26.4	27.83	30.83	33.8	29.54	31.3	30.56	25.3	33.8
Yüzey Akışı	28.7	35.3	26.81	25.55	27.2	30.5	28.41	30.01	25.43	20.18	28.3
Doygun olmayan Bölgedeki değişim	3.227	7.116	-28.71	-24.17	2.453	9.25	-19.32	-28.31	-26.37	-17.1	9.134
Nehire Deşarj	185.85	271.9	143.25	139.63	143.56	205.67	139.69	145.33	148.54	130.82	195.4
Doygun Bölgedeki Değişim	31.45	40.5	-24.15	-19.41	15.66	41.03	-14.45	-18.2	-23.65	-27.8	21.66

3.1.3. İklim Değişikliğinin Kızılırmak Deltası Üzerine Etkisi

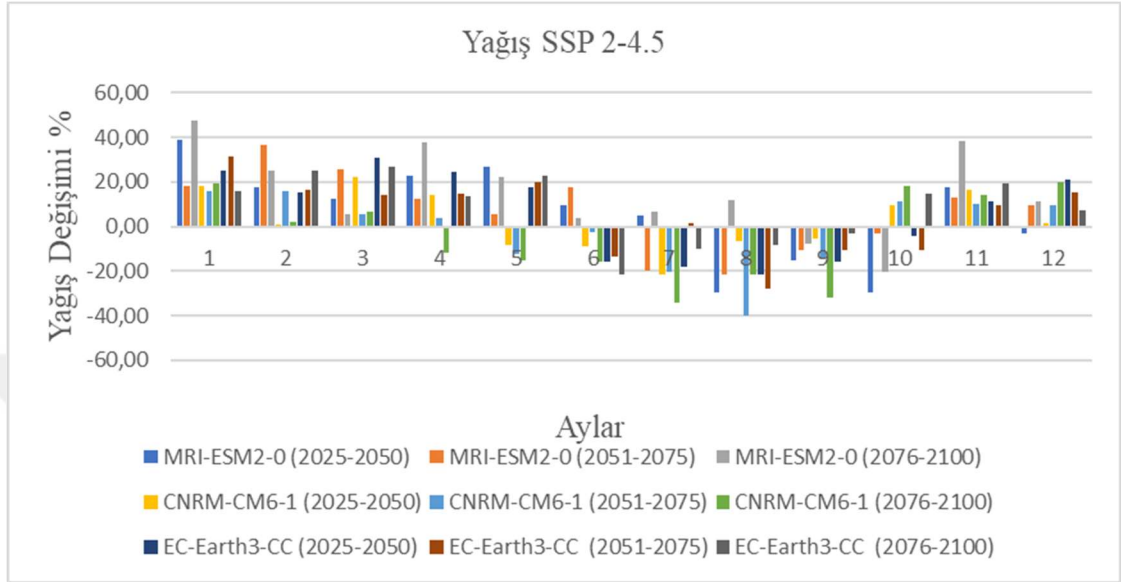
Her GCM modeli için, yağış, maksimum sıcaklık ve minimum sıcaklık için kontrol döneminde (1985-2014) simüle edilen ve gözlemlenen değişkenler arasında günlük yanlılık düzeltmeleri uygulanmıştır ve aralarında korelasyon tahmin edilmiştir. Yağış, maksimum sıcaklık ve minimum sıcaklık için üç GCM'nin ortalama değerleri ile gözlem değerlerini gösteren dağılım grafiği Şekil 22'de verilmiştir. Düzeltme sonrası GCM tahminleri gözlemlenen değerlere daha yakın olduğu görülmektedir. Bu da ölçek düzeltme algoritmasının orijinal verilerin kullanımına kıyasla bir miktar iyileşme sağlayabileceğini göstermektedir.



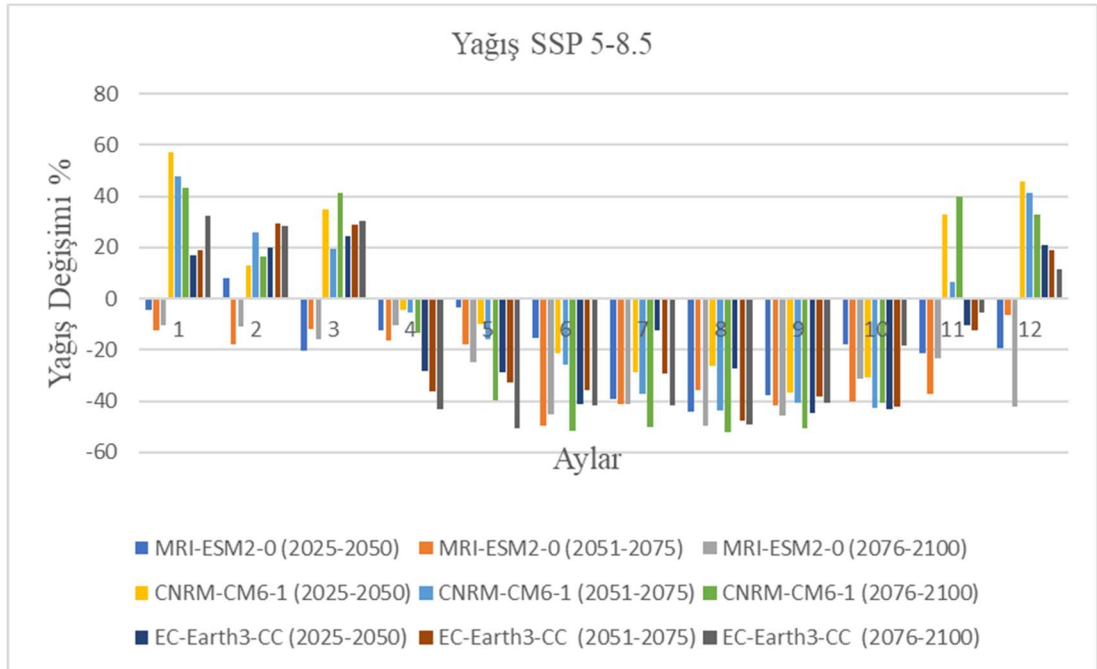
Şekil 22. Gözlenen ve tarihsel GCM modellerinin ortalama aylık a) yağış, b) minimum sıcaklık, c) maksimum sıcaklık arasındaki korelasyon.

Dağılım grafikleri incelendiğinde, yağış parametresinin dağılım grafiğindeki veriler çizgi üzerinde dağıldığı, sıcaklık parametresinin dağılım grafiğindeki veriler çizgiye yakın dağıldığı görülmektedir. Yağış, maksimum sıcaklık ve minimum sıcaklık için elde edilen korelasyon katsayıları (R^2) sırasıyla 0.887, 0.8978 ve 0.9038 olarak bulunmuştur.

Kızılırmak Deltasında gözlem dönemini dikkate alınarak, gelecekte öngörülen ortalama aylık yağış miktarındaki değişiklikler, SSP' ler altındaki her GCM (MRI-ESM2-0, CNRM-CM6-1, EC-Earth3-CC) için Şekil 23ve Şekil 24’de verilmiştir.



