



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**KONYA KAPALI HAVZASI'NDA ARAZİ
ÖRTÜSÜ/ARAZİ KULLANIM DEĞİŞİMİNİN
ETKİLERİ VE SU BÜTÇESİ BİLEŞENLERİ
İLE İLİŞKİSİ: TARİHSEL İNCELEME VE
GELECEK PERSPEKTİFİ**

Cihangir KÖYCEĞİZ

DOKTORA TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

EKİM-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Cihangir KÖYCEĞİZ tarafından hazırlanan “Konya Kapalı Havzası’nda Arazi Örtüsü/Arazi Kullanım Değişiminin Etkileri ve Su Bütçesi Bileşenleri ile İlişkisi: Tarihsel İnceleme ve Gelecek Perspektifi” adlı tez çalışması 19/10/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. İsmail YÜCEL

Danışman

Doç. Dr. Meral BÜYÜKYILDIZ

Üye

Doç. Dr. Mehmet Cüneyd DEMİREL

Üye

Doç. Dr. Alpaslan YARAR

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Volkan YILMAZ

İmza

.....

.....

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Ulusal Yüksek Başarımlı Hesaplama Merkezi (UHEM) tarafından 011742022 ve 1007292019 nolu projeler ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Cihangir KÖYCEĞİZ

19.10.2022

ÖZET

DOKTORA TEZİ

KONYA KAPALI HAVZASI'NDA ARAZİ ÖRTÜSÜ/ARAZİ KULLANIM DEĞİŞİMİNİN ETKİLERİ VE SU BÜTÇESİ BİLEŞENLERİ İLE İLİŞKİSİ: TARİHSEL İNCELEME VE GELECEK PERSPEKTİFİ

Cihangir KÖYCEĞİZ

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Meral BÜYÜKYILDIZ
İkinci Danışman: Prof. Dr. Ömer Lütfi ŞEN**

2022, 94 Sayfa

Jüri

**Doç. Dr. Meral BÜYÜKYILDIZ
Doç. Dr. Mehmet Cüneyd DEMİREL
Doç. Dr. Alpaslan YARAR
Prof. Dr. İsmail YÜCEL
Dr. Öğr. Üyesi Volkan YILMAZ**

Kapalı havzalar sahip oldukları hassas hidrolojik denge ve maruz kaldıkları antropojenik etkiler nedeniyle su kaynakları açısından oldukça kısıtlıdır. Dünya üzerinde kapalı havzaların genel olarak kurak ve yarı kurak bölgelerde bulunması ile birlikte kısıtlı yağış ve yüksek evapotranspirasyon etkisi altında hidrolojileri daha kırılgan bir hale gelmektedir. Konya Kapalı Havzası da (KKH) tarımın yoğun olarak yapıldığı su kısıtlı bir havzadır. Çalışma alanı olarak belirlenen KKH'de öncelikle uzaktan algılama verileri kullanılarak 2002-2019 periyodunda meydana gelen arazi örtüsü değişimleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Global Land Data Assimilation System (GLDAS) ve Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) veri setleri ile KKH su bütçesi değişimi araştırılmıştır. Ayrıca toplam su depolama anomalisi bileşenlerinin katkı oranları hesaplanmıştır. KKH'ye su girdisi sağlayan en önemli hidrolojik parametre olan yağışın, toplam su depolama anomalisi ve bileşenleri ile olan ilişkisi incelenmiştir. Farklı hidrolojik parametrelerin monotonik ve alt trend analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, tarım alanlarının çalışma periyodu boyunca artan trende sahip olduğu tespit edilmiştir. Yağışın yer altı suyu depolama sistemine etkisi 6 ay olarak belirlenmiştir. Ayrıca zemin nemi depolama anomalisi (49.61%) ve yer altı suyu depolama anomalisinin (33.12%), toplam su depolama anomalisinin yüksek katkı oranlarına sahip iki bileşeni olduğu tespit edilmiştir. Yer altı statik su seviyesinin alüvyal akiferlerde (150.75 mm/yıl) ve ağırlıklı kireçtaşı akiferlerinde (78.55 mm/yıl) azalma trendine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yağış ve evapotranspirasyon parametrelerinin genel artış trendine sahip olduğu, ancak evapotranspirasyonun yağışa kıyasla daha baskın bir artış trendine sahip olduğu tespit edilmiştir. Hidrolojik zaman serilerinin alt trend açısından incelenmesi sonucunda, 2007-2008 yıllarında meydana gelen kuraklığın önemli bir kırılma noktası olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Arazi örtüsünün sabit ve değişken olduğu iki farklı senaryo için Mesoscale Hydrologic Model (mHM), KKH içerisinde bulunan 10 akım gözlem istasyonunu modeli doğrulamak amacıyla kullanmıştır. Bu doğrultuda, ısınma periyodu 2002-2003, kalibrasyon periyodu 2004-2015 ve validasyon periyodu 2016-2019 olarak belirlenmiştir. Akım tahmininde tatmin edici sonuçların elde edildiği mHM modelinin evapotranspirasyon ve yer altı statik su seviye anomalisi çıktıları değerlendirilmiştir. Buna göre, GLDAS gerçek evapotranspirasyon değerlerinin düşük tahmin edildiği

sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte arazi örtüsünün zamansal değişim gösterdiği senaryonun yer altı statik su seviyesi anomalisini tahmin etmekte daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Arazi Örtüsü/Kullanımı Değişimi, Fiziksel Tabanlı Model, GLDAS, GRACE, Konya Kapalı Havzası, mHM, Trend



ABSTRACT

PhD THESIS

IMPACTS OF LAND COVER/LAND USE CHANGE AND RELATIONSHIP OF WATER BUDGET COMPONENTS IN KONYA CLOSED BASIN: HISTORICAL RESEARCH AND FUTURE PERSPECTIVE

Cihangir KÖYCEĞİZ

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering**

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Meral BÜYÜKYILDIZ
Co-Advisor: Prof. Dr. Ömer Lütfi ŞEN**

2022, 94 Pages

Jury

**Assoc. Prof. Dr. Meral BÜYÜKYILDIZ
Assoc. Prof. Dr. Mehmet Cüneyd DEMİREL
Assoc. Prof. Dr. Alpaslan YARAR
Prof. Dr. İsmail YÜCEL
Asst. Prof. Dr. Volkan YILMAZ**

Endorheic basins are very limited in terms of water resources due to the sensitive hydrological balance they have and the anthropogenic effects they are exposed to. As endorheic basins are generally found in arid and semi-arid regions around the world, their hydrology becomes more fragile under the effect of limited precipitation and high evapotranspiration. Konya Closed Basin (KCB) is a water-limited basin where agriculture is intensively done. In the KCB, which was determined as the study area, primarily using remote sensing data, land cover changes that occurred in the 2002-2019 period were tried to be determined. KCB water budget variation was investigated with Global Land Data Assimilation System (GLDAS) and Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) datasets. In addition, the contribution rates of the total water storage anomaly components were calculated. The relationship between precipitation, which is the most important hydrological parameter that provides water input to the KCB, with the total water storage anomaly and its components has been examined. Monotonic and sub-trend analyzes of different hydrological parameters were performed. In line with the results obtained, it has been determined that the agricultural areas have an increasing trend throughout the study period. The effect of precipitation on the groundwater storage system was determined as 6 months. In addition, it was determined that the soil moisture storage anomaly (49.61%) and the groundwater storage anomaly (33.12%) are the two components of the total water storage anomaly with high contribution rates. It has been determined that the groundwater level has a decreasing trend in alluvial aquifers (150.75 mm/year) and predominantly limestone aquifers (78.55 mm/year). It has also been determined that precipitation and evapotranspiration parameters have a general increasing trend, but evapotranspiration has a more dominant increase trend compared to precipitation. As a result of examining the hydrological time series in terms of sub-trend, it was concluded that the drought that occurred in 2007-2008 was an important breaking point. For two different scenarios where the land cover is fixed and variable, the Mesoscale Hydrologic Model (mHM) used 10 flow observation stations in the KCB to validate. Accordingly, the warm-up period is 2002-2003, the calibration period is 2004-2015, and the validation period is 2016-2019. Evapotranspiration and groundwater level anomaly outputs of the mHM model, in which satisfactory results were obtained in the flow estimation, were evaluated. Accordingly, it was concluded that the actual evapotranspiration values

of GLDAS were underestimated. However, it has been observed that the scenario where the land cover shows temporal variation is more successful in estimating the groundwater level anomaly.

Keywords: GLDAS, GRACE, Konya Closed Basin, Land Cover/Use Change, mHM, Trend, Physically Based Model



ÖNSÖZ

Tez çalışmamın başından sonuna kadar desteklerini esirgemeyen, karşılaştığım zorluklarda bana sabır ve anlayışla yol gösteren saygı değer danışman hocam Doç. Dr. Meral BÜYÜKYILDIZ'a, bilgi ve tecrübelerini zaman ve ortam fark etmeksizin paylaşmaktan çekinmeyen, sağladığı motivasyon ve çalışma teşviki ile bu çalışmanın ortaya çıkmasında önemli pay sahibi olan ikinci danışman hocam Prof. Dr. Ömer Lütfi ŞEN'e saygı ve teşekkürlerimi en kalbi duygularıyla sunarım.

Çalışmanın çıkmaz sokaklarında açtığı yollarla yönümü bulmamda katkı sağlayan, bu çalışmayı heyecanla ve tutkuyla yürütmemde büyük pay sahibi olan Sayın Doç. Dr. Mehmet Cüneyd DEMİREL hocama, değerli yorumlarını ve desteklerini esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Alpaslan YARAR hocama en derin teşekkürlerimi sunarım.

Bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşmaktan çekinmeyen Devlet Su İşleri 4. Bölge Müdürlüğü ve Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü başta olmak üzere yardımcı olan tüm kamu personeline teşekkürlerimi sunarım. Çalışmanın analiz kısmında kullanılan iş istasyonlarına erişimin sağlanmasında, karşılaştığımız teknik problemlere karşı hızlı ve etkili çözüm üretmeleri noktasında destekleri için Ulusal Yüksek Başarımlı Hesaplama Merkezi'ne teşekkürlerimi sunarım.

Sağladığı motivasyon ve anlayışla, maddi ve manevi tüm destekleri için aileme teşekkür ederim.

Cihangir KÖYCEĞİZ
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. MATERYAL VE METOT	10
3.1. Çalışma Alanı	10
3.2. Veriler	17
3.3. TWSA Komponentlerinin ve Depolama Değişiminin Elde Edilmesi	20
3.4. GWSA'nın Elde Edilmesi.....	21
3.5. TWSA Komponent Anomalilerinin Analizi ve Yağış ile İlişkileri	23
3.6. Trend Analiz Metotları	23
3.7. Mesoscale Hydrologic Model (mHM).....	25
3.8. Performans Metrikleri.....	28
3.9. mHM Kalibrasyon ve Ön İşleme Süreçleri.....	30
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI.....	33
4.1. Arazi Örtüsü/Kullanımı (AÖK) Değişiminin Zamansal ve Alansal İncelenmesi	33
4.2. Su Bütçesi Bileşenlerinin Analizi	38
4.3. Gecikme Zamanı ve Komponent Katkı Oranı	40
4.4. Monotonik ve Alt Trend Analizi	42
4.5. mHM Akım Tahmin Sonuçları	47
4.6. Senaryo Tabanlı Fiziksel Sonuçların Değerlendirilmesi	62
5. TARTIŞMA	78
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	82
KAYNAKLAR	84
EKLER	93

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

P	: Yağış
PA	: Yağış anomalisi
ET	: Evapotranspirasyon
ETA	: Evapotranspirasyon anomalisi
S_y	: Spesifik verim
WL	: Yer altı statik su seviye ölçümleri
CIL_s	: Önem aralığı limitleri
T	: Onyutha Testi'nin trend istatistiği
Z	: Onyutha Testi'nin standartlaştırılmış test istatistiği
V(T)	: Onyutha Test istatistiğinin varyansı
I	: Sulama miktarı (mm)
I_r	: Toplam sulama miktarı (mm)
A_{HA}	: Hasat edilen toplam alan (Dekar)
A_{TA}	: Toplam tarım alanı (Dekar)
ET_a	: Bitki su tüketimi (mm)
ΔS	: Depolama değişimi
Sn1	: Senaryo 1 (Arazi örtüsünün/kullanımının sabit kaldığı senaryo)
Sn2	: Senaryo 2 (Arazi örtüsünün/kullanımının değişken olduğu senaryo)

Kısaltmalar

DSİ	: Devlet Su İşleri
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri
AGİ	: Akım gözlem istasyonu
MGİ	: Meteoroloji gözlem istasyonu
GRACE	: Gravity Recovery and Climate Experiment
GLDAS	: Global Land Data Assimilation System
ASTER	: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
SRTM	: Shuttle Radar Topography Mission
MODIS	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
CORINE	: Çevresel Bilginin Koordinasyonu
IGBP	: International Geosphere-Biosphere Program
AÖK	: Arazi örtüsü/kullanımı
mHM	: Mesoscale Hydrologic Model
SYM	: Sayısal yükseklik modeli
CCR	: Komponent katkı oranı
BLRM	: Basit lineer regresyon modeli
DDS	: Dynamically Dimensioned Search
R^2	: Determinasyon Katsayısı
NSE	: Nash Sutcliffe Verimlilik Katsayısı
PBIAS	: Yanlılık yüzdesi
KGE	: Kling-Gupta Verimlilik Katsayısı
RMSE	: Kök ortalama kare hata
YAI	: Yaprak alan indeksi
TWS	: Karasal su depolaması
TWSA	: Karasal su depolama anomalisi

GWS	: Yer altı suyu depolaması
GWSA	: Yer altı suyu depolama anomalisi
CWS	: Kanopi su depolaması
CWSA	: Kanopi su depolama anomalisi
SWE	: Kar-su eşleniği
SWEA	: Kar-su eşleniği anomalisi
SWS	: Yüzeysel su depolaması
SWSA	: Yüzeysel su depolama anomalisi
SMS	: Zemin nemi depolaması
SMSA	: Zemin nemi depolama anomalisi
PET	: Potansiyel evapotranspirasyon
aET	: Gerçek evapotranspirasyon
VZ	: Vadoz bölge
GW	: Yer altı suyu
BGR	: Baz-yer altı akışı
SSR	: Taşkın yüzey akışı
SR	: Kar erimesi akışı
GWL	: Yer altı su seviyesi
GWA	: Yer altı su seviyesi ölçüm anomalisi

1. GİRİŞ

Okyanus ve denizlere olan yüzeysel akışın karalarla çevrili olduğu kapalı havzaların büyük bir kısmı kurak veya yarı kurak alanlarda bulunmaktadır. Kapalı havzalar Dünya yüzeyinin neredeyse beşte birini, su stresi yaşayan bölgelerin yaklaşık yarısını oluşturmaktadır (Wang ve ark., 2018). Kapalı havzaların hidrolojisi gereği, yüzeysel akışının topografik engelleri aşmadığı ve evapotranspirasyonun etkisinin yoğun olduğu bir su dengesine sahiptir. Kapalı havzaların su dengesi yüzeyaltı akışların ve evapotranspirasyonun dengeli olduğu durumlarda hidrolojik olarak sürdürülebilir olmaktadır. Ancak iklim değişikliği ve antropojenik etkilere bağlı olarak hassas olan hidrolojik dengeler giderek bozulmaktadır (Dai, 2013; Rodell ve ark., 2018). Kuruyan göller, tükenen akiferler ve azalan yüzeysel su kaynakları, karasal su depolama (TWS) sistemlerinin azalan trende sahip olduğunu göstermektedir (Wang ve ark., 2018).

İklim değişikliğinin etkisi ile birlikte hidrolojik çevrimin her parçası önemli ölçüde alansal ve zamansal olarak değişkenlik göstermektedir. Bu değişkenliğe bağlı olarak meydana gelen taşkınlar ve kuraklıklar tarımsal aktivitelerin verimliliğini azaltmakta ve tatlı su kaynaklarının azalmasına yol açmaktadır (IPCC, 2021). Yağışın alansal değişkenliğinin artması, o bölgenin ekosistemini ve canlı habitatlarını etkilemektedir. Böylece hassas ekolojik denge zarar görmektedir. Zamansal değişkenliğin artması üniform yağışlar yerine kısa süreli yoğun yağışların meydana gelmesini sağlamaktadır. Bu durumda su kaynaklarının yönetimi zorlaşmaktadır. Bu değişkenliklere bağlı olarak hidrolojik çevrimin dengesi zarar görmektedir (IPCC, 2021).

Arazi örtüsünün/kullanımının (AÖK) değişimi, sanayileşme ve şehirleşmeye bağlı olarak karbon salınımının artması gibi antropojenik etkiler de hidrolojik çevrim parametrelerini etkilemektedir (Jiongxin, 2005). Kurak bölgelerde yüzeysel su kaynaklarının yetersiz kalmasına bağlı olarak yer altı su kaynakları aşırı kullanıma maruz kalmaktadır. Bu durum floranın, yetersiz su alımı sonucunda yok olmasına, ardından faunanın besin temininde sorun yaşayarak sayıca azalmasına yol açmaktadır. Birbirini etkileyen sebep sonuç zinciri, doğrudan ve/veya dolaylı yoldan insan yaşamını olumsuz etkilemektedir. İnsani ihtiyaçların sağlanması amacıyla yapılan bilinçsiz tarımsal uygulamalar tatlı su kaynaklarının verimli kullanılmamasına sebep olmaktadır (Wu ve ark., 2013).

Ormansızlaştırma, çölleşme, sürdürülebilir stratejilerle planlanmayan tarımsal faaliyetler hidrolojik çevrimi olumsuz etkileyen AÖK değişiminin başında gelmektedir.

Dolayısıyla su kaynaklarının yönetiminde AÖK önemli bir parametredir (Kumar ve ark., 2022; Findell ve ark., 2017). Bilinçsiz yapılan tarım, düşük verimin yanında su kaynaklarının hızla tükenmesine yol açmaktadır. Tarımsal faaliyetlerin ve şehirleşmenin yaygınlaşması ile ormanlık alanlar hızla tahrip edilmektedir. Ormanlar yağış yoluyla gelen suyun hızla yüzeysel akışa geçmesini engeller. Ayrıca hidrolojik çevrime sağladığı katkı ile bulunduğu bölgede yağışın sürekliliğinin sağlanmasına katkı sağlar. Ormansızlaştırılan bir arazide yağış hızla yüzeysel akışa geçecek ve su kaynaklarının korunması daha zor hale gelecektir. Yüzeysel akışın artmasına bağlı olarak taşkınların şiddeti ve frekansı da artış göstermektedir (Buechel ve ark., 2022). Kurak alanlar Dünya yüzeyinin %41'ini, dünyadaki tarım alanlarının %45'ini kapsamaktadır. Bu bölgeler insani etkilerin yoğun olduğu ve iklim değişikliği etkilerinin şiddetle kendini gösterdiği bölgelerdir (Burrell ve ark., 2020).

Küresel hidrometeorolojik değişimlerin gözlemlenebilmesi için uzaktan algılama metotları ve uydular oldukça faydalı bilgiler sağlamaktadır. TWS anomalilerinin gözlemlenebildiği Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) uydusu, hidrolojik çevrimin bir bütün olarak global ve bölgesel olarak incelenmesine olanak sağlamaktadır (Save ve ark., 2016; Wiese ve ark., 2016). GRACE'ten elde edilen bilgilerle küresel su bütçesindeki değişimler ve yer altı su kaynakları hakkında da araştırmalar yapılmaktadır (Brookfield ve ark., 2018; Long ve ark., 2016; Pan ve ark., 2016; Soni ve Seyd, 2015; Tregoning ve ark., 2012). Uydu gözlemleri ile birlikte kara yüzeyi modellerinin de çalıştırılması sonucu global ölçekte veri sağlayan programlar da mevcuttur. Global Land Data Assimilation System (GLDAS) ve Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi (ECMWF) Reanalysis v5 (ERA5) programları bunların başında gelmektedir (Beaudoin ve Loeser, 2021; ECMWF, 2021). Uzaktan algılama metotlarının gelişmesine bağlı olarak küresel ölçekte suyun yönetimi, izlenmesi ve korunmasına yönelik çalışmalar gelişme kaydetmiştir.

Gelişen uydu gözlem ve uzaktan algılama yöntemleri hidrolojik model geliştirme çalışmalarına da katkı sağlamıştır. Zamansal ve alansal ölçekte yüksek çözünürlüklü modellerin çalıştırılması teknolojik imkanlarla birlikte karmaşık havza hidrolojilerinin daha derinden anlaşılmasına olanak sağlamaktadır (Paniconi ve Putti, 2015). Alansal olarak toplu modeller havzanın bütünü ile ilgili bilgiler sağlarken yüksek değişkenliğe sahip hidrolojik parametreler hakkında kısıtlı bilgi vermektedir (Paudel ve ark., 2011). Diğer taraftan kara kutu modelleri süreçlerin incelenmesi konusunda yetersiz kalmaktadır (Koycegiz ve Buyukyildiz, 2019). Bu sebeple fiziksel tabanlı dağıntık hidrolojik modeller

alansal bilginin elde edilmesi ve süreçlerin gözlemlenebilmesi açısından kullanışlı araçlardır. Mesoscale Hydrologic Model (mHM), karmaşık fiziğe sahip havzalara kolaylıkla uygulanabilmesi açısından, hidrolojik model çalışmalarında sıkça tercih edilmektedir (Baroni ve ark., 2019; Kumar ve ark., 2013; Samaniego ve ark., 2010).

Çalışma alanı olarak belirlenen Konya Kapalı Havzası (KKH), yarı kurak iklime ve karstik formasyona sahip olması sebebiyle karmaşık bir hidrolojiye sahiptir. Ayrıca tarımsal faaliyetlerin yoğun olması sebebiyle de KKH'deki kısıtlı yüzeysel ve yer altı su kaynakları hızla tüketilmektedir (Duygu ve ark., 2017; MAF, 2015; MAF, 2018). Havzadaki tarımsal faaliyetlerin başlıca su kaynağı, yer altı su sistemidir. Yer altı su kaynaklarının hızla tükenmesi obruk oluşumu gibi problemlere de yol açmaktadır. Havzanın sahip olduğu kurak iklim ve yoğun antropojenik etkiler, alansal dağınık hidrolojik bilginin elde edilmesini gerekli kılmaktadır.

Bu çalışmada, KKH'nin AÖK değişimlerinin incelenmesi, su bütçesinin izlenmesi ve alansal dağınık fiziksel tabanlı mHM hidrolojik modeli yardımıyla incelenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda farklı AÖK veri setleri incelenerek havzadaki yüzey örtüsü değişimi gözlemlenmiştir. Uydu gözlem ve model verileri yardımıyla havzanın su bütçesi bileşenlerinin değişimleri ortaya koyulmuştur. Ayrıca TWS anomalisinin (TWSA) bileşenlerinin katkı oranları ve yağış ile ilişkisi araştırılmıştır. Çalışmada incelenen hidrolojik parametrelerin monotonik ve alt trendleri incelenmiştir. Havzanın genel hidrolojik durumunun ortaya koyulmasının ardından, alansal dağınık fiziksel tabanlı mHM ile farklı senaryolar altında kalibre edilmiştir. Evapotranspirasyon ve yer altı su seviyesi başta olmak üzere farklı hidrolojik parametreler incelenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

AÖK değişimi yüzeysel akışı, sızmayı, evapotranspirasyonu, zemin nemi depolama sisteminde tutulan suyun miktarını ve yağışın yüzeyde tutulma oranını değiştirerek havza hidrolojisini önemli ölçüde etkilemektedir (Rahman ve ark., 2017). İnsani aktivitelerin başında gelen tarım alanlarının hızla genişlemesi AÖK değişiminin başlıca sebeplerindendir (Mottet ve ark., 2006). Gıdaya olan küresel talebin artması ile dünyadaki tarımsal sınırlar giderek bozulmamış doğaya doğru ilerlemektedir (Lamparter ve ark., 2018). Tarımsal genişlemenin yol açtığı önemli değişimlerden biri ormansızlaşmadır. Ormansızlaşma, akımda artışa neden olarak daha şiddetli taşkınların meydana gelmesine sebep olmaktadır. Ayrıca orman yangınları ve kuraklığa bağlı ekolojik değişimlerde, bölgesel olarak yağış paternini ve akışı değiştirmektedir (Davidson ve ark., 2012). Literatürde AÖK değişiminin hidrolojik parametrelere etkisinin incelendiği pek çok çalışma mevcuttur (Baker ve Miller, 2013; Chiarelli ve ark., 2022; Lin ve ark., 2015; Teklay ve ark., 2021; Wang ve ark., 2018; Zou ve ark., 2017).

AÖK değişimi, Türkiye’yi etkileyen önemli olaylardan biridir. Yücer (2020), Türkiye İstatistik Kurumu’ndan temin edilen AÖK ve nüfus verileri ile yürüttüğü çalışmada, 1980’li yıllara kadar doğal arazi örtüsüne uygun arazi kullanımının olduğunu belirlemiştir. 1980’lerden sonra artan nüfusla birlikte sektörel ihtiyaçlar doğrultusunda AÖK’ün önemli ölçüde değişiklik gösterdiğini belirtmiştir. AÖK ile ilgili sektörel ihtiyaçlar doğrultusunda karar mekanizmaları tarafından etkisiz yasaların revize edilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Genç ve ark. (2021), Çevresel Bilginin Koordinasyonu (CORINE)’ndan 1990, 2000, 2012 ve 2018 yılları için temin edilen AÖK verileri ile sınıflandırma yaparak Türkiye için AÖK değişimini incelemiştir. Elde edilen sonuçlara göre tarımsal alanların kademeli olarak yapay yüzeylere dönüştüğü tespit edilmiştir. Sulanabilir verimli araziler ile meralar en çok azalan tarımsal alanlar olarak belirtilmiştir.

Bölgesel olarak yapılan AÖK çalışmaları, lokal politikaların belirlenmesinde ve uygulanmasında önemli rol oynamaktadır. Göksel ve Balçık (2019), Satellite Pour l’Observation de la Terre (SPOT) 5 uydu görüntülerinin 2006 ve 2014 yıllarını Mersin ili için incelemişlerdir. Tarımsal alanlar (6295.1 ha), yapay yüzeyler ve seralarla birlikte artış göstermiştir. Kıraç araziler en çok azalışı gösteren arazi sınıfı olmuştur. Ustaoglu (2019), 1990, 2000, 2006 ve 2012 yılları için CORINE’den temin edilen AÖK verilerini Türkiye için şehirleşme perspektifinden incelemiştir. Çalışmada, alansal ve zamansal ölçekte şehir ve şehir olmayan alanların değişimleri sistematik olarak bölgeler bazında

kıyaslanmıştır. Şehir çevresindeki alanların genişlemeleri, kırsal kesimlerden daha fazladır. Topaloğlu (2014), KKH için 1984-2011 periyodunda Landsat 5-TM uydu görüntüleri ile arazi örtüsü sınıflandırması çalışması yapmıştır. Ayrıca yapılan sınıflandırma işlemi sonrasında arazi örtülerinin zamansal değişimleri incelenmiştir. Çalışmada ARCGIS ve ERDAS yazılımlarını kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre su kütlelerinde azalma, yeşil alanlarda ise artış tespit edilmiştir.

AÖK değişimlerinin etkilediği önemli hidrolojik sistemlerin başında TWS gelmektedir. TWS bir bölgenin su potansiyelinin incelenmesinde önemli parametrelerden ilkinin oluşturmaktadır. TWS, yer altı suyu depolaması (GWS), kanopi su depolaması (CWS), kar-su eşleniği (SWE), yüzeysel su depolaması (SWS) ve zemin nemi depolaması (SMS) bileşenlerinden oluşmaktadır (Pan ve ark., 2016; Tregoning ve ark., 2012). TWS bileşenlerinin davranışlarının incelenmesi su kaynaklarının gelecekteki davranışının tahmin edilmesi açısından oldukça önemlidir. TWS bileşenlerinin, toplam anomaliye etkisi coğrafi, meteorolojik ve hidrolojik koşullara göre değişiklik göstermektedir (Zhang ve ark., 2019).

Önceki zaman adımına kıyasla TWS’de meydana gelen değişimin oluşturduğu zaman serisi, TWSA olarak ifade edilmektedir. Yağış, TWSA’yı ve bileşenlerini besleyen önemli hidrolojik parametrelerden biridir. Yağış ile TWSA ilişkisi Dünya üzerinde değişkenlik göstermektedir (Mo ve ark., 2016). Tibet platosunda yapılan çalışmalarda, TWSA’nın yağışa yaklaşık 2 ayda tepki verdiği tespit edilmiştir (Soni ve Seyd, 2015; Xu ve ark., 2018). Indian Nehri ve batı Afrika havzalarında yapılan çalışmalarda da TWSA’nın yağışa tepkisi yaklaşık 1-2 ay olmuştur (Soni ve Seyd, 2015; Xu ve ark., 2018; Ndehedehe ve ark., 2016). TWSA’nın önemli bileşenlerinden biri olan GWS’nin yağışa tepki süresinde bölgenin yüzeyaltı su kaynaklarının kullanımı konusunda geliştirilecek sürdürülebilir stratejilerin oluşturulmasında önemli rol oynamaktadır. Awange ve ark. (2014), Etiyopya’da yaptığı çalışmada karstik olmayan akiferlerin yağışa tepki süresinin 0-6 ay arasında olduğunu belirlemiştir. Benzer şekilde Zhang ve ark. (2019) tarafından, karstik olmayan havzalarda GWS’nin yağışa tepki süresi 9-12 ay olarak belirlenmiştir. Literatürden elde edilen bilgilere göre alansal ve zamansal değişkenlik hidrolojik çevrimin ele alınan parametresine bağlı olarak önemli ölçüde farklılık göstermektedir.

Uzaktan algılama verilerinin kullanılması ile birlikte pek çok alansal verinin aynı anda işlenmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Alansal dağılıma sahip verilerle çalışmanın en büyük zorluklarından biri parametrelerin alanlara yayılmasında hataların olmasıdır. Bölgeselleştirme kaynaklı problemler, kullanılan modellerin etkinliğini azaltmaktadır.

Samaniego ve ark. (2010) bu sorunun çözümü için Multiscale Parameter Regionalization (MPR) önermişlerdir. MPR’de kaba bir ölçekte girilen parametreler yüksek çözünürlüklü girdi verileri ile bağlantılıdır. Bu bağlantı harmonik ortalama gibi operatörler yardımıyla sağlanır. Çalışmada standart bölgeselleştirme ve MPR metodu karşılaştırılmış ve MPR metodunun parametreleri havzaya yaymakta daha başarılı olduğu tespit edilmiştir. Dağınık bir model kullanılan çalışmada, özellikle küresel parametrelerde MPR oldukça yüksek başarı göstermiştir. Standart bölgeselleştirme metotları havza tahmini sağlayan parametreleri gözden geçirirken, MPR hassas alt grid parametrelerini operatörler yardımıyla büyütürken genel model bileşenlerine ulaşır.

Dağınık modeller zamansal-mekansal dinamikleri tanımlamak için giderek daha sık kullanılmaya başlanmıştır. Kumar ve ark. (2013) üç farklı bölgeselleştirme metodunu kıyaslamışlardır. Bu metotlardan ikisi Hidrolojik Tepki Birimi (HRU) temelli bölgeselleştirme teknikleri diğeri MPR metodudur. HRU temelli metotlar ölçeklerin değişmesiyle bozulmalar gösterirken, MPR büyük ölçüde model başarısını korumuştur. Çalışmada Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning (HBV) (Bergström, 1976) ve mHM (Kumar ve ark., 2013) modelleri kullanılmıştır.

Akım tahmini üzerine geliştirilen hidrolojik modeller noktasal akım ölçümlerine bağlı oldukları için kısıtlı değerlendirme yapma imkânı sunarlar. Ancak bu değerlendirme havza parametrelerini ve bu parametrelerin hassasiyetini başarılı bir şekilde yansıtmaz. Demirel ve ark. (2018) alansal dağılıma sahip bir model için çok kriterli hassasiyet analizi yapmışlardır. Hidrolojik model olarak mHM modeli, örnekleme metodu olarak da Latin Hypercube One-at-a-time (LH-OAT) (Morris M., 1991) ve model optimizasyonu için generalized likelihood uncertainty estimation (GLUE) (Van Griensven ve ark., 2006) metodu kullanılmıştır. Çalışma sonucunda 17 hassas parametre tespit etmişlerdir.

Rakovec ve ark. (2016) Avrupa’daki 400 akarsu havzasında mHM ile farklı ölçeklerde çok değişkenli değerlendirme yapmışlardır. Kullanılan verilerin alansal çözünürlüğü 0.5 ve 100 km arasında değişkenlik göstermektedir. Hidrolojik modellerin sonuçları akış ve evapotranspirasyon oranları ile kıyaslanarak modellerin hangi şartlar altında yüksek başarı gösterdiği tespit edilmiştir. mHM yağış istasyonlarının yoğun olduğu bölgelerde daha yüksek olmak üzere genellikle tatmin edici model başarıları elde etmiştir. Busari ve ark. (2021), çok yıllık AÖK verileri ile aylık yaprak alan indeksi (YAI) girdilerinin fiziksel tabanlı dağınık mHM başarısındaki etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, çok yıllık AÖK verisi ile birlikte YAI ile düzeltilmiş potansiyel evapotranspirasyon (PET) girdilerinin model başarısını arttırdığı tespit edilmiştir.

Türkiye ve KKH'nin hidrolojisinde alansal ve zamansal dağınıklığın araştırıldığı çalışmalar literatürde mevcuttur. Dabanlı (2018), kuru gün, ardışık kuru gün, yağışlar, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) ve Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) parametrelerini kullanarak 1971-2000 periyodunda kuraklık risk analizi yapmıştır. Türkiye genelinde 101 meteoroloji istasyonu çalışmada kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, farklı kuraklık indislerinde önemli artışlar tespit edilmiştir. Şener ve Taştekin (2019), Beyşehir gölü ve çevresinde 2015 (Ekim) yılında 9 yer altı sondaj kuyusundan ve 1 adet göl suyundan numuneler almıştır. Yer altı su seviyeleri 4 m ile 29 m arasında değişiklik göstermektedir. Ayrıca akımların göle doğru olduğu tespit edilmiştir.

Demircan ve ark. (2017), HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve GFDL-ESM2M Global Circulation Models (GCM) modellerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına ait çıktıları araştırmışlardır. Sıcaklık ve yağış verilerini 20 km çözünürlükle 2016-2099 periyodu için değerlendirmişlerdir. Türkiye ortalama sıcaklığında 1-6 °C artış gözlemlenmiştir. Yağışlarda kış mevsimi dışında bir azalış tespit edilmiştir. Ayrıca yağış rejimlerinde düzensizlik olduğu belirtilmiştir. Duygu ve ark. (2017), KKH için kuraklık analizi ve su bütçesi çalışması yapmıştır. 1974-2013 periyodu için yürütülen çalışmada, kullanılabilir su potansiyeli 4679 hm³/yıl olarak belirlenmiştir. Ayrıca KKH içerisinde bulunan yer altı suyu gözlem kuyularından elde edilen verilerle yer altı suyu potansiyeli değerlendirilmiştir.

Orhan ve ark. (2019), Landsat 5 TM uydu görüntüleri ve yüzey ölçümleri ile yüzey sıcaklığı değerlerini incelemişlerdir. Ayrıca hava sıcaklığı, yağışlar ve buharlaşma değerlerinde trend analizi yapmışlardır. KKH'nin güney kesimlerinde yağışların artmış olması dikkat çekicidir. Çalışma 1984-2011 periyodu arasındaki verilerle gerçekleştirilmiştir.

Ahi ve Jin (2019), kıta ölçeğinde Türkiye'nin alansal su depolama analizini yapmışlardır. Nisan 2002 – Ocak 2016 periyodu için yapılan çalışmada, GRACE Level 3 (Release05-RL05), GLDAS (Mosaic (MOS), NOAH, Variable Infiltration Capacity (VIC)), ve Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM-3B43) ile birlikte self-calibrating Palmer Drought Severity (SCPDSI), El Niño–Southern Oscillation (ENSO), ve North Atlantic Oscillation (NAO) kuraklık indisleri kullanılmıştır. 4 veri türünde de yıllık alçalma trendi 1-3 cm/yıl civarında belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, GRACE verisinin tarımsal ve hidrolojik kuraklığa, meteorolojik kuraklığa kıyasla daha hassas olduğu tespit edilmiştir. Meteorolojik kuraklığın, tarımsal ve hidrolojik kuraklığa çevrilmesinde La Nina etkisinin önemli olduğu belirtilmiştir. Khorrami ve Gunduz

(2021), GRACE ve GLDAS verilerini kullanarak Türkiye için 2003-2016 periyoduna ait yer altı suyu depolama anomalileri (GWSA) elde edilmiştir. Climatologies at High resolution for the Earth's Land Surface Areas (CHELSA) ve Famine Early Warning Systems Network Land Data Assimilation System (FLDAS) veri setlerinden sırasıyla yağış ve sıcaklık verileri temin edilmiş ve GWSA ile zamansal ilişkileri araştırılmıştır. Çalışma periyodunda Türkiye için GWSA (6 cm) ve TWSA (11 cm) için azalma söz konusudur. Aylık GWSA, yağış ve sıcaklık parametrelerinin 2 ay gecikmeli zaman serileri ile önemli ölçüde korelasyon göstermiştir. Khorrami ve ark. (2021), KKH'de obruk gelişimi ile GWSA değişimlerini alansal ve zamansal olarak ilişkilendirerek araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, TWSA ve GWSA sırasıyla 4.12 ± 0.34 cm/yıl ve 3.40 ± 0.61 cm/yıl azalan trende sahiptir.

Yalvaç (2016), KKH'de bulunan 25 noktada 2011-2016 periyodu arasında GPS ile ölçümler yaparak zemin çökmelerini incelemişlerdir. Yer altı su seviyesi gözlem istasyonlarında ise 2-5 m mevsimsel dalgalanma tespit edilmiştir. Uzun dönemli trend analizi yapılmamıştır. Orhan (2014), Landsat 5-TM görüntüleri yardımıyla 28 yıllık (1984-2011) bir periyot için yüzey sıcaklığı ve kuraklık haritaları oluşturulmuştur. Kuraklık çalışmaları için Arazi Yüzey Sıcaklığı (AYS), Sıcaklık-Bitki İndeksi (SBİ), Bitki Durum İndeksi (BDİ) ve Standart Yağış İndeksi kullanılmıştır. İncelenen zaman periyodunda yüzey sıcaklığının 2-3 °C arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda KKH'de yeşil alanların arttığı gözlemlenmektedir. Yer altı suyu gözlem istasyonlarından alınan veriler alansal ve zamansal olarak incelenmiştir. Havza merkezinde 10 yıllık bir süreçte (2001-2011) bazı kuyularda, 14-18 m düşüş meydana gelmiştir. Zamanla tarımsal faaliyetlerin havza genelinde artması ile birlikte havzada yüzey sıcaklığında azalma meydana gelmiştir. Yüzey sıcaklığında bazı alanlarda 2-3 °C, sulak ve bataklık gibi bazı arazi örtülerinde 7-10 °C azalma tespit edilmiştir. 1984 yılında 1236 km² olan su rezervleri 2007 yılında en düşük değeri olan 659 km²'ye düşmüştür. 2011 yılında ise KKH'deki su rezervi 883 km² olarak belirlenmiştir.

Bucak ve ark. (2017), Beyşehir Gölü için Soil and Water Assessment Tool (SWAT) ve Epsilon Destek Vektör Makineleri (ϵ -SVR) modelini kullanarak hidrolojik modelleme çalışması yapmışlardır. Ayrıca farklı iklim senaryoları altında gelecekteki su potansiyelini incelemişlerdir. İklim değişikliği altında sıcaklığın artması ve yağışın azalması ile birlikte evapotranspirasyonun artışı gözlemlenmiştir. Bu durum akımlarda azalmaya sebep olmuştur. Çalışmada 2040'lı yıllarda gölün kuruma riski taşıdığı belirtilmiştir. Thakur ve ark. (2011), Tuz Gölü ve çevresi için Moderate Resolution

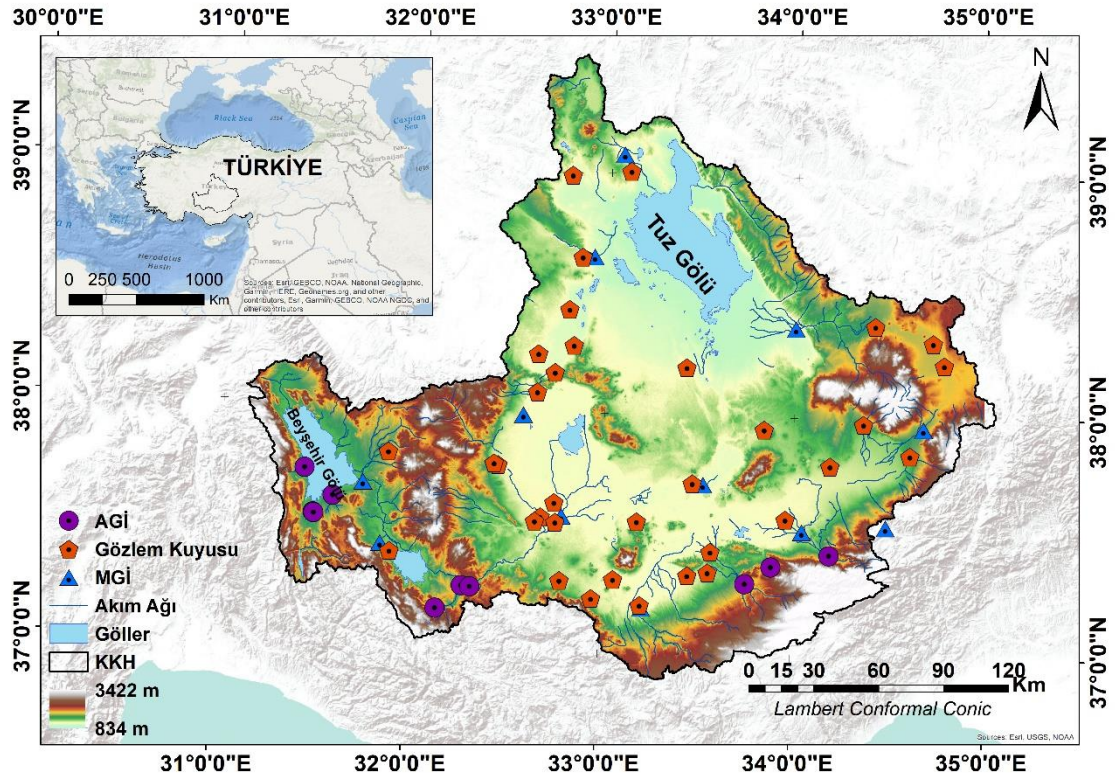
Imaging Spectroradiometer (MODIS) verilerini kullanarak çevresel etki değerlendirme çalışması yapmışlardır. 2000-2008 periyodu için yapılan çalışmada, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) verileri yer altı suyu verileri ile korele edilmiştir. Çalışma periyodu içerisinde Tuz Gölü ve çevresinde NDVI verilerinde bir azalma tespit edilmiştir. Yılmaz (2017), KKH’de TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) verilerini kullanarak yağışları incelemiş ve kuraklık analizi yapmıştır. 1998-2015 çalışma periyodu olarak belirlenmiştir. Analiz sonucunda, 2006 Aralık-2007 Ekim arasında geçen 11 ayda önemli bir kuraklığın yaşandığı tespit edilmiştir.



