T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

IMERG NASA VE ERA 5/ERA 5-LAND VERİLERİNİ KULLANARAK KOCAELİ İLİNİN KURAKLIK DEĞERLENDİRMESİ

Emine ÖĞSÜZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik Programı

Danışman

Doç. Dr. Eyüp ŞİŞMAN

Mart, 2025

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

IMERG NASA VE ERA 5/ERA 5-LAND VERİLERİNİ KULLANARAK KOCAELİ İLİNİN KURAKLIK DEĞERLENDİRMESİ

Emine ÖĞSÜZ tarafından hazırlanan tez çalışması 19.03.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Hidrolik Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Eyüp ŞİŞMAN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Eyüp ŞİŞMAN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Hayrullah AĞAÇCIOĞLU, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Ömer EKMEKÇİOĞLU, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Doç. Dr. Eyüp ŞİŞMAN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "IMERG NASA VE ERA 5/ERA 5-LAND Verilerini Kullanarak Kocaeli İlinin Kuraklık Değerlendirmesi" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Emine ÖĞSÜZ

Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü'nün Genel Araştırma Projesi FBA-2024-6492 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Değerli Aileme

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve gerçekleştirilmesinde bilgisini, tecrübesini ve desteğini esirgemeyen, değerli görüş ve önerileri ile daima bana yol gösteren, tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Eyüp Şişman'a sonsuz saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince bilgi ve tecrübelerini paylaşan, değerli görüş ve önerileri ile çalışmamı geliştiren, fikirleri ile katkı sağlayan değerli arkadaşım Ahmad Abu Arra'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreç boyunca ve hayatımın her aşamasında beni sonsuz sabır ve sevgi ile destekleyen, her daim yanımda olan kıymetli aileme, annem ve babama, en derin teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışmamın her aşamasında destek ve yardımları ile yanımda olan, değerli görüş ve tavsiyeleri ile çalışmama katkı sağlayan arkadaşlarıma ve yüksek lisans sürecimde bana destek olan tüm dostlarıma teşekkür ederim.

Emine ÖĞSÜZ

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ ..... **x**

KISALTMA LİSTESİ ..... **xii**

ŞEKİL LİSTESİ ..... **xiv**

TABLO LİSTESİ ..... **xvi**

ÖZET ..... **xvii**

ABSTRACT ..... **xxii**

1 GİRİŞ **1**

1.1 Literatür Özeti 1

1.2 Tezin Amacı 11

2 KURAKLIK **13**

2.1 Kuraklık Tanımı 13

2.2 Kuraklık Türleri 13

2.2.1 Meteorolojik Kuraklık 13

2.2.2 Tarımsal Kuraklık 14

2.2.3 Hidrolojik Kuraklık 14

2.2.4 Sosyo-Ekonomik Kuraklık 15

2.3 Kuraklık Etkileri 15

2.3.1 Ekonomik Etkiler 15

2.3.2 Sosyal Etkiler 16

2.3.3 Çevresel Etkiler 16

2.4 Kuraklık İndisleri 17

3 YÖNTEM 18

3.1 Yağış Verileri Kalite Kontrolü 18

3.2.1 Pettitt Testi 18

3.2.2 Buishand Sıra Testi 20

3.2.3 Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT) 20

3.2 Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (PDF) 21

3.3 Kuraklık Analizleri 22

3.3.1 Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) 22

3.4 Kuraklık Özellikleri 24

3.4.1 Kuraklık Süresi 24

3.4.2 Kuraklık Şiddeti 25

3.4.3 Kuraklık Sıklığı 25

3.4.4. Kuraklık Etki Alanı 25

3.5 Farklı Kaynaklara ait Yağış Ürünlerinin ve Kuraklık İndis Sonuçlarının Çeşitli Metrikler ile İncelenip Değerlendirilmesi 25

3.5.1 Belirleme Katsayısı (R^2) 27

3.5.2 Korelasyon Katsayısı (CC) 27

3.5.3 Kök Ortalama Kare Hata (RMSE) 27

3.5.4 Göreli Yanlılık Yüzdesi (RBP) 27

3.6 Yenilikçi Kuraklık Sınıflandırma Matrisi (IDCM) 28

3.7 Kuraklık Haritalarının Oluşturulması 29

3.7.1 Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi (IDW).....29

4 ÇALIŞMA ALANI VE VERİLER.....31

4.1 Kocaeli.....31

4.2 Veriler.....33

4.2.1 MGM Yağış Gözlem İstasyonları.....34

4.2.2 ERA 5 Yeniden Analiz Yağış Verileri.....34

4.2.3 ERA 5-Land Yeniden Analiz Yağış Verileri.....36

4.2.4 IMERG NASA Yağış Verileri.....37

5 BULGULAR VE TARTIŞMA.....39

5.1 Homojenlik Analiz Sonuçları.....39

5.2 Kuraklık Analizleri için Zaman Periyodunun Belirlenmesi.....40

5.2.1 Farklı zaman periyotları için kuraklık analiz sonuçlarının metrikler ile değerlendirilmesi.....41

5.2.2 Farklı zaman periyotları için kuraklık analiz sonuçlarının Yenilikçi Kuraklık Sınıflandırma Matrisi (IDCM) ile değerlendirilmesi.....43

5.3 MGM Gözlem-ERA 5 /ERA 5 LAND ve IMERG NASA Yağış Ürünlerinin Çeşitli Metrikler Yardımıyla İncelenmesi.....47

5.3.1 MGM Gözlem-ERA 5-ERA 5 LAND ve IMERG NASA için Aylık ve Yıllık Yağış Zaman Serileri.....49

5.4 MGM Gözlem-ERA 5-ERA 5 LAND ve IMERG NASA Yağış Verileri ve Olasılıkları.....50

5.5 SPI Kuraklık Analiz Sonuçları.....56

5.5.1 MGM, ERA 5, ERA 5 LAND ve IMERG NASA SPI Sonuçlarının Metrikler ile Karşılaştırılması.....56

5.5.2 MGM, ERA 5, ERA 5 LAND ve IMERG NASA SPI Sonuçlarının IDCM ile Karşılaştırılması.....59

5.5.3 SPI Kuraklık Analiz Sonuçları Zaman Serisi Grafikleri.....61

5.6 Kuraklık Özellikleri: Kuraklık süresi ve kuraklık şiddeti.....67

5.7 Kuraklık Haritaları 70
5.7.1 Kritik Kuraklık Dönemi Haritaları 70
5.7.2 Kocaeli Ortalama Kuraklık Süresi Haritaları 73
5.7.3 Ortalama Kuraklık Şiddeti Haritaları 76
6 SONUÇ 80
KAYNAKÇA 82
A IDCM TABLOLARI 88
B ZAMAN SERİLERİ GRAFİKLERİ 104
C KURAKLIK HARİTALARI 116
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 134

SİMGE LİSTESİ

p	Ağırlık fonksiyonunun bir parametresi
H_a	Alternatif hipotez
R^2	Belirleme Katsayısı
Z_i	Bilinen i noktasının değeri
x_i	Gözlemlenen değerler
$\bar{x}$	Gözlemlenen değerlerin ortalaması
$\bar{z}_1$	İlk alt grubun normalize ortalaması
$\bar{z}_2$	İkinci alt grubun normalize ortalaması
S_k^*	Kısmi toplam
T_0	Maksimum test istatistiği
y_i	Model ve uydu tabanlı değerler
$\bar{y}$	Model ve uydu tabanlı değerlerin ortalaması
c	Olası değişim noktası
X_k	Pettitt test istatistiği
H_0	Sıfır hipotezi
r_n	Sıralanmış veri değerleri
$Z(u)$	Tahmini değeri alınmak istenen nokta
d_i	Tahmini yapılmak istenen nokta ile i noktası arasındaki mesafe
T(c)	Test istatistiği
R	Test düzeltme değeri
k	Veri noktalarının sırası
$\bar{y}$	Veri setinin genel ortalaması
σ	Veri setinin standart sapması
X_E	X_k'nın mutlak maksimum değeri

Y_n	Zaman serisindeki ham veri değerleri
Y_i	Zaman serisindeki i-inci veri noktası
n	Zaman serisindeki toplam veri sayısı
$\bar{Y}$	Zaman serisinin ortalama değeri
S	Zaman serisinin standart sapması

KISALTMA LİSTESİ

BT	Buishand Testi
C3S	Copernicus Climate Change Service
CC	Correlation Coefficient
CHIRPS	Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
GSMaP	Global Satellite Mapping of Precipitation
IDCM	Innovative Drought Classification Matrix
IDW	Inverse Distance Weighted
IFS	Integrated Forecast System
IMERG	Integrated Multi-Satellite Retrievals for GPM
IMD	India Meteorological Department
MBE	Mean Bias Error
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NSE	Nash-Sutcliffe Efficiency
PDF	Probability Density Function
PDSI	Palmer Drought Severity Index
POWER	Prediction of Worldwide Energy Resources
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu
PT	Pettitt Testi
RB	Relative Bias
RMSE	Root Mean Square Error
RTP	Referans Tekrar Periyodu
SMAP	Soil Moisture Active Passive
SNHT	Standard Normal Homogeneity Test

SPI	Standardized Precipitation Index
SPEI	Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index
SWAT	Soil and Water Assessment Tool
TMPA	TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
WMO	World Meteorological Organization

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Yenilikçi Kuraklık Sınıflandırma Matrisi (Abu Arra ve Şişman, 2024).29

Şekil 4.1 Kocaeli MGM yağış gözlem istasyonları.....32

Şekil 4.2 ERA 5 veri setleri için Kocaeli'ndeki grid noktaları dağılım haritası...35

Şekil 4.3 ERA 5 Land veri setleri için Kocaeli'ndeki grid noktaları dağılım haritası 37

Şekil 4.4 IMERG NASA veri setleri için Kocaeli'ndeki grid noktaları dağılım haritası.....38

Şekil 5.1 SPI 1-3 kuraklık sonuçları regresyon modelleri(a-d).....42

Şekil 5.2 SPI 6-12 kuraklık sonuçları regresyon modelleri(a-d).....43

Şekil 5.3 MGM gözlem istasyonları, ERA 5, ERA 5 LAND ve IMERG NASA yağış verileri zaman serileri.. …….....…50

Şekil 5.4 Kocaeli MGM yağış gözlem istasyonu ve en yakın grid noktasındaki ERA 5, ERA 5 LAND ve IMERG NASA veri kaynakları için 2005-2023 aylık ortalama yağışların ve olasılık dağılımları 53

Şekil 5.5 Havalimanı MGM yağış gözlem istasyonu ve en yakın grid noktasındaki ERA-5, ERA-5 LAND ve IMERG NASA veri kaynakları için 2005-2023 aylık ortalama yağışları ve olasılık dağılımları.....54

Şekil 5.6 Gölcük MGM yağış gözlem istasyonu ve en yakın grid noktasındaki ERA-5, ERA-5 LAND ve IMERG NASA veri kaynakları için 2005-2023 aylık ortalama yağışları ve olasılık dağılımları.....55

Şekil 5.7 Gebze MGM yağış gözlem istasyonu ve en yakın grid noktasındaki ERA-5, ERA-5 LAND ve IMERG NASA veri kaynakları için 2005-2023 aylık ortalama yağışları ve olasılık dağılımları 56

Şekil 5.8 Kocaeli MGM gözlem istasyonu, ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA grid noktaları için 2005-2023 SPI 1 kuraklık analiz sonuçları zaman serileri 63

Şekil 5.9 Havalimanı MGM gözlem istasyonu, ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA grid noktaları için 2005-2023 SPI 1 kuraklık analiz sonuçları zaman serileri.....64

Şekil 5.10 Gölcük MGM gözlem istasyonu, ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA grid noktaları için 2005-2023 SPI 1 kuraklık analiz sonuçları zaman serileri.....65

Şekil 5.11 Gebze MGM gözlem istasyonu, ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA grid noktaları için 2005-2023 SPI 1 kuraklık analiz sonuçları zaman serileri.....66

Şekil 5.12 Kocaeli MGM gözlem istasyonu, için SPI 1 2023 Ocak ayına ait kuraklık haritası 71

Şekil 5.13 ERA 5 grid noktaları için SPI 1 Kocaeli ortalama kuraklık süresi haritası 72

Şekil 5.14 ERA5-Land grid noktaları için SPI 1 Kocaeli ortalama kuraklık şiddeti haritası 72

Şekil 5.15 IMERG NASA grid noktaları için SPI 1 2023 Ocak ayına ait kuraklık haritası.....73

Şekil 5.16 Kocaeli MGM gözlem istasyonu için SPI 1 Kocaeli ortalama kuraklık süresi haritası.....74

Şekil 5.17 ERA 5 grid noktaları için SPI 1 Kocaeli ortalama kuraklık süresi haritası 75

Şekil 5.18 ERA5-Land grid noktaları için SPI 1 Kocaeli ortalama kuraklık süresi haritası.....75

Şekil 5.19 IMERG NASA grid noktaları için SPI 1 Kocaeli ortalama kuraklık süresi haritası.....76

Şekil 5.20 Kocaeli MGM gözlem istasyonu için SPI 1 Kocaeli ortalama kuraklık şiddeti haritası.....77

Şekil 5.21 ERA 5 grid noktaları için SPI 1 Kocaeli ortalama kuraklık şiddeti haritası 78

Şekil 5.22 ERA5-Land grid noktaları için SPI 1 Kocaeli ortalama kuraklık şiddeti haritası 78

Şekil 5.23 IMERG NASA grid noktaları için SPI 1 Kocaeli ortalama kuraklık şiddeti haritası.....81

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 Pettitt testi için veri sayısına göre %99 ve %95 güven aralığında (GA) kritik XT test istatistiği değerler 20

Tablo 3.2 Buishand testi için veri sayısına göre %99 ve %95 güven aralığında (GA) Rn kritik değerleri 20

Tablo 3.3 SNHT için veri sayısına göre %99 ve %95 güven aralığında (GA) T0 kritik değerleri..... 21

Tablo 3.4 Kuraklık/Nemlilik sınıflandırması (McKee vd., 1993) 24

Tablo 3.5 Karşılaştırma metrikleri 26

Tablo 4.1 Kullanılan yağış veri kaynakları ve özellikleri 34

Tablo 4.2 MGM yağış istasyonları ve tanımlayıcı istatistikler..... 34

Tablo 5.1 MGM Kocaeli gözlem istasyonları aylık toplam yağış verileri homojenlik test sonuçları (2005-2023)..... 40

Tablo 5.2 Kocaeli merkez yağış gözlem istasyonunda üç farklı (60-30-20 yıl) zaman senaryosu için SPI kuraklık indis sonuçlarının metrikler yardımıyla karşılaştırılması..... 42

Tablo 5.3 Kocaeli yağış gözlem istasyonunda 60/20 yıl zaman senaryoları SPI 1, SPI 3, SPI 6 ve SPI 12 kuraklık indis sonuçlarının IDCM yardımıyla karşılaştırılması (a-d)..... 45

Tablo 5.4 Kocaeli yağış gözlem istasyonunda 30/20 yıl zaman senaryoları SPI 1, SPI 3, SPI 9 ve SPI 12 kuraklık indis sonuçlarının IDCM yardımıyla karşılaştırılması (a-d)..... 46

Tablo 5.5 MGM gözlem- ERA 5/ERA 5 LAND/ IMERG NASA aylık toplam yağış verilerinin metrikler ile karşılaştırma sonuçları (a-d)..... 48

Tablo 5.6 MGM, ERA 5, ERA 5 LAND ve IMERG NASA veri kaynakları uzun yıllar aylık ortalama yağışları ve olasılıkları (a-d)..... 51

Tablo 5.7 SPI kuraklık indis sonuçlarının metrikler ile karşılaştırılması (a-d)..... 57

Tablo 5.8 SPI kuraklık analiz sonuçlarının IDCM ile karşılaştırılması..... 61

Tablo 5.9 İstasyon ve uydu tabanlı verilerin kuraklık özellikleri (a-d)..... 68

ÖZET

IMERG NASA ve ERA 5/ERA 5-Land Verilerini Kullanarak Kocaeli İlinin Kuraklık Değerlendirmesi

Emine ÖĞSÜZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Eyüp ŞİŞMAN

Küresel iklim değişikliğine bağlı olarak yağışlardaki azalma ve sıcaklık artışları kuraklık olaylarını her geçen gün daha da arttırmakta ve son yıllarda yaşanan kuraklıklar önemli bir küresel sorun haline gelmiştir. Bu tez çalışması kapsamında Türkiye'nin önemli sanayi şehirlerinden biri olan Kocaeli için, ayrıntılı zamansal ve mekânsal kuraklık analizleri gerçekleştirilerek yaşanan kuraklıklara ilişkin değerlendirmelerde bulunulacaktır. Bu tez çalışmasında, il genelindeki gözlem, çeşitli yeniden analiz ve uydu veri kaynaklarının kuraklık analizleri için ne ölçüde kullanılabilir olduğu araştırılmaktadır. Çalışmada kuraklık analizleri için literatürde en sık kullanılan indislerden biri olan Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) kullanılmıştır. İlgili kuraklık indis hesapları için, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün (MGM'nin) gözlem, model tabanlı ERA 5 ve ERA 5-Land yeniden analiz, son olarak da IMERG NASA uydu veri kaynağından temin edilen yağış ürünleri kullanılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda eldeki gözlem verilerinin

kısıtlı olması sebebiyle, istasyonlara bağlı elde edilen zamansal ve özellikle de uzamsal kuraklık değerlendirmeleri oldukça sınırlıdır. Ayrıntılı kuraklık değerlendirmeleri için, Dünya Meteoroloji Örgütü'nün kabul ve tavsiyelerine uyulduğunda, sadece Kocaeli istasyon verisi veya buna eklenebilecek birkaç istasyon ile Kocaeli genelinde kapsamlı bir değerlendirmede bulunulamayacağı anlaşılmaktadır. Gözlem verileri yanı sıra, son yıllarda literatürde kuraklık dahil pek çok araştırmada yeniden analiz ve uydu yağış ürünlerinin kullanımının giderek yaygınlaştığı görülmektedir. Bu çalışmada, Kocaeli ili için dört adet MGM gözlem istasyon verisi yanı sıra çözünürlükleri ölçüsünde ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA model ve uydu tabanlı yağış verileri kullanılarak kapsamlı kuraklık analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, 30 yıldan kısa süreli veri setleri de kullanılarak zamansal analizler yapılmış, farklı veri kaynaklarının performansları istatistiksel metriklerle değerlendirilmiştir. İstasyon, uydu ve model tabanlı yağış verileri arasındaki farklar da incelenmiştir. SPI metodolojisi kullanılarak 1, 3, 6, ve 12 aylık zaman ölçeklerinde zamansal kuraklık analizleri gerçekleştirilmiş ve sonrasında çeşitli kuraklık özellikleri belirlenmiştir. Alansal değerlendirmeler kapsamında ise, kuraklık olaylarının mekânsal dağılımı istasyon, uydu ve model tabanlı veriler kullanılarak üretilen kuraklık haritaları yardımıyla incelenerek yorumlanmıştır. Analiz sonuçları farklı veri kaynaklarının kuraklık analizlerindeki etkisini, benzerlik ve farklılıklarını ve her bir veri kaynağının belli kabuller altında güvenilirliğini ortaya koymaktadır. Yapılan analizler sonucunda, IMERG NASA uydu ve ERA 5, ERA 5-LAND yeniden analiz verilerinin, istasyon verilerinin yetersiz kaldığı durumlarda, önemli bir tamamlayıcı olabileceği ortaya konulmuştur. Elde edilen bulgular, Kocaeli ili özelinde kuraklık yönetimi ve su kaynaklarının sürdürülebilir planlanmasına yönelik bilimsel bir temel sunmaktadır. Yapılan çalışma göstermiştir ki, kuraklık planlama ve yönetim süreçlerinde bu ve benzer veri kaynaklarının kullanımı karar alma süreçlerinde önemli avantajlar sağlayacaktır. İlgili veri kaynaklarının, farklı alanlarda ve çeşitli iklim koşullarında, kullanımının yaygınlaşması şüphesiz gelecekte kuraklık analizlerinin kapsamını ve doğruluğunu artıracaktır. Sonuç olarak, Kocaeli ili örneğinde olduğu şekilde, kuraklık olaylarının nispeten küçük ölçeklerde il ve ilçe genelinde daha detaylı ve güvenilir bir şekilde analiz edilmesi için, gözlem verileriyle birlikte yeniden analiz ve uydu verilerinin de kullanımının mümkün olduğu ve gelecekte söz konusu

ürünlerin kuraklık analizi konularındaki çalışmalarda daha da yaygınlaşacağı anlaşılmaktadır. Bu araştırma bulgularının, kuraklık konusundaki planlama, tasarım ve risk yönetimi süreçlerine önemli katkılar sunması ve başta su yönetimi konusunda yetkili idareler olmak üzere ilgili tüm paydaşlara kısa, orta ve uzun vadeli ortak strateji ve planlamalar konusunda objektif bilimsel çıktılar ışığında yol göstermesi beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kuraklık, Kocaeli, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI), ERA 5 ve ERA 5-LAND Yeniden analiz yağış verileri, IMERG NASA Uydu yağış verileri

ABSTRACT

Drought Assessment of Kocaeli Province Using IMERG NASA and ERA5/ERA5-Land Data

Emine ÖĞSÜZ

Department of Civil Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Doç. Dr. Eyüp ŞİŞMAN

Due to global climate change, decreasing precipitation and increasing temperatures are intensifying drought events with each passing day, and droughts experienced in recent years have become a significant global concern. Within the scope of this thesis, comprehensive temporal and spatial drought analyses are conducted for Kocaeli, one of Türkiye's major industrial cities, and the drought characteristics are evaluated in detail. The study investigates how observational, various reanalysis, and satellite-based data sources across the province can be used for drought analysis. For this purpose, one of the most commonly used indices in literature, the Standardized Precipitation Index (SPI), has been employed. The relevant drought index calculations were performed using precipitation data from the Turkish State Meteorological Service (TSMS) observations, the model-based ERA5 and ERA5-Land reanalysis products, and the IMERG NASA satellite-based dataset. The findings indicated that, due to the limited availability of observational data, the temporal and especially spatial assessments of drought based solely on station data remain rather restricted. When the recommendations and standards of the World Meteorological Organization (WMO) are considered for detailed drought

assessments, it becomes evident that a comprehensive evaluation across Kocaeli cannot be achieved using only the Kocaeli station data or a few additional stations. In addition to observational data, it is seen that the use of reanalysis and satellite precipitation products has become increasingly common in the literature for various studies, including drought. In this study, besides the four TSMS observation stations located in Kocaeli, high-resolution ERA5, ERA5-Land, and IMERG NASA reanalysis and satellite precipitation datasets were also used to conduct comprehensive drought analysis. Temporal analyses were performed using datasets with less than 30 years of data, and the performance of different data sources was evaluated using statistical metrics. Differences between station, satellite, and model-based precipitation data were also investigated. Using the SPI methodology, temporal drought analyses were conducted at 1-, 3-, 6-, and 12-month scales, and various drought characteristics were identified. Regarding spatial assessments, the spatial distribution of drought events was interpreted using drought maps produced with station, satellite, and model-based data. The analysis results reveal the impact of different data sources on drought assessment, their similarities and differences, and their relative reliability under certain assumptions. Ultimately, the findings demonstrate that IMERG NASA satellite data and ERA5/ERA5-Land reanalysis products can serve as important complementary sources in cases where observational data is insufficient. The results provide a scientific basis for drought management and sustainable water resource planning for the Kocaeli region. This study clearly shows that integrating such data sources into drought planning and management processes can offer significant advantages in decision-making. The increasing use of these data products in various regions and climate conditions will undoubtedly enhance the scope and accuracy of future drought analyses. In conclusion, as demonstrated in the case of Kocaeli, integrating reanalysis and satellite data with observational data makes it possible to perform more detailed and reliable drought assessments even at provincial and sub-provincial scales. The findings of this research are expected to contribute significantly to planning, design, and risk management processes related to drought, and to guide all relevant stakeholders, especially water management authorities, in developing short-, medium-, and long-term strategies and plans based on objective scientific outputs.

Keywords: Drought, Kocaeli, Standardized Precipitation Index (SPI), ERA 5 and ERA 5-Land reanalysis precipitation data, IMERG NASA satellite precipitation data

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Kuraklık, su dengesindeki negatif yönlü sapmalar sonucunda az veya çok belirli olasılıklarda görülen, zaman ve konuma değişkenlerine bağlı önemli bir doğa olayıdır. Su döngüsündeki çok sayıda değişken ile etkileşimde bulunmasından dolayı ayrıntılı şekilde izlenmesi, özelliklerinin tanımlanması, değerlendirilmesi ve yorumlanmasının önünde pek çok önemli güçlük bulunur. Wilhite (2000) kuraklığı, karmaşık yapılı ve çok sayıda insanı etkileyen, doğal afetlerin başında saymıştır. Kuraklık, zamanı ve özellikleri tam olarak öngörülememesine karşın, belli koşullar altında tekrarlayan bir iklim olayı olarak da ifade edilmektedir.

Kuraklık ile ortaya çıkan olası tahribatların önlenebilmesi veya asgari seviyelere indirilebilmesinde bilimsel araştırmaların önemi büyüktür. Literatürde kuraklık üzerine belli başlı konularda çok sayıda araştırmanın yürütüldüğü görülmektedir. Bunlar arasında, son yıllarda kuraklık olaylarının izlenmesi ve kuraklık özelliklerinin tanımlanması için geliştirilen, kuraklık indisleri önemli bir paya sahiptir. Sıkça kullanılan indisler incelendiğinde Mckee vd. (1993) tarafından önerilen Standartlaştırılmış Yağış İndisi 'nin (SPI) araştırmalarda daha fazla tercih edildiği görülmektedir. Kuraklık indis hesapları öncesinde, kullanılan veri setlerine en uygun olasılık dağılım fonksiyonları belirlenmektedir. Seçilen dağılım fonksiyonu indis hesaplamalarında önemli hatalara sebep olabilir, bu durum kuraklık özelliklerini az veya çok etkileyebilir. McKee vd. (1993) tarafından sunulan orijinal SPI makalesinde, yağış verilerine en uygun olasılık dağılım fonksiyonu, iki parametreli Gama dağılımı (2P) olarak verilmiştir.

SPI metodolojisinin önerildiği ilk yıllarda, Amerika Birleşik Devletleri'nin güney ovaları ve güneybatısı bu indis kullanılarak Hayes vd. (1999) tarafından incelenmiştir. Bu çalışmada, kuraklığın başlangıcının nasıl tespit edileceği ve zaman içinde nasıl izlenebileceği, farklı zaman ölçekleri için oluşturulan SPI haritaları aracılığıyla gösterilmiştir. Haritalar ile 1995'in sonlarında başlayan ve 1996 yaz-sonbahar döneminde sona eren kuraklığın mekânsal ve zamansal gelişimi ortaya konulmuştur. Ayrıca çalışma kapsamında, Teksas eyaleti özelinde kuraklık koşullarının daha ayrıntılı analiz edildiği bir vaka çalışmasına da yer verilmiştir. Bu vaka çalışması, SPI'nın bölgesel düzeyde olduğu kadar yerel ölçekte de uygulanabilirliğini göstermesi açısından önemlidir.

Svoboda vd. (2002) Amerika Birleşik Devletleri'nde kuraklık koşullarını izlemek ve değerlendirmek amacıyla ABD Kuraklık Monitörü "(U.S. Drought Monitor – USDM)" adlı yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yöntem, kuraklık koşullarını izlemek ve haritalandırmak için kullanılmıştır. Yöntem ile ABD'nin farklı bölgelerindeki kuraklık durumu görsel olarak değerlendirilerek paydaşlar, su kaynakları yöneticileri, tarım uzmanları ve halk bilgilendirilmiştir. Kuraklık olaylarının izlenmesinde, haftalık olarak güncellenen haritalarla kuraklık durumu değerlendirilmektedir.

Literatürde geçmişten günümüze doğru gelinecek olur ise konuyla ilgili çok sayıda araştırmanın olduğu ve son yıllarda iklim değişikliğinin de etkisiyle yaşanan kuraklık olaylarındaki artışa da paralel araştırmaların önemli ölçüde arttığı anlaşılmaktadır. Literatürdeki araştırmalar incelendiğinde bazı çalışmalar bu tez çalışması kapsamında ön plana çıkmıştır.

Wilhite ve Glantz'in (1985) araştırması bunlardan birisi olup, kuraklık kavramının tanımı konusundaki belirsizliklerin, kuraklığın anlaşılması ve yönetilmesinde önemli bir engel oluşturduğu tartışılmıştır. Kuraklığın evrensel bir tanımının yapılamayacağı, farklı disiplinlerin (meteoroloji, tarım, hidroloji ve sosyo-ekonomi) kuraklığa bakış açılarında farkların olduğu ifade edilmiştir. Bu nedenle, çalışmada kuraklık tanımlarının disipliner perspektiflere göre dört ana gruba ayrılarak incelenmesi önerilmiştir. Tanımların kullanılacağı bölgenin iklim ve sosyo-ekonomik koşullarına uygun, açık ve nesnel ölçütlere dayalı olması gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıca, kuraklığın yalnızca fiziksel bir olay olarak değil; su talebi,

sosyal yapı ve yönetim kapasitesi gibi insan etkileriyle şekillenen dinamik bir süreç olarak değerlendirilmesi gerektiği ifade edilmiştir.

Bir diğer çalışma "Türkiye'de kurak bölgeler ve önemli kurak yıllar" başlıklı Türkeş (1990) tarafından tamamlanan doktora tezidir. Tez kapsamında, Türkiye'de 150 meteoroloji istasyonunda 1956-1987 yılları arasında ölçülen 32 yıllık gözlem verileri kullanılarak, ülkemizdeki kurak bölgeler ve önemli kurak yıllar tüm yönleriyle incelenmiştir. Çalışmada Erinç kuraklık indisi kullanılarak Türkiye'nin yaklaşık %75'inin 5-8 ay süren kurak ve yarı kurak iklim koşullarına sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu sürenin güneyden kuzeye doğru azaldığı ve özellikle Karadeniz kıyılarında kurak ya da yarı kurak bir devreye rastlanılmadığı belirtilmiştir.

McKee vd. (1993)'nin yapmış olduğu çalışmada, kuraklık tanımı, sıklığı, süresi ve büyüklüğünü değerlendirebilmek amacıyla, zaman ölçeği temelli ve istatistiksel olarak standartlaştırılmış bir yaklaşım olan Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) metodolojisi geliştirilmiştir. SPI, belli zaman ölçekleri için (örneğin 3, 6, 12, 24 ve 48 ay) hesaplanarak, kuraklık olaylarının başlangıç ve bitiş tarihleri ile, kuraklık şiddeti, süresi ve toplam büyüklüğü gibi özellikleri tanımlanmıştır. Çalışmada, zaman ölçeğindeki artışa bağlı kuraklıkların daha az sıklıkla ancak daha uzun süreli gerçekleştiği ortaya konulmuştur.

Kuraklık konusunda 2000'li yılların başından itibaren indisler kullanılarak yapılan çok sayıda çalışmanın olduğu ve bunlar içerisinde sıklıkla SPI metodolojisinin tercih edildiği görülmektedir.

Gökkür (2003) Ege bölgesinde bulunan 20 istasyon için 1971 ile 2001 yılları arasındaki yağış verilerini ve SPI yöntemini kullanarak kuraklık analiz çalışması gerçekleştirmiştir. Tez çalışmasında istasyonlara göre elde edilen SPI değerlerini grafiksel olarak sunmuş ve elde ettiği bulgulara göre istasyonların, ocak ile mart ayları arasında nemli veya yarı nemli olduğunu, mart ile temmuz ayları arasında ise yarı kurak koşulların sıklıkla görüldüğü saptanmıştır. İncelediği istasyonlar arasında sadece Nisan ayında Kütahya'da şiddetli kurak koşulların görülebildiği belirtilmiştir.

SPI indisinin kullanıldığı bir diğer araştırmada Pamuk vd. (2004) Ege Bölgesindeki kuraklık olaylarını incelemişlerdir. Çalışmada kuraklığın, insan hayatı ve

ekonomisi üzerinde büyük etkiye sahip önemli doğal afetlerden biri olduğu ve farklı meteorolojik ve çevresel koşullar altında geliştiği ifade edilmiştir. Çalışma kapsamında, kış aylarındaki ortalama SPI değerlerinin "orta derece kuraklık" sınırına yakın olduğu, bu aylarda kuraklık koşullarının belirginleşmeye başladığı ancak yine de bu seviyenin "orta" sınırlarda kaldığı tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, yıllık değerlendirmelere de tüm aylık ortalama SPI değerleri "normal" sınırlar içerisinde yer almıştır.

Wu vd. (2007) tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi'nin (SPI), kurak iklimlerde ve düşük yağışlı mevsimlerde, kısa zaman ölçeklerinde kullanımı ve sınırlamaları incelenmiştir. Çalışmada, Amerika Birleşik Devletleri genelinde seçilen 218 meteoroloji istasyonuna ait günlük yağış verileri kullanılarak, 1 ila 24 haftalık zaman ölçeklerinde SPI değerleri hesaplanmış ve normallik testleri uygulanmıştır. Elde edilen bulgular, kısa süreli SPI verilerinin kurak ve aşırı yağış (sel) durumlarını birbirine benzer şekilde yansıtabilme eğiliminde olduğunu göstermiştir; bu durum, verilerin yorumlanmasında dikkatli olunması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Wu ve arkadaşları kuraklık analizlerinde yalnızca şiddet üzerinde durmak yerine, olayın süresine de odaklanılmasının önemine vurgu yaparak, SPI değerlerinin bağlam içinde doğru yorumlanmasının, etkin kuraklık değerlendirmesi için kritik olduğunu belirtmişlerdir.

Lorenzo-Lacruz vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada, iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkileri, İspanya'daki Tagus Nehri havzasının kaynak alanlarında, SPI (Standartlaştırılmış Yağış İndeksi) ve SPEI (Standartlaştırılmış Yağış-Evapotranspirasyon İndeksi) yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışma alanı, güneydoğu İspanya'ya su sağlayan iki büyük rezervuarı içeren, stratejik öneme sahip bir havzadır. Yapılan analizler, 1970'lerden bu yana havzada kuraklık koşullarının hakim olduğunu ortaya koymuştur. Nehir debisi ve rezervuar depolama seviyeleri, özellikle SPEI'ye dayalı olarak daha yüksek yanıtlar vermiştir; bu durum, yağışın iklimsel değişkenlikteki önemli rolünü doğrularken, sıcaklığın etkisinin de göz ardı edilmemesi gerektiğini göstermektedir.

Sırdaş ve Şen (2003) "Meteorolojik kuraklık modellemesi ve Türkiye uygulaması" başlıklı çalışmalarında, Türkiye'nin yarı kurak iklim koşullarında, kuraklığın

zamansal ve alansal değişimi analiz edilmiştir. Kuraklık değerlendirmesinde Standart Yağış İndeksi (SPI) kullanılarak farklı zaman ölçeklerinde kuraklık genliği, süresi ve şiddeti belirlenmiştir. Kuraklık süresi ve genliği arasındaki ilişki saçılma grafikleri ile incelenmiş, minimum ve maksimum kuraklık büyüklükleri haritalandırılmıştır. Sonuçlara göre, Mersin gibi bazı bölgelerde kuraklığın daha şiddetli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, kuraklığın düzenli izlenmesi ve yönetilmesi gerektiği ortaya konulmuştur. Bu bağlamda, farklı disiplinlerden uzmanların yer alacağı Ulusal Kuraklık Önleme Merkezi (UKÖM) kurulması önerilmiştir.

Atmaca (2011) yüksek lisans tezinde, Konya ili için bölgesel kuraklık analizlerini L-moment yöntemi ve Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) yöntemlerini kullanarak gerçekleştirmiştir. Farklı zaman ölçeklerinde (3, 6, 9 ve 12 ay) kümülatif yağış serileri oluşturularak istasyonlar, L-moment oranlarına göre homojen alt bölgelere ayrılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, istasyon verilerinin homojen olduğu belirlenmiştir. Bölgesel dağılımlar kullanılarak hesaplanan SPI değerleri, çalışma alanında hafif ve orta şiddette kuraklık koşullarının baskın olduğunu göstermektedir.

Topçu (2013) yüksek lisans tezi kapsamında, Seyhan Havzası'nda bulunan 11 meteoroloji gözlem istasyonun uzun yıllar aylık yağış verileri zaman serilerini kullanarak, SPI yöntemi ile kuraklık olaylarını analiz edip, L-Momentler yöntemiyle de belirlediği en kurak ayların bölgesel frekans analizlerini gerçekleştirmiştir. Elde ettiği sonuçlar tüm istasyonların kuraklık riski taşıdığını göstermiştir. Ortalama SPI değerlerini dikkate alarak en kurak istasyonun Karaisalı olduğu belirlenmiştir. Havza, kuraklık riski olan hafif nemli bir havza olarak tanımlanmış ve kuraklığın oluşma frekansı %47,7 olarak hesaplanmıştır.

Son on yılda kuraklık üzerine yapılan araştırmaların sayısı önemli ölçüde artarken, bunlar içerisinde kuraklık indislerinin önemli paya sahip olduğu ve özellikle de SPI indisinin çok kullanıldığı görülmektedir.

Aksoy vd. (2018) yaptıkları çalışmada, Gediz Havzası'nda yer alan 35 meteoroloji istasyonuna ait 1960-2016 yılları arasındaki aylık yağış verilerini kullanarak, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) yöntemi ile meteorolojik kuraklık analizi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada SPI için 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman ölçekleri dikkate

alınarak, bölgenin kuraklık koşulları zamansal açıdan değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, havzada tüm zaman ölçekleri göz önünde bulundurulursa, zamanın %32'sinde hafif kuraklık, %8.8'inde orta şiddetli kuraklık, %5'inde şiddetli kuraklık ve %2.3'ünde ise çok şiddetli kuraklık yaşandığı belirlenmiştir. Özellikle SPI-12 zaman ölçeğinde, kuraklık olaylarının daha uzun süreli ve havzanın geniş bir bölümünü etkileyen meteorolojik olaylar şeklinde ortaya çıktığı görülmektedir.

Keskin ve Hezarani (2019), Urmiye Gölü Havzası'nda yaşanan kuraklık koşullarını değerlendirmek amacıyla Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) yöntemini kullanarak dört farklı zaman ölçeğinde (SPI-3, SPI-6, SPI-9 ve SPI-12) analizler gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, havzanın hidrolojik yapısı ve iklimsel değişkenliği dikkate alınarak, yağış verileri üzerinden yapılan değerlendirmeler sonucunda, kısa zaman ölçeklerinin (örneğin SPI-3) yağışlardaki ani değişimlere daha duyarlı olduğu ve bu nedenle kısa vadeli kuraklıkların tespitinde daha etkili olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık, uzun vadeli zaman ölçeklerinin (SPI-9 ve SPI-12), kuraklık olaylarının süresini ve kalıcılığını daha net bir şekilde yansıttığı, dolayısıyla bölgesel kuraklık eğilimlerinin analizinde daha anlamlı sonuçlar verdiği ortaya konmuştur. Çalışma, kuraklığın hem kısa hem de uzun süreli etkilerinin ayrı ayrı değerlendirilmesinin, kuraklık yönetimi ve su kaynakları planlaması açısından kritik öneme sahip olduğunu vurgulamaktadır.

Şener ve Şener (2019) meteorolojik kuraklığın coğrafi bilgi sistemleri tabanlı zamansal ve konumsal analizini Çorak Gölü havzası için yapmışlardır. Çalışmada kuraklık analizleri SPI yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Buna göre havzada değerlendirmenin yapıldığı zaman aralığı olan 1970-2016 yılları arasında, en kurak dönem 1989 ve 1990 yıllarında; en yağışlı dönem ise 2009 yılında yaşanmıştır.

Kuraklık araştırmalarının da dahil olduğu meteorolojik ve hidrolojik çalışmalarda son yıllarda ERA5, NASA ve benzer küresel veri setlerinin sıklıkla kullanılmaya başlandığı ve zaman zaman performanslarının da değerlendirildiği görülmektedir. Bu araştırmalar sonucunda, özellikle gözlem verilerinde eksiklerin olduğu veya bulunmadığı, kalitesinin düşük olduğu veya verilere erişimin zor olduğu koşullar için, söz konusu veri kaynaklarının kullanımının önemli bir eksikliği gidereceği görülmekte ve bu koşullardan bağımsız olarak daha yaygın kullanımı tavsiye

edilmektedir. Söz konusu veri kaynakları kullanılarak hidroloji alanında çok sayıda araştırmaya imza atılmıştır. Konuyla ilgili literatürden bazı örnekler bu tez çalışması kapsamında değerlendirilmiştir.

Xu vd. (2022), model tabanlı yağış tahmin ürünleri ile uydu tabanlı yağış ürünlerinin performanslarını karşılaştırmayı amaçlayan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu kapsamda, son yıllarda geliştirilen ERA5 ve ERA5-Land gibi model tabanlı veri setlerinin, IMERG ve (Global Satellite Mapping of Precipitation) GSMaP gibi uydu tabanlı ürünlerle olan performans farkları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmada, 2016-2019 yılları arasında Çin ana karasındaki söz konusu dört ürünün performansları çeşitli metrikler kullanılarak kapsamlı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, uydu tabanlı ürünlerin genel olarak model tabanlı ürünlere kıyasla daha yüksek doğruluk sağladığını, ancak model tabanlı ürünlerin yüksek enlemlerde ve kış aylarında daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Ayrıca, ERA5 ve ERA5-Land ürünlerinin benzer mekânsal ve zamansal desenler sergilediği, ancak performans metriklerine göre farklı avantajlara sahip olduğu belirlenmiştir. Uydu tabanlı ürünlerin özellikle subtropikal ve tropikal muson iklim bölgelerinde yüksek performansa sahip olduğu, buna karşın model tabanlı ürünlerin ılıman muson ve karasal iklim bölgelerinde daha başarılı sonuçlar verdiği ifade edilmiştir.

Ekinci ve Fıstıkoğlu (2023) Ege bölgesinde yer alan Gördes Alt Havzası akımlarının modellemesi konusunda, küresel veri setlerini ve yerel istasyon verilerini kullanarak, model performanslarını değerlendirmişlerdir. Araştırma kapsamındaki yağış akış hidrolojik modelinde küresel veri seti olarak, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) tarafından sunulan, 1959-2022 yılları arasındaki ERA5 Land veri setleri de tercih edilmiştir. Model performansları Nash-Shutcliffe metriği ile değerlendirilmiştir. Çalışma sonunda elde edilen bulgular ERA5 Land veri setinin Gördes Alt Havzası'nın aylık akımlarının modellenmesinde havzanın hidrolojik özelliklerini başarılı bir şekilde yansıttığı ve bu veri setlerini kullanmanın modelleme çalışmalarında kolaylaştırıcı olacağı ifade edilmiştir.

Kourtis vd. (2023)'nin yapmış oldukları çalışmada, Yunanistan'ın tamamındaki yıllık yağış ve meteorolojik kuraklık trendlerini değerlendiren bir çalışma

gerçekleştirmiştir. Çalışmada, Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi'ne (ECMWF) ait ERA5 yeniden analiz yağış veri seti kullanılarak, 1940-2022 yılları arasındaki 83 yıllık dönemde kuraklık analizi yapılmıştır. Kuraklık değerlendirmesi, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) kullanılarak 1 aydan 12 aya kadar farklı zaman ölçeklerinde gerçekleştirilmiş; ayrıca beş meteoroloji istasyonundan elde edilen gözlemsel yağış verileri ile model verilerinin doğruluğu karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada, yıllık yağış ve kuraklık şiddeti trendlerinin belirlenmesi amacıyla Theil–Sen eğim yöntemi ve Mann–Kendall trend testi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, Ege Adaları, Batı Girit ve Yunanistan'ın batı kıyılarında, yıllık yağışta %95 güven seviyesinde anlamlı artış ve azalış trendleri tespit edilmiştir. Bununla birlikte, Ege Adaları ve Batı Peloponez bölgelerinde SPI-12 zaman ölçeği için anlamlı kuraklık eğilimleri gözlemlenmiştir. Diğer yandan, SPI-1, SPI-3 ve SPI-6 zaman ölçeklerinde yapılan analizler, ülke genelinde artan nemlenme ve artan kuraklık eğilimlerinin birlikte görüldüğünü ortaya koymuştur. Bu çalışma, ERA5 veri setinin kuraklık izleme açısından mekânsal ölçekte güvenilir ve değerli bir araç olduğunu vurgulamakta, aynı zamanda uzun dönemli trend analizlerinde yeniden analiz verilerinin kullanılabilirliğine dikkat çekmektedir.

Gomis vd. (2023), İspanya'da ERA5 ve ERA5-Land yeniden analiz yağış veri setlerinin performansını değerlendirmişlerdir. Bu amaçla, yaklaşık 70 yıllık bir dönemi kapsayan (1951–2020) İspanya Meteoroloji Ajansı'na (AEMET) ait yüksek çözünürlüklü gözlemsel yağış verileri ile karşılaştırma yapılmıştır. Çalışmanın sonuçları, ERA5 ve ERA5-Land veri setlerinin gözlemlerle genel olarak yüksek uyum sağladığını ortaya koymuştur. Bununla birlikte, Akdeniz kıyılarında her iki veri setinin yağışlı gün sayılarını aşırı tahmin ettiği; buna karşılık, İspanya'nın kuzeybatı kesimlerinde modellerin gözlemlerle daha yüksek korelasyon gösterdiği ve daha iyi bir uyum sağladığı belirlenmiştir. Ayrıca, yaz aylarında her iki modelin de yağış miktarını genel olarak fazla tahmin etme eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. Bu bulgular, ERA5 ve ERA5-Land veri setlerinin geniş ölçekli kuraklık ve yağış analizlerinde güvenle kullanılabileceğini, ancak özellikle yerel ölçekte ve yaz mevsiminde dikkatli değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Wu vd. (2023) Tibet Platosu (TP) üzerindeki yağış bilgilerini inceleyerek, hidrolojik döngüdeki rolünü anlamak amacıyla ERA5-Land yeniden analiz yağış ürününü, 2001-2018 yılları arasında iki IMERG ürünü (IMERG-Early ve IMERG-Late) ile karşılaştırmışlardır. Çalışma, ERA5-Land'in yağış miktarı ve frekansını ciddi şekilde aşırı tahmin ettiğini, ancak tüm TP üzerinde yağışın mekânsal ve zamansal desenlerini iyi yansıttığını ortaya koymuştur. IMERG ürünleri, özellikle IMERG-Final, yağış miktarını tahmin etme konusunda ERA5-Land'i geride bırakmıştır. Sarı Irmak üst havzasındaki hidrolojik fayda açısından, ERA5-Land ve IMERG-Early, ölçüm tabanlı model parametreleri kullanıldığında zayıf performans sergilemiş, bu durum yağış miktarının aşırı veya eksik tahmin edilmesinden kaynaklanmıştır. Ancak, IMERG-Final ile yapılan simülasyonlar, düşük sistematik hata nedeniyle çok daha başarılı olmuştur. Hidrolojik model, bireysel yağış verileriyle yeniden kalibre edildiğinde, ERA5-Land'in performansı, IMERG-Final ile benzer bir düzeyde, ancak ölçüm gözlemlerine kıyasla biraz daha düşük olmuştur. Çalışma, araştırma amaçlarına göre uygun yağış ürünlerinin seçilmesinin önemini vurgulamış ve IMERG-Final 'nin yağış miktarını daha doğru tahmin ettiğini, ERA5-Land'in ise uzun vadeli hidrolojik simülasyonlar sunabileceğini belirtmiştir.

Tan vd. (2023)'nin yapmış olduğu çalışmada, Malezya'daki Kelantan Nehri Havzası üzerinde**,** NASA POWER ve ERA5-Land veri setleri istasyon veri setleriyle karşılaştırılarak yağış ve sıcaklık aşırılıkları incelenmiştir. Çalışmada, 1981–2020 dönemine ait 19 meteoroloji istasyonundan elde edilen gözlemsel veriler referans alınarak, bu iki veri setinin klimatolojik desenleri, istatistiksel doğrulukları, yağış günlerini algılama başarıları, olasılık dağılımları, ekstrem indis hesaplamaları ve 2014–2015 yılı taşkını sırasında gösterdikleri performans incelenmiştir. Sonuçlara göre, her iki ürün genel olarak yağışın ve sıcaklıkların zamansal desenlerini başarılı şekilde yansıtmış, ancak yağış miktarını ve sıcaklık uç değerlerini tahmin etmede belirli sistematik hatalar sergilemiştir. ERA5-Land, özellikle minimum sıcaklık tahminlerinde daha başarılı olurken; NASA POWER, sıcaklıkta sapmalar göstermiştir. Yağış açısından, her iki ürün de orta şiddetteki yağışları fazla tahmin etmiş, ancak her iki ürün de, şiddetli yağışları gözlemsel değerlere göre önemli ölçüde düşük tahmin etmiş, bu tür ekstrem olayları yeterince

yansıtamamıştır. Ekstrem indisler açısından hem NASA POWER hem de ERA5-Land bazı göstergelerde (CDD, R10mm, R20mm, TXx ve TNn gibi) istasyon verileriyle uyumlu sonuçlar üretmiş; ancak özellikle Rx1d, Rx5d ve TXge35 gibi aşırı değerlerde önemli sapmalar gözlenmiştir. 2014–2015 yılındaki büyük taşkın olayı sırasında, her iki veri seti yağış günlerini tespit etme konusunda başarılı olsa da, yağış miktarını önemli ölçüde az tahmin etmiştir. Çalışma, NASA POWER ve ERA5-Land veri setlerinin ölçüm istasyonlarının yetersiz olduğu tropikal havzalarda değerli birer alternatif olduğunu, ancak kullanılmadan önce basit bir sapma düzeltmesi (bias correction) yapılmasının gerekli olduğunu vurgulamaktadır.

Awasthi vd. (2023)'nin yapmış olduğu çalışmada, CHIRPS, NASA POWER, ERA-5 ve PERSIANN-CDR uydu tabanlı yağış verilerinin, Hindistan Meteoroloji Departmanı (IMD) tarafından oluşturulan yağış verisi ile 1990-2021 dönemi için karşılaştırmalı analizini sunmaktadır. Bulgular, PERSIANN-CDR'nin Orta, Kuzeydoğu ve Kuzeybatı Hindistan'da en iyi performansı sergilediğini, NASA POWER'ın ise Orta Hindistan ve Güney Yarımada'da daha başarılı olduğunu göstermektedir. CHIRPS ve ERA-5 ise genel olarak orta düzeyde performans sergilemiştir. Yağış tahminlerinin iyileştirilmesi için tüm veri setlerinin yoğun yağış ölçüm verileriyle düzenli kalibrasyona ihtiyaç duyduğu vurgulanmaktadır. Çalışma, bölgesel ölçekli analizler için uygun veri setlerinin belirlenmesine katkı sağlamaktadır.