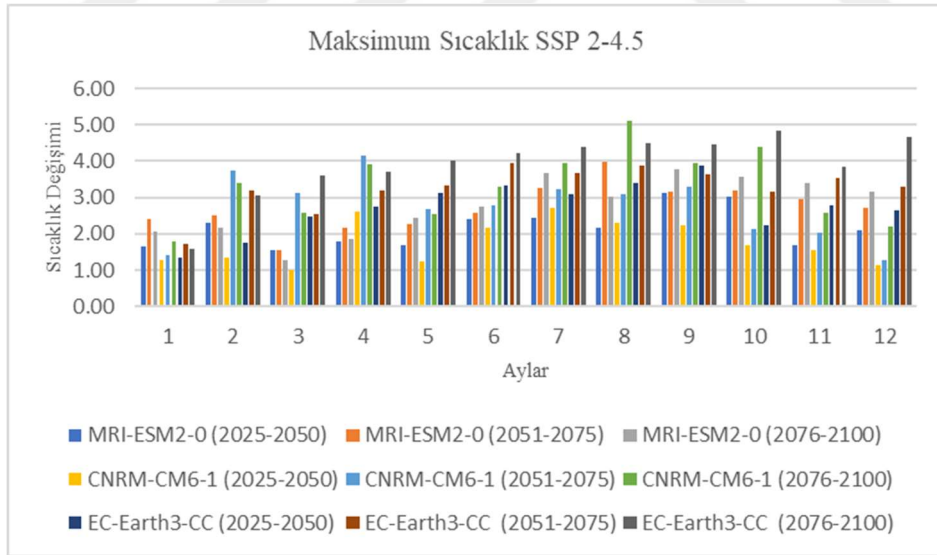
Şekil 23. SSP2-4.5 senaryosu altında gelecek dönemler (2025-2050, 2051-2075 ve 2076-2100) için aylık ortalama yağış değerlerinin referans döneme göre değişimi (1980-2014)



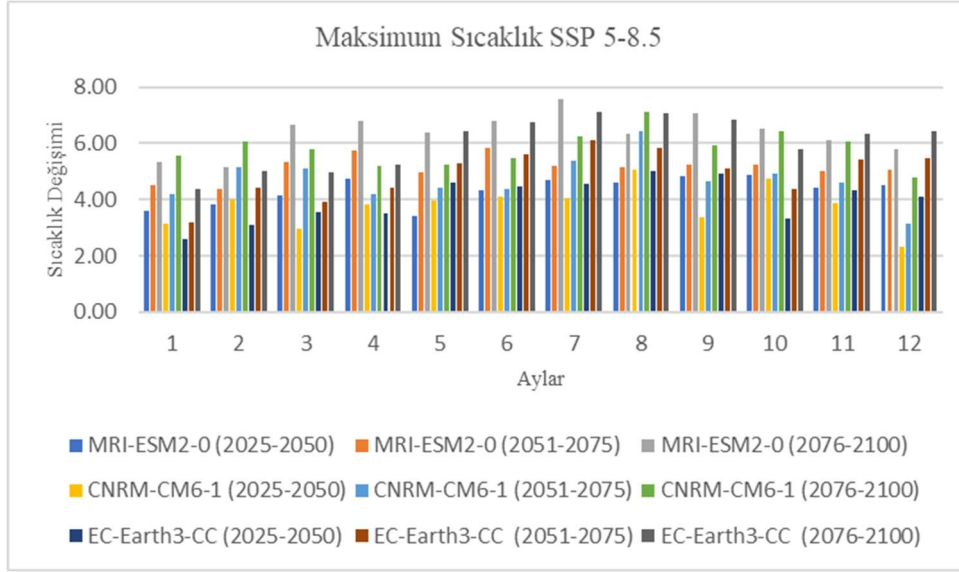
Şekil 24. SSP5-8.5 senaryosu altında gelecek dönemler (2025-2050, 2051-2075 ve 2076-2100) için aylık ortalama yağış değerlerinin referans döneme göre değişimi (1980-2014)

Şekillerde gösterilen yağışın aylık değişimlerine bakıldığında, tüm modellerin her iki senaryosu için, yağışların en fazla azaldığı zamanların yaz aylarında olduğu görülmektedir. Yağışın arttığı aylar daha çok kış ve bahar ayından mart olduğu görülmektedir. Her iki senaryoda gelecek üç dönem için sırayla öngörülen ortalama aylık yağış değişiklikleri, SSP4.5 altında MRI-ESM2-0 için %-29.41 ila %39.00, %-21.50 ila %36.50 ve %-20.39 ila %47.47 arasında, CNRM-CM6-1 %-40.10 ila %21.49, %-40.10 ila %15.80 ve %-34.15 ila %20.18 arasında, EC-Earth3-CC için %-18.14 ila %25.14, %-27.70 ila %31.26 ve -21.59 ila %26.80 arasında değişmekte olup, SSP8.5 altında MRI-ESM2-0 için %-44.18 ila %8.12, %-49.00 ila %-12.00 ve %-45.76 ila %-10.56 arasında, CNRM-CM6-1 %-36.87 ila %57.15, %-43.60 ila %47.78 ve %-51.97 ila %43.57 arasında, EC-Earth3-CC için %-44.52 ila %24.23, %-47.70 ila %29.36 ve %-43.31 ila %32.23 arasında değişmektedir.

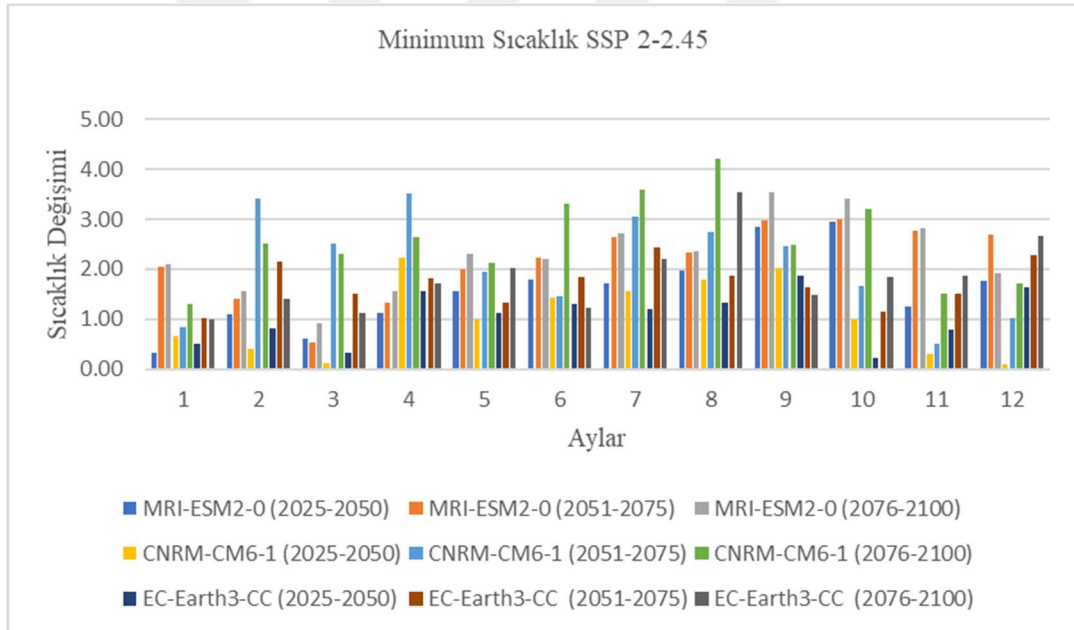
Maksimum ve minimum sıcaklık parametresinde gelecekte öngörülen aylık ortalama değerlendirme her iki senaryo (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5) ve tüm GCM (MRI-ESM2-0, CNRM-CM6-1, EC-Earth3-CC) için Şekil 25, Şekil 26, Şekil 27 ve Şekil 28’de gösterilmektedir.