3. MATERYAL VE METOT

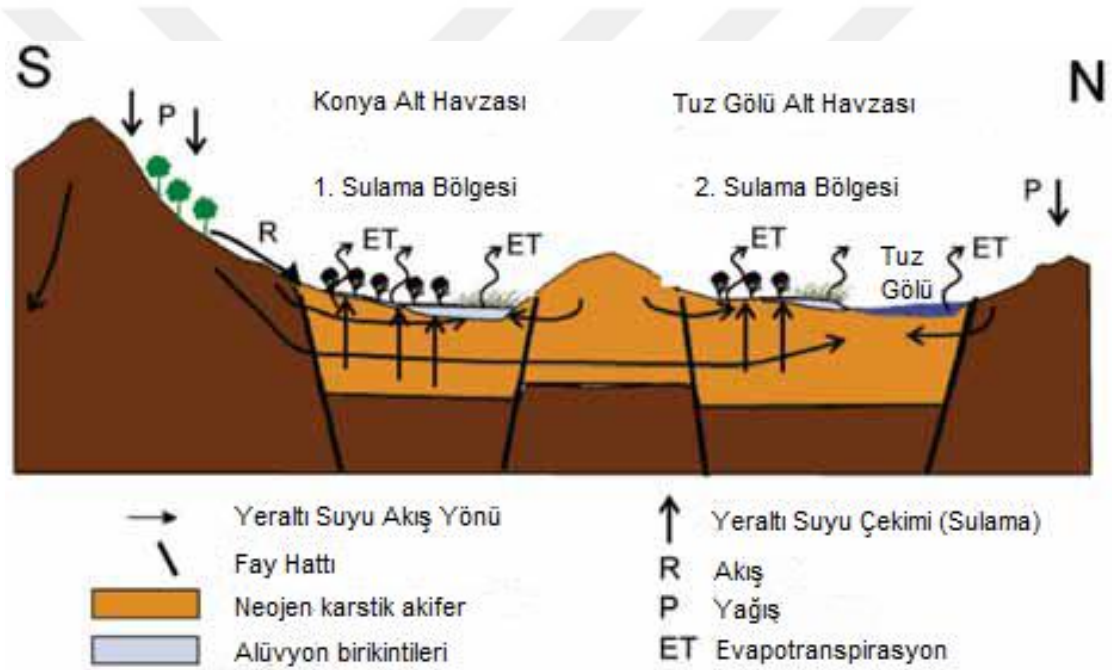
3.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak belirlenen Konya Kapalı Havzası (KKH) yaklaşık 50 000 km² yüzey alanı ile Türkiye'nin %7'sini kaplamaktadır. 36°51' - 39°29' Kuzey ve 31°36' - 34°52' Doğu koordinatları arasında yer alan KKH karstik bir formasyona sahiptir (Şekil 3.1). KKH içerisinde iki büyük göl bulunmaktadır. Kuzeyde bulunan Tuz Gölü, içerdiği tuz yatakları ile ülkenin tuz ihtiyacını önemli ölçüde karşılamaktadır. Güneybatıda bulunan Beyşehir Gölü, KKH için önemli bir yüzeysel su kaynağıdır. KKH, 850 ile 3450 m arasında değişen rakıma sahiptir. Havza karasal iklime sahip olsa da, yağış değişkenliği oldukça fazladır. Havzanın yıllık toplam yağışı yaklaşık 407 mm iken, havza içerisinde 280-1000 mm arasında değişen bir yağış değişkenliği mevcuttur. Verimli geniş düzlükleri yoğun tarımsal aktivitelerin yapılmasına olanak sağlamaktadır. Tarımsal ürünlerin dağılımı, %38 hububat, %32 sebze ve meyve, %28 şeker pancarı ve %2 diğer ürünler şeklindedir (Gokmen ve ark., 2013).



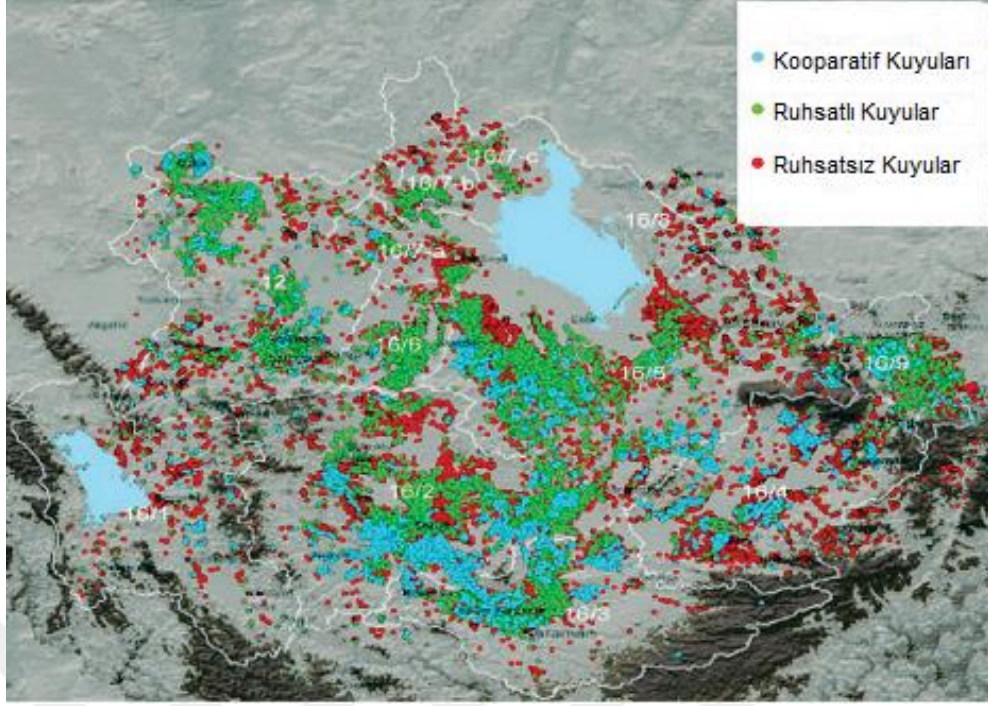
Şekil 3.1. Meteoroloji, akım istasyonlarının ve gözlem kuyularının konumları ile birlikte KKH'nin topografik ve yüzeysel özellikleri

Havzanın düşük yükseltiyeye sahip kesimlerinde yer altı statik su seviyesi 35-50 m arasında değişmektedir (Bayari ve ark., 2009). Yüzeysel su kaynaklarının tarımda kullanılmasına rağmen, tarımsal aktivitelerin başlıca su kaynağı 50-250 m arasında değişen binlerce kuyudan oluşmaktadır (Bayari ve ark., 2009). Şekil 3.2’de KKH kavramsal modeli verilmiştir. Havzanın güneyinde bulunan Toros dağlarından gelen akışla birlikte yağış, sulama bölgeleri için yüzeysel su kaynaklarını oluşturmaktadır. Havza içerisinde bulunan düzlükler Konya ve Tuz Gölü alt havzaları altında toplanabilir. Yüzeysel su kaynaklarının yetersiz olmasına bağlı olarak pek çok yer altı suyu kuyusundan su çekilmektedir. Ayrıca evapotranspirasyon havzanın su bütçesinde negatif değişime sebep olacak şekilde etki etmektedir.



Şekil 3.2. Konya Kapalı Havzası'nın kavramsal modeli (Gökmen, 2013)

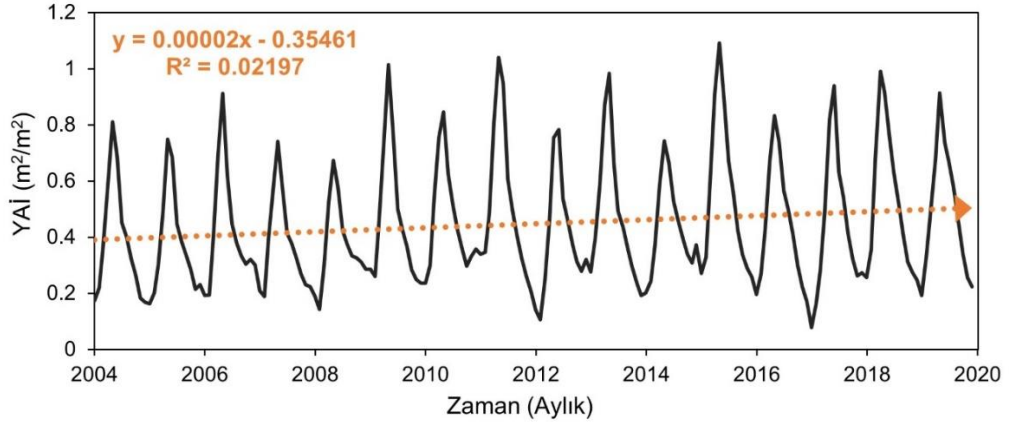
Şekil 3.3’de KKH ve yakın çevresinde bulunan kuyuların konumları verilmiştir. Tarımın yapıldığı orta kesimlerde kuyuların sıklığı dikkat çekmektedir. Ruhsatlı ve kooperatif kuyularına ek olarak ruhsatsız kuyular da oldukça fazla miktarda bulunmaktadır. Havzanın kenar kesimleri ve Tuz Gölü etrafında ruhsatsız kuyuların yoğunluğu artmaktadır.



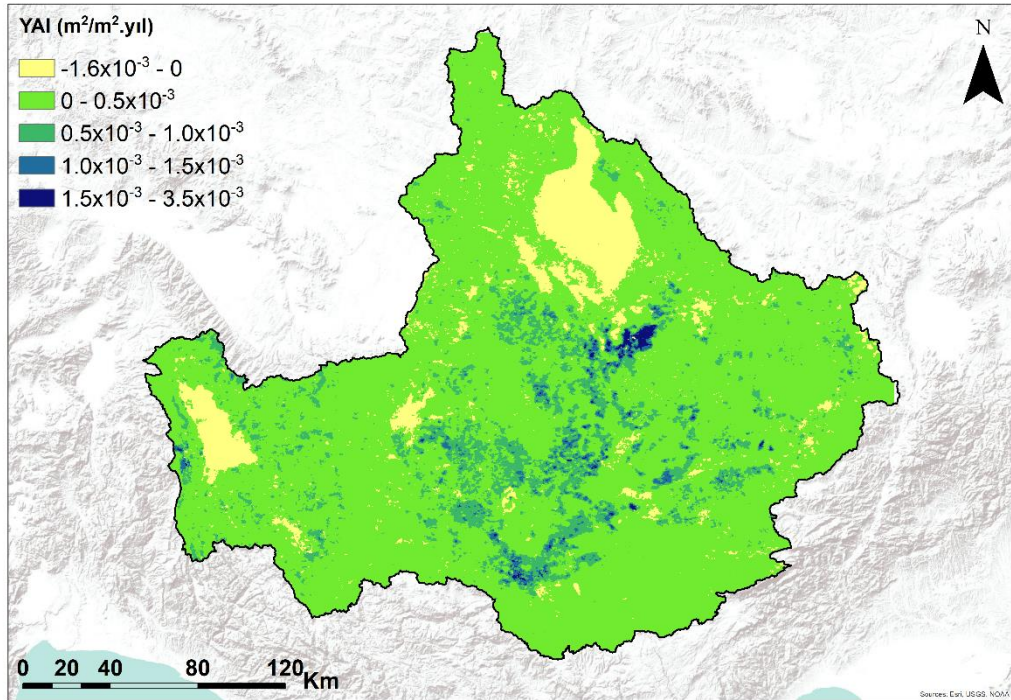
Şekil 3.3. Konya ve çevresinde bulunan yer altı suyu kuyularının dağılımı (Gökmen, 2013) (Kaynak: DSİ tarafından yayınlanmamış veri)

Tarih boyunca tarımın önemli ölçüde yapıldığı KKH’de kuraklığın su kaynaklarını kısıtlaması ve artan nüfusa bağlı olarak gıda talebinin fazlalaşması su transferi ihtiyacını gün yüzüne çıkarmıştır. Bu sebeple Konya Ovası’na ilk su getirme projesi Çumra Sulama Projesi adı altında 1908 yılında gerçekleşmiştir (KOP, 2013; KOP, 2016). Konya Ovası’na su getirme çalışmaları böylece Konya Ovası Projeleri (KOP) olarak isimlendirilmiştir. 1985 yılında Konya, Niğde, Karaman ve Aksaray illeri ile başlayan KOP, daha sonra Nevşehir, Yozgat, Kırıkkale ve Kırşehir illerini de içine almıştır. KOP sadece bir sulama projesi değil, tarımda sürdürülebilirliğin, bölge halkının ekonomik ve sosyal refahının arttırılmasını amaçlayan tamamlayıcı bir proje olmuştur. Konya Ovası’na yapılan ilk sulama projesinden bu yana havzada su kaynaklarının kontrolünü sağlamak amacıyla kanal, baraj ve gölet inşa edilmiştir. Göksu Nehri’nin Konya Ovası’na aktarılmasını sağlayan Mavi Tünel projesi, inşa edilen yapılar içerisinde oldukça önemlidir. 2012 yılında açılışı yapıp ilk suyun 2015 yılında verildiği Mavi Tünel’in yılda 420 hm³ su transferi yaptığı belirtilmektedir (Duygu ve ark., 2017). 20 milyon dekarın üzerindeki tarım alanlarının su ihtiyacı düşünüldüğünde Mavi Tünel’in tek başına havzanın tüm su ihtiyacını karşılayamayacağı devam eden yıllarda görülmüştür.

Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te KKH yaprak alan indeksinin zaman serisi ve zamansal ortalaması verilmiştir. Zaman serisine göre, artan bir trendin olduğu dikkat çekmektedir. 2012 ve 2017 yıllarında çalışma periyodunun en düşük, 2009, 2011 ve 2015 yıllarında en yüksek YAI değerleri elde edilmiştir. Tarımsal aktivitelerin havzanın orta kesimlerinde yoğunluk kazanmış olması YAI zamansal ortalama haritasında görülmektedir. Tuz Gölü, Konya Ovası ve Ereğli Ovası sulama alanları tarımın yoğun olarak yapıldığı bölgelerdir.



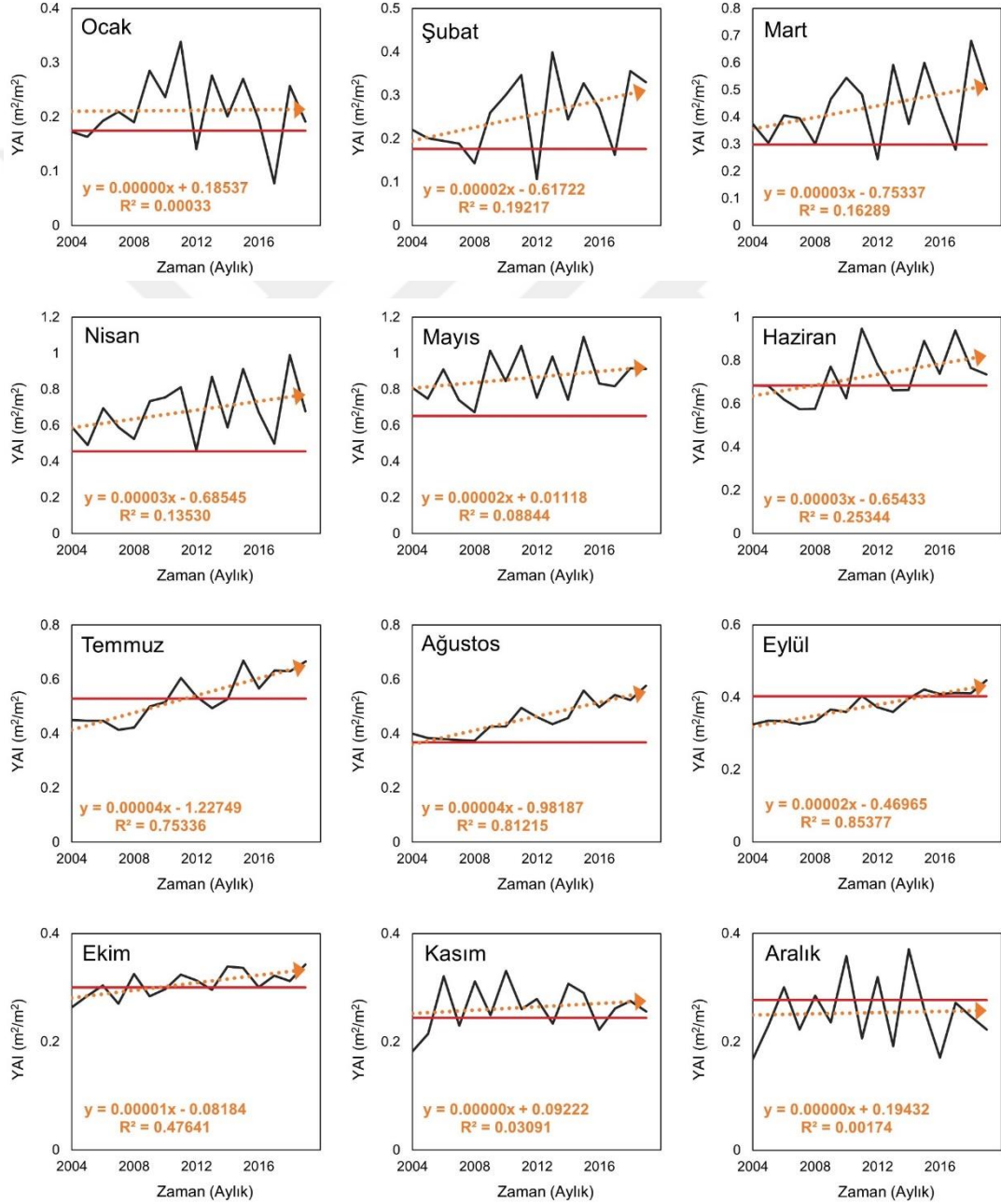
Şekil 3.4. KKH yaprak alan indeksi ortalama aylık zaman serisi



Şekil 3.5. KKH yaprak alan indeksi trend haritası (2004-2019)

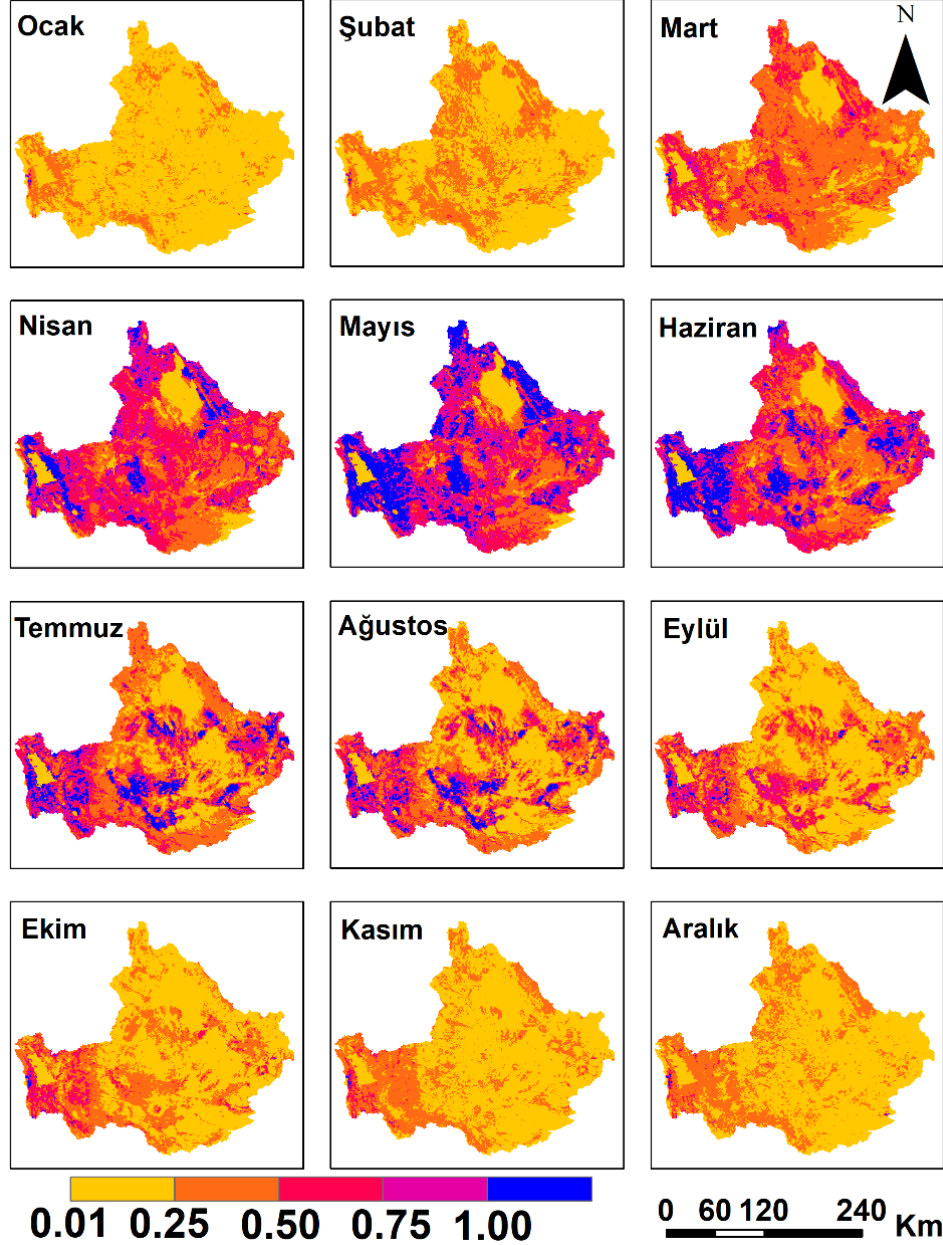
Şekil 3.6'da KKH için MODIS'ten elde edilen YAI değerlerinin alansal ortalamalı aylık zaman serileri verilmiştir. Şekil 3.6'da belirtilen kırmızı çizgi, uzun dönem aylık sabit YAI değerleridir. Buna göre, aylık zaman serileri incelendiğinde, Kasım, Aralık ve

Ocak ayları dışındaki aylarda artan bir trend dikkat çekmektedir. Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında diğer aylara kıyasla daha dar bir aralıkta salınım göstererek artış trendi davranışı ortaya koymuştur. Uzun dönem YAI ortalama çizgisi, Haziran, Temmuz, Eylül, Ekim ve Aralık aylarında pek çok yılda aylık değişen YAI zaman serisinin üzerinde kalmıştır. Eğimler incelendiğinde, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarının diğer aylara kıyasla daha fazla pozitif eğim gösterdiği tespit edilmiştir. 2004-2019 periyodu dikkate alındığında, KKH'de tarımsal aktivitelerin artış göstermesinin bu durumun güçlü sebeplerinden biri olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.6. KKH yaprak alan indeksinin aylık ortalama zaman serileri (Kırmızı çizgi Sn1 senaryosunun uzun dönem aylık ortalama yaprak alan indekslerini temsil etmektedir.)

Şekil 3.7’de KKH yaprak alan indeksi aylık ortalamalarının alansal dağılık haritaları verilmiştir. Ocak, Şubat, Kasım ve Aralık aylarından havza genelinde en düşük YAI değerleri gözlemlenirken, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında en yüksek YAI değerleri tespit edilmiştir. Nisan ayı ile birlikte bitki gelişiminin havza genelinde artış göstermesi Şekil 3.7’ye yansımıştır. Bununla birlikte Haziran ayından sonra sıcaklığın artış göstermesi havzanın belirli bölgelerinde yeşil alanların azalmasına sebep olmaktadır.

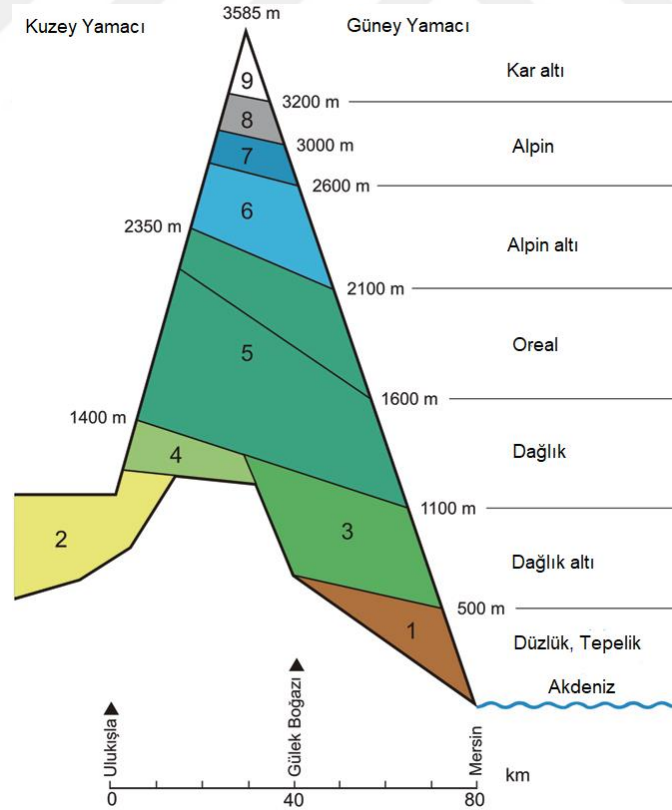


Şekil 3.7. KKH yaprak alan indeksinin aylık ortalama alansal dağılık haritası

Sulamanın sağlıklı yapıldığı alanların YAI değerlerinin Temmuz ve Ağustos aylarında da yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Yılın tüm aylarında Beyşehir Gölü ve

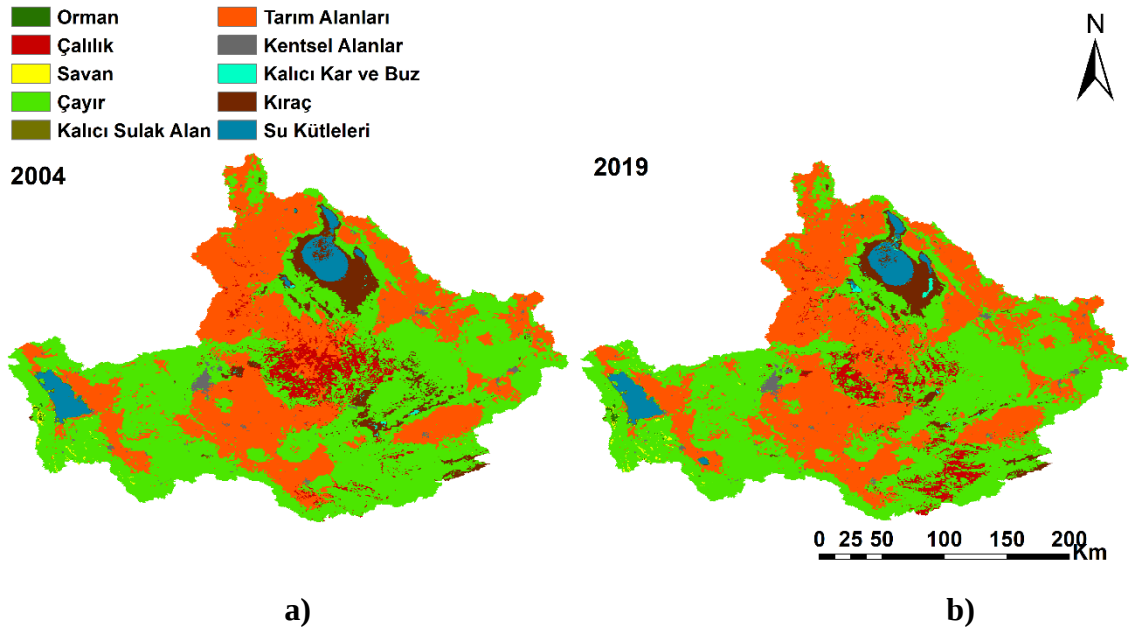
çevresi yüksek YAI değerlerine sahiptir. Bu durum Beyşehir alt havzasının su kaynakları açısından yeterli olduğunu gösteren bir işarettir. Beyşehir alt havzasını ayıran çizginin YAI değerleri tarafından da gözlemlenmesi dikkat çekicidir. Torosların kuzey yamaçları incelendiğinde, bazı bölümlerde yılın genelinde nispeten yüksek YAI değerleri mevcuttur. Bu durum özellikle yüksek rakımlarda herdem ağaçların dominant tür olması ile ilişkilidir. Ancak düşük rakımlarda kışın yaprak döken ağaçların olması YAI değerlerinin bu bölgelerde kışın düşük, yazın yüksek olmasını sağlamaktadır. Tuz Gölü etrafında Mayıs ayında en yüksek YAI değerleri elde edildikten sonra genellikle diğer aylarda havza geneline kıyasla düşük değerler gözlemlenmiştir.

Parolly (2015), KKH güney sınırını oluşturan Toros dağlarının güney ve kuzey yamaçlarının vejetasyonlarının yükseklikle değişimini vermiştir (Şekil 3.8). Buna göre, Torosların kuzey yamaçlarının düşük rakımların vejetasyonunu seyrek bodur çalılar oluşturmaktadır. Yüksek rakımlara çıkıldıkça, geniş yapraklı ormanlar, iğne yapraklı ormanlar ve son olarak kar altı vejetasyonları birbirini takip etmektedir. Orman formasyonlarının seyrek olması, YAI zamansal ortalama haritasında havzanın güney bölgelerinde yoğun bir vejetasyonun olmaması ile doğrudan ilişkilidir.



Şekil 3.8. Konya Kapalı Havzası'nın güney sınırlarını oluşturan Toros Dağlarının vejetasyonunun yükseklikle değişimi (1: Akdeniz sklerofil orman ve çalı, 2: seyrek bodur çalı, 3: soğuğa duyarlı, yaprak dökmeyen iğne yapraklı orman, 4: herdem odunsu türlerin olmadığı, seyrek geniş yapraklı orman, 5: soğuğa dayanıklı herdem iğne yapraklı orman, 6: seyrek thorn-cushion formasyonu, 7: alpin çayırları, 8: yüksek dağ eteği formasyonları, 9: karaltı vejetasyonu) (Parolly, 2015)

Şekil 3.9’da 2004 ve 2019 yılına ait MODIS’ten temin edilen AÖK verilerinin yeniden sınıflandırılmış haritaları verilmiştir. 2004 yılında havzanın ortasında yoğun bir şekilde bulunan çalılık formasyonları 2019 yılında azalarak güneye (Toros Dağlarının eteklerine) kaymıştır. Havzanın ortasında tarımsal su ihtiyacının karşılanması amacıyla kullanılan yer altı su kuyuları zemin nemi depolama sisteminde bitkinin ihtiyacı olan suyu bulundurmaktadır. Buna bağlı olarak tarımın yapılmadığı kıraç alanlarda çayır alanları oluşmuştur. Tarımsal alanlar ve çayırlar baskın arazi örtüsü sınıfı olmakla birlikte çalılık, kıraç araziler ve su kütleleri de havzada önemli ölçüde alan temsil etmektedir.



Şekil 3.9. a) 2004 ve b) 2019 yılları için KKH arazi örtüsü ve kullanımı haritaları

3.2. Veriler

Çalışma kapsamında ölçüm verileri yanında uydu gözlem verileri de kullanılmıştır. Bu verilerden ilki TWSA zaman serisinin elde edildiği GRACE veri setidir. National Aeronautics and Space Administration (NASA)’nın Jet Propulsion Laboratory (JPL) işleme merkezlerinde (Wiese ve ark., 2016) ve Austin’de bulunan Texas Üniversitesi’nin Uzay Araştırmaları Merkezi’nde (CSR) (Save ve ark., 2016) üretilen kütle konsantrasyon (mascon) çözümlerinden temin edilen GRACE-RL06 TWSA verileri çalışmada kullanılmıştır. Alansal çözünürlüğü $0.5^\circ \times 0.5^\circ$, zamansal çözünürlüğü aylıktır. JPL ve CSR verilerinin ortalaması alınarak elde edilen zaman serisi verileri 2002 Ağustos – 2019 Aralık periyodunu kapsamaktadır.

TWSA bileşenleri ve hidrolojik analizlerin yapılması amacıyla çalışmada GLDAS veri seti de kullanılmıştır. GLDAS 2.1'den elde edilen değişkenlerin alansal çözünürlüğü $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$, zamansal çözünürlüğü aylıktır (Rodell ve ark., 2004). Bu çalışmada, yağış, zemin nemi, kanopi suyu, kar su eşleniği, yüzeysel su ve evapotranspirasyon verileri GLDAS'tan temin edilmiştir (Tablo 3.1). Zemin nemi verileri GLDAS tarafından 4 katmanda verilmektedir. Bu katmanların derinlikleri yüzeyden itibaren 0-10 cm, 10-40 cm, 40-100 cm, 100-200 cm'dir. Çalışmada kullanılan zemin nemi zaman serisi, 4 katmanın içerdiği zemin nemi miktarlarının toplamından elde edilmiştir. Ayrıca GLDAS yüzeysel akışı üç farklı bileşende vermiştir. Bu üç bileşen sırasıyla, taşkın yüzey akışı, baz-yeraltı akışı ve kar erimesi akışıdır. Çalışmada kullanılan toplam akış zaman serisi, bu üç bileşenin toplamından elde edilmiştir.

GLDAS'tan temin edilen yağış verilerinin, Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) tarafından işletilen meteoroloji gözlem istasyonlarından (MGİ) temin edilen ölçüm verileri ile korelasyonu incelenmiştir. Tablo 3.2'de, GLDAS ve ölçüm yağış verilerinin determinasyon katsayıları (R^2) verilmiştir. 17192, 17898 ve 17244 numaralı istasyonlarda yüksek, 17906 ve 17246 numaralı istasyonlarda düşük korelasyon tespit edilmiştir. Ancak su bütçesi analizlerinde GLDAS verileri sıklıkla kullanılmaktadır (Lv ve ark., 2017; Mo ve ark., 2016). Alansal dağınık hidrolojik model girdisi olarak kullanılan günlük toplam yağış ve günlük ortalama sıcaklık verileri Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi (ECMWF) Reanalysis v5 (ERA5)'ten temin edilmiştir (ECMWF, 2021). Çalışmada kullanılan parametreler için temin edilen verilerin alansal çözünürlüğü $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 'dir. Aylık yağış verileri DMİ'den, aylık yer altı su seviyesi ve akım verileri Devlet Su İşleri'nden (DSİ) temin edilmiştir. Akım gözlem istasyonları (AGİ) ve gözlem kuyularının konumları Şekil 3.1'de verilmiştir.

Çalışmada kullanılan AÖK verileri, Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) veri setlerinden temin edilmiştir. Yıllık olarak temin edilen AÖK verilerinin alansal çözünürlüğü 500 m'dir. AÖK değişim analizlerinin yapılmasında kullanılan sınıflandırma şeması International Geosphere-Biosphere Program (IGBP)'dir. Çalışmada hidrolojik model girdisi olarak kullanılan yaprak alan indeksi (YAI), Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) Global Inventory Modeling and Mapping Studies (GIMMS) veri setinden aylık olarak temin edilmiştir. GIMMS YAI verilerinin alansal çözünürlüğü $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 'dir. Lokasyon haritasının oluşturulmasında kullanılan sayısal yükseklik modeli (SYM), Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model (GDEM)'den temin

edilmiştir. ASTER GDEM alansal çözünürlüğü 30 m'dir. Çalışmada koşturulan hidrolojik modelin girdilerinin hazırlanması aşamasında gerekli olan SYM, Shuttle Radar Topography Mission'dan (SRTM) temin edilmiştir. SRTM SYM verilerinin de alansal çözünürlüğü 30 m'dir. Tablo 3.1'de çalışmada kullanılan verilerin temin edildiği kaynaklar ve temel özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan verisetleri ile ilgili özet bilgi tablosu

Değişken	Ürün	Zamansal Çözünürlük	Alansal Çözünürlük
Karasal Su Depolama Anomalisi (TWSA)	GRACE mascon çözümleri (CSR)	Aylık	0.5°
Karasal Su Depolama Anomalisi (TWSA)	GRACE mascon çözümleri (JPL)	Aylık	0.5°
Zemin Nemi Depolama (SMS)	GLDAS	Aylık	0.25°
Kanopi Su Depolama (CWS)	GLDAS	Aylık	0.25°
Kar Su Eşleniği (SWE)	GLDAS	Aylık	0.25°
Yüzey Su Depolama (SWS)	GLDAS	Aylık	0.25°
Yağış	GLDAS	Aylık	0.25°
Evapotranspirasyon	GLDAS	Aylık	0.25°
Yağış	ERA5	Günlük	0.25°
Ortalama Sıcaklık	ERA5	Günlük	0.25°
Yağış	DMI	Aylık	-
Yeraltı Su Seviyesi	DSI	Aylık	-
Akım	DSI	Aylık	-
Arazi Örtüsü/Kullanımı (AÖK)	MODIS	Yıllık	500 m
Arazi Örtüsü/Kullanımı (AÖK)	CORINE	1990, 2000, 2006, 2012, 2018	1/25000
Yaprak Alan İndeksi (YAI)	GIMMS	Aylık	0.25°
Yaprak Alan İndeksi (YAI)	MODIS	Aylık	500 m
Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)	ASTER	-	30 m
Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)	SRTM	-	30 m

Tablo 3.2. GLDAS ve ölçüm yağış verilerinin korelasyonu

	17902	17192	17242	17191	17900	17248
	Karapınar	Aksaray	Beyşehir	Cihanbeyli	Çumra	Ereğli
R ²	0.408	0.787	0.462	0.400	0.258	0.316
	17246	17244	17754	17250	17898	17906
	Karaman	Konya Havalimanı	Kulu	Niğde	Seydişehir	Ulukışla
R ²	0.212	0.575	0.354	0.482	0.746	0.100

3.3. TWSA Komponentlerinin ve Depolama Değişiminin Elde Edilmesi

TWSA'nın incelenmesi ile bir bölgenin toplam su potansiyelinin değişimleri hakkında bilgi elde edilmektedir. Sürdürülebilir stratejilerin geliştirilmesi için değişimlerin gerçekleştiği havzadaki su depolama sistemlerinin davranışlarını incelemek gerekmektedir. Bu nedenle TWSA'nın bileşenlerinin elde edilmesi amacıyla GLDAS'tan temin edilen depolama durumlarını, anomali zaman serisine çevirmek gerekmektedir. TWSA bileşenlerinin anomalileri aşağıdaki formüllerle hesaplanmaktadır (Zhang ve ark., 2019).

$$\begin{aligned} SWEA &= SWE - \overline{SWE}, \\ SWSA &= SWS - \overline{SWS}, \\ SMSA &= SMS - \overline{SMS}, \\ CWSA &= CWS - \overline{CWS}, \end{aligned} \tag{3.1}$$

Yukarıdaki denklemde, SWE kar su eşleniği değerini, $\overline{SWE}$ kar su eşleniği ortalamasını, SWEA kar su eşleniği anomali değerini temsil etmektedir. Benzer şekilde, SWS yüzey su depolamasını, $\overline{SWS}$ yüzey su depolama ortalamasını, SWSA yüzey su depolama anomalisini, SMS zemin nemi depolamasını, $\overline{SMS}$ zemin nemi depolama ortalamasını, SMSA zemin nemi depolama anomalisini, CWS kanopi su depolamasını, $\overline{CWS}$ kanopi su depolama ortalamasını ve CWSA kanopi su depolama anomalisini temsil etmektedir.

TWSA'yı oluşturan farklı bileşenler olsa da yüzey altı bileşenleri önemli rol oynamaktadır. Özellikle soğuk iklime sahip bölgelerde bu durum daha belirgin olmaktadır (Zhang ve ark., 2019). Buna bağlı olarak, GLDAS'ın yüzeyin 2 m altına kadar zemin nemi verisi sağladığı düşünüldüğünde, daha kapsamlı bir zemin nemi yaklaşımına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu gerçeğe dayanarak, vadoz bölgedeki su miktarı değişimlerinin incelenebilmesi için gerekli denklem aşağıda verilmiştir (Brookfield ve ark., 2018).

$$\Delta TWS \cong \Delta(GW + VZ) \tag{3.2}$$

Yukarıdaki denklemde TWS karasal su depolamasını, GW yer altı suyu seviyesini, VZ vadoz bölgedeki su miktarını temsil etmektedir.

Havza ölçeğinde herhangi bir periyod için aşağıda ifade edilen denklemle su bütçesi hesaplanabilir.

$$P+GW_{in}-(Q+ET+GW_{out})=\Delta S \quad (3.3)$$

Yukarıdaki denklemde P yağıışı, GW_{in} havza içine yer altı suyu akışını, Q yüzey akışını, ET evapotranspirasyonu, GW_{out} havza dışına yer altı suyu akışını ve ΔS havzadaki depolama değişimini temsil etmektedir. GW_{in} uzun dönem su bütçesi çalışmalarında ihmal edilebilir olmaktadır. Bu durumda denklem aşağıdaki gibi olmaktadır. Burada $Q+GW_{out}$ toplam akışı ifade etmektedir.

$$P-ET-(Q+GW_{out})=\Delta S \quad (3.4)$$

3.4. GWSA'nın Elde Edilmesi

Tespit edilmesi en zor TWSA bileşenlerinden biri GWSA'dır. Gözlem kuyularının düzenli periyotlarda incelenmesinin zorluğunun yanında yakınlarda yer alan kuyuların etkilerine de önemli ölçüde maruz kalabilir. Dolayısıyla havzanın yer altı su seviyesindeki değişimleri sağlıklı bir şekilde araştırmak oldukça önemlidir. TWSA, bileşenlerinde meydana gelen değişimlerin toplamından oluşmaktadır (Long ve ark., 2016). TWSA bileşenleri olarak, SWEA kar su eşleniği anomalisi, SWSA yüzeysel su depolama anomalisi, CWSA kanopi su depolama anomalisi, SMSA zemin nemi depolama anomalisi ve GWSA yer altı su depolama anomalisi ifade edilmektedir (Pan ve ark., 2016; Tregoning ve ark., 2012). Bu durumda TWSA aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$TWSA = CWSA + SWEA + SMSA + SWSA + GWSA \quad (3.5)$$

GWSA dışındaki diğer komponentler GLDAS'tan temin edilmiştir. GRACE'den elde edilen TWSA verilerinden GLDAS'tan temin edilen bileşenler çıkartılarak GWSA hesaplanmıştır. Bu durumda aşağıdaki denklem yardımıyla GWSA hesaplanır.

$$GWSA = TWSA_{GRACE} - CWSA - SWEA - SMSA - SWSA \quad (3.6)$$

GRACE ve GLDAS verilerinden yola çıkarak GWSA'nın hesaplandığı pek çok çalışma mevcuttur (Zhang ve ark., 2019; Long ve ark., 2016; Awange ve ark., 2014). Tutarlı sonuçların elde edilmesi amacıyla gözlem kuyularından temin edilen ölçümlerin de dikkate alınması gerekmektedir. DSİ tarafından işletilen 286 gözlem kuyusu içerisinde sağlıklı ve kesintisiz verinin temin edilebildiği aynı zamanda havzanın heterojenliğini yansıtabilecek 34 adet gözlem kuyusu çalışma kapsamında incelenmiştir. Gözlem kuyularından alınan ölçümlere ek olarak sondaj kayıtları ve kuyunun künye bilgileri de kullanılmıştır. Yer altı statik su seviyesi ölçümlerinin, spesifik verim ile çarpılarak yer altı suyu değişiminin elde edildiği denklem aşağıda verilmiştir.

$$\Delta GW = \Delta WL(S_y) \quad (3.7)$$

Yukarıdaki denklemde ΔGW yer altı suyu değişimini, ΔWL yer altı statik su seviyesi ölçümlerini, S_y spesifik verimi temsil etmektedir. Spesifik verim, su tablasındaki birim düşüşe karşılık, akiferin birim yüzey alanına denk gelen depolamadan salınan su hacmidir (Lv ve ark., 2021). Havza içerisindeki spesifik verimin yatay ve düşey değişiminin belirlenmesi amacıyla gözlem kuyularının formasyonları, kuyunun bulunduğu zeminin türü ve su çektiği akiferin özellikleri araştırılmıştır (Brookfield ve ark., 2018; Johnson, 1967; Liesch ve Ohmer, 2016; Long ve ark., 2016; Lv ve ark., 2021; Morris ve Johnson, 1967; de Meester, 1970). Bu bilgilerin elde edilmesinde gözlem kuyularının sondaj kayıtları ve literatürden yararlanılmıştır. Havzanın jeolojik formasyonu Khorrami ve ark. (2021) tarafından yapılan çalışmadan temin edilmiştir (EK-1 ve EK-2). Spesifik verimin hassasiyetini arttırmak amacıyla uzaktan algılama yöntemleri ile elde edilen GWSA-TWSA ve gözlem kuyularından elde edilen GWSA verilerinin korelasyonları $\pm \%50$ spesifik verim değişikliği altında incelenmiştir. Tablo 3.3'de KKH için çalışmada kullanılan spesifik verim aralıkları verilmiştir.