Tayyeh ve Mohammed, (2023) çalışmalarında, Irak'taki Fırat-Dicle Havzası'nda bulunan 9 meteoroloji istasyonundan elde edilen gözlemsel veriler, NASA POWER yeniden analiz ürünleri ile karşılaştırılmıştır. Günlük, aylık ve yıllık ölçekte yapılan değerlendirmede, NASA POWER ürünlerinin yağış, maksimum sıcaklık (Tmax) ve minimum sıcaklık (Tmin) verileriyle yüksek doğruluk sağladığı belirlenmiştir. Yağış, Tmax ve Tmin için belirleme katsayısı (R^2) sırasıyla 0.74-0.91, 0.74-0.94 ve 0.72-0.95 arasında değişirken, Nash-Sutcliffe verimlilik katsayısı (NSE) değerleri 0.74-0.84, 0.63-0.85 ve 0.4-0.75 olarak hesaplanmıştır. Ortalama yanlı hata (MBE) analizinde, NASA POWER yağış verilerinin tatmin edici sonuçlar verdiği görülmüştür. Ürünün doğruluğu batı ve kuzeybatıdaki nemli bölgelerde yüksek bulunurken, kurak ve yarı kurak bölgelerde azalmıştır. Sonuçlar, NASA

POWER'ın, yer istasyonu verilerinin bulunmadığı veya erişilemediği durumlarda güvenilir bir alternatif olabileceğini göstermektedir.

Tan vd. (2018)'nin yapmış olduğu çalışmada, IMERG yağış ürünlerinin (IMERG_Early, IMERG_Late ve IMERG_Final) Malezya'nın Kelantan Nehir Havzası'ndaki hidro-meteorolojik uygulamalardaki güvenilirliği değerlendirilmiştir. Çalışma, meteorolojik analizler, SWAT modeli kullanılarak akış simülasyonlarının değerlendirilmesi ve 2014–2015 sel döneminin incelenmesini kapsamıştır. IMERG_Final, sistematik sapma (%7,14 RB) ve akış simülasyonlarındaki performansıyla (NSE = 0,710,86; R^2 = 0,730,90) diğer ürünlere göre üstün bulunmuştur. Gerçek zamanlı ürünler (IMERG_Early ve IMERG_Late) ise düşük tahminler yapmış ve sistematik sapma düzeltmesine ihtiyaç duymuştur. Sel döneminde, IMERG_Early ve IMERG_Final tatmin edici sonuçlar elde etmiş, ancak genel döneme kıyasla daha düşük performans sergilemiştir. Çalışma, IMERG ürünlerinin hidro-meteorolojik uygulamalarda büyük bir potansiyele sahip olduğunu vurgulamış ve standart bir değerlendirme çerçevesi geliştirilmesi gerektiğini önermiştir.

Xin vd. (2022) çalışmalarında, 2001-2018 yılları arasında Moğolistan Platosu'nda üç IMERG ürünü (ER, LR, FR), iki ERA5 ürünü (ERA5-HRES ve ERA5-Land) ve bunların öncülleri (TMPA-3B42, ERA-Interim) değerlendirilmiştir. Çalışma, bu veri setlerinin mevsimsel yağış desenlerini, günlük yağış tahmin doğruluğunu ve tespit kabiliyetini analiz etmiştir. Sonuçlar, IMERG ve ERA5 ürünlerinin genellikle mevsimsel yağış döngülerini doğru bir şekilde yansıttığını, ancak bazı ürünlerin yıllık ve on yıllık değişkenliği yeterince iyi yakalayamadığını ortaya koymuştur. Günlük yağış tahmini açısından, ERA5-Land ve ERA5-HRES en iyi performansı sergilerken, IMERG FR ve TMPA-3B42 daha düşük doğruluk göstermiştir. Çalışma, Moğolistan Platosu gibi topografik ve iklimsel olarak zorlu bölgelerde ERA5'in daha güvenilir sonuçlar verdiğini ve her ürünün farklı uygulama alanlarında güçlü yönlere sahip olduğunu vurgulamaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Kuraklık konusunda yapılan araştırmalar incelendiğinde, veri temininde yaşanan zorluklardan ötürü, kuraklık özelliklerinin zamansal ve alansal tanımlanmasında

genelde az veya yetersiz sayıda, şehir merkezlerine yakın veya homojen dağılmayan belli noktalardaki istasyon verilerinden istifade edildiği anlaşılmaktadır. Bu sorun yerelde küçük ölçeklerde il ve ilçe sınırları içerisindeki kuraklık olaylarının izlenmesinde, kuraklık süresi, kuraklık şiddeti, kuraklık büyüklüğü, ve kuraklık etki alanı gibi kuraklık karakteristiklerinin güvenilir şekilde belirlenmesinin önünde önemli bir engeldir. Bu tezin amacı kısıtlı yağış gözlem verilerine sahip Türkiye'nin önemli büyükşehirlerinden biri olan Kocaeli'nde zamansal ve uzamsal olarak ayrıntılı kuraklık analiz ve değerlendirmeleri için, günümüzde sıklıkla kullanılan ERA5, ERA5-LAND ve IMERG NASA yağış veri kaynaklarının kuraklık değerlendirmelerinde kullanılabilirliğinin araştırılması ve performanslarının belirlenmesidir.

2
KURAKLIK

2.1 Kuraklık Tanımı

Birleşmiş Milletler Kuraklık ve Çölleşmeyle Mücadele Sözleşmesi'ne (UNCCD) göre kuraklık, yağış miktarının kaydedilmiş normal seviyeye göre önemli ölçüde azalmasıyla ortaya çıkan ve ciddi hidrolojik dengesizliklere yol açan bir olgudur. Bu durum tarım, hayvancılık ve diğer doğal kaynaklara dayalı üretim sistemlerini olumsuz etkileyerek, su kıtlığı, toprak verimliliğinin azalması ve bitki örtüsünün zarar görmesi gibi sonuçlar doğurabilir (UNCCD, 1994). Dünya Meteoroloji Örgütü'ne (WMO) göre ise kuraklık, belirli bir bölgede, belirli bir zaman diliminde normalden daha az su veya nem koşullarının ortaya çıkması ve bu durumun ekosistemler, tarım ve su temini alanlarında olumsuz etkilere sebep olmasıdır (WMO, 2016). Kuraklık için yapılan tanımlardan bir diğeri, su mevcudiyetinin uzun bir süre boyunca normal seviyelerin önemli ölçüde altında kalması ve talebi karşılayamaması durumunda ortaya çıkan doğal bir olgu olduğu şeklindedir. (Havens, 1954).

2.2 Kuraklık Türleri

Kuraklık türleri üzerine literatürde birbirinden farklı tanımlamalar bulunmakta olup, en sık kullanılanı dört ana başlıkta meteorolojik, tarımsal hidrolojik ve sosyo-ekonomik kuraklık şeklinde sınıflandırılabilir.

2.2.1 Meteorolojik Kuraklık

Wilhite (2000) ve Hayes vd. (2011) tarafından belirtildiği üzere, meteorolojik kuraklık, bir bölgenin yağış miktarının uzun dönem ortalamalarına kıyasla belirgin

şekilde azalması ve bu azalmanın belli bir süre boyunca devam etmesi durumudur. Kuraklık süresi ve yağış eksikliğinin büyüklüğü, meteorolojik kuraklığın şiddetini belirler. Genellikle kuraklık sürecinin ilk aşaması olarak kabul edilen bu durum, atmosferik koşulların da etkisine bağlı olarak ilerleyen süreç tarımsal ve hidrolojik kuraklık gibi diğer kuraklık türlerini tetikleyebilir. Meteorolojik kuraklık, büyük bir alana yayılan ve uzun bir zaman dilimini kapsayan, artan potansiyel evapotranspirasyon ile muhtemelen birleşen bir yağış eksikliğini ifade eder (Van Loon, 2015).

2.2.2 Tarımsal Kuraklık

Bitkilerin su ihtiyacı, hava koşullarına, bitki türüne, büyüme evresine ve toprağın özelliklerine bağlı değişkenlik göstermektedir. Tarımsal kuraklık, bitkilerin büyüme ve gelişmesi için gereken suyun kök bölgesinde yeterince bulunmaması durumudur. Bu toprak neminde belirgin bir azalma sonucu ortaya çıkar. Tarımsal kuraklık genellikle, meteorolojik kuraklıktan sonra ve hidrolojik kuraklıktan önce meydana gelir. Tarımsal üretimi etkileyebilecek bir süre boyunca devam eden kuraklık durumu olup, yağış eksikliği, sulama suyu kıtlığı veya topraktaki su açığı gibi sebeplerle meydana gelmektedir (Dinç vd., 2016).

2.2.3 Hidrolojik Kuraklık

Hidrolojik kuraklık, yüzeysel ve yer altı sularında meydana gelen anormalliklerle ilgili geniş ve kapsamlı bir terimdir. Bu kuraklık türünde yer altı su seviyelerinin normalin altına düşmesi, göl su seviyelerinin azalması, sulak alanların daralması ve nehir debilerinin düşmesi gibi durumlar ile karşılaşılmaktadır. Yer altı suyu kuraklığı ve akarsu kuraklığı, yer yer ayrı da tanımlanarak, sırasıyla normalin altında yer altı su seviyeleri ve normalin altında nehir debisi şeklinde ifade edilebilmektedir (Van Loon, 2015). Hidrolojik kuraklık, meteorolojik ve tarımsal kuraklığın ardından gelmekte olup, yağış eksikliğinin uzun süreli etkisinin bir sonucudur. Hidrolojik kuraklık, yağış eksikliğiyle tetiklenirken, hidrolojik sistemin bileşenlerine olan etkisiyle tanımlanmaktadır. Toprak neminden akarsu akışına, yeraltı su seviyelerinden göl ve nehir seviyelerine kadar birçok su kaynağını etkiler. Bu kuraklık türü, yağış eksikliğinin yanı sıra suyun depolama ve yenilenme

kapasitesinin azalmasıyla da ilişkilidir. Bu da uzun süreli bir kuraklık durumunu işaret etmektedir (Dai, 2011; Tallaksen & Van Lanen, 2004).

2.2.4 Sosyo-Ekonomik Kuraklık

Sosyo-ekonomik kuraklık, su kaynaklarının talebi karşılayamaması nedeniyle ortaya çıkan, tarımsal faaliyetler, enerji üretimi gibi suya bağımlı ekonomi ile ilişkili sektörlerdeki faaliyetlerin olumsuz etkilenmesine yol açan, bir kuraklık türüdür. Bu kuraklık sınıfı, su arzında yaşanan eksikliklerin, özellikle ekonomik faaliyetler için kritik öneme sahip su talebini karşılayamaması sonucunda, sosyo-ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Sosyo-ekonomik kuraklık, yalnızca çevresel su eksikliklerini değil, aynı zamanda suyun toplumsal ve ekonomik açıdan taşıdığı önemi de dikkate alır. Genellikle su talebinin arzdan fazla olduğu durumlarda, özellikle suya bağımlı sektörlerde (örneğin, tarım, sanayi, enerji üretimi) su temini zorlaştığında ortaya çıkar. Sosyo-ekonomik kuraklık, fiziksel su eksikliği yanında, bu eksikliğin ekonomik faaliyetler üzerindeki etkileriyle ilgilenir.

Sosyo-ekonomik kuraklık, su kaynakları sistemlerinin su taleplerini karşılayamaması ile ilişkilidir ve buna bağlı olarak kuraklıkları bir ekonomik mal olan suyun arz ve talebi ile ilişkilendirir. Sosyo-ekonomik kuraklık, su arzındaki eksiklik nedeniyle, bir ekonomik malın talebinin arzı aşması durumunda meydana gelir (Mishra & Singh, 2010).

2.3 Kuraklık Etkileri

Kuraklık etkilerini genel olarak üç ana başlık altında sınıflandırabiliriz. Bu başlıklar; ekonomik, sosyal ve çevresel etkilerdir.

2.3.1 Ekonomik Etkiler

Kuraklığın ekonomik etkileri incelenecek olursa, özellikle tarım sektöründe bu etkiler doğrudan gözlemlenebilmektedir. Su kaynaklarının azalması ve tarım dışı sektörlerdeki etkiler de ekonomiyi ve toplumun yaşam standartlarını olumsuz etkilemektedir. Söz konusu etkiler genelde uzun vadeli olup, çok sayıda sektörü etkileyerek geniş bir ekonomik yelpaze de yayılır (Wilhite D. A., 2000). Kuraklığın ekonomik etkileri madde madde şu şekilde sıralanabilir.

- Ürün veriminin düşmesi,
- Su kaynaklarının azalması,
- Turizmde gelir kayıpları,
- Enerji üretimindeki azalmalar,
- İstihdam kayıpları,
- Hayvancılık için su temini sorunları,
- Yatırım yapılamaması veya yatırımların azalması.

2.3.2 Sosyal Etkiler

Kuraklık toplumsal yapıyı etkileyerek, sağlık, göç, güvenlik ve eğitim gibi pek çok sosyal alanda uzun vadeli sorunlara neden olabilir. Wilhite (2000), kuraklığın sadece fiziksel bir olgu olarak görülmemesi gerektiğini, aksine doğal bir olay ile su teminine yönelik talep arasındaki etkileşimin sonucu olduğunu ifade etmiştir. Kuraklığın belli başlı ilk akla gelen sosyal etkileri maddeler halinde şu şekilde sıralanabilir.

- Sağlık problemleri,
- Beslenme sorunları,
- İstihdam kaybı,
- Kırsal alanlardan göç,
- Kültürel değişimler.

2.3.3 Çevresel Etkiler

Kuraklığın çevresel etkileri de birkaç başlık altında kısaca aşağıda özetlenmektedir.

- Toprak kalitesinin bozulması,
- Orman ölümleri ve orman yangınları,
- Arazi bozulması ve çölleşme,
- Habitat bozulması, yaban hayatı ölümleri ve göçü,
- Tatlı su biyomlarının kalitesi ve sağlığı,
- Uzun vadeli/kalıcı çevresel kuraklık etkileri (Vicente-Serrano vd., 2020).

2.4 Kuraklık İndisleri

Kuraklık, hidrolojik döngüdeki düzensizlikler nedeniyle ortaya çıkan tarım, su kaynakları, ekosistemler ile insan yaşamı üzerinde önemli etkileri olan doğal bir olgudur. Kuraklığın başlangıcı, süresi, şiddeti ve mekânsal dağılımı değişkenlik gösterdiğinden, bu süreci tanımlamak ve yönetmek amacıyla çeşitli kuraklık indisleri geliştirilmiştir. Kuraklık indisleri, meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklık gibi farklı kuraklık türlerini niceliksel olarak değerlendirebilmek, zamansal ve mekânsal karşılaştırmalar da bulunabilmek ve erken uyarı sistemleri için sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca, su yönetimi, tarımsal planlama ve afet risk yönetimi gibi alanlarda da karar verme süreçlerini desteklemek amacıyla kuraklık indislerinden faydalanılmaktadır. Bu indisler sayesinde, belirli bir bölgede kuraklık olayları ve eğilimleri izlenerek, su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı için gerekli önlemler alınabilir. Kuraklık analizlerinde kullanılan indisler, genellikle yağış, sıcaklık, toprak nemi ve akım gibi verilere dayanır. Literatürde en yaygın kullanılan kuraklık indisleri arasında Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI), Palmer Kuraklık Şiddet İndeksi (PDSI), Standartlaştırılmış Akım İndeksi (SSI) ve Standartlaştırılmış Yağış-Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) yer almaktadır. Bu indisler, farklı bölgesel ve sektörel bağlamlarda uygulanarak, kuraklığın etkilerini belirlemek ve yönetmek amacıyla kullanılmaktadır. Örneğin, tarımsal kuraklığın izlenmesinde PDSI ve toprak nem indisleri yardımıyla ekili alanların su stresi durumu değerlendirilebilirken, hidrolojik kuraklığın tespiti için SSI kullanılarak rezervuar seviyeleri ve akarsu akımları üzerindeki etkiler analiz edilebilmektedir. Meteorolojik kuraklığın tahmininde ise SPI, kuraklık olaylarını ve eğilimlerini belirlemek ve erken uyarı sistemlerine entegre etmek amacıyla yaygın şekilde kullanılmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, bu indislerin kuraklık tahmini, iklim değişikliği analizleri ve su kaynakları planlamasında önemli rollere sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle, kuraklık indisleri bilimsel olarak yapılan teorik araştırmaların yanında, aynı zamanda su yönetimi, tarımsal planlama ve afet risk yönetimi gibi alanlarda karar vericilere de yol gösterici değerli araçlar olarak değerlendirilebilir.

3
YÖNTEM

3.1 Yağış Verileri Kalite Kontrolü

Bu tez çalışmasında kullanılacak yağış verileri öncelikle kalite kontrol sürecinden geçirilmiştir. Kalite kontrol kapsamında, eksik veriler tespit edilmiş ve uygun istatistiksel yöntemlerle tamamlanmıştır. Ayrıca verilerde gözlemlenebilecek uç değerler, ani sıçramalar veya tutarsızlıklar incelenmiş, ölçüm hatalarına karşı görsel ve istatistiksel değerlendirmeler yapılmıştır. Böylece analizlerde kullanılacak veri setlerinin güvenilirliği ve tutarlılığı sağlanarak, sonraki aşamalarda uygulanacak homojenlik testlerinin doğruluğu artırılmıştır.

3.2 Homojenlik Analizleri

Hidrolojik, klimatolojik, iklim değişikliği, kuraklık ve hidro-meteorolojik araştırmalar ve analizler öncesinde, modellemelerde kullanılacak verilerin kalite kontrolünün yapılması ve doğal olmayan sebeplerden kaynaklı veri setlerindeki değişimlerin incelenmesi amacıyla homojenlik testlerinin kullanılması öncelikli ve önemlidir. Homojenlik analizlerinde bir bölgedeki yağış miktarının yıllar içerisindeki değişiminin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı parametrik ve parametrik olmayan testler ile değerlendirilir. Bu tez çalışmasında verilerin homojenlik kontrolü, literatürde sıklıkla kullanılan Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT), Pettitt Testi ve Buishand Testleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.1 Pettitt Testi

Zaman serilerindeki beklenmedik değişimleri saptamak için Pettitt (1979) tarafından geliştirilen parametrik olmayan bu yöntem, aylık veya yıllık zaman

serilerindeki değişim noktalarının belirlenmesinde kullanılır. Analiz sonucunda sıfır hipotezi, serinin bağımsız ve rastgele dağılım gösterdiğini, buna karşılık alternatif hipotez verilerdeki ani değişimleri ifade eder. Yöntem, iklimsel verilerdeki ani değişimlerin tespitinde önemli bir araç olup, serideki ani değişim noktasını belirlemek amacıyla yaygın olarak tercih edilen bir yöntemdir. Test istatistiğine ait kritik değerler aşağıda Tablo 3.1'de verilmektedir.

Yöntem, gözlem değerleri olan $Y_1, Y_2, \ldots\ldots Y_n,$ şeklindeki zaman serisi inceler. Bu serideki değerler, küçükten büyüğe sıralanır ve her gözleme bu sıralamadaki pozisyona karşılık gelen bir sıralama puanı verilir. Bu sıralama değerleri $r_1, \ldots\ldots, r_n$ olarak gösterilir.

Her bir zaman noktası k için aşağıdaki test istatistiği hesaplanır:

$$X_k = 2\sum_{i=1}^{k} r_i - k(n+1) \quad \text{k=1,2,3,...,n} \tag{3.1}$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada:

r_i: i'nci gözlemin sıralamadaki yeridir,

k: serinin kırılma olabileceği olası her bir nokta,

n: toplam gözlem sayısıdır.

Bu hesaplama, seriyi k noktasında iki alt gruba ayırır ve bu iki grubun dağılımları arasındaki farkı analiz eder. Hesaplanan tüm X_k değerlerinin mutlak değerleri alınır ve en büyük olanı aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$X_T = max_{1 \le k \le n} |X_k| \tag{3.2}$$

Bu maksimum değer, serideki olası değişimin en belirgin olduğu noktayı yani değişim/kırılma noktasını işaret eder. Elde edilen X_T değeri, kritik tablo değeri ile karşılaştırılır. Eğer X_T kritik değerden büyükse, seride istatistiksel olarak anlamlı bir değişim olduğu kabul edilir. Aksi durumda, serinin homojen olduğu varsayılır. Kritik değerler, %95 ve %99 güven aralıklarına göre Tablo 3.1'de sunulmuştur.

Tablo 3.1 Pettitt testi için veri sayısına göre %99 ve %95 güven aralığında (GA) kritik değerler

GA/n	**20**	**30**	**40**	**50**	**70**	**100**
%99	71	133	208	293	488	841
%95	57	107	167	235	393	677

3.2.2 Buishand Sıra Testi

Buishand (1982) tarafından geliştirilen bu test, bir zaman serisinin önceki ve sonraki dönem ortalamalarında anlamlı bir fark olup olmadığını test eder. Test istatistiğini hesaplamak için aşağıda verilen (3.3) eşitliğinden yararlanılmaktadır.

$$S_0^* = 0 \; ve \; S_k^* \sum_{i=1}^{k} (Y_i - \bar{Y}) \quad \text{k=1,2,3,...n} \tag{3.3}$$

Burada $\bar{Y}$, zaman serisi gözlem (ortalama) değerleri; k, kırılma noktasındaki gözlem sayısı; $S_0^* \; ve \; S_k^*$ ise kısmi toplamları gösterir. R düzeltme değeri aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır.

$$R = (max_{1 \le k \le n} \, S_k^* - min_{1 \le k \le n} S_k^*)/S \tag{3.4}$$

Aşağıda Tablo 3.2'de Buishand sıra testinde kullanılan $R/\sqrt{n}$ için kritik değerler verilmiştir. Hesaplanan test istatistiği verilen kritik değeri aşmaz ise seri homojen kabul edilir.

Tablo 3.2 Buishand testi için veri sayısına göre %99 ve %95 güven aralığında (GA) $\frac{R}{\sqrt{n}}$ kritik değerleri

GA/n	**20**	**30**	**40**	**50**	**70**	**100**
%99	1,60	1,70	1,74	1,78	1,81	1,86
%95	1,43	1,50	1,53	1,55	1,59	1,62

3.2.3 Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT)

Alexandersson (1986) tarafından geliştirilen yöntemin basitliği ve etkinliği çok sayıda araştırmada kullanılmasını ve araştırmacıların kolaylıkla veri setlerinin homojenliğini değerlendirmesini sağlamıştır. Yönteme göre seri rastgele bir "k"

referans noktasına göre ikiye bölünür. Denklem (3.5) kullanılarak X_k test istatistik değeri hesaplanır.

$$X(k) = k.\bar{z}_i + (n-k).\bar{z}_{i+1}{}^2 \quad \text{k} \geq 1 \text{ olmak üzere, k = i, + i+1, i+2, ... n} \quad (3.5)$$

$$\bar{z}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{k}((y_i-\bar{y})/\sigma)}{k} \quad (3.6)$$

$$\bar{z}_2 = \frac{\sum_{i=1+k}^{k}((y_i-\bar{y})/\sigma)}{n-k} \quad (3.7)$$

Burada X(k), test istatistiği; k, gözlem sayısı; $\bar{z}_i$, k gözleminin ortalaması; $\bar{z}_{i+1}$, n−k gözleminin ortalaması; n, veri serisinin uzunluğu; y_i, gözlenen verileri; $\bar{y}$, gözlenen verilerin ortalamasını; σ , gözlenen verilerin standart sapmasını gösterir.

Seride herhangi bir k yılında değişim durumunda X(k) en büyük değerini alır. Bu durumda X_T test istatistiği aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır.

$$T_0 = maksimum_{1\leq k\leq n}[X(k)] \quad (3.8)$$

X_T test istatistiği Tablo 3.3'te verilen kritik değeri aşarsa veriler homojen değildir.

Tablo 3.3 SNHT için veri sayısına göre %99 ve %95 güven aralığında (GA) X_T kritik değerleri

(GA)/n	**20**	**30**	**40**	**50**	**70**	**100**
%99	9,11	10,15	10,77	11,19	11,73	12,22
%95	6,95	7,65	8,10	8,45	8,80	9,15

3.2 Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (PDF)

Bu çalışmada yağış verilerinin dağılım özelliklerini incelemek amacıyla Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (PDF - Probability Density Function) kullanılmıştır. PDF, sürekli bir rastgele değişkenin belirli bir değeri alma olasılığını tanımlayan bir fonksiyondur. Hidrolojik uygulamalarda, özellikle yağış gibi sürekli verilerin frekans yapısını değerlendirmek ve farklı kaynaklardan elde edilen verilerin karşılaştırmasını yapmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. PDF analizi ile, belirli zaman aralıklarında (örneğin günlük, aylık veya yıllık) yağışın hangi şiddet

aralıklarında yoğunlaştığı belirlenebilmekte, bu da kuraklık, taşkın ve su kaynakları yönetimi gibi alanlarda önemli bilgiler sunmaktadır. Bu çalışmada, farklı veri kaynaklarından (örneğin istasyon, ERA5, NASA vb.) elde edilen yağış verilerinin PDF'leri çıkarılarak, veri setlerinin yağış rejimini ne ölçüde temsil edebildiği değerlendirilmiştir. Ayrıca, yağış miktarları belirli sınıflara ayrılarak (örneğin 0–1 mm/gün, 1–5 mm/gün, 5–10 mm/gün vb.), her bir sınıfa ait olasılık yoğunlukları karşılaştırılmıştır. Bu sayede, farklı veri kaynaklarının düşük, orta ve yüksek şiddetli yağışları yakalama performansı analiz edilmiştir.

3.3 Kuraklık Analizleri

Bu çalışmada, meteorolojik kuraklıkların belirlenmesi amacıyla Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) yöntemi kullanılmıştır. Kuraklık analizleri, SPI yöntemiyle elde edilen değerlerin zamansal ve mekânsal olarak değerlendirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Kuraklık analizleri kapsamında, SPI değerlerine göre farklı zaman ölçeklerinde (1, 3, 6 ve 12 aylık) kuraklık durumları sınıflandırılmış ve kurak dönemlerin özellikleri belirlenmiştir.

3.3.1 Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI)

Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) kuraklık araştırmalarında kuraklık izlemesi amacıyla önerilmiştir. Kuraklık indislerine geçişte aylık yağış kayıtlarını kullanır. Mc.Kee vd. tarafından 1993 yılında ortaya konulmuş olup, yönteme ilişkin eşitlikler aşağıda (3.9), (3.10), (3.11) ve (3.12) numaralı denklemler ile tanımlanmıştır. SPI hesaplamaları 1, 3,6,12 ve 24 aylık farklı zaman ölçekleri referans alınarak yapılmakta ve aylık, mevsimlik veya yıllık olarak tasarlanan analizler, meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklıklara yönelik inceleme ve değerlendirmelerde kullanılmaktadır. İlk olarak hesaplama yapılan ilgili her bir zaman ölçeğindeki veri setleri için, bilinen ve sıklıkla kullanılan tercihen öncelikle iki veya üç parametreli, en uygun olasılık dağılım fonksiyonu belirlenir. Literatürde araştırmalarda, iklim koşullarına da bağlı olarak, sıklıkla orijinal makaleden hareketle doğrudan Gama olasılık dağılım fonksiyonu kullanıldığından ve birçok açık kaynak kodlu erişimden ötürü, uygun dağılım fonksiyonunun seçiminde Gama dağılım fonksiyonu ilk ve önceliklidir. Hatta çoğu araştırmada veri setlerinin hangi olasılık dağılım fonksiyonuna uygun olduğunun kontrolü yapılmadan doğrudan

Gama dağılımına uyduğu kabul edilerek hatalı şekilde kuraklık hesaplamalarının yapıldığı bilinmektedir (Şen ve Şişman, 2024). Uygun modelin belirlenmesinden sonra, veri setindeki her bir aya karşılık gelen yağış serileri için yağış olasılıkları bu model yardımıyla belirlenmektedir. Her bir yağış verisine karşılık gelen olasılık değeri kullanılarak, ters standart normal dağılım fonksiyonu yardımıyla ilgili veriler için standartlaştırılmış indis değerleri elde edilir. Aşağıda Tablo 3.4.'te eşik değerleri referans alınarak, hesaplanan her bir indis değeri için ilgili aydaki kuraklık ve nemlilik sınıfları tanımlanmaktadır.

$$g(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha}T(\alpha)} X^{\alpha-1} e^{\frac{-x}{\beta}}, for x > 0 \quad (3.9)$$

Burada α ve β sırasıyla şekil ve ölçek parametreleridir ve x yağış miktarını temsil eder. T(α), gamma fonksiyonudur. Şekil ve ölçek parametreleri, Thom'un yaklaşımı kullanılarak hesaplanabilir:

$$\alpha = \frac{1}{4A}\left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}}\right) \quad (3.10)$$

$$\beta = \frac{\bar{X}}{\alpha} \quad (3.11)$$

$$A = \ln(\bar{X}) - \frac{\sum \ln(X)}{n} \quad (3.12)$$

Burada, $\bar{X}$ ortalama yağış miktarını, n veri sayısını ve X ise mevcut döneme ait yağış miktarını temsil eder.

Tablo 3.4 Kuraklık/Nemlilik sınıflandırması (McKee vd., 1993)

Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI)	Yağış Sınıfı (Kuraklık/Nemlilik)	Olasılık (%)
$2.00 \leq SPI$	Aşırı nemli (EW)	2.3 %
$1.50 \leq SPI < 2$	Çok nemli (SW)	4.4 %
$1.00 \leq SPI < 1.50$	Orta nemli (MW)	9.2 %
$-1.00 \leq SPI < 1.00$	Normal (N)	68.2 %
$-1.50 \leq SPI < -1.00$	Orta kurak (MD)	9.2 %
$-2.00 \leq SPI < -1.50$	Şiddetli kurak (SD)	4.4 %
$-2.00 > SPI$	Aşırı kurak (ED)	2.3 %

3.4 Kuraklık Özellikleri

Kuraklık araştırmalarında en fazla üzerinde durulan konuların başında kuraklık süresi, kuraklık şiddeti/büyüklüğü, kuraklık frekansı, kuraklık alanı ve dağılım şekli/desenleri gibi kuraklık özelliklerinin tanımlanması gelmektedir. Kuraklık değerlendirmelerinde araştırmacılar ve uzmanlar kabullerini ilgili kuraklık özelliklerini dikkate alarak oluşturmaktadırlar. Uzun süreli, şiddetli ve etki alanı geniş kuraklık olayları doğal afet olarak görülmektedir. Uzun süreli kuraklıklar su kaynaklarının tükenmesine ve önemli ekolojik ve ekonomik sorunlara yol açabilir. Yağış eksikliği, sıcaklık artışı ve toprak nem kayıpları kuraklık şiddetini arttırmaktadır. Şiddetli kuraklıklar geniş alanları olumsuz etkilemektedir. Kuraklık olaylarının sıklaşması, bölgedeki su kaynakları üzerinde baskı oluşturarak zamanla su arzının talebi karşılayamamasına, bu da uzun vadede tarımsal üretim kayıpları ve ekonomik sorunlara yol açabilmektedir. Bu özellikler, kuraklığın olası etkilerinin anlaşılarak, kuraklıkla mücadele stratejilerinin ve su yönetimi politikalarının geliştirilmesinde önemli role sahiptir.

3.4.1 Kuraklık Süresi

Kuraklık süresi, bir kuraklık olayının başlangıcından sona erdiği zamana kadar geçen toplam zaman dilimini ifade eder. Süre, kuraklığın etkilerinin şiddeti ve

yaygınlığı üzerinde doğrudan etkilidir. Uzun süreli kuraklıklar genellikle yer altı su kaynaklarında, tarımda ve enerji üretiminde daha kalıcı olumsuzluklara yol açar.

3.4.2 Kuraklık Şiddeti

Kuraklık şiddeti, belirli bir dönem boyunca yaşanan yağış eksikliğinin büyüklüğünü ve etkisinin derecesini tanımlar. Genellikle kuraklık endeksleri (örneğin, SPI, PDSI) kullanılarak sayısal olarak değerlendirilir. Şiddetli kuraklıklar tarımsal üretimde ciddi kayıplara ve ekosistem dengesizliklerine neden olabilir.

3.4.3 Kuraklık Sıklığı

Kuraklık sıklığı, belirli bir zaman aralığında bir bölgede kaç kez kuraklık olayının meydana geldiğini gösterir. Sıklığın artması, bölgedeki su kaynaklarının sürdürülebilirliğini tehdit eder ve kuraklığa karşı dayanıklılığı azaltır. Aynı zamanda su yönetimi ve planlama çalışmalarının temel girdilerinden biridir.

3.4.4. Kuraklık Etki Alanı

Kuraklık etki alanı, kuraklık koşullarının gözlendiği ve bu koşullardan doğrudan etkilenen coğrafi bölgeyi ifade eder. Bu alan, kuraklık olayının şiddetine ve süresine bağlı olarak zaman içinde genişleyebilir veya daralabilir. Etki alanı, sadece yağış azalmasıyla sınırlı kalmayıp; tarımsal üretim, içme suyu temini, hidroelektrik üretimi gibi sektörlerde yaşanan olumsuzlukların yayıldığı bölgeyi de kapsar. Bu nedenle, kuraklık etki alanının belirlenmesi, risk haritalarının hazırlanması ve bölgesel kuraklık yönetim planlarının oluşturulması açısından kritik öneme sahiptir.

3.5 Farklı Kaynaklara ait Yağış Ürünlerinin ve Kuraklık İndis Sonuçlarının Çeşitli Metrikler ile İncelenip Değerlendirilmesi

Veri biliminde, model tahminlerinde ve modellerin doğrulanmasında hata veya performans metrikleri sıklıkla kullanılan araçlardır. Bu tez kapsamında MGM gözlem, ERA 5, ERA-5 LAND yeniden analiz ve IMERG NASA uydu yağış verileri ile literatürde önerilen farklı uzunluktaki, 20-30 ve 60 yıllık, gözlem veri setlerinin kuraklık analiz sonuçlarının karşılaştırılması, 20/30 ve 20/60 yıllık veri setleri kuraklık sonuçları arasındaki uyumun değerlendirilmesi, gözlem

verilerinden elde edilen kuraklık indis sonuçlarıyla yeniden analiz ve uydu verileri kullanılarak yapılacak kuraklık analiz sonuçlarının ne kadar uyumlu olduğunu anlayabilmemiz veya bunun ölçülmesi amacıyla ilgili metrikler kullanılmıştır. Yapılan kuraklık analizlerini gerçek gözlem sonuçlarıyla karşılaştırıp, farklı açılardan değerlendirmek için aşağıda verilen dört farklı istatistiksel metrik dikkate alınmıştır. Bunlar Korelasyon Katsayısı (CC), Kök Ortalama Kare Hata (RMSE), Göreli Yanlılık Yüzdesi (RB) ve belirleme katsayısı (R^2) dır. İlgili metrikleri tanımlayan eşitlikler aşağıda Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5 Karşılaştırma metrikleri

Metrik	Denklem	Değer Aralığı	İdeal Değer
Korelasyon Katsayısı (CC)	$\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2][\sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2]}}$	(-1) – (1)	1
Kök Ortalama Kare Hata (RMSE)	$\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i-y_i)^2}$	(0)– (∞)	0
Göreli Yanlılık Yüzdesi (RBP)	$\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i-x_i)}{\sum_{i=1}^{n}x_i}(100)$	(-∞) – (∞)	0
Belirleme Katsayısı (R^2)	$\left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2]}.\sqrt{[\sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2]}}\right]^2$	(0)– (1)	1
x_i = Gözleme bağlı kuraklık değeri, $\bar{x}$ = Gözlem kuraklık değerlerinin ortalaması y_i = ERA5, ERA5 Land, IMERG NASA verilerine bağlı kuraklık değerleri , $\bar{y}$ = ERA5, ERA5 Land, IMERG NASA verileri kuraklık değerlerinin ortalaması, n = veri sayısı			

3.5.1 Belirleme Katsayısı (R^2)

Belirleme katsayısı (R^2), modellerin doğruluğunun, başarısının, uyumunun ölçüsüdür. R^2 değerleri 0 ile 1 arasında değişir. R^2'nin 1 veya yakın olması uyumu, R^2'nin 0 veya bu değere yaklaşması model başarısızlığını gösterir. Bu araştırmada R^2 metriği, gözlem, yeniden analiz ve uydu verileri kuraklık indis hesap sonuçları arasındaki uyumun değerlendirilmesi ve farklı veri kaynakları ile kuraklık analiz sonuçlarının karşılaştırılması amacıyla kullanılmıştır.

3.5.2 Korelasyon Katsayısı (CC)

Korelasyon katsayısı, karşılaştırılan değişkenler, modeller veya model tahminleri gözlemler arasındaki doğrusal ilişkinin ölçüsüdür. -1 ile +1 aralığında değer alır. Korelasyon katsayısının sıfır olması, doğrusal bir ilişkinin bulunmadığını, -1 veya +1 ise tam doğrusal ilişkiyi gösterir. Bu tez çalışmasında yüksek CC değerleri veri kaynakları arasındaki güçlü ilişkiyi gösterir.

3.5.3 Kök Ortalama Kare Hata (RMSE)

RMSE meteorolojik ve hidrolojik araştırmalarda model performanslarını değerlendirmek amacıyla sıklıkla kullanılan bir istatistiksel metriktir. Metrik değerleri 0 ile ∞ arasında değerler alır. RMSE değerinin küçük, sıfır veya sıfıra yakın, olması model tahminlerinin iyi olduğunu veya hataların düşük olduğunu ifade eder. Bu araştırmada düşük RMSE değerleri veri kaynaklarının uyumlu olduğunu ve alternatif veri kaynaklarının kuraklık değerlendirmelerinde başarılı sonuçlar verdiğini gösterir.

3.5.4 Göreli Yanlılık Yüzdesi (RBP)

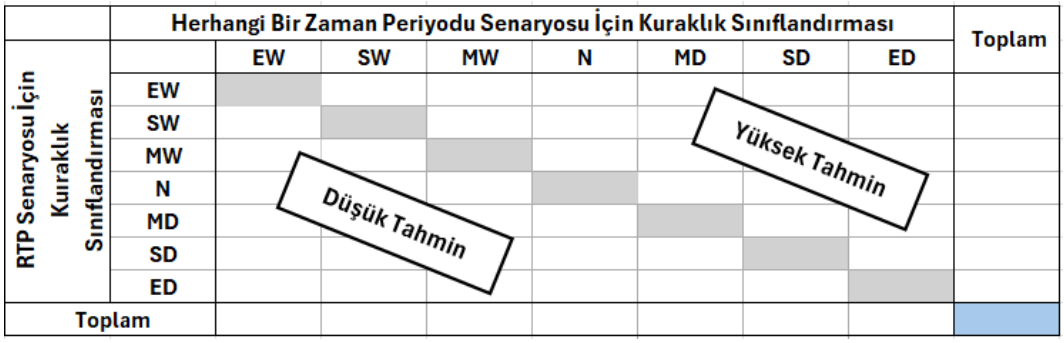
Göreli yanlılık yüzdesi, bir modelin veya tahmin yönteminin sistematik olarak gerçek değerin üzerinde mi yoksa altında mı olduğunu ve bu sapmanın büyüklüğünü ölçer. Pozitif (Negatif) bir göreli hata, modelin gerçek değeri olduğundan daha yüksek(düşük) tahmin ettiğini gösterir. Bu araştırmada pozitif(negatif) RBP yeniden analiz ve uydu verileri kuraklık analizlerinin gözlem verilerinden daha yüksek(düşük) olduğunu gösterir. Yani pozitif(negatif) RBP değerleri yeniden analiz ve uydu verilerinin gözleme kıyasla daha az(yüksek)

kuraklık tahminini gösterir. RBP değerinin sıfıra yakın olması modeller arasında yanlılık (bias) olmadığını gösterir.

3.6 Yenilikçi Kuraklık Sınıflandırma Matrisi (IDCM)

Yenilikçi Kuraklık Sınıflandırma Matrisi (IDCM) SPI sınıflandırma değerlerine dayalı olarak geliştirilmiştir. Kuraklık izlemesinde tercih edilen literatürdeki benzer indisler referans alınarak da kullanılabilir. Yöntemin amacı, farklı senaryolara bağlı standart kuraklık model sonuçları arasındaki benzerliklerin ve farkların belirli sınıf aralıklarına göre değerlendirilmesidir. Bu tez çalışmasında IDCM yakın konumdaki farklı veri kaynaklarının (gözlem-uydu, gözlem-yeniden analiz vs) belirlenen zaman periyodundaki kuraklık sonuçlarının karşılaştırılması ve aynı konumdaki farklı veri uzunluklarına sahip senaryoların (60-20 yıl, 60-30 yıl vs) belirlenen zaman periyodundaki kuraklık sonuçlarının karşılaştırılması ve değerlendirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Referans Tekrar Periyodu (RTP) ve herhangi bir zaman periyodu senaryosu arasındaki farkları ve benzerlikleri incelemektir. Bu amaçla, her iki senaryo için aylık SPI veya benzeri kuraklık indis değerleri karşılaştırılır. Bu karşılaştırma, belirli bir zaman periyodundaki kuraklık durumunu değerlendirmek için kullanılan kuraklık sınıflandırmasına göre yapılır. Örneğin, bir ay için SPI değeri RTP senaryosunda "normal" olarak sınıflandırılırken, aynı ay için belirli bir zaman periyodu senaryosunda "orta derecede kurak" olarak sınıflandırılıyorsa, bu fark IDCM'de kaydedilir. Böylece, IDCM, her iki senaryo arasındaki kuraklık sınıflandırması farklarını ve benzerliklerini görsel olarak temsil eden bir matris olarak işlev görür

IDCM'in esnekliği farklı kuraklık indisleri ve coğrafi bölgeler arasında yapılacak uygulamalar ve değerlendirmeler içinde potansiyel sunmakta olup; bu yönüyle kuraklık analizlerinde senaryo karşılaştırmalarına imkân tanıyan alternatif bir değerlendirme aracı olarak kullanılabilir.



Şekil 3.1 Yenilikçi Kuraklık Sınıflandırma Matrisi (Abu Arra ve Şişman, 2024)

3.7 Kuraklık Haritalarının Oluşturulması

Bu tez çalışmasında, kuraklık özelliklerinin Kocaeli genelindeki alansal değişimini incelemek için, Ters Mesafe Ağırlık Enterpolasyon (IDW) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile il içerisinde farklı bölgeler arasındaki kuraklık durumları incelenerek yorumlanmıştır.

3.7.1 Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi (IDW)

Bilinmeyen bir noktanın değerini, bilinen örnek noktalardan hareketle, mesafelere bağlı hesaplanan ağırlık değerlerinin de dikkate alınmasıyla, tahmin edildiği literatürde sıklıkla kullanılan, bir enterpolasyon yöntemidir. Yöntem tahmin edilecek noktaya yakın gözlemlerin uzak olanlardan daha fazla ağırlığa sahip olması esasına dayanır. Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon (IDW) yöntemi, Shepard (1968) tarafından düzensiz aralıklı noktalardan değer tahmini amacıyla önerilen matematiksel modele dayanmaktadır.

$$F\ (x,y) = \sum_{i=1}^{n} w_i f_i \qquad (3.13)$$

$$w_i = \frac{h_i^{-p}}{\sum_{j=1}^{n} h_i^{-p}} \qquad (3.14)$$

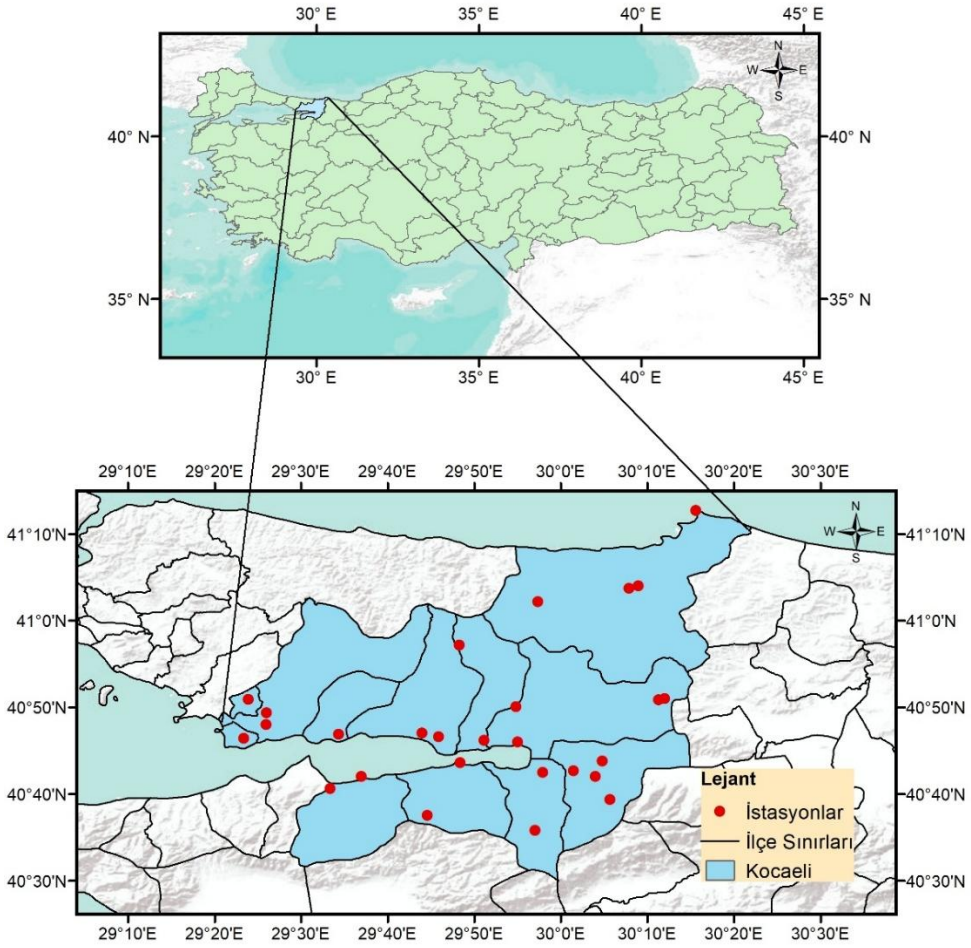
Bu yöntemde, F(x,y) fonksiyonu, tahmin edilmek istenen (x, y) noktasındaki değeri ifade eder ve bu değer, f_i ile gösterilen bilinen nokta değerlerinin, w_i ile tanımlanan ağırlık katsayıları ile çarpılıp toplanmasıyla elde edilir. Ağırlık katsayısı w_i, enterpolasyon yapılacak nokta ile i'nci bilinen nokta arasındaki mesafeye göre belirlenir. Bu mesafe h_i ile gösterilir ve uzaklık arttıkça ağırlık katsayısı azalır. Ağırlıklar (3.10) formülüyle hesaplanır ve burada p değeri mesafeye duyarlılığı

belirleyen bir parametredir. Genellikle $1 \leq p \leq 3$ aralığında seçilen bu parametre, büyüdükçe yakın noktaların etkisini artırır ve uzak noktaların etkisini azaltır. Böylece, IDW yöntemi, yakın çevresindeki değerlerin etkisini ön planda tutarak, tahmin yapılacak noktadaki değeri mekânsal süreklilik varsayımı altında tahmin eder.

4
ÇALIŞMA ALANI VE VERİLER

4.1 Kocaeli

Tez kapsamındaki uygulamalar için seçilen Kocaeli, Marmara Bölgesi'nde 29°22'-30°21'doğu boylamları ile 40°31 '- 41°13'kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. İlin büyük bir kısmı yaklaşık %90'ı Marmara Havzası ve geri kalanı Sakarya Havza sınırları içerisinde kalmaktadır. Kocaeli doğu ve güneydoğusunda Sakarya, güneyinde Bursa, batısında Yalova ve İstanbul ile komşudur. Kocaeli'nin toplam yüzölçümü yaklaşık 3.420 km² olup, Marmara Denizi ve Karadeniz'e kıyısı bulunmaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı,2023).



Şekil 4.1 Kocaeli MGM yağış gözlem istasyonları

Kocaeli'nin iklim özellikleri incelendiğinde, Körfez ile Karadeniz kıyıları arasında farklılıkların olduğu görülmektedir. İl merkezinde yaz ayları sıcak ve az yağışlı geçerken, kış ayları yağışlı, bazen karlı ve soğuktur. Körfez kıyılarında yazları zaman zaman bunaltıcı sıcaklar yaşanırken, Karadeniz'e yakın bölgelerin havzası daha serindir. İl merkezinde uzun yıllar boyunca ölçülen en yüksek sıcaklık 41,6 °C iken, en düşük sıcaklık -8,7 °C olarak kaydedilmiştir. Yıllık ortalama sıcaklık 14,8 °C'dir. Karadeniz kıyılarında yıllık yağış miktarı 1.000 mm'nin üzerinde ölçülürken, güneye doğru gelinirse yağış miktarlarının azaldığı ve İzmit de 800 mm'nin altına düştüğü görülmektedir. Samanlı Dağları'nın körfeze bakan yamaçlarında iklim, ilin Karadeniz'e bakan bölgelerine benzer özellikler gösterir ve

yağış miktarı bu bölgelerde farklılık göstermektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı,2023).

4.2 Veriler

Bu tez çalışması kapsamında yürütülen kuraklık analizleri için, yerel meteoroloji ölçüm istasyonlarından elde edilen yağış gözlem verileri ile, uydu ve model tabanlı yağış verileri kullanılmıştır. Yerel gözlem verilerinin kullanıldığı analiz sonuçları uydu ve model tabanlı verilerin kullanıldığı benzer analiz sonuçlarının doğrulanmasında da referans olarak değerlendirilmiştir. Bunlar içerisindeki modele dayalı ERA 5 ve ERA 5-Land yeniden analiz verileri, geniş coğrafi alanlarda belli mekânsal düzende sunulan uzun süreli atmosferik verilerdir. ERA 5 veri setleri, yağış, sıcaklık, nem, rüzgar, yüzey basıncı gibi çeşitli meteorolojik değişkenleri içermekte olup, küresel ölçekte yaklaşık 30 km uzamsal çözünürlüğe sahip, sıklıkla iklim analizlerinde kullanılmaktadır. ERA 5-Land veri setleri ise kara alanlarına odaklanarak, daha yüksek yaklaşık 9 km çözünürlükte, toprak nemi, bitki örtüsü, kar örtüsü, buharlaşma, yüzey sıcaklıkları gibi kara yüzeyi dinamiklerine ilişkin değişkenler hakkında ayrıntılı bilgiler sunar. ERA5-Land veri setlerinin kara alanlarındaki yüksek çözünürlükte sunduğu bu detaylar, özellikle bölgesel kuraklık analizlerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Yapılan bazı araştırmalarda ERA5 Land'ın model performanslarının ERA5'e kıyasla daha iyi olduğu ifade edilmiştir (Ekinci ve Fıstıkoğlu, 2023; Gomis-Cebolla vd., 2023; Xu vd., 2022). Bunların dışında uydu tabanlı bir diğer önemli veri kaynağı olan NASA'nın IMERG (Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM) ürünü, küresel ölçekte yağış verisi sağlamak amacıyla geliştirilmiş, çoklu uydu gözlemlerine dayanmaktadır. IMERG NASA verileri, tropikal bölgelerden kutup bölgelerine kadar geniş bir alanda, 9 km uzamsal ve yarım saatlik zamansal çözünürlükte, yağış tahminleri sunar. Yüksek zamansal çözünürlüğü sayesinde kısa süreli yağış olaylarının izlenebilmesine olanak tanırken, topografik özelliklerin yoğun şekilde değişim gösterdiği alanlardaki yağış tahminleri geliştirilmelidir (Tan vd., 2023). Bu tez çalışması kapsamında ilgili model ve uydu veri kaynakları için yapılacak tüm analizler, yerel ölçümlere dayalı veriler ile de kıyaslanarak doğruluk seviyeleri veya performansları değerlendirilmiştir. Bu araştırmada kullanılan yağış veri kaynakları ve özellikleri aşağıda Tablo 4.1'de özetlenmektedir.