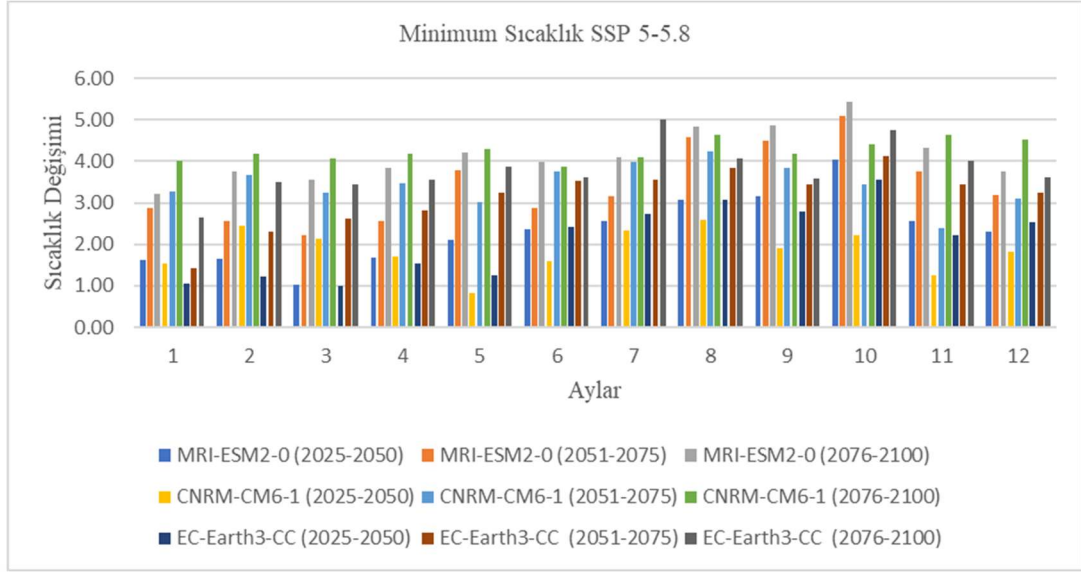
Şekil 25. SSP2-4.5 senaryoları altında gelecek dönemler (2025-2050, 2051-2075 ve 2076-2100) için aylık minimum ortalama sıcaklık değerlerinin referans döneme göre değişimi (1980-2014) senaryosu (Δt)



Şekil 26. SSP5-8.5 senaryoları altında gelecek dönemler (2025-2050, 2051-2075 ve 2076-2100) için aylık minimum ortalama sıcaklık değerlerinin referans döneme göre değişimi (1980-2014) senaryosu (Δt)



Şekil 27. SSP2-4.5 senaryoları altında gelecek dönemler (2025-2050, 2051-2075 ve 2076-2100) için aylık minimum ortalama sıcaklık değerlerinin referans döneme göre değişimi (1980-2014) senaryosu (Δt)



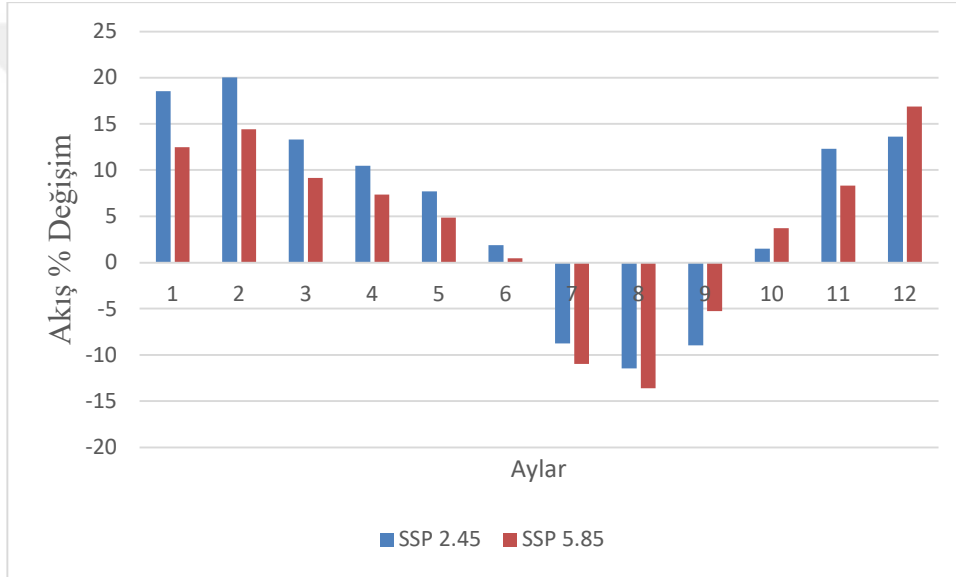
Şekil 28. SSP5-5.8 senaryoları altında gelecek dönemler (2025-2050, 2051-2075 ve 2076-2100) için aylık minimum ortalama sıcaklık değerlerinin referans döneme göre değişimi (1980-2014) senaryosu (Δt)

Maksimum sıcaklıktaki maksimum artışın ağustos ayında CNRM-CM6 SSP4.5 ve SSP8.5 için 5.10 ve 7.13°C olduğu gözlenmiştir. Benzer şekilde, mevsimsel maksimum sıcaklıktaki minimum sıcaklık kış aylarında 1.12 ve 2.31 °C olarak gözlenmiştir. Ortalama değerler açısından Maksimum sıcaklık grafiği incelendiğinde, CNRM-CM6 modelinde sıcaklık artışlarının SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryosu altında sırasıyla yakın gelecek için 1.77, 3.79 °C, orta uzak için 2.74, 4.715 °C ve uzak gelecek için 3.30, 5.8275 °C olması beklenmektedir. MRI-ESM2-0 modelinde beklenen artışlar her iki senaryoda (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5), orta ve uzak gelecek için sırasıyla 2.16- 4.342 °C, 2.73- 5.14 °C ve 2.76- 6.37 °C iken, EC-Earth3-CC modelinde beklenen artışlar 2.73-4.01 °C, 3.26- 4.93 °C ve 3.91-6.03 °C 'dir. Maksimum sıcaklıktaki tüm GCM' ler incelendiğinde tüm dönemler boyunca sıcaklıklarda artış olması beklenmektedir. Ortalama aylık minimum sıcaklık artışlarının SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryosu altında yakın gelecek, orta uzak ve uzak gelecek için sırasıyla; CNRM-CM6 modelinde 1.05-1.86 °C, 2.09-3.45 °C, 2.57-4.26 °C, MRI-ESM2-0 modelinde 1.58-2.34 °C, 2.16-3.43 °C, 2.28-4.16 °C ve EC-Earth3-CC modelinde 1.05-2.11 °C, 1.7-3.13°C, 1.84-3.80 °C dir.