Tablo 3.3. Farklı materyallere göre çalışmada kullanılan spesifik verim aralıkları

Tanım	Sınıflandırma	S_y Aralıkları
Kil, Kireç Taşı	1	0.02-0.11
Kil, Kum, Çakıl, Kumlu Kil, Kumlu Çakıl	2	0.03-0.14
Kil, Kumlu Kil, Kum	3	0.03-0.18
Kumlu Çakıl, Çakıl	4	0.09-0.29

3.5. TWSA Komponent Anomalilerinin Analizi ve Yağış ile İlişkileri

Bu çalışmada kullanılan komponent katkı oranları (CCR) Kim (2009) tarafından önerilmiştir. CCR, TWS'nin bireysel komponentlerinin toplam anomaliye etkisinin ne ölçüde olduğunu belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Elde edilen bu bilgi ile depolamaların hangisinin değişkenliğinin fazla olduğunu tespit etmek mümkündür. Değişkenliği fazla olan depolamaların incelenmesi ve değişkenliğin sebeplerinin araştırılması su kaynaklarının başarılı bir şekilde yönetimi açısından önemlidir. Aşağıdaki denklemler CCR'nin hesaplanması ile ilgili detaylar içermektedir.

$$CCR = \frac{MAD}{TV} \quad (3.8)$$

$$MAD = \frac{1}{N} \sum_i^N |S_i - S| \quad (3.9)$$

$$TV = \sum_s^{storage} MAD \quad (3.10)$$

Yukarıdaki denklemlerde TV toplam değişkenliği, MAD ortalama mutlak sapmayı, N toplam veri sayısını, S_i i ayındaki bireysel komponent değerini, S bireysel komponentlerin (GWS, CWS, SMS, SWS, SWE) ortalamasını ifade etmektedir.

TWSA ve komponentlerinin yağış ile ilişkilerinin araştırılması amacıyla gecikme analizi yapılmıştır. Zaman serisi 0-12 ay ötelenerek korelasyonlar incelenmiştir. Korelasyonlar Pearson korelasyon katsayısı yardımıyla belirlenmiştir. 0-12 ay ötelemeli korelasyonların maksimum olduğu ay ilişkinin belirginleştiği ay olarak ifade edilmektedir (Zhang ve ark., 2019; Soni ve Seyd, 2015; Ndehedehe ve ark., 2016).

3.6. Trend Analiz Metotları

Zaman serilerinin eğilimlerinin belirlenmesi amacıyla sıklıkla kullanılan ampirik metotlardan biri Lineer Regresyon Modeli (LRM)'dir. Bu çalışmada bir bağımlı bir bağımsız olmak üzere iki adet değişkenin monotonik trendinin incelenmesi amacıyla Basit Lineer Regresyon Modeli (BLRM) kullanılmıştır. BLRM, hidrometeorolojik verilerin istasyon ve grid bazlı zaman serilerinde monotonik trendinin belirlenmesinde kullanılan etkili ve kullanışlı bir araçtır. LRM'de model başarısı korelasyon katsayısı (r)

ve determinasyon katsayısı (R^2) ile belirlenmektedir. Literatürde LRM kullanılarak yapılan pek çok çalışma mevcuttur (Patel ve ark., 2016; Sharafi ve Ghaleni, 2021; Zhang ve ark., 2017; Sriram ve Rashmi, 2014).

Monotonik trendin belirlenmesi, hidrometeorolojik zaman serisinin tamamının eğilimi hakkında bilgi verirken alt trendler hakkında bilgi vermemektedir. Bu sebeple alt trend analiz metodu ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Onyutha (2016a; 2016b; 2021) tarafından önerilen Onyutha Testi, alt trendlerin analizinde kullanılan yenilikçi ve kullanışlı bir metottur. Onyutha Testi, parametrik olmayan, yeniden ölçeklendirilmiş zaman serilerine uygulanmaktadır. x ve y sırasıyla bağımsız ve bağımlı değişken olmak üzere;

$$d_{y,i} = n - w_{y,i} - 2t_{y,i} \quad \text{ve} \quad d_{x,i} = n - w_{x,i} - 2t_{x,i} \quad 1 \leq i \leq n \quad (3.11)$$

d_y ve d_x ; yeniden ölçeklendirilmiş değişkenleri, n ; veri setinin boyutunu, $t_{y,i}$ ve $t_{x,i}$; i . gözlemin diğer verileri kaç kez aştığını ifade eden sayıyı, $w_{y,i}$ ve $w_{x,i}$; i . gözlemin veriseti içerisinde kaç kez tekrar ettiğini ifade eden sayıyı temsil etmektedir. d_y ve d_x değişkenlerinin standartlaştırılması amacıyla e_y ve e_x serileri aşağıdaki denklem yardımıyla elde edilmektedir.

$$e_{y,i} = d_{y,i} x \sqrt{(n-1)x(C_y)^{-1}} \quad \text{ve} \quad e_{x,i} = d_{x,i} x \sqrt{(n-1)x(C_x)^{-1}} \quad 1 \leq i \leq n \quad (3.12)$$

burada C_y ve C_x aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır.

$$C_y = \sum_{i=1}^n (d_{y,i})^2 \quad \text{ve} \quad C_x = \sum_{i=1}^n (d_{x,i})^2 \quad (3.13)$$

Grafiksel bir analiz yapmak amacıyla e_y 'den elde edilen a_j serisine (Denklem 3.14) ihtiyaç duyulmaktadır. Burada a_j serisinin zamansal değişkenliği, bir limit Markov prosesine benzetme içermektedir. Aşağıdaki denklem Gauss sınır dağılımına doğru, sonlu bir varyans hareketini yakınsamaktadır. Bu durum zaman serilerindeki kırılma noktalarını gözlemlene imkanı sağlamaktadır (Onyutha, 2021).

$$a_j = \sum_{i=1}^j e_{y,i} \quad 1 \leq j \leq n \quad (3.14)$$

Veri setindeki trendin önem seviyesinin değerlendirilmesi amacıyla a_j serisinden q_k serisi (Denklem 3.15) elde edilmektedir. q_k serisi düşey ekseninde, veri setindeki veri sayısı (veya k) da yatay ekseninde olmak üzere grafik çizilir.

$$q_k = \sum_{j=1}^k a_j \quad 1 \leq k \leq n \quad (3.15)$$

Çizilen q_k - k grafiğinden veri setindeki alt trendlerin önemini ve varlığını değerlendirmek mümkün olmaktadır. H_0 (alt trend yok), $100(1-\alpha)\%$ önem aralığı limitleri (CILs) arasında kalıp kalmadığına göre test edilir. Bu durumda CILs aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$CIL_s = \mp \left| Z_{\alpha/2} \right| x \sqrt{V^F(T)} \quad (3.16)$$

Yukarıdaki denklemde T ; Onyutha Testi'nin trend istatistiği, Z ; Onyutha Testi'nin standartlaştırılmış test istatistiği ve $V(T)$; test istatistiğinin varyansı olarak ifade edilmektedir.

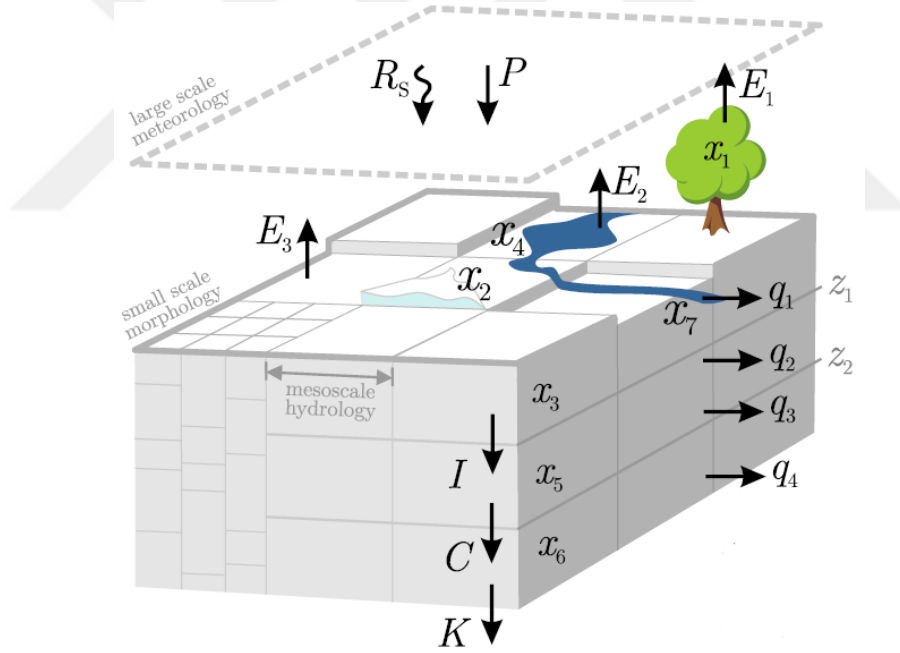
$$Z = \frac{T}{\sqrt{V(T)}} \quad \text{ve} \quad T = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^j e_{y,i} \quad (3.17)$$

Yukarıdaki denklemde ifade edilen T Onyutha Test istatistiği sıfırdan büyükse pozitif bir trendin varlığını, sıfırdan küçükse negatif bir trendin varlığını işaret etmektedir. Grafiksel trend analizinde ise CILs aşılsa H_0 (alt trend yok) reddedilir, aksi durumda H_0 kabul edilir (Onyutha, 2021). Bu çalışmada, %95 önem seviyesi dikkate alınmıştır. Onyutha Trend Testi hakkında detaylı bilgi almak amacıyla Onyutha (2016a; 2016b; 2021)'ya başvurulabilir.

3.7. Mesoscale Hydrologic Model (mHM)

Tam dağınk modeller sağladıkları alansal bilgi nedeniyle sıkça tercih edilmektedir. mHM, açık kaynak kodlu tam dağınk bir hidrolojik modeldir. Fizik tabanlı olan mHM, sonlu elemanlar metodu ile hesaplamaları yapmaktadır (Samaniego ve ark.,

2010; Samaniego ve ark., 2018; Kumar ve ark., 2013). mHM'yi diğer tam dağınık hidrolojik modellerden ayıran özelliklerin başında her yıla ait AÖK verisinin girdi olarak modele tanıtılabilmesi gelmektedir. Böylelikle arazi örtüsünün hızla değiştiği bölgelerde su bütçesi hesaplarında daha tutarlı sonuçlar elde edilebilmektedir. mHM'nin meteorolojik girdileri arasında bulunan PET, YAI ve bakı haritaları ile düzeltilerek daha isabetli evapotranspirasyon çıktıları elde edilmektedir. Bu sayede mHM bitkilerin solma ve büyüme dinamiklerine etkili bir şekilde uyum sağlayabilmektedir. Zemin nemi bölgesi hidrolojik modellerin isabetli sonuçları üretmekte zorlandığı kısımlardan biridir. Havzanın yüzey örtüsü zemin nemini dinamik olarak etkilerken, yer altı su depolaması da zemin nemi bölgesi ile hidrolojik ilişki içerisinde. mHM'nin zemin nemi, bitkinin kökten su alması ve buharlaşma hesaplarında Feddes (1976) ve Jarvis (1989) denklemleri kullanılmaktadır. Bu denklemler esas alınarak geliştirilen dört farklı uygulama seçeneği mHM'de mevcuttur (Demirel ve ark., 2018). Şekil 3.10'da mHM yapısı verilmiştir.



Şekil 3.10. mHM model yapısı (Samaniego ve ark., 2018)

Tablo 3.4'te mHM'nin kullandığı meteorolojik girdiler ve tanımları verilmiştir. Bu çalışmada meteorolojik girdiler ERA5'ten temin edilmiştir. Tablo 3.5'te mHM'nin simüle ettiği havza içerisinde gerçekleşen akışlar, Tablo 3.6'da hidrolojik su depolama sistemlerinde hesaplanan su yükseklikleri verilmiştir.

Tablo 3.4. mHM meteorolojik girdiler

Girdiler	Tanım
P	Günlük yağış yüksekliği (mm/gün)
E _p	Günlük potansiyel evapotranspirasyon (mm/gün)
T	Günlük ortalama hava sıcaklığı (°C)

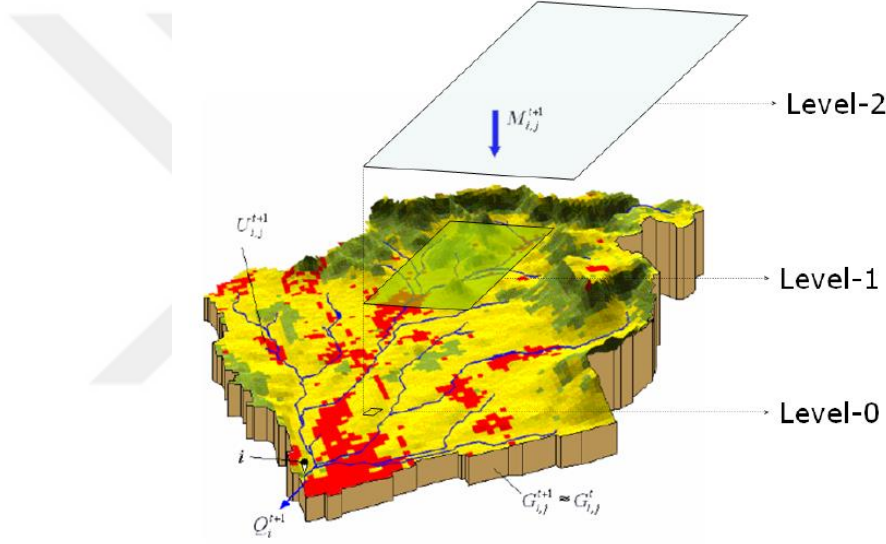
Tablo 3.5. mHM’de simüle edilen parametreler

Parametreler	Tanım (mm/gün)
S	Kar yağış yüksekliği
R	Yağmur yağış yüksekliği
M	Kar erime yüksekliği
E _p	Potansiyel evapotranspirasyon
F	Bitkilerdeki tutma yüksekliği
E ₁	Kanopiden gerçek buharlaşma yoğunluğu
E ₂	Gerçek evapotranspirasyon yoğunluğu
E ₃	Serbest su yüzeyinden gerçek buharlaşma
I	Besleme, sızma yoğunluğu veya etkili yağış
C	Perkolasyon
q ₁	Geçirimsiz bölgelerde yüzey akışı
q ₂	Hızlı akış
q ₃	Yavaş akış
q ₄	Baz akışı

mHM hücreler arası veri iletimini diferansiyel denklemler yardımıyla sağlamaktadır. Geniş ölçekli meteoroloji verileri ile yüksek çözünürlüklü yüzey ve zemin verileri modelin katman yapısına dâhil edilebilmektedir. mHM modelinin veri hiyerarşisi Şekil 3.11’de verilmiştir. mHM’de alansal ölçek açısından 3 ana katman vardır. Morfolojik veriler (SYM, akım toplanma, bakı, eğim, akım yönü, toprak tipleri ve jeolojik sınıflar) ve YAI verileri L0 olarak ifade edilen katmanda yer almaktadır. L2 olarak ifade edilen katmanda meteorolojik girdiler yer almaktadır. L0 ve L2 için tanımlanan alansal ölçek arasındaki, tam sayı katları olan herhangi bir alansal ölçek L1 için tanımlanabilir. L1 hidrolojik süreçleri içermektedir.

Tablo 3.6. mHM'nin simüle ettiği depolamalarda hesaplanan yükseklikler

Hidrolojik Olaylar	Tanım (mm)
x_1	Kanopi depolama yüksekliği
x_2	Kar örtüsü yüksekliği
x_3	Bitki kök bölgesindeki zemin nemi yüksekliği
x_4	Rezervuar ve su kütlelerindeki yükseklik
x_5	Yüzeyaltı depolamasındaki su yüksekliği
x_6	Yer altı depolamasındaki su yüksekliği
x_7	Kanal akışlarındaki su yüksekliği

**Şekil 3.11.** mHM alansal ölçek tanımı açısından dikkate alınan 3 ana katman (Samaniego ve ark., 2018)

3.8. Performans Metrikleri

Bu çalışmada, geliştirilen akım modelinin tahmin başarısı determinasyon katsayısı (R^2), Nash Sutcliffe Verimlilik (NSE) (Nash ve Sutcliffe, 1970), yanlışlık yüzdesi (PBIAS) (Gupta ve ark., 1999), Kling-Gupta Verimlilik (KGE) (Gupta ve ark., 2009) ve kök ortalama kare hata (RMSE) performans kriterleri tarafından değerlendirilmiştir. R^2 değerinin 1'e yakın olması geliştirilen modelin başarılı olduğunu ifade eder. Mevcut modelin ürettiği simülasyon değerlerinin gerçek veriler ile korelasyonu olduğunu ifade eden bir katsayıdır. Aşağıdaki denklemde, Q_m ; gözlem değerlerini, $\bar{Q}_m$; gözlem

değerlerinin ortalamasını, Q_s ; simülasyon değerlerini, $\bar{Q}_s$; simülasyon değerlerinin ortalamasını ifade etmektedir.

$$R^2 = \frac{[\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)(Q_{s,i} - \bar{Q}_s)]^2}{\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)^2 \sum_i (Q_{s,i} - \bar{Q}_s)^2} \quad (3.18)$$

Model performansının değerlendirilmesinde sık kullanılan performans kriterlerinden biri de NSE katsayısıdır (Nash ve Sutcliffe, 1970). NSE'nin 1'e yakın olması modelin başarılı simülasyon verileri ürettiğini ifade eder. NSE katsayısı aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır. Q_m ; gözlem verilerini, $\bar{Q}_m$; gözlem verilerinin ortalamasını, Q_s ; simülasyon verilerini temsil etmektedir.

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{m,i} - Q_{s,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)^2} \right] \quad (3.19)$$

PBIAS, simülasyon verilerinin tahminin altında veya üstünde kalması durumunu inceler. En uygun değeri 0.00'dır (Gupta ve ark., 1999). PBIAS'ın negatif olması simülasyon verilerinin gerçek değerlerin üstünde olduğunu, pozitif olması simülasyon verilerinin gerçek değerlerin altında olduğunu ifade eder. PBIAS'ın hesaplandığı aşağıdaki denklemde Q_m ; gözlem verilerini, Q_s ; modelin ürettiği verileri temsil etmektedir.

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{m,i} - Q_{s,i}) * (100)}{\sum_{i=1}^n (Q_{m,i})} \right] \quad (3.20)$$

Bu çalışmada amaç fonksiyonu olarak KGE performans metriği tercih edilmiştir. KGE performans metriğinin 1'e yakın olması modelin başarısının yüksek olduğunu ifade etmektedir. Aşağıdaki denklem yardımıyla KGE hesaplanmaktadır. Bu denklemde r ; korelasyon katsayısını, α ; model ve gözlem verilerindeki göreceli değişkenliğin bir ölçüsünü, β ; simüle edilen değerlerin ortalamasının gözlem değerlerinin ortalamasına oranı olarak ifade edilmektedir.

$$KGE = 1 - \sqrt{(r-1)^2 + (\alpha-1)^2 + (\beta-1)^2} \quad (3.21)$$

RMSE hata metrikleri içerisinde en sık kullanılanlarından biridir. Farklı alanlarda kullanıma sahip olan RMSE, özellikle model ve optimizasyon yakınsama problemlerinde sıkça tercih edilmektedir. Aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmaktadır. Q_m ; gözlem verilerini, Q_s ; simülasyon verilerini, n ; veri sayısını temsil etmektedir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{m,i} - Q_{s,i})^2}{n}} \quad (3.22)$$

3.9. mHM Kalibrasyon ve Ön İşleme Süreçleri

mHM kalibrasyon aşamasında kullanılmak üzere, Monte Carlo Markov Chain (MCMC), Shuffled Complex Evolution (SCE), Simulated Annealing (SA) ve Dynamically Dimensioned Search (DDS) algoritmalarını önermektedir (Samaniego ve ark., 2018). Bu çalışmada DDS algoritması kullanılmıştır. Yapılan literatür araştırmasından elde edilen bilgilere göre, DDS algoritması fiziksel tabanlı modellerin kalibre edilmesinde oldukça etkili sonuçlar üretmektedir (Lespinas ve ark., 2018). DDS'nin SCE ile karşılaştırılması sonucunda, iyi bir çözüme yakınsama problemlerinde DDS'nin daha başarılı sonuçlar elde ettiği ifade edilmiştir (Tolson ve Shoemaker, 2007). Behrangi ve ark. (2008), özellikle hesaplama gerektiren modellerin kalibre edilmesinde DDS'nin başarılı sonuçlar üretebileceğini belirtmiştir. Bu çalışmada, 2002-2003 ısınma, 2004-2015 kalibrasyon ve 2016-2019 validasyon periyodu olarak değerlendirilmiştir. Amaç fonksiyonu olarak KGE performans metriği tercih edilmiştir.

Arazi örtüsünün değişiminin hidrolojik etkilerini gözlemleyebilmek amacıyla iki farklı senaryo oluşturulmuştur. Modelin kalibrasyon sürecinde de bu iki farklı senaryo dikkate alınmıştır (Tablo 3.7). Bu iki senaryo arazi örtüsünü temsil eden girdiler açısından birbirinden ayrılırken diğer girdiler açısından sabit tutulmuştur. Senaryo 1'de sabit bir arazi örtüsü haritası modelin çalıştığı periyot boyunca değişkenlik göstermemektedir. Ayrıca özellikle evapotranspirasyon ile ilişkisi olan yaprak alan indeksi bir zaman serisi bilgisi olarak modele dahil edilmeyip uzun dönem ortalamalı aylık haritalar şeklinde modele girdi olarak tanıtılmıştır. Senaryo 2'de arazi örtüsü bilgisi yıllık değişen arazi örtüsü haritaları ile modele tanıtılmıştır. Yaprak alan indeksi aylık zaman serisi olarak alansal dağılık haritalar halinde modele dahil edilmiştir.

Tablo 3.7. mHM’de çalışılan senaryoların özellikleri

	Arazi Örtüsü ve Kullanımı	Yaprak Alan İndeksi (YAI)
Senaryo 1 (Sn1)	Sabit arazi örtüsü	Uzun dönem aylık ortalamalı
Senaryo 2 (Sn2)	Yıllık değişen arazi örtüsü	Aylık değişen

mHM sahip olduğu arazi örtüsü tanıtım sisteminde, sulanan tarım arazilerinin tanıtılması detaylarını içeren bir arazi örtüsü tanımı bulunmamaktadır. Bu kapsamda modele sulama bilgisi haricen girilmiştir. Havzada tarımsal su kaynağı olarak yeraltı su sisteminin yoğun olarak kullanıldığı bilinmektedir (Gokmen ve ark., 2013). Bu bilgiden yola çıkarak tarımın yapıldığı gridlere sulama suyu tanımlanmıştır. Tanımlanan toplam su miktarı ise yer altı su sistemine negatif anomali olarak yansıtılmıştır. Tarım alanlarına tanımlanan sulama suyu aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$ET_a - P = I, \quad \sum I_r = \frac{I \times A_{HA}}{A_{TA}} \quad (3.23)$$

Yukarıdaki denklemde, ET_a ; KKH içerisinde üretilen major tarım ürünlerinin bitki su tüketimini, P ; yağışı, I ; sulama miktarını, A_{HA} ; hasat edilen toplam alanı, A_{TA} ; tarım alanlarının toplam alanını, I_r ; toplam sulama suyunu temsil etmektedir. Bitki su tüketimleri literatürden elde edilen bilgilerden derlenmiştir (Tablo 3.8). Hasat edilen alanların yıllık bilgisi Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)’ndan temin edilmiştir.

Tablo 3.8. Yarı kurak iklim şartları altında KKH majör tarımsal ürünlerin bitkisel su tüketimleri

	Bitki Su Tüketimi (ET_a) (mm)	Kaynak
Şeker Pancarı	1009.05	(Süheri ve ark., 2011)
Hububat (Arpa, Buğday, Çavdar)	570.55	(Dündar, 2021)
Mısır	891.00	(Topak ve ark., 2009)
Kabak	644.90	(Yavuz ve ark., 2015)
Karpuz	614.00	(Yavuz ve ark., 2020)
Kavun	423.55	(Yavuz ve ark., 2021)
Ayçiçeği	746.75	(Yavuz ve ark., 2019)

KKH sınırları içerisindeki tüm YAI değerlerinin toplanarak tek bir yaprak gibi düşünüldüğü zaman serisi oluşturulmuştur. Bu zaman serisinin standartlaştırılması sonrasında elde edilen zaman serisine lineer regresyon uygulanmıştır. Ortaya çıkan denklemden yola çıkarak aylık sulama miktarı ölçüsünde genişletilerek lineer bir sulama serisi elde edilmiştir. Yer altı su depolama anomalilerinden sulama zaman serisi çıkartılarak simülasyon yer altı suyu depolama anomali zaman serisi elde edilmiştir.

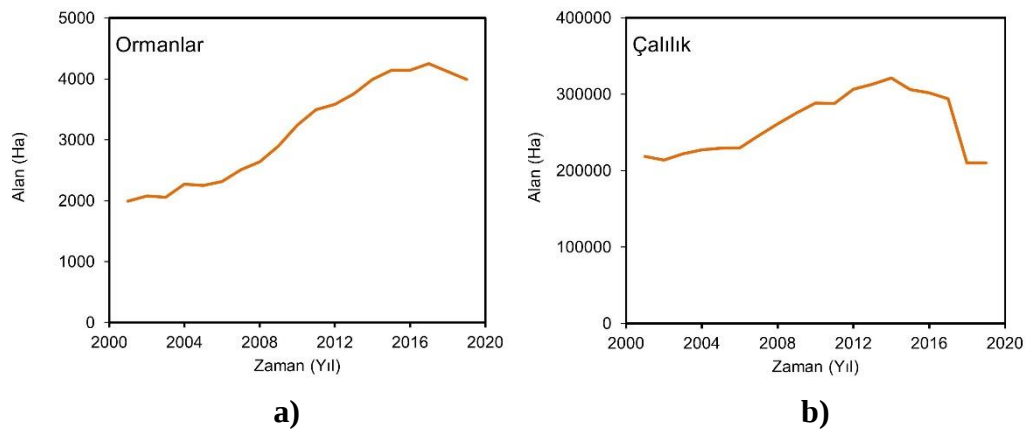


4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

4.1. Arazi Örtüsü/Kullanımı (AÖK) Değişiminin Zamansal ve Alansal İncelenmesi

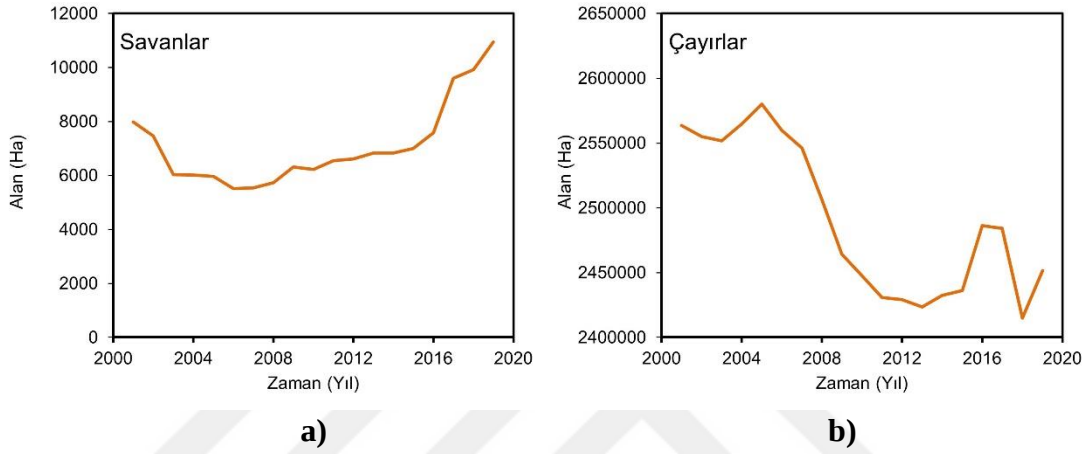
KKH iklim değişikliği ile birlikte antropojenik etkilere de yoğun bir şekilde maruz kalmaktadır. Tarımsal aktivitelerin yoğun olduğu havzada, hidrolojik çevrim bu etkilere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. KKH’de AÖK durumunun, alansal ve zamansal değişimlerinin incelenmesi amacıyla MODIS ve CORINE verilerinden yararlanılmıştır. Zamansal çözünürlüğünün yüksek olması sebebiyle yıllık AÖK verileri MODIS’ten IGBP sınıflandırma şeması ile temin edilmiştir. AÖK’ün alansal değişimi hakkında bilgi elde etmek için çözünürlüğü yüksek olan CORINE verileri tercih edilmiştir. IGBP sınıflandırma şeması 17 adet sınıftan oluşmaktadır (Loveland ve Belward, 1997). KKH sınırları içerisinde bulunan sınıfların 2001-2019 periyodu için toplam alanları Şekil 4.1-Şekil 4.5’de verilmiştir.

Şekil 4.1’de KKH içerisindeki orman ve çalılık alanların toplamalarının zaman serisi verilmiştir. 2001-2019 periyodu için ormanlık ve çalılık alanlar genel artış trendine sahiptir. IGBP’de orman sınıfı 5 alt sınıfa ayrılmaktadır. Bu sınıflar herdem geniş yapraklı, herdem iğne yapraklı, yaprak döken geniş yapraklı, yaprak döken iğne yapraklı ve karışık ormanlardır. Bir gridin orman olarak tanımlanması için %60’ından fazlasının ağaç olması gerekmektedir. Ormanlık alanlar 2001 yılında yaklaşık 2000 ha alan kaplarken, 2018’e doğru yaklaşık 4000 ha alan kaplamaktadır. Çalılık alanların genel artış trendi 2014’ten sonra azalış trendine geçmiştir.



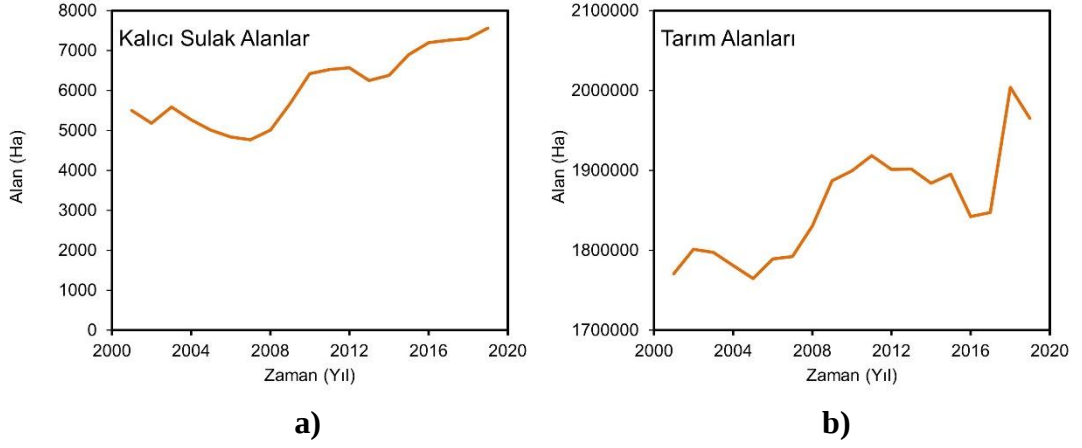
Şekil 4.1. KKH için MODIS IGBP AÖK zaman serileri a) Orman, b) Çalılık

Savan ve çayır alanlar IGBP’de tanımlanan iki sınıftır. Şekil 4.2’de KKH sınırları içerisinde bulunan savan ve çayır alanlarının toplamalarının zaman serileri verilmiştir. Savanlar 2006 yılına kadar genel azalış trendine sahipken, sonrasında artış trendine geçmiştir. Çayır alanları KKH içerisinde yoğun olarak bulunan AÖK sınıflarından biridir. Çalışma periyodu içerisinde çayır alanları güçlü azalış trendine sahiptir. Tez kapsamında yapılan araştırmalar doğrultusunda, çayır alanları zamanla yerini tarımsal alanlara bırakmaktadır.



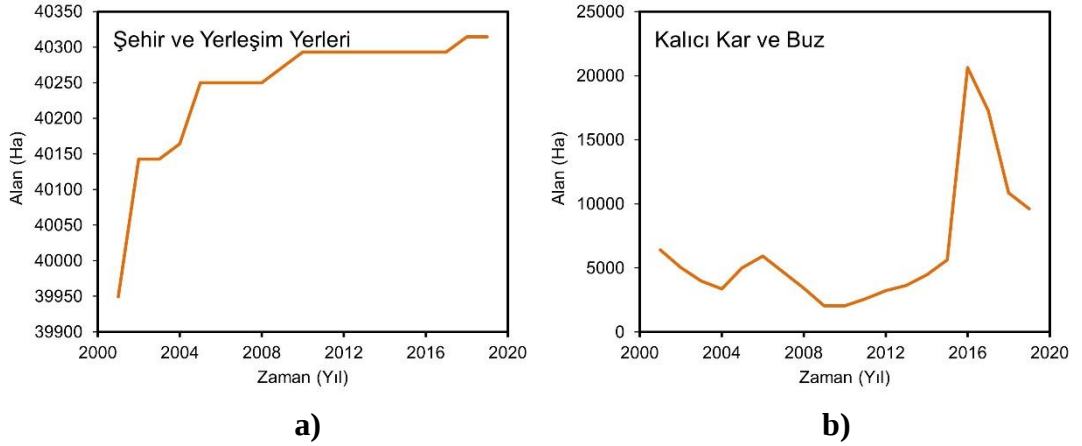
Şekil 4.2. KKH için MODIS IGBP AÖK zaman serileri a) Savan, b) Çayır

Şekil 4.3’de kalıcı sulak alanların ve tarım alanlarının zamanla değişimi verilmiştir. IGBP’ye göre kalıcı sulak alan sınıfı, %30-60 su ile kaplı ve %10’dan fazla vejetasyon bulunduran alanlar olarak tanımlanmaktadır. Kalıcı sulak alanlar KKH içerisinde genel artış trendine sahiptir. Küresel ısınmanın ve su kaynaklarının aşırı kullanımına bağlı olarak su kütlelerindeki azalmalar sonucu göllerin etrafında bu tip alanların artış gösterdiği tespit edilmiştir. KKH içerisinde bulunan diğer major arazi sınıfı tarım alanlarıdır. Tarımsal aktivitelerin yoğun olduğu bilinen KKH’de tarım alanları genel olarak artış (2011-2016 arası azalma) trendine sahiptir. Özellikle son yıllarda gözlemlenen ani artış dikkat çekmektedir.



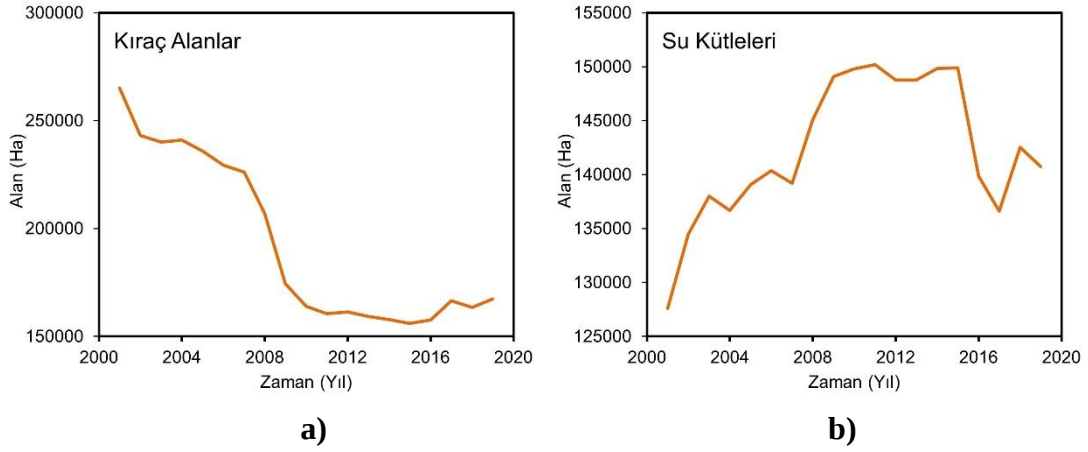
Şekil 4.3. KKH için MODIS IGBP AÖK zaman serileri a) Kalıcı sulak alanlar, b) Tarım alanları

Şekil 4.4’de KKH şehir ve yerleşim alanları ile kalıcı kar ve buz alanlarının toplamalarının zamanla değişimi verilmiştir. Yerleşim alanları 2010 yılına kadar yaklaşık 350 ha artış göstermiş ve sonrasında hemen hemen stabil kalmıştır. Karasal iklime sahip KKH içerisinde kalıcı kar ve buz alanları önemli ölçüde geniş alanlar kaplamamaktadır. Ancak yapılan incelemeler sonucunda, havzanın tuzluluğu yüksek alanlarında kalıcı kar ve buz tabakalarının IGBP’de tanımlanmış olması şüphe uyandırıcıdır. Kalıcı kar ve buz alanlarının zaman serisi incelendiğinde son yıllarda meydana gelen ani artış sonrası ani düşüş dikkat çekmektedir.



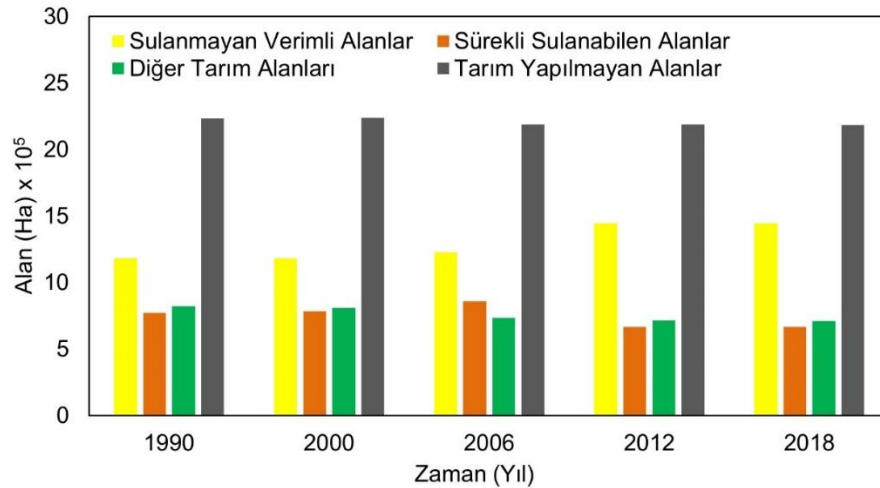
Şekil 4.4. KKH için MODIS IGBP AÖK zaman serileri a) Şehir ve yerleşim alanları, b) Kalıcı kar ve buz

Şekil 4.5’de kıraç alanlar ve su kütlelerinin toplam alanlarının zamanla değişimi verilmiştir. Kıraç alanlar zamanla güçlü azalış trendine sahiptir. Havza içerisinde sulamanın artması ve tarımsal alanların genişlemesine bağlı olarak, kıraç alanların azalış göstermesi anlamlı olmaktadır. Su kütleleri ise 2009 yılına kadar artış, 2015 sonrasında azalış yönünde trend göstermiştir. 2009-2015 arasında ise hemen hemen stabil kalmıştır.



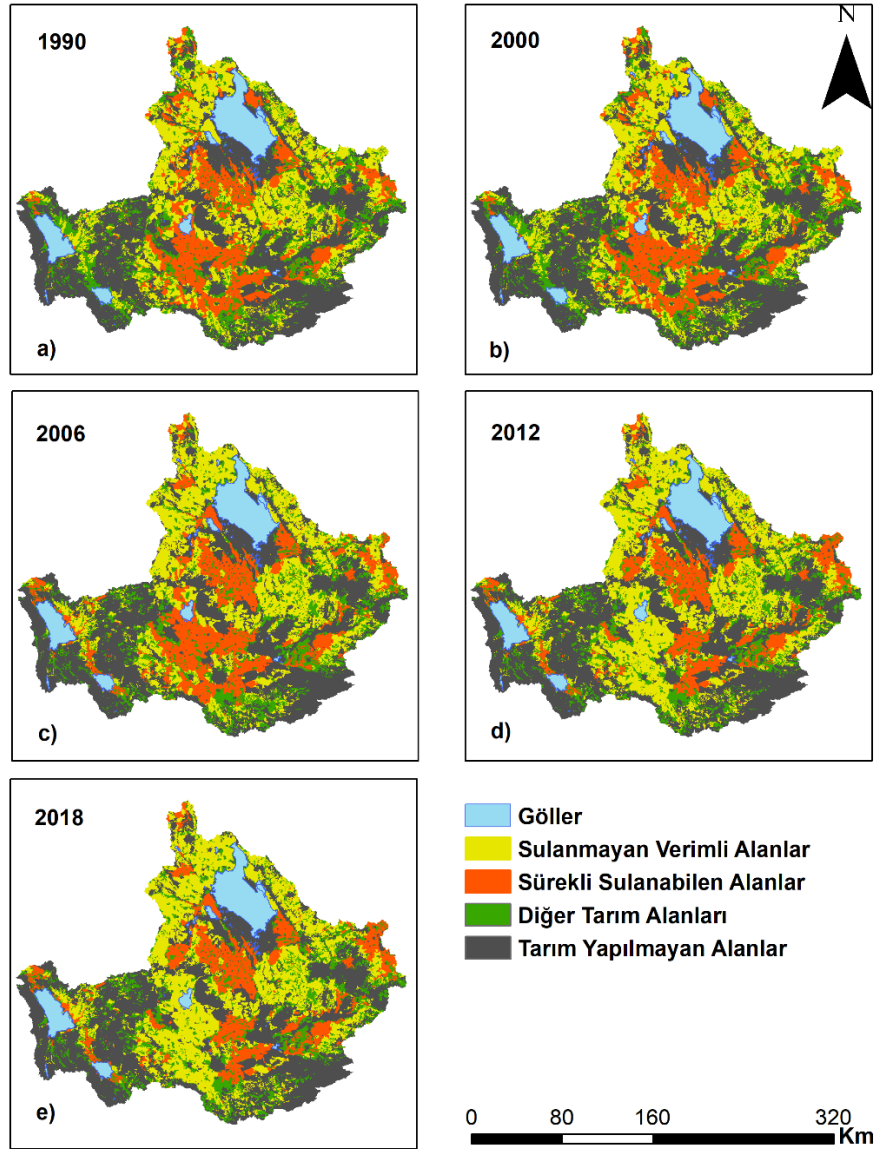
Şekil 4.5. KKH için MODIS IGBP AÖK zaman serileri **a)** Kıraç alanları, **b)** Su kütleleri

CORINE verileri oldukça geniş bir arazi örtüsü sınıflandırma şemasına sahiptir. Zamansal çözünürlüğünün az olmasına rağmen, sağladığı yüksek alansal çözünürlüklü AÖK verisi sayesinde detaylı inceleme yapma imkanı sunmaktadır. KKH içerisinde hidrolojik çevrimi önemli ölçüde etkileyen insani faaliyetlerin başında tarımsal aktiviteler gelmektedir. Tarımsal çerçeveden yeniden sınıflandırılan CORINE arazi örtüsü sınıfları incelenmiştir. CORINE tarafından sağlanan 5 farklı yıla ait yeniden yapılandırılmış AÖK'lerin toplam alanları Şekil 4.6'da verilmiştir. Havza içerisinde tarımın yapılmadığı alanlar en büyük sınıfı oluşturmaktadır (yaklaşık 22×10^5 ha). Ardından sulanmayan verimli alanlar gelmektedir (yaklaşık 12×10^5 ha). Tanımlanan dört sınıf içerisinde sadece sulanmayan verimli alanlar genel artış trendine sahiptir. Diğer sınıflar arasında bazı yıllarda artış gözlemlense de genel trend azalış yönündedir. Sulanmayan verimli alanların havza içerisindeki artışı tarımsal ve hidrolojik açıdan olumsuz sonuçları işaret etmektedir.