Tablo 4.1 Kullanılan yağış veri kaynakları ve özellikleri

Yağış Veri Kaynakları	Veri Tipi	Uzamsal Çözünürlük	Zaman Aralığı
ERA5	Model	31 km	1940-Günümüz
ERA5-Land	Model	9 km	1950-Günümüz
NASA	Uydu ve Model	9 km	2000-Günümüz
MGM İstasyonları	Gözlem	Noktasal	1961/2005-2023

4.2.1 MGM Yağış Gözlem İstasyonları

Kocaeli il genelindeki Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne bağlı bulunan, gözlem süreleri ve yapılacak kuraklık analizleri dikkate alınarak seçilen meteoroloji yağış gözlem istasyonları aşağıda Tablo 4.2'de verilmiştir. Tez çalışması kapsamında seçilen bu istasyonların belirlenmesinde, yapılan analizlerin güvenilirliği için, eksik veri yüzdesinin en fazla %5 olması ve analizler için gerekli kayıt süreleri dikkate alınmıştır. Eksik veriler yakın istasyonlar arasındaki korelasyonlar dikkate alınarak tamamlanmıştır.

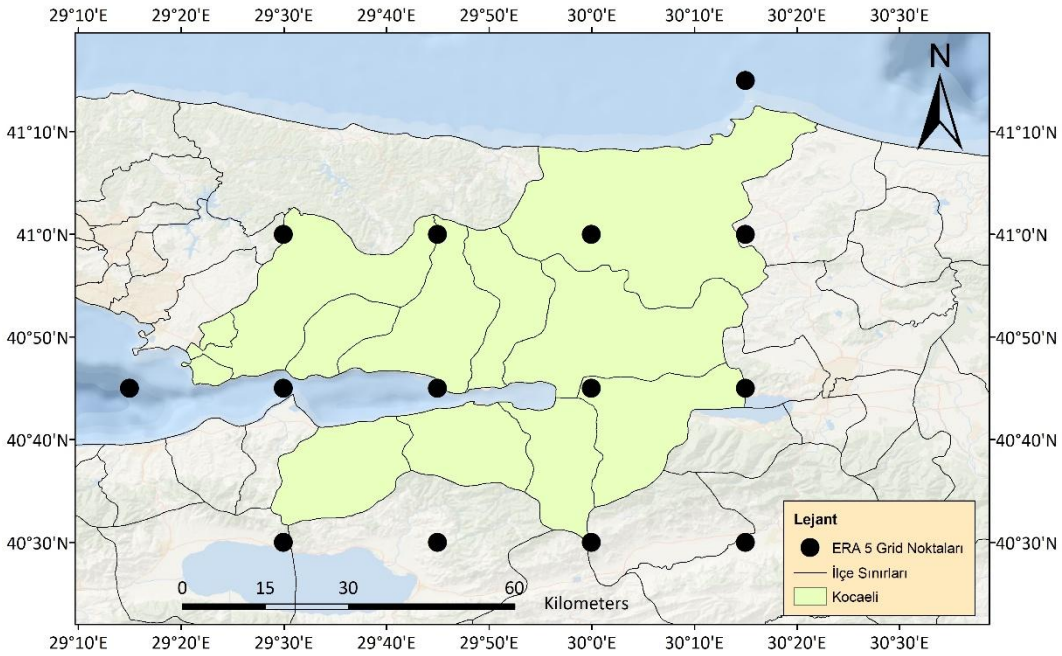
Tablo 4.2 MGM yağış istasyonları ve tanımlayıcı istatistikler

İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem	Boylam	Yıllık Yağış miktarı (mm)	Standart Sapma (mm)	Gözlem Periyodu
17066	Kocaeli	40°45'36"	29°54'36"	828	45	1961-2023
17068	Havalimanı	40°43'48"	30°04'48"	910	50	2001-2023
17067	Gölcük	40°43'12"	29°48'00"	811	44	2005-2023
17639	Gebze	40°49'12"	29°25'48"	619	40	2005-2023
*Analiz periyodu olarak 2005-2023 yılları seçilmiştir.						

4.2.2 ERA 5 Yeniden Analiz Yağış Verileri

ERA 5 yeniden analiz verileri, Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF) tarafından üretilen, 0.25° x 0.25° çözünürlüğe sahip dünya genelindeki 5. Nesil atmosferik veri setlerinden oluşur. Bu kaynaktan ön analiz verileri ile 1940'tan günümüze kadar

küresel iklim ve hava durumu veri setleri de sağlanabilmektedir. Bu tez çalışmasında kullanılan aylık yağış verileri, Avrupa Birliği'nin Copernicus programı kapsamında veri sağlamak ve analiz etmek amacıyla oluşturulan (Copernicus Climate Change Service, C3S) veri deposundan temin edilmiştir. ERA5, fiziksel atmosfer ve iklim süreçlerini temel alarak, gözlemler ile modelleme tekniklerini birleştirip, geniş bir veri kümesi üzerinde yapılan analizler sonucunda elde edilen yeniden analiz veri setleri sunar. Bu veri setleri, küresel ölçekte iklim değişikliği, hava durumu izleme ve meteorolojik analizlerde yaygın olarak kullanılmakta olup, kuraklık gibi iklim bazlı meteorolojik ve hidrolojik çalışmalar için de önemli bir kaynak oluşturmaktadır (Bell vd., 2021). Model verileri, dünya yüzeyindeki her bir nokta için yaklaşık 30 km'lik mekânsal grid (ızgara) oluşturur. ERA 5 model yapısı atmosferin her seviyesinde, toplam 137 dikey seviyede, verilerin elde edilmesine olanak tanır (ECMWF,2023). Aşağıda Şekil 4.2'de sunulan haritada, çalışma alanındaki ERA 5 veri setinin grid noktaları konumları görülmektedir. Bu grid noktalarına ait veriler ile yapılan kuraklık analizlerinin doğrulanmasında, grid noktalarına en yakın MGM yağış istasyonu verileri referans alınmıştır. Tezde uydu ve model tabanlı veriler ile kuraklık analiz sonuçlarının, yerel ölçüm istasyonları ile ne derece uyumlu oldukları bu kabul çerçevesinde değerlendirilmiştir.

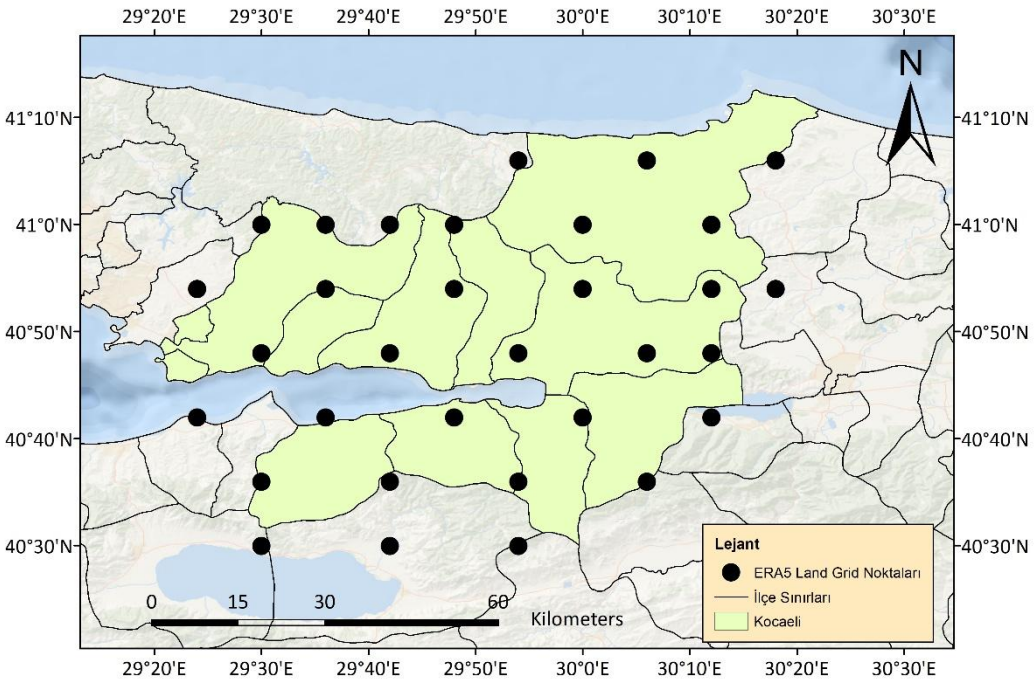


Şekil 4.2 ERA 5 veri setleri için Kocaeli'ndeki grid noktaları dağılım haritası

4.2.3 ERA 5-Land Yeniden Analiz Yağış Verileri

ERA 5-Land veri setleri de ECMWF tarafından karasal yüzey uygulamaları için geliştirilmiştir. Uzamsal çözünürlüğü 31 km olan ERA 5'e kıyasla, 9 km'lik (0.10° x 0.10°) daha yüksek bir çözünürlük sunmaktadır (Tan vd., 2023). Zamansal çözünürlüğü, ERA5'te olduğu gibi saatliktir ve bu, sürekli veri akışı sağlayan bir özelliktir. (Wu vd., 2023). ERA 5-Land, deniz alanlarını dışarıda bırakarak yalnızca kara yüzeyindeki verileri sunar. Deniz alanlarının dikkate alınmaması, model işlemlerini hızlandırmakta ve hesaplamalar açısından daha verimli hale getirmektedir (ECMWF, b). ERA5-Land'in dikkat çeken özelliklerinden biri, yeniden analiz veri setlerinden farklı olarak, yağış tahminlerine geleneksel ölçüm düzeltmelerinin (örneğin, yağmur ölçer verilerinin doğrudan entegre edilmesi) dahil edilmemiş olmasıdır. Bu durum, veri setinin harici verilere olan bağımlılığını azaltmakta ve gerçek zamanlı veri üretimini mümkün kılmaktadır. Ancak bu yaklaşımın, özellikle yerel ölçekte yapılan analizlerde dikkatle değerlendirilmesi gerekmektedir (Wu vd., 2023). ERA 5-Land, zamansal olarak tutarlı yağış tahminleri sunarak, iklim değişikliği ve hidrolojik süreçlere yönelik uzun vadeli analizlerde güvenilir bir veri kaynağıdır. Mekânsal çözünürlüğü ve kara yüzeyine odaklanan iyileştirmeleri sayesinde, iklim değişikliğinin etkilerinin daha ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır (Wu vd., 2023).

Şekil 4.3'te ERA 5-Land veri setinin Kocaeli genelindeki grid noktaları verilmiştir. ERA 5-Land verileri yerel istasyon verileri ile zamansal analiz yapılması halinde veri setinde çalışma alanındaki gözlem istasyonlarına en yakın noktalar dikkate alınarak seçilmiştir.



Şekil 4.3 ERA 5 Land veri setleri için Kocaeli'ndeki grid noktaları dağılım haritası

4.2.4 IMERG NASA Yağış Verileri

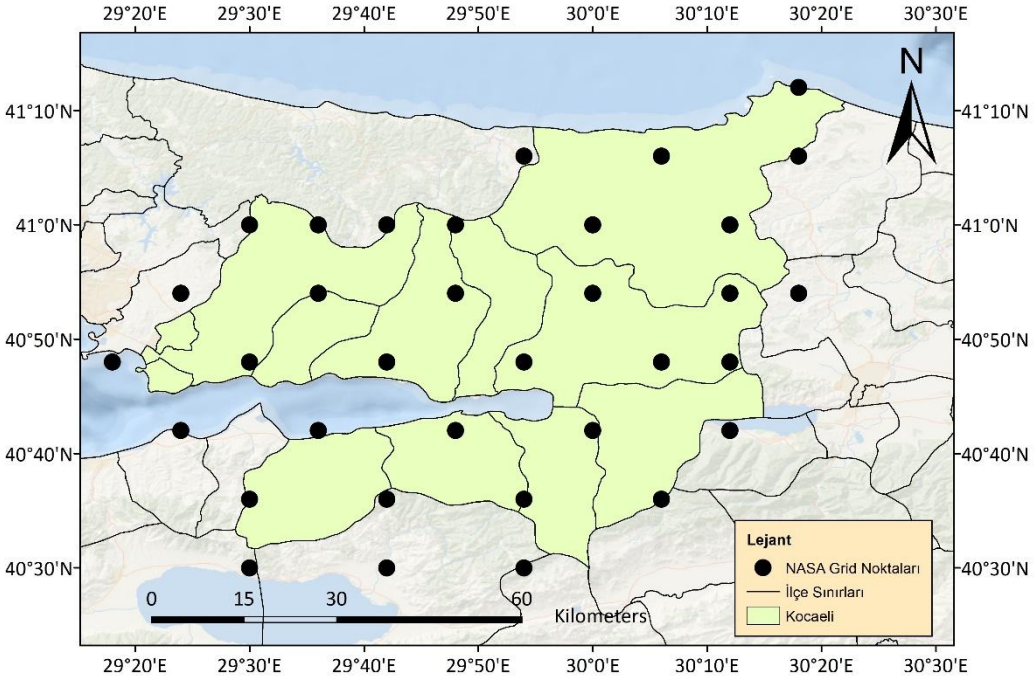
Uzaydan yağış verilerinin toplanması için son yıllarda tercih edilen ana projelerin başında Küresel Yağış Ölçüm Misyonu (GPM) gelmektedir. GPM, NASA liderliğinde ve Japonya Uzay Araştırma Ajansı (JAXA) iş birliğiyle, küresel düzeyde yağış verilerini izlemek ve toplamak için geliştirilmiş uluslararası uydu ağlarına sahiptir. Bu proje, özellikle tropikal bölgelerde yağış ölçümünde önemli başarılar elde eden Tropikal Yağış Ölçüm Misyonu (TRMM) projesinin yerini almak üzere geliştirilmiştir. GPM konsepti, aktif radar ve pasif mikrodalga sensörleri gibi ileri düzeyde teknolojiler ile donatılmış olup, yağışın türü ve miktarını ölçmektedir (NASA, 2023).

GPM misyonu kapsamında geliştirilen Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (IMERG) algoritması, GPM tarafından toplanan verilerin entegrasyonunu sağlar. IMERG NASA, okyanuslar gibi ulaşılması güç bölgelerde sağladığı veriyle son derece değerlidir. Bu algoritma, GPM verileri ile, TRMM den gelen verileri birleştirerek günümüzde yaklaşık 24 yıllık kesintisiz bir yağış veri seti sunmaktadır. Bu veri setleri, bilim insanlarına geçmiş ve mevcut yağış eğilimlerini analiz

edebilme, iklim ve hava modellerini iyileştirme ve su döngüsü ile aşırı yağış olaylarını daha iyi anlama fırsatı sağlar (Huffman & Bolvin, 2023). IMERG algoritması, yağış tahminlerini yarım saatlik aralıklarla güncelleyen gerçek zamanlı veri sağlamaktadır.

Literatürde IMERG NASA verilerinin meteorolojik ve hidrolojik araştırmalarda kullanımına dair çeşitli uygulama örnekleri bulunmaktadır. Bu çalışmada, IMERG NASA yağış verilerinin sunduğu yüksek mekânsal çözünürlükten yararlanılarak, Kocaeli için ayrıntılı kuraklık araştırması yapılarak, ilgili veri setlerinin bu tip araştırmalardaki verimliliği değerlendirilmiştir.

Aşağıda Şekil 4.4'te IMERG NASA veri setine ait grid noktalarının Kocaeli ili genelindeki mekânsal dağılımı görülmektedir



Şekil 4.4 IMERG NASA veri setleri için Kocaeli'ndeki grid noktaları dağılım haritası

5
BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Homojenlik Analiz Sonuçları

Tez kapsamında ilk olarak, Kocaeli sınırları içerisinde bulunan 2005-2023 yıllarına ait Kocaeli, Kocaeli Cengiz Topel Havalimanı, Gölcük ve Gebze istasyonlarının aylık yağış kayıtlarının homojenliği Pettitt, Buishand ve Standart Normal Homojenlik Testleri (SNHT) yardımıyla kontrol edilmiş olup sonuçları Tablo 5.1'de verilmiştir.

Kocaeli, Havalimanı ve Gebze istasyonları için yapılan homojenlik testlerinde Pettitt testi, Buishand testi ve SNHT sonuçları, yağış verilerinin inceleme döneminde homojen olduğunu göstermektedir. Gölcük istasyonunda Pettitt test istatistiği değeri P=0.03 olarak hesaplanmış olup, 0.05'ten küçük olması yağış verileri için homojenliği bozan unsurların ortaya çıktığını göstermektedir. Ancak Buishand testi ve SNHT sonuçları verilerin homojen olduğunu işaret etmektedir. Gölcük istasyonu yağış veri kayıtları ve metaverileri incelendiğinde söz konusu verilerin kalitesine yönelik bir şüphe görülmediğinden, Buishand ve SNHT sonuçları referans alınarak verilerin homojen olduğu ve tez kapsamındaki analizlere bu dört gözlem istasyon verisi kullanılarak devam edilmesinin uygun olacağı değerlendirilmiştir.

Tablo 5.1 MGM Kocaeli gözlem istasyonları aylık toplam yağış verileri homojenlik test sonuçları (2005-2023)

İstasyon Adı	Test Adı	P Değeri	Test Sonucu
Kocaeli	Pettitt	0.41	Kabul
	Buishand	0.66	Kabul
	SNHT	0.92	Kabul
Havalimanı	Pettitt	0.13	Kabul
	Buishand	0.74	Kabul
	SNHT	0.35	Kabul
Gölcük	Pettitt	0.03	Red
	Buishand	0.14	Kabul
	SNHT	0.20	Kabul
Gebze	Pettitt	0.59	Kabul
	Buishand	0.13	Kabul
	SNHT	0.58	Kabul

5.2 Kuraklık Analizleri için Zaman Periyodunun Belirlenmesi

Kocaeli'nde yeterli sayıda ve homojen dağılı uzun süreli yağış gözlem istasyonunun bulunmaması, il genelinde kapsamlı kuraklık analizleri yapılmasını kısıtlamaktadır. Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO), ideal kuraklık analizleri için 20-30 yıl süreli aylık verilerin kullanılması gerektiğini, 50-60 yıl süreli verilerin kullanılmasının ise analizler için en uygun olduğunu ifade etmektedir (Guttman, 1994; WMO 2012). Bu öneriyle uyumlu il geneline dağılmış yeterli nitelik ve niceliğe sahip veri setlerine sahip olunmaması durumunda ise, bölgesel analizlerin güvenilirliği ayrıntılı analizler ile sınanarak tartışılmalıdır. Arra ve Şişman (2024) tarafından yapılan bir araştırmada veri sorunları yaşanan bölgelerdeki kuraklık analizleri için kabul edilebilir (minimum) zaman periyotlarının kaç yıl olabileceği değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçları meteorolojik kuraklık değerlendirmeleri için 10 yıllık veri setlerinin yeterli olabileceğini, hidrolojik kuraklıkların değerlendirildiği 6 ay ve üzerindeki zaman ölçekleri için minimum kabul edilebilir periyodun en azından 20 yıl olmasının gerektiği ifade edilmiştir. Bu tez çalışmasında il sınırları içerisinde 30 yıl ve üzeri verisi bulunan tek istasyon Kocaeli merkez yağış istasyonudur. Havalimanı, Gölcük ve Gebze istasyonlarının veri kayıt uzunluğu 2023 yılı itibariyle 19 yıldır. İl geneline dağılan diğer MGM istasyonlarının ölçüm periyotlarının 10 yılın altında olduğu görülmüştür. Çalışma

kapsamında söz konusu dört ölçüm istasyonu için kuraklık analizleri, WMO'nun tavsiyeleri doğrultusunda 19, 30 ve 60 yıllık, üç farklı zaman senaryosu referans alınarak değerlendirilmiştir. Kocaeli ilinde nispeten kısa dönem veri setlerine sahip, 10 yıl altında verisi bulunan, istasyonlar için ise kuraklık uygulamaları yapılamamıştır.

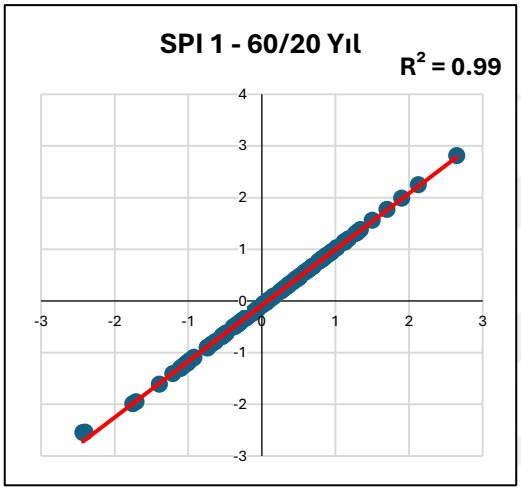
5.2.1 Farklı zaman periyotları için kuraklık analiz sonuçlarının metrikler ile değerlendirilmesi

Bu tez çalışmasında, Kocaeli'nin MGM yağış gözlem istasyonlarına bağlı kuraklık izlemesinde, analizlerde kullanılacak zaman periyotlarının incelenip değerlendirilmesi amacıyla, bu bölümde farklı uzunluklara sahip zaman periyotları senaryoları için kuraklık analizleri gerçekleştirilmiştir. Kocaeli'ndeki MGM istasyonlarındaki yağış gözlemlerinin kayıt süreleri dikkate alındığında, sadece Kocaeli merkez istasyonunun 60 yıl üzerinde gözlem verisine sahip olduğu, diğer istasyonların kayıt uzunluklarının, WMO'nun ideal süre olarak tavsiyesi, 30 yılın da altında kaldığı görülmektedir. Burada, il içerisinde uygun veya uzun süreli verisi bulunan sadece, Kocaeli istasyonu referans alınarak 20, 30 ve 60 yıllık üç farklı zaman senaryosu için SPI 1, SPI 3, SPI 6 ve SPI 12 hesapları yapılmış ve kuraklık sonuçları ortak yılların zaman periyotları paydasında incelenerek RMSE, R^2, ve CC metrikleri yardımıyla değerlendirilmiştir.

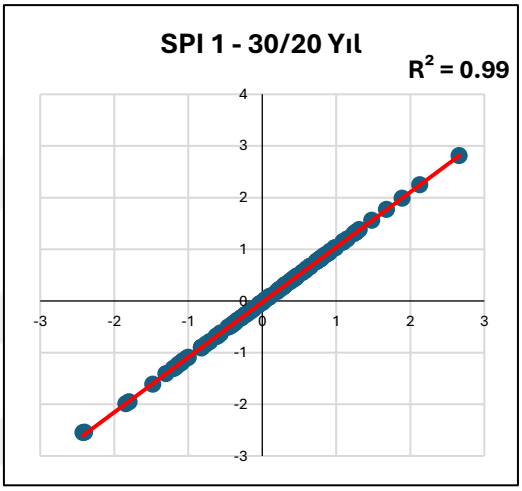
Elde edilen analiz sonuçları Tablo 5.2'de özetlenmektedir. 60 ve 30 yıllık senaryoların 20 yıl ile olan uyumu belirlenen istatistiksel metrikler dikkate alınarak değerlendirildiğinde, aralarında güçlü ve kabul edilebilir bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Aşağıda Şekil 5.1'de, senaryolara bağlı kuraklık analiz sonuçları arasındaki regresyon modelleri de verilmektedir. X ekseni, 60 ve 30 yıllık zaman senaryosu kuraklık sonuçlarını, Y ekseni ise 20 yıllık zaman senaryosu kuraklık sonuçlarını göstermektedir. Elde edilen bu sonuçlar, 20 yıllık veri setlerinin kuraklık analizlerinde kullanılabilirliğini desteklemektedir.

Tablo 5.2 Kocaeli merkez yağış gözlem istasyonunda üç farklı (60-30-20 yıl) zaman senaryosu için SPI kuraklık indis sonuçlarının metrikler yardımıyla karşılaştırılması

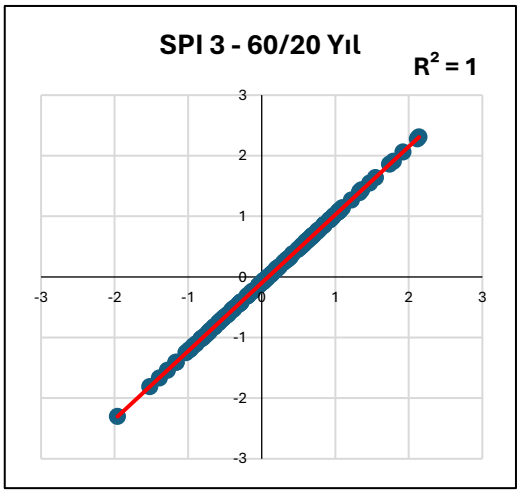
Kuraklık indisi	**SPI 1**		**SPI 3**		**SPI 6**		**SPI 12**	
Senaryolar	60/20	30/20	60/20	30/20	60/20	30/20	60/20	30/20
R²	0.999	0.999	1	1	1	1	1	1
CC	1	1	1	1	1	1	1	1
RMSE	0.11	0.06	0.13	0.05	0.11	0.04	0.17	0.08



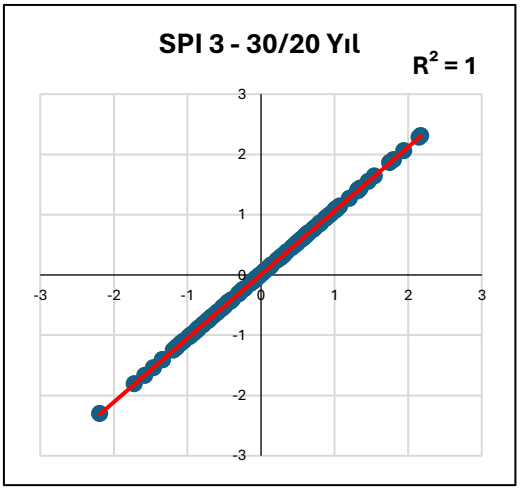
(a)



(b)

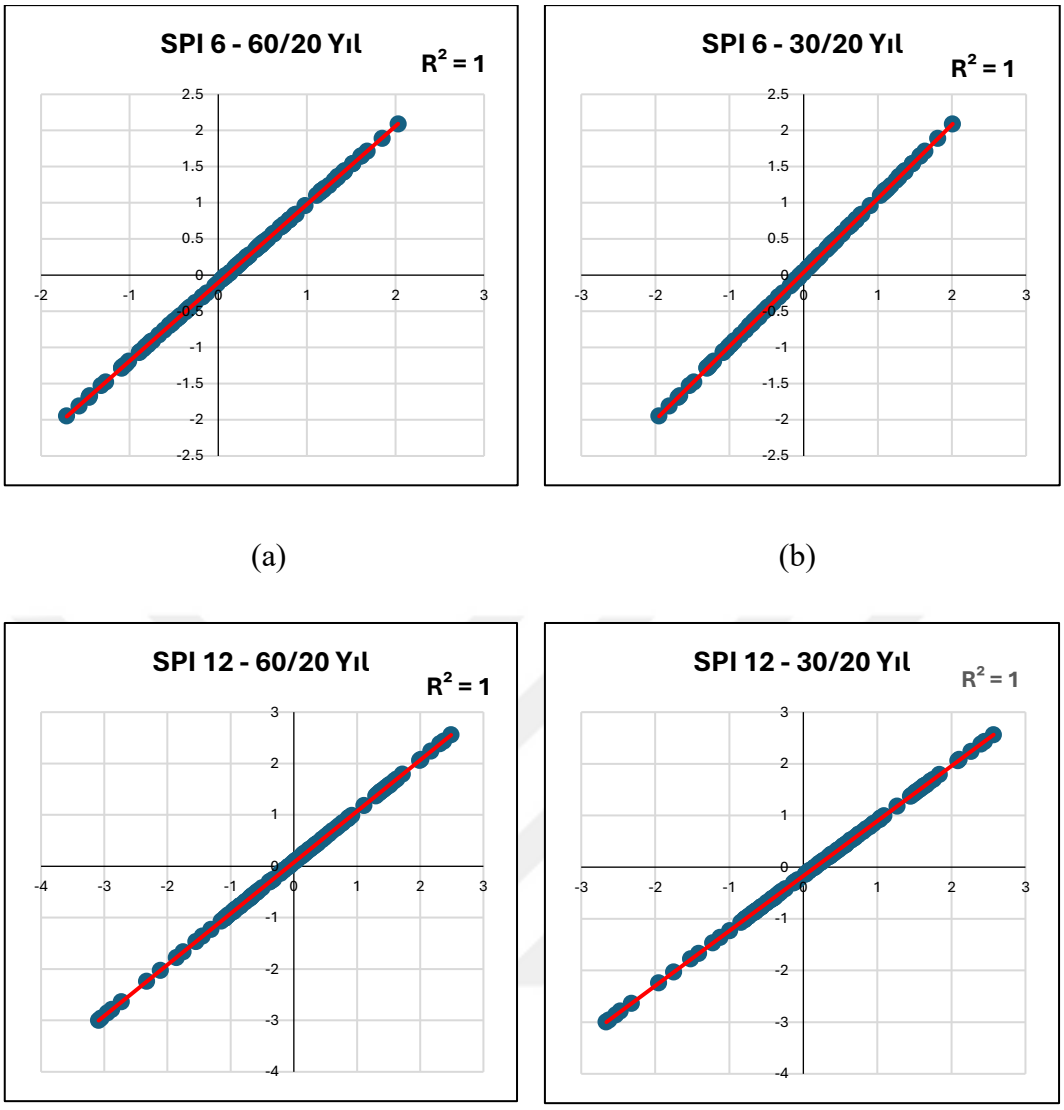


(c)



(d)

Şekil 5.1 SPI 1-3 kuraklık sonuçları regresyon modelleri (a-d)



(a) (b)

(c) (d)

Şekil 5.2 SPI 6-12 kuraklık sonuçları regresyon modelleri (a-d)

5.2.2 Farklı zaman periyotları için kuraklık analiz sonuçlarının Yenilikçi Kuraklık Sınıflandırma Matrisi (IDCM) ile değerlendirilmesi

Kuraklık Sınıflandırma Matrisi IDCM ile kuraklık indislerine ve sınıf aralıklarına bağlı olarak kuraklık analiz sonuçları arasındaki farklılıklar ve benzerlikler kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. Bu bölümde Kocaeli istasyonunun, 2023 yılına kadar olan, 60 ve 30 yıllık veri setleri için kuraklık analiz sonuçlarıyla, son 20 yıllık zaman periyodundaki veri setleri kuraklık analiz sonuçları IDCM metodolojisi ile incelenerek değerlendirilmiştir. Aşağıda verilen 5.3 ve 5.4 (a-d)

numaralı tablolar incelendiğinde; tablolardaki sayılar ve yüzde değerleri, 60/20 yıl zaman senaryosu ve 30/20 yıl zaman senaryoları arasındaki uyumu kantitatif açıdan değerlendirmektedir. Tablolar incelendiğinde sonuçlar arasında uyum oranlarının %88 ile %96 arasında değiştiği görülmektedir. Tablo 5.3 (a-d)'de verilen 60 ve 20 yıllık veri setlerine dayalı kuraklık sonuçları incelendiğinde, genel olarak kuraklık sınıfları tahminlerinde yüksek düzeyde bir benzerlik gözlemlenmektedir. SPI 1 ve SPI 6 için %94'lük bir uyum oranı hesaplanırken, analiz sonuçları arasındaki uyum oranları SPI 3 için %88 ve SPI 12 için %91 dir. Elde edilen bulgular 20 yıllık zaman serisinin, 60 yıllık referans dönemiyle kıyaslandığında büyük ölçüde benzer kuraklık eğilimlerini yansıttığını göstermektedir. Diğer taraftan, 30 ve 20 yıllık kuraklık analiz sonuçlarının IDCM tabloları incelendiğinde, kuraklık sonuçları arasındaki uyum oranları SPI 1, SPI 3, SPI 6 ve SPI 12 için sırasıyla %94-94-96 ve 94 olarak hesaplanmıştır. Bu hesap sonuçları, 20 yıllık kuraklık analiz sonuçlarıyla 30 yıllık periyot sonuçları kıyaslamasında aralarında oldukça yüksek bir uyumun olduğunu göstermektedir. Kocaeli istasyonu kuraklık analiz sonuçları, il genelinde ayrıntılı uzamsal değerlendirme yapılabilmesi için, kuraklık analizlerinde yaklaşık 19 yıllık zaman periyodu (2005-2023 yılları) seçiminin belli hata ölçütlerinde uygun olabileceğini göstermiştir.

Tablo 5.3 Kocaeli yağış gözlem istasyonunda 60/20 yıl zaman senaryoları SPI 1, SPI 3, SPI 6 ve SPI 12 kuraklık indis sonuçlarının IDCM yardımıyla karşılaştırılması (a-d)

SPI 1		60 Yıl							Toplam
		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	
20 Yıl	EW	3	1	0	0	0	0	0	4
	SW	0	7	0	0	0	0	0	7
	MW	0	0	21	1	0	0	0	22
	N	0	0	0	160	0	0	0	160
	MD	0	0	0	8	21	0	0	29
	SD	0	0	0	0	3	5	0	8
	ED	0	0	0	0	0	2	4	6
Toplam		3	8	21	169	24	7	4	236(94%)

(a)

SPI 3		60 Yıl							Toplam
		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	
20 Yıl	EW	2	3	0	0	0	0	0	5
	SW	0	8	5	0	0	0	0	13
	MW	0	0	23	1	0	0	0	24
	N	0	0	0	156	0	0	0	156
	MD	0	0	0	7	12	0	0	19
	SD	0	0	0	0	12	3	0	15
	ED	0	0	0	0	0	1	1	2
Toplam		2	11	28	164	24	4	1	234(88%)

(b)

SPI 6		60 Yıl							Toplam
		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	
20 Yıl	EW	2	0	0	0	0	0	0	2
	SW	0	12	1	0	0	0	0	13
	MW	0	0	26	0	0	0	0	26
	N	0	0	1	149	0	0	0	150
	MD	0	0	0	3	19	0	0	22
	SD	0	0	0	0	9	6	0	15
	ED	0	0	0	0	0	1	2	3
Toplam		2	12	28	152	28	7	2	231(94%)

(c)

SPI 12		60 Yıl							Toplam
		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	
20 Yıl	EW	8	0	0	0	0	0	0	8
	SW	0	12	0	0	0	0	0	12
	MW	0	4	13	0	0	0	0	17
	N	0	0	5	161	0	0	0	166
	MD	0	0	0	9	10	0	0	19
	SD	0	0	0	0	2	3	0	5
	ED	0	0	0	0	0	2	7	9
Toplam		8	16	18	170	12	5	7	236 (91%)

(d)

Tablo 5.4 Kocaeli yağış gözlem istasyonunda 30/20 yıl zaman senaryoları SPI 1, SPI 3, SPI 6 ve SPI 12 kuraklık indis sonuçlarının IDCM yardımıyla karşılaştırılması (a-d)

SPI 1		30 Yıl							Toplam
		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	
20 Yıl	EW	3	0	0	0	0	0	0	3
	SW	1	6	0	0	0	0	0	7
	MW	0	1	17	0	0	0	0	18
	N	0	0	5	160	3	0	0	168
	MD	0	0	0	0	26	3	0	29
	SD	0	0	0	0	0	5	0	5
	ED	0	0	0	0	0	0	6	6
Toplam		4	7	22	160	29	8	6	236(94%)

(a)

SPI 3		30 Yıl							Toplam
		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	
20 Yıl	EW	2	0	0	0	0	0	0	2
	SW	3	8	0	0	0	0	0	11
	MW	0	5	22	0	0	0	0	27
	N	0	0	2	156	2	0	0	160
	MD	0	0	0	0	17	2	0	19
	SD	0	0	0	0	0	13	0	13
	ED	0	0	0	0	0	0	2	2
Toplam		5	13	24	156	19	15	2	234(94%)

(b)

SPI 6		30 Yıl							Toplam
		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	
20 Yıl	EW	2	0	0	0	0	0	0	2
	SW	0	8	0	0	0	0	0	8
	MW	0	5	23	0	0	0	0	28
	N	0	0	3	149	0	0	0	152
	MD	0	0	0	1	22	0	0	23
	SD	0	0	0	0	0	15	0	15
	ED	0	0	0	0	0	0	3	3
Toplam		2	13	26	150	22	15	3	231(96%)

(c)

SPI 12		30 Yıl							Toplam
		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	
20 Yıl	EW	7	0	0	0	0	0	0	7
	SW	1	8	0	0	0	0	0	9
	MW	0	4	15	0	0	0	0	19
	N	0	0	2	163	1	0	0	166
	MD	0	0	0	3	17	1	0	21
	SD	0	0	0	0	1	4	0	5
	ED	0	0	0	0	0	0	9	9
Toplam		8	12	17	166	19	5	9	236 (94%)

(d

5.3 MGM Gözlem-ERA 5 /ERA 5 LAND ve IMERG NASA Yağış Ürünlerinin Çeşitli Metrikler Yardımıyla İncelenmesi

Aşağıda Tablo 5.5 (a-d)'de sunulan metrik sonuçları, ERA 5, IMERG NASA ve ERA 5-Land yağış verileri ile gözlem istasyonlarından elde edilen yağış verileri arasındaki zamansal doğrulama sonuçlarını gösterir. Kocaeli il sınırları içerisinde verisi bulunan ve yaklaşık on dokuz yıllık yağış veri setine sahip dört gözlem istasyonu ile bu istasyonlara en yakın grid noktaları veri setlerinin uyumları çeşitli hata metrikleri (R^2, CC, RMSE, RBIAS) kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, karşılaştırılan veri setleri arasında anlamlı ilişkiler gözlemlenmektedir. Özellikle IMERG NASA veri setleri, yüksek R^2 ve CC değerleri ile öne çıkmaktadır. Ancak, IMERG NASA verilerindeki yüksek RBIAS ve RMSE değerleri, bu veri setinin yağış miktarlarını inceleme bölgesi açısından aşırı tahmin etme eğiliminde olduğunu gösterir. Xu vd.'nın (2022) çalışmalarında IMERG verilerinin gözlem verileriyle yüksek korelasyonuna rağmen bazı bölgelerde sapmalar içerdiği rapor edilmiştir. ERA 5 ve ERA 5-Land veri setleri, hem korelasyon katsayısı (CC, R^2) hem de hata metrikleri (RMSE, RBIAS) açısından genellikle birbirine yakın ve tutarlı değerler sergileyerek dengeli bir performans ortaya koymaktadır. ERA 5 verileri, deniz etkisinin belirgin olduğu Kocaeli ve Gebze istasyonlarında daha düşük RMSE ve RBIAS değerleri ile görece daha iyi sonuçlar vermektedir. Tan vd. (2023) tarafından tropikal bölgelerde yapılan çalışmalarda bu bulguyu destekler nitelikte olup, ERA 5 verilerinin özellikle kıyı bölgelerinde daha yüksek doğruluk sağladığı ifade edilmektedir. ERA5-Land verilerinin yalnızca kara alanlarına odaklanması sebebiyle bazı istasyonlarda bu veri setinin performansının sınırlandığı düşündürmektedir. Gomis-Cebolla vd. (2023) İspanya için yapmış oldukları araştırma, ERA 5 ve ERA 5-Land veri setleri arasında büyük farklar bulunmadığını ve her iki veri setinin de gözlemsel verilerle benzer desenler gösterdiğini belirtir. Bu değerlendirmeler ışığında, IMERG NASA, ERA 5 ve ERA 5 Land verileri ile gözlem verileri kıyaslaması sonucunda, performansları arasında istatistiksel metriklere göre değişen bazı farkların bulunduğu ancak uygun sınamalar sonrası kullanım amacına

göre gözlem verileri ile veya gözlem verilerinin yerine kullanılabileceğini göstermektedir.

Tablo 5.5 MGM Gözlem- ERA 5/ERA 5 LAND/IMERG NASA aylık toplam yağış verilerinin metrikler ile karşılaştırma sonuçları (a-d)

Kocaeli	**ERA5**	**ERA5-LAND**	**IMERG NASA**
R^2	0.64	0.62	0.79
CC	0.80	0.79	0.89
RMSE	29.62	28.62	41.77
RBias	-15.97	-8.44	43.21

(a)

Havalimanı	**ERA5**	**ERA5-LAND**	**IMERGNASA**
R^2	0.62	0.53	0.73
CC	0.79	0.73	0.85
RMSE	33.04	36.28	40.81
RBias	-15.03	-16.26	33.29

(b)

Gölcük	**ERA5**	**ERA5-LAND**	**IMERG NASA**
R^2	0.59	0.51	0.73
CC	0.77	0.72	0.85
RMSE	28.61	30.96	49.29
RBias	-7.21	1.71	57.92

(c)

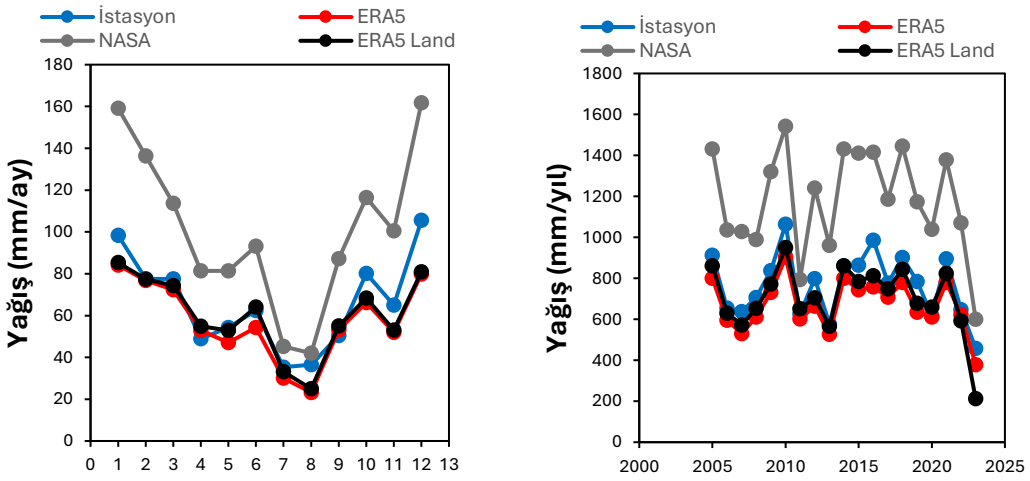
Gebze	**ERA5**	**ERA5-Land**	**IMERG NASA**
R^2	0.66	0.67	0.68
CC	0.81	0.82	0.83
RMSE	26.84	26.49	62.64
RBias	-10.09	-9.68	93.66

(d)

5.3.1 MGM Gözlem-ERA 5-ERA 5 LAND ve IMERG NASA için Aylık ve Yıllık Yağış Zaman Serileri

Bu bölümde 2005 yılı ocak ayından 2023 yılı ağustos ayına kadar görülen yağışların yıllık toplamları ve aylık ortalamaları dört MGM gözlem istasyonu ve bu istasyonlara en yakın ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA grid noktaları için hesaplanmış olup, söz konusu verilerin ayrıntılı inceleme ve değerlendirmesi için aşağıda verilen zaman serisi grafikleri hazırlanmıştır. Şekil 5.2 (a-b)'de gösterildiği gibi ERA 5 ve ERA 5-Land, IMERG NASA ile kıyaslandığında yağış miktarındaki zamansal değişiklikleri belli bir seviyede yakalayabilmektedir. Yıllık ve aylık ortalama grafikler ayrıntılı şekilde incelendiğinde, IMERG NASA'nın MGM gözlemlerine kıyasla yağışları daha yüksek tahmin ettiği anlaşılmaktadır. Tüm veri kaynakları için aylık ortalama yağışlar aralık ve ocak aylarında en yüksek seviyedeyken, temmuz ve ağustos aylarında yağış miktarları önemli oranda düşmektedir. Yıllık toplam yağış miktarları zaman serisi incelendiğinde en yağışlı dönemin 2010 yılı olduğu görünürken, yağışların en az olduğu dönemler veri kaynağına göre değişmekte olup gözlem istasyonlarına göre 2012 ve 2013 yılları, ERA 5 ve ERA 5 LAND için 2013 ve 2014 yılları, IMERG NASA için ise 2011 yılıdır. Dört veri kaynağına ait yağış verileri kullanılarak hazırlanan zaman serileri incelendiğinde, ERA 5 ve ERA 5-Land'ın, IMERG NASA'ya kıyasla daha başarılı oldukları görülmektedir. NASA'nın yağış tahminleri gözlemlere kıyasla daha yüksektir.

Bunların yanı sıra tüm veri setlerinin zamansal değişim desenlerindeki paralellikler, kuraklık analiz çalışmalarında söz konusu verilerin kullanılabilirliklerini destekler niteliktedir (Xu vd., 2022; Kourtis vd., 2023; Gomis-Cebolla vd., 2023; Tan vd., 2023).



(a) (b)

Şekil 5.3 MGM gözlem istasyonları, ERA 5, ERA 5 LAND ve IMERG NASA yağış verileri zaman serileri (a-b)

5.4 MGM Gözlem-ERA 5-ERA 5 LAND ve IMERG NASA Yağış Verileri ve Olasılıkları

Aşağıda tablo 5.6 (a-d)'da Kocaeli, Havalimanı, Gölcük ve Gebze istasyonları için sınıflandırılan aylık yağış yoğunluğu değerlerine karşılık dört veri kaynağında hesaplanan olasılık değerleri verilmektedir. Bu tablolar yardımıyla, MGM gözlem istasyonlarında belirlenen sınıf aralıklarında ölçülen aylık yağış miktarları olasılıkları ile, ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA yağış ürünlerinin aynı sınıf aralıklarındaki görülme olasılıkları incelenip yorumlanmıştır. Tablolar ile birlikte aşağıda verilen Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da bu verilerin belirlenen sınıf aralıkları için olasılık dağılım grafikleri de sunulmuştur. Tablo 5.6 (a-d)'da sunulan olasılık dağılımlarına göre, ERA 5 ve ERA 5-Land veri setleri, genel olarak orta şiddetli yağış aralıklarında (20-80 mm) gözlemsel verilerle benzer eğilimler gösterirken, IMERG NASA ürününün bu aralıklardaki olasılıkları düşüktür. Ancak, IMERG NASA ürününün yüksek yağış aralıkları tahminlerinin (≥100 mm) ve özellikle ≥150 mm sınıf aralıklarında görülme olasılıklarının genelde önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Gebze ve Havalimanı istasyonlarının, IMERG NASA ya göre ≥150 mm yağış sınıfı olasılıkları sırasıyla %23 ve %22 olarak öngörülürken, ERA5 ve ERA5-Land'in bu sınıf aralığı için herhangi bir yağış

durumu öngörmediğini söylemek yanlış olmayacaktır. Aşağıda verilen olasılık dağılım grafiklerinde de bu durum açıkça görülmekte olup, IMERG NASA ürünlerinde ekstrem yağışlara yönelik eğilim belirgin şekilde görülmektedir. Düşük yağış aralıklarında (<5 mm) ise istasyon verilerine kıyasla diğer veri kaynaklarının daha düşük olasılıklar sunduğu, ERA5 ve ERA5-Land ürünleri olasılıklarının bu sınıf aralığında istasyon verilerinin altında kaldığı IMERG NASA'nın ise Gebze dışında bu aralık için bir yağış öngörüsünde bulunamadığı tespit edilmiştir. Gebze İstasyonu için yapılan analize göre, düşük aylık yağış yoğunlukları, <5 mm/ay, için ERA 5 (ERA5 LAND) ve NASA veri setlerinin olasılık değerleri sırasıyla %3.62 (3.17) ve %0,45 olarak hesaplanmışken, buna karşın gözlem istasyonunda, önemli farklılık görülmekte olup, söz konusu sınıftaki yağış olasılığı %10.41 olarak hesap edilmiştir. Tablo ve grafikler incelendiğinde, ERA5 ve ERA5-Land ürünleri genel olarak 60-80 mm aralığında en yüksek olasılık değerlerine sahipken, istasyon verilerine göre yağışlar sıklıkla 40-60 mm aralığında yoğunlaşmıştır. Bu durum, model tabanlı ürünler ile gözlemler arasında yer yer önemli farkların olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, her bir veri seti yağış olasılıkları ve dağılımları açısından yer yer farklı eğilimler sergilemekte olup, özellikle yüksek ve düşük yağış sınıflarındaki temsiliyet farklılıkları dikkat çekmektedir.