Kızılırmak Deltası'nı oluşturan Kızılırmak Nehri üzerinde kurulu Altinkaya Barajı havzasında, CMIP6 iklim modelleri ve ERA5 yeniden analiz verileri kullanılarak geniş kapsamlı bir iklim değişikliği çalışması gerçekleştirilmiş ve modelde sıcaklık ve yağış projeksiyonları incelenmiş olup, iki farklı Sosyoekonomik Yol Haritası (SSP2-4.5 ve SSP5-

8.5) senaryosuna dayalı modellere göre, yağışların yaklaşık %45 oranında azalacağı, sıcaklıkların ise 3 - 5°C' lere kadar artacağı öngörülmüştür (Yılmaz, Aras, & Nacar, 2024).

Bu çalışmada gelecekteki iklimin değişikliğinin etkisini analiz etmek için üç GCM'nin ortalama değerleri kullanılmıştır (Fetene vd, 2024). Kanal akışı için kalibre edilmiş MIKE SHE modeli kullanılarak, orta dönem için (2051-2075) iklim değişikliği altında dere akışı tahmin edilmiştir. SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları altında, Kızılırmak deltasının akarsu akışı üzerindeki iklim etkisi değerlendirilmektedir. Her iki iklim senaryosunda (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5), aylık ortalama akış ve kalibrasyon dönemdeki (2011-2014) farklılıklar karşılaştırılmıştır ve Şekil 29'da akış değişimini göstermektedir.



Şekil 29. Gelecek orta dönem SSP2-4.5 ve SSP5-8,5 senaryoları altında kalibrasyon dönemi kıyasla ortalama aylık akışın yüzde değişimi

Şekil 29 yıllık ortalama akışın hem SSP 2-4.5 hem de SSP 5-8.5 için değerlendirildiğinde yıl içerisinde artış ve azalışlar olduğunu göstermektedir (SSP 2-4.5 %-8 ila %20 için SSP 5-8.5 için %-10 ila %15). Her iki senaryo içinde yaz dönemlerinde yaklaşık %10 civarında azalma beklenirken kış ve bahar dönemlerinde %18 civarı artışlar gözlenmektedir. En büyük artış SSP 2-45 te şubat SSP 5-8.5 ta aralık ayında gözlemlenirken, minimum azalış her iki senaryo için ağustos ayında görülmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu kısımda tezin amaç ve hedeflerini tekrar gözden geçirerek temel bulguların değerlendirmesini ve gelecekteki hidrolojik modelleme çalışmaları için metodolojik öneriler sunmaktır. Çalışma kapsamında, Kızılırmak Deltasının hidrolojik sürecini simüle edebilen tam deterministik bir dağıtılmış hidrolojik model oluşturmak için MIKE SHE modeli kullanılarak mevcut su bütçesi incelenmiş ve sonrasında iklim değişikliğinin paylaşılan iki sosyoekonomik yol (SPP2-4.5 ve SSP5-8.5) senaryosu altında seçilen üç farklı CMIP-6 iklim modeli kullanılarak deltayı nasıl etkilediğini değerlendirilmiştir.

MIKE SHE modeli, yüzey akışından yeraltı suyu akışına ve evapotranspirasyona kadar hidrolojik süreçlerin çoğunu entegre ederek hidrolojik döngüyü yeniden üretmesi beklenir ancak kapsamlı veri gereksinimleri, birleştirilmiş fiziksel dağılımlı modellerin uygulanmasında potansiyel sorun oluşturabilmektedir. Verilerin sınırlı olması durumunda, topografya ve arazi kullanımını tahmin etmek için uydu verileri yararlı olabilir, ancak, ek karasal verilerin (örneğin, toprak, iklim, akifer verileri, vb.) toplanması önemlidir. Ayrıntılı nehir kesitlerinin, mevsimsel Manning's n değişimlerinin, drenaj haritalarının ve sızıntı katsayılarının eksikliği, simüle edilen nehir akışının doğruluğunu önemli ölçüde etkileyebilir.

Bu çalışma kapsamında kurumlardan temin edilemeyen diğer gerekli verilerden olan sayısal yükseklik modeli uydu verisinden elde edilmiştir. Manning's n değerleri ile farklı bitki türleri için gerekli (bitki gelişim günleri, yaprak alan indeksi, kök derinliği gibi) bilgiler literatür çalışmalarından elde edilmiştir ve diğer benzer çalışmalarda kullanılabilir. Ayrıca toprak haritaları dışında program için gerekli olan toprak özellikleri değerleri yine çalışma alanını kapsayan literatür çalışmasından elde edilmiştir. Çalışma sonuçlarından modelin makul ölçüde hidrolojik ve hidrolik gösterge sonuçlarını başarıyla ürettiğini ve bu süreçte model geliştirme ve uygulamasının çeşitli aşamalarında önemli zorlukları ortaya çıkardığı görülmüştür. MIKE SHE modelinin deltayı oluşturan ana nehir ve dallarına ait uzun süreli gözlem verisinin olmaması deltayı temsilen uzun süreli ölçüm verisi olan tek bir nehrin kullanılması, kalibrasyon ve doğrulama simülasyonlarında pik akışları yeniden üretmesindeki zorlukların, bilinen veri eksikliklerine ve yüzey altı akış sisteminin sınırlı karakterizasyonuna ve kavramsallaştırılmamasına bağlanmaktadır.

Model sonuçları alan içerisinde kayıt verisi Engiz deresi üzerinde bulunan akım gözlem istasyonu verileri ile kalibre edilmesi sonrasında, kalibrasyon değerleri kullanılarak model doğrulanmış ve çalıştırılmıştır. Kalibrasyon sürecinde elde edilen performans istatistiklerine bakılarak $RMSE = 2.66$, $R^2 = 0.68$, ve $R=0.82$ ile doğrulama sürecinde ise $RMSE = 2.27$, $R^2 = 0.62$ ve $R=0.79$ olarak bulunmuştur. Performans istatistikleri, literatür verilerine bakılarak kabul edilebilir bir aralıkta olduğunu ve modelin yeterli düzeyde yüzey akış tahmini yapabileceğini göstermektedir.