Şekil 4.6. Tarımsal perspektiften KKH'nin AÖK'ünde zamansal değişimi

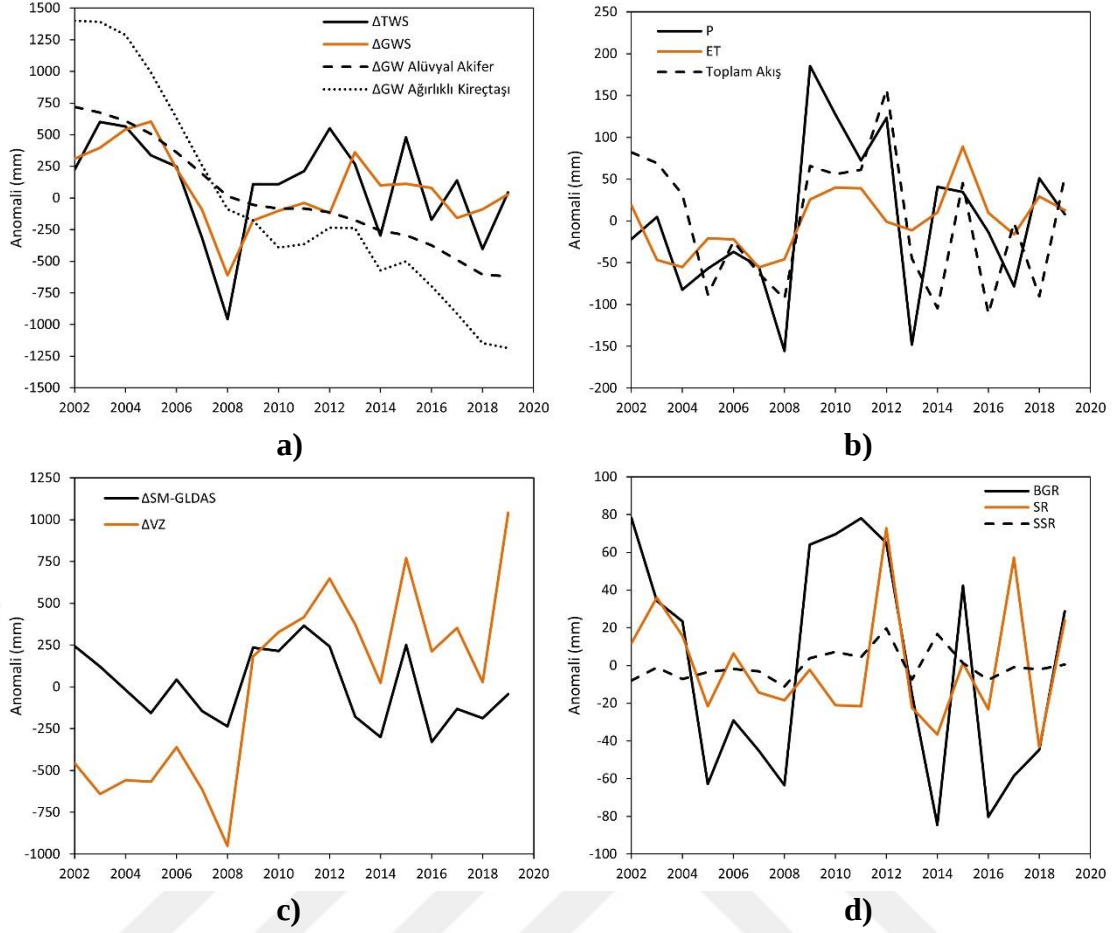
KKH için alansal dağılık AÖK haritaları Şekil 4.7’de verilmiştir. Tarım yapılan alanların havzanın orta kesimlerinde yoğunluk kazandığı gözlemlenmektedir. Beyşehir Gölü çevresinde ve havzanın yüksek kesimlerinde tarımın yapılmadığı alanlar sıklık kazanmaktadır. 1990 yılında havzanın orta kesimlerinde sürekli sulanabilen araziler yoğunluk göstermektedir. Ancak bu durum 2012 ve sonrasında önemli bir değişim göstermektedir. Havzanın ortasında sulanabilen tarım arazisi olarak tanımlanan önemli ölçüde alan sulanamayan tarım arazisi olarak tanımlanmaya başlanmıştır. Zamansal olarak değişim gösteren AÖK sınıflarının havza içerisinde de önemli alansal değişiklik gösterdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.7. KKH için CORINE’den elde edilen AÖK haritaları a) 1990, b) 2000, c) 2006, d) 2012, e) 2018

4.2. Su Bütçesi Bileşenlerinin Analizi

KKH su bütçesi bileşenlerinin zamanla değişimi Şekil 4.8’de verilmiştir. Şekil 4.8-a’da verilen TWS, GRACE veri setinden elde edilmiştir. GWS anomalileri, GLDAS’tan temin edilen komponentlerin GRACE tabanlı TWS zaman serisinden çıkartılarak elde edilmiştir. Gözlem kuyularından (toplam 34 adet) elde edilen bilgilerden yola çıkarak, alüvyal (11 adet) ve ağırlıklı kireçtaşı (23 adet) olmak üzere iki adet kuyu sınıfı tanımlanmış ve anomaliler hesaplanmıştır. Yer altı su seviyesi anomalileri güçlü azalma trendi göstermektedir (-122.34 mm/yıl). Ancak alüvyal formasyona sahip kuyular (-78.55 mm/yıl), ağırlıklı kireçtaşı olan kuyulara (-150.75 mm/yıl) kıyasla daha kademeli bir düşüş gerçekleştirmektedir. Yer altı su depolama sisteminden kuyularla çekilen suyun, özellikle karstik bölgelerde önemli ölçüde hidrolojik çevrimi etkilediği gözlemlenmiştir. Uzaktan algılama metotları ile elde edilen TWS ve GWS verilerinin eğimi ölçüm verilerine kıyasla daha azdır. 2007-2008 yıllarındaki kuraklığın etkisi TWS ve GWS’de net olarak gözlemlenmektedir (Sen ve ark., 2019). Yer altı suyu ölçümleri, özellikle alüvyal formasyona sahip kuyular bu durumu gecikmeli olarak yansıtmaktadır. Şekil 4.8-b’de, yağış, evapotranspirasyon ve toplam akış değişkenlerinin anomali zaman serileri verilmiştir. 2007-2008 kurak periyodun ardından gelen 2009-2012 ıslak periyodunda yağışla birlikte toplam akış ve evapotranspirasyon ani bir artış göstermiştir. Bu dönemde yağışların evapotranspirasyonun üzerinde bir artış göstermesi su sınırlı bir havza olan KKH’de su stresini azaltmış olarak görünmektedir. Şekil 4.8-c’de iki farklı yaklaşımla (Δ SM-GLDAS, Δ VZ) elde edilen zemin nemi anomali zaman serileri yıllık ölçekte verilmiştir. Zemin neminin yıldan yıla değişkenliği genel ölçekte iki yaklaşımda da benzerlik göstermektedir. Ancak GLDAS’tan elde edilen zemin nemi anomalileri, tüm vadoz bölge için hesaplanan zemin nemi anomalilerinden uzun vadede dikkat çekici ölçüde farklılık göstermektedir. GLDAS zemin nemi verileri yüzeyden 2 m derinlik için veri sağlamaktadır. Bu durumda zemin nemi yağıştan önemli ölçüde etkilenen bir profil çizebilir. Bu nedenle zemin nemi araştırmaları için bu tarz verilerin sağlıklı bir kaynak oluşturacağı yönünde şüphe oluşmaktadır. Şekil 4.8-d’de akış bileşenlerinin yıllık anomali zaman serileri verilmiştir. Kar erimesi akışı (SR), 2012 ve 2017 yıllarında nispeten ani artışlar göstermiştir. Taşkın yüzey akışı (SSR) önemli bir dalgalanma göstermemektedir. Baz-yer altı akışı (BGR), iklim değişikliklerine önemli ölçüde yanıt vermektedir. Maksimum BGR değerleri, yağışın evapotranspirasyondan daha yüksek olduğu dönemlerde elde edilirken, aksi halde düşük anomali değerleri elde edilmiştir.

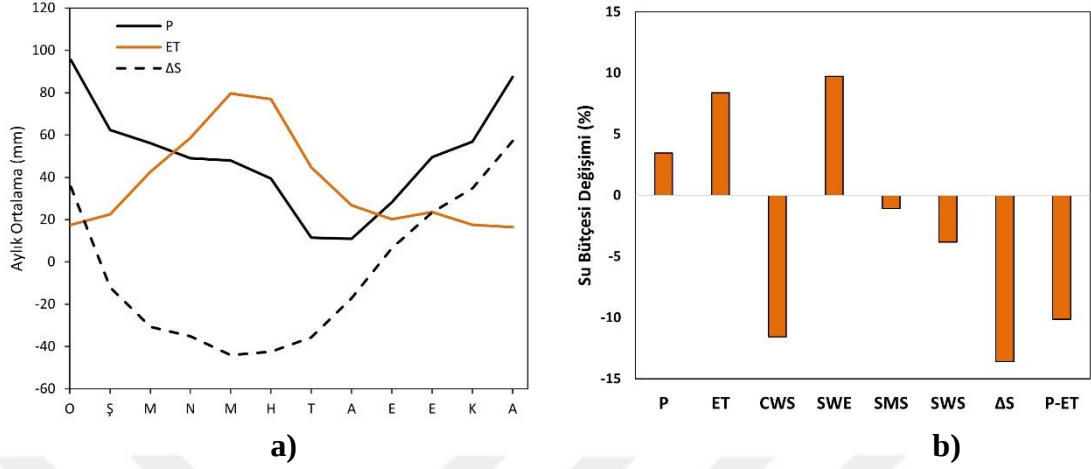


Şekil 4.8. KKH için yıllık anomali zaman serileri **a)** ΔTWS , ΔGWS -GLDAS, ΔGW alüvyal akiferler ve ΔGW ağırlıklı kireçtaşı, **b)** yağış, evapotranspirasyon ve toplam akış **c)** ΔSM -GLDAS ve ΔVZ **d)** Baz-yeraltı akışı (BGR), kar erimesi akışı (SR) ve taşkın yüzey akışı (SSR)

Çalışma alanının su bütçesi hakkında önemli bilgiler elde etmek için yağış (P), evapotranspirasyon (ET) ve depolamadaki değişim (ΔS) incelenmelidir. Şekil 4.9-a'da P, ET ve ΔS 'in aylık uzun dönem ortalamalı grafikleri verilmiştir. ΔS , beş ayda (Eylül, Ekim, Kasım, Aralık ve Ocak) pozitif değer alırken diğer aylarda negatif değer almaktadır. ET, 5 ayda (Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos) P'den büyükken diğer aylarda bu durum tam tersi olmaktadır. Yıl içerisinde ΔS 'in çoğunlukla negatif olması KKH su kaynaklarının azalma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Ayrıca sıcaklığın yüksek olduğu aylarda ET'nin yüksek değerlere ulaşamaması havzanın su sınırlı olduğuna bir işarettir.

Su bütçesi ve bileşenlerindeki değişimi gözlemlemek için çalışma periyodu iki parçaya ayrılmıştır (2002-2010 ve 2011-2019). Bu iki periyodun birbiri ile kıyaslanması sonucu elde edilen değişimler Şekil 4.9-b'de verilmiştir. P ve ET parametrelerinde bu iki dönem için artış tespit edilmiştir. Ancak ET'nin artışı P'den daha fazladır. P-ET'deki değişim yaklaşık olarak %10 azalma göstermektedir. TWS bileşenleri arasında pozitif

değişim gösteren bileşen SWE'dir. Onun dışındaki tüm bileşenler azalan değişim göstermiştir. ΔS ise yaklaşık %13 azalan yönde bir değişim göstermiştir.

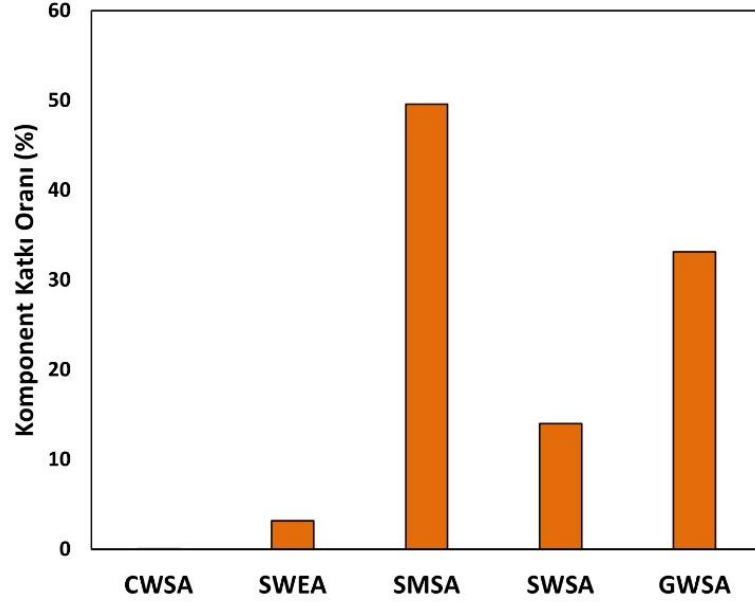


Şekil 4.9. a) Aylık ortalama yağış (P), evapotranspirasyon (ET) ve depolama değişimi (ΔS), **b)** su bütçesinde 2002-2010 periyodunun 2011-2019 periyoduna kıyasla değişimi

4.3. Gecikme Zamanı ve Komponent Katkı Oranı

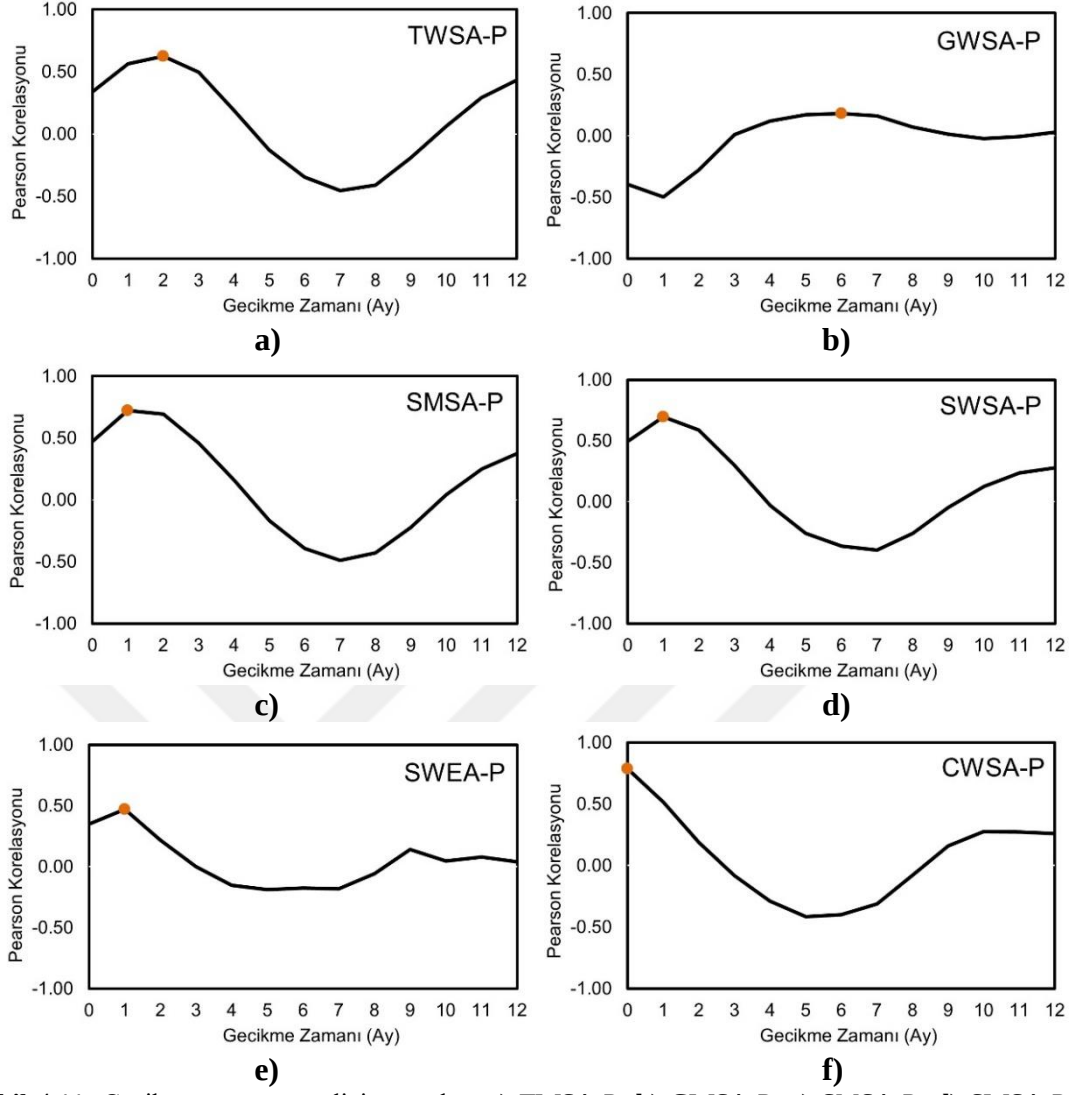
TWSA komponentlerinin bireysel katkılarının bilinmesi hidrolojik çevrimi etkileyen unsurların en çok hangi depolama sistemine müdahalede bulunduğunu gösteren bir işarettir. Bu etkinin belirlenmesi amacıyla bu çalışmada TWSA bireysel bileşenlerinin komponent katkı oranları (CCR) hesaplanmıştır. KKH için hesaplanan CCR değerleri Şekil 4.10'da verilmiştir. TWSA üzerinden en az etkiye sahip depolamalar CWSA ve SWEA'dır (toplam %3.27). Ardından %14'lük bir oranla SWSA gelmektedir. Tarımsal aktivitelerin yoğunluğu doğrudan yüzeysel su kaynaklarının azalmasına işaret eder. Dolayısıyla değişkenliğin en fazla yüzeysel su kaynaklarında olması beklenir. Ancak sınırlı yüzeysel su kaynağı olması sebebiyle havzada sulama ihtiyacının kuyulardan sağlanmasının SWSA'nın nispeten düşük bir CCR almasına sebep olduğu düşünülmektedir. Havzanın TWSA'sına katkı oranı en yüksek iki depolama SMS ve GWS'dir. SMSA ve GWSA komponentleri sırasıyla %49.61 ve %33.12 oranlarına sahiptir. Kuyuların sulama suyu ihtiyacını gidermekte başlıca kaynak olarak kullanılması TWSA'nın sahip olduğu toplam değişkenliğin büyük ölçüde SMSA ve GWSA'ya kaymasına neden olmuştur. Havza içerisinde tarımsal aktiviteler özellikle bitki büyüme sezonu olan Mayıs-Eylül arasında yoğunluk kazanmaktadır. GWS'den kuyularla suyun aşırı çekimi sonucu yer altı su sistemi negatif anomaliye sahip olmaktadır. Ancak su kısıtlı havzada zemin nemi depolama sistemi GWS'den gelen suyla güçlü pozitif anomali

değerlerine sahip olur. Bu durum TWSA'nın KKH için doğrudan GWSA ile ilişkilendirilmemesi gerektiğine bir işarettir.



Şekil 4.10. KKH için TWSA bileşenlerinin komponent katkı oranları

Hidrolojik çevrimde yer alan depolama sistemlerinin başlıca beslenme kaynağı olan yağışa gösterdikleri tepki süresi oldukça önemlidir. Bu durumda meydana gelen yağışların depolama sistemlerine etki süreleri belirlenebilir ve dolayısıyla su tüketiminde zamanlama planlaması daha sağlıklı yapılabilir. Şekil 4.11’de TWSA ve bileşenlerinin yağış ile zamansal ilişkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan gecikme zamanı analizi sonuçları verilmiştir. Yağış ve TWSA maksimum korelasyonu ikinci ayda göstermiştir. Yağış ve GWSA korelasyonu incelendiğinde, 6. ayda maksimum korelasyon sağlandığı tespit edilmiştir. Karstik akiferlere sahip bölgelerde yaklaşık 5-6 ay gibi bir tepki süresi, diğer bölgelerde 9-12 ay arası bir tepki süresi hesaplandığı literatür taramasından elde edilen bilgilerle doğrulanmıştır (Awange ve ark., 2014; Zhang ve ark., 2019). Bu durumda KKH’nin yüzey altı hidrolojisini karstik formasyonların domine ettiği yönünde bir işaret elde edilmiştir. SMSA, SWSA ve SWEA’nın yağış ile gösterdiği maksimum korelasyon birinci ayda gerçekleşirken, CWSA’nın 0-1 ay arasında gerçekleşmektedir. Analiz sonucunda TWSA’daki anomalinin önemli bir kısmının toprak nemi ve yeraltı suyu depolama sistemlerindeki anomalilerden kaynaklandığı tespit edilmiştir.

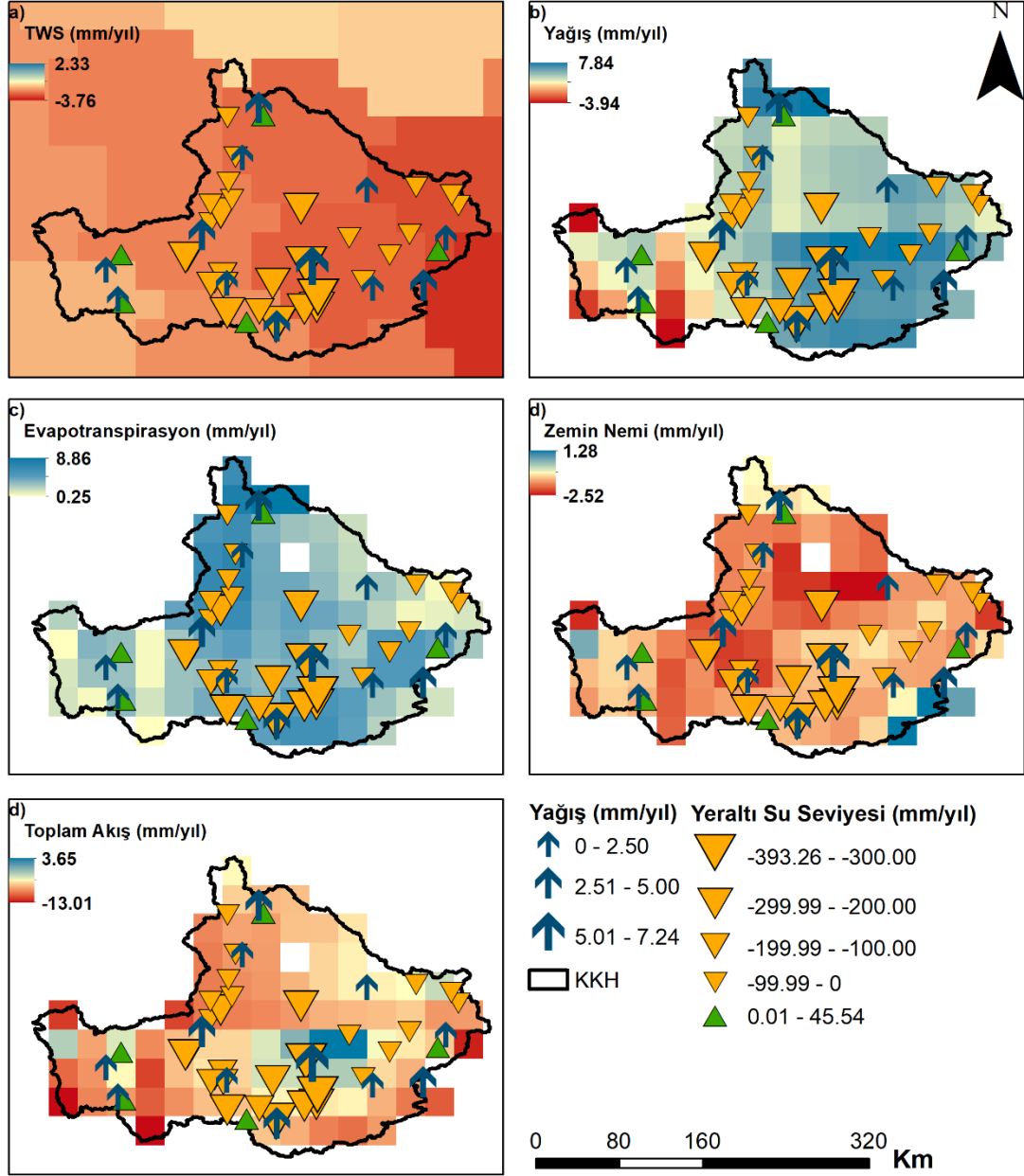


Şekil 4.11. Gecikme zamanı analizi sonuçları **a)** TWSA-P, **b)** GWSA-P, **c)** SMSA-P, **d)** SWSA-P, **e)** SWEA-P, ve **f)** CWSA-P

4.4. Monotonik ve Alt Trend Analizi

Çalışma kapsamında alansal lineer trend ve zamansal alt trend analizi hidrometeorolojik parametrelere uygulanmıştır. Böylece bu parametrelerin eğilimleri hakkında bilgi elde edilmesi amaçlanmıştır. Şekil 4.12’de KKH için farklı hidrometeorolojik parametrelerin alansal trend haritası, yer altı su seviyesi (GWL) ve istasyon bazlı yağış noktasal trendleri ile birlikte verilmiştir. GRACE-TWS trendleri incelendiğinde havzanın tamamında azalan bir trend olduğu tespit edilmiştir. Ancak azalan eğim havzanın batısından doğusuna doğru güçlenmektedir. GWL havzanın ortasında önemli azalma eğilimi gösterirken, havza kenarlarına yakın bölgelerde genellikle hafif artış trendine sahiptir. Yağış parametresi için istasyon bazlı eğimler

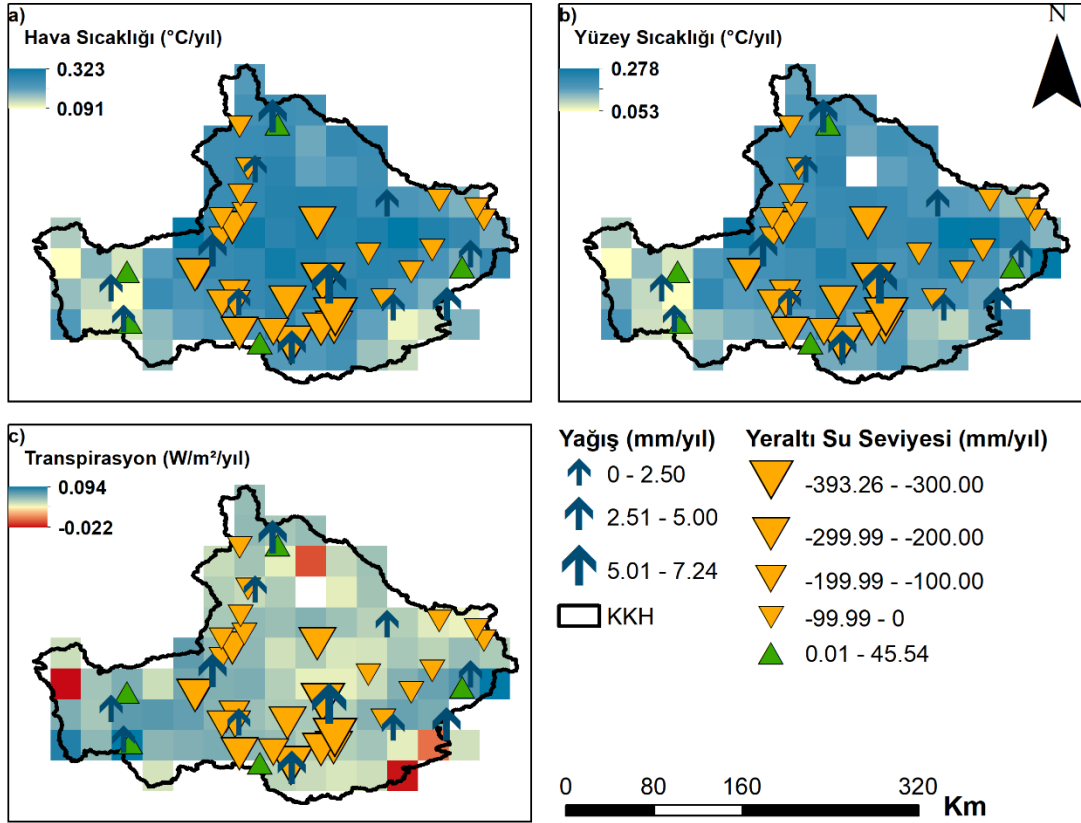
incelendiğinde havzanın genelinde artan trend mevcuttur. Bu artış trendi havzanın orta kesimlerinde ve orta-güney kesimlerinde güçlenmektedir.



Şekil 4.12. KKH için istasyon bazlı yağış ve yer altı su seviyesi trendleri birlikte monotonik trend haritaları
a) GRACE-TWS, **b)** GLDAS-Yağış, **c)** GLDAS-Evapotranspirasyon, **d)** GLDAS-Toplam Zemin Nemi, ve
e) GLDAS-Toplam Akış

GLDAS'tan elde edilen yağışlar ölçüm istasyonları ile büyük ölçüde uyumlu eğilim göstermektedir (Şekil 4.12b). Ancak havzanın batısında GLDAS ve ölçüm yağışları uyumsuzluk gösterdiği dikkat çekmektedir. Havzanın genelinde evapotranspirasyon artan trende sahiptir (Şekil 4.12c). Havzanın kuzeyinde ve güney doğusunda artan trend güçlenmektedir. Evapotranspirasyondaki havza genelindeki

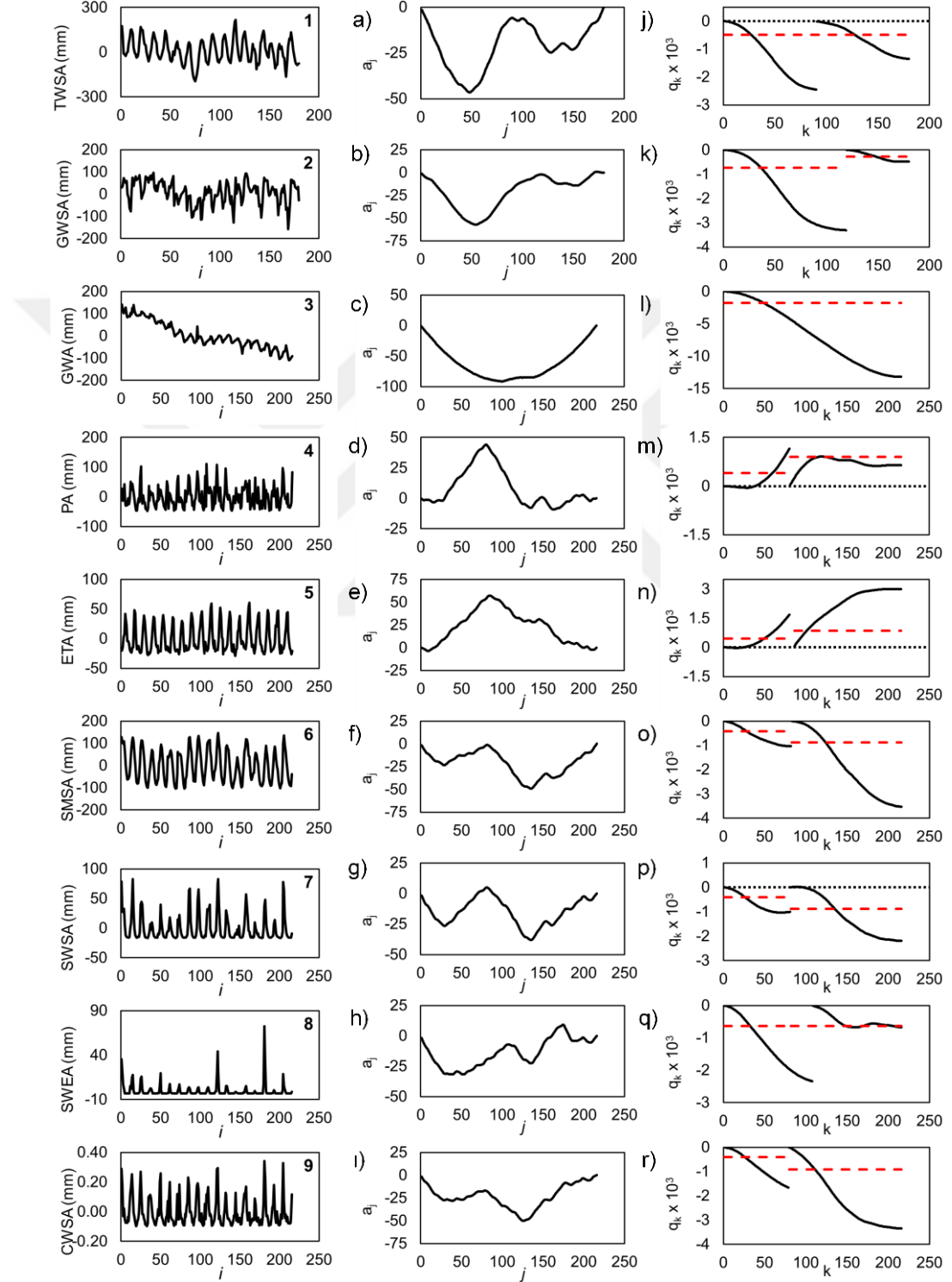
artışın, çoğunlukla yağış ve sıcaklıktaki artışların bir sonucu olduğu görülmektedir (Şekil 4.13). Toprak nemi, yükselme eğiliminde olduğu batı ve güneydoğu kesimlerinde yer alan birkaç kenar gridi dışında havzanın büyük bölümünde azalma eğilimindedir (Şekil 4.12d). Ancak zemin nemi havzanın orta kesimlerinde daha güçlü artan trende sahiptir. Tarımsal aktivitelerin yoğun olduğu orta kesimde zemin nemi trendinin güçlü artan eğilim göstermesi dikkat çekicidir. GLDAS toplam akışı, orta kesimde gösterdiği artan trend dışında havza genelinde azalan eğime sahiptir (Şekil 4.12e). Toplam akışta artış gösteren alan nispeten yağışın güçlü artış gösterdiği kısma denk gelmektedir. Havzanın diğer kesimlerinde yağışın artışının, evapotranspirasyondaki artıştan daha az olmasına bağlı olarak toplam akış azalma eğilimi göstermiştir. Toplam akışta en güçlü düşüşler, GLDAS yağışlarının azaldığı havzanın batı kesimlerinde meydana gelmektedir.



Şekil 4.13. KKH için monotonik trend haritaları a) hava sıcaklığı, b) yüzey sıcaklığı ve c) transpirasyon

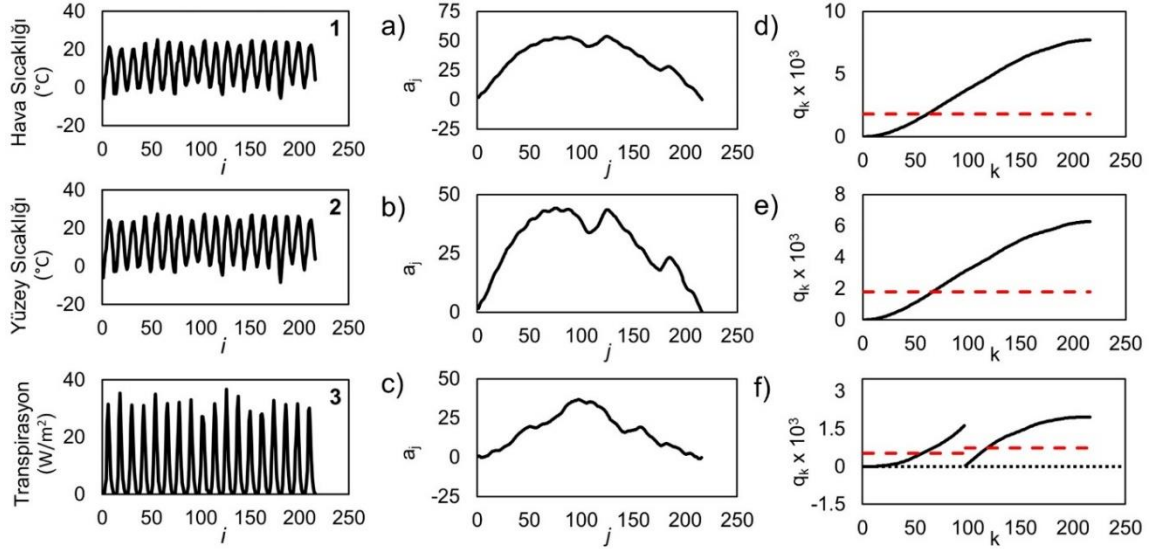
Önemli hidrolojik parametrelerin davranışlarının ilişkili olduğu hava sıcaklığı, yüzey sıcaklığı ve transpirasyon parametreleri için monotonik ve alt trend analizi yapılmıştır. Şekil 4.13’de, hava sıcaklığı, yüzey sıcaklığı ve transpirasyon için monotonik trend haritaları verilmiştir. Havzanın genelinde hava sıcaklığı ve yüzey sıcaklığı artan eğilime sahiptir. Bu artan trend havzanın orta kesimlerinde güçlenmektedir.

Transpirasyon eğim haritasının bazı gridlerinde azalan eğim gözlemlense de, havza genelinde eğilim artan yöndedir. KKH hidrometeorolojik parametreleri aylık zaman serilerine uygulanan Onyutha Testi sonucu elde edilen a_j ve q_k serileri Şekil 4.14’de verilmiştir.



Şekil 4.14. (1-9) hidrometeorolojik zaman serileri, (a-i) a_j serileri ve (j-r) q_k serileri ve alt trendlerin önem seviyeleri

TWSA’da gözlemlenen kırılma noktası çalışma periyodunu (2002-2019) neredeyse ortadan ikiye bölmektedir. GWSA’da tespit edilen kırılma noktası TWSA’da tespit edilene kıyasla daha ileri bir noktaya denk gelmektedir. Yer altı suyu anomalilerinde (GWA) zaman serisi boyunca alt trend tespit edilememiştir. TWSA ve GWSA parametreleri için %95 önem seviyesi (Şekil 4.14 ve Şekil 4.15 kırmızı kesikli çizgi) dikkate alındığında anlamlı azalan trendler tespit edilmiştir. Benzer şekilde, GWA (122.34 mm/yıl) için gözlemlenen azalan trend TWSA ve GWSA’ya kıyasla daha güçlüdür. Diğer hidrolojik parametreler incelendiğinde genellikle 2008 kırılma yılı olarak belirlenmiştir. Yağış ve evapotranspirasyon anomalileri (sırasıyla PA ve ETA) artan eğimlere sahiptir (sırasıyla 2.93 mm/yıl ve 3.53 mm/yıl). Yağış için belirlenen iki dönemden ilki önemli bir artış gösterirken, ikincisi anlamlılık sınırında kalmaktadır. ETA için belirlenen iki alt dönem için önemli artışlar tespit edilmiştir. SMSA, SWSA, SWEA ve CWSA parametreleri için azalan eğilimleri olan iki alt dönem belirlenmiştir. SWEA zaman serisinin ikinci dönemindeki azalma eğilimi anlamlılık sınırında kalırken, birinci dönem için anlamlıdır. SMSA, SWSA ve CWSA’nın azalan eğilimleri, ilgili önem sınırlarını aşmaktadır.



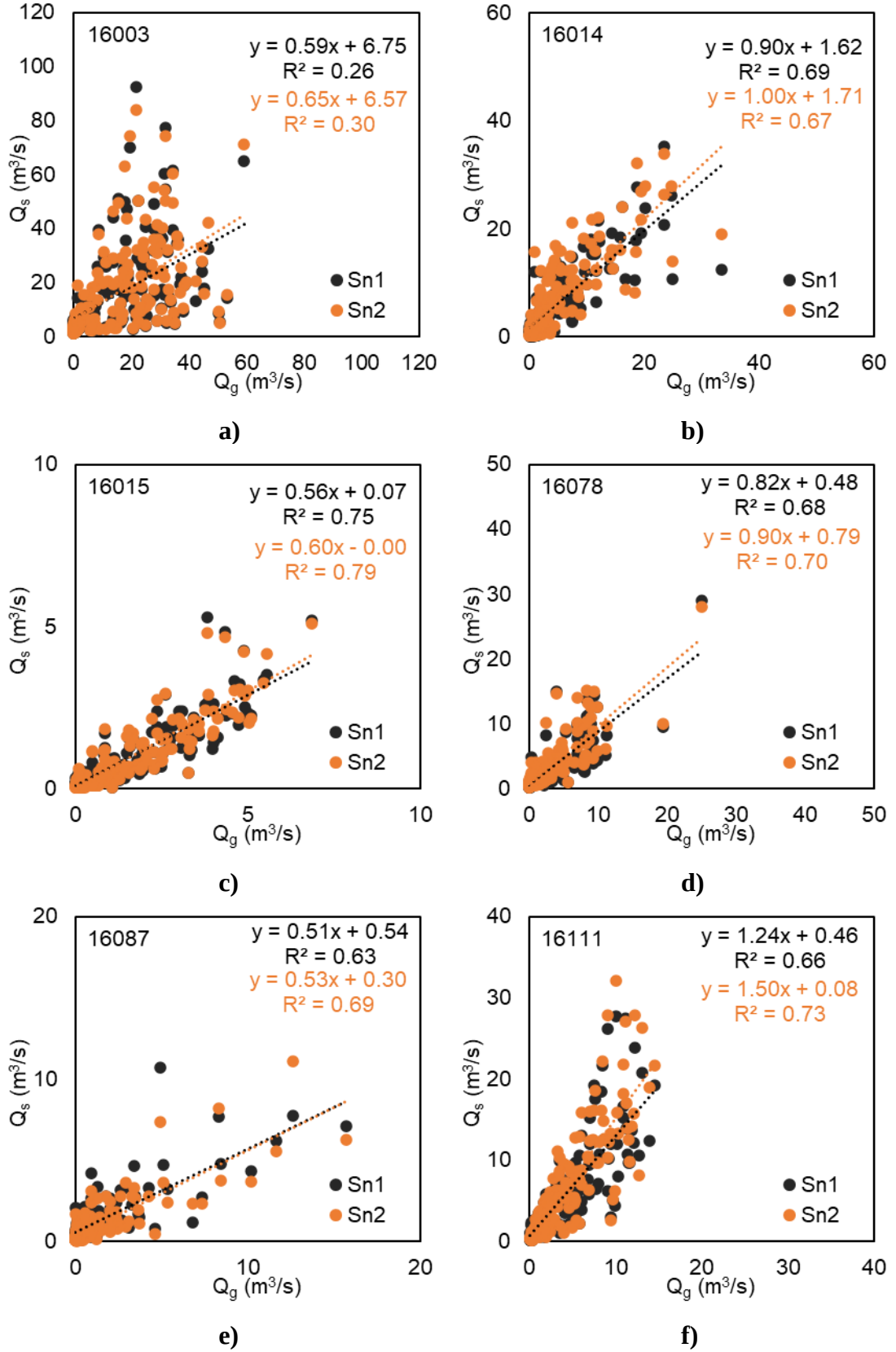
Şekil 4.15. (1-3) Hava sıcaklığı, yüzey sıcaklığı ve transpirasyon zaman serileri, (a-i) a_j serileri ve (j-r) q_k serileri ve alt trendlerin önem seviyeleri

Şekil 4.15’de hava sıcaklığı, yüzey sıcaklığı ve transpirasyon parametreleri için zamansal alt trend analizi sonuçları verilmiştir. Hava sıcaklığı ve yüzey sıcaklığında çalışma periyodunda (2002-2019) alt trend tespit edilmemiştir. Çalışma periyodu boyunca anlamlı artan trende sahip olmuşlardır. Transpirasyon için Şubat 2010’da bir

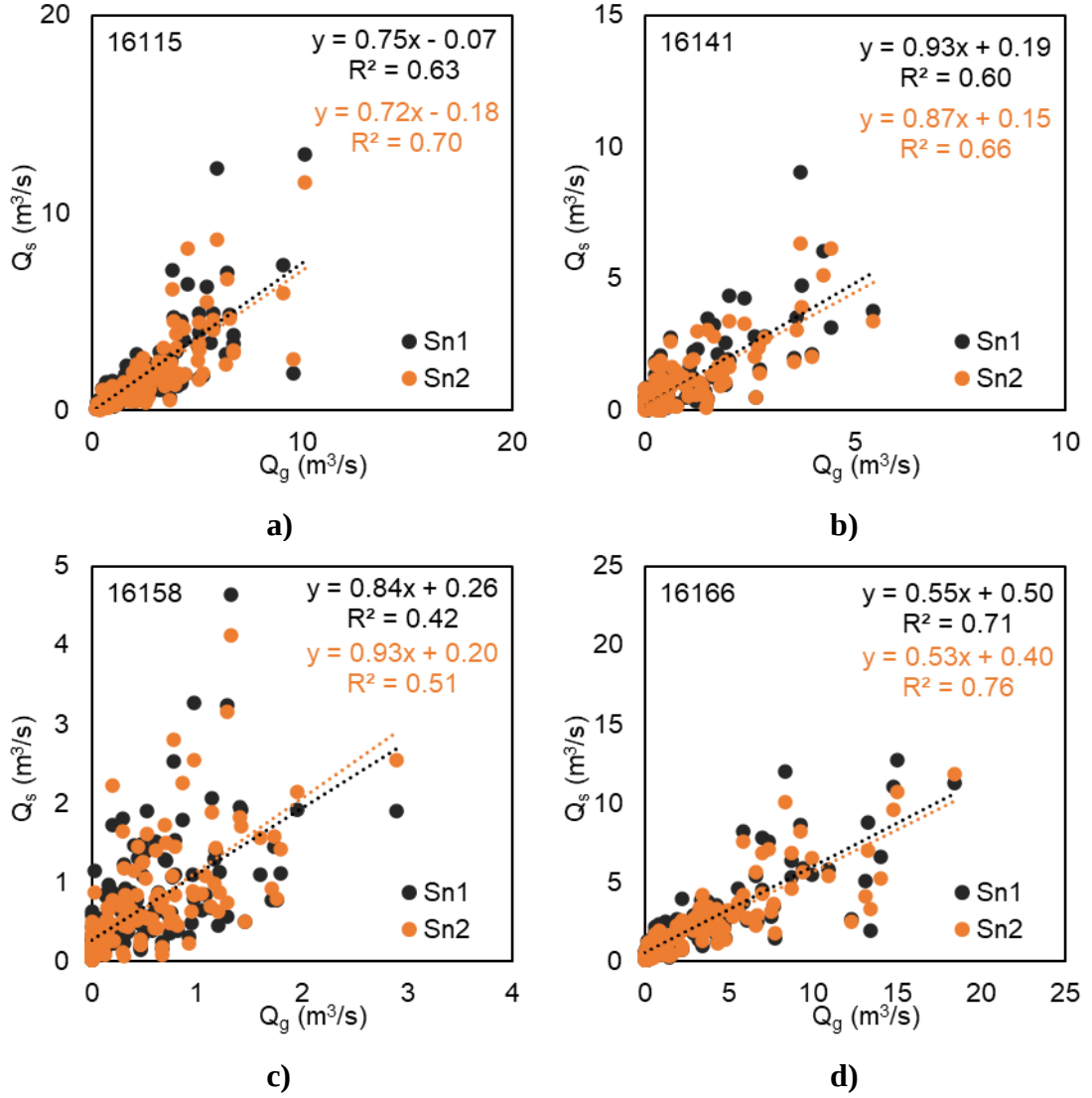
kırılma noktası tespit edilmiştir. Ancak her iki alt periyod içinde anlamlı artan trend tespit edilmiştir.