Tablo 5.6 MGM, ERA 5, ERA 5 LAND ve IMERG NASA veri kaynakları uzun yıllar aylık ortalama yağışları ve olasılıkları (a-d)

Kocaeli (mm/ay)	MGM (%)	ERA 5 (%)	ERA 5-Land (%)	IMERG NASA (%)
<5	1.81	1.35	0.90	0
5−20	10.40	10.85	9.95	5.42
20−40	15.38	23.07	18.09	11.76
40−60	20.36	14.93	19.00	12.66
60−80	16.28	26.24	21.71	10.85
80−100	14.47	13.12	17.64	14.47
100−120	10.85	7.23	6.33	10.85
120−150	7.23	3.16	6.33	14.02
≥150	3.13	0	0	19.90

(a)

Tablo 5.6 MGM, ERA 5, ERA 5 LAND ve IMERG NASA veri kaynakları uzun yıllar aylık ortalama yağışları ve olasılıkları (a-d) (devamı)

Havalimanı (mm/ay)	MGM (%)	ERA 5 (%)	ERA 5-Land (%)	IMERG NASA (%)
<5	2.71	0.90	1.35	0
5−20	8.59	8.59	9.04	5.42
20−40	13.12	18.09	18.55	12.66
40−60	19.00	19.45	16.28	10.40
60−80	13.57	19.90	22.62	11.76
80−100	15.83	19.00	19.00	12.21
100−120	12.21	7.69	8.14	12.21
120−150	7.23	6.33	4.97	13.12
≥150	7.69	0	0	22.17

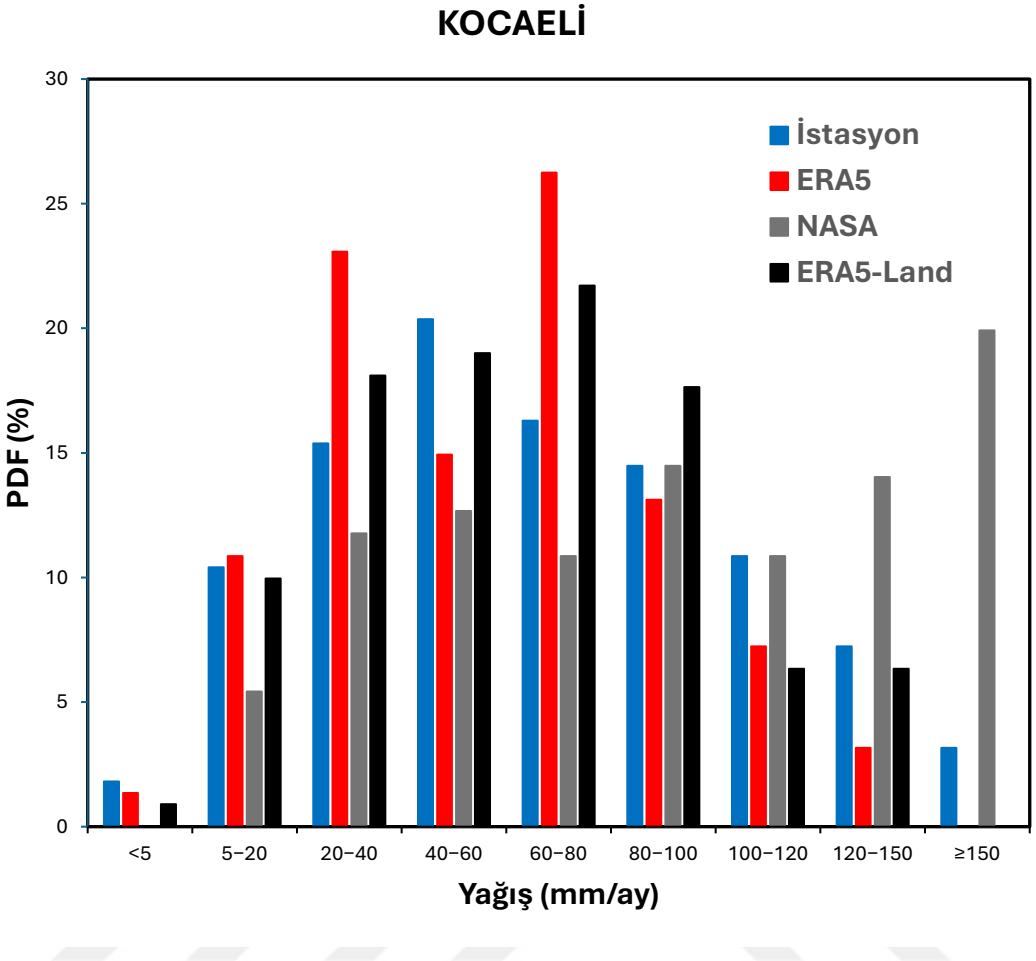
(b)

Gölcük (mm/ay)	MGM (%)	ERA 5 (%)	ERA 5-Land (%)	IMERG NASA (%)
<5	3.61	1.35	1.35	0
5−20	11.31	10.85	7.69	6.78
20−40	20.36	23.07	20.81	10.40
40−60	19.00	14.93	14.93	12.66
60−80	16.28	26.24	20.36	12.21
80−100	15.38	13.12	19.90	12.66
100−120	3.16	7.23	8.14	12.21
120−150	7.69	3.16	5.88	12.21
≥150	3.16	0	0.90	20.81

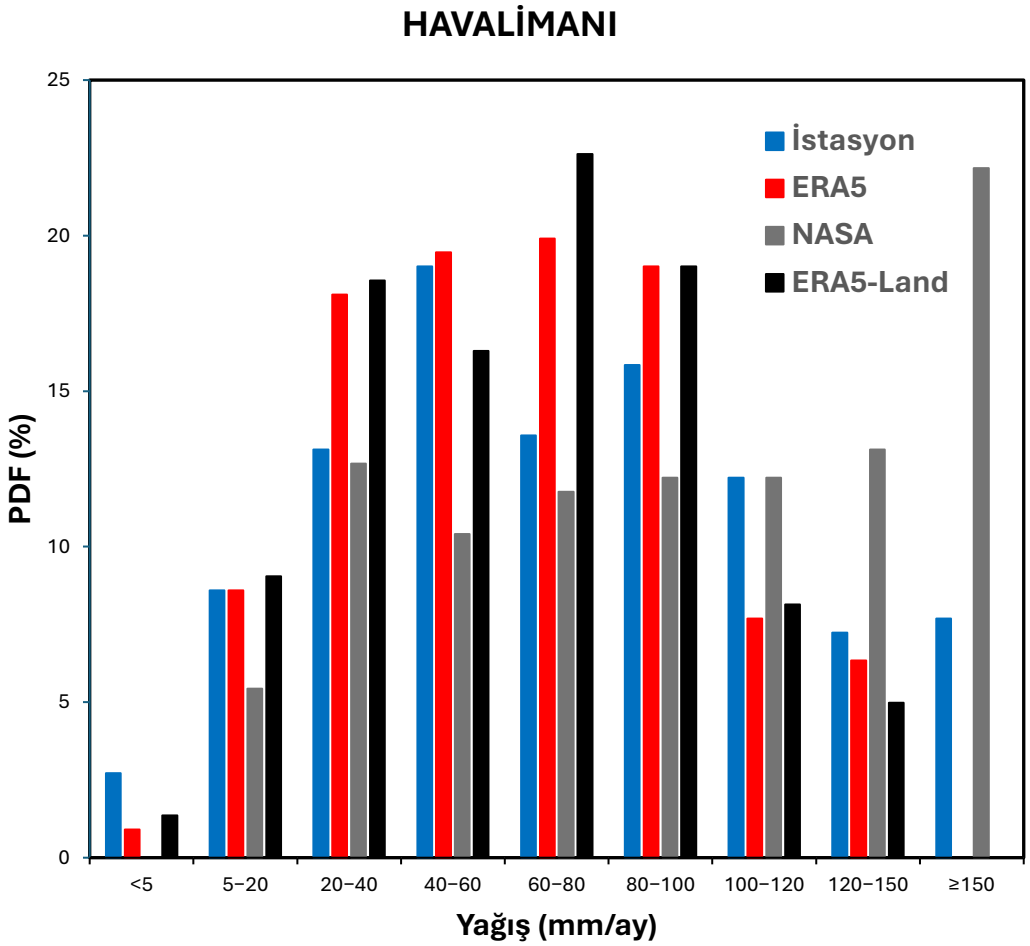
(c)

Gebze (mm/ay)	MGM (%)	ERA 5 (%)	ERA 5-Land (%)	IMERG NASA (%)
<5	10.40	3.61	3.16	0.45
5−20	16.28	16.74	16.74	6.33
20−40	19.45	26.69	27.14	11.31
40−60	16.74	21.26	19.45	13.12
60−80	17.64	18.55	19.00	12.21
80−100	8.14	7.69	7.69	10.85
100−120	4.97	5.42	5.42	10.40
120−150	4.07	0	0.90	12.21
≥150	2.26	0	0.45	23.07

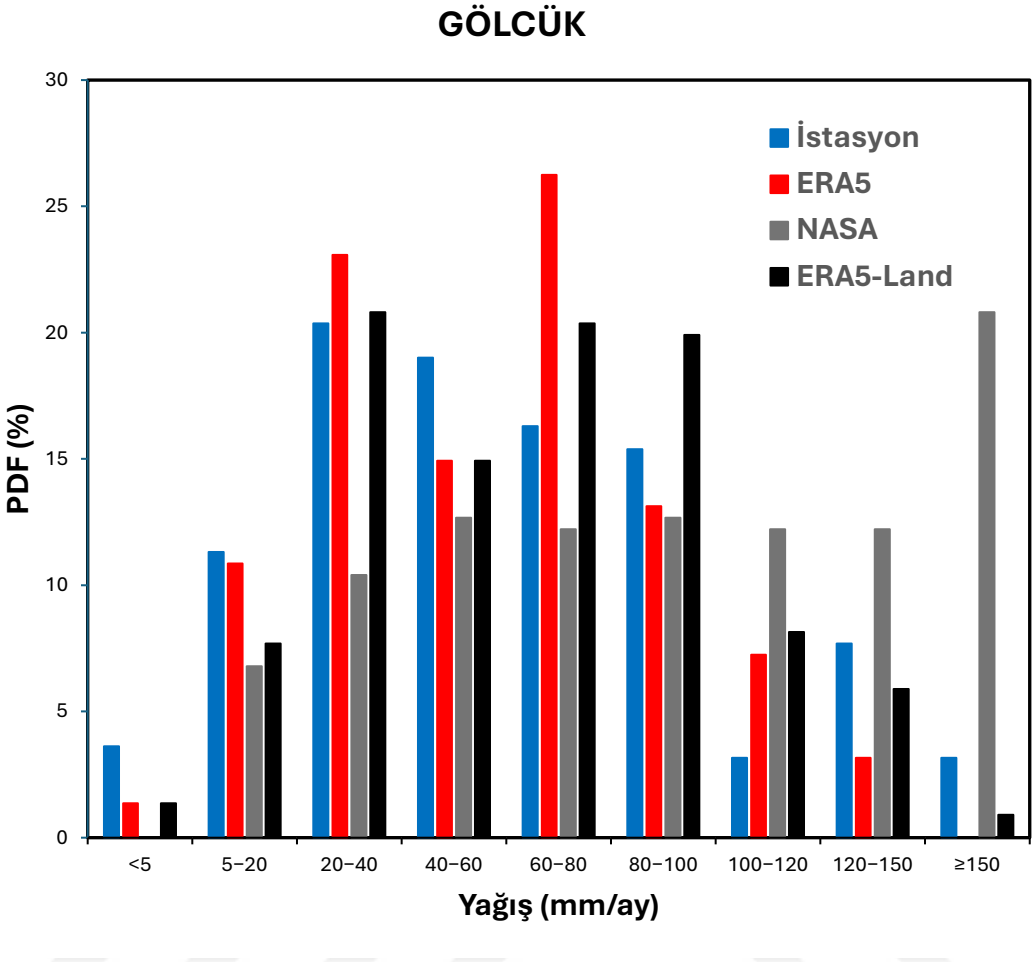
(d)



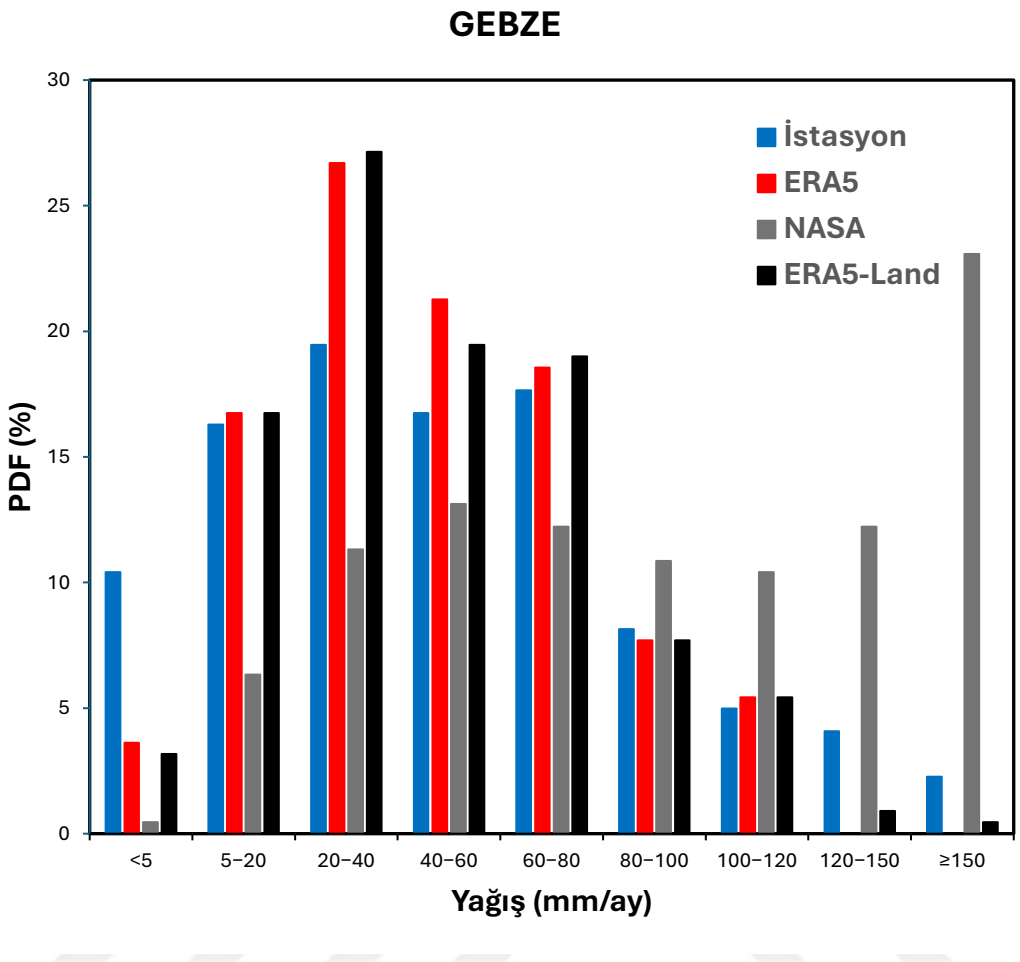
Şekil 5.4 Kocaeli MGM yağış gözlem istasyonu ve en yakın grid noktasındaki ERA 5, ERA 5 LAND ve IMERG NASA veri kaynakları için 2005-2023 aylık ortalama yağışları ve olasılık dağılımları



Şekil 5.5 Havalimanı MGM yağış gözlem istasyonu ve en yakın grid noktasındaki ERA-5, ERA-5 LAND ve IMERG NASA veri kaynakları için 2005-2023 aylık ortalama yağışları ve olasılık dağılımları



Şekil 5.6 Gölcük MGM yağış gözlem istasyonu ve en yakın grid noktasındaki ERA-5, ERA-5 LAND ve IMERG NASA veri kaynakları için 2005-2023 aylık ortalama yağışları ve olasılık dağılımları



Şekil 5.7 Gebze MGM yağış gözlem istasyonu ve en yakın grid noktasındaki ERA-5, ERA-5 LAND ve IMERG NASA veri kaynakları için 2005-2023 aylık ortalama yağışları ve olasılık dağılımları

5.5 SPI Kuraklık Analiz Sonuçları

5.5.1 MGM, ERA 5, ERA 5 LAND ve IMERG NASA SPI Sonuçlarının Metrikler ile Karşılaştırılması

Bu bölümde, Kocaeli ilindeki dört meteoroloji istasyonu (Kocaeli, Havalimanı, Gölcük ve Gebze) gözlem verileri ile ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA veri setlerinin kuraklık analizlerinde kullanılabilirliği incelenip değerlendirilmiştir. Dört farklı zaman ölçeğinde (SPI 1, 3, 6, 12) metrikler yardımıyla gerçekleştirilen performans analiz sonuçlarına göre, özellikle IMERG NASA veri setlerinin istasyon verileri ile en yüksek korelasyon (CC) ve belirlilik katsayısı (R^2) değerlerine ulaştığı ve genelde daha düşük ortalama karekök hatası (RMSE) değerlerinin hesaplandığı görülmektedir. Bu sonuçlar IMERG NASA verilerinin

kuraklık izleme ve değerlendirme çalışmalarında bir alternatif olarak kullanılabilirliğini desteklemektedir. Xu ve arkadaşlarının (2022) Çin ana karasında gerçekleştirdikleri çalışmada da uydu tabanlı ürünlerin model tabanlı ürünlere kıyasla daha yüksek performans sergilediği rapor edilmiştir. Bu sonuçlar özellikle yağış verilerinin eksik, yetersiz veya bulunmadığı bölgeler için ilgili veri kaynaklarının kullanılmasının önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Öte yandan ERA 5 ve ERA 5-Land analiz sonuçları arasında önemli bir farklılık görülmemektedir. Zaman ölçeğine ve istasyon konumuna göre analiz sonuçlarının bir miktar farklılaştığı buna karşın sonuçlar açısından ERA 5 ve ERA 5 Land dan herhangi birinin ön plana çıkmadığı görülmüştür. Nitekim Gomis-Cebolla ve arkadaşları (2023) tarafından İspanya genelinde yapılan çalışma ile de bu sonuçlar örtüşmekte olup, ERA 5 ve ERA 5-Land veri setleri arasında anlamlı bir fark bulunmadığı ancak bölgesel farklılıkların performans üzerinde etkili olabileceği ifade edilmiştir.

Tablo 5.7 SPI kuraklık indis sonuçlarının metrikler ile karşılaştırılması (a-d)

Metrik	Kocaeli	MGM-ERA 5	MGM-ERA 5-Land	MGM-IMERG NASA
R^2	SPI 1	0.68	0.66	0.80
	SPI 3	0.70	0.65	0.81
	SPI 6	0.73	0.67	0.80
	SPI 12	0.71	0.71	0.74
CC	SPI 1	0.82	0.81	0.90
	SPI 3	0.83	0.81	0.9
	SPI 6	0.85	0.82	0.9
	SPI 12	0.84	0.84	0.86
RMSE	SPI 1	0.59	0.61	0.46
	SPI 3	0.57	0.62	0.44
	SPI 6	0.54	0.60	0.45
	SPI 12	0.56	0.56	0.53

(a)

Tablo 5.7 SPI kuraklık indis sonuçlarının metrikler ile karşılaştırılması (a-d) (devamı)

Metrik	Havalimanı	MGM-ERA 5	MGM-ERA 5-Land	MGM-IMERG NASA
R^2	SPI 1	0.67	0.61	0.76
	SPI 3	0.67	0.52	0.75
	SPI 6	0.66	0.47	0.72
	SPI 12	0.53	0.42	0.53
CC	SPI 1	0.82	0.78	0.87
	SPI 3	0.82	0.72	0.87
	SPI 6	0.91	0.69	0.85
	SPI 12	0.73	0.65	0.73
RMSE	SPI 1	0.60	0.66	0.51
	SPI 3	0.60	0.74	0.51
	SPI 6	0.61	0.79	0.44
	SPI 12	0.740	0.839	0.734

(b)

Metrik	Gölcük	MGM-ERA 5	MGM-ERA 5-Land	MGM-IMERG NASA
R^2	SPI 1	0.60	0.55	0.72
	SPI 3	0.65	0.50	0.74
	SPI 6	0.68	0.50	0.75
	SPI 12	0.63	0.53	0.64
CC	SPI 1	0.78	0.74	0.85
	SPI 3	0.80	0.71	0.86
	SPI 6	0.82	0.70	0.86
	SPI 12	0.80	0.73	0.80
RMSE	SPI 1	0.65	0.70	0.54
	SPI 3	0.62	0.77	0.53
	SPI 6	0.59	0.77	0.52
	SPI 12	0.64	0.74	0.63

(c)

Tablo 5.7 SPI kuraklık indis sonuçlarının metrikler ile karşılaştırılması (a-d) (devamı)

Metrik	Gebze	MGM-ERA 5	MGM-ERA 5-Land	MGM-IMERG NASA
R^2	SPI 1	0.55	0.56	0.60
	SPI 3	0.64	0.65	0.65
	SPI 6	0.68	0.70	0.67
	SPI 12	0.72	0.75	0.65
CC	SPI 1	0.74	0.75	0.77
	SPI 3	0.80	0.81	0.81
	SPI 6	0.83	0.83	0.82
	SPI 12	0.85	0.86	0.81
RMSE	SPI 1	0.71	0.69	0.66
	SPI 3	0.63	0.62	0.62
	SPI 6	0.59	0.57	0.59
	SPI 12	0.55	0.52	0.62

(d)

5.5.2 MGM, ERA 5, ERA 5 LAND ve IMERG NASA SPI Sonuçlarının IDCM ile Karşılaştırılması

Bu araştırmada, MGM gözlem istasyonları SPI kuraklık analiz sonuçları ile model ve uydu tabanlı ERA 5, ERA 5 LAND ve IMERG NASA verilerine bağlı SPI kuraklık indis değerleri IDCM yöntemi yardımıyla karşılaştırılıp değerlendirilmiştir.

Aşağıda Tablo 5.8'de istasyonlar ile söz konusu veri kaynaklarının kuraklık analizlerine bağlı IDCM sonuçları verilmektedir (IDCM tablolarının detayları için EK A IDCM Tabloları, Tablo A.1.-Tablo A.12. ye bakınız). Tablo 5.8 dört istasyonun dört zaman ölçeğinde (SPI 1, SPI 3, SPI 6, SPI 12) ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA kuraklık analizleri karşılaştırmasının benzerliklerini yansıtmaktadır. Tablodaki ilgili yüzdeler, istasyon verileri ile uydu ve model tabanlı verilerin kuraklık sonuçlarının uyum (benzerlik) oranlarını gösterir. Genel olarak benzerlik oranları %58 ile %75 arasında değişmektedir. ERA5 ve ERA5-Land verileri analiz sonuçları ile istasyonlar arasında genellikle birbirine yakın uyum oranları söz konusuyken, IMERG NASA sonuçlarının zaman zaman daha yüksek benzerliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. İstasyon bazlı değerlendirme yapılacak olursa; Kocaeli İstasyonu SPI 1 için, uyum oranları %62 (ERA 5), %62 (ERA 5-Land), ve %74 (IMERG NASA) olarak hesaplanmış olup, IMERG NASA veri seti

kuraklık analiz sonuçlarının istasyon verileri analiz sonuçlarıyla daha uyumlu oldukları görülmektedir. SPI 3 ve SPI 6 için de hemen hemen benzer bir eğilim görülmektedir. SPI 12 için ise ERA 5-Land verileri ile istasyon verileri kuraklık analiz sonuçlarının daha uyumlu oldukları, buna karşın ERA 5 ve IMERG NASA sonuçlarının daha düşük benzerlik oranına sahip oldukları görülmekte olup hesaplanan oranlar aynıdır. Havalimanı İstasyonu için, SPI 1, SPI 3 ve SPI 6 için ERA 5 ve ERA 5-Land verileri ile kuraklık analizleri benzer sonuçlar göstermiş olup, IMERG NASA verilerinin söz konusu veri setlerine göre kuraklık analizlerinde istasyon gözlemleri analiz sonuçları ile daha yüksek uyumluluk gösterdiği görülmektedir. SPI 12 için ise uyum oranları %65 (ERA 5), %65 (ERA 5-Land), ve %62 (IMERG NASA) olup, IMERG NASA verileri analiz sonuçları kısmen daha az benzerlik gösterir. Gölcük İstasyonu için, SPI 1 analiz sonuçları için benzerlik oranları %70 (ERA 5), %68 (ERA 5-Land), ve %72 (IMERG NASA) olup, bu istasyon için de IMERG NASA verileri analiz sonuçları en yüksek benzerlik oranına sahiptir. SPI 3 ve SPI 6 için uyum oranlarının bir miktar düştüğü görülmesine karşın, IMERG NASA verileri analiz sonuçları kayda değer bir değişim göstermemiştir. SPI 12 için üç veri setinin performansları birbirine yakındır. Gebze İstasyonu SPI 1 ve SPI 3 kuraklık analiz sonuçlarına göre, diğer istasyonlar ile benzer şekilde, IMERG NASA verileri analiz sonuçları daha yüksek uyumluluk göstermektedir. SPI 6 ve SPI 12 için ERA 5 ve ERA 5-Land analiz sonuçları benzer uyum oranlarına sahipken, IMERG NASA verileri kuraklık analiz sonuçlarının daha düşük uyum oranına sahip oldukları görülmektedir.

Genel olarak, ERA 5 ve ERA 5-Land verileri kuraklık analiz sonuçları söz konusu dört istasyon için yakın uyum oranlarına sahip olup, bu iki veri seti arasında büyük farklılıklar görülmemektedir. IMERG NASA verileri SPI 1, SPI 3 ve SPI 6 kuraklık analiz sonuçları ise daha yüksek uyumluluk oranlarına sahiptir. Uzun vadeli SPI 12 için ise IMERG NASA verileri analiz sonuçları diğer iki veri setine göre daha düşük uyumluluk göstermektedir.

Tablo 5.8 SPI kuraklık analiz sonuçlarının IDCM ile karşılaştırılması

İstasyonlar	IDCM	MGM-ERA 5	MGM-ERA 5-Land	MGM-IMERG NASA
Kocaeli	SPI 1	62%	62%	74%
	SPI 3	65%	65%	73%
	SPI 6	67%	67%	71%
	SPI 12	70%	75%	70%
Havalimanı	SPI 1	67%	69%	71%
	SPI 3	67%	65%	74%
	SPI 6	62%	59%	67%
	SPI 12	65%	65%	62%
Gölcük	SPI 1	70%	68%	72%
	SPI 3	66%	62%	68%
	SPI 6	60%	58%	70%
	SPI 12	59%	61%	60%
Gebze	SPI 1	67%	67%	66%
	SPI 3	63%	63%	68%
	SPI 6	65%	66%	62%
	SPI 12	71%	74%	68%

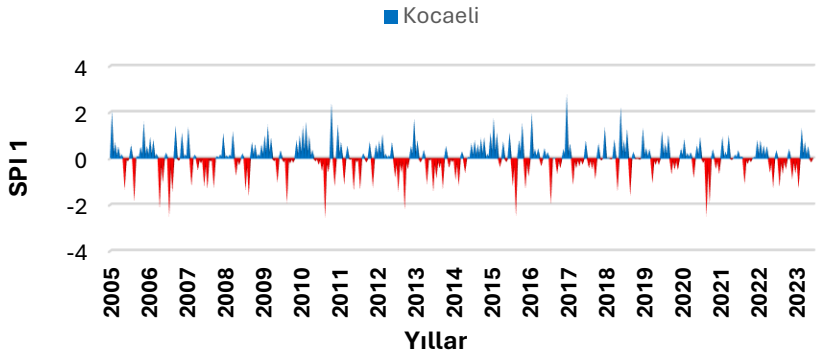
5.5.3 SPI Kuraklık Analiz Sonuçları Zaman Serisi Grafikleri

SPI 1-3-6-12 kuraklık analiz sonuçları, dört MGM istasyonu ve bunlara en yakın, ERA 5, ERA 5 LAND ve IMERG NASA grid noktaları için aşağıda Şekil 5.7 (a-d), Şekil 5.8 (a-d), Şekil 5.9 (a-d) ve Şekil 5.10 (a-d)'da 2005-2013 yılları arasında zaman serisi grafikleri ile verilmektedir (Zaman serileri grafiklerinin detayları için EK B Zaman Serileri Grafikleri, Şekil B.1-Şekil B.12 'ye bakınız). Pozitif SPI değerleri yağışlı dönemleri temsil ederken, negatif SPI değerleri kurak dönemleri işaret etmektedir.

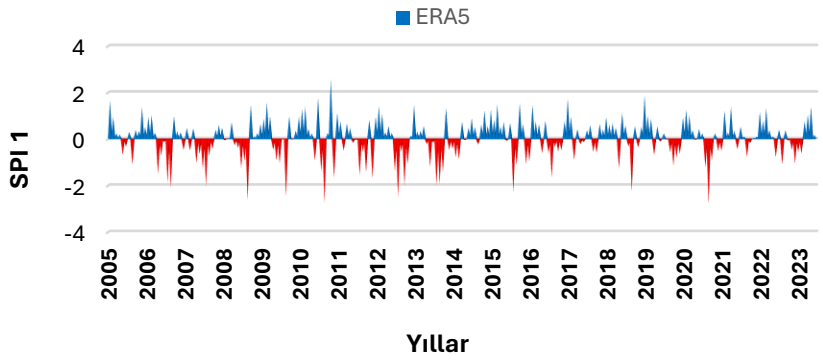
Zaman serileri kuraklık analiz sonuçları ve genel eğilimler açısından ilgili veri kaynakları arasında belli seviyede benzerlikler görüldüğünü, ancak belli dönemlerde de önemli farklılıkların gözlemlendiğini ortaya koymaktadır. Grafikler incelendiğinde 2006, 2013 ve 2020 yıllarında, ilgili veri kaynaklarında belirgin kuraklık dönemleri tespit edilirken; 2015 ve 2017-2018 yıllarında, yağış fazlalığı yaşanan dönemler ön plana çıkmaktadır. Kısa süreli kuraklık göstergesi olan SPI 3 indisinde, istasyon verileri ani değişimlere ve ekstrem olaylara karşı daha hassas tepki verirken, model ve uydu tabanlı veri setleri bu dalgalanmaları daha yumuşak

ve dengeli bir şekilde yansıtmıştır. Uzun süreli kuraklık analizini temsil eden SPI 12 indisinde ise, istasyon ve model/uydu verileri arasındaki uyumun daha güçlü olduğu, büyük ölçekli kuraklık ve nemlilik dönemlerinin zamanlamasının genellikle örtüştüğü gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, analiz sonuçları arasındaki detaylı karşılaştırmalarda, ERA 5 veri setinin istasyon verileriyle en yüksek düzeyde örtüşme sağlandığı; ERA 5-Land veri setinin özellikle 2022 yılında daha şiddetli bir kuraklık sinyali verdiği ortaya konulmuştur. IMERG NASA veri seti incelendiğinde 2009 ve 2011 gibi bazı yıllarda diğer veri kaynaklarından farklı olarak ek kuraklık sinyalleri görünmekte ve uzun süreli zaman ölçeklerinde kuraklık eğilimlerini belirgin bir şekilde vurgulamaktadır. Bu farklılıkların, model ve uydu tabanlı veri setlerinin mekânsal çözünürlüğü, yüzey özelliklerine duyarlılıkları ve veri işleme yöntemlerinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Elde edilen bulgular, model ve uydu tabanlı veri setlerinin, uzun süreli zaman ölçekleri kuraklık eğilimlerinin izlenmesinde, yerel istasyon verileriyle önemli ölçüde örtüştüğünü, ancak kısa süreli zaman ölçeklerinde yerel kuraklık olaylarının tespitinde istasyon verilerinin sağlayacağı yüksek çözünürlüğün kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir.

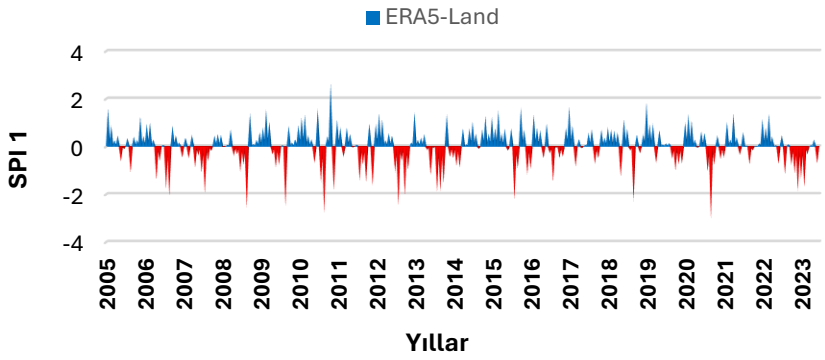
(a)



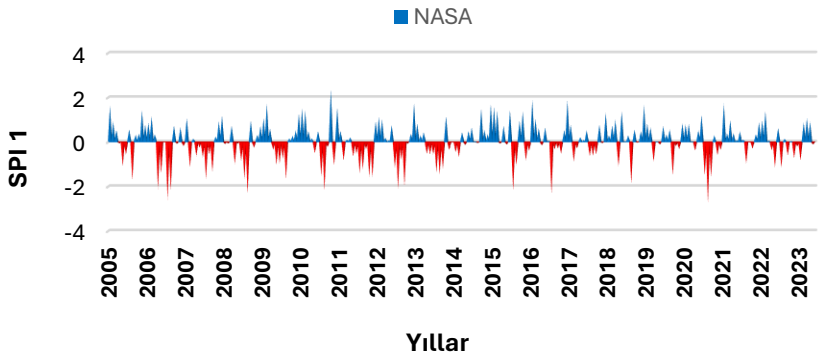
(b)



(c)

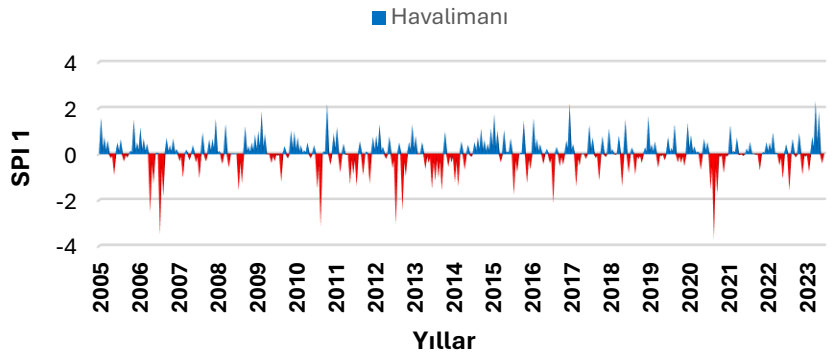


(d)

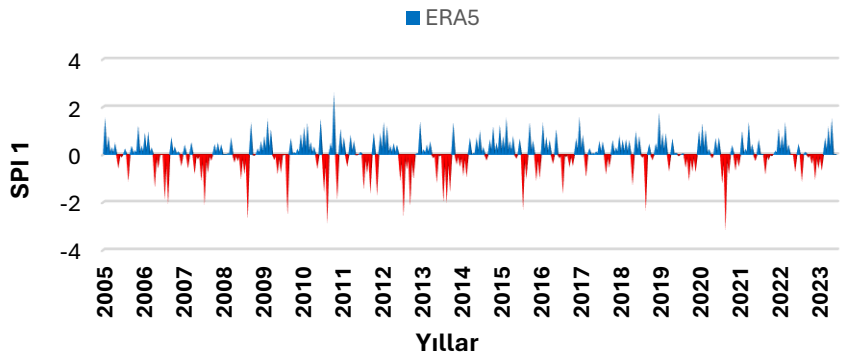


Şekil 5.8 Kocaeli MGM gözlem istasyonu, ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA grid noktaları için 2005-2023 SPI 1 kuraklık analiz sonuçları zaman serileri (a-d)

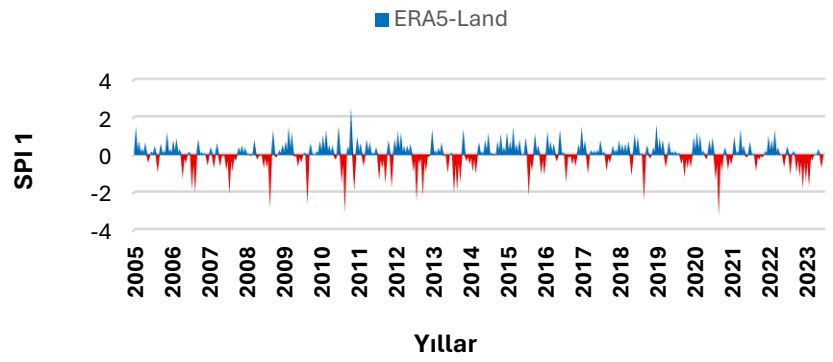
(a)



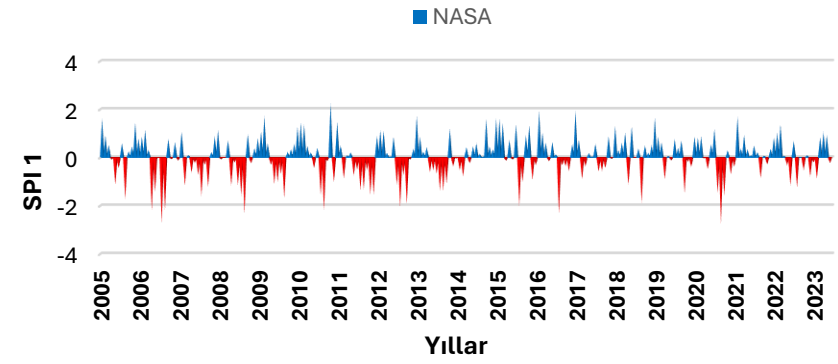
(b)



(c)

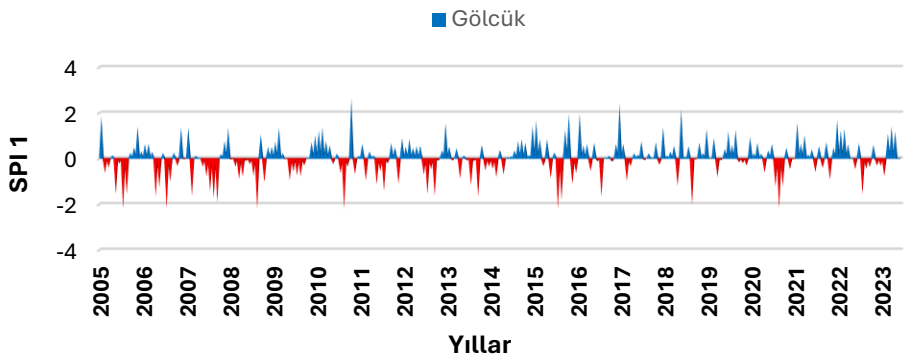


(d)

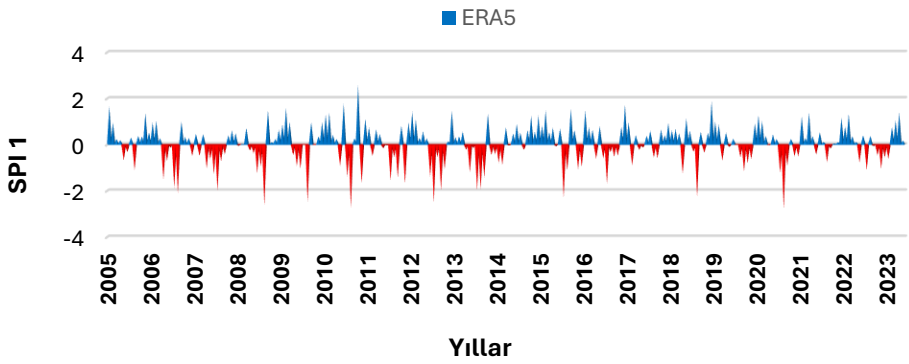


Şekil 5.9 Havalimanı MGM gözlem istasyonu, ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA grid noktaları için 2005-2023 SPI 1 kuraklık analiz sonuçları zaman serileri (a-d)

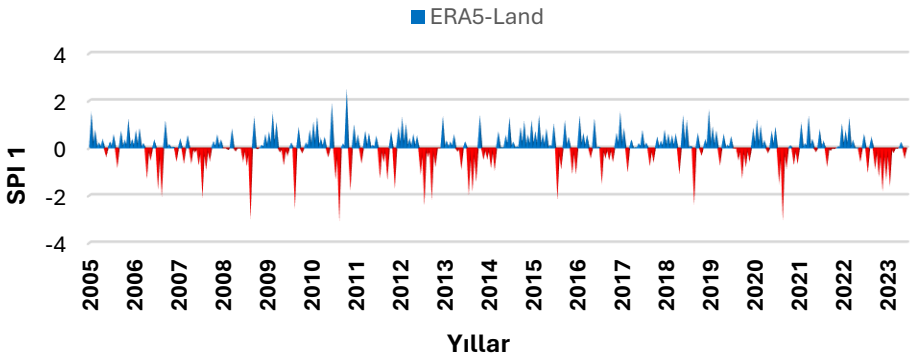
(a)



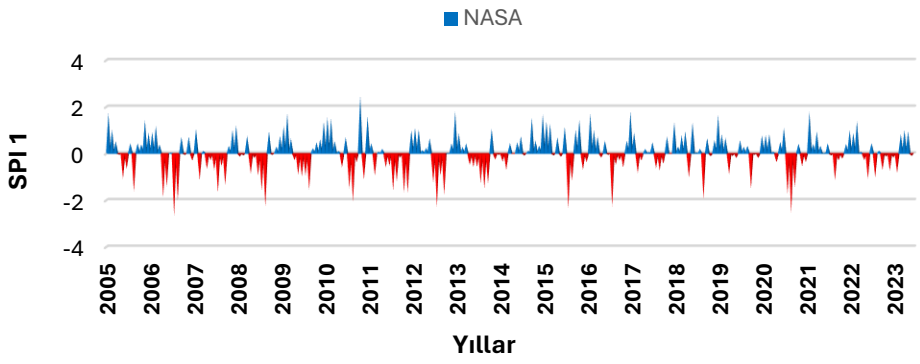
(b)



(c)

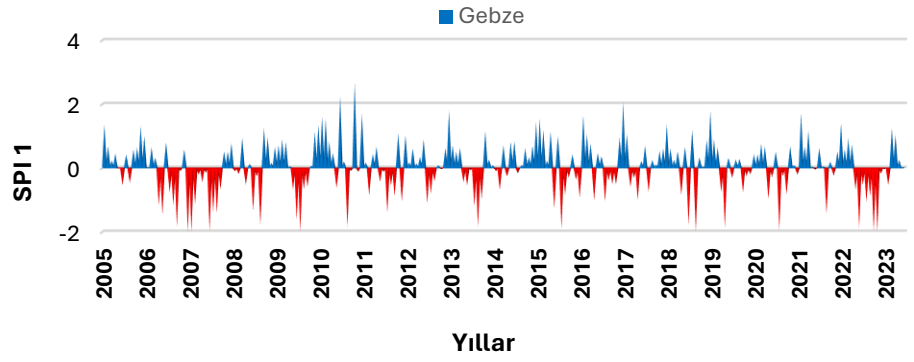


(d)

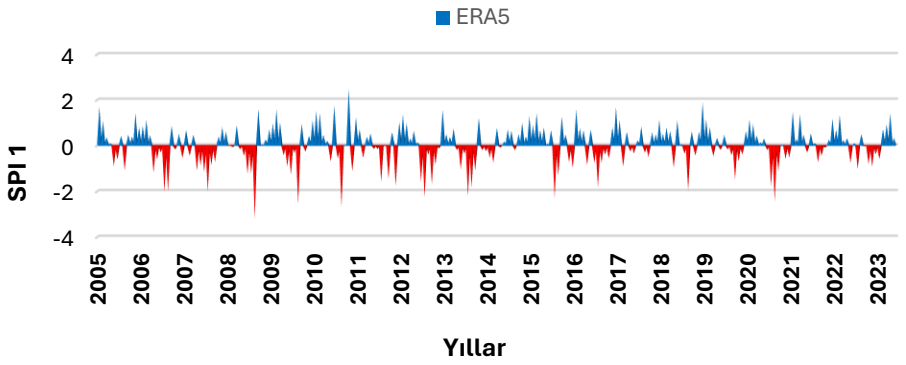


Şekil 5.10 Gölcük MGM gözlem istasyonu, ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA grid noktaları için 2005-2023 SPI 1 kuraklık analiz sonuçları zaman serileri (a-d)

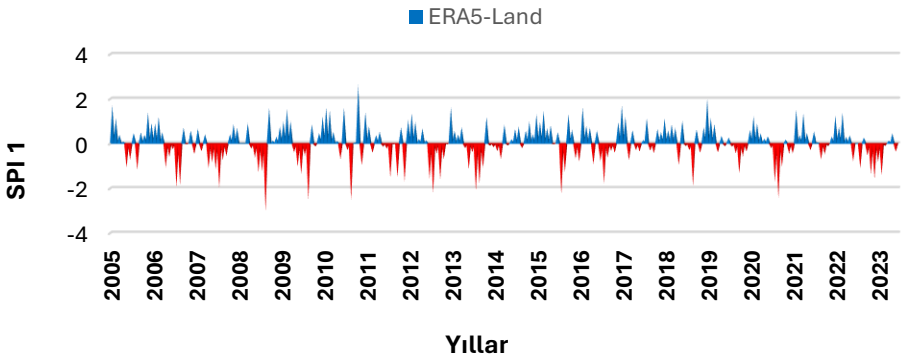
(a)



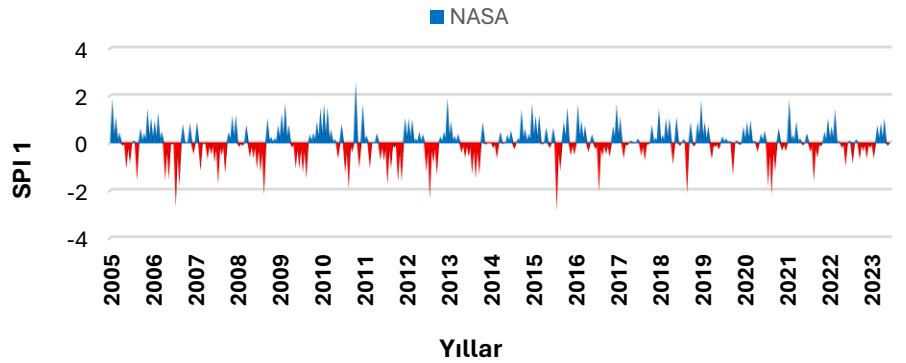
(b)



(c)



(d)



Şekil 5.11 Gebze MGM gözlem istasyonu, ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA grid noktaları için 2005-2023 SPI 1 kuraklık analiz sonuçları zaman serileri (a-d)

5.6 Kuraklık Özellikleri: Kuraklık süresi ve kuraklık şiddeti

Tablo 5.9 (a-d)'da sırasıyla Kocaeli, Havalimanı, Gölcük ve Gebze MGM gözlem istasyonları ve en yakın ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA grid noktaları SPI 1, SPI 3, SPI 6 ve SPI 12 kuraklık analizlerine göre hesaplanan, ortalama kuraklık süresi ve kuraklık şiddeti değerleri verilmektedir Analiz sonuçlarına göre ortalama kuraklık süreleri, SPI 1, SPI 3 ve SPI 6 için model ve uydu tabanlı veriler ile istasyon verileri arasında aşağı yukarı bir uyumun olduğunu gösterir. Ancak uzun zaman ölçeği olan SPI 12 analiz sonuçları, genelde ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA veri setlerinin kuraklık sürelerini gözlem verilerine kıyasla yer yer çok daha uzun tahmin edebildiğini göstermektedir. Bu sonuçlar özellikle uzun vadeli kuraklık değerlendirmelerinde model ve uydu tabanlı verilerin dikkatli kullanılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bundan dolayı söz konusu veriler uzun dönemli kuraklık analizlerinde doğrudan kullanılmadan, öncesinde yerel gözlemlerle karşılaştırılarak kalibre edilmelidir. Bu model ve uydu tabanlı verilerin bölgesel olarak sistematik sapmalarının azaltılarak daha doğru analiz sonuçlarına ulaşılmasını sağlayacaktır. Ehsan ve Zhang (2023) tarafından yapılan çalışmada ERA 5 ve IMERG NASA veri setlerinin uzun vadeli kuraklık analizlerinde kalibrasyon yoluyla doğruluklarının arttırılabileceği gösterilmiştir.

Analiz sonuçları kuraklık şiddetleri açısından değerlendirildiğinde, SPI 1, SPI 3 ve SPI 6 zaman ölçeklerinde model ve uydu verileri ile istasyon verileri arasında genel olarak belli ölçüde uyum sağlanabildiği gözlemlenmektedir. Bu sonuçlara karşın SPI 12 için model ve uydu tabanlı analiz sonuçları ile gözlem verilerine dayanan kuraklık analiz sonuçları arasında önemli farkların olduğu ve genelde gözlem verilerine kıyasla model ve uydu verilerinin daha yüksek kuraklık şiddeti değerleri öngördüğü görülmektedir. Bu belirgin farklar, uzun periyotlu kuraklık değerlendirmelerinde model ve uydu tabanlı verilerin yerel ölçüm istasyonları ile değerlendirilmesinin gerekliliğini ortaya koymaktadır. IMERG NASA veri setlerinin kısa zaman ölçeklerine sahip analizlerde gözlemsel veriler ile nispeten yakın sonuçlar ortaya koyabildiği, buna karşın uzun periyotlu analizlere bakıldığında IMERG NASA ve ERA 5-Land veri setlerinin kuraklık süresini ve şiddetini genelde olduğundan daha yüksek öngördüğü belirlenmektedir. Bu sonuçları, Tayyeh ve Mohammed (2023) tarafından yapılan çalışmada

desteklemekte olup, IMERG NASA verilerinin kısa zaman ölçeklerinde güvenilir olduğu, ancak uzun periyotlar için dikkatli şekilde ele alınması gerektiği ifade edilmiştir. Bir diğer çalışmada Behrangi vd. (2020) SPI analizlerinde, kısa zaman ölçeklerinde IMERG NASA, ERA 5 ve istasyon verilerine ait, sonuçların tutarlı olduğunu göstermişlerdir.