Akış Hidrografından simülasyon ve gözlem verilerinin zamansal dağılımı incelendiğinde, yağışların yoğun olduğu dönemler ile baz akışının pik olduğu zamanlarda simülasyon sonuçlarının ölçülen değerlerin altında olduğu görülmüştür. Bu durumun, çalışma alanının küçük bir alan olması ve simülasyon süresinin kısa olmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. drenaj akımlarını küçük olacak şekilde hesapladığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca model sonuçlarının istatistiksel olarak kabul edilebilirliği Kızılırmak Deltasıyla ilgili yapılmış çalışma raporu ile kıyaslanarak benzer sonuçlar olduğu görülmüş ve modelin geçerli olduğu sonucuna varılmıştır. Modellemede, Kızılırmak Deltası için tipik su dengesi bileşenleri tahmin edilmiştir. Yeraltı suyu hareketinin yaklaşık olarak modellenmesi nedeniyle, hataların kaçınılmaz olduğu görülmektedir. Sulak alan hidrolojisini simüle etmek amacıyla hidrodinamik bir modelle birleştirilmiş entegre bir hidrolojik model geliştirilerek yüzey ve yüzey altı hidrolojisini büyük ölçekte temsil etmek amacıyla doymun olmayan ve doymun bölge için basitleştirmeler ve varsayımlar yapılmıştır. Bu model çalışması ile ilgili tespit edilen eksikliklerin giderilmesi ve daha geçerli simülasyonların yapılabilmesi için aşağıdaki önerilerde bulunulabilir:

- Model içerisinde daha uzun yıllar gözlenmiş veriler kullanılabilir.
- Delta alanı içerisinde akım gözlem istasyonlarının sayıları artırılarak modelin tahmin kapasitesi ve kalibrasyon etkinliği artırılabilir.
- Delta alanında sulak alan ve tarım arazileri bulunduğundan, sistem sulamaya, bitki örtüsüne, topraklara ve yüzey altı hidrolojik özelliklere duyarlıdır. Bu nedenle özellikle yeraltı suyu modelinde, gözlemlerin ve saha verilerinin eksikliği, simüle edilen yeraltı suyu tepkisinin belirsiz olduğu ve entegre modelin kalibrasyonunda yardımcı olamadığı anlamına gelmektedir. Bu durumda yeraltı suyu taban akışı muhtemel yerel bir süreç olduğundan, akışların simülasyondaki zorluğunu açıklayabilir.

- Bafra ovası ile ilgili birçok toprak çalışması yapılmış olup, eksik olan veriler uzaktan algılama yöntemleri ile giderilmiştir. Bu nedenle eksik parametreler ile ilgili daha ayrıntılı çalışmalar yapılarak daha gerçekçi parametrelere ulaşılabilir.

İklim değişikliği çalışmaları kapsamında en son iklim projeksiyon arşivi CMIP6' dan CNRM-CM6-1, MRI ESM2-0, EC-Earth3- CC olmak üzere üç adet GCM seçilerek, iyimser ve kötümser senaryolar (SSP2-4.5 ve SSP5-8.5) altında yakın gelecek (2025-2050), orta gelecek dönemler (2051-2075) ve uzak gelecek (2076-2100) dönemleri için yağış sıcaklık tahminleri yapılmıştır. Model çıktısı GCM' lerin tarihsel (1985-2014) dönemini gözlem dönemi (1985-2014) ile kıyaslayarak, bu üç GCM modellerinin performansı için yağış, maksimum sıcaklık ve minimum sıcaklık için elde edilen korelasyon katsayıları (R^2) sırasıyla 0.887, 0.8978 ve 0.9038 olarak bulunmuştur. Deltanın gelecek tüm dönemlerde maksimum ve minimum sıcaklıklarda artış beklenmekte olup, en yüksek artış uzak gelecekte SSP5-8.5 senaryosunda gözlemlenmektedir. Bu artışlar model ve dönemlere göre 1.05°C ile 7.13°C arasında değişmektedir. Yağış tahminlerinde ise SSP2-4.5 senaryosunda her dönemde yağışlarda artış ve azalışlar gözlenmekte iken SSP5-8.5 senaryosunda daha çok azalışlar gözlenmektedir ve her iki senaryoda en fazla azalışın özellikle temmuz ve ağustos aylarında olduğu görülmektedir. İklim değişikliğinin akış üzerine etki kalibre edilmiş MIKE SHE modeli kullanılarak, gelecek orta dönem için her iki senaryo (SSP 2-4.5 ve SSP 5-8.5) için yıl içerisinde artış ve azalışlar olduğunu göstermektedir. Her iki senaryo içinde yaz dönemlerinde yaklaşık %10 civarında azalma beklenirken kış ve bahar dönemlerinde %18 civarı artışlar gözlenmektedir.

Bu çalışmada, Kızılırmak Deltasının su kaynaklarının belirsizliği hakkında bilgiler sunarak, yeraltısu ve ana nehir kaynağı ölçümlerinin yetersiz kalması nedeniyle su kaynaklarının mevcut durum tespitine ilişkin tahminleri zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, kullanılan yaklaşımdaki belirsizlikleri değerlendirebilmek için yeterli sayıda ve iyi planlanmış ölçüm istasyonlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Gelecekteki çalışmalarda bu model çalışması ile entegre yeraltı suyu-yüzey suyu metodolojisinin geliştirmene odaklanılabilir. Ayrıca iklim değişikliği araştırmaları su kaynaklarının geliştirilmesi ve korunması açısından önem kazanmaktadır.

5. KAYNAKLAR

- Abdullah, M., Rahman, M. S. Rahman, M. A., & Sahabuddin, S.M. (2019). Trend Analysis of The Hydrological Components in A Watershed: A Case Study For Bogura District in Bangladesh. *Journal of Environmental Hydrology*, 27, 4.
- Acreman, M. C., & Jose, P. (2000). Wetlands. In: Acreman, M. C. (ed.) *Hydrology of the UK: a study of change*. London: Routledge.
- Acreman, M., Harding, R., Lloyd, C., Mcnamara, N., Mountford, J., Mould, D., Purse, B., Heard, M., Stratford, C., & Dury, S. (2011). Trade-off in ecosystem services of the Somerset Levels and Moors wetlands. *Hydrological Sciences Journal*, 56, 1543-1565.
- Alaoui A.M., & Eugster W. (2001). Field determination of the water balance of the Areuse River delta, Switzerland, *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*, 46 (5).
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M., (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. *Food and Agriculture Organization*, Rome, Italy, FAO irrigation and drainage paper 56.
- Al-Khudhairy, D., Thompson, J., Gavin, H., & Hamm, N. (1999). Hydrological modelling of a drained grazing marsh under agricultural land use and the simulation of restoration management scenarios. *Hydrological Sciences Journal*, 44, 943-971.
- Amognehegn, A. E., Nigussie, A. B., Yigezu, T. T., Ayana, M., Adamu, A. Y., Mulu, G. F., & Assefa, N. Y. (2024). Future drought characterization using multiple drought indices and CMIP-6 Climate Models within Mille Watershed, Lower Awash Basin, Ethiopia. *Theoretical and Applied Climatology*, 155(10), 9367–9390.
- Ariyama J., Boisramé G. F. S., & Brand M. R., (2019). Water Budgets for the Delta Watershed: Putting Together the Many Disparate Pieces. *San Francisco Estuary and Watershed Science*, 17 (2).
- Arnold J.G., Allen P.M., & Morgan D.S. (2001). Hydrologic Model for Design and Constructed Wetlands, *The Society of Wetland Scientists*, 21, 167–178.
- Arpalı, K., & Dengiz, O. (1996). Bafra Ovası Sol Sahili Topraklarının Sınıflandırılması. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 2 (2), 87-93.
- Awadalla, S. S. 2011. Wetland Model in an Earth Systems Modeling Framework for Regional Environmental Policy Analysis
- Bedia, J., Baño-Medina, J., Legasa, M. N., Iturbide, M., Manzanas, R., Herrera, S., Casanueva, A., San-Martín, D., Cofiño, A. S., & Gutiérrez, J. M. (2020). Statistical downscaling with the downscaleR package (v3.1.0): Contribution to the VALUE intercomparison experiment. *Geoscientific Model Development*, 13(4), 1711–1735.