4.5. mHM Akım Tahmin Sonuçları

Sn1 ve Sn2 yaklaşımlarının KKH'de meydana getirdiği fiziksel farklılıkların incelenmesi amacıyla mHM modeli ile simülasyon geliştirilmiştir. Geliştirilen bu simülasyonun gerçeği ne ölçüde temsil ettiğinin incelenmesi gerekmektedir. Hidrolojik modellerin doğruluğunun test edilmesinde kullanılan en yaygın yöntem, simülasyon akım verileri ile ölçüm akım verilerinin karşılaştırılmasıdır. Bu doğrultuda mHM model performansının kolaylıkla gözlemlenebilmesi amacıyla Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de, dikkate alınan 10 akım gözlem istasyonu için aylık zamansal ölçekte Sn1 ve Sn2'ye ait saçılım diyagramları hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, Sn1 için en yüksek başarı 16015 ($R^2=0.75$), en düşük başarı ise 16003 ($R^2=0.26$) nolu istasyonlarda elde edilmiştir. Sn2'de de en yüksek başarı 16015 ($R^2=0.79$), en düşük başarı 16003 ($R^2=0.30$) nolu istasyonlarda elde edilmiştir. Arazi örtüsü bilgilerinin sabit ve değişken olduğu Sn1 ve Sn2 senaryoları için 16003 istasyonu başarımın en düşük olduğu istasyon olmuştur. 16003 istasyonunun drenaj alanı içerisinde kontrollü yapıların (Beyşehir Gölü çıkışı, Suğla Gölü, Beyşehir-Suğla-Apa (BSA) kanalı vb.) fazla olması sebebiyle başarımın önemli ölçüde etkilendiği düşünülmektedir. Saçılım diyagramları incelendiğinde, 16014 istasyonu haricindeki diğer istasyonlarda Sn2'nin başarısı biraz daha fazladır. Ayrıca 16003, 16014 ve 16166 istasyonları diğerlerine kıyasla yüksek akımların geçtiği akım gözlem istasyonlarıdır.



Şekil 4.16. mHM saçılım diyagramları a) 16003, b) 16014, c) 16015, d) 16078, e) 16087, f) 16111

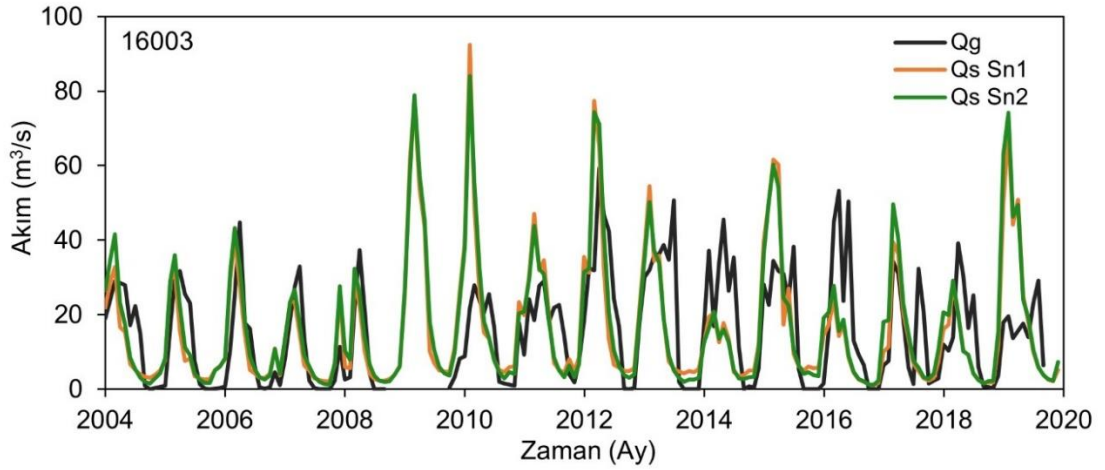


Şekil 4.17. mHM saçılım diyagramları a) 16115, b) 16141, c) 16158, d) 16166

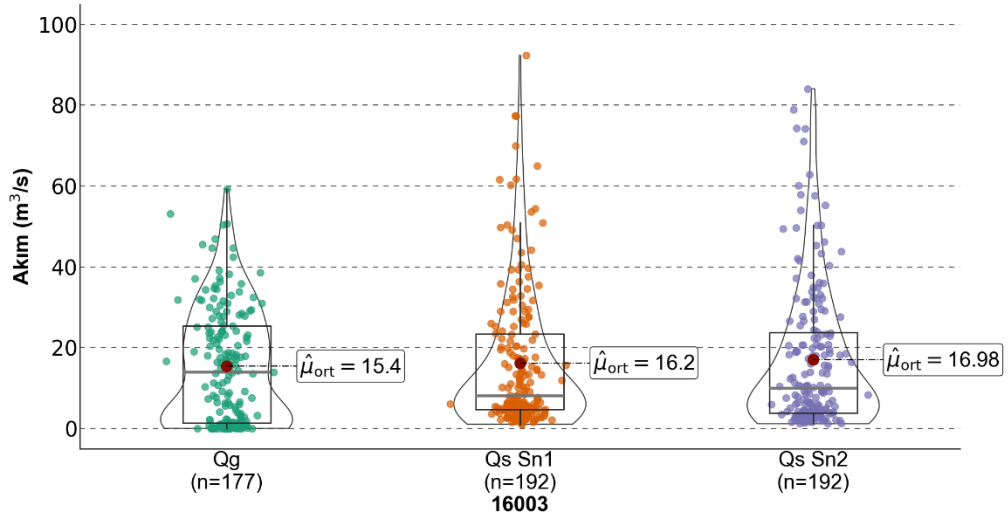
mHM akım performansının değerlendirilmesi amacıyla Şekil 4.18-Şekil 4.37’de dikkate alınan 10 akım gözlem istasyonu verileri ile mHM akım simülasyon verilerinin zaman serisi ve keman grafikleri verilmiştir. Ölçümün yapılmadığı aylar performans değerlendirmesinin dışında kalmıştır. Zaman serisi grafiklerinde ölçümü olmayan yıllarda model veri üretmiş ancak ölçüm verisi ile kıyaslama yapılmamıştır. mHM bazı istasyonlarda düşük tahmin gerçekleştirme eğilimindeyken (16015), bazı istasyonlarda yüksek tahmin etme eğilimi (16014, 16111) göstermektedir. 2007-2008 kuraklığı ölçüm verilerine yansımaktadır. Ayrıca mHM’nin çoğu istasyonlarda 2007-2008 kuraklığını başarılı bir şekilde simüle ettiği gözlemlenmektedir.

Şekil 4.18’de 16003 istasyonunun ölçüm ve simülasyon akımlarının zaman serileri verilmiştir. Apa Barajı’nın girişinde konumlanan bu istasyon Beyşehir Gölü’nden gelen kontrollü suyu ve Çarşamba Çayı’nın getirdiği suyu ölçümleyen önemli bir

istasyondur. Diğer istasyonlara kıyasla daha yüksek akımlara sahip olan bu istasyonda 2004-2008 arasında her iki senaryo için de başarı büyük ölçüde yüksektir. Ölçümü olmayan 2009 yılı içerisinde model oldukça yüksek akım üretmiştir. Ayrıca 2010 yılında da model yüksek tahmin yapmıştır. 2012, 2014 ve 2018 yıllarında model düşük tahmin yaparken kalan yıllarda yüksek tahminler yaparak simülasyonu tamamlamıştır. Şekil 4.19'da 16003 istasyonuna ait keman grafiği verilmiştir. Ölçüm değerleri ile kıyaslandığında iki senaryonun da bu istasyon için yüksek tahmin yaptığı gözlemlenmektedir. Ancak ortalamalar her iki senaryo için de ölçüm verileri ile tutarlılık göstermektedir. Verilerin dağılımları incelendiğinde, 0-10 m³/sn aralıkta yığılmanın olması model tutarlılığını ön plana çıkaran bir diğer detaydır. Pik değerlerde simülasyon verileri, ölçüm verilerinden daha yüksek tahmin yapmıştır. Ancak noktaların dağılımı ve yoğunluğu benzerlik göstermektedir.

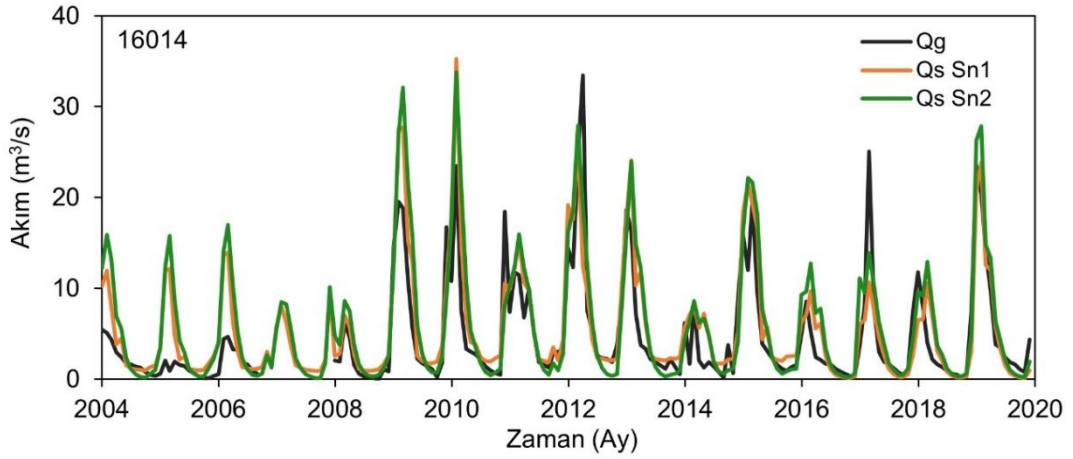


Şekil 4.18. 16003 istasyonunun aylık zaman serisi

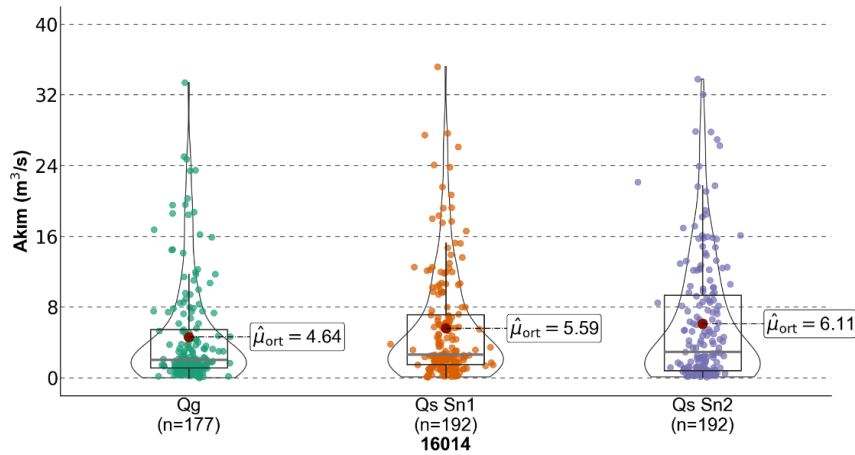


Şekil 4.19. 16003 istasyonunun keman grafiği

Beyşehir Gölü'nü besleyen önemli akımlardan birini ölçümleyen 16014 istasyonu, göle yaklaşırken 16111 ile birleşmektedir. 16014' ün ölçümlediği akarsuyun (Büyükçay) mansap tarafı kontrollü bir akarsu yatağına sahipken, memba tarafına doğru doğal formunda kalmıştır. Şekil 4.20 incelendiğinde, 2004-2010 yılları arasında model yüksek tahmin etme eğilimi gösterirken, devam eden süreçte düşük tahmin yapılan yıllar mevcuttur (2017). Piklerin zamanlamaları incelendiğinde, modelin başarılı bir şekilde simüle ettiği görülmektedir. 16014 istasyonunun keman grafiği Şekil 4.21'de verilmiştir. Buna göre simülasyon verileri, pik değerlerde ölçüm verileri ile tutarlılık göstermiştir. Yüksek akımlarda Sn2'nin yoğunluğu ölçüm verileri ile daha fazla uyum içermektedir. Düşük akımlar incelendiğinde, 0-4 m³/sn arasında yığılmanın olduğu gözlemlenmiştir. Sn1'nin ortalama değeri (5.59 m³/sn), Sn2'ye (6.11 m³/sn) kıyasla, ölçüm verilerinin ortalama değerine (4.64 m³/sn) daha yakındır.

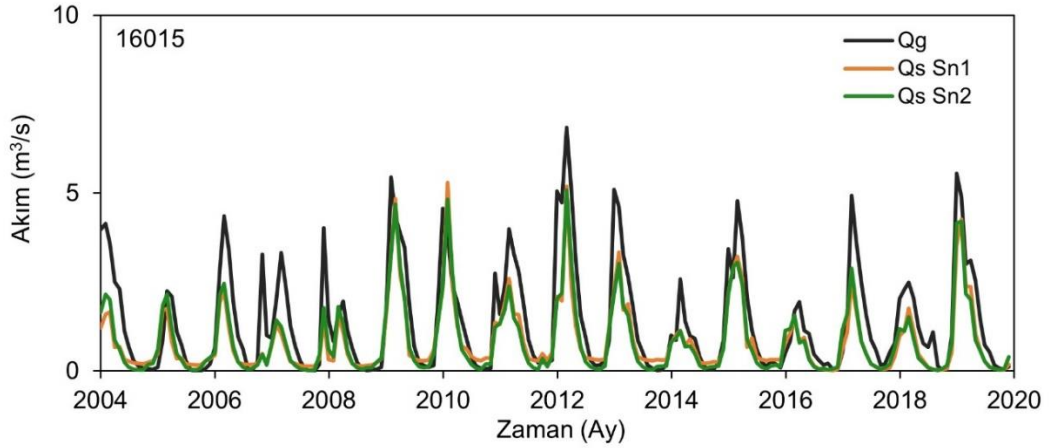


Şekil 4.20. 16014 istasyonunun aylık zaman serisi

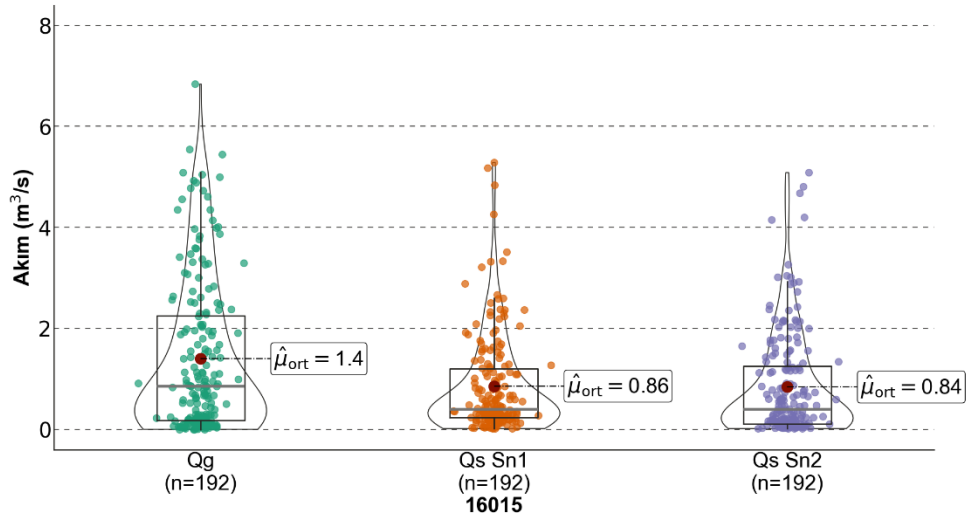


Şekil 4.21. 16014 istasyonunun keman grafiği

Beyşehir Gölü'nü besleyen bir diğer akarsu olan Büyükköprü, 16015 istasyonu ile ölçümlenmektedir. Şekil 4.22'de 16015 istasyonuna ait ölçüm ve simülasyon zaman serisi verilmiştir. Akarsuyun etrafında tarım yapılan alanlar mevcuttur. Ancak 16014'e kıyasla akarsu yatağı daha doğal bir forma sahiptir. Modelin genellikle düşük tahminler yaptığı gözlemlenmektedir. 2007-2008 kurak dönemin ardından gelen ıslak dönem (2012-2013) akım zaman serisine yansımaktadır. Şekil 4.23'de verilen 16015 istasyonunun keman grafiği incelendiğinde, modelin düşük tahminler yaptığı gözlemlenmektedir. Ölçüm verileri 0-7 m³/sn arasında dağılım gösterirken model verileri 0-5.5 m³/sn arasında dağılım göstermektedir. Bu durum keman grafiğinin taban bölümlerinin ölçüm verilerinde daha geniş, simülasyon verilerinde daha dar olmasından da tespit edilebilir. Ancak bir bütün olarak dikkate alındığında simülasyon verilerinin büyük ölçüde yanlışlık içermediği görülmektedir.

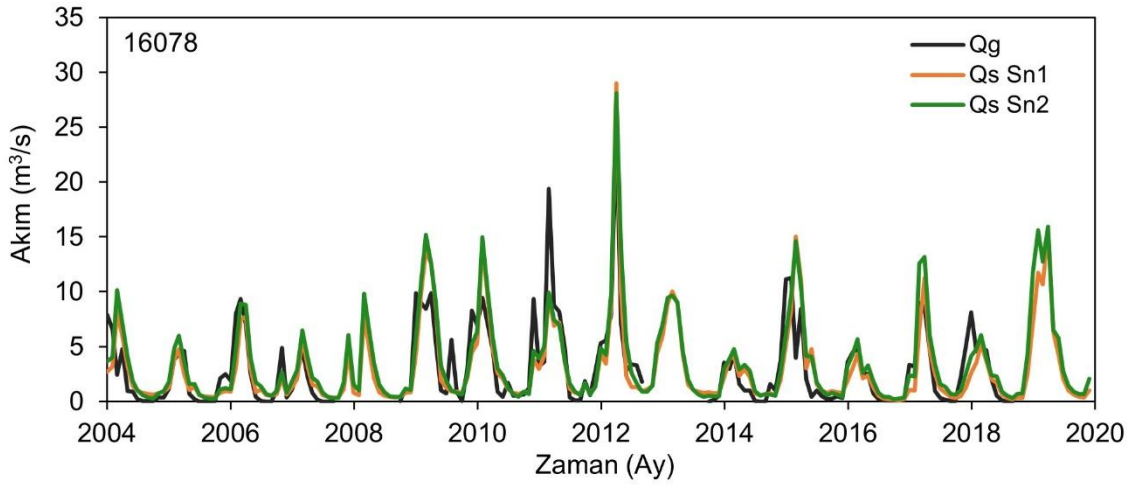


Şekil 4.22. 16015 istasyonunun aylık zaman serisi

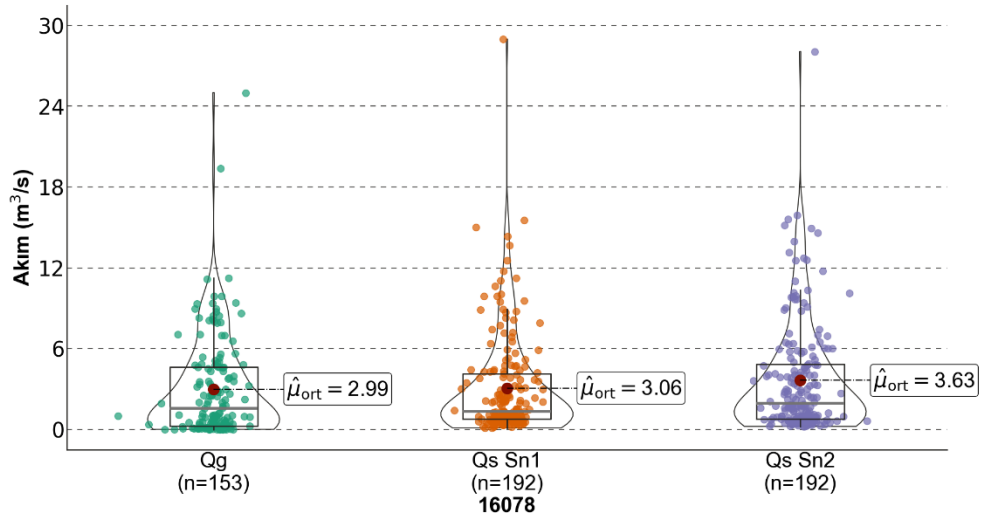


Şekil 4.23. 16015 istasyonunun keman grafiği

Havzanın güneyinde bulunan Toroslardan gelen akımların oluşturduğu bir akarsuyun ölçümlenmesini sağlayan 16078 istasyonunun simülasyon ve ölçüm akımlarının zaman serisi Şekil 4.24’de verilmiştir. 2011 yılının düşük tahmin edilmesi haricinde model yüksek tahmin etme eğilimi göstermiştir. İki senaryo için de kayda değer bir farklılık tespit edilmemiştir. 16078 istasyonunun kaman grafiği Şekil 4.25’de verilmiştir. Modelin 2012 yılındaki yüksek tahmini kaman grafiğine de yansımıştır. 24 m³/sn civarında ölçümlenen akım, 26 m³/sn’nin üzerinde modellenmiştir. 3.06 m³/sn ile Sn1, ölçüm verilerinin ortalamasına (2.99 m³/sn) en yakın senaryodur. Kaman grafiklerinin tabanları kıyaslandığında, ölçüm verileri daha dar yükseklikte yoğunluk kazanırken simülasyon verileri daha yüksek aralıkta toplanmıştır.

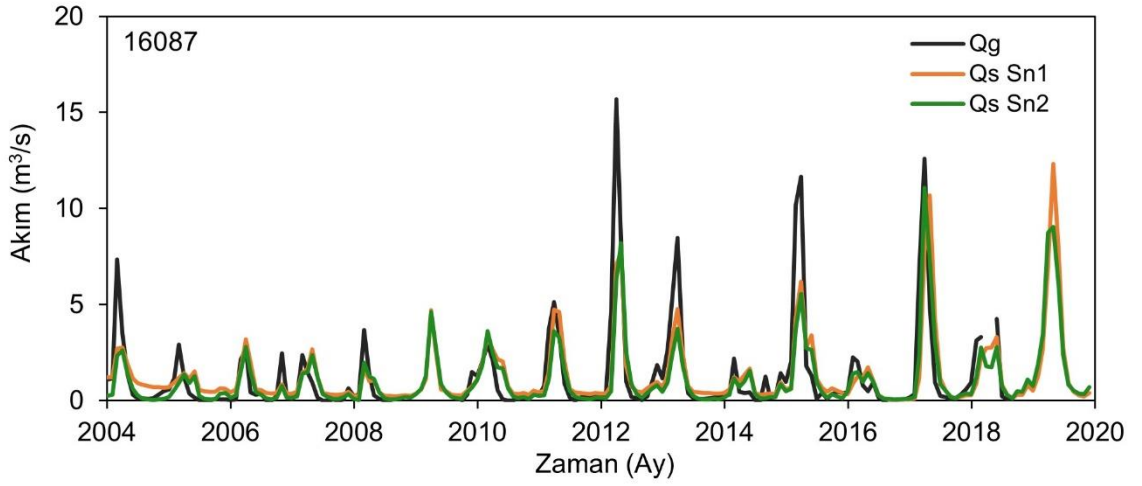


Şekil 4.24. 16078 istasyonunun aylık zaman serisi

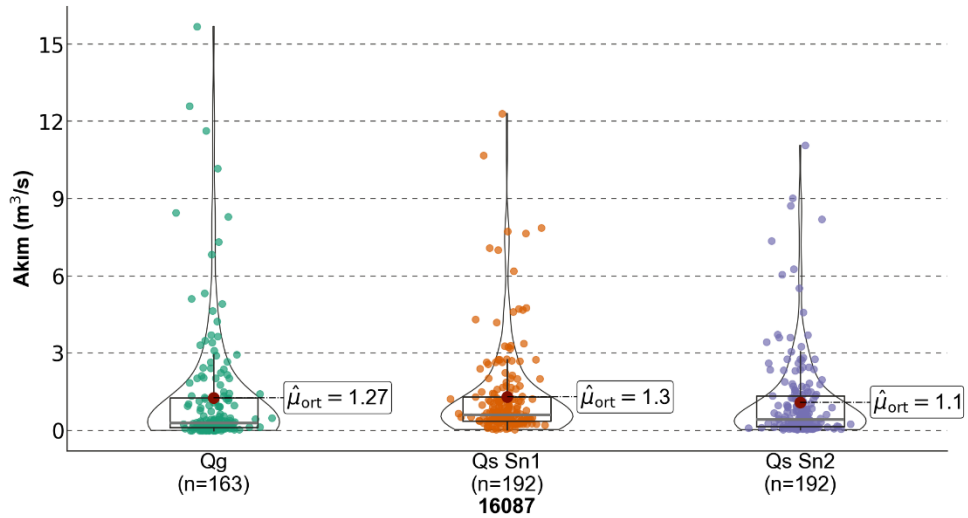


Şekil 4.25. 16078 istasyonunun kaman grafiği

Karaman il sınırları içerisinde bulunan sulama ve taşkın kontrolü amacıyla inşa edilmiş Ayrancı Barajı giriş akımı 16087 istasyonu ile ölçümlenmektedir. Şekil 4.26'ya göre, 2012, 2015 ve 2017'de meydana gelen yüksek akımlar model tarafından düşük tahmin edilmiştir. Düşük akımların, yüksek akımlara kıyasla daha başarılı simüle edildiği gözlemlenmektedir. Şekil 4.27'deki 16087 istasyonuna ait keman grafiğine göre, 16078 istasyonunda olduğu gibi 2012 yılında (Şekil 4.24) dikkat çekici bir tutarsızlık söz konusudur. Ancak 16078'dekinin aksine 16087'de düşük tahmin yapılmıştır. Keman grafikleri karşılaştırıldığında, ölçüm verisinin $15 \text{ m}^3/\text{sn}$ üzerinde akımı mevcut iken, modelin (Sn1) $12 \text{ m}^3/\text{sn}$ değerini ancak geçtiği tespit edilmiştir. Ancak ortalamaların büyük ölçüde tutarlılık göstermesine ek olarak, keman grafiklerinin tabanları yakın yükseklikte dağılım göstermektedir.

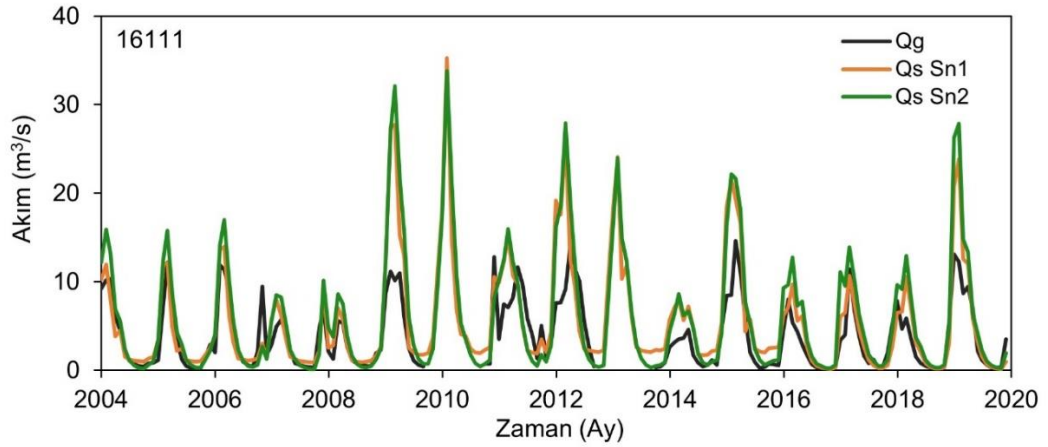


Şekil 4.26. 16087 istasyonunun aylık zaman serisi

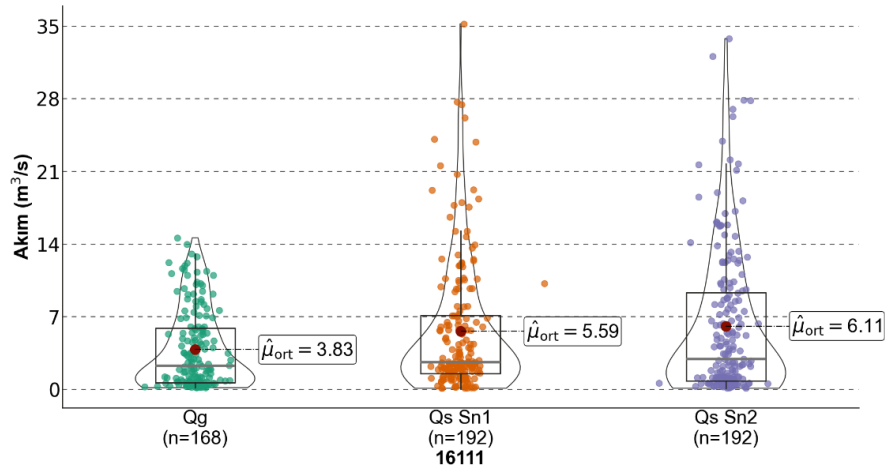


Şekil 4.27. 16087 istasyonunun keman grafiği

16111 istasyonu için model tahmin performansının değerlendirilmesi amacıyla Şekil 4.28’de aylık akımların ölçüm ve simülasyon zaman serileri verilmiştir. Beyşehir Gölü’nü besleyen bir diğer akarsuyun ölçümü 16111 istasyonu ile yapılmaktadır. 16003, 16014, 16111 ve 16158 istasyonlarında model özellikle kurak dönem sonrasında (genellikle 2009-2010) oldukça yüksek tahminler yapmıştır. Ayrıca 16111 istasyonunda Sn1 için yapılan simülasyon düşük akımları tahmin etmekte zorlanmaktadır. Değişen arazi örtüsünün yüzey pürüzlülüğünü arttırmasına bağlı olarak Sn2’nin tahmin başarısının bu noktada bir adım daha ötede olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.29’da 16111 istasyonuna ait keman grafiği verilmiştir. Model verilerinin ortalaması her iki senaryo içinde ölçüm verilerinden yaklaşık $2 \text{ m}^3/\text{sn}$ kadar fazladır. Yüksek akımlara bakıldığında modelin yüksek tahmin ettiği gözlemlenmektedir. Ayrıca keman grafiklerinin tabanları ölçüm verilerinde daha dar bir yüksekliğe sıkışmışken, simülasyon verilerinde daha geniş bir yükseklikte yer almaktadır.

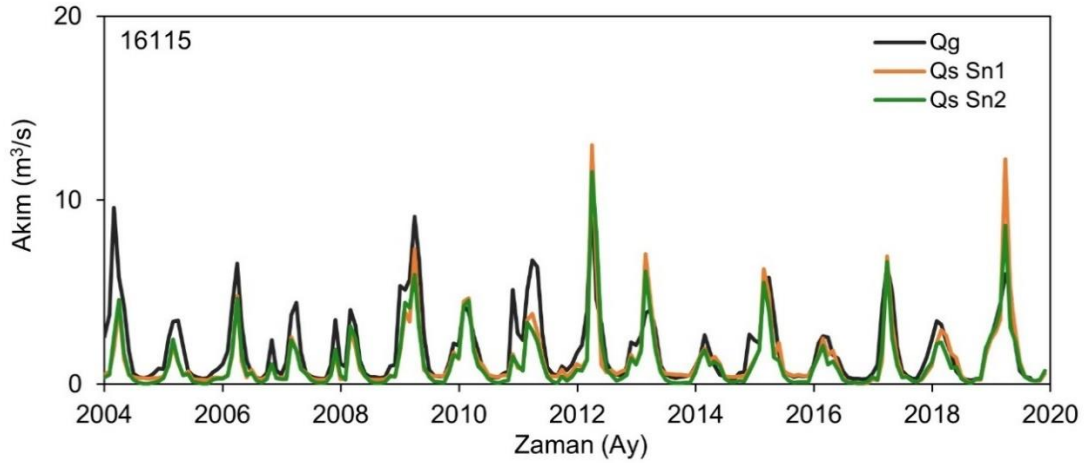


Şekil 4.28. 16111 istasyonunun aylık zaman serisi

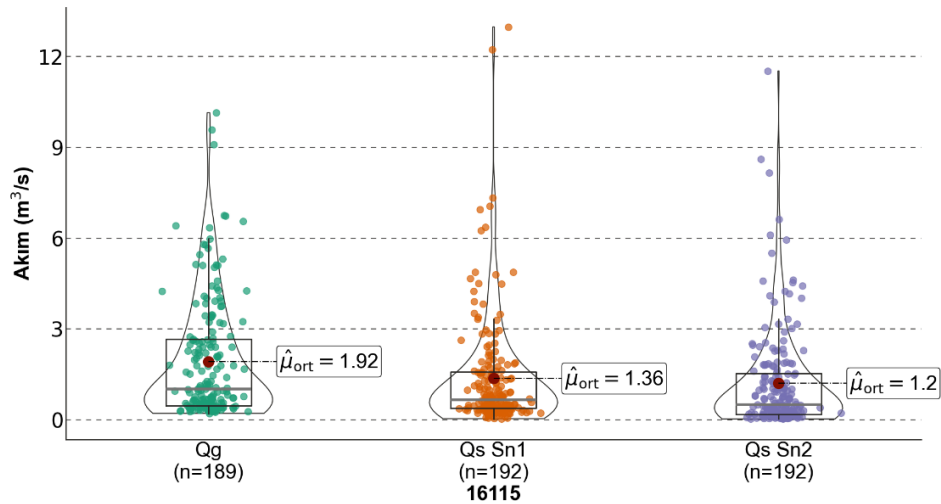


Şekil 4.29. 16111 istasyonunun keman grafiği

Çarşamba Çayı'nın membainin ölçümünde 16115 istasyonu kullanılmaktadır. 16115 istasyonu, 16003 istasyonunun geniş drenaj alanının içerisinde bulunan bir istasyondur. İki koldan toplanan suların birleştiği noktada konumlandırılmıştır. Havzadan daha yüksek kotta bulunan Sarı Ot Gölü ile Çarşamba Çayı'nın hidrolojik bir ilişkisi olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.30'a göre, modelin akım tahmininde 16115 istasyonunda başarılı bir profil çizdiği gözlemlenmiştir. 16115 istasyonunun keman grafiği Şekil 4.31'de verilmiştir. Yüksek akımlar incelendiğinde, Sn2'nin ölçüm verileri ile daha tutarlı olduğu gözlemlenmiştir. Ancak Sn1'in ortalaması ($1.36 \text{ m}^3/\text{sn}$) ölçüm verilerine ($1.92 \text{ m}^3/\text{sn}$) daha yakındır. Her iki senaryoda da düşük akımların yığıldığı keman grafiğinin alt kısmı, ölçüm verileri ile tutarlılık göstermektedir. Ayrıca 16115 için, 2012 yılında (Şekil 4.30, Şekil 4.31) tespit edilen yüksek tahmin durumu, 16078 istasyonu ile (Şekil 4.24, Şekil 4.25) benzerlik içermektedir.

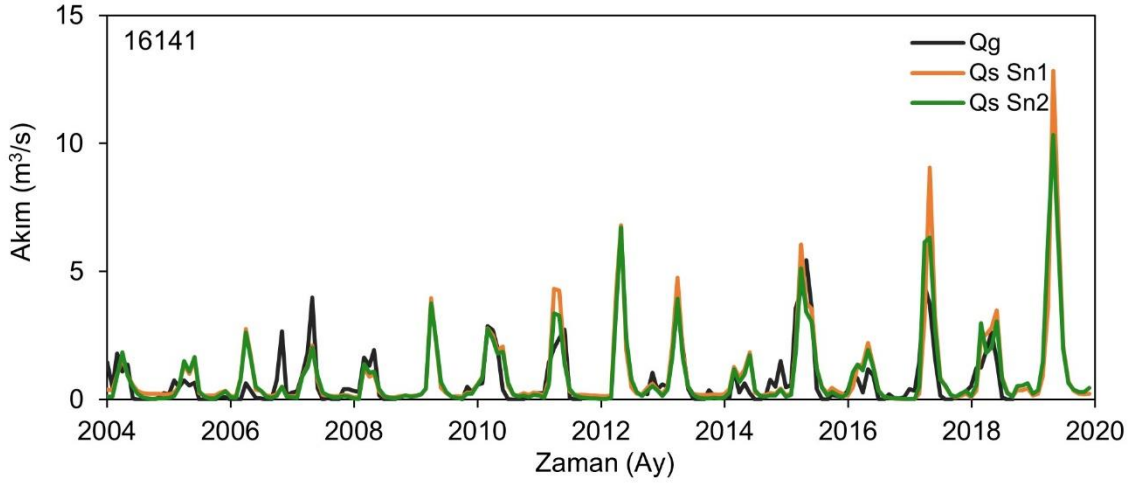


Şekil 4.30. 16115 istasyonunun aylık zaman serisi

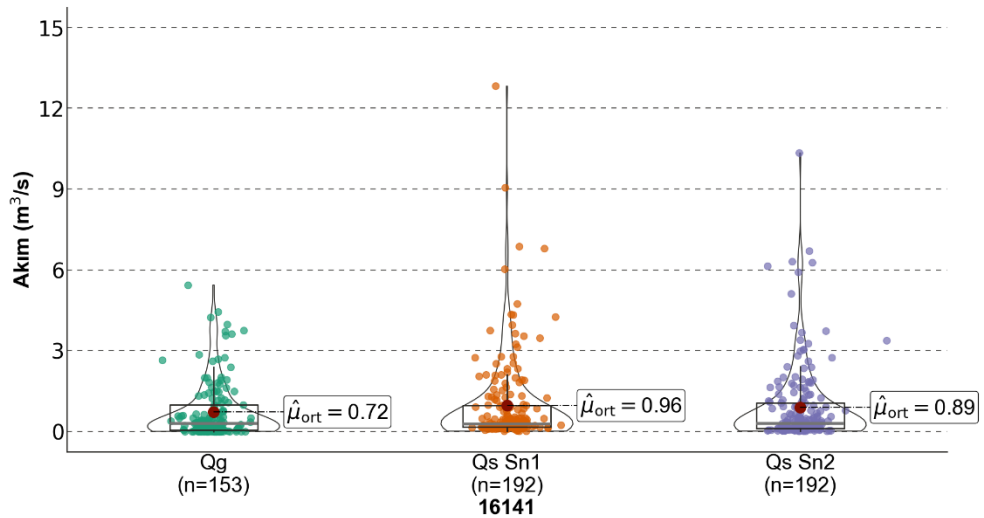


Şekil 4.31. 16115 istasyonunun keman grafiği

İvriz Barajı giriş akımlarının ölçülmesi amacıyla 16141 istasyonu kurulmuştur. Toroslardan gelen suların oluşturduğu akımlar, istasyonun üzerinde bulunduğu akarsuyu oluşturmaktadır. Şekil 4.32'ye göre, son yıllara doğru akımların yükseldiği dikkat çekmektedir. Modelin bu noktadaki tahminleri tutarlılık içermektedir. 16141 istasyonuna ait keman grafiği verilen Şekil 4.33'de, 2019 yılında (Şekil 4.32) Sn1 simülasyonunun oldukça yüksek tahmin yaptığı gözlemlenmiştir. Bu istasyon için Sn2'nin tutarlılığı Sn1'e kıyasla daha fazladır. Ölçüm verilerinin ortalamasına ($0.72 \text{ m}^3/\text{sn}$) en yakın senaryo Sn2'nin ortalamasıdır ($0.89 \text{ m}^3/\text{sn}$). Ayrıca keman grafiklerinin tabanları birbirine benzemekle birlikte Sn1'nin daha yüksek bir aralıkta yığılma gösterdiği tespit edilmiştir.

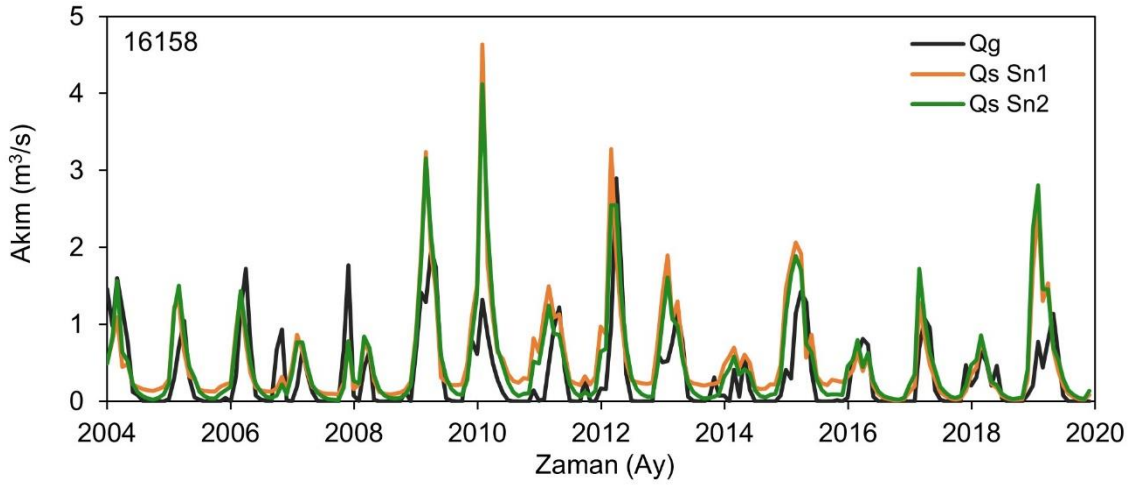


Şekil 4.32. 16141 istasyonunun aylık zaman serisi

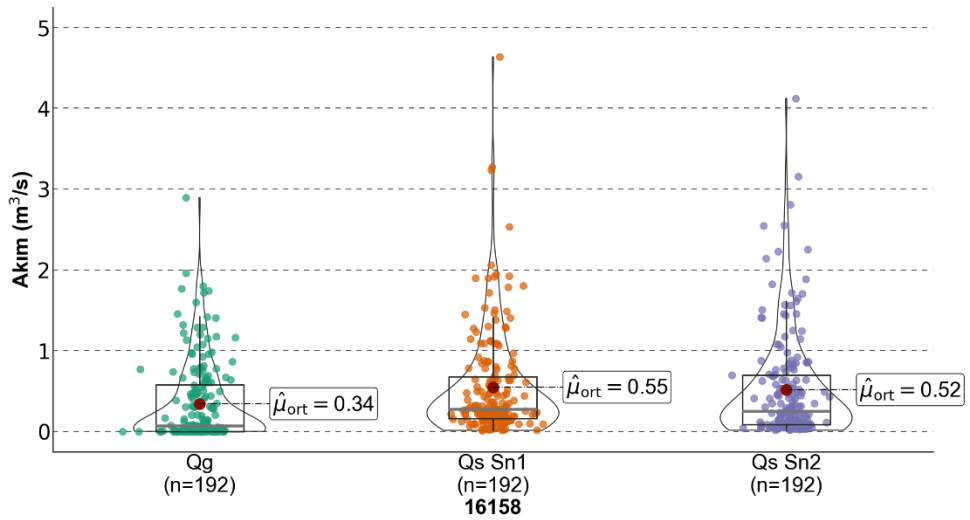


Şekil 4.33. 16141 istasyonunun keman grafiği

Beyşehir Gölü'nün batısında kalan 16158 istasyonu, gölü besleyen bir diğer akarsu üzerine konumlandırılmıştır. Şekil 4.34'de 16158 model ve ölçüm akımlarının aylık zaman serisi verilmiştir. 2011'den sonra Sn1'in düşük akımlarda yüksek tahmin ortaya koyduğu görülmektedir. 16111 istasyonunun simüle edilmesindeki benzer şekilde değişen arazi örtüsü daha tutarlı bir tahmin vermiştir. Şekil 4.35'de verilen 16158 istasyonuna ait keman grafiğinde, simülasyonların yüksek tahmin etme eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. Sn1 ($0.55 \text{ m}^3/\text{sn}$) ve Sn2 ($0.52 \text{ m}^3/\text{sn}$) ortalamalarının birbirine yakın olması ile birlikte ölçüm verilerinin ortalaması ($0.34 \text{ m}^3/\text{sn}$) arasında fazla fark yoktur. Keman grafiklerinin tabanı $0-1 \text{ m}^3/\text{sn}$ aralığında yığılmıştır.