Tablo 5.9 İstasyon uydu ve model tabanlı verilerin kuraklık özellikleri (a-d)

Kocaeli (2005-2023)	**Gösterge**	**Ortalama Kuraklık Süresi (Ay)**	**Ortalama Kuraklık Şiddeti (Ay)**
MGM	SPI 1	2.21	-1.22
	SPI 3	4.57	-1.14
	SPI 6	5.36	-1.15
	SPI 12	10.60	-0.91
ERA 5	SPI 1	2.75	-1.36
	SPI 3	4.15	-1.24
	SPI 6	5.45	-1.15
	SPI 12	16.67	-1.13
ERA 5-Land	SPI 1	2.48	-1.45
	SPI 3	4.17	-1.16
	SPI 6	4.44	-1.03
	SPI 12	20.05	-1.29
IMERG NASA	SPI 1	2.70	-1.27
	SPI 3	3.92	-1.21
	SPI 6	5.10	-1.25
	SPI 12	16.33	-1.32

(a)

Tablo 5.9 İstasyon uydu ve model tabanlı verilerin kuraklık özellikleri (a-d) (devamı)

Havalimanı (2005-2023)	Gösterge	Ortalama Kuraklık Süresi (Ay)	Ortalama Kuraklık Şiddeti (Ay)
MGM	SPI 1	1.86	-1.53
	SPI 3	3.87	-1.11
	SPI 6	5.10	-1.17
	SPI 12	11.00	-1.10
ERA 5	SPI 1	2.55	-1.47
	SPI 3	4.14	-1.18
	SPI 6	6.50	-1.06
	SPI 12	22.00	-1.44
ERA 5-Land	SPI 1	2.18	-1.53
	SPI 3	3.58	-1.20
	SPI 6	6.00	-1.00
	SPI 12	21.00	-1.25
IMERG NASA	SPI 1	2.7	-1.27
	SPI 3	4.00	-1.29
	SPI 6	5.90	-1.25
	SPI 12	15.67	-1.34

(b)

Gölcük (2005-2023)	Gösterge	Ortalama Kuraklık Süresi (Ay)	Ortalama Kuraklık Şiddeti (Ay)
MGM	SPI 1	2.21	-1.34
	SPI 3	4.92	-1.22
	SPI 6	5.50	-1.15
	SPI 12	18.75	-1.02
ERA 5	SPI 1	2.75	-1.36
	SPI 3	4.15	-1.24
	SPI 6	5.45	-1.15
	SPI 12	16.67	-1.13
ERA 5-Land	SPI 1	2.33	-1.54
	SPI 3	3.75	-1.21
	SPI 6	5.00	-1.02
	SPI 12	20.50	-1.25
IMERG NASA	SPI 1	2.32	-1.34
	SPI 3	4.23	-1.18
	SPI 6	5.45	-1.19
	SPI 12	15.67	-1.34

(c)

Tablo 5.9 İstasyon uydu ve model tabanlı verilerin kuraklık özellikleri (a-d) (devamı)

Gebze (2005-2023)	Gösterge	Ortalama Kuraklık Süresi (Ay)	Ortalama Kuraklık Şiddeti (Ay)
MGM	SPI 1	2.86	-1.19
	SPI 3	5.18	-1.10
	SPI 6	6.86	-1.16
	SPI 12	14.50	-1.26
ERA 5	SPI 1	2.88	-1.43
	SPI 3	4.00	-1.26
	SPI 6	5.45	-1.15
	SPI 12	12.75	-1.04
ERA 5-Land	SPI 1	3.11	-1.36
	SPI 3	4.14	-1.19
	SPI 6	4.8	-1.18
	SPI 12	20.00	-1.20
IMERG NASA	SPI 1	3.00	-1.35
	SPI 3	4.67	-1.20
	SPI 6	5.25	-1.13
	SPI 12	15.67	-1.36

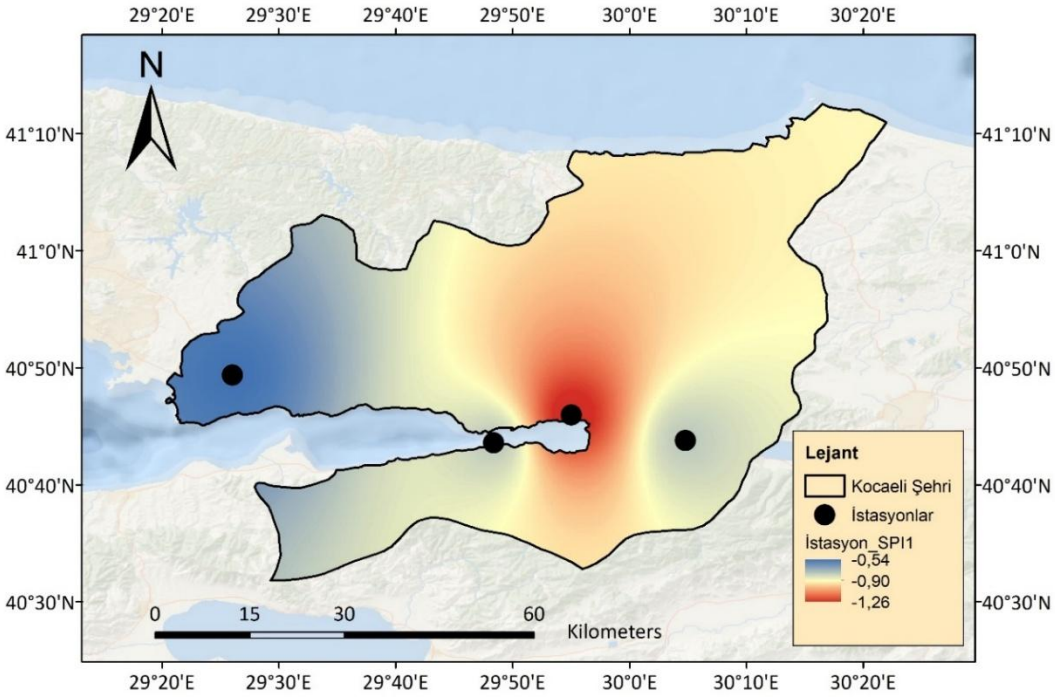
(d)

5.7 Kuraklık Haritaları

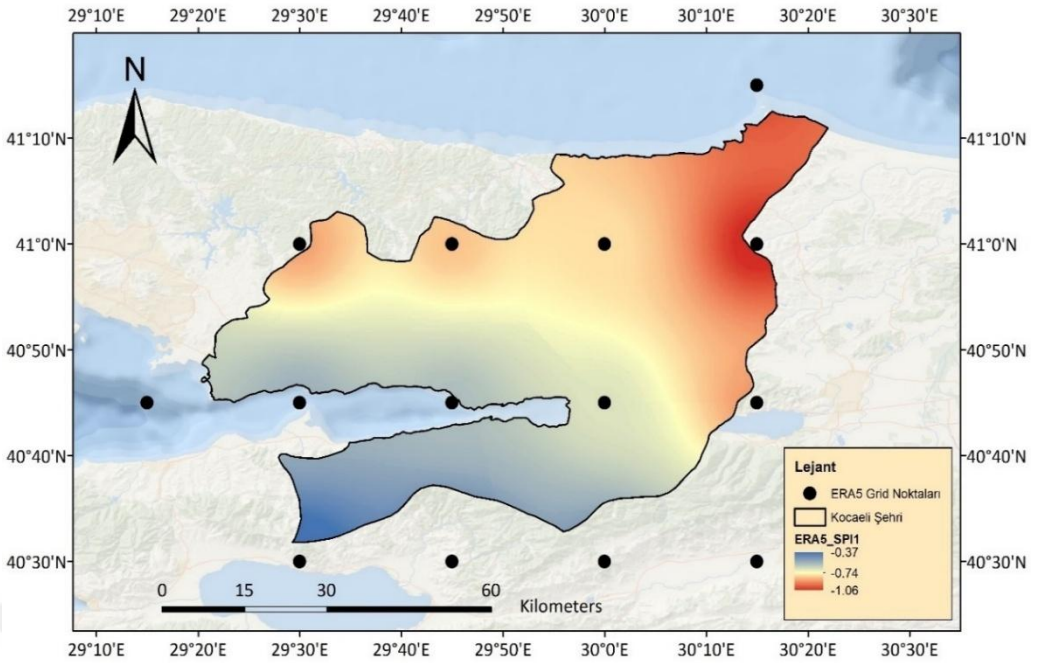
5.7.1 Kritik Kuraklık Dönemi Haritaları

Kocaeli ili için istasyon verileri yanı sıra ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA veri setleri kullanılarak yapılan kuraklık analizleri sonucunda, son yıllarda 2023 yılı ocak ayı, indis değerleri referans alındığında, önemli kuraklık yaşanan bir dönem olarak dikkat çekmektedir. Aşağıda 2023 yılı ocak ayı, 1, 3, 6, ve 12 aylık kuraklık değerlendirmeleri için dört farklı veri kaynağı dikkate alınarak oluşturulan, kuraklık haritaları verilmektedir (Kritik kuraklık dönemi haritalarının detayları için EK C Kuraklık Haritaları, Şekil C.1-Şekil C.2- Şekil C.3 ‘e bakınız). Kuraklık haritaları içerisinde istasyonlara bağlı haritaların, sınırlı sayıda ölçüm noktası ve düzensiz dağılımları nedeniyle, mekânsal anlamda güvenilir bir desen sunabildiklerini söylemek gerçekçi olmayacaktır. Buna karşın ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA veri setleri ile oluşturulan kuraklık haritalarının desenleri, homojen dağılı veriler sayesinde, mekânsal anlamda daha güvenilir ve gerçekçi bulunmuştur.

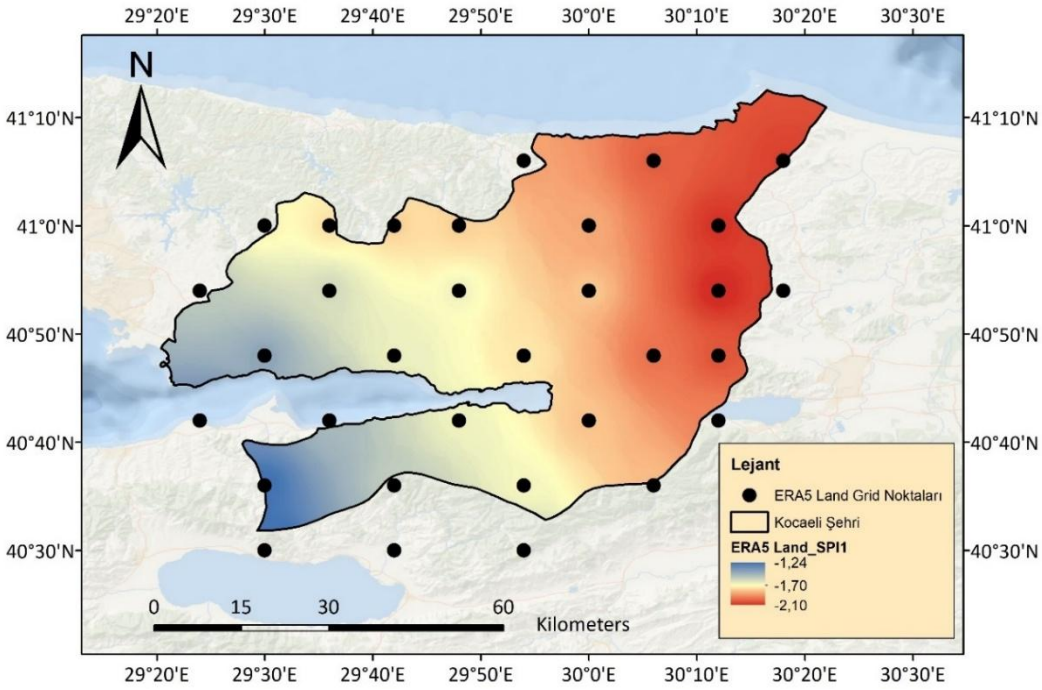
Ancak istasyon konumları ve analiz sonuçları göz önünde bulundurulduğunda veri kaynakları arasında yer yer önemli farklılıkların ortaya çıktığı görülebilmektedir. Bu olay grafikleri ayrıntılı incelendiğinde tüm veri setlerinde Kocaeli'nin doğu ve yer yer güneydoğusunun daha yüksek kuraklık koşullarına maruz kaldığı gözlenirken, batı ve kuzeybatı bölgelerinde daha nemli iklim koşullarının hâkim olduğu tespit edilmiştir. Bu durum topografik özellikler, meteorolojik koşullar ve veri kaynaklarının model kabullerine bağlı olarak farklılık göstermektedir.



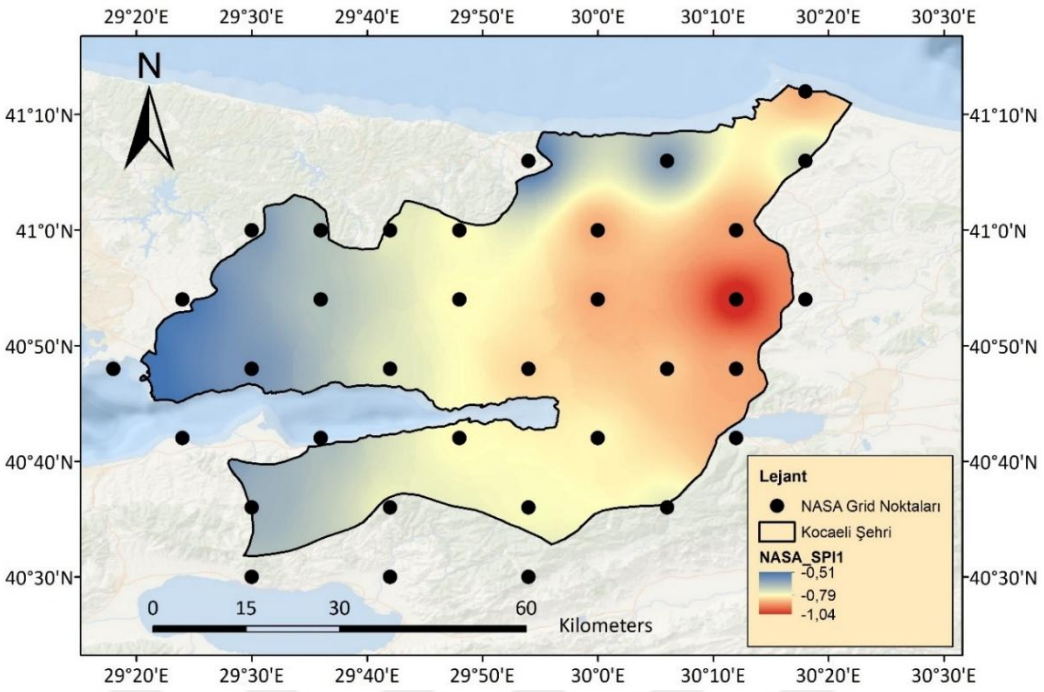
Şekil 5.12 Kocaeli MGM gözlem istasyonu için SPI 1 2023 Ocak ayına ait kuraklık haritası



Şekil 5.13 ERA 5 grid noktaları için SPI 1 2023 Ocak ayına ait kuraklık haritası



Şekil 5.14 ERA 5-Land grid noktaları için SPI 1 2023 Ocak ayına ait kuraklık haritası



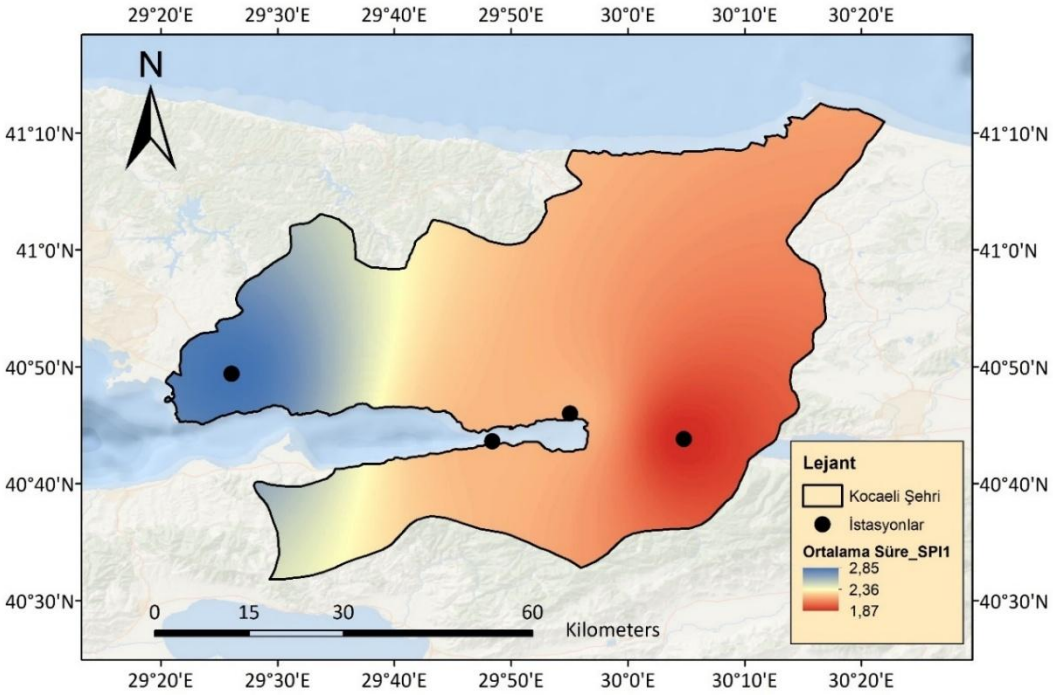
Şekil 5.15 IMERG NASA grid noktaları için SPI 1 2023 Ocak ayına ait kuraklık haritası

5.7.2 Kocaeli Ortalama Kuraklık Süresi Haritaları

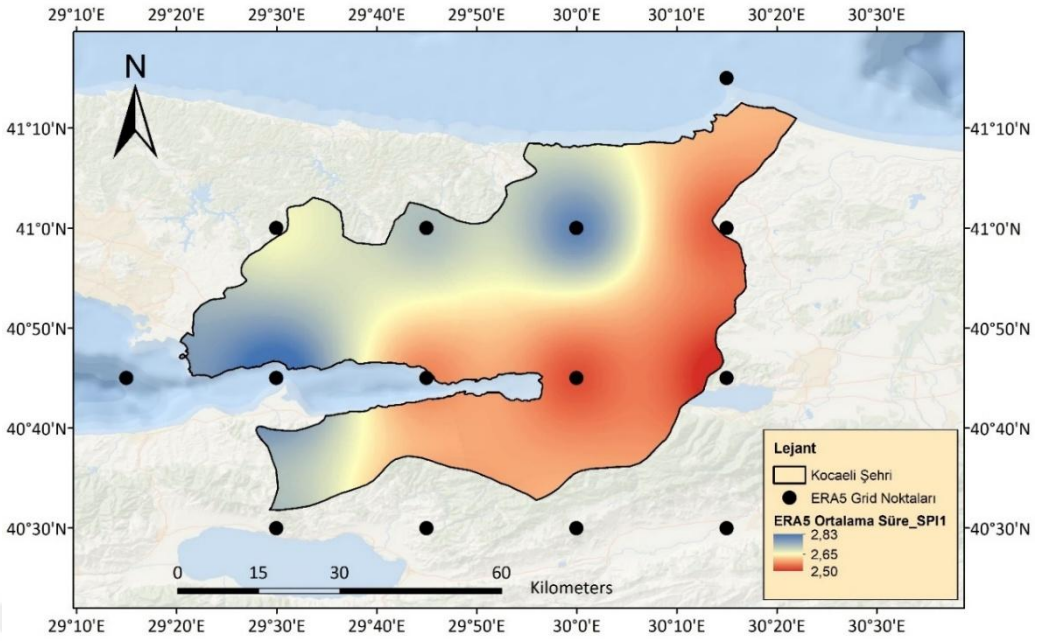
Bu bölümde Kocaeli için geçerli ortalama kurak sürelerin mekânsal analizleri yapılarak, SPI 1, 3, 6, ve 12 için il genelinde geçerli, ortalama kuraklık süresinin uzamsal değişimini gösteren, ayrıntılı kuraklık haritaları oluşturulmuştur (Kritik kuraklık dönemi haritalarının detayları için EK C Kuraklık Haritaları, Şekil C.4- Şekil C.5- Şekil C.6 'ya bakınız). MGM istasyon verilerinin il genelindeki sınırlı sayısı ve rastgele dağılımı, kuraklık olaylarının ve ortalama kuraklık sürelerinin uzamsal değerlendirmesini etkilemekte, bu sebeple, oluşturulan kuraklık modellerine bağlı il genelinde çoğu bölgede, güvenilirliği şüpheli, aşırı ya da yapay kuraklık süre desenleri ortaya çıkmaktadır. Buna karşın, ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA veri setleri ile oluşturulan uzamsal modeller, kuraklık özelliklerinin ve ortalama kurak sürelerin alansal(uzamsal) desenlerini il genelinde tutarlı bir şekilde yansıtarak, her bir ilçenin ortalama kuraklık süresini ve kuraklık olaylarının uzamsal etkilerini ayrıntılı şekilde sunabilmektedir.

Hazırlanan haritalara göre, Kocaeli'nin kuzeybatı ve batı bölgelerinde kuraklık sürelerinin nispeten daha uzun olduğu, doğu ve güney bölgelerinde ise daha kısa

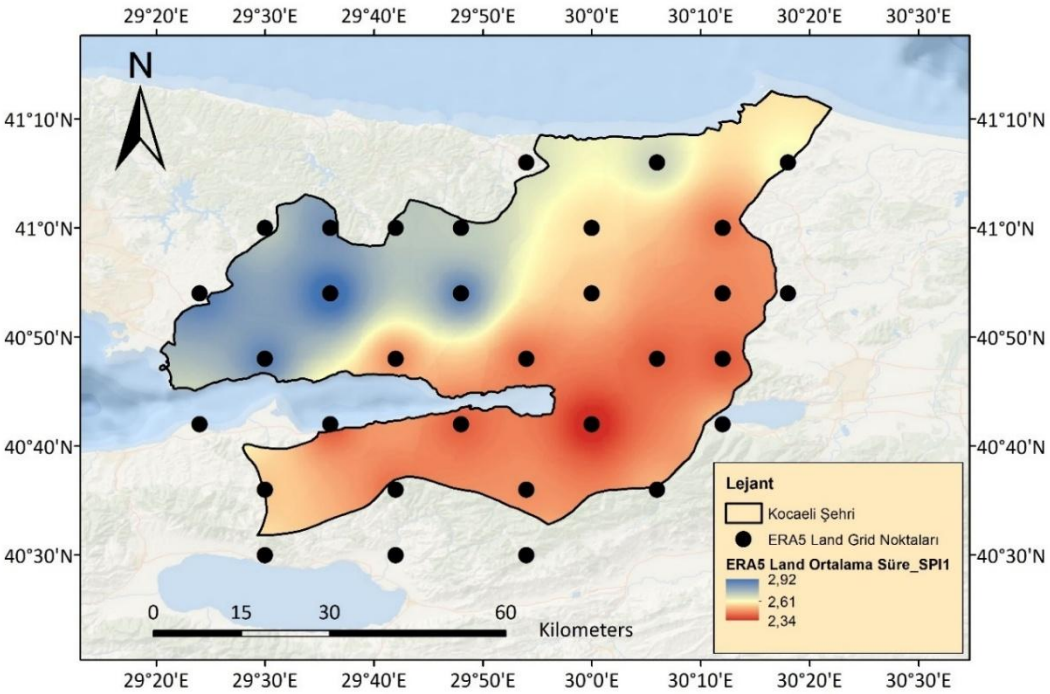
kuraklık süreleri görülmektedir. Bu desenler, bölgenin iklim özellikleri, mikroklimatik koşullar ve meteorolojik parametrelerin mekânsal dağılımı ile de ilişkilendirilebilir. Veri setleri arasında belli derecede farklar bulunsa da mekânsal desenlerin benzerliği, bu veri kaynaklarının kuraklık süresi ve kuraklık özellikleri analizlerinde bir alternatif olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.



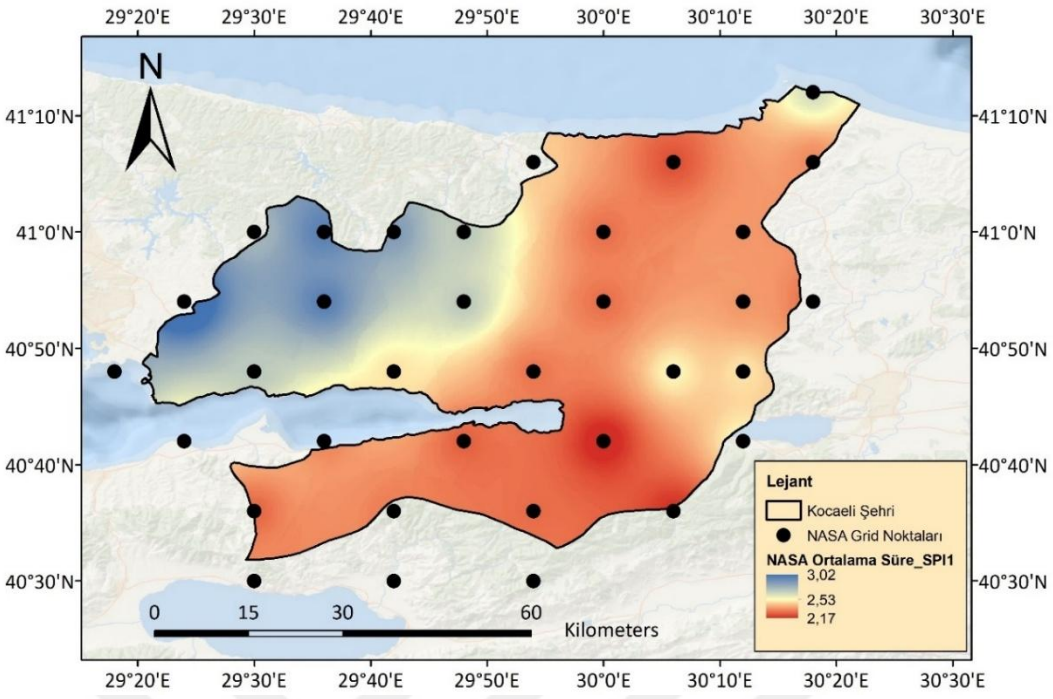
Şekil 5.16 Kocaeli MGM gözlem istasyonu için SPI 1 Kocaeli ortalama kuraklık süresi haritası



Şekil 5.17 ERA 5 grid noktaları için SPI 1 Kocaeli ortalama kuraklık süresi haritası



Şekil 5.18 ERA 5-Land grid noktaları için SPI 1 Kocaeli ortalama kuraklık süresi haritası



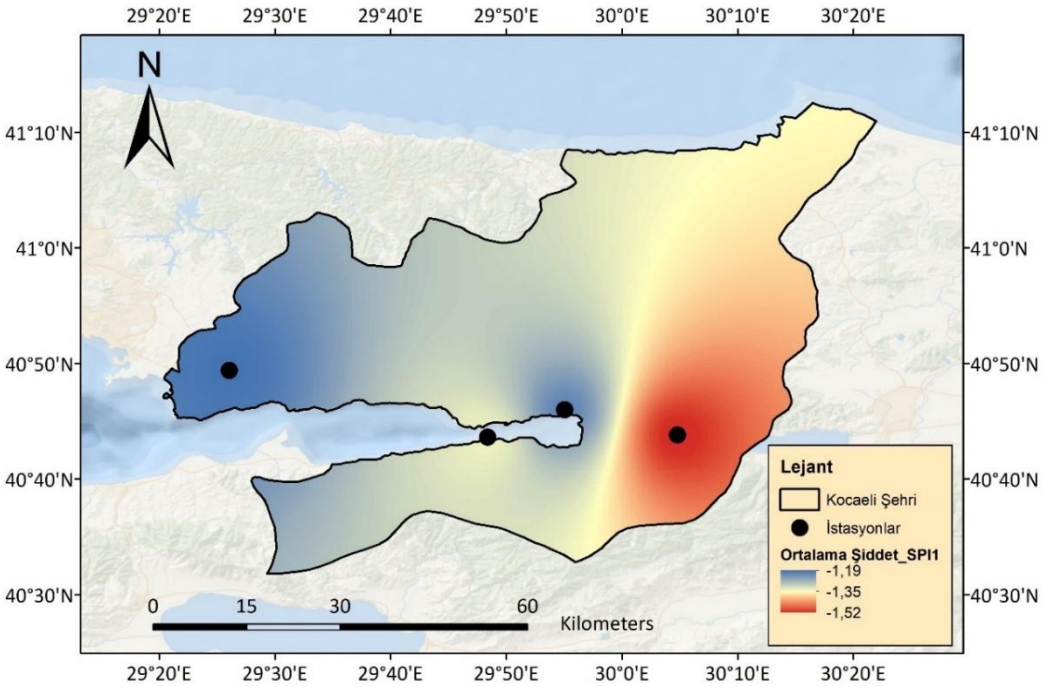
Şekil 5.19 IMERG NASA grid noktaları için SPI 1 Kocaeli ortalama kuraklık süresi haritası

5.7.3 Ortalama Kuraklık Şiddeti Haritaları

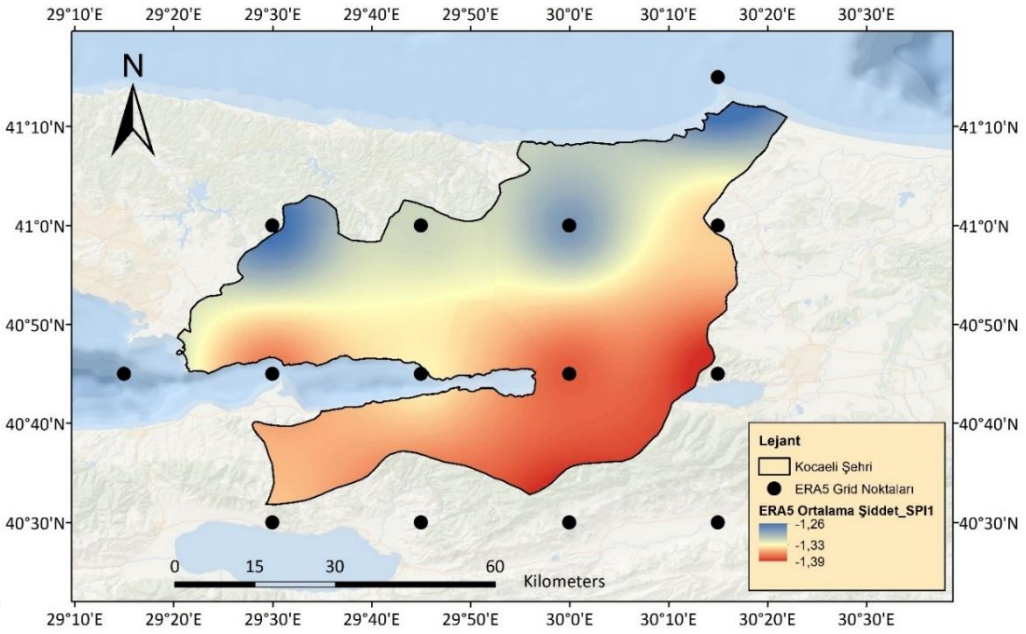
Ortalama kuraklık şiddetini gösteren haritalar, belirlenen SPI periyotlarında (SPI 1, SPI 3, SPI 6 ve SPI 12) kuraklık olaylarının ortalama şiddet özelliklerini mekânsal olarak ortaya koymaktadır. Bu haritalar hem yerel istasyon verileri hem de ERA5, ERA5-Land yeniden analiz ve IMERG NASA uydu tabanlı model veri setleri kullanılarak hazırlanmıştır (Kritik kuraklık dönemi haritalarının detayları için EK C Kuraklık Haritaları, Şekil C.7-Şekil C.8- Şekil C.9 ‘a bakınız). Haritaların interpolasyonunda IDW (Inverse Distance Weighting) yöntemi kullanılmıştır. İstasyon verileriyle oluşturulan haritalar () il genelindeki istasyon sayısının az olmasına bağlı mekânsal çözünürlük eksikliği ve istasyonların homojen bir şekilde dağılmaması nedeniyle yerel bazda oldukça sınırlı sonuçlar sunmaktadır. İstasyonların konumlarına yakın bölgelerdeki şiddet değerleri daha anlamlı ve güvenilir iken, il genelinde istasyon bulunmayan bölgelerdeki mekânsal detayların eksikliği hissedilmektedir. Buna karşın, model ve uydu tabanlı veri setleri ile oluşturulan haritalar, Kocaeli ili genelinde daha yüksek çözünürlük detaylarına

sahip olduklarından kuraklık olaylarının il genelindeki uzamsal özelliklerini ve yayılımını, bu bölümde sunulan kuraklık şiddetini daha iyi temsil etmektedirler.

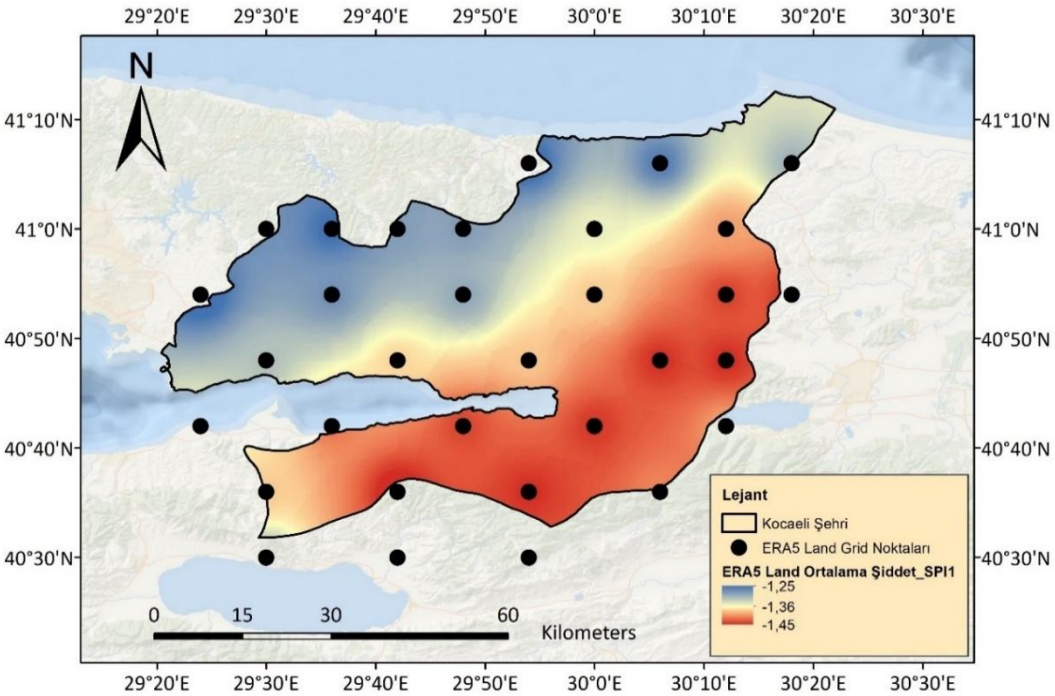
Mekânsal analizler sonucu Kocaeli'nin doğu ve güneydoğu bölgelerinde daha şiddetli kuraklık eğilimi, batı ve kuzeybatı bölgelerinde ise daha hafif kuraklık şiddeti olduğunu göstermektedir. Bu desen, veri kaynaklarının çözünürlük farkları, yeniden analiz yöntemleri ve meteorolojik koşullara duyarlılıkları ile ilişkilendirilebilir. Tüm veri setlerinde benzer mekânsal desenlerin gözlemlenmesi, bu verilerin kuraklık şiddetinin değerlendirilmesinde alternatif birer kaynak olabileceğini ortaya koymuştur.



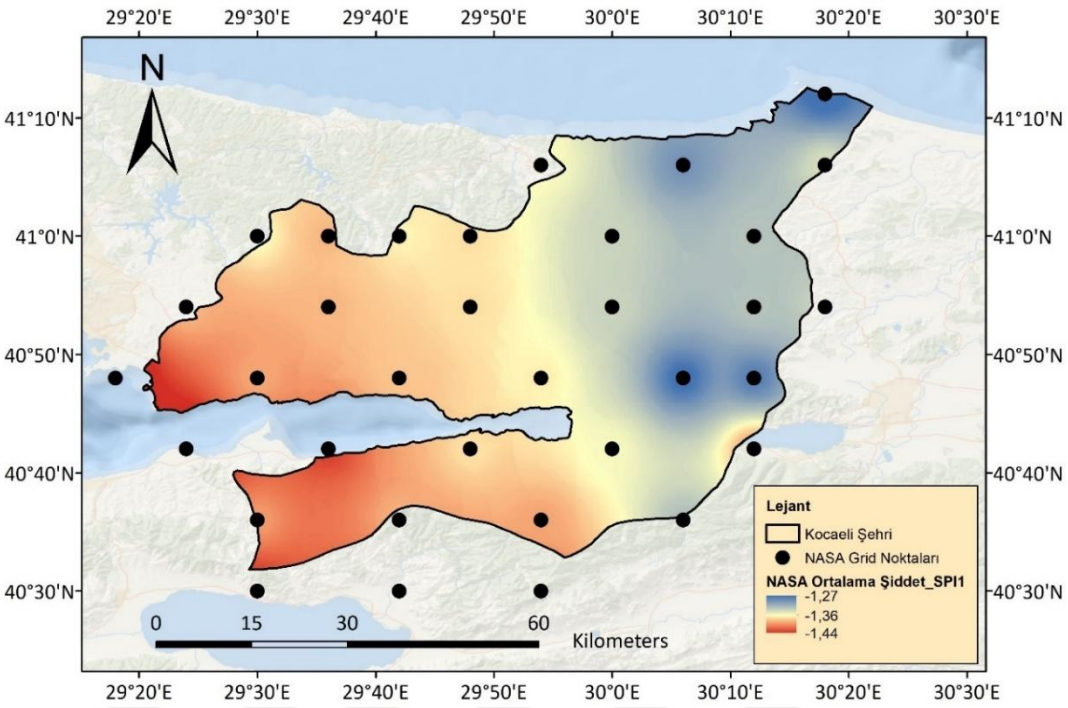
Şekil 5.20 Kocaeli MGM gözlem istasyonu için SPI 1 Kocaeli ortalama kuraklık şiddeti haritası



Şekil 5.21 ERA 5 grid noktaları için SPI 1 Kocaeli ortalama kuraklık şiddeti haritası



Şekil 5.22 ERA 5-Land grid noktaları için SPI 1 Kocaeli ortalama kuraklık şiddeti haritası



Şekil 5.23 IMERG NASA grid noktaları için SPI 1 Kocaeli ortalama kuraklık şiddeti haritası

6
SONUÇ

Bu tez çalışması, Kocaeli ili özelinde kapsamlı kuraklık analizleri gerçekleştirmek ve bu süreçte gözlem verileri yanı sıra, yeniden analiz (ERA 5 / ERA 5 Land ve uydu (IMERG NASA) veri kaynaklarının kullanılabilirliğini değerlendirmek amacıyla yürütülmüştür. Çalışma sonunda özellikle veri eksikliği yaşanan bölgelerde, hidroloji ve iklim çalışmalarında yeniden analiz ve uydu tabanlı verilerin tamamlayıcı bir unsur olarak değerlendirilmesinin gerekliliği görülmektedir.

Elde edilen bulgulara göre, gözlem verileri ile yeniden analiz ERA5, ERA5-Land ve uydu tabanlı IMERG NASA veri setleri arasında belirli farklılıkların olduğu görülmekle birlikte, özellikle uzun vadeli kuraklık analizlerinde bu veri setlerinin gözlem verileri eksikliklerini makul seviyede tamamlayabilecek nitelikte olduğu görülmüştür. Yapılan analizler, istasyon verilerinin zamansal ve mekânsal olarak sınırlı olması nedeniyle, il genelinde kapsamlı bir kuraklık değerlendirmesi yapmanın zorluklarını ve oldukça güç olduğunu ortaya koymuştur. Buna rağmen model ve uydu tabanlı veri setleri kullanmanın istasyon verilerinin yetersiz olduğu durumlarda önemli bir katkı sağlayacağı ve kuraklık değerlendirmelerinde tamamlayıcı bir role sahip olduğu mütalaa edilmektedir. Tez çalışması ile ERA5, ERA5-Land ve IMERG NASA veri kaynaklarının, kuraklık süresi, şiddeti ve mekânsal dağılımına ilişkin detaylı analizlerde kullanılabileceği, geleneksel gözlem verileriyle birlikte değerlendirilebileceği tespit edilmiştir.

WMO tarafından önerilen otuz yıllık veri uzunluğunda veri setlerine sahip olmanın, özellikle gelişmekte olan ülkelerin ileri seviyedeki bölgeleri için bile önemli zorluklar içerdiği belirlenmiştir. Veri bulunabilirliği sorunları için alternatif veri

kaynaklarının kullanımının araştırılması ve yaygınlaştırılması gerekmektedir. Bu noktada, yeniden analiz ve uydu tabanlı verilerin belli doğrulama çalışmalarıyla desteklenmesi ve gözlem verileriyle güvenilirliklerinin test edilerek geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Gelecekte kuraklık yönetimi ve su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı açısından, istasyon verileriyle desteklenen uydu ve model tabanlı verilerin entegrasyonunu sağlayacak yeni analiz yöntemlerinin geliştirilmesi, karar vericiler için güvenilir ve etkili bir kuraklık izleme ve tahmin sistemi oluşturulmasına olanak tanıyacaktır.

Sonuç olarak, bu tez kapsamında yapılan analizler, Kocaeli ili özelinde kuraklık yönetimi süreçlerine farklı bir bakış açısı getirmekte ve veri eksikliğinin yaşandığı diğer bölgeler için de yol gösterici niteliktedir. Yeniden analiz ve uydu tabanlı ürünlerin gelecekte kuraklık çalışmalarında daha yaygın bir şekilde kullanılacağı öngörülmekte olup, bu doğrultuda daha kapsamlı ve detaylı araştırmaların yürütülmesinin önemli olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

Abu Arra, A., & Şişman, E. (2024). Innovative Drought Classification Matrix and Acceptable Time Period for Temporal Drought Evaluation. *Water Resources Management*, s. 1-23.

Abu Arra, A., Birpınar, M., Gazioğlu, Ş., & Şişman, E. (2024). Critical drought characteristics: A new concept based on dynamic time period scenarios. *Atmosphere, 15*(7), s. 768.

Aksoy, H., Eriş, E., Çetin, M., Önöz, B., Yüce, M., Selek, B., . . . Eşit, M. (2018). Gediz Havzasında Kuraklık Analizi. *Uluslararası Katılımlı Türkiye Ulusal Jeodezi Jeofizik Birliği (TUJJB) Bilimsel Kongresi*, (s. 28-31). İzmir.

Alexandersson, H. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of climatology, 6*(6), s. 661-675.

Atmaca, D. (2011). *Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) Yöntemi ile Konya İli Bölgesel Kuraklık Analizi.* Yüksek Lisans Tezi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Awasthi, N., Tripathi, J., Petropoulos, G., Gupta, D., Singh, A., & Kathwas, A. (2023). Performance assessment of Global-EO-based precipitation products against gridded rainfall from the Indian Meteorological Department. *Remote Sensing, 15*(13), s. 3443.

Buishand, T. A. (1982). ome methods for testing the homogeneity of rainfall records. *Journal of hydrology, 58*(1-2), s. 11-27.

Dai, A. (2011). Drought under global warming: a review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 2*(1), s. 45-65.

Dinç, N., Aydınşakir, K., Işık, M., & Büyüktaş, D. (2016). Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) Yöntemi İle Antalya İli Kuraklık Analizi. *Derim, 33*(2), s. 279 – 298.

ECMWF, E. C. (a). *ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate*. Mayıs 2024 tarihinde Copernicus Climate Data Store: https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview adresinden alındı

ECMWF, E. C. (b). *First ERA5-Land dataset to be released in spring*. Mayıs 2024 tarihinde https://www.ecmwf.int/en/newsletter/159/news/first-era5-land-dataset-be-released-spring adresinden alındı

ECMWF, E. C. (c). *ERA5-Land: Data documentation*. Mayıs 2024 tarihinde https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5-Land%3A+data+documentation adresinden alındı

Ekinci, D. D., & Fıstıkoğlu, O. (2023). Gördes Havzası Akışlarının Modellenmesinde Era5-Land Verilerinin Performans Değerlendirmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 14*(3), s. 507-517.

Gomis-Cebolla, J., Rattayova, V., Salazar-Galán, S., & Francés, F. (2023). Evaluation of ERA5 and ERA5-Land reanalysis precipitation datasets over Spain (1951–2020). *Atmospheric Research, 284*, s. 106606.

Gökkür, S. (2003). *Ege Bölgesinde Kuraklık Analizi ve Uzun Yıllar Kuraklık Salınımları.* Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Guttman, N. B. (1994). On the sensitivity of sample L moments to sample size. *Journal of climate*, s. 1026-1029.

Havens, A. V. (1954). Drought and agriculture. *Weatherwise, 7*(3), s. 51-68.

Hayes, M. J., Svoboda, M., Wilhite, D., & Vanyarkho, O. (1999). Monitoring the 1996 drought using the Standardized Precipitation Index. *Bulletin of the American Meteorological Society, 80*(3), s. 429-438.

Hayes, M., Svoboda, M., Wall, N., & Widhalm, M. (2011). The Lincoln declaration on drought. *Bulletin of the American, 92*(4), s. 485-488.

Huffman, G. J., & Bolvin, D. (2023). *Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (IMERG) Algorithm Theoretical Basis Document*. https://gpm.nasa.gov/resources/documents/gpm-integrated-multi-satellite-retrievals-gpm-imerg-algorithm-theoretical-basis adresinden alındı

Keskin, A. Ü., & Hezarani, A. B. (2019). Analysis of Basin Drought for URMIA Lake in Iran with Standardized Precipitation Index Method (SPI). *Karaelmas Science & Engineering Journal/Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 9*(2).

Kourtis, I. M., Vangelis, H., Tigkas, D., Mamara, A., Nalbantis, I., Tsakiris, G., & Tsihrintzis, V. (2023). Drought assessment in greece using SPI and ERA5 climate reanalysis data. *Sustainability, 15*(22), s. 15999.

Lorenzo-Lacruz, J., Vicente-Serrano, S., López-Moreno, J., Beguería, S., García-Ruiz, J., & Cuadrat, J. (2010). The impact of droughts and water management on various hydrological systems in the headwaters of the Tagus River (central Spain). *Journal of Hydrology, 386*(1-4), s. 13-26.

Mckee, T. B., Doesken, N., & Kleist, j. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, s. 179-184.

Mishra, A., & Singh, V. (2010). A review of drought concepts. *Journal of hydrology, 391*(1-2), s. 202-216.

NASA. (2023). *Global Precipitation Measurement (GPM) Mission Overview*. Mayıs 2024 tarihinde https://gpm.nasa.gov adresinden alındı

Pamuk, G., Özgürel, M., & Topçuoğlu, K. (2004). Standart Yağış İndisi (SPI) ile Ege Bölgesinde Kuraklık Analizi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 41*, s. 99-106.

Panahi, M., & Behrangi, A. (2020). Comparative analysis of snowfall accumulation and gauge undercatch correction factors from diverse data sets: In situ, satellite, and reanalysis. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences, 56*, s. 615-628.

Pettitt, A. N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics), 28*(2), s. 126-135.

Shepard, D. (1968). A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. *In Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference*, s. 517-524.

Sırdaş, S., & Şen, Z. (2003). Meteorolojik kuraklık modellemesi ve Türkiye uygulaması. *İTÜ DERGİSİ/d, 2*(2), s. 95-103.

Svoboda, M., LeComte, D., Hayes, M., Heim, R., Gleason, K., Angel, J., . . . Stephens, S. (2002). The drought monitor. *Bulletin of the American Meteorological Society, 83*(8), s. 1181-1190.

Şen, Z., & Şişman, E. (2024). Probabilistic standardization index adjustment for standardized precipitation index (SPI). *Theoretical and Applied Climatology, 155*(4), s. 2747-2756.

Şener, E., & Şener, Ş. (2019). Meteorolojik Kuraklığın Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Zamansal ve Konumsal Analizi: Çorak Gölü Havzası (Burdur-Türkiye) Örneği. *ühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7*(3), s. 596-607.

Tallaksen, L., & Van Lanen, H. (2004). Hydrological drought: Processes and estimation methods for streamflow and ground water. *Developments in water*.

Tan, M. L., Armanuos, A., Ahmadianfar, I., Demir, V., Heddam, S., Al-Areeq, A., . . . Yaseen, Z. (2023). Evaluation of NASA POWER and ERA5-Land for estimating tropical precipitation and temperature extremes. *Journal of Hydrology, 624*, s. 129940.

Tan, M. L., Samat, N., Chan, N., & Roy, R. (2018). Hydro-meteorological assessment of three GPM satellite precipitation products in the Kelantan River Basin, Malaysia. *Remote Sensing, 10*(7), s. 1011.

Tarım ve Orman Bakanlığı, T. C. (tarih yok). *Kocaeli İl Tarım ve Orman Müdürlüğü*. Aralık 2023 tarihinde Demografik Yapı:

https://kocaeli.tarimorman.gov.tr/Menu/24/Demografik-Yapi adresinden alındı

Tayyeh, H. K., & Mohammed, R. (2023). Analysis of NASA POWER reanalysis products to predict temperature and precipitation in Euphrates River basin. *Journal of Hydrology, 619*, s. 129327.

Topçu, E. (2013). *L-Momentler ve Standart Yağış İndeksi (SYİ) Yardımıyla Seyhan Havzası Kuraklık Analizi.* Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Türkeş, M. (1990). *Türkiye'de Kurak Bölgeler ve Önemli Kurak Yıllar.* Doktora Tezi. İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü.

UNCCD. (1994). *United Nations Convention to Combat Desertification in Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa.* United Nations, Paris, France.

Van Loon, A. F. (2015). Hydrological drought explained. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 2*(4), s. 359-392.

Vicente-Serrano, S. M., Quiring, S., Peña-Gallardo, M., Yuan, S., & Domínguez-Castro, F. (2020). A review of environmental droughts: Increased risk under global warming. *Earth-Science Reviews, 201*, s. 102953.

Wilhite, D. A. (2000). *Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions.* Drought, a Global Assessment.

Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water international, 10*(3), s. 111-120.

WMO, W. M. (2016). *Handbook of Drought Indicators and.*

Wu, H., Svoboda, M., Hayes, M., & Wilhite, D. (2007). Appropriate application of the Standardized Precipitation Index in arid locations and dry seasons. *International Journal of Climatology, 27*(1), s. 65-79.

Wu, X., Su, J., Ren, W., Lü, H., & Yuan, F. (2023). Statistical comparison and hydrological utility evaluation of ERA5-Land and IMERG precipitation products on the Tibetan Plateau. *Journal of Hydrology, 620*, s. 129384.

Xin, Y., Yang, Y., Chen, X., Yue, X., Liu, Y., & Yin, C. (2022). Evaluation of IMERG and ERA5 precipitation products over the Mongolian Plateau. *Scientific Reports, 12*(1), s. 21776.

Xu, J., Ma, J., Yan, S., & Peng, J. (2022). Do ERA5 and ERA5-land precipitation estimates outperform satellite-based precipitation products? A comprehensive comparison between state-of-the-art model-based and satellite-based precipitation products over mainland China. *Journal of Hydrology, 605*.