- Caldwell, P.V., Michael, J. V., Skaggs, R. W., & Gregory, J. D. (2007). Simulating The Water Budgets of Natural Carolina Bay Wetlands. *Wetlands*, 27 (4), 1112–1123.
- Chen, S., Johnson, F., Drummond, C., & Glamore, W. (2020). A New Method to Improve The Accuracy of Remotely Sensed Data For Wetland Water Balance Estimates. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 29.
- Choi, D., Lee, J., Jo, D. J., & Kim, S. (2010). GCMs evaluation focused on Korean climate reproducibility. *Journal of Korean Society on Water Quality*, 26(3), 482-490.
- Coleman J. M., & Roberts H. H., (1989). Deltaic coastal wetlands, *Geologie en Mijnbouw* 68: 1-24
- Corzine J., & Jackson L.P., (2007). *Regionalized Water Budget Manual for Compensatory Wetland Mitigation Sites in New Jersey*, State of New Jersey Department of Environmental Protection
- Cowardin, L., Carter, V., Golet, F., & Laroe, E. (1979). *Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States*. Office of Biological Services, Washington DC, USA.
- Crawford, N.H., & Linsley R.K., (1966). Digital simulation in hydrology: Stanford watershed model 4. *Stanford University. Dept. of Civil Engineering*, 39.
- Cüce H. 2012. *Göllerin Trofik Seviyelerinin Değişiminde Sediman Tabakasının Rolü ve Su Kalitesinin İzlenmesi ve Değerlendirilmesinde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Uygulanması*. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- Dağıstanlıoğlu C., Geyikçi F., Yazıcı N., & Şahin C.K. (2013). Kızılırmak Deltası'nda Antropojenik Etkiler ile Meydana Gelen Değişikliklerin Belirlenmesi. *III. Ulusal Sulak Alanlar Kongresi*, 23-25 Ekim, Samsun.
- Dai Z., Li C., Trettin C., Sun G., Amatya D., Li H. (2010). Bi-Criteria Evaluation of the MIKE SHE Model For A Forested Watershed On The South Carolina Coastal Plain *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 14, 1033–1046, 2010
- DeNicola, E., Omar S. A., Azhar S., Haider K., & David O. (2015). Carpenter, Climate Change and Water Scarcity: The Case of Saudi Arabia, *Annals of Global Health* 2015 The Authors. *Published by Elsevier Inc. on behalf of Icahn School of Medicine at Mount Sinai* 81, (3), s. 342-353.
- DHI (2009). *MIKE SHE User Manual Volume 1: User Guide*. Hørsholm, Denmark: DHI Water And Environment.
- DHI (2009). *MIKE SHE User Manual Volume 2: Reference Guide*. Hørsholm, Denmark: DHI Water And Environment.
- DSİ (1988). *Bafra Ovası Hidrojeolojik Etüt Raporu*. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 7. Bölge Müdürlüğü Jeot. Hiz. ve Yeraltı Suları Şube Müdürlüğü, Samsun.

- Do, H. N., Udo, K., & Mano, A. (2012). Climate change impacts on runoff regimes at a river basin scale in Central Vietnam. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 23(5), 541–551.
- Eini, M. R., Javadi, S., Delavar, M., Gassman, P. W., & Jarihani, B. (2020). Development of Alternative SWAT-Based Models for Simulating Water Budget Components and Streamflow For A Karstic. *Influenced Watershed. Catena*, 195.
- European Soil Data Centre (ESDAC), esdac.jrc.ec.europa.eu, European Commission, Joint Research Centre
- Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C., Stevens, B., Stouffer, R. J., & Taylor, K. E. (2015). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organisation. *Geoscientific Model Development Discussions*, 8, 10539–10583.
- Favero L., Mattiuzzo E., & Franco D. (2007). Practical Results of A Water Budget Estimation for a Constructed Wetland. *The Society of Wetland Scientists*, 27, 230–239.
- Fetene, T., Lohani, T. K., & Mohammed, A. K. (2024). Application of integrated MIKESHE/MIKE HYDRO flow dynamics in the Abay Basin, Lake Tana sub-basin, Ethiopia under climate change. *World Water Policy*, 1–24.
- Feyen, L., Vázquez, R., Christiaens, K., Sels, O., & Feyen, J. (2000). Application of a distributed physically-based hydrological model to a medium size catchment. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 4, 47-63.
- Fowler, H. J., Blenkinsop, S., & Tebaldi, C. (2007). Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling. *International Journal of Climatology*, 27(12), 1547–1578.
- Gayathri, K. D., Ganasri, B. P., & Dwarakish, G. S. (2015). *A Review on Hydrological Models. Aquatic Procedia*, 4, 1001 – 1007.
- Ghandhari A., & Alavi Moghaddam S.M.R. (2011). Water Balance Principles: A Review of Studies on Five Watersheds in Iran. *Journal of Environmental Science and Technology* 4 (5), 465-479.
- Golmohammadi, G., Prasher, S., Madani, A., & Rudra, R. (2014). Evaluating Three Hydrological Distributed Watershed Models: Mike-She. *Apex, Swat. Hydrology*, 1, 20-39.
- Graham D. N. ve Butts M.B., Watershed Models, Singh V. P., Frevert D. K., 245-271, Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2010.
- Graf, R., Przybyłek, J. (2014). Estimation of Shallow Groundwater Recharge Using A Gis-Based Distributed Water Balance Model. *Quaestiones Geographicae*, 33(3), 27-36.