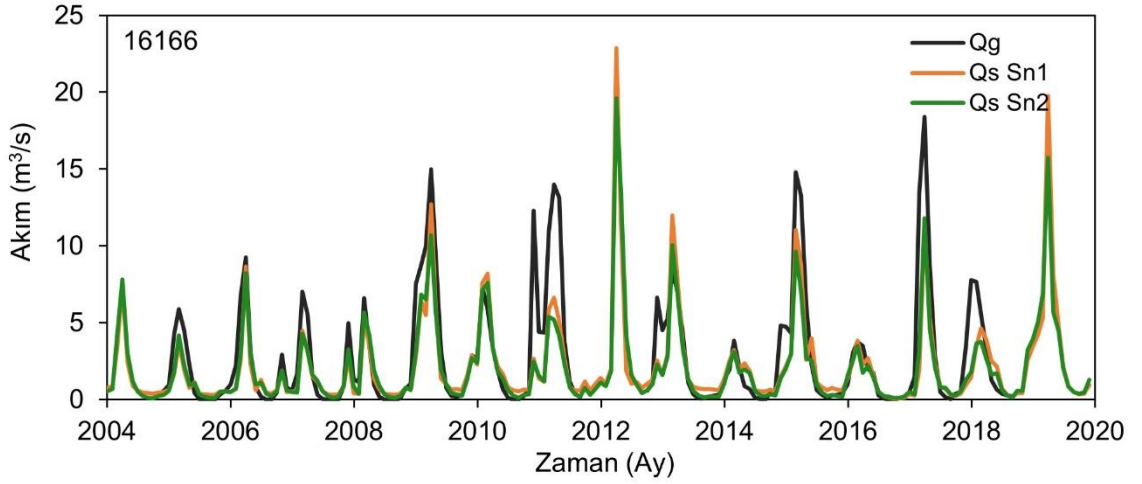


Şekil 4.34. 16158 istasyonunun aylık zaman serisi

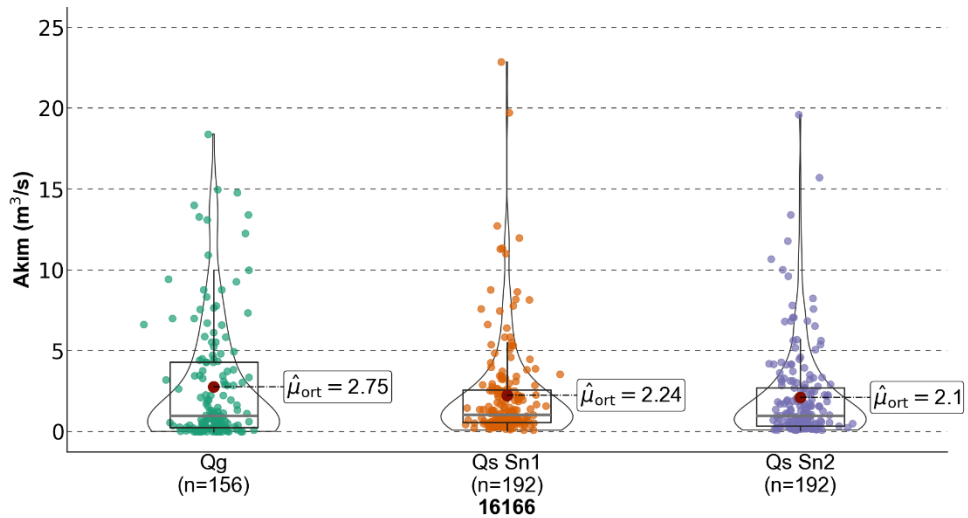


Şekil 4.35. 16158 istasyonunun keman grafiği

16166 istasyonu, Çarşamba Çayı'nın Beyşehir-Suğla-Apa kanalı ile birleşmeden önceki akımlarını ölçmektedir. Şekil 4.36'da 16166 istasyonuna ait ölçüm ve simülasyon akımlarının aylık zaman serisi verilmiştir. Ölçüm olmayan 2012 ve 2019 yılında modelin oldukça yüksek tahminler yapması dikkat çekicidir. Ayrıca 2011 yılında ölçümlenen akımlardan oldukça düşük simülasyon akımları gözlemlenmiştir. mHM tarafından düşük akımlar yüksek akımlara kıyasla daha başarılı simüle edilmiştir. Şekil 4.37'de 16166 istasyonuna ait keman grafiği verilmiştir. Buna göre yüksek akımlarda Sn1 yüksek tahmin, Sn2 nispeten daha düşük tahmin etme eğilimindedir. Ortalamalar incelendiğinde, iki senaryonun da benzer tahmin kapasitesi olmasına rağmen az farkla Sn1 daha başarılıdır.



Şekil 4.36. 16166 istasyonunun aylık zaman serisi



Şekil 4.37. 16166 istasyonunun keman grafiği

Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de mHM’nin günlük ve aylık akım tahmini, performans metrikleri ile değerlendirilmiştir. 2004-2015 periyodu kalibrasyon, 2016-2019 periyodu validasyon için dikkate alınmıştır. İki farklı senaryo için model kalibre edilmiştir. Amaç fonksiyonu olarak KGE metriği kullanılmıştır. Günlük akım tahminlerinde (Tablo 4.1) KGE’ye göre, hem Sn1 (KGE=0.681) hem de Sn2 (KGE=0.692)’de 16078 istasyonu kalibrasyon periyodunda en başarılı tahmine sahip istasyon olurken, en düşük tahmin Sn1’de KGE=0.204 ile 16158, Sn2’de KGE=0.231 ile 16111 istasyonlarında elde edilmiştir. Validasyon periyodu için ise günlük akım tahminlerinde, en yüksek başarı 16087 (Sn1=0.634, Sn2=0.795) istasyonuna aittir. En düşük başarı ise Sn1’de 16003 (KGE=0.289) Sn2’de ise 16111 (KGE=0.013) istasyonlarıdır. 16003 istasyonunun RMSE değerinin diğer istasyonlara kıyasla en büyük olması dikkat çekmektedir. Ancak 16003 istasyonunun sahip olduğu yüksek akımlar nedeniyle RMSE değerinin diğer istasyonlara kıyasla yüksek çıkması olağandır. Günlük akımlarda kalibrasyon periyodu için NSE değerleri incelendiğinde 16003 (Sn1=-0.112, Sn2=0.013), 16111 (Sn1=-0.111, Sn2=-0.211) ve 16158 (Sn1=-0.071, Sn2=0.163) istasyonlarında negatif değerler gözlemlenmiştir. Validasyon periyodunda, kalibrasyon periyodunda negatif sonuç veren istasyonlara ek olarak 16141’de eklenmiştir. PBIAS metriğine göre kalibrasyon periyodunda 16158 istasyonu (Sn1=-63.470, Sn2=-44.503) her iki senaryoda da en büyük değeri vermiştir. Validasyon periyodunda en büyük PBIAS, Sn1 için 16015 (PBIAS=43.501) Sn2 için ise 16158 (PBIAS=-73.498) istasyonlarında elde edilmiştir. İki senaryo birlikte dikkate alındığında hem kalibrasyon hem de validasyon periyodunda 16003 en düşük PBIAS değerini vermektedir. Senaryolar ayrı ayrı değerlendirildiğinde daha düşük değerler mevcuttur. PBIAS metriği açısından 10 istasyonunun performansları değerlendirildiğinde, negatif değerlerin (16111, 16158 vb.) yüksek tahmin, pozitif değerlerin (16015, 16087, 16115, 16166 vb.) düşük tahmin eden istasyonlar olduğu gözlemlenmektedir. Günlük kalibrasyon ve validasyon sonuçları incelendiğinde, 10 istasyon için tatmin edici performans değerleri elde edildiği gözlemlenmiştir. Günlük olarak elde edilen simülasyon akım değerlerinin aylık performans metrikleri de hesaplanmıştır. Tablo 4.2’de verilen aylık akım tahmin performans metrikleri günlük metrikler ile paralellik göstermektedir.

Tablo 4.1. mHM günlük akım tahmin kalibrasyon ve validasyon değerlendirilmesi

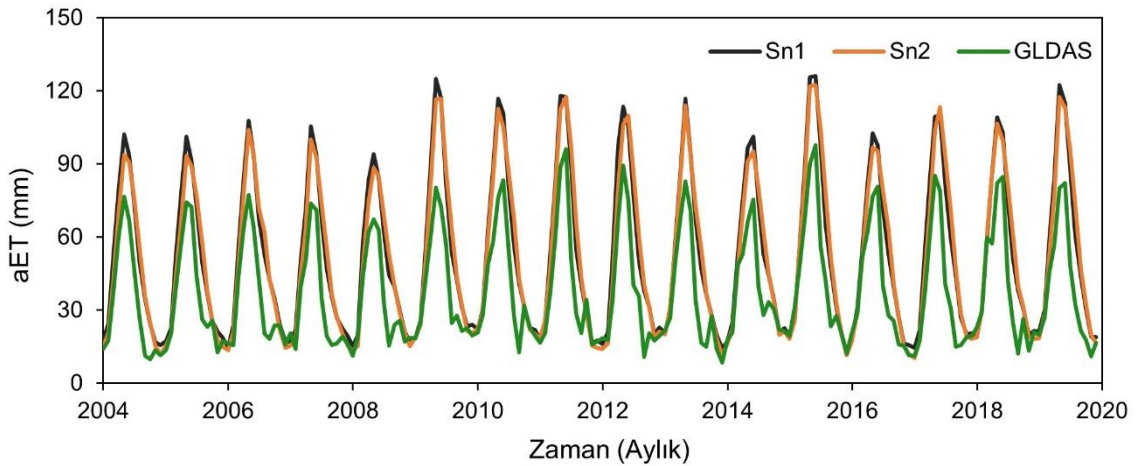
Günlük		Kalibrasyon (2004-2015)					Validasyon (2016-2019)				
		KGE	R ²	NSE	PBIAS	RMSE	KGE	R ²	NSE	PBIAS	RMSE
16003	Sn1	0.497	0.266	-0.112	-4.611	17.531	0.289	0.084	-0.442	4.727	19.970
	Sn2	0.549	0.331	0.013	-6.763	16.513	0.264	0.078	-0.656	-7.875	21.402
16014	Sn1	0.569	0.571	0.479	-35.485	5.762	0.626	0.522	0.520	5.848	5.187
	Sn2	0.512	0.537	0.387	-40.632	6.246	0.626	0.531	0.470	-24.625	5.452
16015	Sn1	0.313	0.443	0.363	37.588	1.716	0.365	0.647	0.496	43.501	1.249
	Sn2	0.336	0.521	0.420	40.372	1.637	0.401	0.594	0.486	39.750	1.262
16078	Sn1	0.681	0.495	0.462	-1.702	3.716	0.576	0.475	0.453	17.192	2.497
	Sn2	0.692	0.550	0.502	-15.566	3.576	0.698	0.576	0.480	-17.678	2.436
16087	Sn1	0.495	0.606	0.552	4.719	1.794	0.634	0.452	0.412	9.464	2.161
	Sn2	0.399	0.575	0.504	27.129	1.888	0.795	0.746	0.744	7.947	1.425
16111	Sn1	0.348	0.519	-0.111	-38.149	5.119	0.505	0.691	0.349	-28.094	3.328
	Sn2	0.231	0.583	-0.211	-46.003	5.344	0.013	0.701	-0.322	-69.552	4.743
16115	Sn1	0.530	0.454	0.297	33.336	1.889	0.561	0.640	0.297	10.704	1.462
	Sn2	0.492	0.526	0.376	40.763	1.779	0.693	0.679	0.553	23.490	1.166
16141	Sn1	0.581	0.391	0.338	-11.169	1.129	0.317	0.457	-0.172	-42.349	1.460
	Sn2	0.560	0.406	0.393	3.071	1.082	0.437	0.554	0.179	-39.442	1.222
16158	Sn1	0.204	0.271	-0.071	-63.470	0.792	0.324	0.269	-0.280	-42.000	0.524
	Sn2	0.399	0.356	0.163	-44.503	0.700	0.024	0.246	-0.739	-73.498	0.611
16166	Sn1	0.556	0.591	0.563	24.622	2.806	0.384	0.564	0.478	36.200	3.200
	Sn2	0.479	0.632	0.567	31.373	2.794	0.373	0.648	0.521	38.872	3.064
Ort	Sn1	0.477	0.461	0.276	-5.432	4.225	0.458	0.480	0.211	1.519	4.104
	Sn2	0.465	0.502	0.311	-1.076	4.156	0.432	0.535	0.172	-12.261	4.278

Tablo 4.2. mHM aylık akım tahmin kalibrasyon ve validasyon değerlendirilmesi

Aylık		Kalibrasyon (2004-2015)					Validasyon (2016-2019)				
		KGE	R ²	NSE	PBIAS	RMSE	KGE	R ²	NSE	PBIAS	RMSE
16003	Sn1	0.548	0.334	-0.001	-5.080	14.400	0.335	0.096	-0.437	2.715	16.759
	Sn2	0.598	0.408	0.130	-7.176	13.428	0.291	0.086	-0.658	-10.250	18.003
16014	Sn1	0.585	0.705	0.540	-36.032	4.035	0.806	0.717	0.712	5.601	3.096
	Sn2	0.478	0.660	0.355	-41.292	4.777	0.698	0.734	0.639	-24.828	3.466
16015	Sn1	0.456	0.720	0.555	37.389	1.036	0.465	0.861	0.635	43.270	0.817
	Sn2	0.463	0.782	0.596	40.139	0.987	0.508	0.827	0.649	39.541	0.800
16078	Sn1	0.822	0.678	0.642	-1.683	2.381	0.716	0.668	0.640	17.186	1.593
	Sn2	0.766	0.695	0.630	-15.525	2.421	0.734	0.761	0.655	-17.589	1.560
16087	Sn1	0.537	0.727	0.643	4.819	1.393	0.654	0.504	0.412	-0.481	1.965
	Sn2	0.441	0.687	0.585	27.197	1.503	0.821	0.805	0.777	2.281	1.209
16111	Sn1	0.305	0.608	-0.122	-38.497	4.117	0.432	0.832	0.432	-28.591	2.628
	Sn2	0.099	0.693	-0.387	-46.403	4.578	-0.076	0.843	-0.402	-70.041	4.129
16115	Sn1	0.585	0.646	0.539	33.276	1.374	0.651	0.720	0.507	10.638	1.165
	Sn2	0.527	0.688	0.530	40.691	1.388	0.742	0.797	0.720	23.395	0.878
16141	Sn1	0.772	0.645	0.596	-11.334	0.666	0.188	0.630	-0.233	-41.403	1.179
	Sn2	0.780	0.655	0.648	2.947	0.622	0.376	0.828	0.416	-38.930	0.811
16158	Sn1	0.221	0.415	-0.155	-64.401	0.577	0.231	0.394	-0.512	-42.620	0.416
	Sn2	0.420	0.543	0.188	-45.544	0.483	-0.113	0.369	-1.226	-74.071	0.505
16166	Sn1	0.576	0.739	0.674	24.611	2.072	0.381	0.663	0.524	36.231	2.853
	Sn2	0.497	0.757	0.643	31.348	2.169	0.377	0.791	0.589	38.871	2.649
Ort	Sn1	0.541	0.622	0.391	-5.693	3.205	0.486	0.608	0.268	0.255	3.247
	Sn2	0.507	0.657	0.392	-1.362	3.236	0.436	0.684	0.216	-13.162	3.401

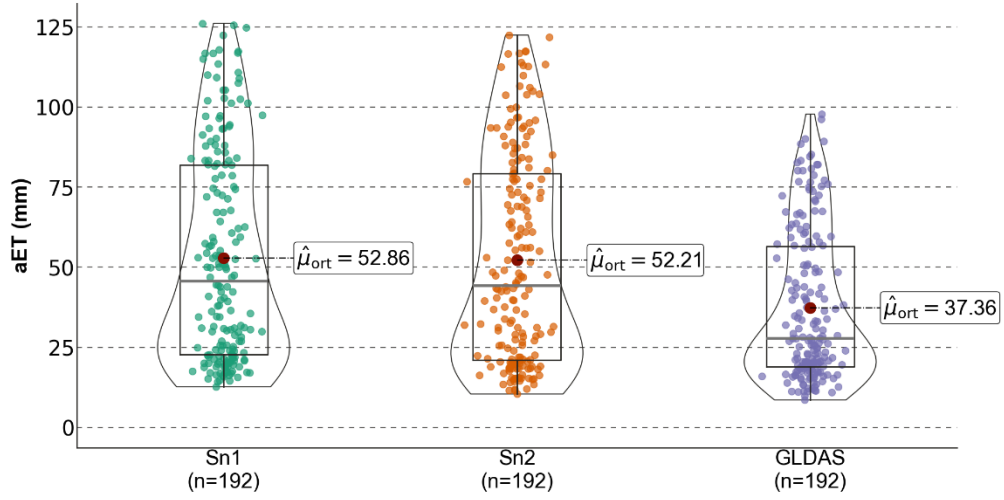
4.6. Senaryo Tabanlı Fiziksel Sonuçların Değerlendirilmesi

Meteorolojik değişkenlerin sabit tutulup, yüzey özelliklerinin değişkenlik gösterdiği iki farklı senaryoya göre kalibre ve valide edilen mHM modelinin ürettiği akım verileri kıyaslanmıştır. Bu noktada iki senaryonun da benzer başarı gösterdiği tespit edilmiştir. Ancak model kalibrasyon sürecinde yaygın olarak dikkate alınan akım parametresi başarılı bir modelin inşa edilmesinde yeterli olmayabilir. Bu nedenle modelin ürettiği fiziksel çıktılarında değerlendirilmesi önemlidir. Bu çalışmada modellerin ürettiği evapotranspirasyon ve yer altı su seviye anomali parametreleri çalışma alanı ve amaçları doğrultusunda tercih edilmiştir. Şekil 4.38’de iki farklı senaryoya ve GLDAS’a ait gerçek evapotranspirasyon (aET) aylık zaman serisi verilmiştir. Buna göre, Sn1 ve Sn2’nin yaklaşık aET değerleri gösterdiği ancak GLDAS’ın büyük ölçüde daha düşük bir aET zaman serisi ortaya çıkardığı dikkat çekmektedir. GLDAS’ın sabit kabul ettiği arazi örtüsü özelliklerinin ve arazi örtüsü bilgisinin geniş çözünürlükte değerlendirilmesinin GLDAS’ın tahminlerinde yanlışlığa sebep olacak iki unsur olduğu düşünülmektedir. 2007-2008 yıllarında gözlemlenen kuraklık ve ardından gelen ıslak periyot hem model sonuçlarında hem de GLDAS sonuçlarında gözlemlenmektedir. 2009, 2015 ve 2019 yıllarında yüksek aET değerleri gözlemlenmektedir. Yüzeysel su kaynaklarının artış gösterdiği yıllarda su kısıtlı bir havza olan KKH’de buharlaşacak su miktarının bulunması sebebiyle yüksek aET değerleri simüle edilmiştir. Bununla birlikte 2007-2008 yıllarındaki kuraklık, kısıtlı olan su kaynaklarını azaltmış böylece su kısıtlı olan havzadaki evapotranspirasyon miktarı daha düşük seviyelerde yer almıştır.



Şekil 4.38. KKH aET aylık zaman serisi

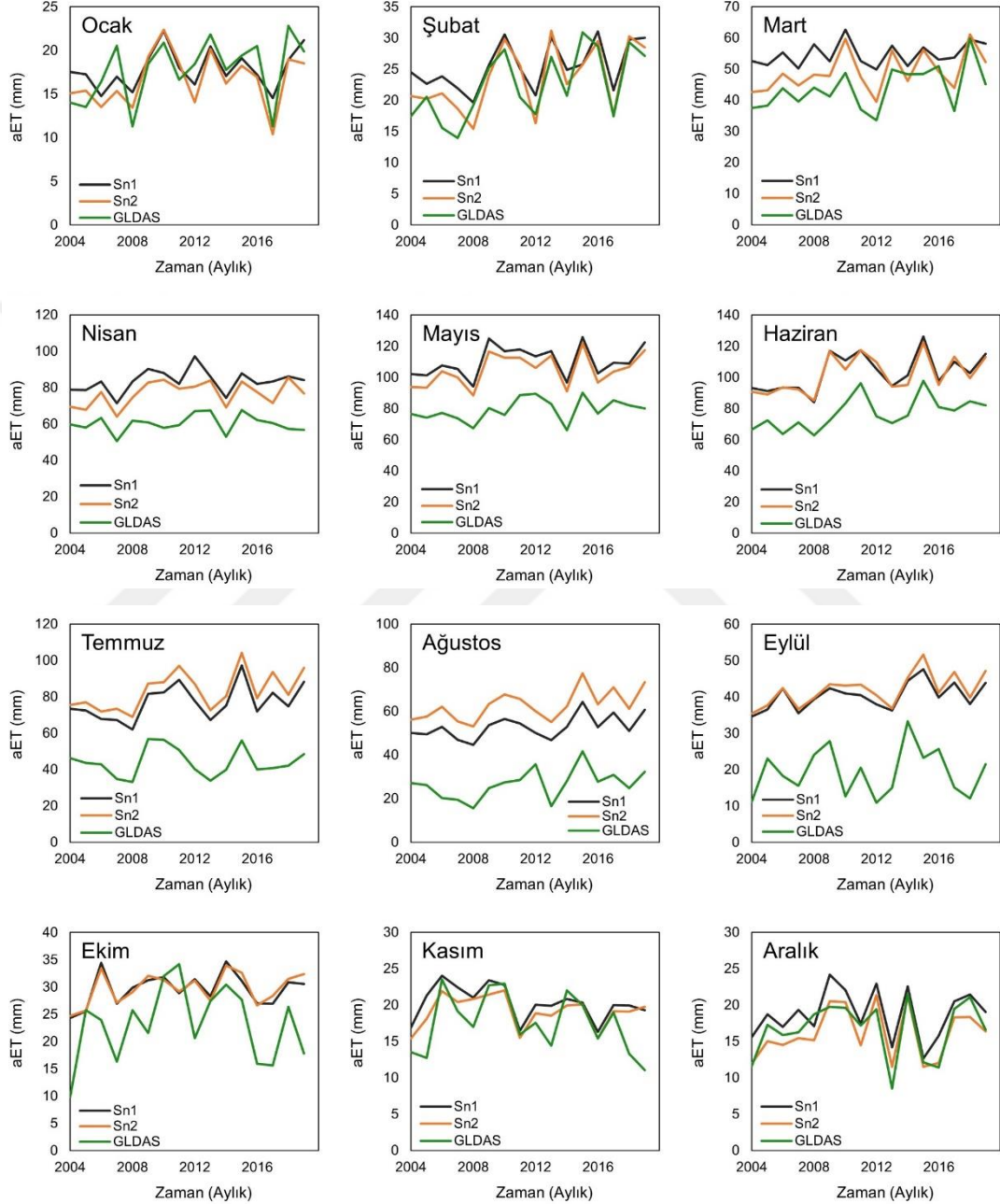
Gerçek evapotranspirasyon değerlerinin keman grafiği Şekil 4.39’da verilmiştir. Zaman serisinden elde edilen bilgilere ek olarak, GLDAS aET verilerinin ortalamasının simülasyon verilerinden yaklaşık 15 mm daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca GLDAS’ın keman grafiğinin tabanı simülasyon verilerine kıyasla daha düşük bir yükseklikte yığılma göstermiştir.



Şekil 4.39. KKH aET keman grafiği

Şekil 4.40’da mHM ve GLDAS’ın aET aylık zaman serisi verilmiştir. Ocak, Şubat, Kasım ve Aralık aylarında mHM ve GLDAS benzer zaman serisi paternleri ortaya koymuştur. Ancak Mart, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında GLDAS aET zaman serisi mHM’nin oldukça altında kalmıştır. Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de YAI’nin bu aylarda yüksek değerlere sahip olması havzada bitki gelişiminin olduğuna işaret etmektedir. Buna bağlı olarak aET değerlerinde artışın olması beklenmektedir. Bitki büyümesine bağlı olarak beklenen aET artışı GLDAS verilerinde gözlemlenmemiştir. Ancak mHM’de çalıştırılan her iki senaryoda bu noktada başarılı bir simülasyon gerçekleştirmiştir. YAI’nin yüksek olduğu 6 ay (Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül) yüksek dönem, düşük olduğu 6 ay (Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart) düşük dönem olarak dikkate alınırsa, yüksek dönemde havza ortalaması 120 mm’ye (Mayıs ve Haziran) ulaşırken, düşük dönemde 60 mm’ye (Mart) ulaşmaktadır. Ancak davranış olarak mHM ve GLDAS tutarlılık içermektedir. İklimsel değişimler mHM ve GLDAS’ta gözlemlenmektedir. Sn1 ve Sn2’nin aET zaman serileri incelendiğinde, Sn1 Ocak-Mayıs arasında Sn2’den büyük iken, Haziran ayında neredeyse çakışık bir eğri ortaya koymuştur. Devam eden aylarda (Temmuz, Ağustos ve Eylül) Sn2

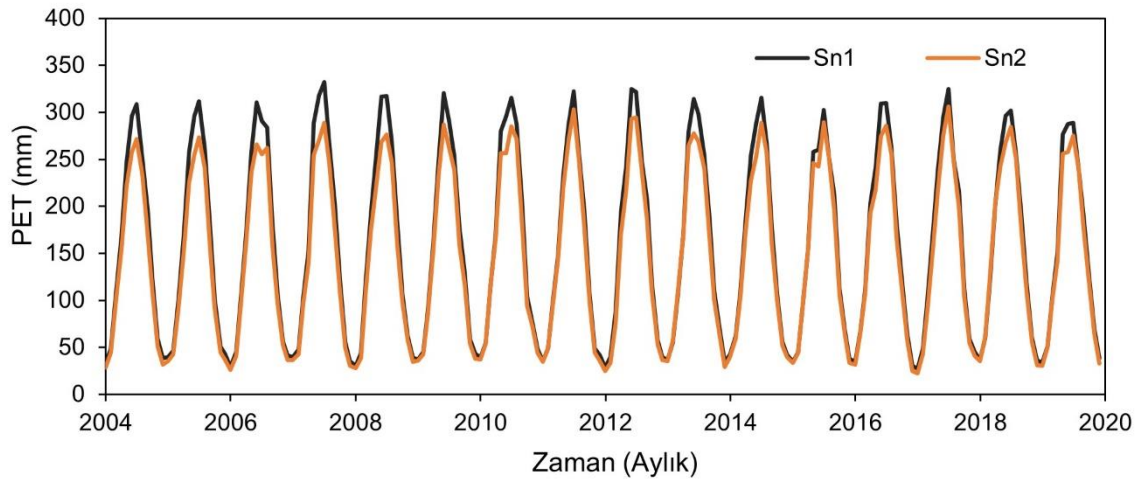
daha yüksek aET ortalamalarına sahiptir. Ekim ayında eğrilerin neredeyse çakışmasının ardından Kasım ve Aralık aylarında Sn1 tekrar Sn2'den yukarıda aET üretmiştir. Buna bağlı olarak Sn2'nin çalışma alanının değişen arazi örtüsü şartlarını daha başarılı bir şekilde simüle ettiği söylenebilir.



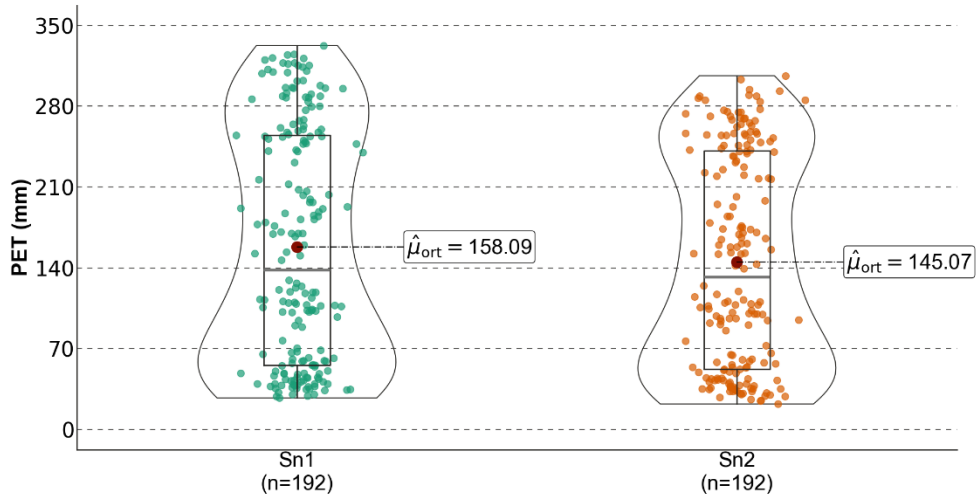
Şekil 4.40. KKH gerçek evapotranspirasyon (aET) aylık ortalama zaman serileri

Sn1 ve Sn2'nin PET zaman serisi Şekil 4.41'de verilmiştir. Sn1'in yüksek PET'lerde (yaklaşık 300 mm) Sn2'den daha yüksek tahmin etme eğilimi olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun, Şekil 3.6'da verilen aylık YAI değerleri incelendiğinde bitki

büyüme sezonlarında Sn1'in, Sn2'den fazla olmasına bağlı olduğu düşünülmektedir. Düşük PET'lerde (yaklaşık 40 mm) her iki senaryoda benzer tahminler yapmışlardır. Ayrıca elde edilen değerlerin zamanlaması her iki senaryoda da tutarlılık içermektedir. Sn1'in yüksek tahmin etme eğilimi Şekil 4.42'de verilen keman grafiğinde de gözlemlenmektedir. Sn1'de yüksek veriler 280 mm civarında, düşük veriler 60 mm civarında yığılma göstermektedir. Sn2'de ise yüksek verilerin 260 mm civarında, düşük verilerin 50 mm civarında yığılma gösterdiği tespit edilmiştir. Sn1'in ortalaması 158.09 mm iken, Sn2'nin 145.07 mm'dir.

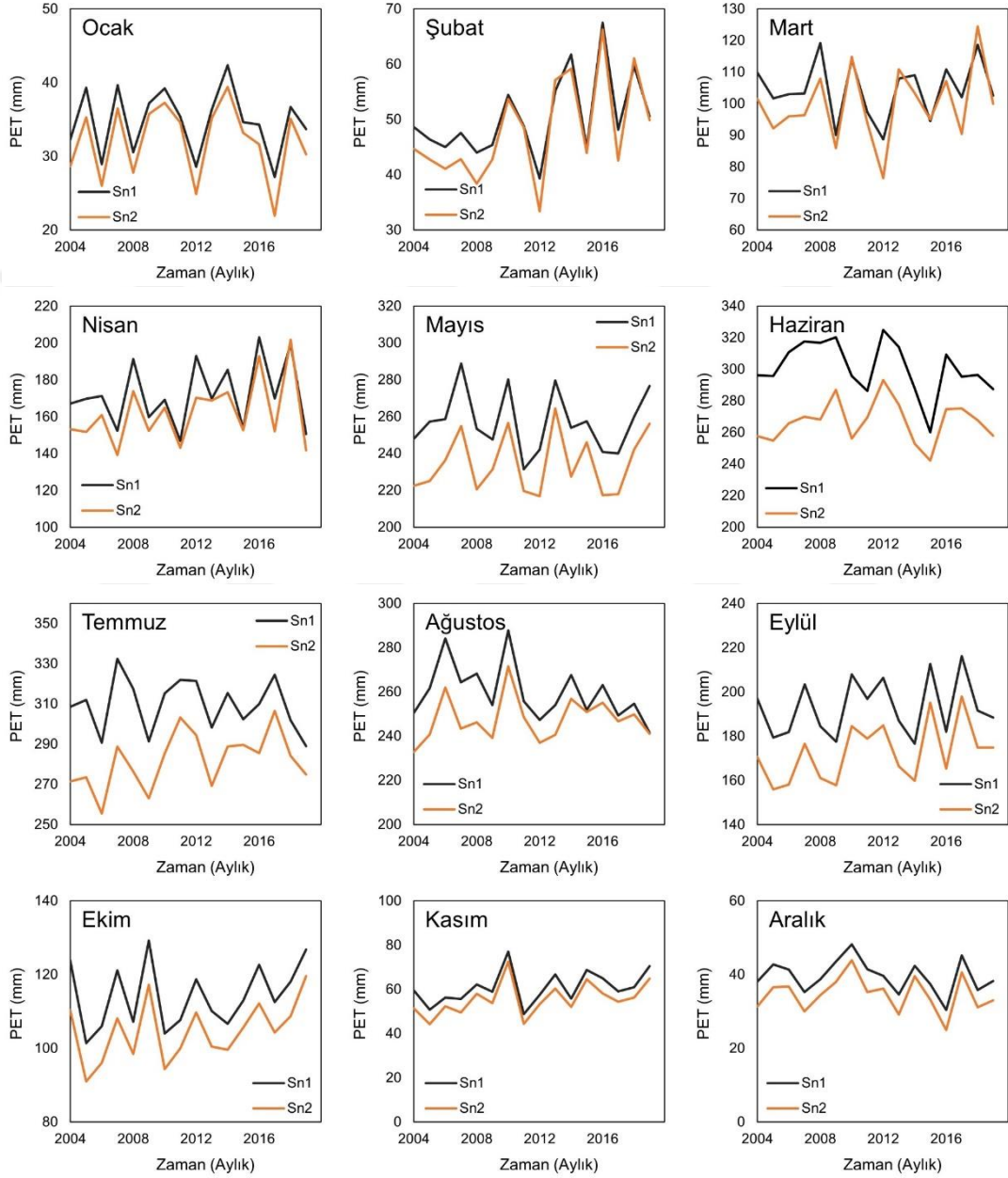


Şekil 4.41. KKH PET aylık zaman serisi



Şekil 4.42. KKH PET keman grafiği

KKH için PET değerlerinin Sn1 ve Sn2 aylık zaman serileri Şekil 4.43’de verilmiştir. Tüm aylar incelendiğinde genellikle Sn1’in Sn2’den daha yüksek tahminler yaptığı gözlemlenmiştir. Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Kasım ve Aralık aylarında Sn1 ve Sn2 eğrileri birbirine oldukça yaklaşırken diğer aylarda Sn1 eğrisi oldukça yukarıda kalmaktadır.



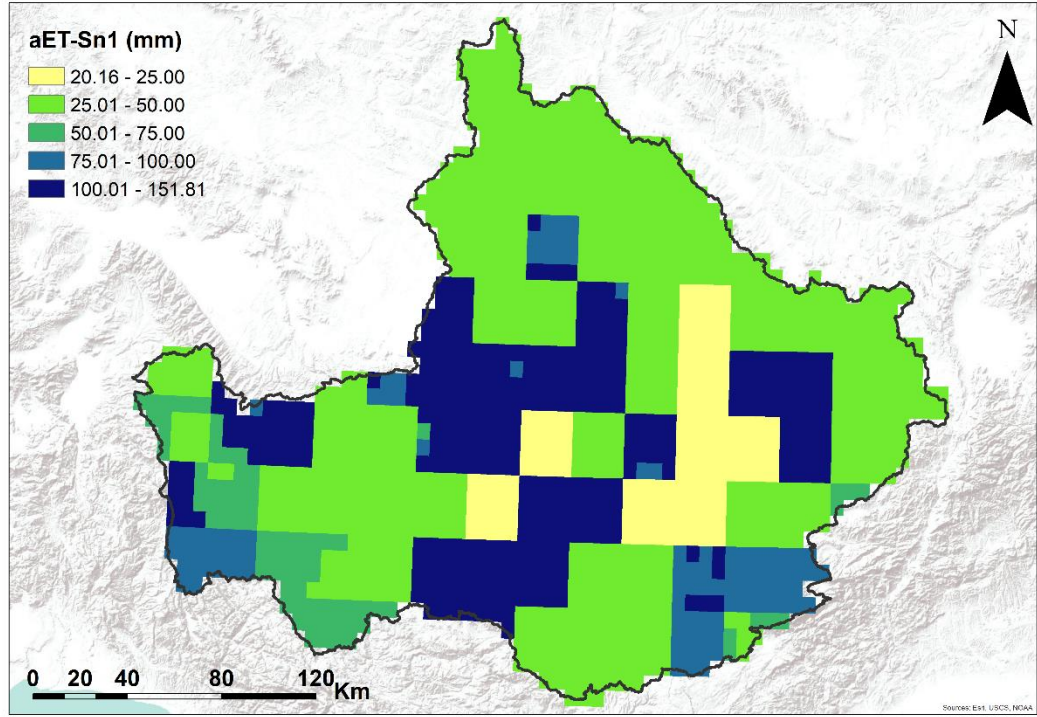
Şekil 4.43. KKH potansiyel evapotranspirasyon (PET) aylık ortalama zaman serileri

2004-2019 periyodunda her iki modelde iklimsel değişimlere tepki vermiştir. Bitki büyüme sezonlarında Sn1 için PET genellikle Sn2’den yüksek değerlere sahiptir. Ancak bu durum aET zaman serilerinde tam tersi bir görüntü ortaya koymaktadır. Her iki

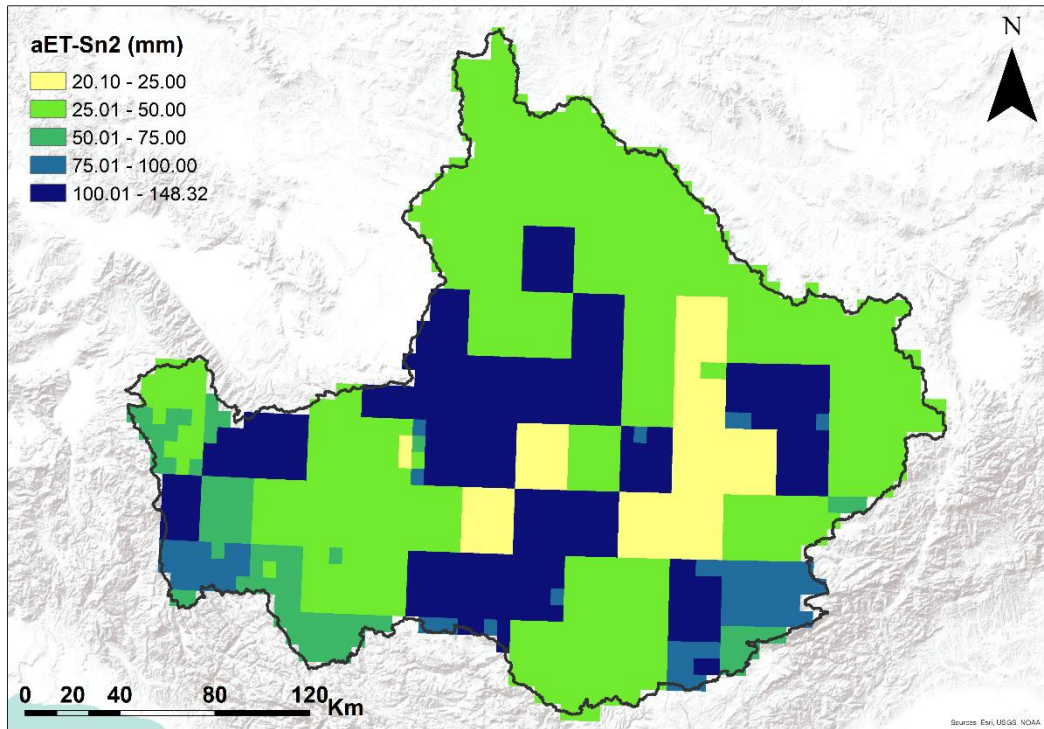
senaryoda da havzadaki evapotranspirasyon potansiyeline ulaşmaktan oldukça uzaktır. Ancak değişen arazi örtüsü bilgilerine bağlı olarak bitki mevcudiyeti Sn2'nin daha yüksek evapotranspirasyon sonuçları ortaya koymasına sebep olmuştur.

Havzadaki evapotranspirasyon karakteristiğinin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla evapotranspirasyon parametresi temporal analizin yanında, dağınık olarak da incelenmiştir. Şekil 4.44 ve Şekil 4.45'de Sn1 ve Sn2 için alansal dağınık ortalama aET haritaları verilmiştir. Her iki senaryo içinde havzanın ortasında aET oldukça fazladır (100 mm üzeri). Ayrıca Beyşehir alt havzasında havzanın kuzey ve doğusuna kıyasla daha fazla aET mevcuttur. Sulamanın yapılmadığı kabul edilen havzanın ortasına denk gelen alanlarda aET 25 mm sınırını geçememiştir. Tuz Gölü civarında 25-50 mm arasında aET gözlemlenmiştir. İki senaryo kıyaslandığında, Sn2'nin bazı alanlarda daha fazla aET belirttiği gözlemlenmiştir. Ancak kayda değer bir farklılık tespit edilmemiştir. Toroslar bölgesinde ağaçların fazla olduğu ve tarımın yapıldığı kısımlarda aET fazla tespit edilmiştir.

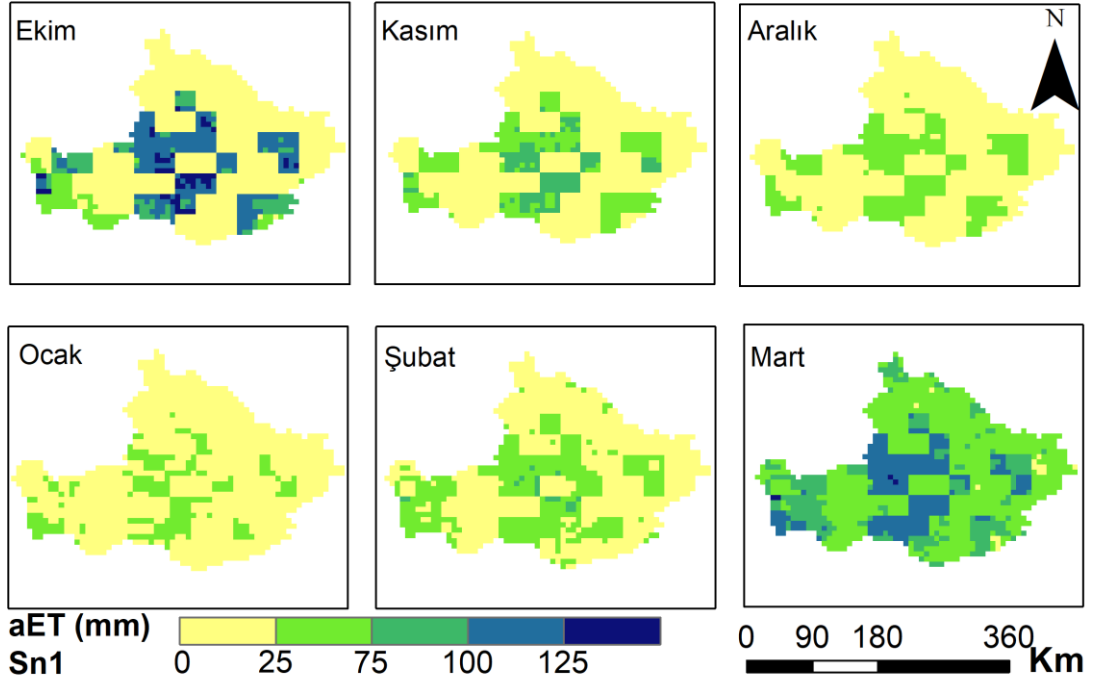
Zamansal olarak kıyasın daha sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için, yüksek dönem ve düşük dönem olmak üzere yıl içerisinde iki dönem tanımlanmıştır. Düşük döneme ait Sn1 için ortalama aET haritası Şekil 4.46'da, yüksek döneme ait ortalama aET haritası Şekil 4.47'de verilmiştir. Düşük dönemde havzanın büyük bir kısmı 0-25 mm arasında kalmıştır. Ancak havzanın özellikle orta kesimlerinde 25-50 mm aralığında aET'nin meydana geldiği alanlar mevcuttur. Yüksek dönemde havza ortalamasının artması ile birlikte orta kesimlerde aET 200 mm üzerine çıkmıştır. Ayrıca düşük dönemlerde tarımın yapıldığı alanların diğer alanlara kıyasla bir miktar aET değerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bitki büyüme döneminde tarım alanlarına verilen suyun zemin neminde meydana getirdiği artışın yıl içerisinde düşük miktarda da olsa kendini gösterdiği düşünülmektedir.