A
IDCM TABLOLARI

Tablo A.1 Kocaeli İstasyonu-ERA5 SPI 1

SPI 1		ERA5							
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	1	2	1	0	0	0	0	4
	SW	0	0	4	2	0	0	0	6
	MW	0	2	6	13	0	0	0	21
	N	0	2	13	122	11	2	0	150
	MD	0	0	0	16	5	3	4	28
	SD	0	0	0	1	1	1	3	6
	ED	0	0	0	0	1	2	3	6
	Top	1	6	24	154	18	8	10	**221_62%**

Tablo A.2 Kocaeli İstasyonu-ERA5 SPI 3

SPI 3		ERA5							
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	0	4	0	1	0	0	0	5
	SW	0	2	8	1	0	0	0	11
	MW	0	3	8	11	0	0	0	22
	N	0	3	10	120	11	3	0	147
	MD	0	0	0	8	5	3	1	17
	SD	0	0	0	4	2	5	4	15
	ED	0	0	0	0	0	0	2	2
	Top	0	12	26	145	18	11	7	**219_65%**

Tablo A.3 Kocaeli İstasyonu-ERA5 SPI 6

SPI 6		ERA5							
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	0	2	0	0	0	0	0	2
	SW	0	6	6	1	0	0	0	13
	MW	0	1	11	12	0	0	0	24
	N	0	1	14	112	10	0	0	139
	MD	0	0	0	10	8	2	0	20
	SD	0	0	0	2	4	5	4	15
	ED	0	0	0	0	0	0	3	3
	Top	0	10	31	137	22	9	7	**216_67%**

Tablo A.4 Kocaeli İstasyonu-ERA5 SPI 12

SPI 12	ERA5								
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	5	1	0	0	0	0	0	6
	SW	1	3	2	3	0	0	0	9
	MW	0	5	3	7	0	0	0	15
	N	0	0	7	128	11	8	0	154
	MD	0	0	0	7	2	3	2	14
	SD	0	0	0	0	3	3	0	6
	ED	0	0	0	0	1	1	4	6
	Top	6	9	12	145	17	15	6	**210_70%**

Tablo A.5 Havalimanı İstasyonu-ERA5 SPI 1

SPI 1	ERA5								
İSTASYON		E0W	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	1	1	1	0	0	0	0	3
	SW	0	3	3	3	0	0	0	9
	MW	0	1	5	12	0	0	0	18
	N	0	1	15	129	10	2	1	158
	MD	0	0	0	8	3	1	5	17
	SD	0	0	0	3	2	2	2	9
	ED	0	0	0	0	1	2	4	7
	Top	1	6	24	155	16	7	12	**221_67%**

Tablo A.6 Havalimanı İstasyonu-ERA5 SPI 3

SPI 3	ERA5								
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	0	2	1	0	0	0	0	3
	SW	0	3	4	1	0	0	0	8
	MW	0	4	11	11	0	0	0	26
	N	0	2	7	121	11	2	2	145
	MD	0	0	0	10	6	3	2	21
	SD	0	0	0	3	3	3	2	11
	ED	0	0	0	1	1	0	3	5
	Top	0	11	23	147	21	8	9	**219_67%**

Tablo A.7 Havalimanı İstasyonu-ERA5 SPI 6

SPI 6		ERA5							
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	1	1	1	0	0	0	0	3
	SW	1	3	6	2	0	0	0	12
	MW	0	1	6	9	0	0	0	16
	N	0	1	18	112	10	5	1	147
	MD	0	0	0	12	4	2	0	18
	SD	0	0	0	3	6	4	2	15
	ED	0	0	0	0	1	1	3	5
	Top	2	6	31	138	21	12	6	**216_62%**

Tablo A.8 Havalimanı İstasyonu-ERA5 SPI 12

SPI 12		ERA5							
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	4	1	0	0	0	0	0	5
	SW	1	3	0	0	0	0	0	4
	MW	1	1	1	17	0	0	0	20
	N	0	3	8	120	13	4	2	150
	MD	0	0	0	10	2	6	0	18
	SD	0	0	0	3	0	3	0	6
	ED	0	0	0	0	1	2	4	7
	Top	6	8	9	150	16	15	6	**210_65%**

Tablo A.9 Gölcük İstasyonu-ERA5 SPI 1

SPI 1		ERA5							
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	1	1	1	0	0	0	0	3
	SW	0	1	4	2	0	0	0	7
	MW	0	3	9	9	0	0	0	21
	N	0	1	10	134	11	2	1	159
	MD	0	0	0	4	3	3	2	12
	SD	0	0	0	4	4	2	2	12
	ED	0	0	0	1	0	1	5	7
	Top	1	6	24	154	18	8	10	**221_70%**

Tablo A.10 Gölcük İstasyonu-ERA5 SPI 3

SPI 3		ERA5							
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	0	1	0	0	0	0	0	1
	SW	0	6	6	2	0	0	0	14
	MW	0	3	11	14	0	0	0	28
	N	0	2	9	115	9	6	0	141
	MD	0	0	0	8	9	3	0	20
	SD	0	0	0	4	0	1	4	9
	ED	0	0	0	2	0	1	3	6
	Top	0	12	26	145	18	11	7	**219_66%**

Tablo A.11 Gölcük İstasyonu-ERA5 SPI 6

SPI 6		ERA5							
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	0	0	0	0	0	0	0	0
	SW	0	4	8	1	0	0	0	13
	MW	0	5	6	12	0	0	0	23
	N	0	1	17	108	10	3	0	139
	MD	0	0	0	10	8	2	0	20
	SD	0	0	0	5	4	1	5	15
	ED	0	0	0	1	0	3	2	6
	Top	0	10	31	137	22	9	7	**216_60%**

Tablo A.12 Gölcük İstasyonu-ERA5 SPI 12

SPI 12		ERA5							
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	0	0	0	0	0	0	0	0
	SW	6	2	1	1	0	0	0	10
	MW	0	5	3	20	0	0	0	28
	N	0	2	8	111	11	6	0	138
	MD	0	0	0	11	0	4	1	16
	SD	0	0	0	2	4	4	2	12
	ED	0	0	0	0	2	1	3	6
	Top	6	9	12	145	17	15	6	**210_59%**

Tablo A.13 Gebze İstasyonu-ERA5 SPI 1

SPI 1		ERA5							
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	1	2	0	0	0	0	0	3
	SW	0	4	3	1	0	0	0	8
	MW	0	2	10	9	0	0	0	21
	N	0	1	11	128	10	1	4	155
	MD	0	0	0	7	3	4	3	17
	SD	0	0	0	9	2	3	3	17
	ED	0	0	0	0	0	0	0	0
	Top	1	9	24	154	15	8	10	**221_67%**

Tablo A.14 Gebze İstasyonu-ERA5 SPI 3

SPI 3		ERA5							
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	0	2	0	0	0	0	0	2
	SW	0	5	5	5	0	0	0	10
	MW	0	0	13	13	0	0	0	26
	N	0	4	9	116	12	5	2	148
	MD	0	0	0	6	2	3	3	14
	SD	0	0	0	6	2	0	2	10
	ED	0	0	0	4	1	2	2	9
	Top	0	11	27	145	17	10	9	**219_63%**

Tablo A.15 Gebze İstasyonu-ERA5 SPI 6

SPI 6		ERA5							
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	0	2	0	0	0	0	0	2
	SW	0	5	6	2	0	0	0	13
	MW	0	5	7	9	0	0	0	21
	N	0	0	14	119	12	2	4	151
	MD	0	0	0	3	4	3	0	10
	SD	0	0	0	4	1	3	1	9
	ED	0	0	0	4	4	0	2	10
	Top	0	12	27	141	21	8	7	**216_65%**

Tablo A.16 Gebze İstasyonu-ERA5 SPI 12

SPI 12	ERA5								
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	3	1	0	0	0	0	0	4
	SW	1	3	5	0	0	0	0	9
	MW	2	4	2	1	0	0	0	9
	N	0	1	8	136	16	2	0	163
	MD	0	0	0	3	1	1	3	8
	SD	0	0	0	2	3	2	0	7
	ED	0	0	0	0	0	8	2	10
	Top	6	9	15	142	20	13	5	**210_71%**

Tablo A.17 Kocaeli İstasyonu-ERA5 Land SPI 1

SPI 1	ERA5-LAND								
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	1	2	1	0	0	0	0	4
	SW	0	0	4	2	0	0	0	6
	MW	0	3	5	13	0	0	0	21
	N	0	2	13	123	9	3	0	150
	MD	0	0	0	15	5	5	3	28
	SD	0	0	0	1	2	0	3	6
	ED	0	0	0	1	1	1	3	6
	Top	1	7	23	155	17	9	9	**221_62%**

Tablo A.18 Kocaeli İstasyonu-ERA5 Land SPI 3

SPI 3	ERA5-LAND								
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	0	3	1	1	0	0	0	5
	SW	0	2	8	1	0	0	0	11
	MW	0	2	7	13	0	0	0	22
	N	0	3	9	119	12	1	3	147
	MD	0	0	0	8	7	1	1	17
	SD	0	0	0	3	4	5	3	15
	ED	0	0	0	0	0	0	2	2
	Top	0	10	25	145	23	7	9	**219_65%**

Tablo A.19 Kocaeli İstasyonu-ERA5 Land SPI 6

SPI 6	ERA5-LAND								
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	0	1	1	0	0	0	0	2
	SW	0	4	8	1	0	0	0	13
	MW	0	0	9	15	0	0	0	24
	N	0	0	13	117	6	1	2	139
	MD	0	0	0	11	7	2	0	20
	SD	0	0	0	2	4	5	4	15
	ED	0	0	0	0	0	1	2	3
	Top	0	5	31	146	17	9	8	**216_67%**

Tablo A.20 Kocaeli İstasyonu-ERA5 Land SPI 12

SPI 12	ERA5-LAND								
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	5	1	0	0	0	0	0	6
	SW	0	4	1	4	0	0	0	9
	MW	0	2	5	8	0	0	0	15
	N	0	0	4	134	11	4	1	154
	MD	0	0	0	5	5	3	1	14
	SD	0	0	0	0	2	2	2	6
	ED	0	0	0	0	1	2	3	6
	Top	5	7	10	151	19	11	7	**210_75%**

Tablo A.21 Havalimanı İstasyonu-ERA5 Land SPI 1

SPI 1	ERA5-LAND								
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	1	1	0	1	0	0	0	3
	SW	0	3	3	3	0	0	0	9
	MW	0	0	5	13	0	0	0	18
	N	0	1	14	134	4	4	1	158
	MD	0	0	0	6	5	2	4	17
	SD	0	0	0	3	3	1	2	9
	ED	0	0	0	0	2	1	4	7
	Top	1	5	22	160	14	8	11	**221_69%**

Tablo A.22 Havalimanı İstasyonu-ERA5 Land SPI 3

SPI 3	ERA5-LAND								
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	0	1	0	2	0	0	0	3
	SW	0	2	5	0	1	0	0	8
	MW	0	3	9	12	0	0	0	26
	N	0	2	10	122	4	3	4	145
	MD	0	0	0	11	5	4	1	21
	SD	0	0	0	4	2	3	2	11
	ED	0	0	0	1	1	1	2	5
	Top	0	8	24	154	13	11	9	**219_65%**

Tablo A.23 Havalimanı İstasyonu-ERA5 Land SPI 6

SPI 6	ERA5-LAND								
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	0	1	2	0	0	0	0	3
	SW	0	3	7	0	0	2	0	12
	MW	0	1	5	9	0	0	1	16
	N	0	1	17	114	10	2	3	147
	MD	0	0	0	14	4	0	0	18
	SD	0	0	0	6	7	0	2	15
	ED	0	0	0	0	2	1	2	5
	Top	0	6	31	143	23	5	8	**216_59%**

Tablo A.24 Havalimanı İstasyonu-ERA5 Land SPI 12

SPI 12	ERA5-LAND								
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	4	1	0	0	0	0	0	5
	SW	1	2	1	0	0	0	0	4
	MW	0	2	2	14	0	0	2	20
	N	0	2	9	121	12	5	1	150
	MD	0	0	0	10	4	3	1	18
	SD	0	0	0	3	2	1	0	6
	ED	0	0	0	1	1	2	3	7
	Top	5	7	12	149	19	11	7	**210_65%**

Tablo A.25 Gölcük İstasyonu-ERA5 Land SPI 1

SPI 1	ERA5-LAND								
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	1	1	1	0	0	0	0	3
	SW	0	1	4	2	0	0	0	7
	MW	0	2	8	11	0	0	0	21
	N	0	1	13	132	8	4	1	159
	MD	0	0	0	4	3	3	2	12
	SD	0	0	0	6	3	1	2	12
	ED	0	0	0	1	0	1	5	7
	Top	1	5	26	156	14	9	10	**221_68%**

Tablo A.26 Gölcük İstasyonu-ERA5 Land SPI 3

SPI 3	ERA5-LAND								
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	0	1	0	0	0	0	0	1
	SW	0	4	6	4	0	0	0	14
	MW	0	3	11	13	1	0	0	28
	N	0	0	10	114	9	6	2	141
	MD	0	0	0	13	3	3	1	20
	SD	0	0	0	4	0	2	3	9
	ED	0	0	0	2	0	0	4	6
	Top	0	8	27	150	13	11	10	**219_63%**

Tablo A.27 Gölcük İstasyonu-ERA5 Land SPI 6

SPI 6	ERA5-LAND								
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	0	0	0	0	0	0	0	0
	SW	0	3	6	4	0	0	0	13
	MW	0	3	8	12	0	0	0	23
	N	0	1	16	105	13	1	3	139
	MD	0	0	0	11	6	2	1	20
	SD	0	0	0	8	1	2	4	15
	ED	0	0	0	1	2	2	1	6
	Top	0	7	30	141	22	7	9	**216_58%**

Tablo A.28 Gölcük İstasyonu-ERA5 Land SPI 12

SPI 12	ERA5-LAND								
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	0	0	0	0	0	0	0	0
	SW	5	3	1	1	0	0	0	10
	MW	0	4	4	20	0	0	0	28
	N	0	1	8	112	10	3	4	138
	MD	0	0	0	11	3	1	1	16
	SD	0	0	0	3	5	3	1	12
	ED	0	0	0	0	2	1	3	6
	Top	5	8	13	147	20	8	9	**210_61%**

Tablo A.29 Gebze İstasyonu-ERA5 Land SPI 1

SPI 1	ERA5-LAND								
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	1	2	0	0	0	0	0	3
	SW	0	5	2	1	0	0	0	8
	MW	0	2	10	9	0	0	0	21
	N	0	1	10	126	11	4	3	155
	MD	0	0	0	7	3	6	1	17
	SD	0	0	0	8	3	3	3	17
	ED	0	0	0	0	0	0	0	0
	Top	1	10	22	151	17	13	7	**221_67%**

Tablo A.30 Gebze İstasyonu-ERA5 Land SPI 3

SPI 3	ERA5-LAND								
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	0	2	0	0	0	0	0	2
	SW	0	6	4	0	0	0	0	10
	MW	0	1	13	12	0	0	0	26
	N	0	1	11	115	14	6	1	148
	MD	0	0	0	7	2	4	1	14
	SD	0	0	0	5	2	1	2	10
	ED	0	0	0	4	0	3	2	9
	Top	0	10	28	143	18	14	6	**219_63%**

Tablo A.31 Gebze İstasyonu-ERA5 Land SPI 6

SPI 6		ERA5-LAND							
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	0	2	0	0	0	0	0	2
	SW	0	6	5	2	0	0	0	13
	MW	0	5	7	9	0	0	0	21
	N	0	0	12	120	13	3	3	151
	MD	0	0	0	4	5	1	0	10
	SD	0	0	0	4	0	4	1	9
	ED	0	0	0	3	3	3	1	10
	Top	0	13	24	142	21	11	5	**216_66%**

Tablo A.32 Gebze İstasyonu-ERA5 Land SPI 12

SPI 12		ERA5-LAND							
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	3	1	0	0	0	0	0	4
	SW	1	0	8	0	0	0	0	9
	MW	1	3	4	1	0	0	0	9
	N	0	1	8	144	8	2	0	163
	MD	0	0	0	1	2	2	3	8
	SD	0	0	0	1	2	2	2	7
	ED	0	0	0	0	1	8	1	10
	Top	5	5	20	147	13	14	6	**210_74%**

Tablo A.33 Kocaeli İstasyonu-NASA SPI 1

SPI 1		NASA							
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	1	2	1	0	0	0	0	4
	SW	0	3	3	0	0	0	0	6
	MW	0	5	8	8	0	0	0	21
	N	0	2	8	132	4	4	0	150
	MD	0	0	0	11	11	3	3	28
	SD	0	0	0	0	0	4	2	6
	ED	0	0	0	0	1	1	4	6
	Top	1	12	20	151	16	12	9	**221_74%**

Tablo A.34 Kocaeli İstasyonu-NASA SPI 3

SPI 3		NASA							
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	1	3	0	1	0	0	0	5
	SW	0	6	5	0	0	0	0	11
	MW	0	0	13	9	0	0	0	22
	N	0		10	126	5	6	0	147
	MD	0	0	0	8	6	2	1	17
	SD	0	0	0	1	7	5	2	15
	ED	0	0	0	0	0	0	2	2
	Top	1	9	28	145	18	13	5	**219_73%**

Tablo A.35 Kocaeli İstasyonu-NASA SPI 6

SPI 6		NASA							
Re İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	1	1	0	0	0	0	0	2
	SW	0	8	4	1	0	0	0	13
	MW	0	2	10	12	0	0	0	24
	N	0	0	11	118	4	4	2	139
	MD	0	0	0	9	7	3	1	20
	SD	0	0	0	1	6	7	1	15
	ED	0	0	0	0	0	0	3	3
	Top	1	11	25	141	17	14	7	**216_71%**

Tablo A.36 Kocaeli İstasyonu-NASA SPI 12

SPI 12		NASA							
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	6	0	0	0	0	0	0	6
	SW	1	2	5	1	0	0	0	9
	MW	1	2	5	7	0	0	0	15
	N	0	0	10	128	10	6	0	154
	MD	0	0	0	9	1	3	1	14
	SD	0	0	0	0	4	2	0	6
	ED	0	0	0	0	1	2	3	6
	Top	8	4	20	145	16	13	4	**210_70%**

Tablo A.37 Havalimanı İstasyonu-NASA SPI 1

SPI 1		NASA							
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	1	1	1	0	0	0	0	3
	SW	0	5	3	1	0	0	0	9
	MW	0	4	5	9	0	0	0	18
	N	0	0	14	130	11	3	0	158
	MD	0	0	0	6	7	3	1	17
	SD	0	0	0	1	3	4	1	9
	ED	0	0	0	0	0	1	6	7
	Top	1	10	23	147	21	11	8	**221_71%**

Tablo A.38 Havalimanı İstasyonu-NASA SPI 3

SPI 3		NASA							
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	1	0	1	1	0	0	0	3
	SW	0	5	2	1	0	0	0	8
	MW	0	2	20	4	0	0	0	26
	N	0	2	8	124	5	6	0	145
	MD	0	0	0	11	7	2	1	21
	SD	0	0	0	2	3	4	2	11
	ED	0	0	0	0	2	1	2	5
	Top	1	9	31	143	17	13	5	**219_74%**

Tablo A.39 Havalimanı İstasyonu-NASA SPI 6

SPI 6		NASA							
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	1	2	0	0	0	0	0	3
	SW	0	5	5	2	0	0	0	12
	MW	0	3	4	9	0	0	0	16
	N	0	2	12	120	7	6	0	147
	MD	0	0	0	10	6	2	0	18
	SD	0	0	0	4	5	4	2	15
	ED	0	0	0	0	1	0	4	5
	Top	1	12	21	145	19	12	6	**216_67%**

Tablo A.40 Havalimanı İstasyonu-NASA SPI 12

SPI 12		NASA							
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	5	0	0	0	0	0	0	5
	SW	3	1	0	0	0	0	0	4
	MW	0	3	0	17	0	0	0	20
	N	0	0	17	116	15	2	0	150
	MD	0	0	0	11	3	2	2	18
	SD	0	0	0	2	1	2	1	6
	ED	0	0	0	0	1	3	3	7
	Top	8	4	17	146	20	9	6	**210_62%**

Tablo A.41 Gölcük İstasyonu- NASA SPI 1

SPI 1		NASA							
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	1	1	1	0	0	0	0	3
	SW	0	4	3	0	0	0	0	7
	MW	0	5	8	8	0	0	0	21
	N	0	2	12	134	5	6	0	159
	MD	0	0	0	3	4	4	1	12
	SD	0	0	0	1	6	3	2	12
	ED	0	0	0	1	0	1	5	7
	Top	1	12	24	147	15	14	8	**221_72%**

Tablo A.42 Gölcük İstasyonu- NASA SPI 3

SPI 3		NASA							
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	0	0	1	0	0	0	0	1
	SW	2	6	5	1	0	0	0	14
	MW	0	3	15	10	0	0	0	28
	N	0	1	10	118	8	4	0	141
	MD	0	0	0	7	7	6	0	20
	SD	0	0	0	3	2	1	3	9
	ED	0	0	0	2	0	2	2	6
	Top	2	10	31	141	17	13	5	**219_68%**

Tablo A.43 Gölcük İstasyonu- NASA SPI 6

SPI 6	NASA								
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	0	0	0	0	0	0	0	0
	SW	1	6	4	2	0	0	0	13
	MW	0	5	9	9	0	0	0	23
	N	0	0	12	117	6	2	2	139
	MD	0	0	0	7	10	3	0	20
	SD	0	0	0	4	4	6	1	15
	ED	0	0	0	1	0	2	3	6
	Top	1	11	25	140	20	13	6	**216_70%**

Tablo A.44 Gölcük İstasyonu- NASA SPI 12

SPI 12	NASA								
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	0	0	0	0	0	0	0	0
	SW	6	2	1	1	0	0	0	10
	MW	1	4	4	19	0	0	0	28
	N	0	1	13	113	8	3	0	138
	MD	0	0	0	7	2	6	1	16
	SD	0	0	0	5	4	3	0	12
	ED	0	0	0	1	1	1	3	6
	Top	7	7	18	146	15	13	4	**210_60%**

Tablo A.45 Gebze İstasyonu-NASA SPI 1

SPI 1	NASA								
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	1	1	0	1	0	0	0	3
	SW	0	7	1	0	0	0	0	8
	MW	0	2	9	9	0	1	0	21
	N	0	2	13	122	13	2	3	155
	MD	0	0	0	5	4	7	1	17
	SD	0	0	0	9	2	3	3	17
	ED	0	0	0	0	0	0	0	0
	Top	1	12	23	146	19	13	7	**221_66%**

Tablo A.46 Gebze İstasyonu-NASA SPI 3

SPI 3		NASA							
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	1	1	0	0	0	0	0	2
	SW	0	6	4	0	0	0	0	10
	MW	0	2	15	9	0	0	0	26
	N	0	3	12	117	10	5	1	148
	MD	0	0	0	3	6	3	2	14
	SD	0	0	0	6	2	1	1	10
	ED	0	0	0	4	0	3	2	9
	Top	1	12	31	139	18	12	6	**219_68%**

Tablo A.47 Gebze İstasyonu-NASA SPI 6

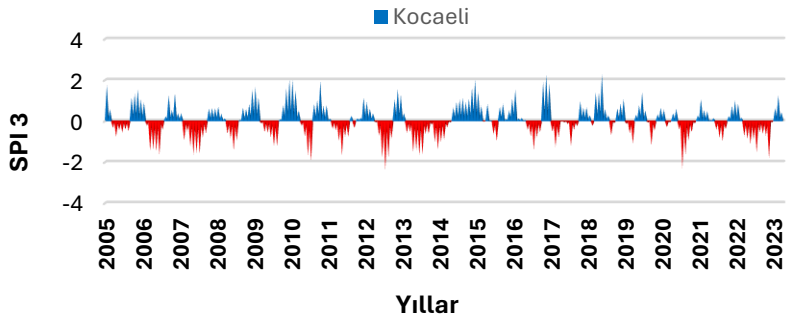
SPI 6		NASA							
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	0	1	1	0	0	0	0	2
	SW	1	5	3	4	0	0	0	13
	MW	0	6	7	8	0	0	0	21
	N	0	0	15	113	17	4	2	151
	MD	0	0	0	4	4	1	1	10
	SD	0	0	0	4	1	3	1	9
	ED	0	0	0	2	5	2	1	10
	Top	1	12	26	135	27	10	5	**216_62%**

Tablo A.48 Gebze İstasyonu-NASA SPI 12

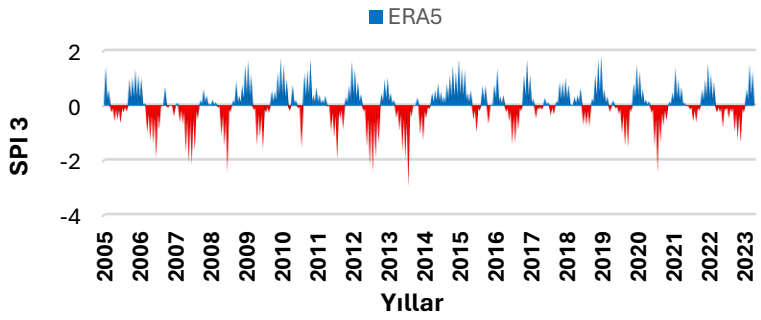
SPI 12		NASA							
İSTASYON		EW	SW	MW	N	MD	SD	ED	Top
	EW	1	2	1	0	0	0	0	4
	SW	1	3	1	4	0	0	0	9
	MW	3	4	1	1	0	0	0	9
	N	0	1	13	134	9	3	3	163
	MD	0	0	0	4	1	0	3	8
	SD	0	0	0	3	3	1	0	7
	ED	0	0	0	0	2	7	1	10
	Top	5	10	16	146	15	11	7	**210_68%**

B
ZAMAN SERİLERİ GRAFİKLERİ

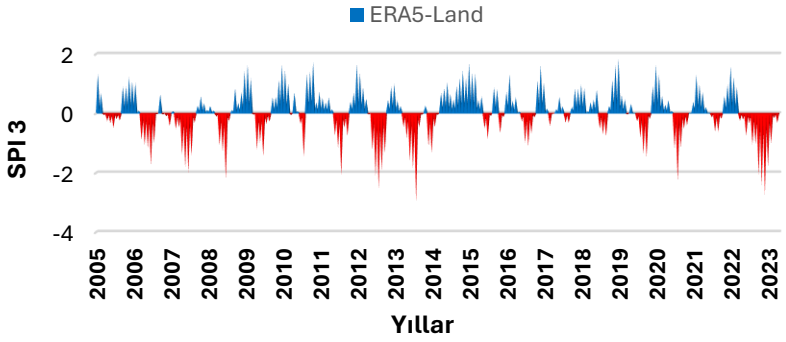
(a)



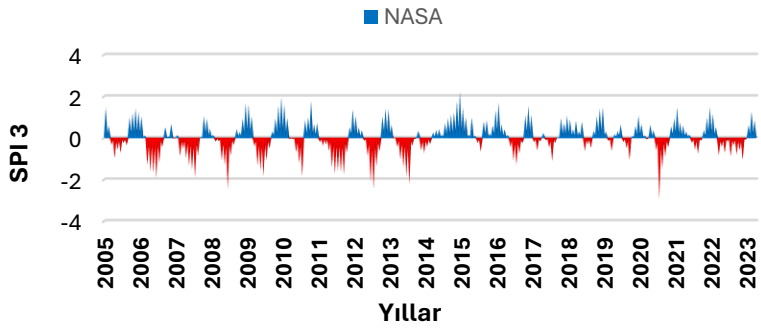
(b)



(c)

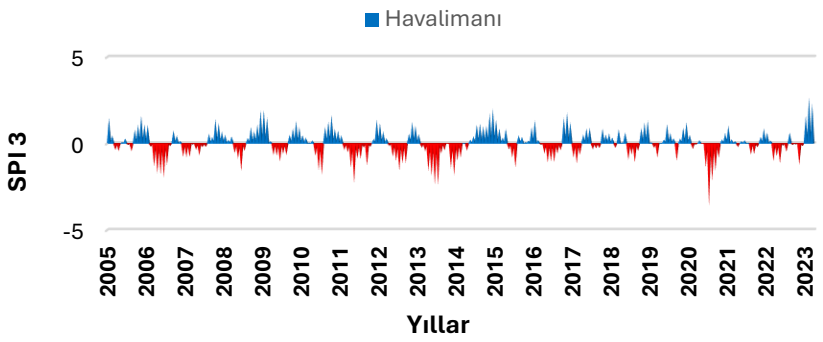


(d)

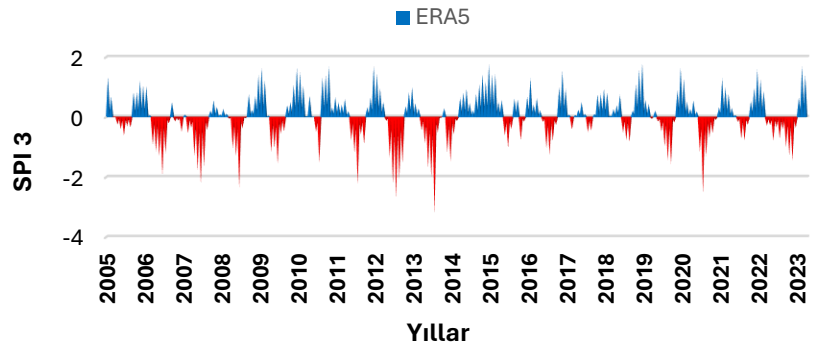


Şekil B.1 Kocaeli MGM gözlem istasyonu, ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA grid noktaları için 2005-2023 SPI 3 kuraklık analiz sonuçları zaman serileri (a-d)

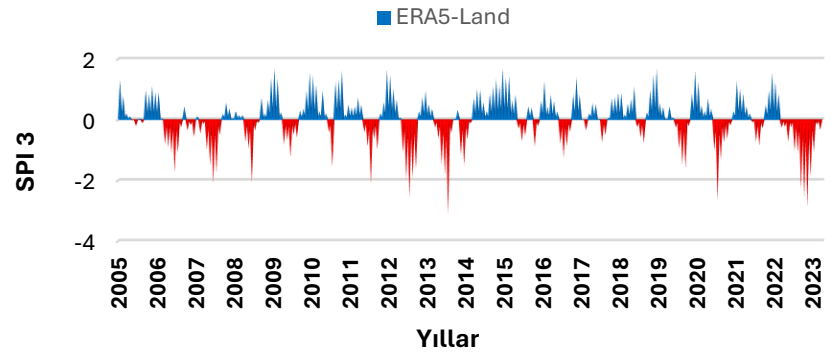
(a)



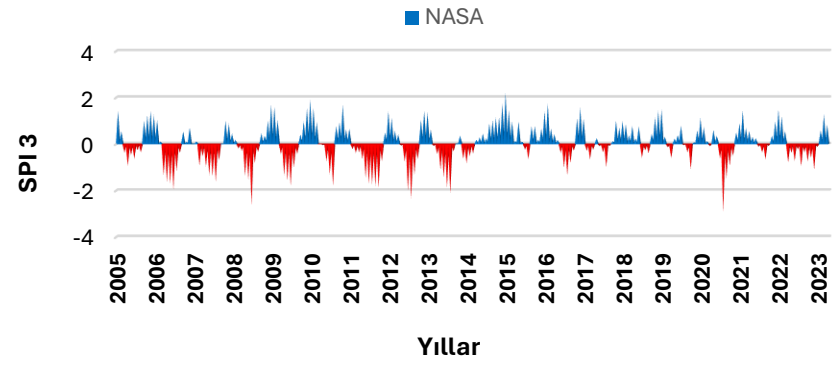
(b)



(c)

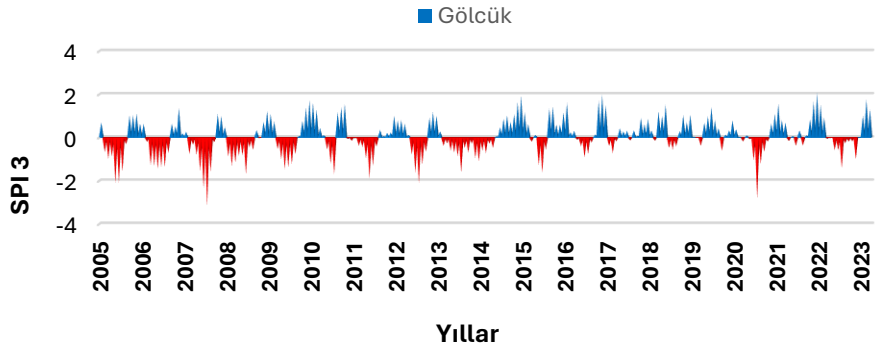


(d)

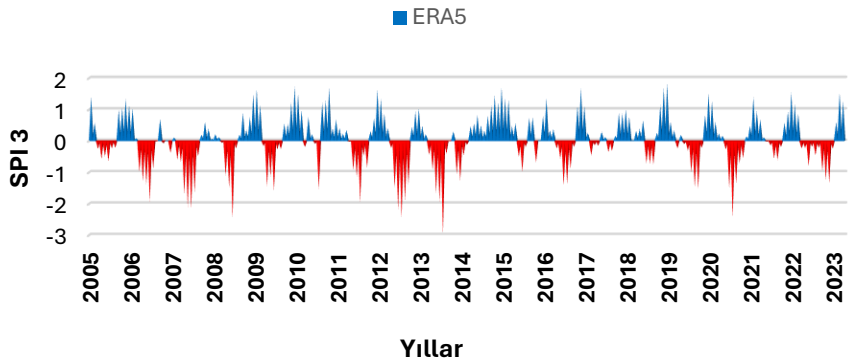


Şekil B.2 Havalimanı MGM gözlem istasyonu, ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA grid noktaları için 2005-2023 SPI 3 kuraklık analiz sonuçları zaman serileri (a-d)

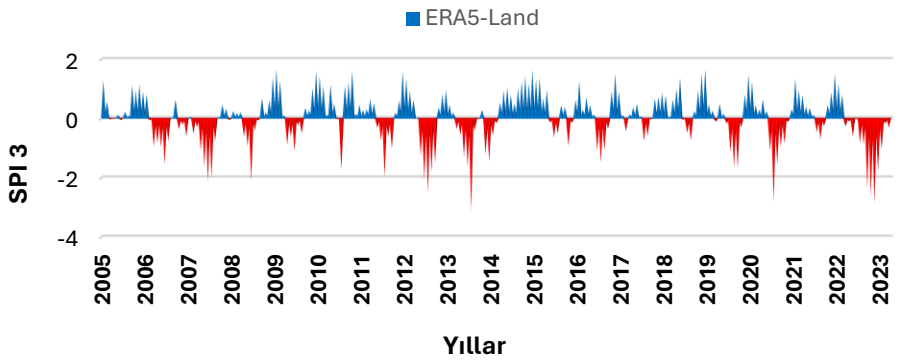
(a)



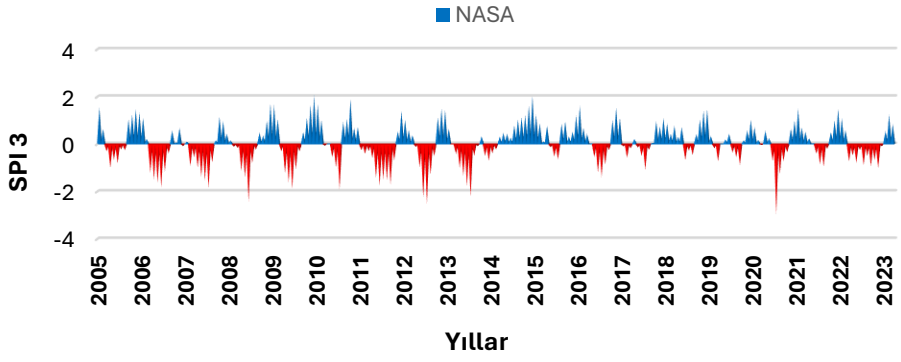
(b)



(c)

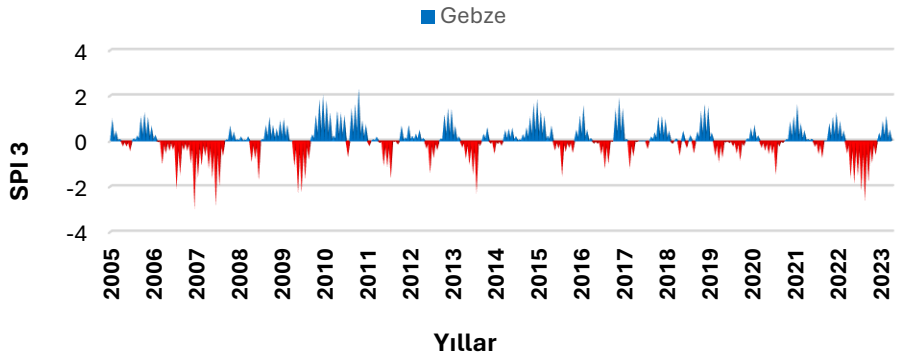


(d)

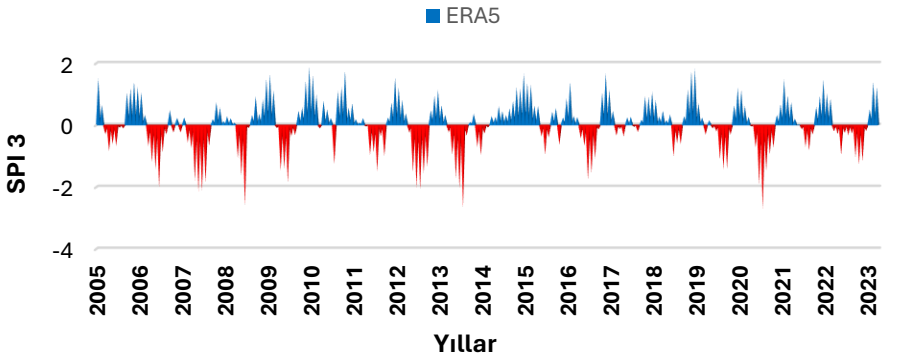


Şekil B.3 (a-d) Gölcük MGM gözlem istasyonu, ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA grid noktaları için 2005-2023 SPI 3 kuraklık analiz sonuçları zaman serileri

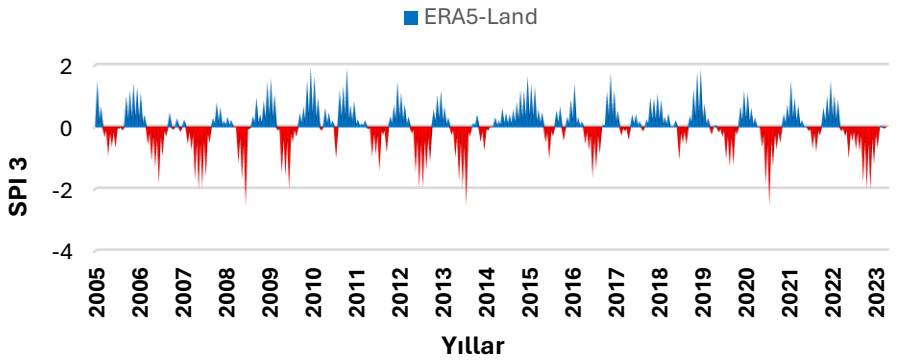
(a)



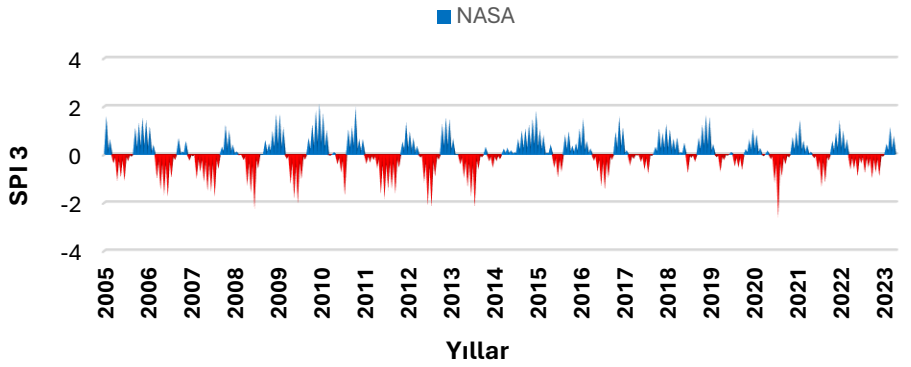
(b)



(c)

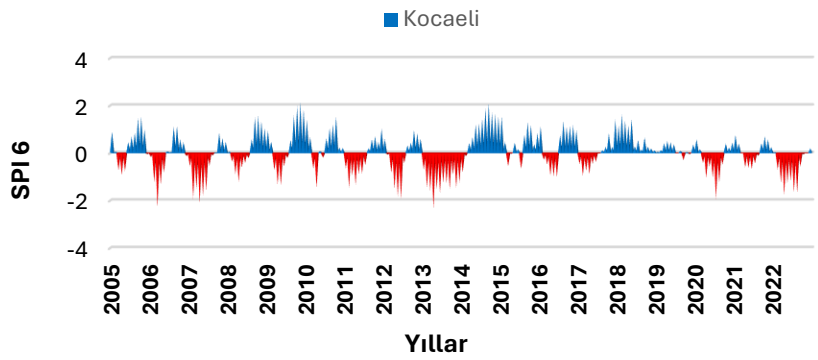


(d)

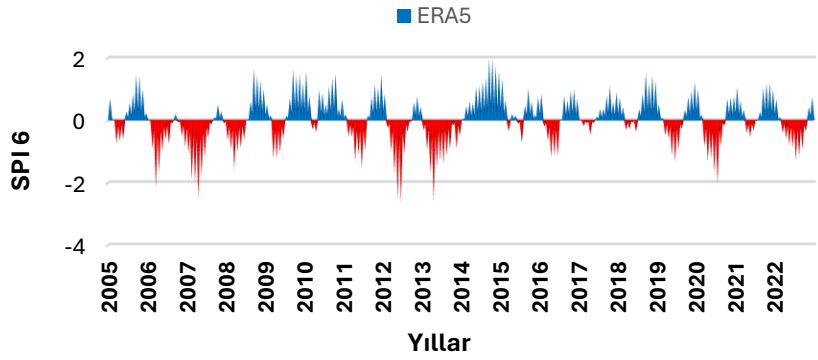


Şekil B.4 (a-d) Gebze MGM gözlem istasyonu, ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA grid noktaları için 2005-2023 SPI 3 kuraklık analiz sonuçları zaman serileri

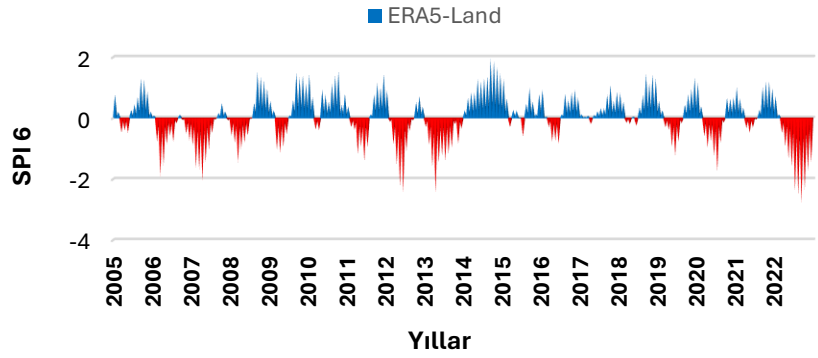
(a)



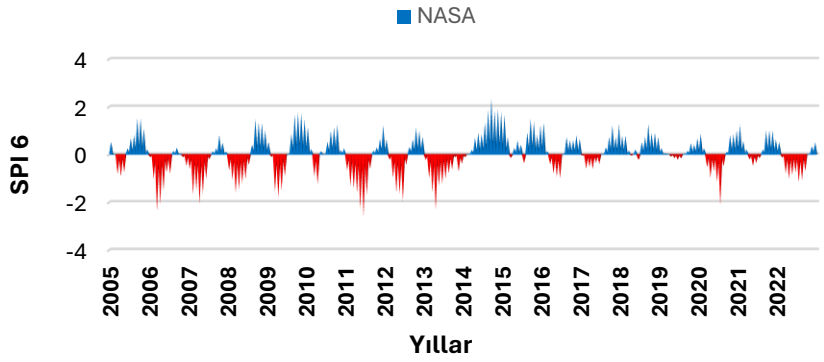
(b)



(c)

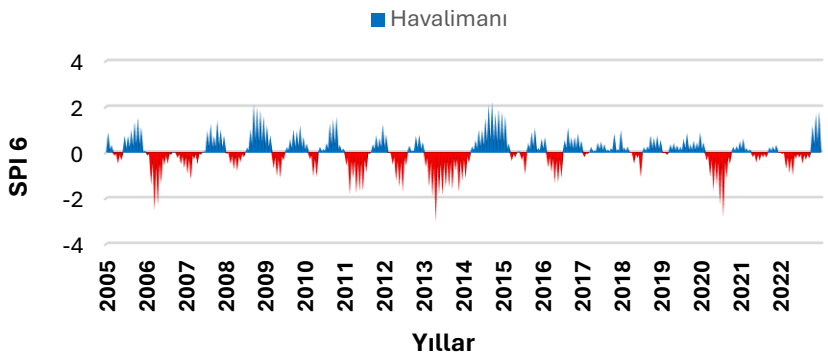


(d)

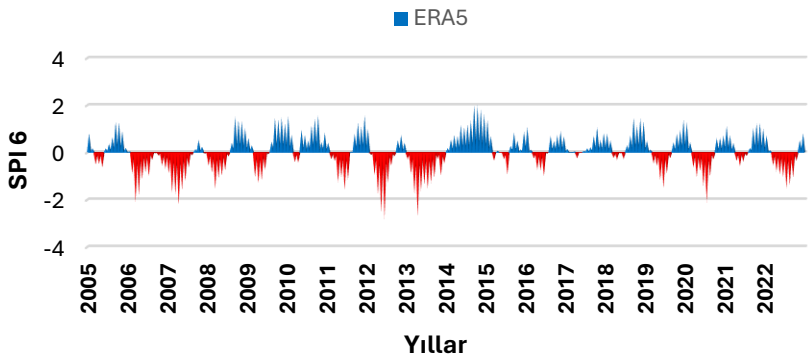


Şekil B.5 (a-d) Kocaeli MGM gözlem istasyonu, ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA grid noktaları için 2005-2023 SPI 6 kuraklık analiz sonuçları zaman serileri

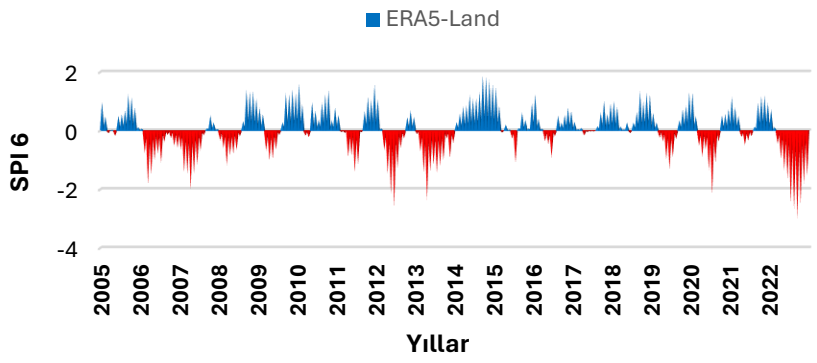
(a)



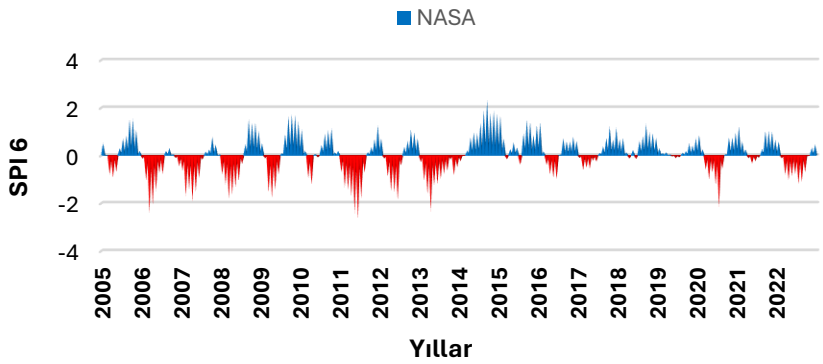
(b)



(c)

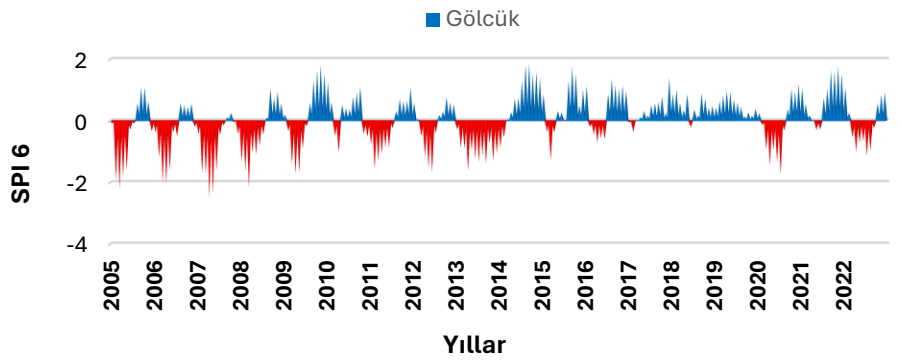


(d)

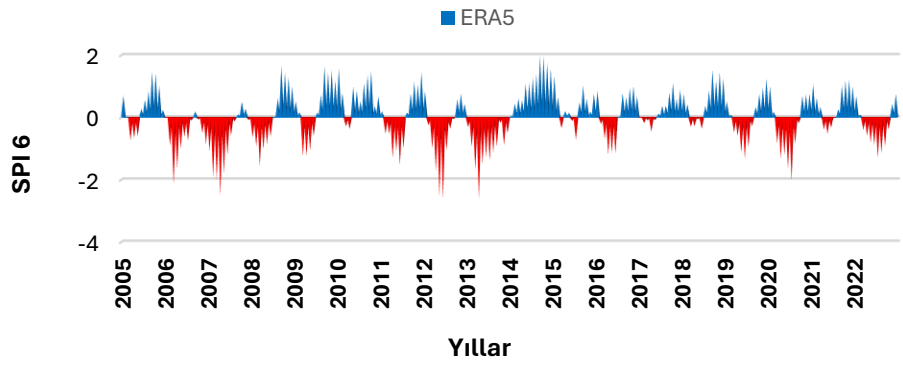


Şekil B.6 (a-d) Havalimanı MGM gözlem istasyonu, ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA grid noktaları için 2005-2023 SPI 6 kuraklık analiz sonuçları zaman serileri

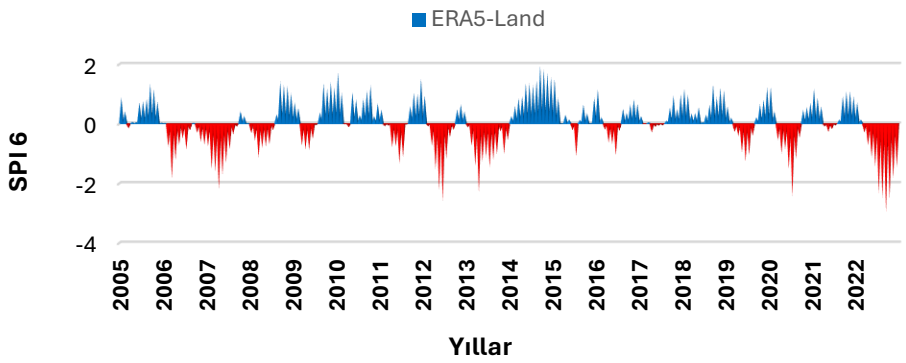
(a)



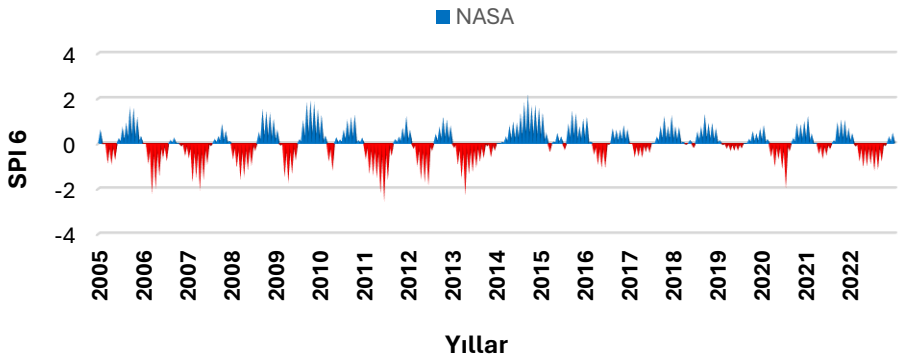
(b)



(c)