- Henriksen, H.J., Trolldborg, L., Nyegaard, P., Sonnenborg, T.O., Refsgaard, J.C. and Madsen, B. (2003) 'Methodology for construction, calibration and validation of a national hydrological model for Denmark', *Journal of Hydrology*, 280, 52–71.
- Hillen, M.M., Treffers, R.B., & Ravesteijn, W. (t.y). *Towards Sustainable Wetlands in River Deltas: The Case of New Orleans*. Delft University of Technology, Netherland.
- Holmes, T. L., Stadnyk, T. A., Asadzadeh, M., & Gibson, J. J. (2022). Variability in flow and tracer-based performance metric sensitivities reveal regional differences in dominant hydrological processes across the Athabasca River basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 41, 101088.
- House A., (2016). *Ecohydrological Impacts Of Climate Change On A Riparian Chalk Valley Wetland*, Doctor Of Philosophy (Phd), Ucl
- <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/hyp.11203/full>
- Huang, Y., Chen, X., Li, Y., Willems, P., & Liu, T. (2010). Integrated modeling system for water resources management of Tarim River Basin. *Environmental Engineering Science*, 27, 255-269.
- Hüseyinova, R. (2008) *Samsun-Tekkeköy-Hacıosman Ormanı Ve Samsun-Bafra-Balık Göllerinde Yayılış Gösteren Bazı Bitki Türlerinin Grime Stratejilerine Göre Sınıflandırılması ve Bitki Fonksiyonel Tiplerinin Belirlenmesi*. O.M.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Samsun.
- IPCC. (2019). Climate Change and Land: An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/srccl/>
- IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Jaber F.H., & S. Shukla. (2012). MIKE SHE: Model Use, Calibration And Validation. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineering* 55, 1479–1489.
- Jang, S., Kure, S., Ohara, N., Kavvas, M. L., Chen, Z. Q., Carr, K.J., & Anderson, M.L. (2017). Application of WEHY-HCM for Modeling Interactive Atmospheric-Hydrologic Processes at Watershed Scale to a Sparsely Gauged Watershed. *Sustainability*, 9, 1554.
- Kaya N.S., (2009). *Bitki Desenlerinin Belirlenmesinde Uzaktan Algılamının Kullanılması*, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Ankara.
- Keskin İ., (2011). *Samsun Jeolojisi*. MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Rapor no: 149, s. 22

- Kirwan, M. L., & Megonigal, J. P. (2013). Tidal wetland stability in the face of human impacts and sea-level rise. *Nature*, 504(7478), 53-60.
- Körpınar, A. (2023). *Bias correction for non-extreme and extreme values for precipitation* Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Civil Engineering Department.
- Klemeš, V. (1986). Operational testing of hydrological simulation models. *Hydrological Sciences Journal*, 31, 13–24.
- Laboratory, E. (1987). Corps of Engineers Wetlands Delineation Manual, Technical Report Y-87-1. Vicksburg, Miss.: *U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station*.
- Lewis, W. M. (1995). *Wetlands: Characteristics and Boundaries*. National Academies Press.
- Loucks, D. P., (2019). Developed river deltas: are they sustainable?. *Environmental Research Letters*, 14 (11).
- Maltby, E., & Acreman, M. C. (2011). Ecosystem Services Of Wetlands: Pathfinder For a New Paradigm. *Hydrological Sciences Journal*, 56, 1341-1359.
- Marandi S. F. (2012). *Water Budget Analysis And Groundwater Inverse Modeling*, Master of Science, A&M University, Texas
- Minh L.T.N., Josette G., Gilles B., Didier O., Julien N., Quynh L.T.P., Thai T.H., & Anh L. L., (2010). Hydrological Regime and Water Budget of the Red River Delta (Northern Vietnam). *Journal of Asian Earth Sciences*, 37, 219–228.
- Morris, J., Bailey, A., Lawson, C., Leeds-Harrison, P., Alsop, D., & Vivash, R. (2008). The Economic Dimensions Of Integrating Flood Management And Agri-Environment Through Washland Creation: A Case From Somerset, England. *Journal of Environmental Management*, 88, 372-381.
- Neuhaus E. (2013). *Evaluation of a Water Budget Model for Use in Wetland Desing*. Master of Sience, Virginia Polytechnic Instute and State Universtiy, Virginia
- Newton, A., Icely, J., Cristina, S., Perillo, G. M. E., Turner, R. E., Ashan, D., Cragg, S., Luo, Y., Tu, C., Li, Y., Zhang, H., Ramesh, R., Forbes, D. L., Solidoro, C., Béjaoui, B., Gao, S., Pastres, R., Kelsey, H., Taillie, D., Nhan, N., Brito, A. C., de Lima, R., & Kuenzer, C. (2020). Anthropogenic, Direct Pressures on Coastal Wetlands. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8, 144.
- Owen, C. R. (1995). Water-Budget and Flow Patterns in an Urban Wetland. *Journal of Hydrology*, 169, (1-4), 171-187.
- Petru B.J., Ahn C., & Chescheir G. (2002). Alteration of soil hydraulic properties during the construction of mitigation wetlands in the Virginia Piedmont
- Pierce, G.J. (1993). *Planning hydrology for constructed wetlands: Poolesville, Md*. Wetland Training Institute, Inc., WTI 93-2,

- Poiani K., & Johnson W.C., (1993). A Spatial Simulation Model of Hydrology and Vegetation Dynamics in Semi-Permanent Prairie Wetlands. *Ecological Society of America*, 279-293.
- Polatel, C. (2015). Effect of Hydrologic Data Uncertainties on Constructed Wetland Water Budgets. *World Environmental and Water Resources Congress*, 2537- 2548.
- Quijano, J., & Lin, H. (2014). Entropy in the Critical Zone: A Comprehensive Review. *Entropy*, 16(6), 3482-3536.
- Rahim, B.E. A., Yusoff, I., Jafri, A. M., Othman, Z., & Azman, A. G. (2012). Application of MIKE SHE Modelling System To Set Up A Detailed Water Balance Computation. *Water and Environment Journal*, 26, 490–503.
- Ramsar (2016). *An Introduction to the Ramsar Convention on Wetlands*. Ramsar Handbooks 5th Edition.
- Ramsar Convention on Wetlands. (2018). Global Wetland Outlook: State of the World's Wetlands and Their Services to People. *Gland, Switzerland: Ramsar Convention Secretariat*.
- Refshaard, J. C., Storm, B., & Singh, V. P. (1995). MIKE SHE. *Computer Models of Watershed Hydrology*, 809–846.
- Refsgaard, J.C. and Storm, B. (1995) 'MIKE SHE', In: Singh, V.P. (ed.) *Computer Models of Watershed Hydrology*, Highlands Ranch, Colorado: *Water Resources Publications*, 809–846.
- Refsgaard, J.C. (1997) 'Parameterisation, calibration and validation of distributed hydrological models', *Journal of Hydrology*, 198, 69–97.
- Richards J. A., & Jia X., (2006). *Remote Sensing Digital Image Analysis*. 4th Ed. Springer, Germany.
- Sandu, M.A., & Virsta, A. (2015). Applicability of MIKE SHE to Simulate Hydrology in Argesel River Catchmenat International Conference. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 6, 517–524.
- Salimi, S., Almuktar, S. A. A. N., & Scholz, M. (2021). Impact of climate change on wetland ecosystems: A critical review of experimental wetlands. *Journal of Environmental Management*, 286.
- Schowengerdt, R. A., (1997). *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*. Academic Press, San Diego.
- Shaw, S. & Fredine, C. (1956). *Wetlands of the United States - their extent and their value to waterfowl and other wildlife*. U.S. Department of the Interior Washington, D.C.