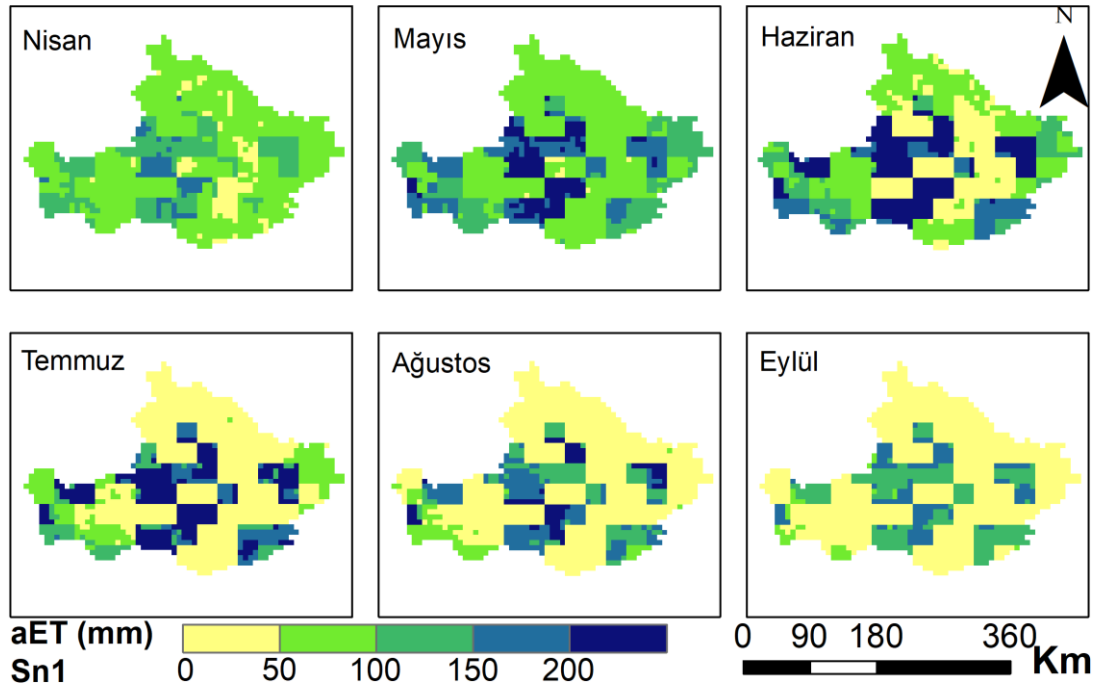
Şekil 4.44. KKH'ye ait Sn1 senaryosu için ortalama aET haritası (2004-2019)



Şekil 4.45. KKH'ye ait Sn2 senaryosu için ortalama aET haritası (2004-2019)



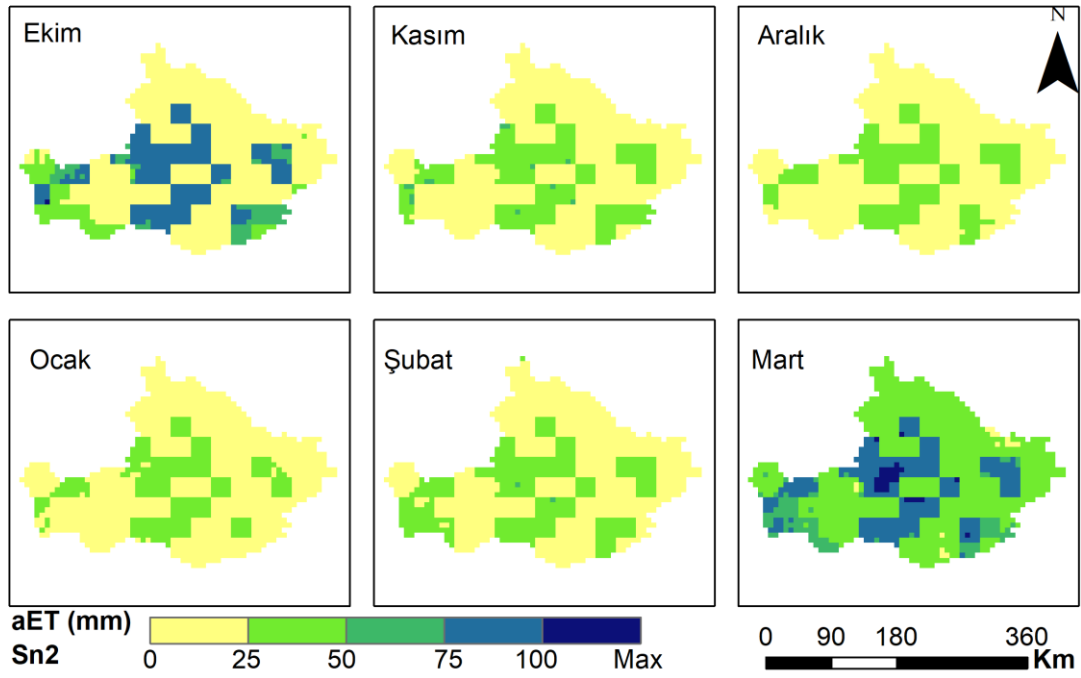
Şekil 4.46. Sn1 için aET düşük dönem aylık ortalama alansal dağılık haritaları



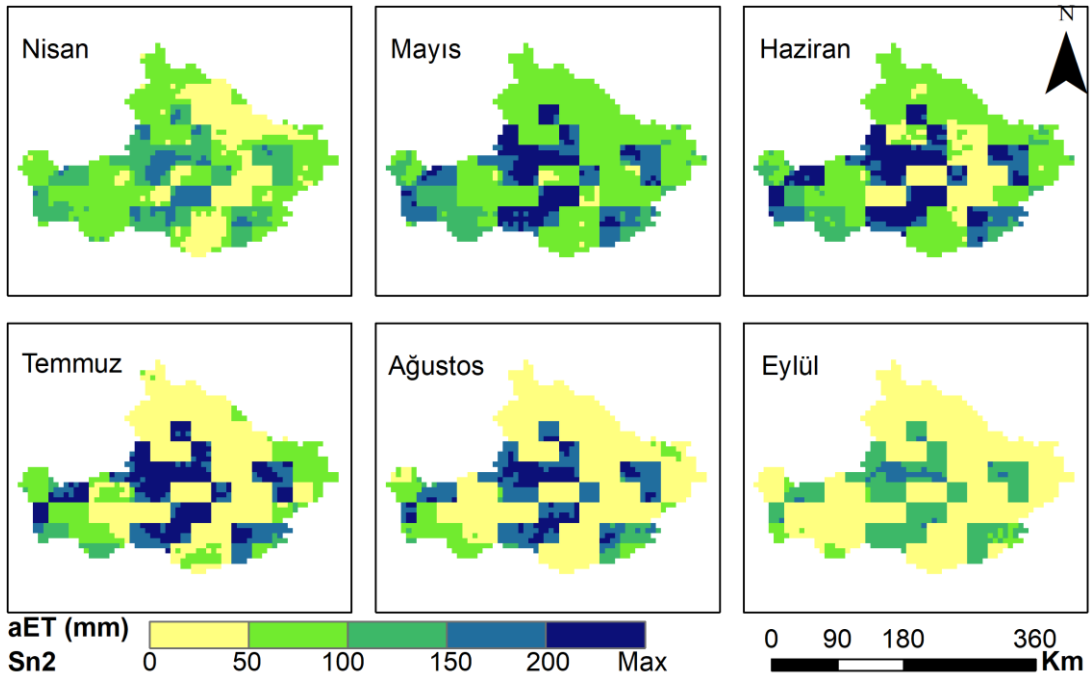
Şekil 4.47. Sn1 için aET yüksek dönem aylık ortalama alansal dağılık haritaları

Şekil 4.48 ve Şekil 4.49’da Sn2’ye göre ortalama aET haritaları verilmiştir. Sn1’e paralel olarak, düşük dönemde havza genellikle 0-25 ve 25-50 mm aralıklarında aET meydana getirmiştir. Yüksek dönemde ise, havzanın orta kesimlerinde 200 mm üzerinde aET mevcut iken, kenar kesimlerde 0-50 mm aralığına düşmektedir. Sn1’de tespit edilen

tarım alanlarındaki zemin nemi hareketliliği Sn2’de de mevcuttur. Sn1 ve Sn2 senaryoları kıyaslandığında önemli bir farklılık tespit edilmemiştir.

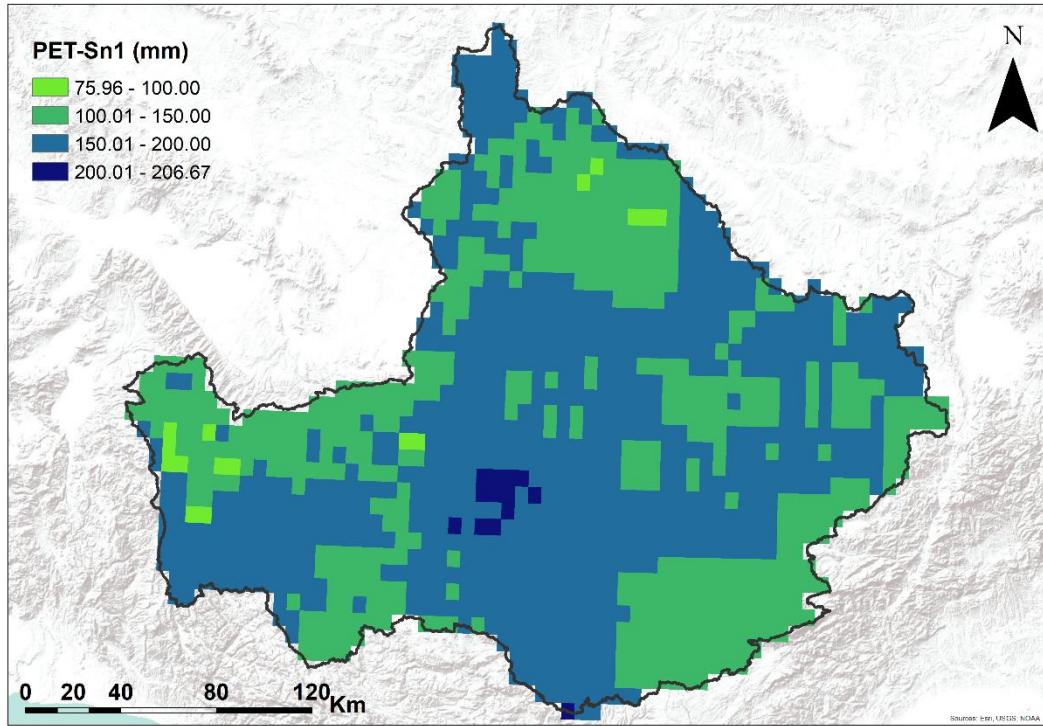


Şekil 4.48. Sn2 için aET düşük dönem aylık ortalama alansal dağılık haritaları

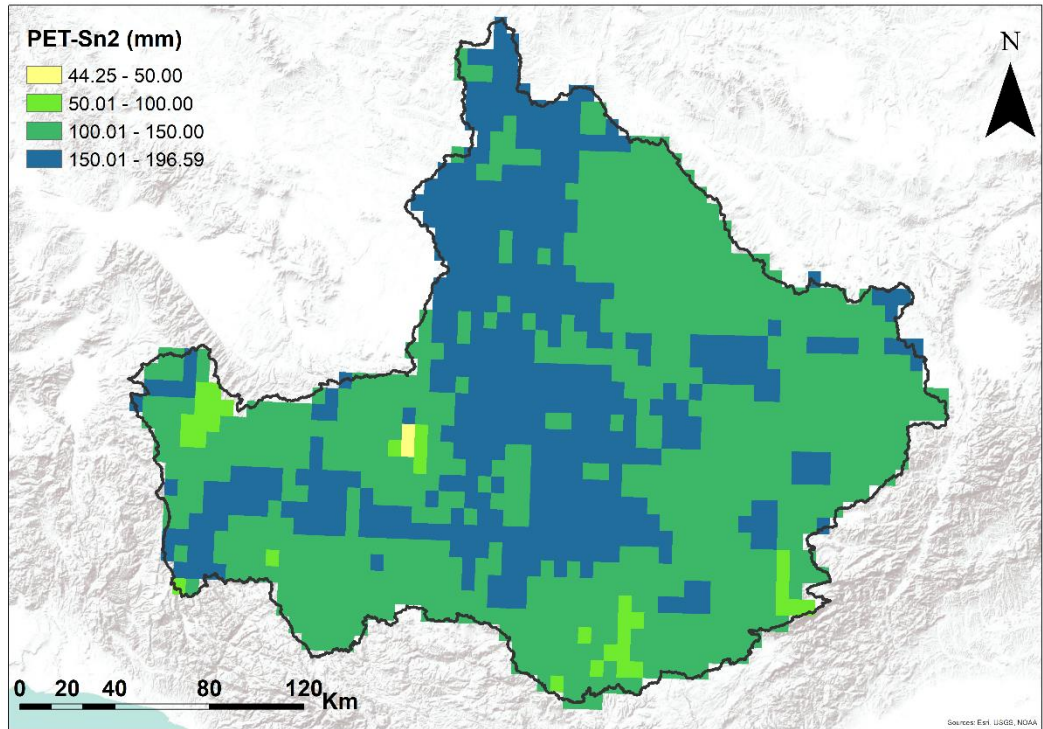


Şekil 4.49. Sn2 için aET yüksek dönem aylık ortalama alansal dağılık haritaları

Sn1 ve Sn2 alansal dağılık ortalama PET haritaları Şekil 4.50 ve Şekil 4.51’de verilmiştir.



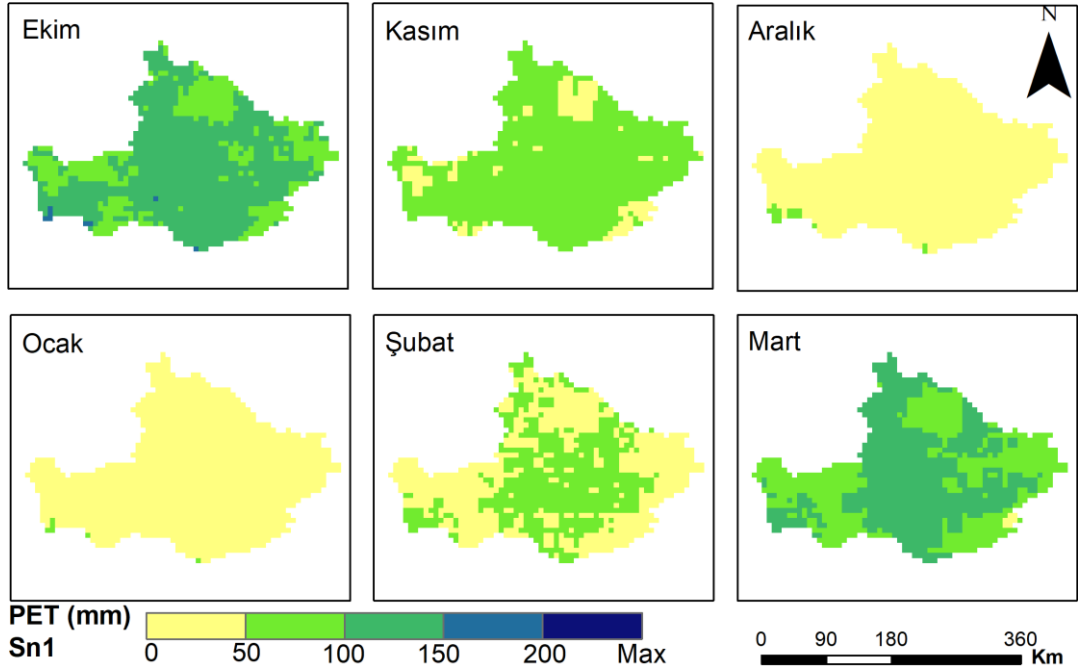
Şekil 4.50. KKH’ye ait Sn1 senaryosu için ortalama PET haritası (2004-2019)



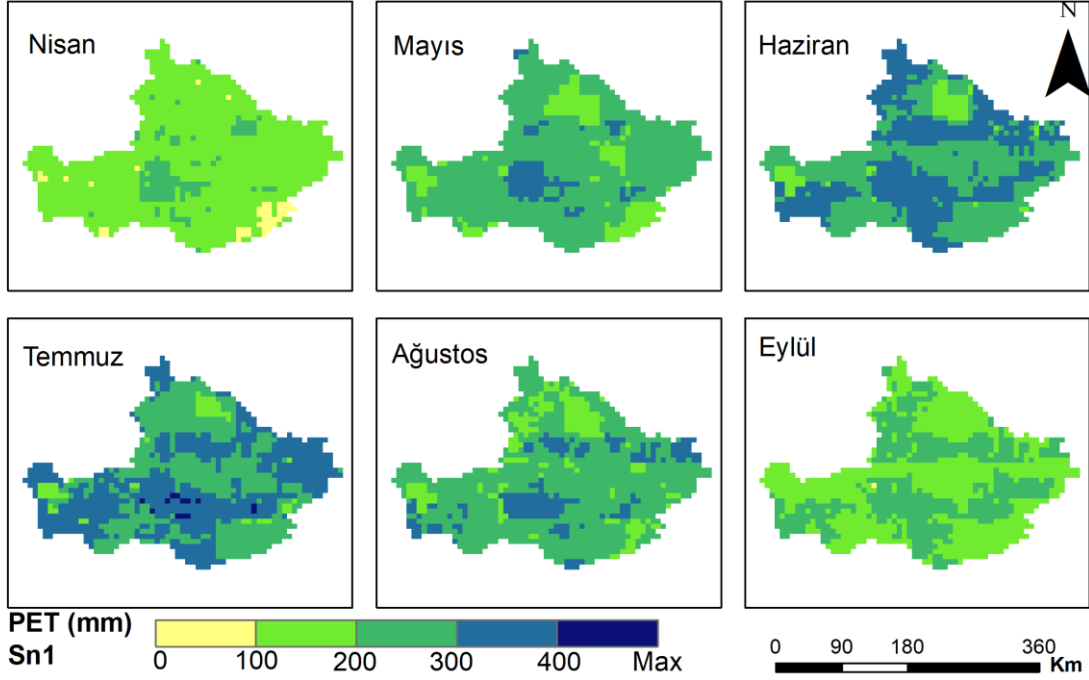
Şekil 4.51. KKH’ye ait Sn2 senaryosu için ortalama PET haritası (2004-2019)

Havza geneli 100-200 mm arasında PET değerine sahiptir. Sn1’de havzanın orta, kuzey ve doğu kesimleri ile birlikte Beyşehir alt havzasının güneyi 150-200 mm arasında PET değeri sergilemiştir. Sn2’de 150-200 mm arasında PET değerine sahip alanlar Sn1’e kıyasla daha kısıtlıdır. Ayrıca bu senaryoda 50-100 mm PET aralığına sahip alanlar daha fazladır. Genellikle her iki senaryoda da tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu orta kesimlerde PET değerleri havzanın diğer kesimlerine kıyasla daha fazladır.

Sn1’e göre simüle edilen PET’in alansal dağılık aylık ortalama haritaları düşük ve yüksek dönem için Şekil 4.52 ve Şekil 4.53’de verilmiştir. Ocak ve Aralık aylarında havzanın neredeyse tamamında PET 0-50 mm arasındadır. Şubat ve Kasım aylarında havzanın orta kesimleri başta olmak üzere büyük bir kısmın PET değerleri 50-100 mm arasında yer almaktadır. Düşük dönemde yer alan diğer aylarda (Mart ve Ekim) havzanın önemli bir kısmı 100-150 mm PET meydana getirmiştir. Yüksek dönem incelendiğinde, Temmuz ayında bazı alanlarda 400 mm üzerinde PET değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca Mayıs-Ağustos arasında havza genelinde 200 mm üzeri PET değerleri gözlemlenmiştir.

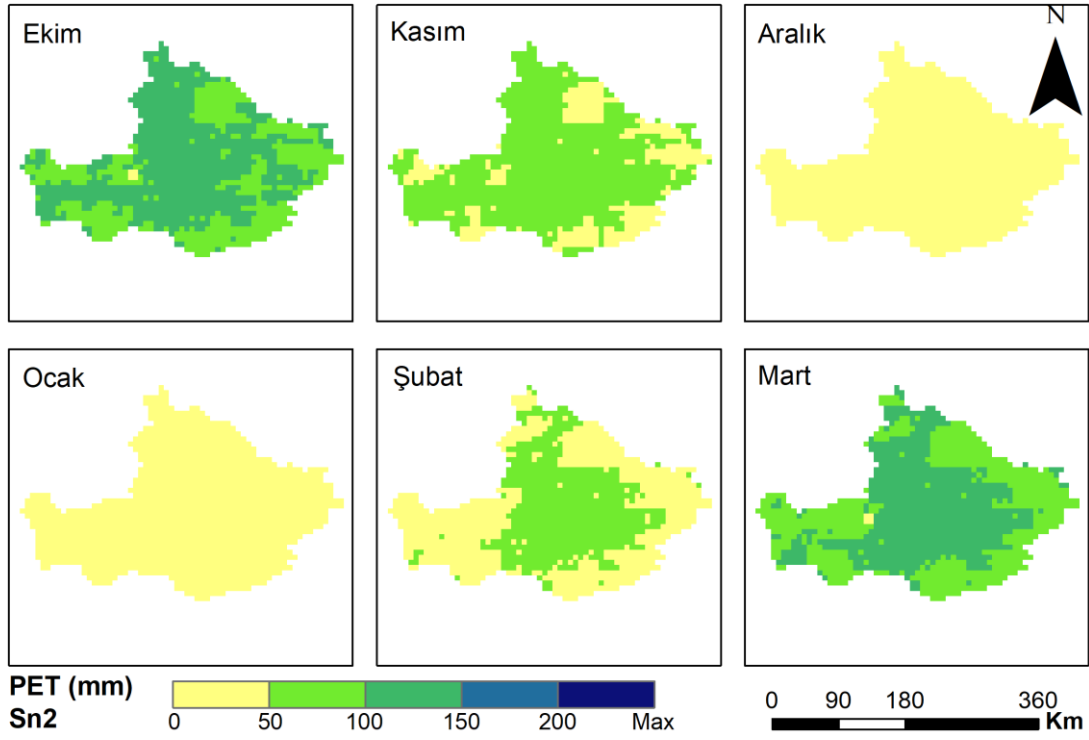


Şekil 4.52. Sn1 için PET düşük dönem aylık ortalama alansal dağılık haritaları

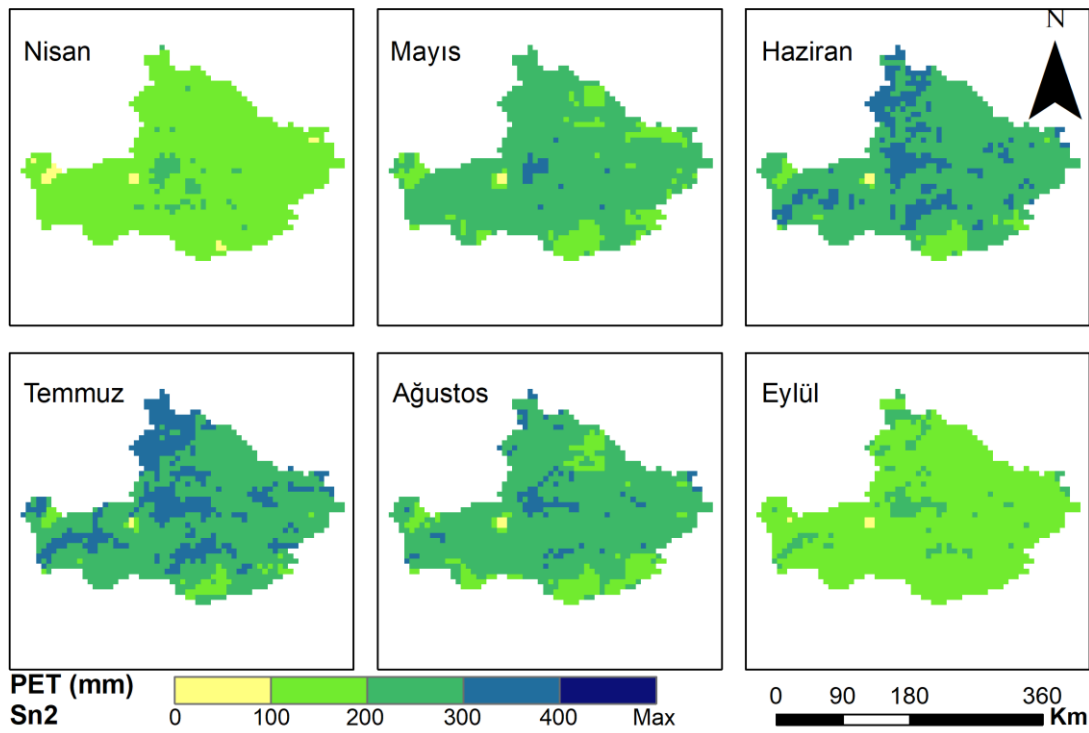


Şekil 4.53. Sn1 için PET yüksek dönem aylık ortalama alansal dağılık haritaları

KKH'nin özellikle orta kesimlerinde PET yüksek değerlere ulaşırken, kenar kesimlerde nispeten daha düşük değerler elde edilmektedir. Her iki senaryo içinde benzer gözlemler mevcuttur. Sn2'ye ait PET alansal dağılık aylık ortalama haritaları Şekil 4.54 ve Şekil 4.55'de verilmiştir. Sn2'de Sn1'e kıyasla kayda değer bir farklılık tespit edilmemiştir. Benzer şekilde düşük dönemde Ocak ve Aralık aylarında PET değeri havza genelinde 0-50 mm arasında kalmaktadır. Şubat ve Kasım aylarında havzanın orta kesimleri başta olmak üzere oldukça fazla alan 50-100 mm arasında PET değerine sahiptir. Mart ve Ekim aylarında ise havzada 100-150 mm arasında PET değerleri yaygın olarak görülmektedir. Yüksek dönem incelendiğinde Sn1'de 400 mm üzerinde PET belirlenen alanların Sn2'de azaldığı gözlemlenmiştir. Özellikle Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında havzanın ortasında tespit edilen PET değerleri Sn2'de Sn1'e kıyasla daha azdır.

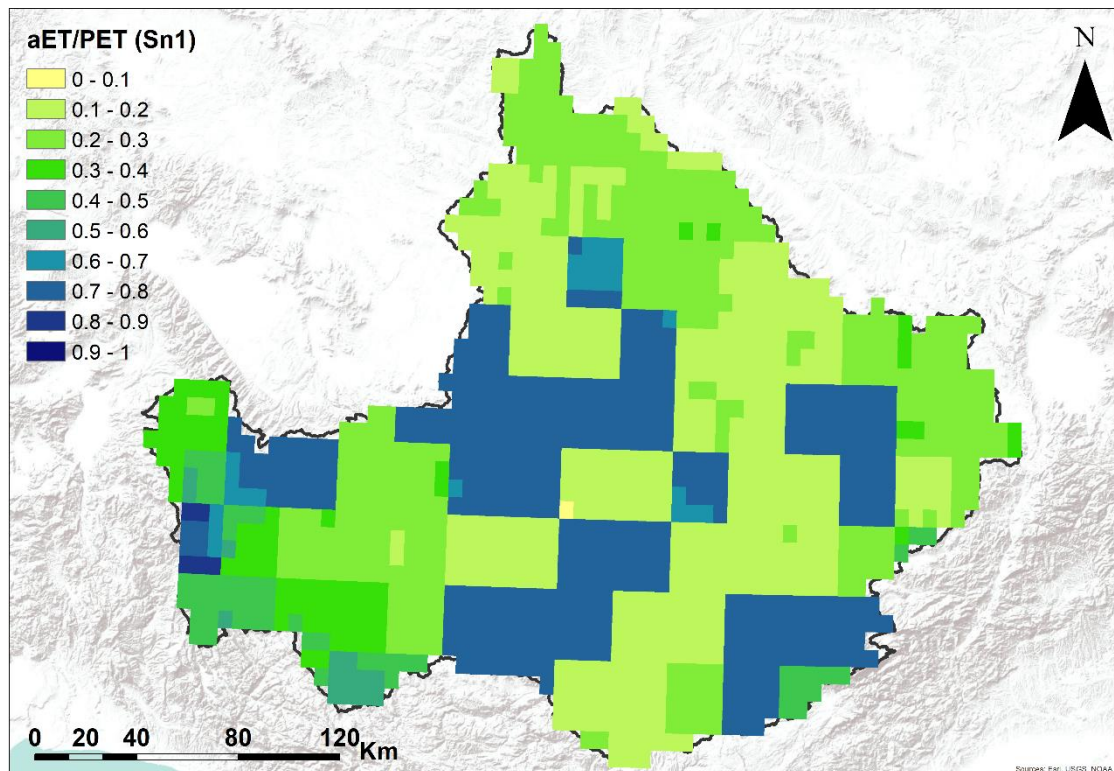


Şekil 4.54. Sn2 için PET düşük dönem aylık ortalama alansal dağılık haritaları

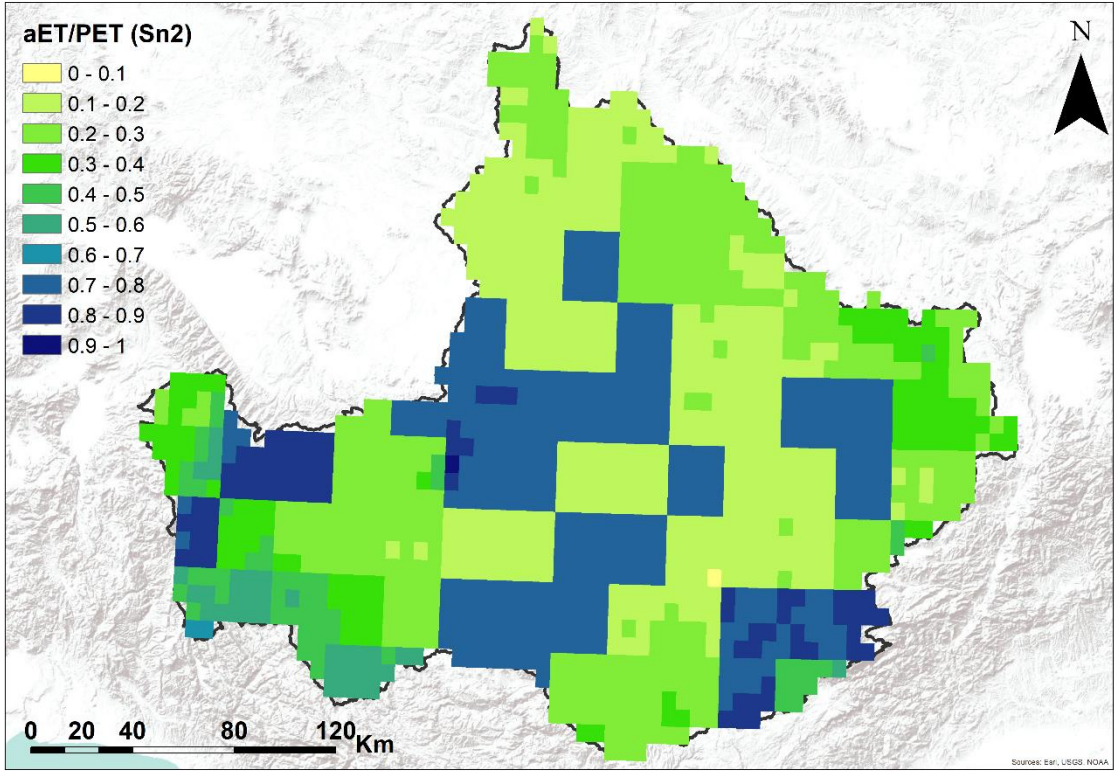


Şekil 4.55. Sn2 için PET yüksek dönem aylık ortalama alansal dağılık haritaları

Havzada meydana gelen evapotranspirasyonun potansiyeline ne ölçüde yaklaştığını gözlemlemek amacıyla kullanılan yaygın yöntemlerden biri aET'nin PET'e oranıdır. Şekil 4.56 ve Şekil 4.57'de Sn1 ve Sn2 için aET/PET oranının havza genelinde alansal dağılık haritaları verilmiştir. Buna göre, her iki senaryoda da sulama yapılan alanlarda bu oran 0.7'nin üzerindedir. Sn2'de havzanın güneyindeki bazı bölgelerde 0.8'in üzerine çıktığı bile olmaktadır. Havzanın geri kalan kısımlarında 0.1-0.4 arasında değişim göstermektedir. Buradan yola çıkarak, yer altı su sisteminden yüzeye taşınan suyun gerçek evapotranspirasyonu yaklaşık 2 katına kadar çıkarabildiği gözlemlenmektedir. Arazi örtüsünün değiştiği Sn2'de gerçek evapotranspirasyon oranının artması bu oranı daha da arttırmıştır. Yer altı suyu depolama sisteminin azalan bir eğime sahip olmasının güçlü sebeplerinden biri olduğu düşünülmektedir.

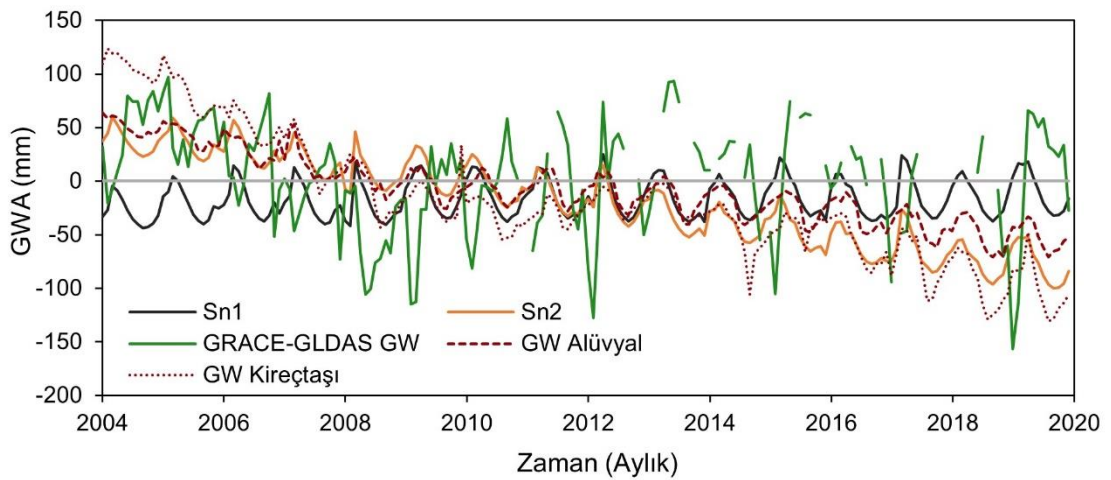


Şekil 4.56. Sn1 için aET/PET oranının KKH alansal dağılımı



Şekil 4.57. Sn2 için aET/PET oranının KKH alansal dağılımı

mHM ve GRACE-GLDAS yer altı su seviye anomali (GWA) zaman serileri Şekil 4.58’de verilmiştir. Buna göre, GRACE-GLDAS GWA zaman serisi iklimsel değişimlere oldukça hassas bir görüntü çizmektedir. Ancak gözlem kuyularından elde edilen iki farklı zaman serisine göre yer altı su depolama sistemi bu ölçüde iklimsel değişimlere hassasiyet göstermemektedir.



Şekil 4.58. KKH yer altı su seviyesi anomali aylık zaman serisi

Yer altı depolama sisteminden kuyularla çekilen suyun tarımsal faaliyetlerde kullanıldığı bilinmektedir. Bu değişime Sn2 oldukça başarılı bir şekilde uyum göstermektedir. Sn1’de, yüzey örtüsünün değişkenliğinin dikkate alınmaması artan sulama ihtiyacını göz ardı etmiştir. Buna bağlı olarak zamanla azalan trendi zaman serisine yansıtamamıştır. Ancak Sn2’de zamanla artan YAI değerlerinin su ihtiyacının büyük kısmı yer altı su depolama sisteminden karşılanmaktadır. Böylece zamanla keskin azalan trend Sn2 GWA zaman serisine yansımıştır.

Tablo 4.3’de mHM ve GRACE-GLDAS GWA zaman serilerinin ölçüm verileri ile KGE performans metriği sonuçları verilmiştir. Şekil 4.58’de verilen zaman serilerinde ifade edilen Sn2 GWA tahmin başarısının sayısal olarak ortaya konması amaçlanmıştır. Sn1 ve GRACE-GLDAS GWA değerleri negatif KGE değerlerine sahip olurken, Sn2 GWA zaman serisinin GW Alüvyal’de 0.366, GW Kireçtaşı’nda 0.534 değerlerine sahip olması Sn2’nin fiziksel çıktıları tahmin etme başarısını sayısal olarak ortaya koymaktadır.

Tablo 4.3. Aylık yer altı su seviyesi ölçümleri ile simülasyon verilerinin KGE değerleri

KGE	GW Alüvyal	GW Kireçtaşı
Sn1 GW	-0.313	-1.578
Sn2 GW	0.366	0.534
GRACE-GLDAS GW	-2.304	-5.054

5. TARTIŞMA

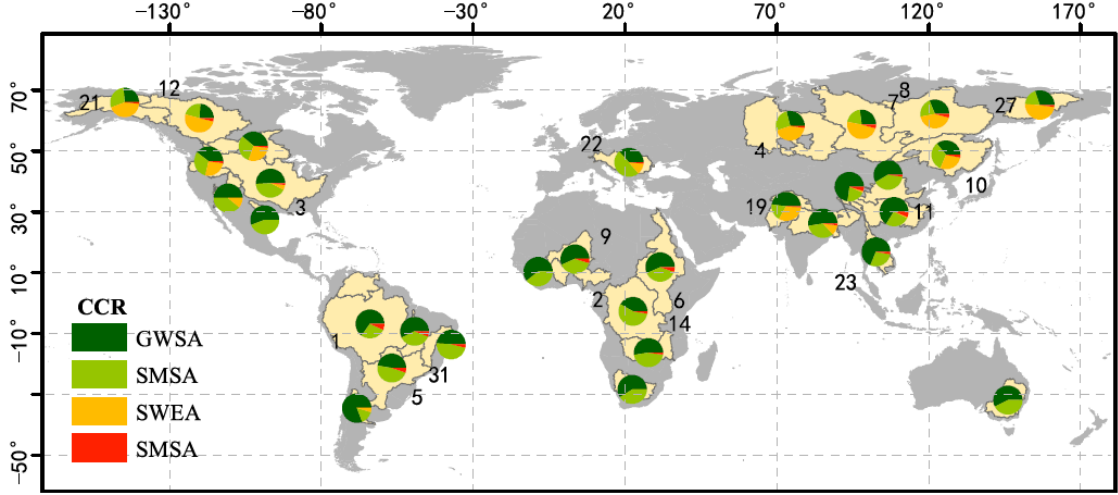
Bu çalışmanın ilk bölümünde KKH AÖK değişimleri özellikle tarımsal açıdan değerlendirilmiştir. Yapılan incelemeler tarım alanlarının aşırı genişlemesi sonucu majör AÖK sınıfları arasında değişimlerin olabileceğini işaret etmiştir. Ayrıca sulanabilen tarım arazilerinin zamanla sulanamayan olarak tanımlanması oldukça dikkat çekicidir. Bu durumun gerçekliğine ihtimal vermekle birlikte, CORINE AÖK sınıflandırma algoritmalarının yapabileceği bir yanlılık olması ihtimali de oldukça güçlü bir çıkarımdır.

AÖK değişimlerinin incelenmesinin ardından KKH su bütçesi bileşenleri incelenmiştir. KKH'nin sahip olduğu karstik formasyon nedeniyle yer altı su depolama sisteminin yağışla dinamik bir ilişkisinin olduğu ortaya koyulmuştur. KKH için yer altı suyu depolama sisteminin yağışa tepkisi 6 ay olarak belirlenmiştir. Ayrıca TWSA'nın yağışa tepkisi de 2 ay gecikmeli olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu sonuçlar benzer özelliklere sahip Dünya'nın farklı bölgelerindeki havzalarda da bulunmuştur (Mo ve ark., 2016; Soni ve Seyd, 2015; Xu ve ark., 2018; Awange ve ark., 2014; Zhang ve ark., 2019).

KKH su bütçesi bileşenlerinin alansal analizi sonucunda havzanın orta ve kenar kesimlerinin farklı hidrolojik özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir. Yoğun tarımsal faaliyetlerin bu duruma yol açtığı gerçeği tartışılabilir. GRACE ve GLDAS veri setlerinden elde edilen yer altı suyu verileri ile ölçüm verileri arasındaki eğim farkı oldukça dikkat çekicidir. Gözlem kuyularından elde edilen verilerin daha keskin bir eğime sahip olduğu literatürden elde edilen bilgilerle doğrulanmaktadır (Ahi ve Jin, 2019; Duygu ve ark., 2017; Khorrami ve Gunduz, 2021).