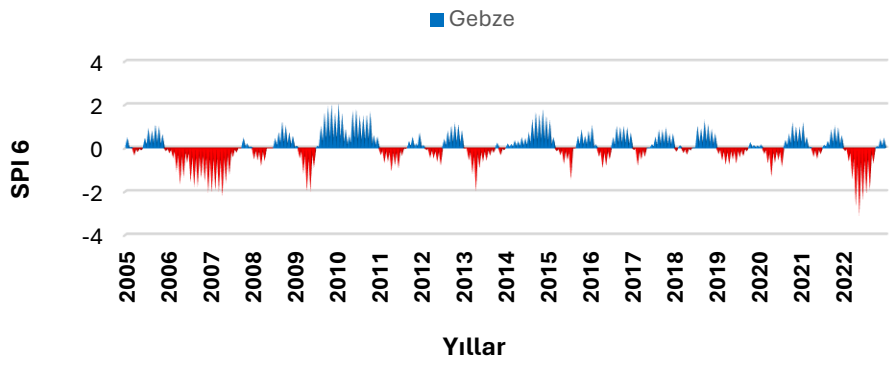


(d)

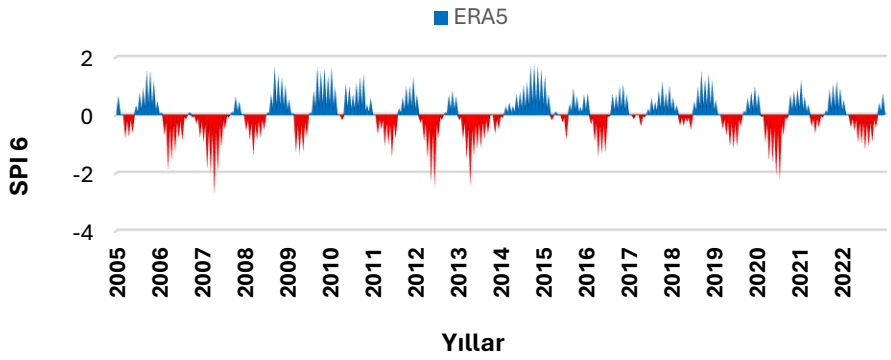


Şekil B.7 (a-d) Gölcük MGM gözlem istasyonu, ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA grid noktaları için 2005-2023 SPI 6 kuraklık analiz sonuçları zaman serileri

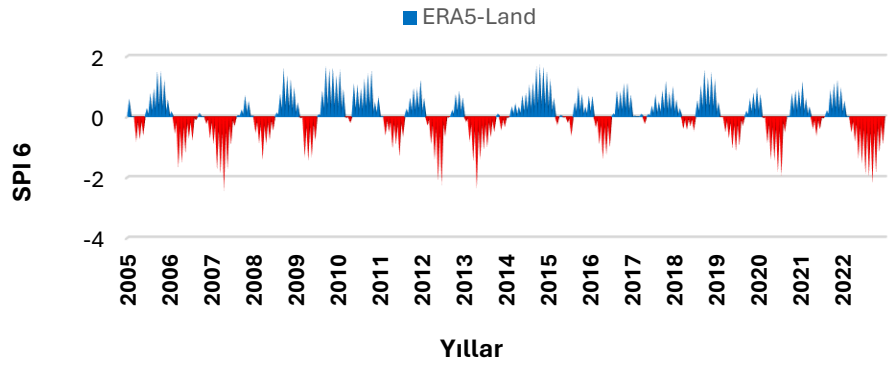
(a)



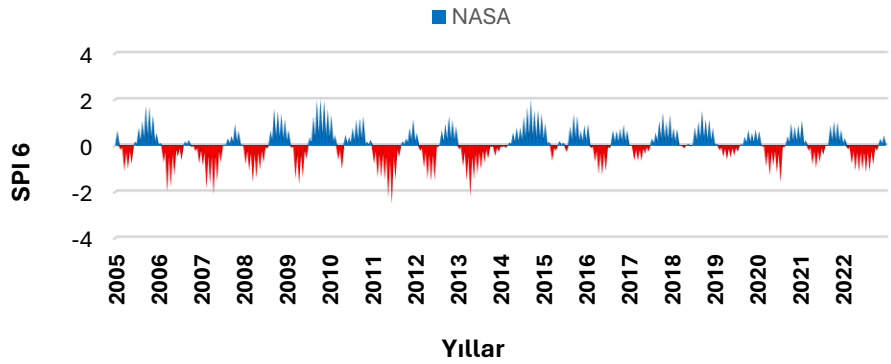
(b)



(c)

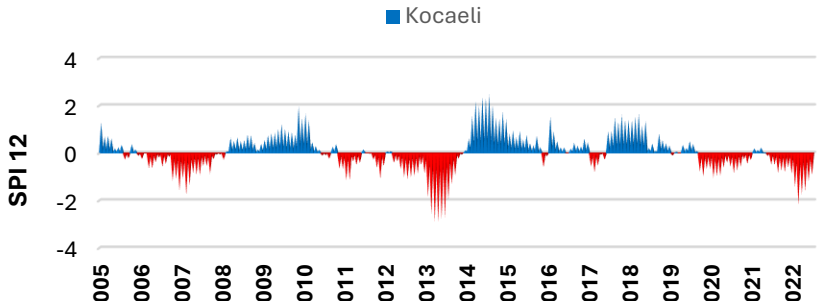


(d)

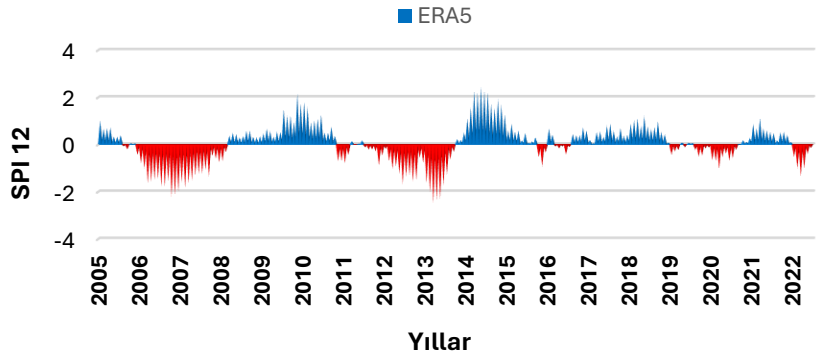


Şekil B.8 (a-d) Gebze MGM gözlem istasyonu, ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA grid noktaları için 2005-2023 SPI 6 kuraklık analiz sonuçları zaman serileri

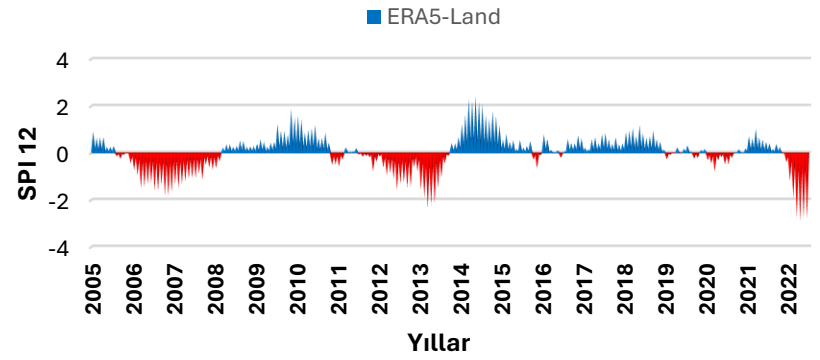
(a)



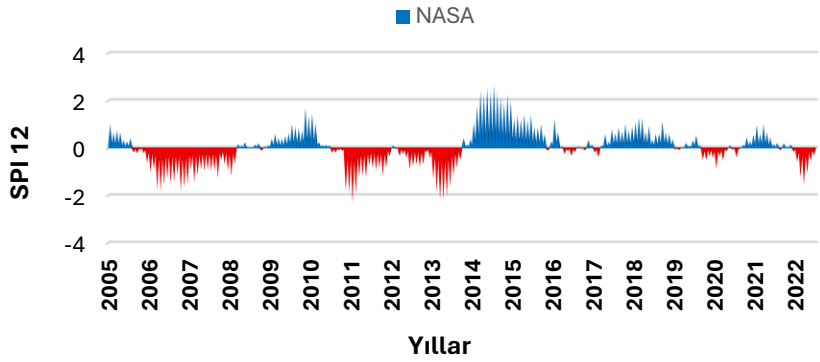
(b)



(c)

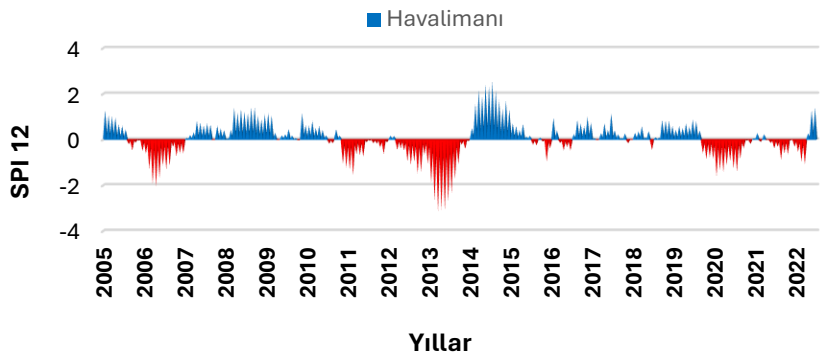


(d)

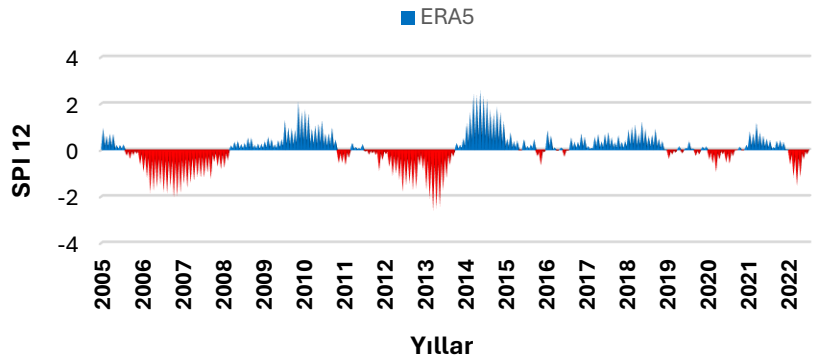


Şekil B.9 (a-d) Kocaeli MGM gözlem istasyonu, ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA grid noktaları için 2005-2023 SPI 12 kuraklık analiz sonuçları zaman serileri

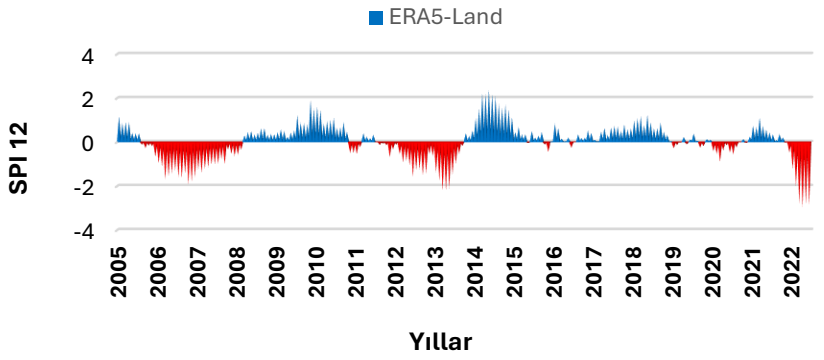
(a)



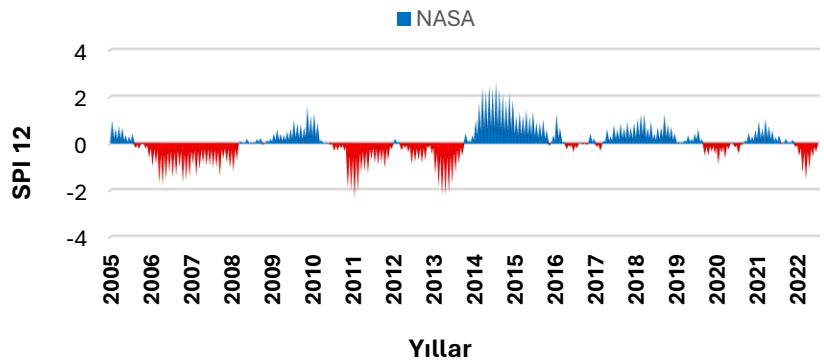
(b)



(c)

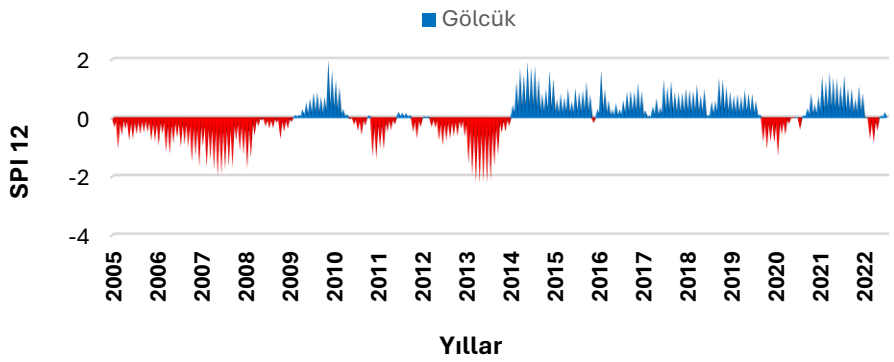


(d)

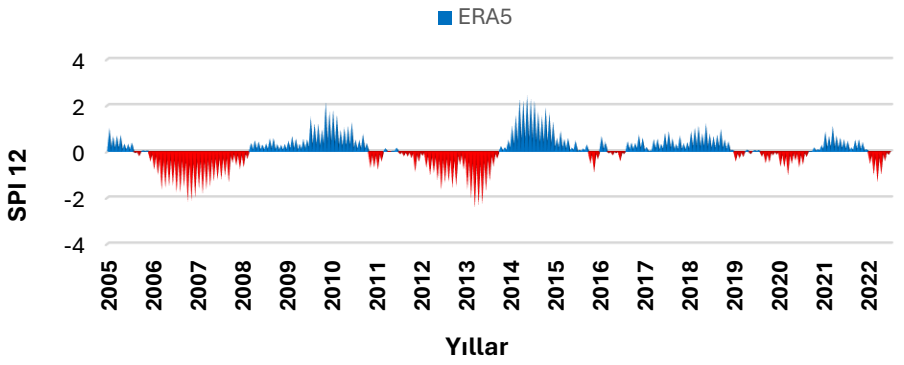


Şekil B.10 (a-d) Havalimanı MGM gözlem istasyonu, ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA grid noktaları için 2005-2023 SPI 12 kuraklık analiz sonuçları zaman serileri

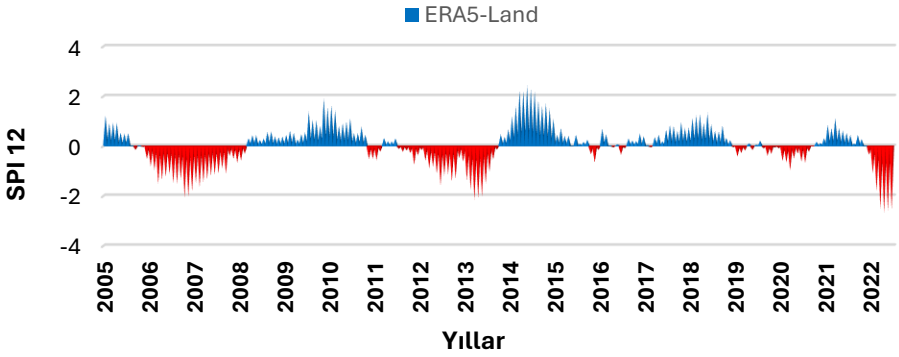
(a)



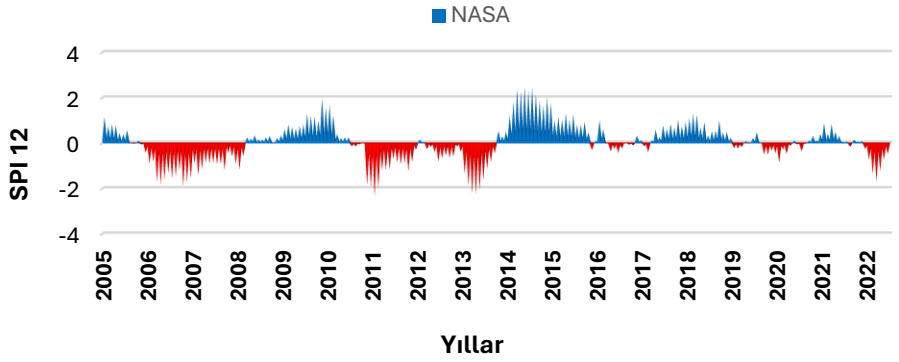
(b)



(c)

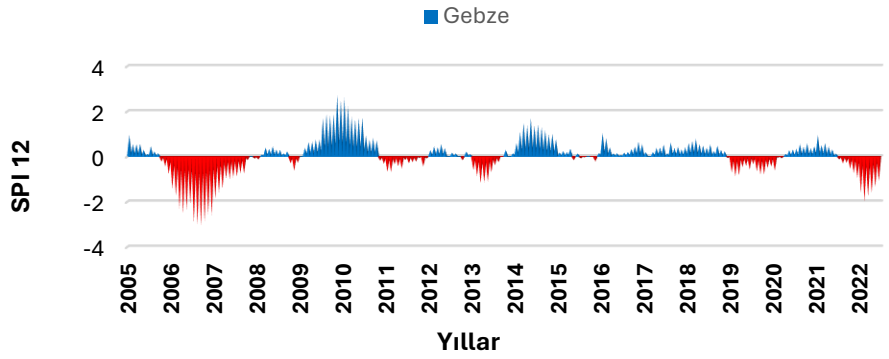


(d)

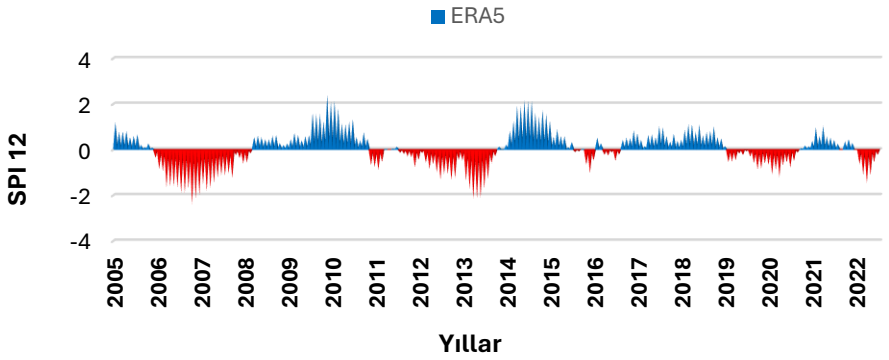


Şekil B.11 (a-d) Gölcük MGM gözlem istasyonu, ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA grid noktaları için 2005-2023 SPI 12 kuraklık analiz sonuçları zaman serileri

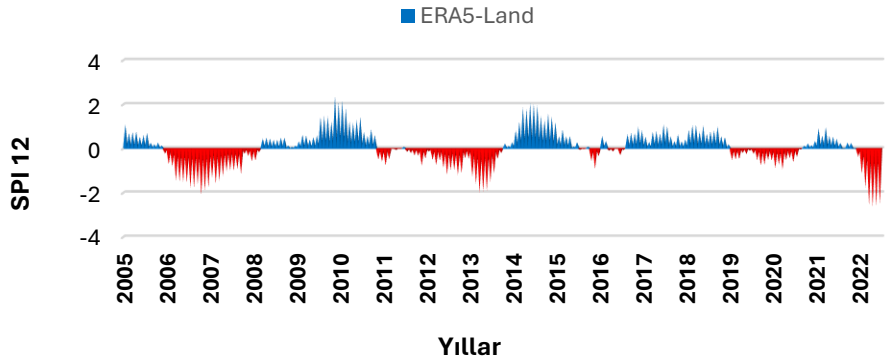
(a)



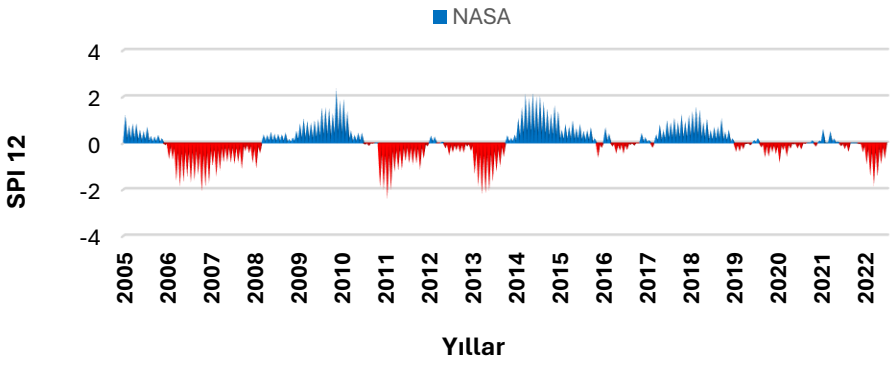
(b)



(c)

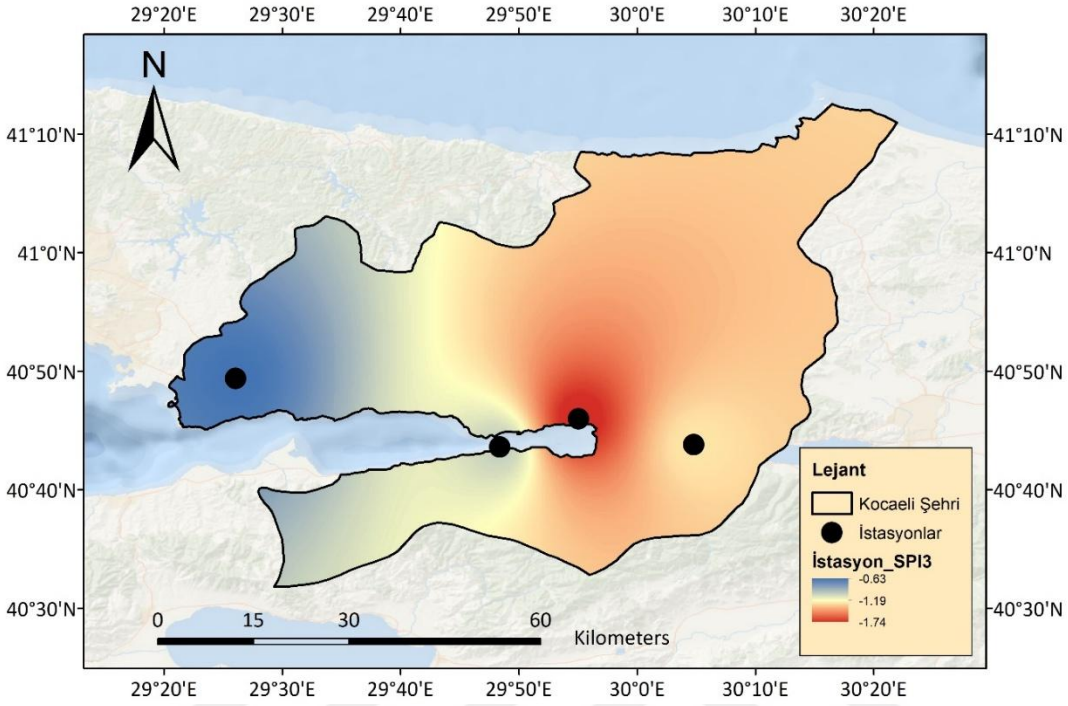


(d)

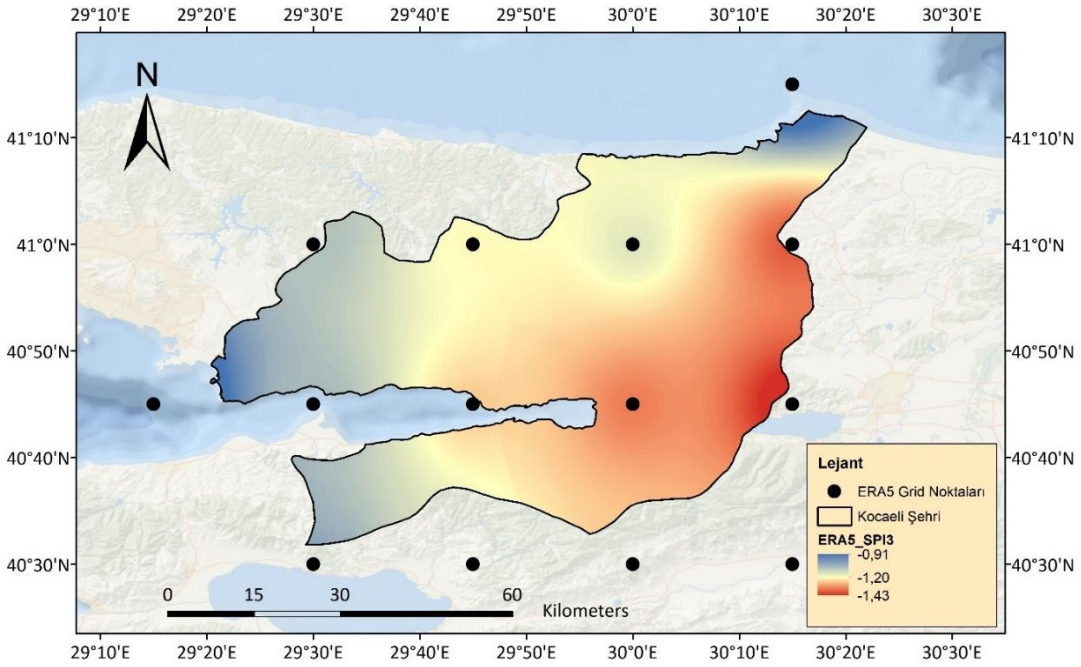


Şekil B.12 (a-d) Gebze MGM gözlem istasyonu, ERA 5, ERA 5-Land ve IMERG NASA grid noktaları için 2005-2023 SPI 12 kuraklık analiz sonuçları zaman serileri

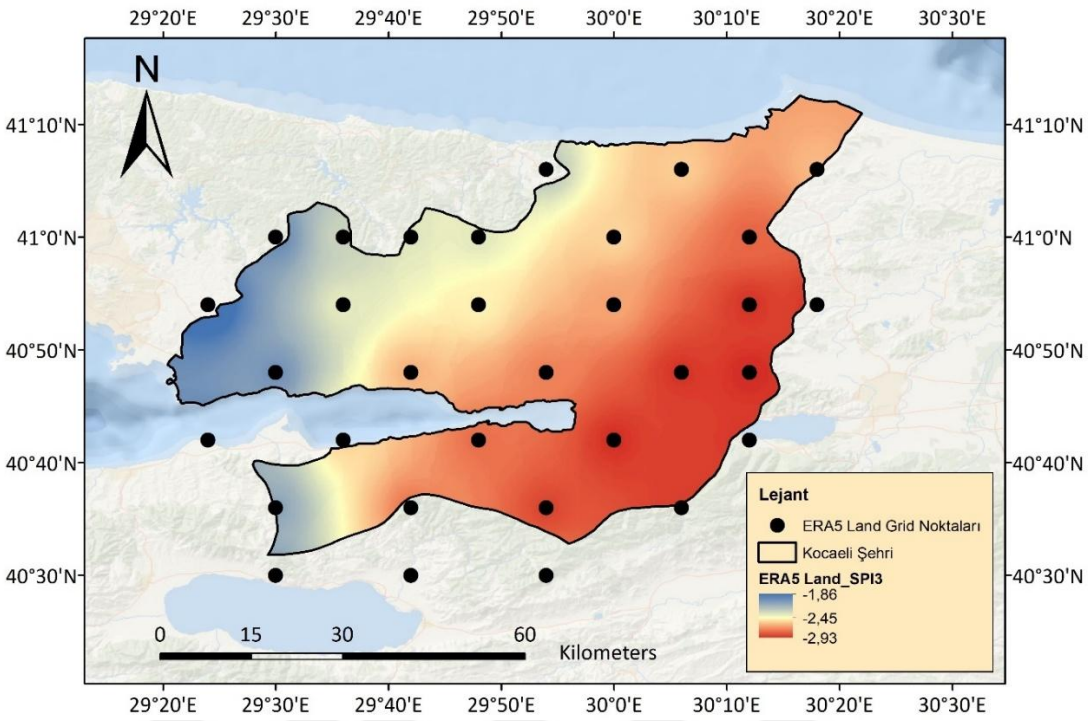
C
KURAKLIK HARİTALARI



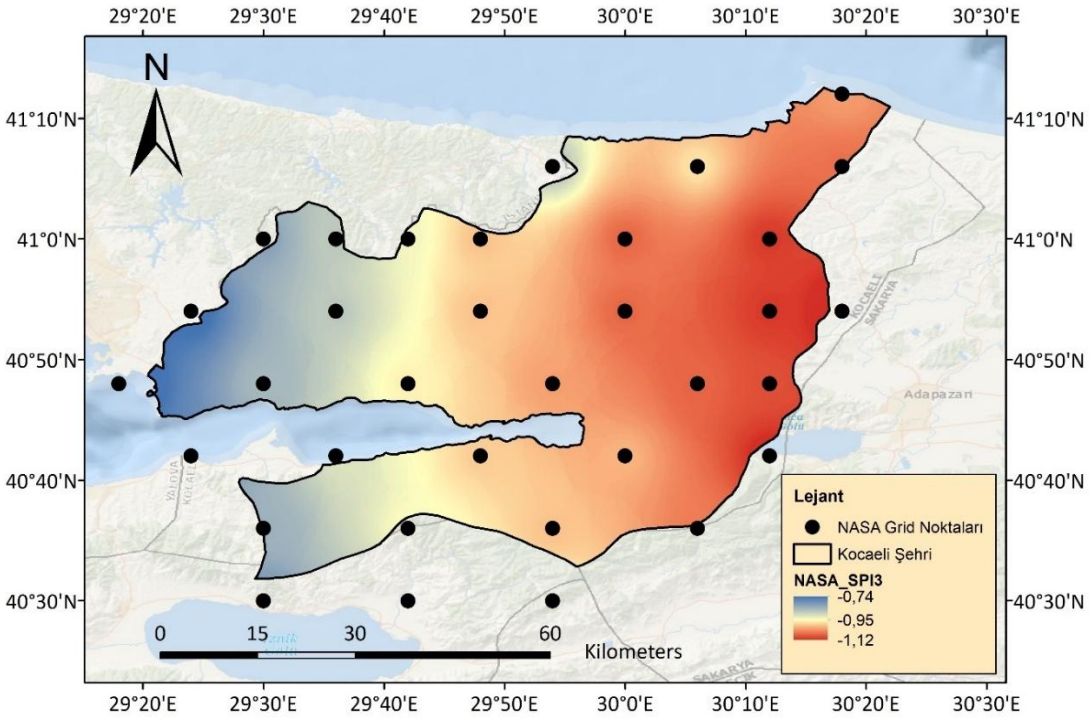
Şekil C.1 Kocaeli MGM gözlem istasyonu için SPI 3 2023 Ocak ayına ait kuraklık haritası



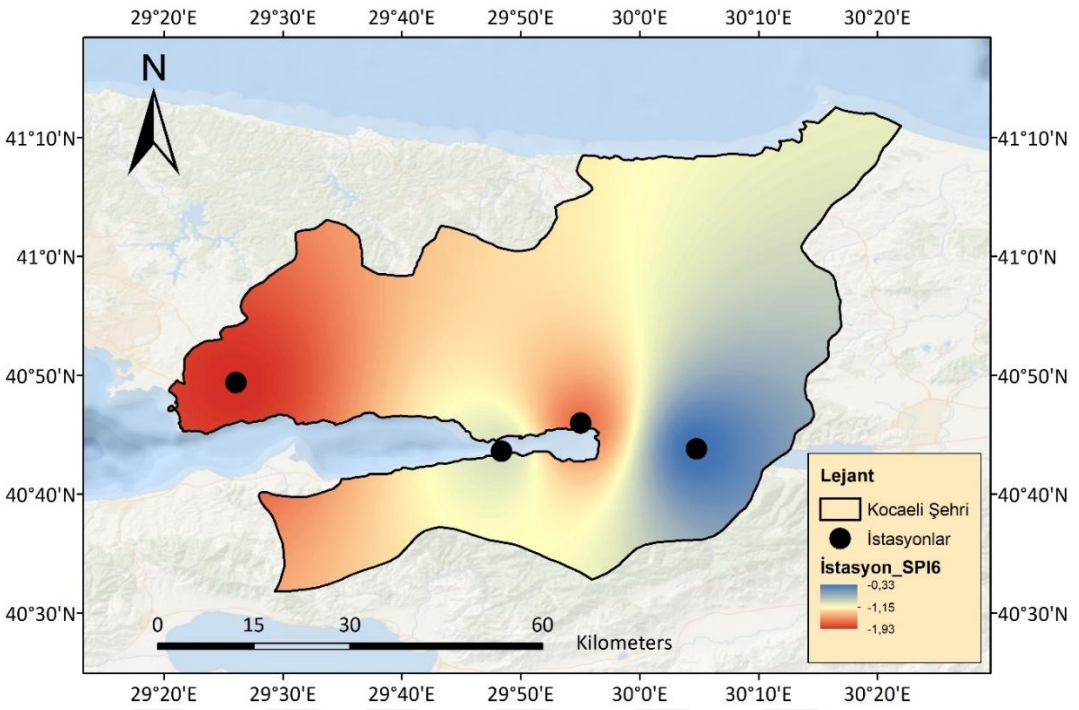
Şekil C.2 ERA 5 grid noktaları için SPI 3 2023 Ocak ayına ait kuraklık haritası



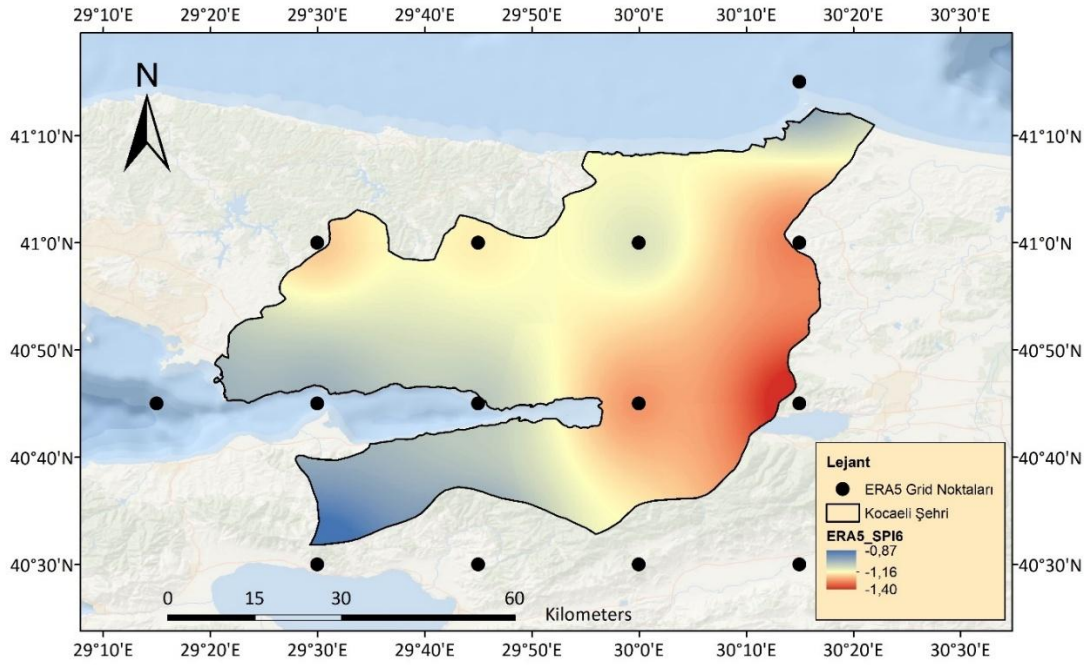
Şekil C.3 ERA 5-Land grid noktaları için SPI 3 2023 Ocak ayına ait kuraklık haritası



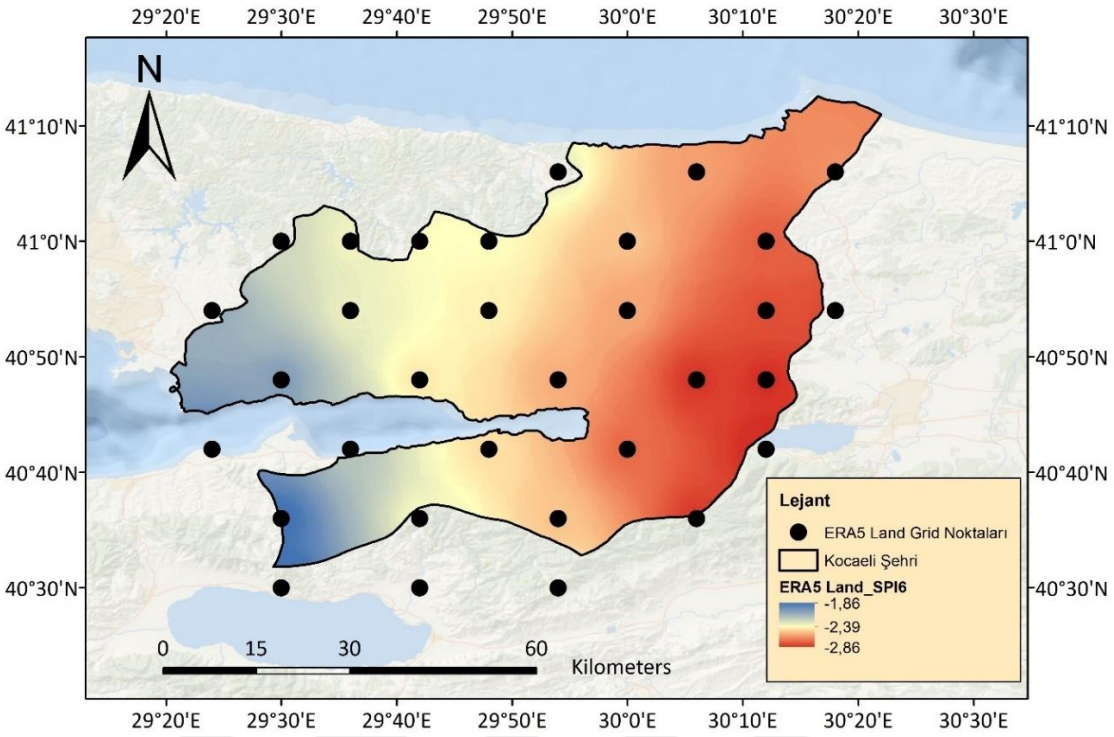
Şekil C.4 IMERG NASA grid noktaları için SPI 3 2023 Ocak ayına ait kuraklık haritası



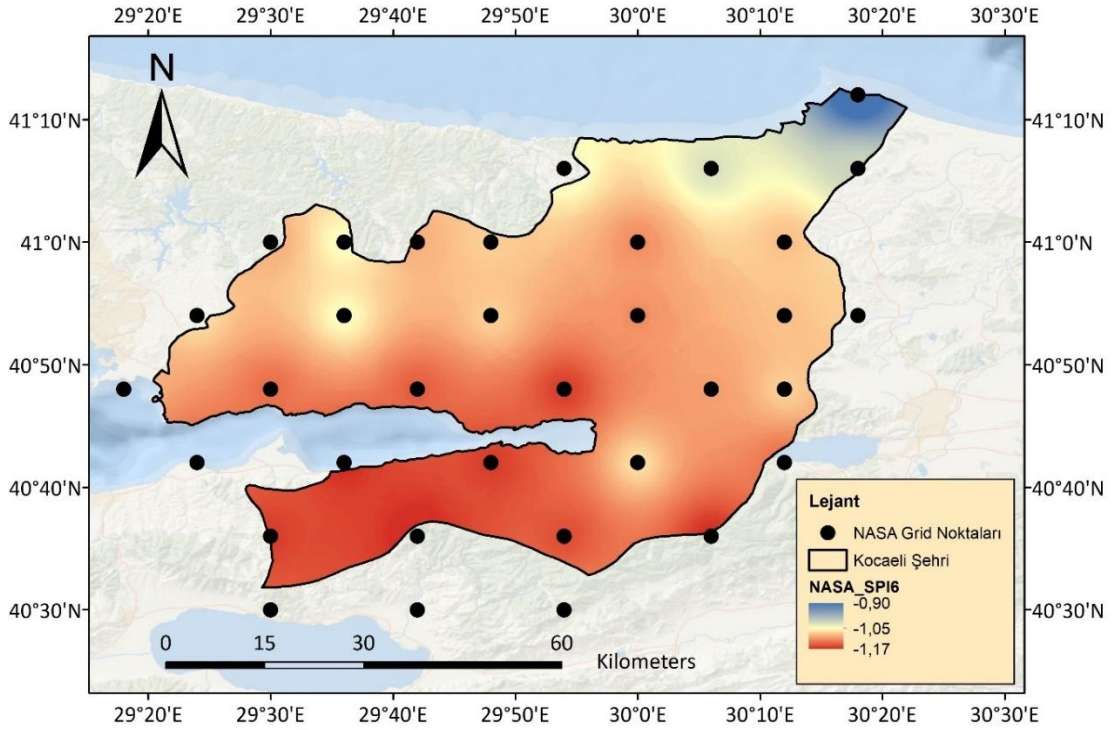
Şekil C.5 Kocaeli MGM gözlem istasyonu için SPI 6 2023 Ocak ayına ait kuraklık haritası



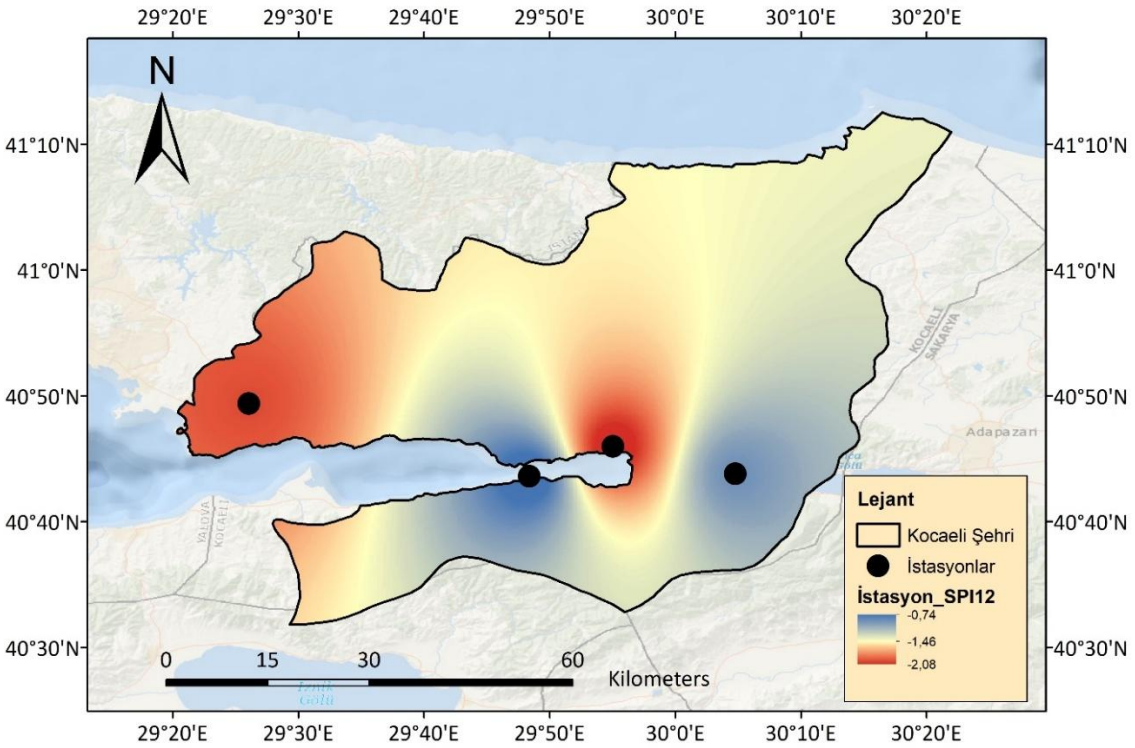
Şekil C.6 ERA 5 grid noktaları için SPI 6 2023 Ocak ayına ait kuraklık haritası



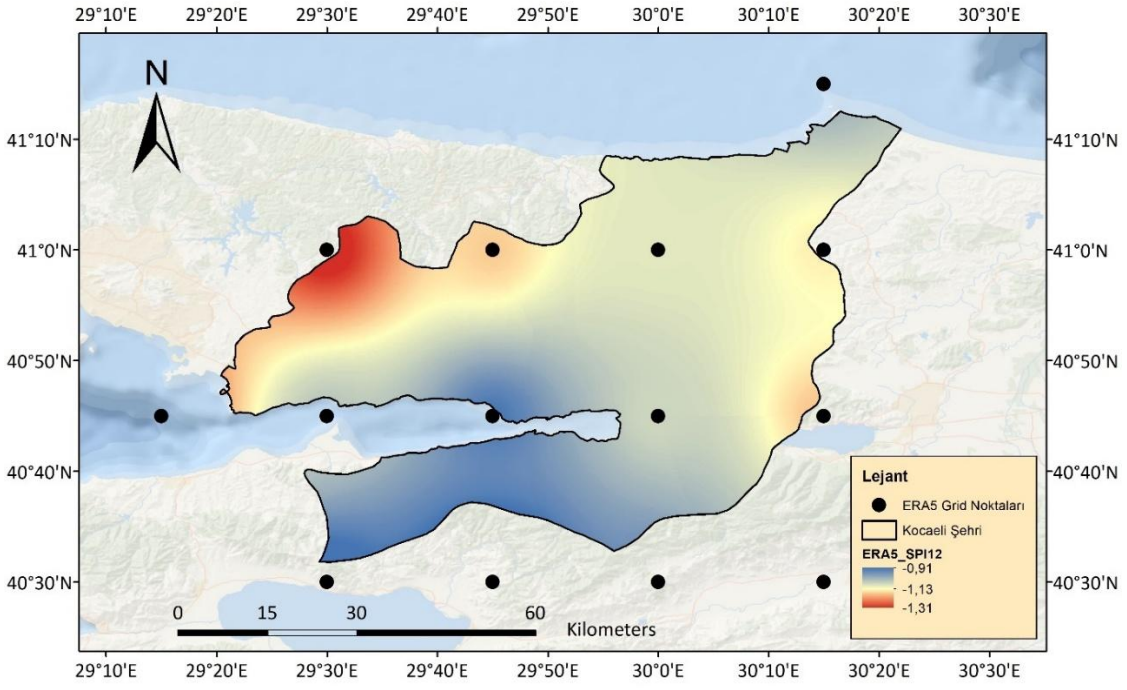
Şekil C.7 ERA 5-Land grid noktaları için SPI 6 2023 Ocak ayına ait kuraklık haritası



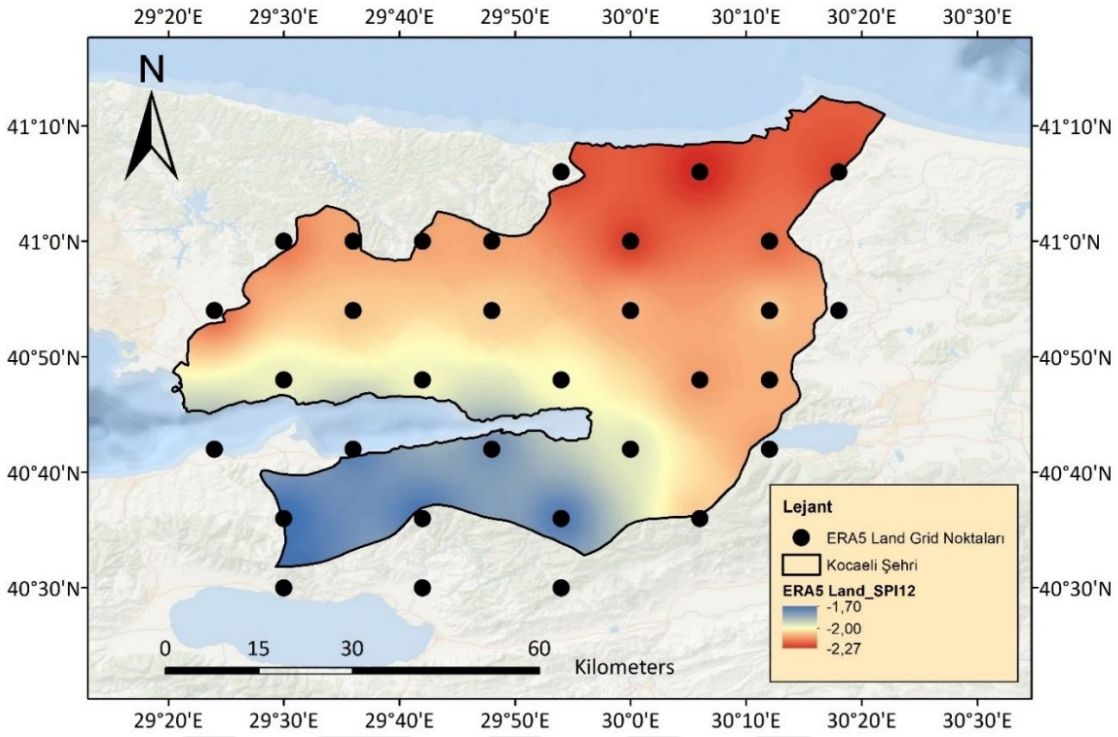
Şekil C.8 IMERG NASA grid noktaları için SPI 6 2023 Ocak ayına ait kuraklık haritası



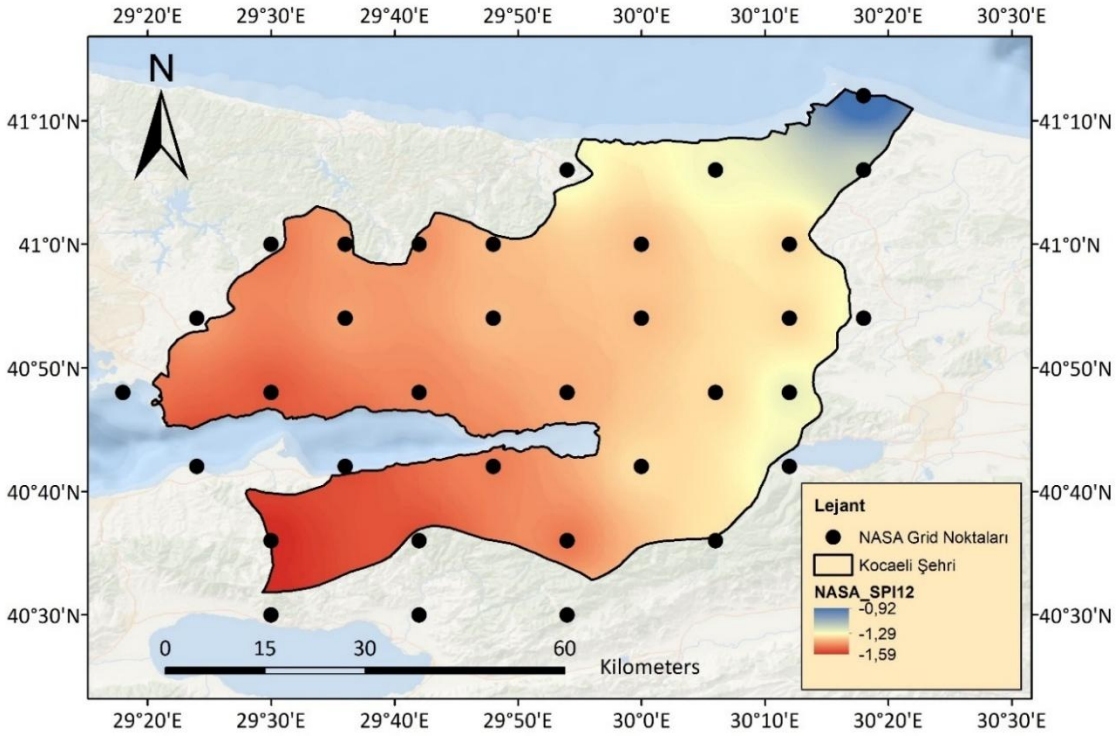
Şekil C.9 Kocaeli MGM gözlem istasyonu için SPI 12 2023 Ocak ayına ait kuraklık haritası