- Singh, C., Thompson, J., French, J., Kingston, D., & Mackay, A. (2010). Modelling The Impact Of Prescribed Global Warming On Runoff From Headwater Catchments Of The Irrawaddy River and Their Implications For The Water Level Regime Of Loktak Lake, Northeast India. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14, 1745-1765.
- Singh, C., Thompson, J., Kingston, D., & French, J. (2011). Modelling Water-Level Options For Ecosystem Services And Assessment Of Climate Change: Loktak Lake, Northeast India. *Hydrological Sciences Journal*, 56, 1518-1542.
- Singhdonald V.P., Frevert K., 2006 . Watershed Models, Taylor & Francis Group
- Sun Z., Wei B., Su W., Shen W., Wang C., You D., & Liu Z. (2011). Evapotranspiration Estimation Based on the SEBAL Model in the Nansi Lake Wetland of China, *Mathematical and Computer Modelling*, 54, 1086–1092.
- Sürücü, A. (1999). *Alaçam –Gerze Arası Kıyı Bölgesinde Oluşmuş Toprakların Profil İncelenmesi, Toprak Genesisi ve Sınıflandırılması Üzerine Bir Araştırma*. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tokat.
- Taşan M. (2017). *Samsun İli Alaçam İlçesi Kıyı Bölgesi Çeltik Alanlarının Sulanmasında Yeraltı Suyu Kullanımının Toprak-Su Özellikleri Ve Deniz Suyu Girişimine Etkilerinin Farklı Enterpolasyon Yöntemleri İle Değerlendirilmesi*. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- Taşan S. (2018). *Bafra Ovası Sağ Sahil Topraklarının Sulama Açısından Bazı Fiziksel Ve Kimyasal Özelliklerindeki Değişimin Modeller İle Tahmini*. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- The United States Geological Survey (USGS), 2007, Water Budgets: Foundations for Effective Water-Resources and Environmental Management
- Thompson, J. (2012). Modelling the Impacts of Climate Change on Upland Catchments in Southwest Scotland Using MIKE SHE and the UKCP09 Probabilistic Projections. *Hydrology Research*, 43, 507-530.
- Thompson, J. R., Sorenson, H. R., Gavin, H. & Refsgaard, A. (2004). Application of the Coupled MIKE SHE/MIKE 11 Modelling System to a Lowland Wet Grassland in Southeast England. *Journal of Hydrology*, 293, 151-179.
- Toprak Su Genel Müdürlüğü, (1970). *Samsun İli Toprak Kaynağı Envanter Raporu*. Köy İşleri Bakanlığı Torak Su Genel Müdürlüğü Taprak Etütleri Haritalama Dairesi Razi Tasnif Şubesi, Ankara
- Tóth B., Weynants M., Pásztor L., & Hengl T. (2017). 3D Soil Hydraulic Database of Europe at 250 m Resolution. *Hydrological Processes*, John Wiley & Sons Ltd, Vol.31 Issue 14, 1 July 2017, Pages 2497–2666 (pages 2662 -2666); DOI:10.1002/hyp.11203;
- Uğur M. F., & Sezgin M., (2007). Sinop Jeolojisi, MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Rapor no: 79, s. 87.

- Uğur M. F., & Sezgin M., (2009). *Sinop Jeolojisi*. MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Rapor no: 117, s. 40.
- Vandewiele G.L., & Elias A. (1995). Monthly Water Balance Of Ungauged Catchments Obtained By Geographical Regionalization. *Journal of Hydrology*, 170, 277-291.
- Vo, N. D. (2015). *Deterministic Hydrological Modelling for Flood Risk Assessment and Climate Change in Large Catchment. Application to Vu Gia Thu Bon Catchment, Vietnam*. Information and Communication Sciences, Nice Sophia Antipolis University, Ph. D Thesis, Nice, France.
- Vo, N. D., Gourbesville, P. (2015). Establishing The Flood Map For The Downstream Of Vu Gia-Thu Bon Catchment – Viet Nam. Scale Variability of Inundation Area Under The Impact Of Climate Change. *E-proceedings of the 36 th IAHR World Congress*, 28 June – 3 July, The Hague, the Netherlands.
- Walton, R., Chapman, R. S., & Davis, J. E. (1996). Development and Application of The Wetlands Dynamic Water Budget Model. *Wetlands*, 16 (3), s. 347-357.
- Wang, S., Zhang, Z., Sun, G., Strauss, P., Guo, J., Tang, Y., & Yao, A. (2012). Multi-Site Calibration, Validation, and Sensitivity Analysis of the MIKE SHE Model for a Large Watershed in Northern China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16 (12), 4621–4632.
- Wang C., Hou Y., & Xue Y, (2017). Water Resources Carrying Capacity of Wetlands in Beijing: Analysis of Policy Optimization for Urban Wetland Water Resources Management. *Journal of Cleaner Production*.
- Wang, X., Li, L., Wang, H., Zuo, L., Wang, B., & Xie, F. (2025). Understanding equilibrium climate sensitivity changes from CMIP5 to CMIP6: Feedback, AMOC, and precipitation responses. *Atmospheric Research*, 315, 107917.
- Wilcox D.A., Sweat M.J., Carlson M.L., & Kowalski K.P., (2006). A water-Budget Approach to Restoring a Sedge fen Affected by Diking and Ditching, *Journal of Hydrology*, 320, 501–517.
- Wuletawu A. W. (2016). *Modelling water budget at a basin scale using JGrass-NewAge system*, Department of Civil, Environmental and Mechanical Engineering, University of Trento, Italy.
- Yaykiran, S., Cuceloglu, G., & Ekdal, A. (2019). Estimation of Water Budget Components of the Sakarya River Basin by Using the WEAP-PGM Model. *Water*, 11, 271.
- Yıldız E. F. (2007). *Kayseri- Sultansazlığı Sulak Alanı'nda Yeraltı ve Yerüstü Suları İlişkisinin Belirlenmesi*. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- Yılmaz, B., Aras, E., & Nacar, S. (2024). Yağış ve sıcaklık projeksiyonlarının CMIP6 topluluğu tabanlı bir değerlendirmesi. *Teorik ve Uygulamalı Klimatoloji*, 155(7377-7401).

- Yüksel, M., & Dengiz, O. (1996). Bafra Ovası Sağ Sahili Topraklarının Sınıflandırılması. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 2 (2), 95-101.
- Zhang, Z., Wang, S ., Sun, G., McNulty, S. G. Zhang, H. Li, J., Zhang, M., Klaghofer E., & Strauss, P. (2008). Evaluation of The Mike She Model for Application in The Loess Plateau, China. *Journal of The American Water Resources Association*, 44(5).
- Zhang, J., Zhang, M., Song, Y., & La, Y. (2021). Hydrological simulation of the Jialing River Basin using the MIKE SHE model in changing climate. *Journal of Water and Climate Change*, *In Press*.



ÖZGEÇMİŞ

Eprar ÖZEL ÇELİK, İlköğrenimini Cudibey İlköğretim Okulu'nda, lise eğitimini 2002 yılında Trabzon Lisesi'nde tamamladı. 2003-2004 öğretim yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2007 yılında bu bölümden mezun oldu. 2009 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında tezli yüksek lisans programına başladı. 2011 yılında tamamladı ve 2016 yılında doktora eğitimine başladı. 2012 yılından itibaren İller bankası A.Ş. Genel Müdürlüğünde teknik uzman olarak görev yapmaktadır. İyi derecede İngilizce bilmektedir.