Yerinde ölçüm yer altı suyu verileri ile GRACE tabanlı yer altı suyu verileri arasındaki uyumsuzluk sadece havza ortasındaki tarımsal faaliyetlerin yoğunluğu ile açıklanamaz. Özellikle ruhsatsız kuyulardan çekilen suyun yer altı su sisteminin beslenmesinden daha hızlı olduğu görülmektedir. Karstik bir havza olarak KKH'de yağışın yeraltı suyu sistemi ile etkileşimi 6 ay gecikmeli olarak gerçekleşse de etki yarıçapları birbiri ile kesişen kuyuların sayısının giderek artması muhtemeldir. Gözlem kuyularının işletme kolaylığı açısından genellikle yerleşim ve tarım alanlarına yakın konumlanması bu sonucu desteklemektedir. Zhang ve ark. (2019), yarı kurak ve orta enlemlerde yer alan havzalarda TWSA değişkenliğini önemli ölçüde etkileyen faktörlerin başında yüzey altı su depolama sistemleri olduğunu ifade etmektedir (Şekil 5.1). Bu doğrultuda, KKH için TWSA değişkenliğini önemli ölçüde etkileyen faktörlerin zemin

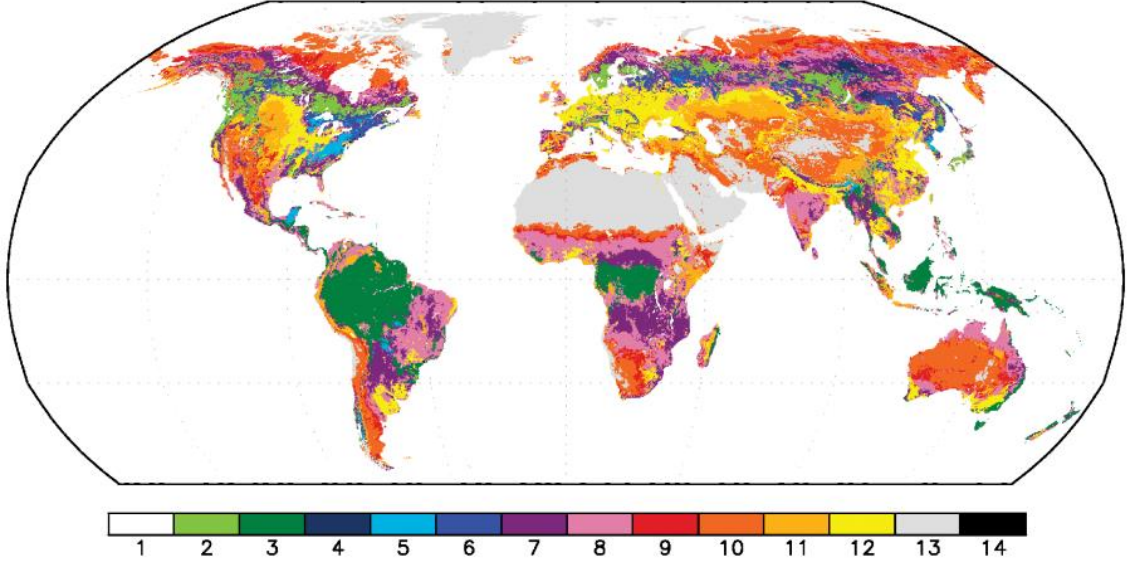
nemi ve yer altı depolama sistemleri olduğu düşünülmektedir. Brookfield ve ark. (2018), vadoz bölgenin kalın olduğu havzalarda (KKH'de olduğu gibi) TWS ve GWS'nin doğrusal bir ilişkiye sahip olmayabileceğini, vadoz bölgenin ince olduğu havzalarda doğrusal bir ilişkinin gözlemlenebileceğini belirtmiştir. KKH için toprak nemi depolama sisteminin önemli etkisi göz önüne alındığında, TWS'yi yeraltı suyu depolaması ile kolayca ilişkilendirmek makul olmayabilir.



Şekil 5.1. Seçilen 31 havza için komponent katkı oranları (Zhang ve ark., 2019)

Rodell ve ark. (2004), GLDAS'ın Maryland Üniversitesi'nde (UMD) Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) gözlemlerine dayalı olarak üretilen 1 km çözünürlüğe sahip statik arazi örtüsü veri setini kullandığını ifade etmektedir (Şekil 5.2). GLDAS'ın kullandığı arazi örtüsü verileri incelendiğinde KKH'nin ağırlıklı olarak çalılık ve çayır alanlardan oluştuğu gözlemlenmiştir (Rodell ve ark., 2004). Ancak KKH'nin yoğun tarımın yapıldığı bir havza olduğu bilinmektedir (Şekil 4.3b ve Şekil 4.67). Ayrıca tarımsal alanlar giderek genişlemektedir. Bu durumda GLDAS hesaplamalarında statik bir arazi örtüsü haritasının kullanılmasının, tahmini su bütçesi bileşenlerinde hatalara neden olduğu düşünülmektedir. Tarımsal aktivitelerin yoğun olduğu KKH gibi havzalarda bu aktivitelerin göz ardı edilmesi durumu evapotranspirasyonun olması gerekenden daha az tahmin edilmesine neden olmaktadır. Sulama talebinin çoğunlukla yer altı suyundan karşılanmasına bağlı olarak evapotranspirasyondaki eksik tahmin, yer altı suyundan beklendiğinden daha az su çekilmesine yol açmaktadır. Aslında evapotranspirasyon çalışma periyodu boyunca artmaktadır. Ancak bu artış tarımsal genişlemeye bağlı olarak değil, sıcaklıktaki artışa bir tepki olarak meydana gelmiş olabilir

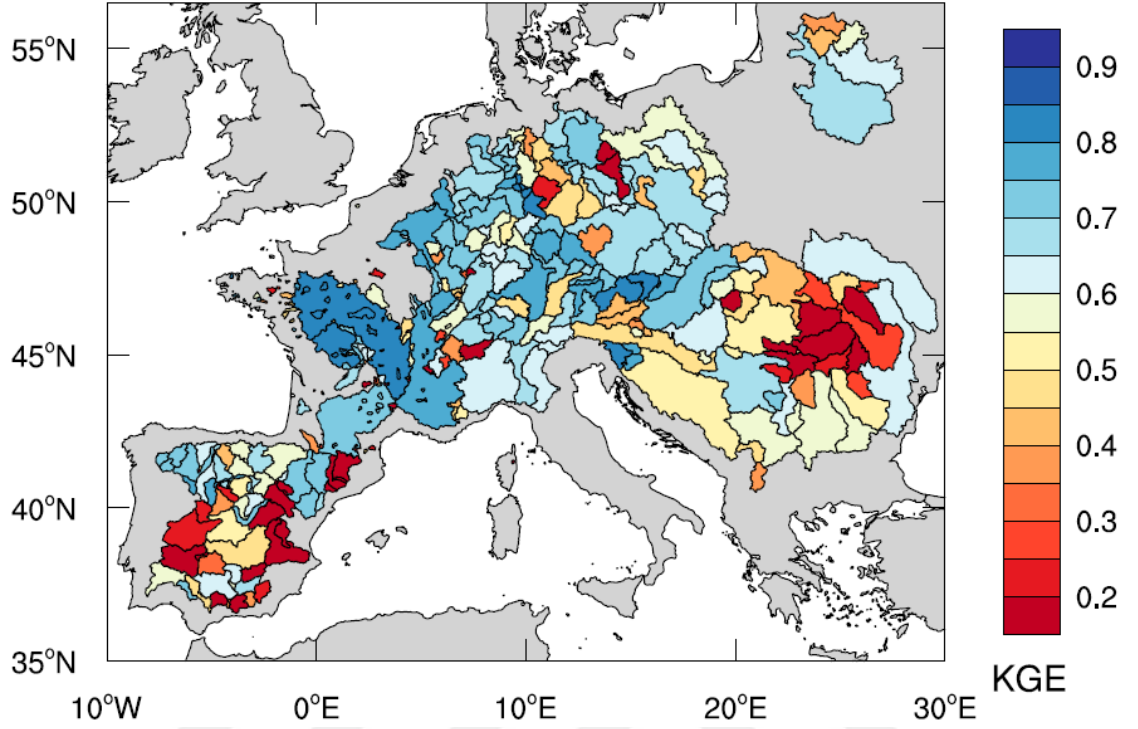
(Şekil 4.13 ve Şekil 4.15). GRACE ve GLDAS verilerine dayalı GWS eğilimleri ile yeraltı su seviyesi ölçümlerindeki eğilimler arasında fark görülmesinin nedeninin bu durum olabileceği düşünülmektedir. Model simülasyonları, o havza için arazi örtüsü ve kullanımındaki önemli değişiklikleri içermiyorsa, modele dayalı su bütçesi tahminlerinin çok doğru olmayabileceği söylenebilir.



Şekil 5.2. UMD arazi örtüsü haritası (1: su, 2: herdem yeşil iğne yapraklı orman, 3: herdem yeşil geniş yapraklı orman, 4: yaprak döken iğne yapraklı orman, 5: yaprak döken geniş yapraklı orman, 6: karışık yüzey örtüsü, 7: ağaçlık, 8: ağaçlı çayır, 9: sık çalılık, 10: seyrek çalılık, 11: çayırlar, 12: ekilebilir alanlar, 13: kırıç alanlar, 14: şehir ve yerleşim alanları) (Rodell ve ark., 2004)

mHM akım tahmin sonuçlarının tartışılması amacıyla Rakovec ve ark. (2016) tarafında yapılan çalışmanın değerlendirilmesi oldukça önemlidir (Şekil 5.3). Avrupa'nın farklı noktalarında çalıştırılan mHM modelinin bazı bölgelerde düşük başarıları test etmesinin yanında genelde 0.6-0.7 KGE değerlerine ulaşması literatürde kabul görür bir fiziksel tabanlı dağılık model olduğuna bir işarettir. KKH içerisinde bulunan 10 AGİ'nin kalibre sürecinde elde edilen KGE değerleri bu çalışma ile kıyaslandığında tatmin edici olduğu ön plana çıkmaktadır. Ancak bu çalışmanın araştırdığı bir diğer kısım akım tahmininin ötesinde diğer fiziksel parametrelerde tutarlılıktır. Bu nedenle farklı senaryolarla evapotranspirasyon ve yer altı su depolama anomalisi parametreleri incelenmiştir. Statik arazi örtüsü, hidrolojik tahmin çalışmalarında (özellikle hızla değişen arazi örtüsüne sahip bir alan ise) yanlış sonuçların üretilmesine yol açabilmektedir. GLDAS evapotranspirasyon verilerinin simülasyon verilerinden oldukça az tahmin ortaya koyması, KKH için yapılması planlanan su bütçesi çalışmalarında GLDAS

evapotranspirasyon verilerinin kullanılmasının şüpheli sonuçlar doğuracağı düşünülmektedir.



Şekil 5.3. Avrupa’da bulunan 400 akarsu havzası için oluşturulan mHM modellerinin başarıları (Rakovec ve ark., 2016)

Bu çalışmada araştırılan bir diğer unsur ise yer altı suyu depolama anomalisinin antropojenik etkilerden ne ölçüde etkilendiğidir. Arazi örtüsünün sabit kalması durumunda sulama ihtiyacının sabit kaldığı varsayılmıştır. Buna bağlı olarak ölçüm verilerindeki azalmanın aksine zamanla azalan eğime sahip olmayan bir GWA elde edilmiştir. Ancak arazi örtüsünün ve yüzeyindeki bitkilerin zamanla genişlediği dikkate alındığında GWA tahmininde oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu noktadan hareketle, yüzeysel özelliklerin sadece evapotranspirasyon parametresi için değil, yüzey altı hidrolojik sistemler için de oldukça önemli olduğu sonucu çıkarılmaktadır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ilk olarak arazi örtüsü değişimleri incelenmiştir. Ardından çalışma alanı olarak belirlenen KKH için 2002-2019 periyodunda su bütçesi bileşenlerinin analizi yapılmıştır. GLDAS, GRACE ve istasyon ölçümlerine dayalı olarak aylık zaman serileri elde edilmiştir. Gecikme zamanı ve komponent katkı oranlarının hesaplanması ile havzanın hidrolojik çevriminde yer alan depolama sistemlerinin katkıları ve ilişkilerinin anlaşılması amaçlanmıştır. Su bütçesi bileşenlerinin monotonik ve alt trend analizleri yapılmıştır. Alt trendlerin belirlenmesinde yenilikçi bir metot olan Onyutha Testi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar arazi örtüsü değişimleri ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca 2004-2019 arasında arazi örtüsünün sabit kaldığı ve değiştiği iki farklı sonuç için mHM modeli kalibre edilmiş ve doğrulanmıştır. Elde edilen sonuçlar GLDAS ve GRACE tabanlı evapotranspirasyon ve yer altı suyu depolama anomalisi parametreleri ile kıyaslanmıştır. Çalışma kapsamında ulaşılan önemli bulgular aşağıda verilmiştir.

Tarımsal alanlarda meydana gelen değişimler çayır alanlarının ve kıraç alanlarının azalmasına sebep olmuştur. Ayrıca havzanın orta kesimlerinde tarımsal aktivitelerin yoğun olduğu, arazi örtüsü haritaları ile doğrulanmıştır. CORINE'den elde edilen verilerde KKH'nin orta kesimlerinde önemli ölçüde büyük bir kısmın sulanamayan tarım arazisi olarak sınıflandırılması dikkat çekicidir.

Hidrometeorolojik zaman serilerinin incelenmesi sonucunda, KKH su kaynaklarında önemli bir azalmanın olduğu tespit edilmiştir. Su bütçesi açısından havzanın kazandığından daha fazla suyu kaybettiği ifade edilebilir. TWSA bileşenleri arasında SMSA ve GWSA, TWSA üzerinde en önemli etkiye sahiptir. TWSA değişikliğinde baskın depolama sistemlerinin belirlenmesi KKH için sürdürülebilir su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi açısından önemlidir. GWSA'nın yağışa karşı nispeten kısa tepki süresi (6 ay), havzanın oldukça dinamik bir hidrolojiye sahip olduğunu göstermektedir. Havzanın karstik bir yapıya sahip olması bu sonucu desteklemektedir.

Hem gözlem kuyularından elde edilen verilerde hem de GRACE'ten elde edilen TWSA değerlerinde havza genelinde azalan bir trend tespit edilmiştir. KKH yüzeyaltı su kaynakları, kuyularla çekilen sudan olumsuz etkilenmektedir. Ağırlıklı kireçtaşı formasyonuna sahip kuyular, alüvyal kuyulara kıyasla daha keskin bir düşüş trendine sahiptir (sırasıyla 150.75 mm/yıl ve 78.55 mm/yıl).

Yağış havza genelinde artan bir eğime sahiptir (2.93 mm/yıl). Ancak evapotranspirasyonun sahip olduğu pozitif eğim (3.53 mm/yıl), yağışinkinden fazladır.

Havzanın kuzeyinde ve Tuz Gölü civarında evapotranspirasyonun yağıştan daha güçlü bir artan trende sahip olması, Tuz Gölü'nün kuruma tehdidi olduğunu göstermektedir.

Aşırı tarımsal faaliyetlere bağlı olarak havzanın ortasında zemin nemi azalan bir trende sahiptir. Vadoz bölgedeki zemin nemi (GRACE ve gözlem kuyularından elde edilen ölçümlere dayalı), GLDAS zemin nemi verileri ile benzer davranış göstermektedir. Ancak iki farklı zemin nemi üretme yaklaşımının ürettiği sonuçlar büyüklük açısından farklılık içermektedir. Beyşehir Gölü bölgesinde toplam akışın azalma eğiliminde olması, gölü besleyen kaynakların kuruma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Bu durum gölün kuruma tehlikesi altında olduğuna bir işarettir.

Alt trend analizi sonuçlarına göre evapotranspirasyon dışındaki neredeyse tüm hidrometeorolojik parametrelerin alt trendlerinde azalma eğilimi mevcuttur. Hidrolojik kırılma noktası genellikle 2008'in sonu olarak belirlenmektedir. Tüm dönemin iki alt döneme ayrılmasında, 2007-2008 yıllarında meydana gelen kuraklık ve bunu takip eden yağışlı dönemlerin kilit rol oynadığı düşünülmektedir.

KKH içerisinde belirlenen 10 AGİ'nin mHM modeli ile kalibre edilmesi sonucunda tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir. Havzayı temsil eden tek bir ana akım ağının olmaması sebebiyle pek çok hidrolojik model kullanılamamaktadır. Ancak mHM başarı ile havzayı simüle etmiştir.

Arazi örtüsünün sabit kaldığı ve değiştiği her iki senaryoda da belirlenen gerçek evapotranspirasyon değerleri GLDAS'tan yüksektir. Bu noktada arazi örtüsü ve sulama bilgilerinin başarılı bir şekilde simüle edilmesi, gerçeğe daha yakın fiziksel sonuçların elde edilmesine yol açmaktadır. Arazi örtüsü değişimi ve sulama bilgilerinin GLDAS'ta bulunmaması evapotranspirasyon parametresi için yanlış sonuçları içinde barındırmasına sebep olmuştur.

Sulama bilgisinin değişen arazi örtüsü bilgisi ile desteklenerek hidrolojik modele tanıtılması yer altı suyu depolama anomalilerinde tahmin başarısını oldukça arttırdığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle hidrolojik modelin doğruluğunun sadece akım parametresinin kalibre edilmesine bağlı olmadığı, diğer fiziksel parametrelerinde değerlendirilmesi gerçeği ortaya çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- Ahi, G. O. ve Jin, S., 2019, Hydrologic Mass Changes and Their Implications in Mediterranean-Climate Turkey from GRACE Measurements, *Remote Sensing*, 1-24.
- Awange, J. L., Gebremichael, M., Forootan, E., Wakbulcho, G., Anyah, R., Ferreira, V. G., Alemayehu, T., 2014, Characterization of Ethiopian mega hydrogeological regimes using GRACE, TRMM and GLDAS datasets, *Advances in Water Resources*, 64-78.
- Baker, T. J. ve Miller, S. N., 2013, Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to assess land use impact on water resources in an East African watershed, *Journal of Hydrology*, 486, 100-111.
- Baroni, G., Schalge, B., Rakovec, O., Kumar, R., Schüller, L., Samaniego, L., Simmer, C., Attinger, S., 2019, A Comprehensive Distributed Hydrological Modeling Intercomparison to Support Process Representation and Data Collection Strategies, *Water Resources Research*, 990-1010.
- Bayari, C. S., Ozyurt, N. N., Kilani, S., 2009, Radiocarbon age distribution of groundwater in the Konya Closed Basin, central Anatolia, Turkey, *Hydrogeology Journal*, 17, 347-365.
- Beaudoing, H., ve Loeser, C., 2021, Readme Document for NASA GLDAS Version 2 Data Products, *Goddard Space Flight Center*, Greenbelt, Maryland.
- Behrangi, A., Khakbaz, B., Vrugt, J. A., Duan, Q., ve Sorooshian, S., 2008, Comment on “Dynamically dimensioned search algorithm for computationally efficient watershed model calibration” by Bryan A. Tolson and Christine A. Shoemaker, *Water Resources Research*, 44 (12), 1-3.
- Bergström, S., 1976, Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments, *SMHI*, Nr. RHO 7.
- Brookfield, A. E., Hill, M. C., Rodell, M., Loomis, B. D., Stotler, R. L., Porter, M. E., Bohling, G. C., 2018, In Situ and GRACE-Based Groundwater Observations: Similarities, Discrepancies, and Evaluation in the High Plains Aquifer in Kansas, *Water Resources Research*, 54 (10), 8034-8044.
- Bucak, T., Trolle, D., Andersen, H. E., Thodsen, H., Erdoğan, Ş., Levi, E. E., Filiz, N., Jeppesen, E., Beklioğlu, M., 2017, Future water availability in the largest freshwater Mediterranean lake is at great risk as evidenced from simulations with the SWAT model, *Science of the Total Environment*, 413-425.
- Buechel, M., Slater, L., Dadson, S., 2022, Hydrological impact of widespread afforestation in Great Britain using a large ensemble of modelled scenarios, *Communications Earth & Environment*, 3 (6), 1-10.

- Burrell, A. L., Evans, J. P., De Kauwe, M. G., 2020, Anthropogenic climate change has driven over 5 million km² of drylands towards desertification, *Nature Communications*, 11 (3853), 1-11.
- Busari, I., Demirel, M. C., Newton, A., 2021, Effect of Using Multi-Year Land Use Land Cover and Monthly LAI Inputs on the Calibration of a Distributed Hydrologic Model, *Water*, 13 (1538), 1-19.
- Chiarelli, D. D., D'Odorico, P., Müller, M. F., Mueller, N. D., Davis, K. F., Dell'Angelo, J., Penny, G., Rulli, M. C., 2022, Competition for water induced by transnational land acquisitions for agriculture, *Nature Communications*, 13 (505), 1-9.
- Dabanlı, İ., 2018, A Climate Change Impact: Variation In Precipitation Patterns, And Increased Drought Risk In Turkey, *Sakarya University Journal of Science*, 193-202.
- Dai, A., 2013, Increasing drought under global warming in observations and models, *Nature Clim. Change*, 3, 52-58.
- Davidson, E. A., de Araújo, A. C., Artaxo, P., Balch, J. K., Brown, I. F., Bustamante, M. M., Coe, M. T., DeFries, R. S., Keller, M., Longo, M., Munger, J. W., Schroeder, W., Soares-Filho, B. S., Souza, C. M., Wofsy, S. C., 2012, The Amazon basin in transition, *Nature*, 481, 321-328.
- de Meester, T., 1970, Soils of the Great Konya Basin, Turkey, *Wageningen: Centre for Agricultural Publishing and Documentation*.
- Demircan, M., Gürkan, H., Eskioğlu, O., Arabacı, H., Coşkun, M., 2017, Climate Change Projections for Turkey: Three Models and Two Scenarios, *Turkish Journal of Water Science & Management*, 22-43.
- Demirel, M. C., Koch, J., Mendiguren, G., Stisen, S., 2018, Spatial Pattern Oriented Multicriteria Sensitivity Analysis of a Distributed Hydrologic Model, *Water*, 10, 1-20.
- Dündar, M. A., 2021, Konya Koşullarında Farklı Sulama Programı Uygulamalarının Ekmeklik Buğdayın (*Triticum Aestivum* L.) Verim ve Kalitesine Etkisi (Doktora), *Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Duygu, M. B., Kirmencioğlu, B., Aras, M., 2017, Essential Tools to Establish a Comprehensive Drought Management Plan - Konya Basin Case Study, *Turkish Journal of Water Science & Management*, 54-70.
- ECMWF, 2021, ERA5-Land: Data Documentation, <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5-Land%3A+data+documentation> [Ziyaret Tarihi: 22 Ağustos 2022].
- Feddes, R. A., Kowalik, P., Kolinska-Malinka, K., Zaradny, H., 1976, Simulation of field water uptake by plants using a soil water dependent root extraction function, *Journal of Hydrology*, 31 (1-2), 13-26.

- Findell, K. L., Berg, A., Gentine, P., Krasting, J. P., Lintner, B. R., Malyshev, S., Santanello Jr., J. A., Shevliakova, E., 2017, The impact of anthropogenic land use and land cover change on regional climate extremes, *Nature Communications*, 8 (989), 1-10.
- Genç, S. Y., Behradfar, A., Castanho, R. A., Kirikkaleli, D., Gómez, J. M., Loures, L., 2021, Land Use Changes in Turkish Territories: Patterns, Directions and Socio-Economic Impacts on Territorial Management, *Current World Environment*, 16 (1), 1-18.
- Gökmen, M., 2013, Earth Observation For Quantifying Ecohydrological Fluxes and Inter-Relations: A Regional Case-Konya Closed Basin, TURKEY (PhD Thesis), *University of Twente*.
- Gokmen, M., Vekerd, Z., Verhoef, W., Batelaan, O., 2013, Satellite-based analysis of recent trends in the ecohydrology of a semi-arid region, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 3779-3794.
- Göksel, Ç., Balçık, F. B., 2019, Land Use and Land Cover Changes Using SPOT 5 Pansharpen Images; A Case Study in Akdeniz District, Mersin-TURKEY, *Turkish Journal of Engineering*, 3 (1), 32-38.
- Gupta, H. V., Sorooshian, S., Yapo, P. O., 1999, Status of Automatic Calibration for Hydrologic Models: Comparison with Multilevel Expert Calibration, *Journal of Hydrologic Engineering*, 4 (2), 135-143.
- Gupta, H., Kling, H., Yilmaz, K., Martinez, G., 2009, Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling, *Journal of Hydrology*, 80-91.
- IPCC, 2021, Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth, *Cambridge University Press*.
- Jarvis, N. J., 1989, A simple empirical model of root water uptake, *Journal of Hydrology*, 107 (1-4), 57-72.
- Jiongxin, X., 2005, The Water Fluxes of the Yellow River to the Sea in the Past 50 Years, in Response to Climate Change and Human Activities, *Environmental Management*, 35 (5), 620-631.
- Johnson, A. I., 1967, Specific Yield-Compilation of Specific Yields for Various Materials, *Washington: United States Government Printing Office*.
- Khorrani, B., Gunduz, O., 2021, Evaluation of the temporal variations of groundwater storage and its interactions with climatic variables using GRACE data and hydrological models: A study from Turkey, *Hydrological Processes*, 35 (3), e14076.

- Khorrami, B., Arik, F., Gunduz, O., 2021 Land deformation and sinkhole occurrence in response to the fluctuations of groundwater storage: an integrated assessment of GRACE gravity measurements, ICESat/ICESat-2 altimetry data, and hydrologic models, *GIScience & Remote Sensing*, 58(8), 1518-1542.
- Kim, H., Yeh, P. J., Oki, T., Kanae, S., 2009, Role of rivers in the seasonal variations of terrestrial water storage over global basins, *Geophysical Research Letters*, 36(17).
- KOP, 2013, KOP Bölgesi'ne Havza Dışından Su Temini Önerileri Raporu, *Konya: KOP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı*.
- KOP, 2016, KOP Resmi Websitesi, <http://kop.gov.tr/> [Ziyaret Tarihi: 03 Ağustos 2022].
- Koycegiz, C., Buyukyildiz, M., 2019, Calibration of SWAT and Two Data-Driven Models for a Data-Scarce Mountainous Headwater in Semi-Arid Konya Closed Basin, *Water*, 1-17.
- Kumar, M., Denis, D. M., Kundu, A., Joshi, N., Suryavanshi, S., 2022 Understanding land use/land cover and climate change impacts on hydrological components of Usri watershed, *India. Applied Water Science*, 12 (39), 1-14.
- Kumar, R., Samaniego, L., Attinger, S., 2013, Implications of distributed hydrologic model parameterization on water fluxes at multiple scales and locations, *Water Resources Research*, 49, 360-379.
- Lamparter, G., Nobrega, R. L., Kovacs, K., Amorim, R. S., Gerold, G., 2018, Modelling hydrological impacts of agricultural expansion in twomacro-catchments in Southern Amazonia, Brazil, *Regional Environmental Change*, 18 (1), 91-103.
- Lespinas, F., Dastoor, A., Fortin, V., 2018, Performance of the dynamically dimensioned search algorithm: Influence of parameter initialization strategy when calibrating a physically based hydrological model, *Hydrology Research*, 49 (4), 971-988.
- Liesch, T., Ohmer, M., 2016, Comparison of GRACE data and groundwater levels for the assessment of groundwater depletion in Jordan, *Hydrogeol. J.*, 1547-1563.
- Lin, B., Chen, X., Yao, H., Chen, Y., Liu, M., Gao, L., James, A., 2015, Analyses of landuse change impacts on catchment runoff using different time indicators based on SWAT model, *Ecological Indicators*, 58, 55-63.
- Long, D., Chen, X., Scanlon, B. R., Wada, Y., Hong, Y., Singh, V. P., Chen, Y., Wang, C., Han, Z., Yang, W., 2016, Have GRACE satellites overestimated groundwater depletion in the Northwest India Aquifer?, *Scientific Reports*, 6, 24398.
- Loveland, T. R., Belward, A. S., 1997, The International Geosphere Biosphere Programme Data and Information System global land cover data set (DISCover), *Acta Astronautica*, 41 (4-10), 681-689.
- Lv, M., Ma, Z., Yuan, X., Lv, M., Li, M., Zheng, Z., 2017, Water budget closure based on GRACE measurements and reconstructed evapotranspiration using GLDAS

and water use data for two large densely-populated mid-latitude basins, *Journal of Hydrology*, 547, 585-599.

- Lv, M., Xu, Z., Yang, Z.-L., Lu, H., Lv, M., 2021, A Comprehensive Review of Specific Yield in Land Surface and Groundwater Studies, *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 13 (2), 1-24.
- MAF, 2015, Ministry of Agriculture and Forestry (MAF): Konya Basin Drought Management Plan, *Ministry of Agriculture and Forestry (MAF)*, Ankara.
- MAF, 2018, Ministry of Agriculture and Forestry (MAF): Konya Closed Basin Sectoral Water Allocation Plan Preparation Project, *Ankara: Directorate General for Water Management*.
- Mo, X., Wu, J., Wang, Q., Zhou, H., 2016, Variations in water storage in China over recent decade from GRACE Observations and GLDAS, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.*, 3251-2015.
- Morris, D. A., Johnson, A. I., 1967, Summary of Hydrologic and Physical Properties of Rock and Soil Materials, as Analyzed by the Hydrologic Laboratory of the U.S. Geological Survey, *Washington: United States Government Printing Office*.
- Morris, M., 1991, Factorial Sampling Plans for Preliminary Computational Experiments, *Technometrics*, 33, 161-174.
- Mottet, A., Ladet, S., Coqué, N., Gibon, A., 2006, Agricultural land-use change and its drivers in mountain landscapes: A case study in the Pyrenees. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 114 (2-4), 296-310.
- Nash, J. E., Sutcliffe, J. V., 1970, River flow forecasting through conceptual models: Part 1. A discussion of principles, *Journal of Hydrology*, 10(3), 282-290.
- Ndehedehe, C., Awange, J., Agutu, N., Kuhn, M., Heck, B., 2016, Understanding changes in terrestrial water storage over West Africa between 2002 and 2014, *Advances in Water Resources*, 211-230.
- Onyutha, C., 2016a, Identification of sub-trends from hydro-meteorological series, *Stoch Environ Res Risk Assess*, 30, 189–205.
- Onyutha, C., 2016b, Statistical analyses of potential evapotranspiration changes over the period 1930–2012 in the Nile River riparian countries, *Agricultural and Forest Meteorology*, 226-227, 80-95.
- Onyutha, C., 2021, Graphical-statistical method to explore variability of hydrological time series, *Hydrology Research*, 52 (1), 266-283.
- Orhan, O., 2014, Konya Kapalı Havzası'nda Uzaktan Algılama ve CBS Teknolojileri ile İklim Değişikliği ve Kuraklık Analizi (Yüksek Lisans). *Aksaray Üniversitesi*.

- Orhan, O., Dadaser-Celik, F., Ekercin, S., 2019, Investigating land Surface Temperature Changes Using Landsat-5 Data and Real-Time Infrared Thermometer Measurements at Konya Closed Basin in Turkey, *International Journal of Engineering and Geosciences (IJEG)*, 16-27.
- Pan, Y., Zhang, C., Gong, H., Yeh, P. J., Shen, Y., Guo, Y., Huang, Z., Li, X., 2016, Detection of human-induced evapotranspiration using GRACE satellite observations in the Haihe River basin of China, *Geophysical Research Letters*, 190-199.
- Paniconi, C., Putti, M., 2015, Physically based modeling in catchment hydrology at 50: Survey and Outlook, *Water Resources Research*, 51 (9), 7090-7129.
- Parolly, G., 2015, The High-Mountain Flora and Vegetation of the Western and Central Taurus Mts. (Turkey) in the Times of Climate Change. M. Öztürk, K. R. Hakeem, I. Faridah-Hanum, & R. Efe içinde, Climate Change Impacts on High-Altitude Ecosystems, *Springer International Publishing*.
- Patel, S., Hardaha, M. K., Seetpal, M. K., Madankar, K. K., 2016, Multiple Linear Regression Model for Stream Flow Estimation of Wainganga River, *American Journal of Water Science and Engineering*, 1-5.
- Paudel, M., Nelson, E. J., Downer, C. W., Hotchkiss, R., 2011, Comparing the capability of distributed and lumped hydrologic models for analyzing the effects of land use change, *Journal of Hydroinformatics*, 13 (3): 461, 1-18.
- Rahman, M., Tabassum, F., Rasheduzzaman, M., Saba, H., Sarkar, L., Ferdous, J., Uddin, S. Z., M. Zahedul Islam, A. Z., 2017, Temporal dynamics of land use/land cover change and its prediction using CA-ANN model for southwestern coastal Bangladesh, *Environmental Monitoring and Assessment*, 189 (565), 1-18.
- Rakovec, O., Kumar, R., Mai, J., Cuntz, M., Thober, S., Zink, M., Attinger, S., Schäfer, D., Schrön, M., Samaniego, L., 2016, Multiscale and Multivariate Evaluation of Water Fluxes and States over European River Basins, *American Meteorological Society*, 17, 287-307.
- Rodell, M., Famiglietti, J. S., Wiese, D. N., Reager, J. T., Beaudoing, H. K., Landerer, F. W., Lo, M. H., 2018 Emerging trends in global freshwater availability, *Nature*, 557, 651-659.
- Rodell, M., P.R. Houser, U., Jambor, J., Gottschalck, K., Mitchell, C., Meng, K., Arsenault, K., Cosgrove, B., Radakovich, J., Bosilovich, M., Entin, J. K., Walker, J. P., Lohmann, D., Toll, D., 2004, The Global Land Data Assimilation System, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 85, 381-394.
- Samaniego, L., Brenner, J., Demirel, C., Jing, M., Kaluza, M., Kumar, R., Langenberg, B., Mai, J., Müller, S., Musuuza, J., Prykhodko, V., Rakovec, O., Schafer, D., Schneider, C., Schrön, M., Schüler, L., Schweppe, R., Shrestha, P., Spieler, D., Stisen, S., Zink, M., Thober, S., 2018, The mesoscale Hydrological Model

(mHM) Documentation for version 5.9, *Helmholtz Centre for Environmental Research-UFZ*.

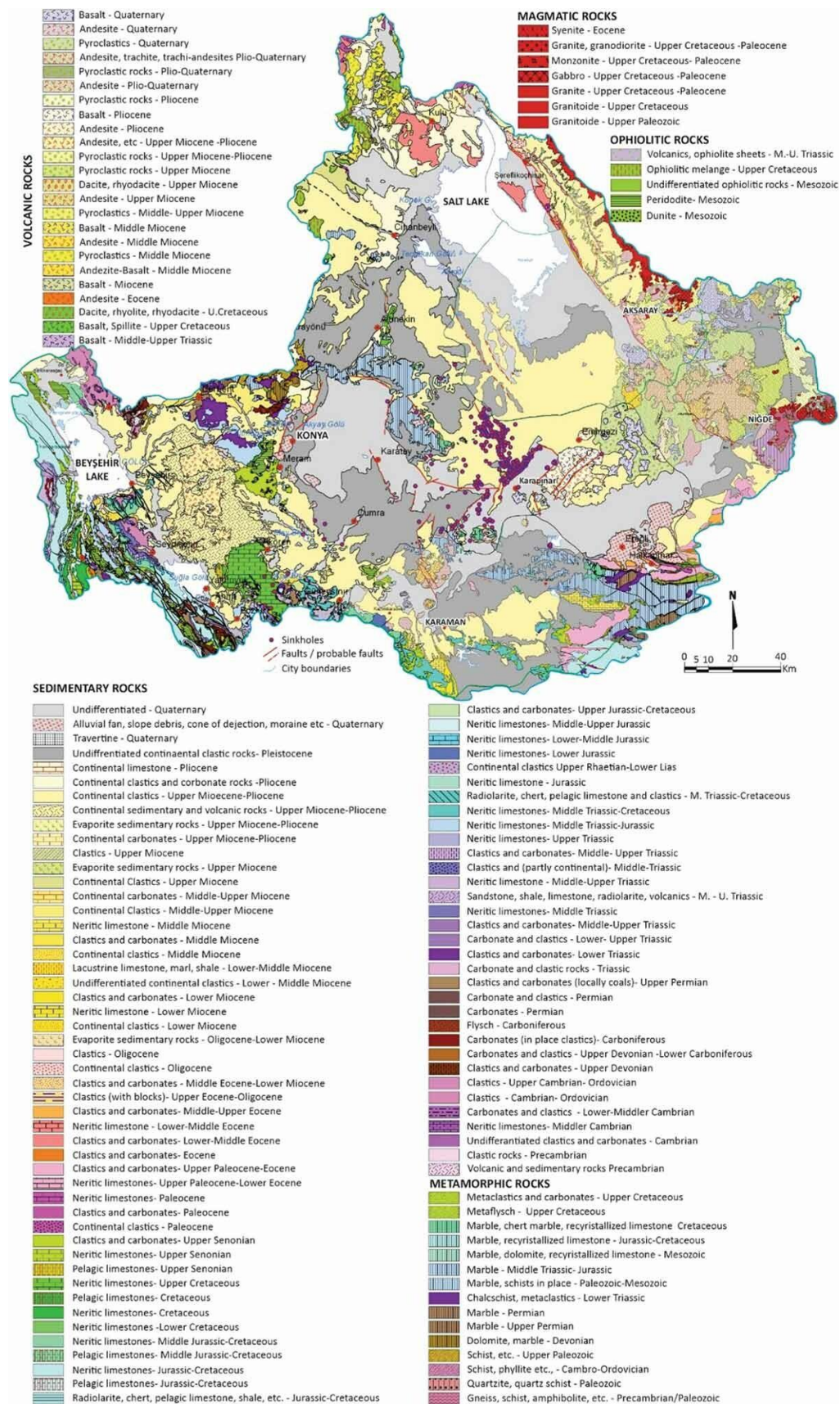
- Samaniego, L., Kumar, R., Attinger, S., 2010, Multiscale parameter regionalization of a grid-based hydrologic model at the mesoscale, *Water Resources Research*, 46, 1-25.
- Save, H., Bettadpur, S., Tapley, B. D., 2016, High-resolution CSR GRACE RL05 mascons, *JGR Solid Earth*, 121(10), 7547-7569.
- Sen, O. L., Ezber, Y., Bozkurt, D., 2019, Euro-Mediterranean climate variability in boreal winter: a potential role of the East Asian trough, *Climate Dynamics*, 52, 7071–7084.
- Şener, Ş., Taştekin, N., 2019, Beyşehir (Konya) Ovasının Hidrojeolojik ve Hidrokimyasal İncelemesi, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 647-661.
- Sharafi, S., Ghaleni, M. M., 2021, Evaluation of multivariate linear regression for reference evapotranspiration modeling in different climates of Iran, *Theoretical and Applied Climatology*, 1409–1423.
- Soni, A., Seyd, T. H., 2015, Diagnosing Land Water Storage Variations in Major Indian River Basins using GRACE observations, *Global and Planetary Change*, 263-271.
- Sriram, A. V., Rashmi, C. N., 2014, Estimation of Potential Evapotranspiration by Multiple Linear Regression Method, *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 65-70.
- Süheri, S., Şahin, M., Değer, T., Üstündağ, A., 2011, Farklı Damla Sulama Sistem Tasarımı ve Su Uygulamalarının Şeker Pancarı Verim ve Kalitesine Etkisi, *TÜBİTAK*, Proje No: 108O517
- Teklay, A., Dile, Y. T., Asfaw, D. H., Bayabil, H. K., Sisay, K., 2021, Impacts of Climate and Land Use Change on Hydrological Response in Gumara Watershed, Ethiopia, *Ecohydrology & Hydrobiology*, 21 (2), 315-332.
- Thakur, J. K., Srivastava, P. K., Singh, S. K., Vekerdy, Z., 2011, Ecological monitoring of wetlands in semi-arid region of Konya closed Basin, Turkey, *Regional Environmental Change*, 133–144.
- Tolson, B. A., Shoemaker, C. A., 2007, Dynamically Dimensioned Search Algorithm for Computationally Efficient Watershed Model Calibration, *Water Resources Research*, 43 (1), 1-16.
- Topak, R., Süheri, S., Acar, B., 2009, Kısıntılı - Damla Sulamanın Mısır Verimine ve Su Kullanımına Etkisi, *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 23 (49), 74-80.

- Topaloğlu, R. H., 2014, Konya Kapalı Havzası'nda Arazi Örtüsü/Kullanımı Zamansal Değişimlerinin Uydu Görüntüleri ile Belirlenmesi (Yüksek Lisans), *Aksaray Üniversitesi*.
- Tregoning, P., McClusky, S., Van Dijk, A., Crosbie, R., Pena Arancibia, J., 2012, Assessment of GRACE satellites for groundwater estimation in Australia, *CSIRO Rep.*, 82.
- Ustaoglu, E., Aydinoglu, A. C., 2019, Regional Variations of Land-Use Development and Land-Use/Cover Change Dynamics: A Case Study of Turkey, *Remote Sens.*, 11 (7)(885), 1-33.
- Van Griensven, A., Meixner, T., Grunwald, S., Bishop, T., Diluzio, M., Srinivasan, R., 2006, A global sensitivity analysis tool for the parameters of multi-variable catchment models, *Journal of Hydrology*, 324, 10-23.
- Wang, J., Song, C., Reager, J. T., Yao, F., Famiglietti, J. S., Sheng, Y., MacDonald, G. M., Brun, F., Schmied, H. M., Marston, R. A., Wada, Y., 2018, Recent global decline in endorheic basin water storages, *Nature Geoscience*, 11, 926-932.
- Wang, Q., Liu, R., Men, C., Guo, L., Miao, Y., 2018, Effects of dynamic land use inputs on improvement of SWAT model performance and uncertainty analysis of outputs, *Journal of Hydrology*, 563, 874-886.
- Wiese, D. N., Landerer, F. W., Watkins, M. M., 2016, Quantifying and reducing leakage errors in the JPL RL05M GRACE mascon solution, *Water Resources Research*, 52(9), 7490-7502.
- Wu, P., Christidis, N., Stott, P., 2013, Anthropogenic impact on Earth's hydrological cycle, *Nature Climate Change*, 3, 807-810.
- Xu, M., Kang, S., Chen, X., Wu, H., Wang, X., Su, Z., 2018 Detection of hydrological variations and their impacts on vegetation from multiple satellite observations in the Three-River Source Region of the Tibetan Plateau, *Science of The Total Environment*, 1220-1232.
- Yalvaç, S., 2016, Konya Kapalı Havzası'nda Düşey Yönlü Zemin Hareketlerinin GNSS Zaman Serileri Yardımıyla Belirlenmesi (Doktora), *Selçuk Üniversitesi*.
- Yavuz, D., Seymen, M., Süheri, S., Yavuz, N., Türkmen, Ö., Kurtar, E. S., 2020, How do rootstocks of citron watermelon (*Citrullus lanatus* var. *citroides*) affect the yield and quality of watermelon under deficit irrigation?, *Agricultural Water Management*, 241, 1-12.
- Yavuz, D., Seymen, M., Yavuz, N., Türkmen, Ö., 2015, Effects of irrigation interval and quantity on the yield and quality of confectionary pumpkin grown under field conditions, *Agricultural Water Management*, 159, 290-298.

- Yavuz, D., Seymen, M., Yavuz, N., Çoklar, H., Ercan, M., 2021, Effects of water stress applied at various phenological stages on yield, quality, and water use efficiency of melon, *Agricultural Water Management*, 246, 1-11.
- Yavuz, N., Çiftçi, N., Yavuz, D., 2019, Effects of different irrigation interval and plant-pan coefficient applications on yield and quality parameters of oil sunflower grown in semi-arid climatic conditions, *Arabian Journal of Geosciences*, 12 (672), 1-11.
- Yılmaz, M., 2017, Konya Kapalı Havzası'nın TMPA uydu kaynaklı yağış verileri ile kuraklık analizi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 541-549.
- Yücer, A. A., 2020, The Land Use in Turkey: A General Assessment and Affecting Factors, *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 8, 102-116.
- Zhang, J., Zhang, Y., Song, J., Cheng, L., Gan, R., Shi, X., Luo, Z., Zhao, P., 2017, Comparing hydrological modelling, linear and multilevel regression approaches for predicting baseflow index for 596 catchments across Australia, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* (Preprint).
- Zhang, Y., He, B., Guo, L., Liu, D., 2019, Differences in Response of Terrestrial Water Storage Components to Precipitation over 168 Global River Basins, *Journal of Hydrometeorology*, 1981-1999.
- Zou, M., Niu, J., Kang, S., Li, X., Lu, H., 2017 The contribution of human agricultural activities to increasing evapotranspiration is significantly greater than climate change effect over Heihe agricultural region, *Scientific Reports*, 7 (8805), 1-14.

EKLER

EK- 1 Konya Kapalı Havzası'nın jeolojik formasyonunun alansal dağılımı (Khorrami ve ark., 2021)



EK- 2 Konya Kapalı Havzası'nın stratigrafik dizilimi (Khorrami ve ark., 2021)

U.SYSTEM	SYSTEM	SERIE/Age	LITHOLOGY	EXPLANATION
CENOZOIC	Quaternary	Pleistocene Holocene		Generally shallow lacustrine, in place terrestrial gravel, sand, clay, slightly consolidated conglomerate, sandstone, mudstone, marl and slope debris Discordance
	Neogene	Miocene Pliocene		Generally lacustrine and terrestrial limestone, clayey limestone dolomitic limestone and dolomite and volcanic rocks at the bottom conglomerate, sandstone, mudstone and marl interbeds and lenses in place. Discordance
	Paleogene	Paleocene Eocene Oligocene		Deep sea limestone, clayey limestone, marl, dolomitic limestone and dolomite, with conglomerate, sandstone and mudstone interbeds and lenses and magmatic and volcanic rocks Discordance
MESOZOIC	Upper Cretaceous	Upper Cretaceous		Ophiolitic rocks Thrust
	Triassic-Jurassic-Cretaceous	Triassic-Cretaceous		Metasedimentary interbedded low metamorphic metacarbonate rocks Discordance
PALEOZOIC	U. Paleozoic	Devonian Permian		Metasedimentary, metamagmatic and metacarbonate rocks with magmatic intrusion