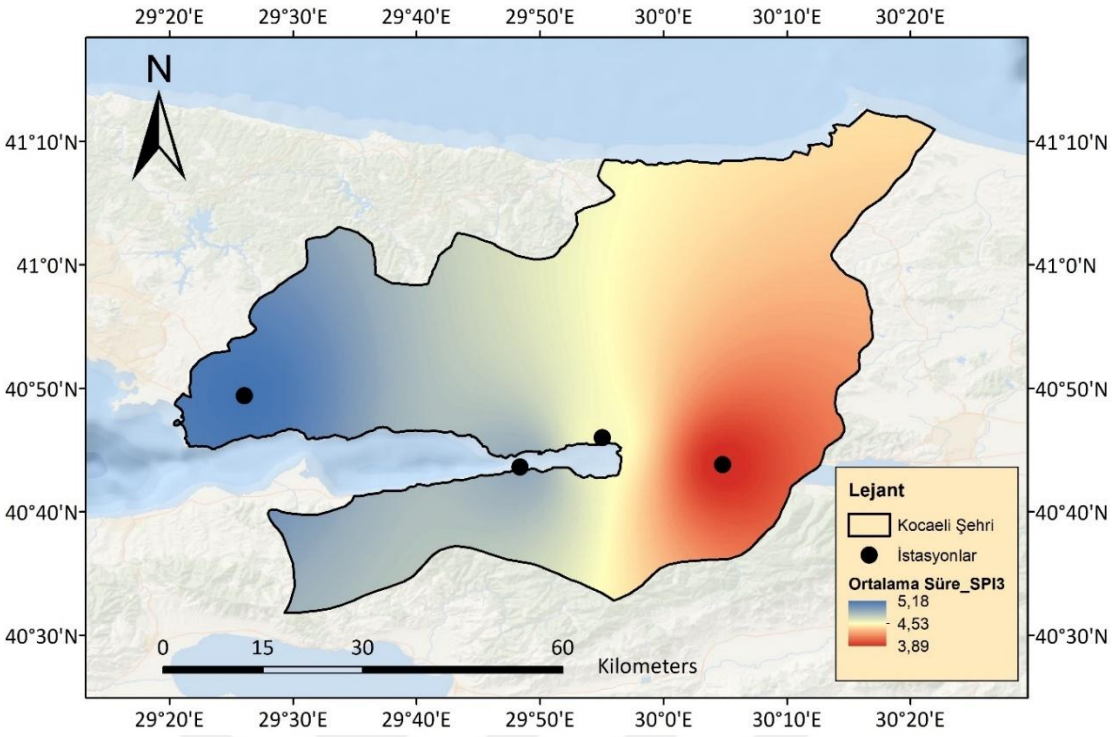
Şekil C.10 ERA 5 grid noktaları için SPI 12 2023 Ocak ayına ait kuraklık haritası



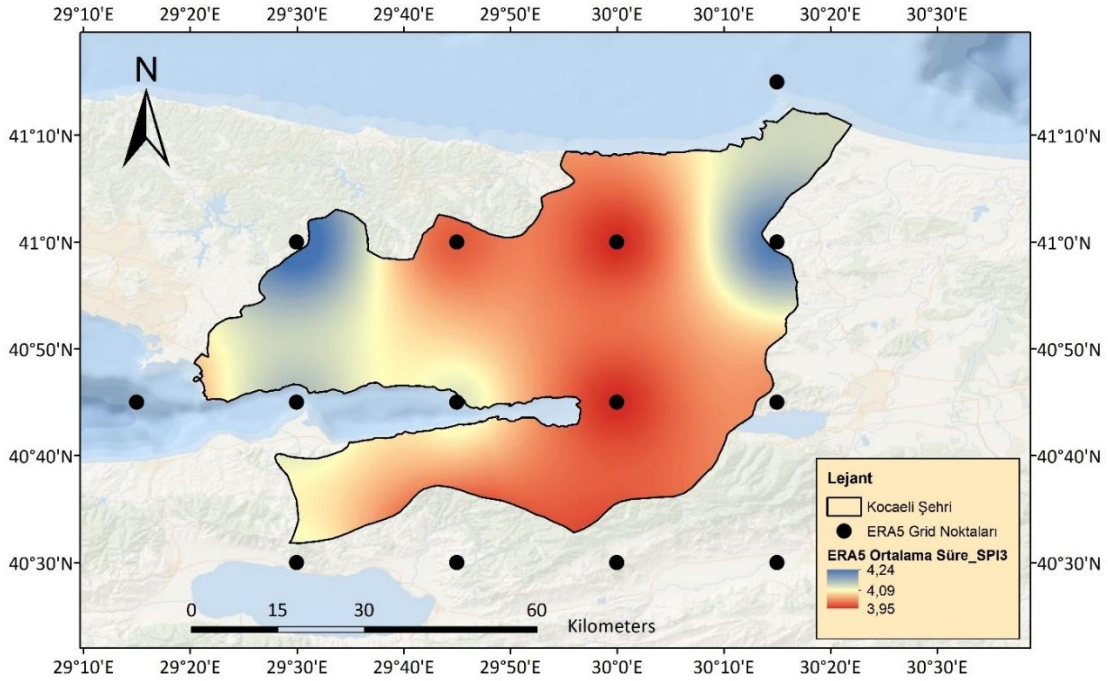
Şekil C.11 ERA 5-Land grid noktaları için SPI 12 2023 Ocak ayına ait kuraklık haritası



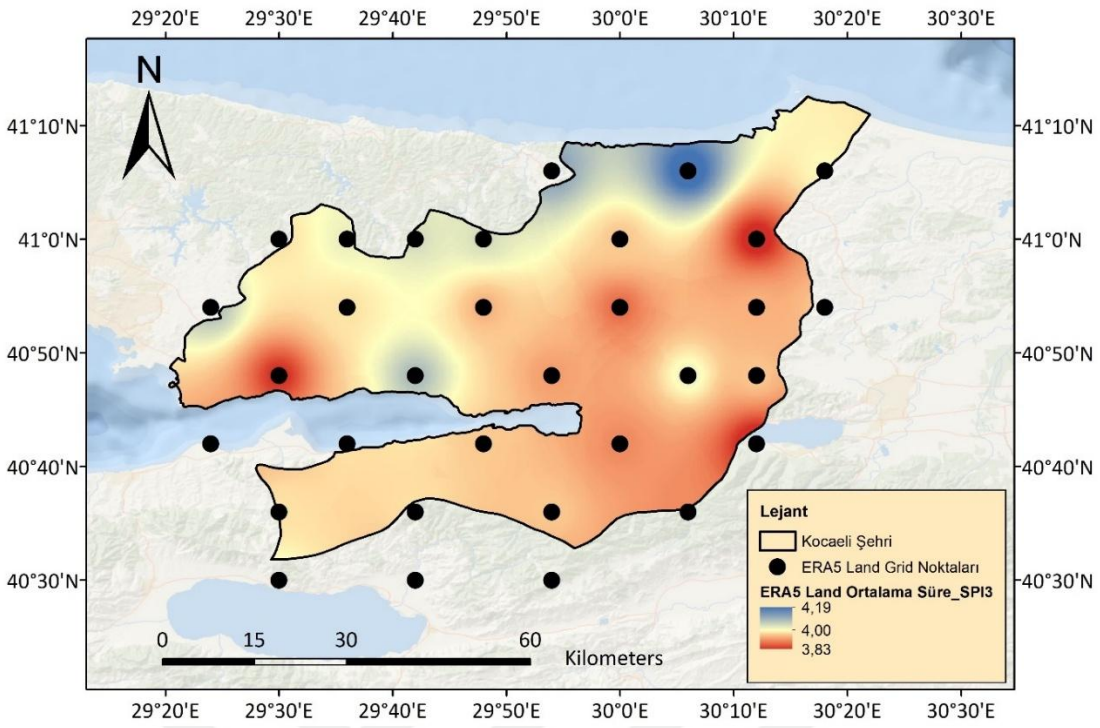
Şekil C.12 IMERG NASA grid noktaları için SPI 12 2023 Ocak ayına ait kuraklık haritası



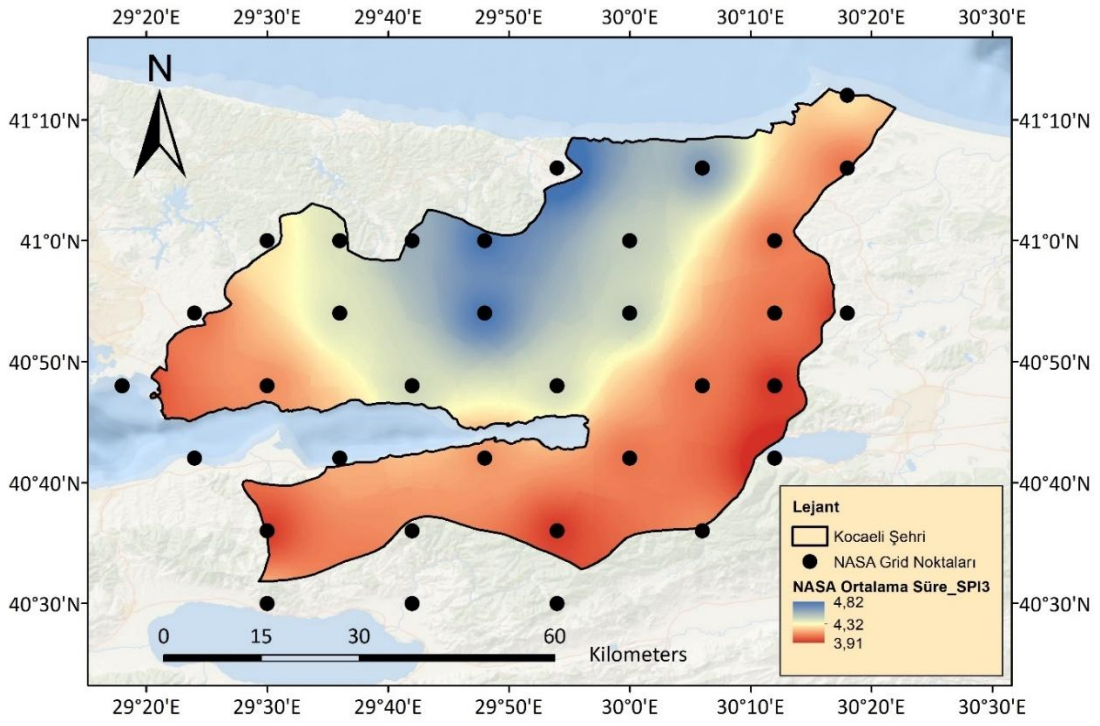
Şekil C.13 Kocaeli MGM gözlem istasyonu için SPI 3 Kocaeli ortalama kuraklık süresi haritası



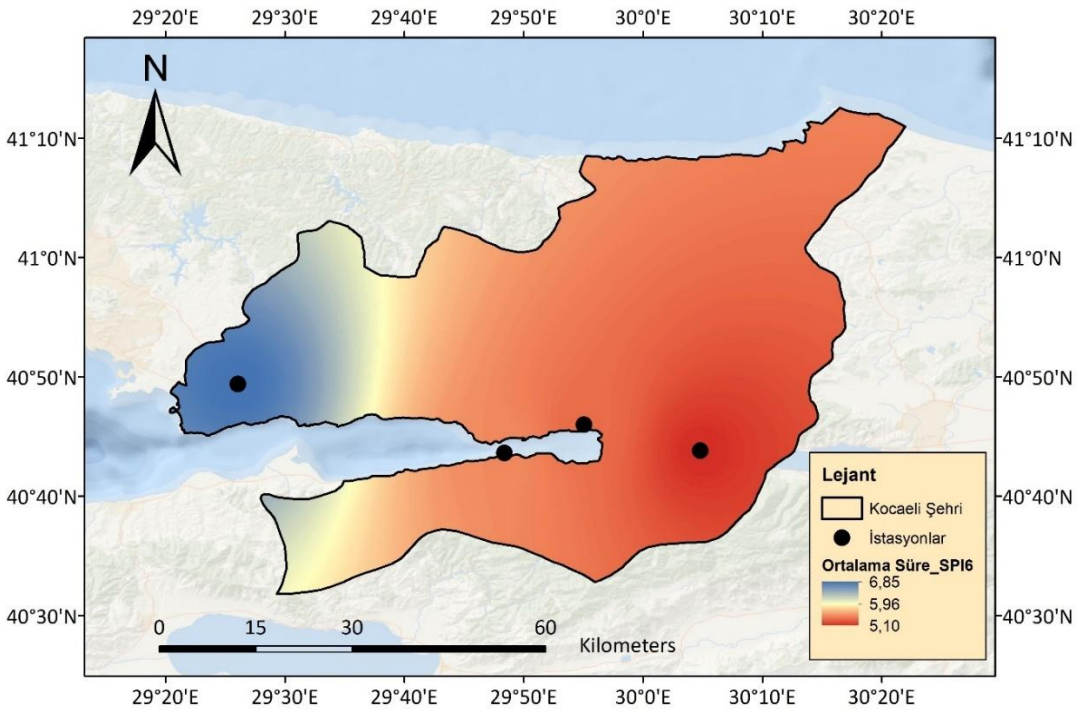
Şekil C.14 ERA 5 grid noktaları için SPI 3 Kocaeli ortalama kuraklık süresi haritası



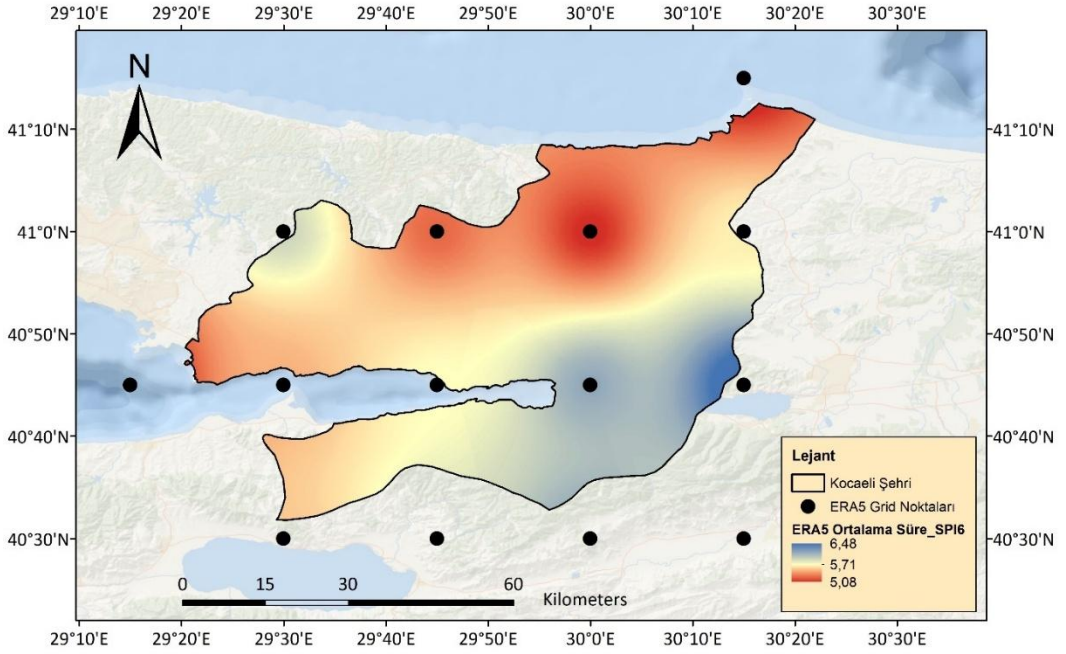
Şekil C.15 ERA 5-Land grid noktaları için SPI 3 Kocaeli ortalama kuraklık süresi haritası



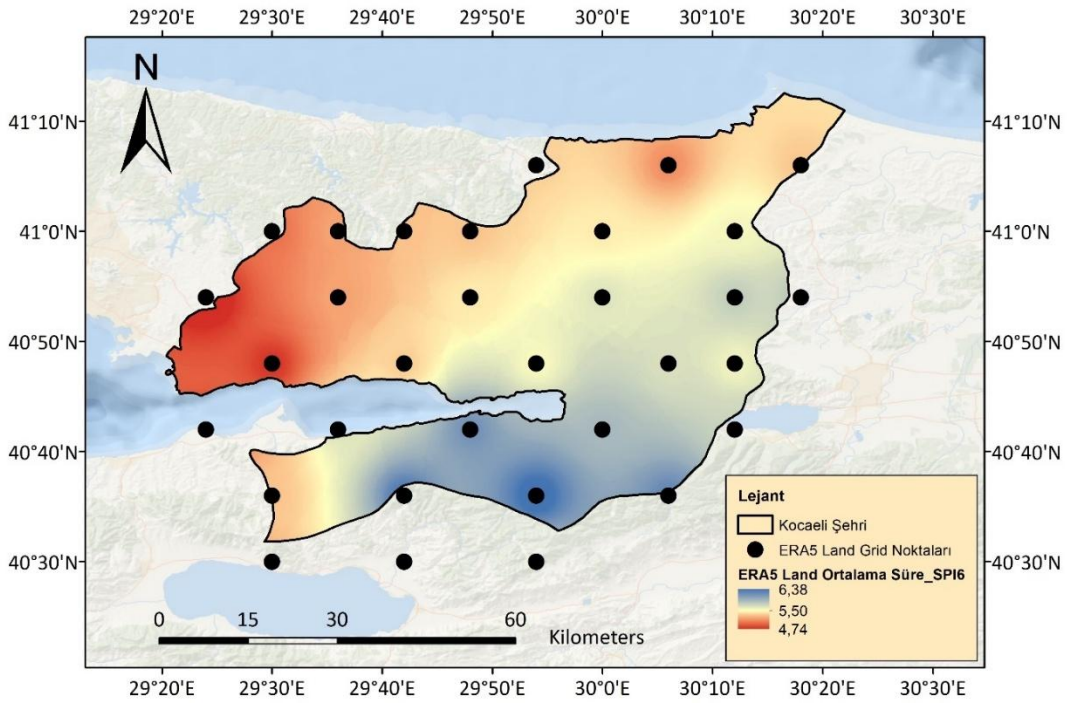
Şekil C.16 IMERG NASA grid noktaları için SPI 3 Kocaeli ortalama kuraklık süresi haritası



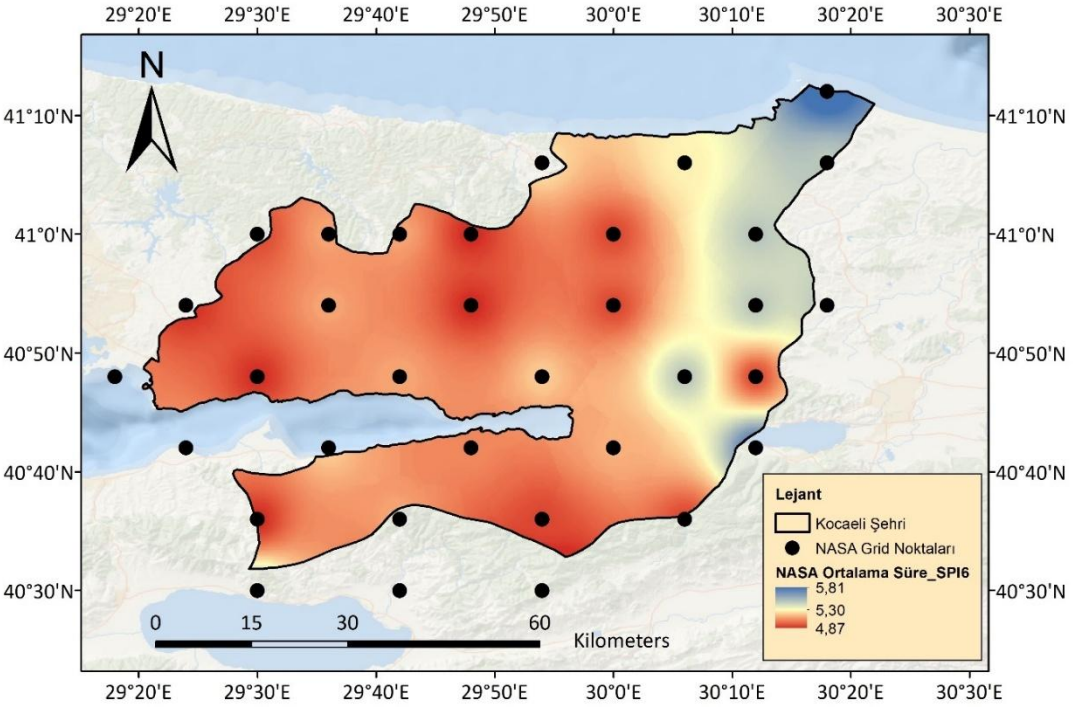
Şekil C.17 Kocaeli MGM gözlem istasyonu için SPI 6 Kocaeli ortalama kuraklık süresi haritası



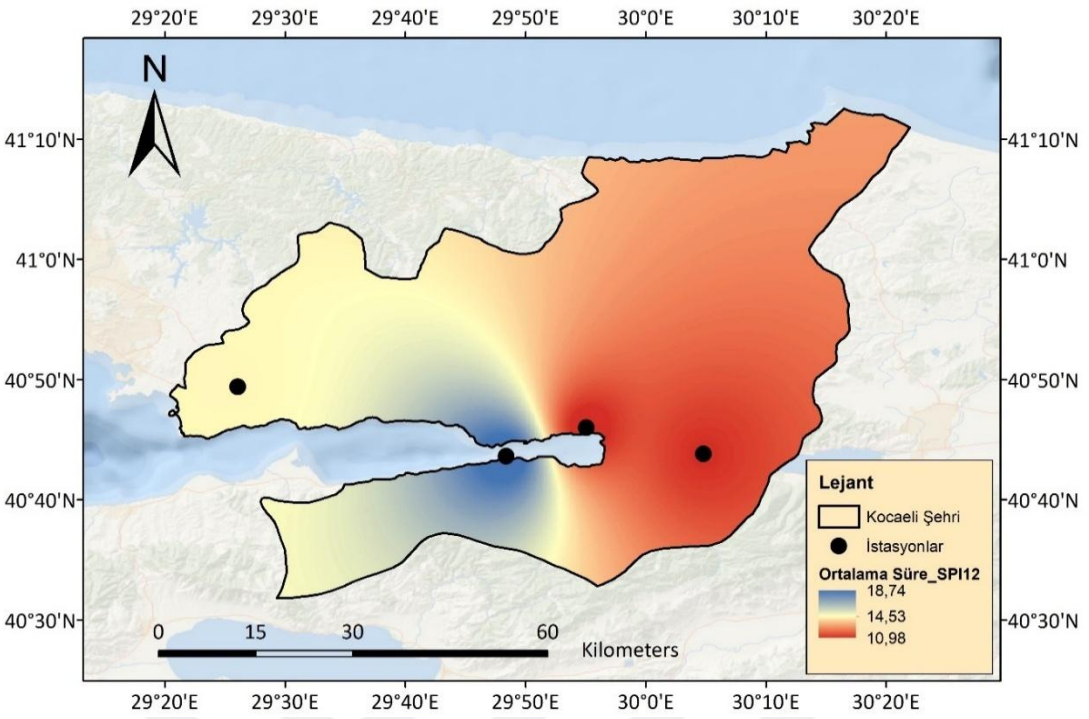
Şekil C.18 ERA 5 grid noktaları için SPI 6 Kocaeli ortalama kuraklık süresi haritası



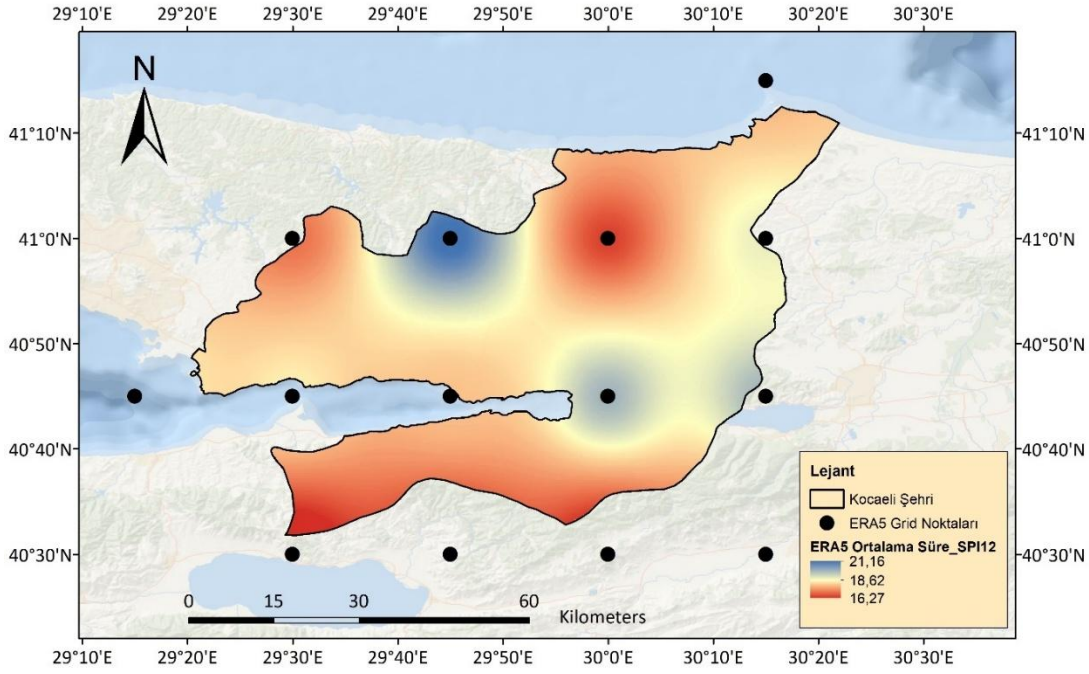
Şekil C.19 ERA 5-Land grid noktaları için SPI 6 Kocaeli ortalama kuraklık süresi haritası



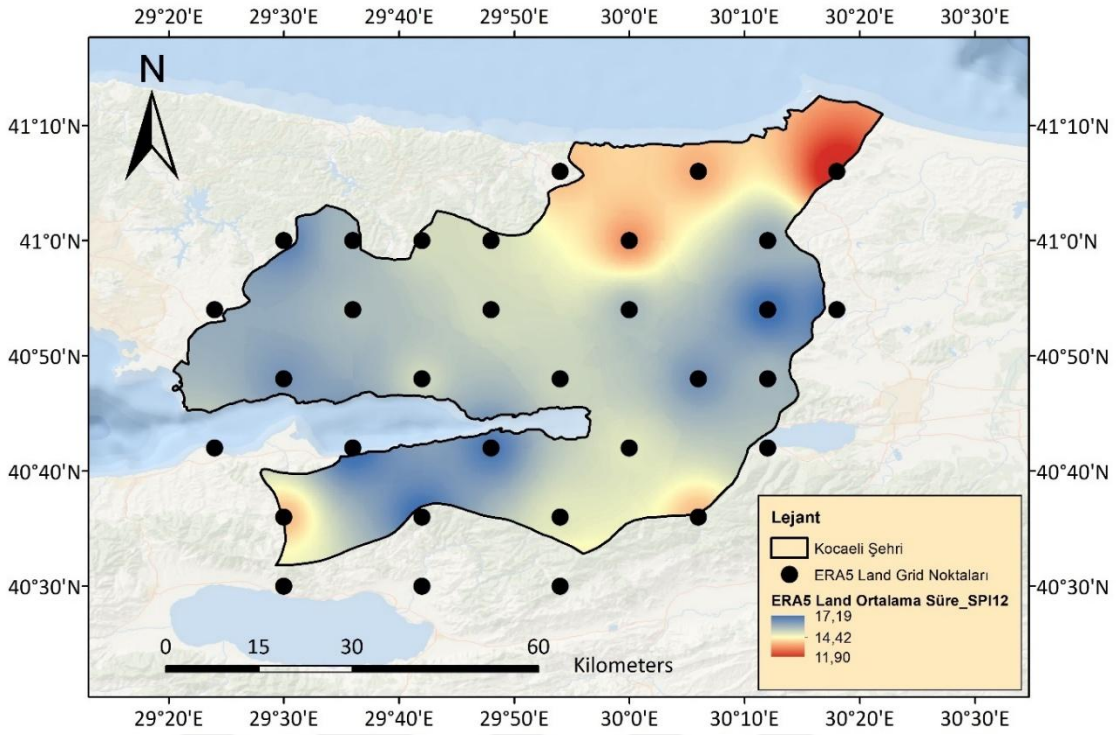
Şekil C.20 IMERG NASA grid noktaları için SPI 6 Kocaeli ortalama kuraklık süresi haritası



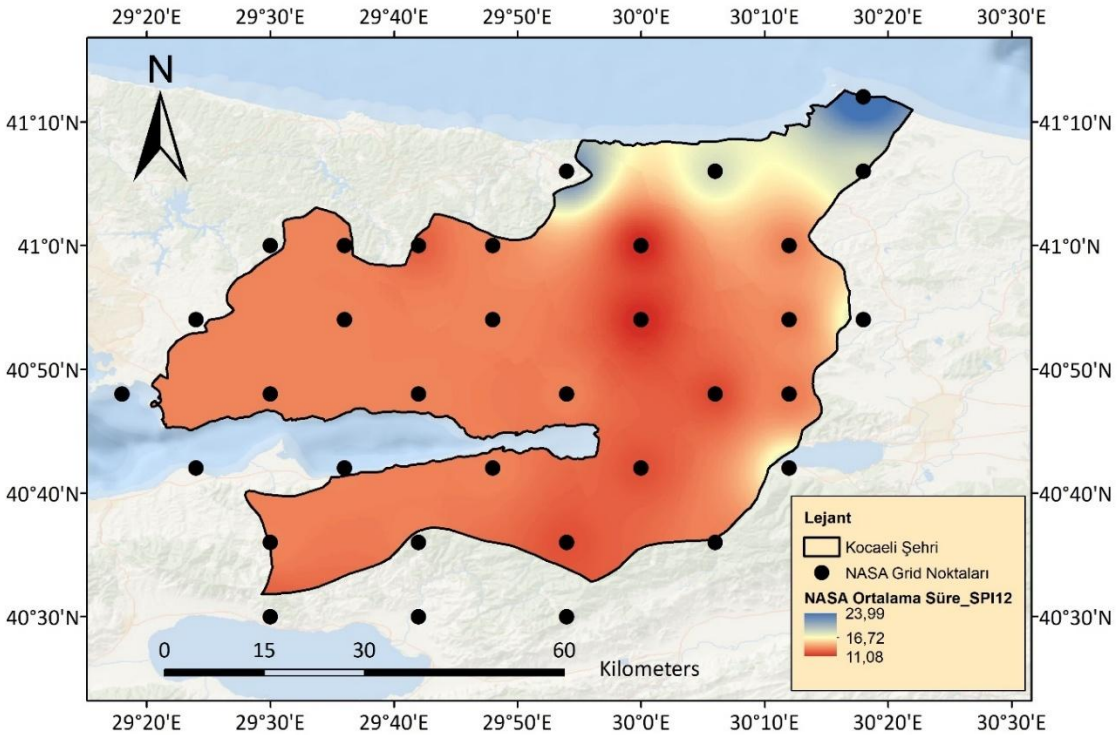
Şekil C.21 Kocaeli MGM gözlem istasyon için SPI 12 Kocaeli ortalama kuraklık süresi haritası



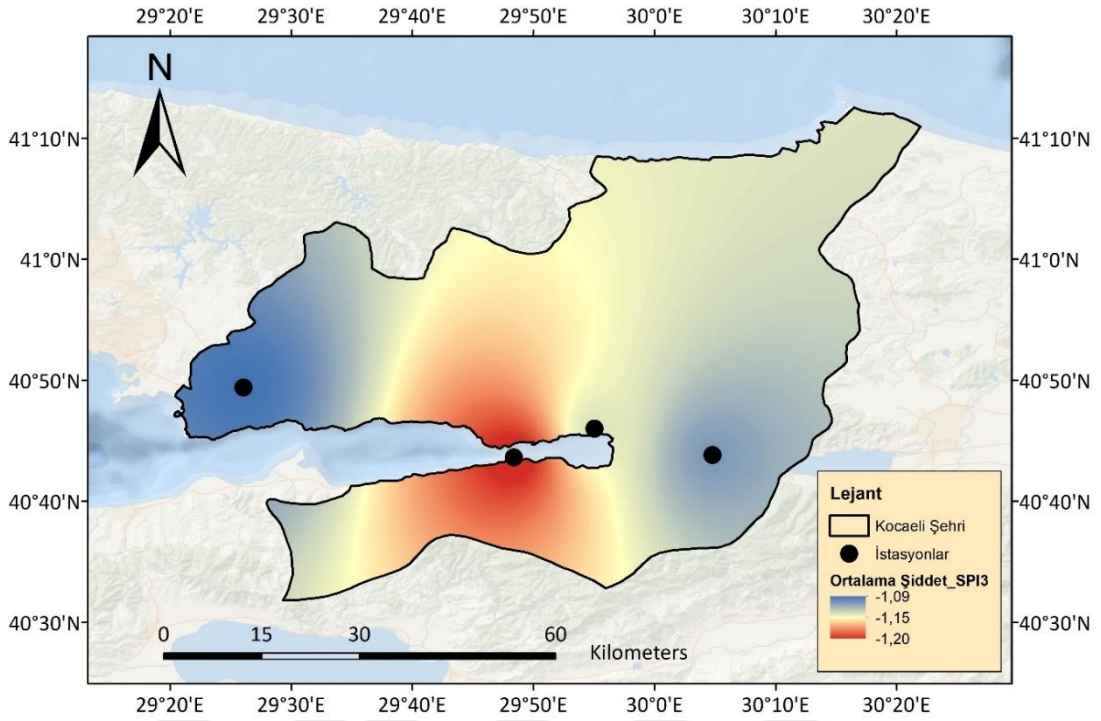
Şekil C.22 ERA 5 grid noktaları için SPI 12 Kocaeli ortalama kuraklık süresi haritası



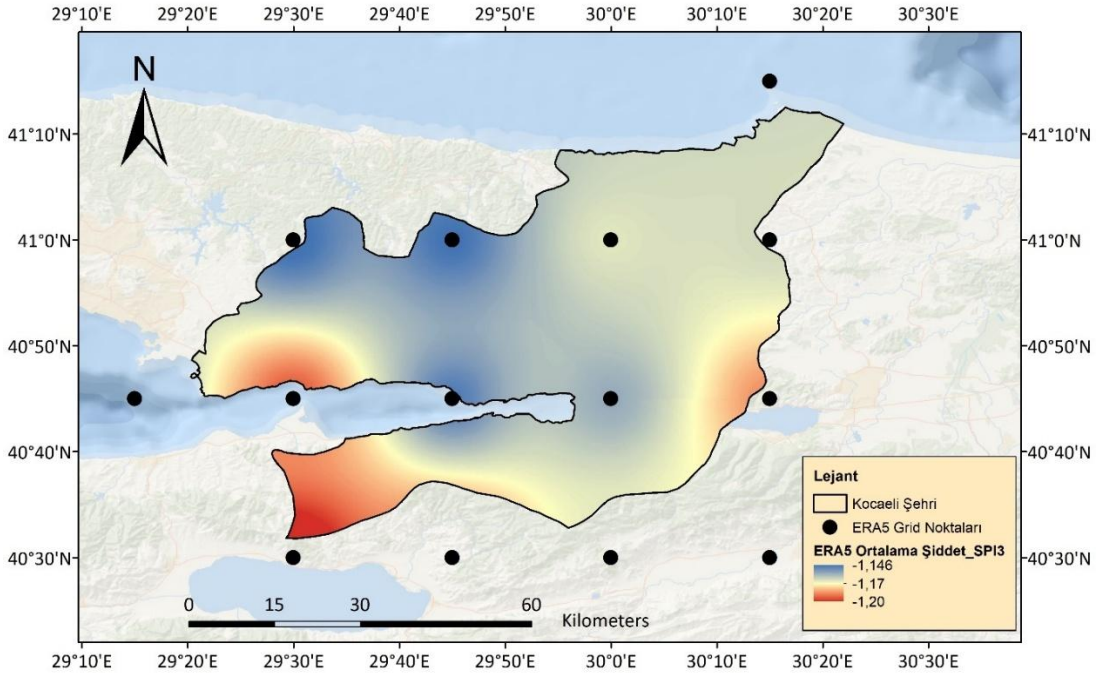
Şekil C.23 ERA 5-Land grid noktaları için SPI 12 Kocaeli ortalama kuraklık süresi haritası



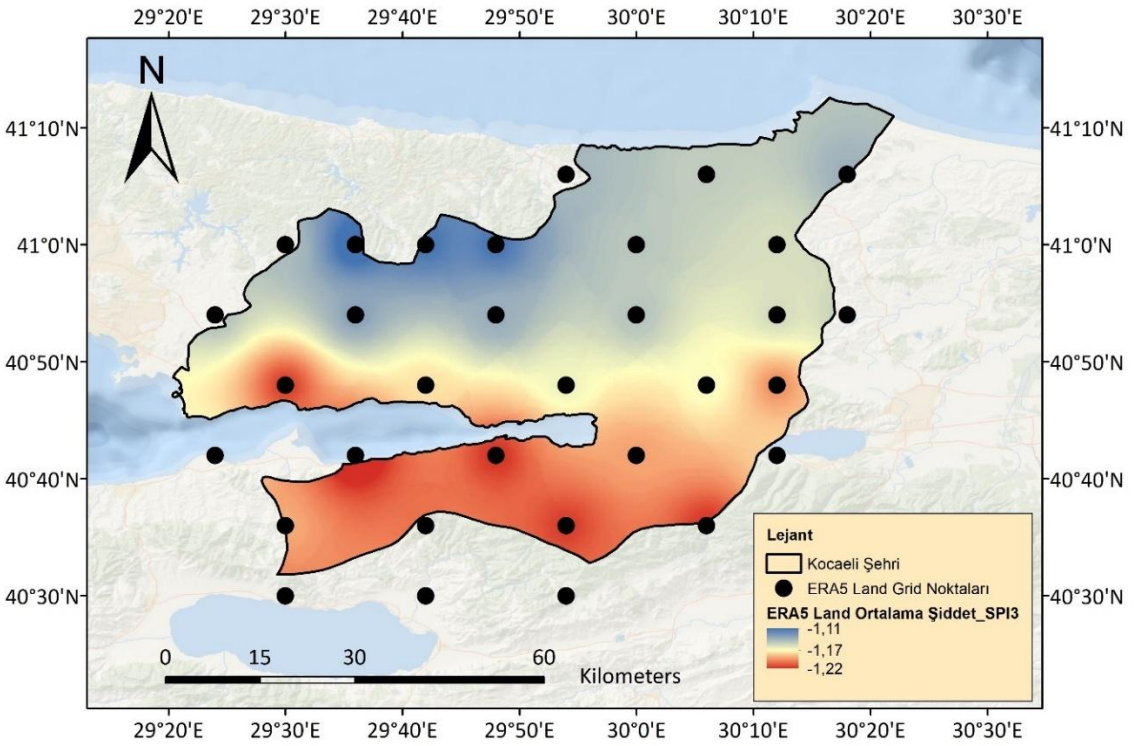
Şekil C.24 IMERG NASA grid noktaları için SPI 12 Kocaeli ortalama kuraklık süresi haritası



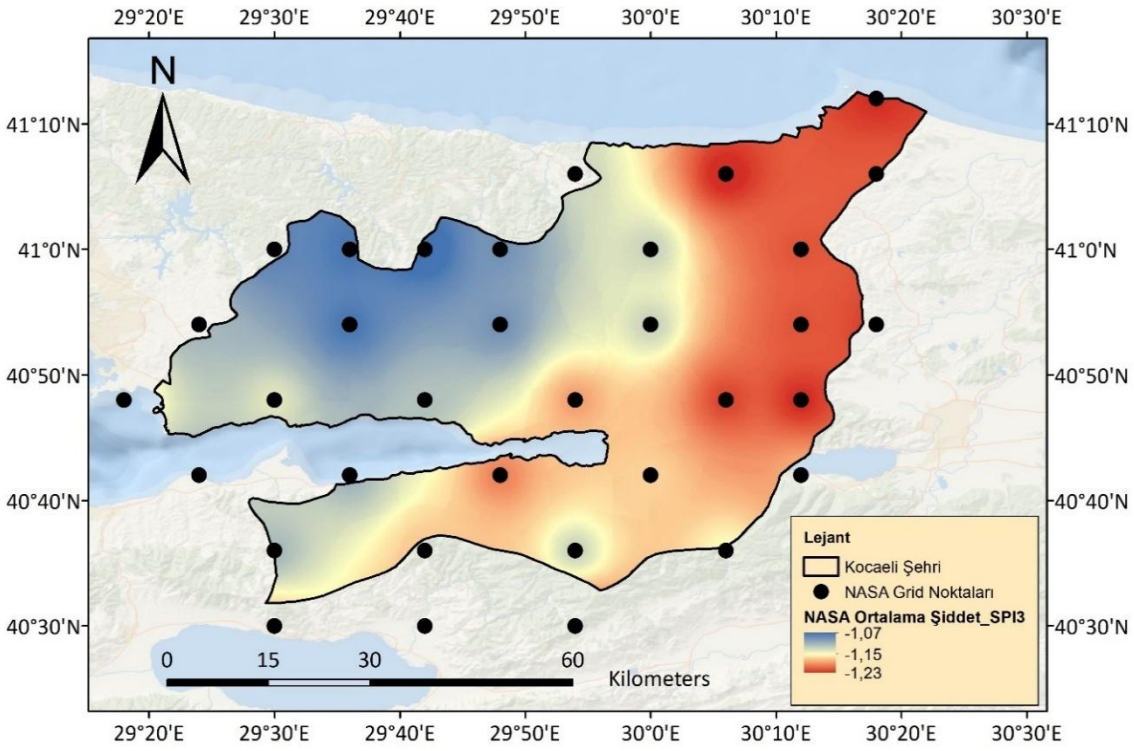
Şekil C.25 Kocaeli MGM gözlem istasyonu için SPI 3 Kocaeli ortalama kuraklık şiddeti haritası



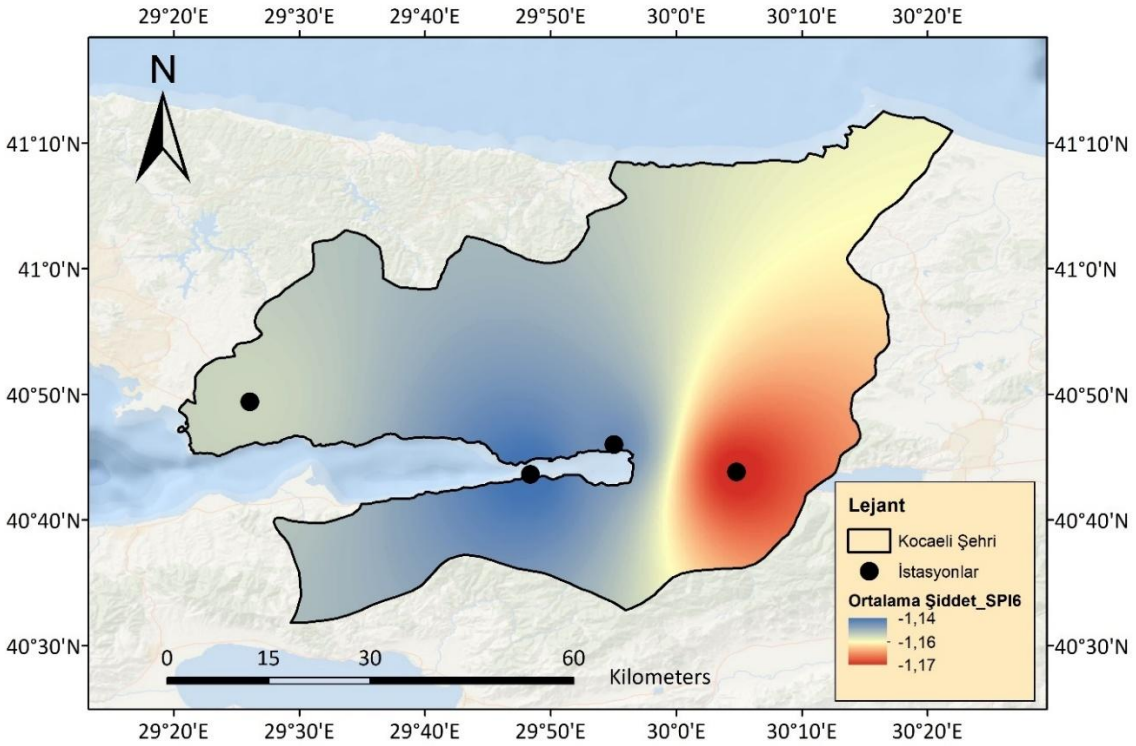
Şekil C.26 ERA 5 grid noktaları için SPI 3 Kocaeli ortalama kuraklık şiddeti haritası



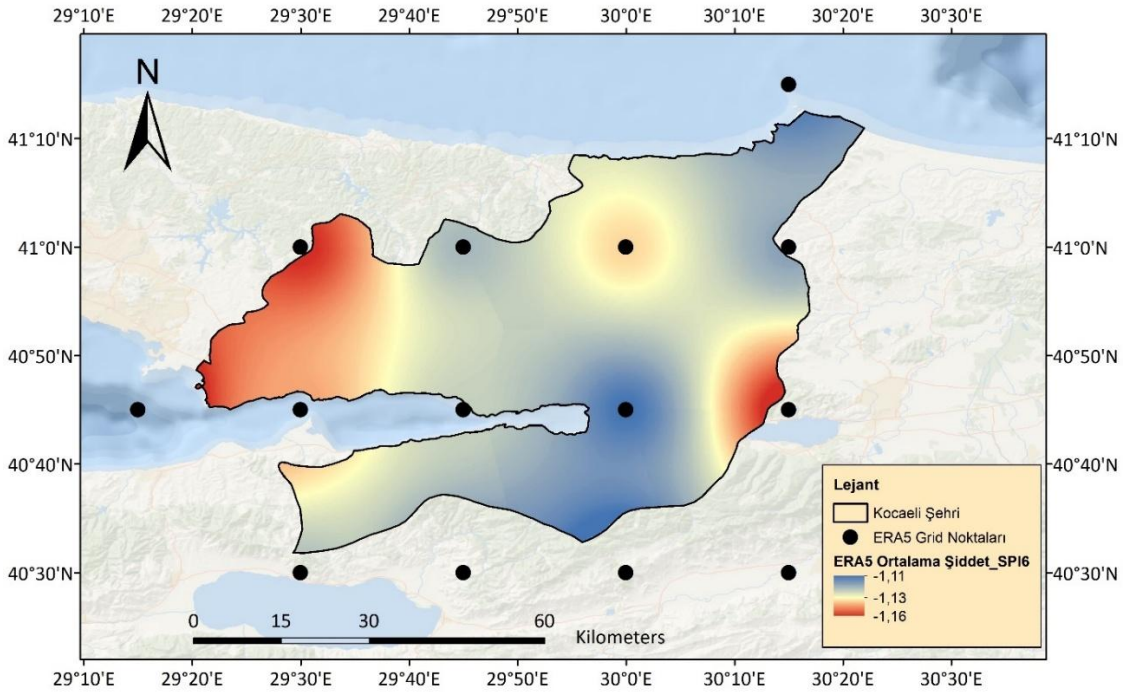
Şekil C.27 ERA 5-Land grid noktaları için SPI 3 Kocaeli ortalama kuraklık şiddeti haritası



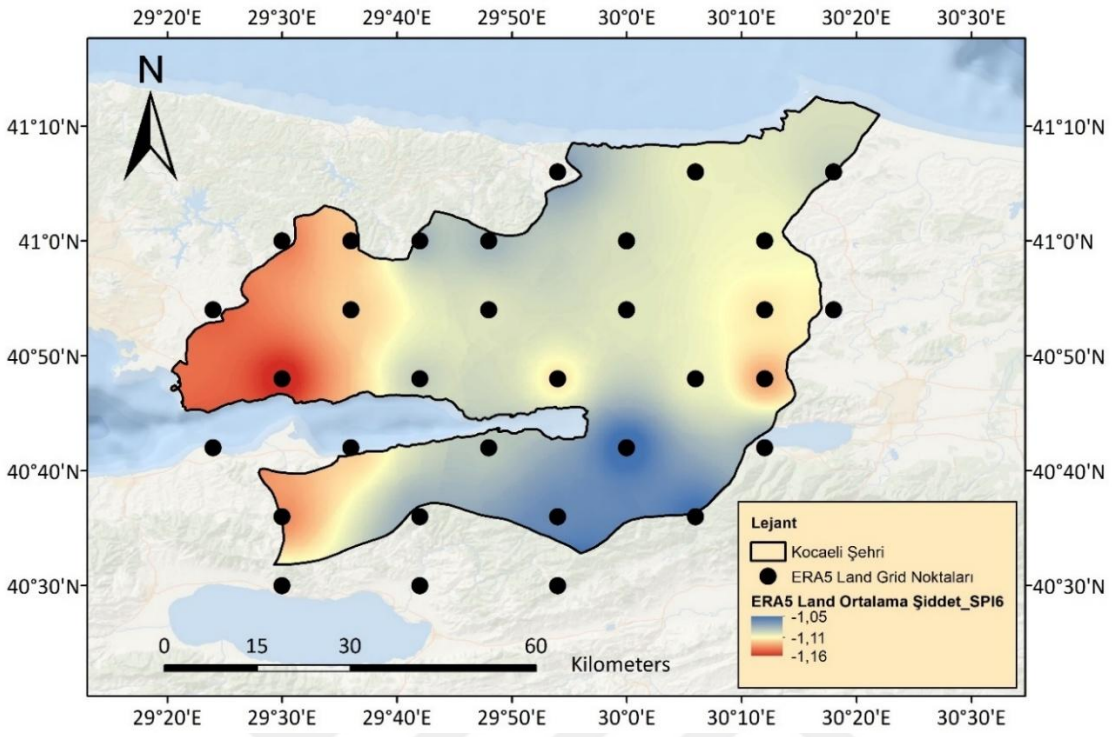
Şekil C.28 IMERG NASA grid noktaları için SPI 3 Kocaeli ortalama kuraklık şiddeti haritası



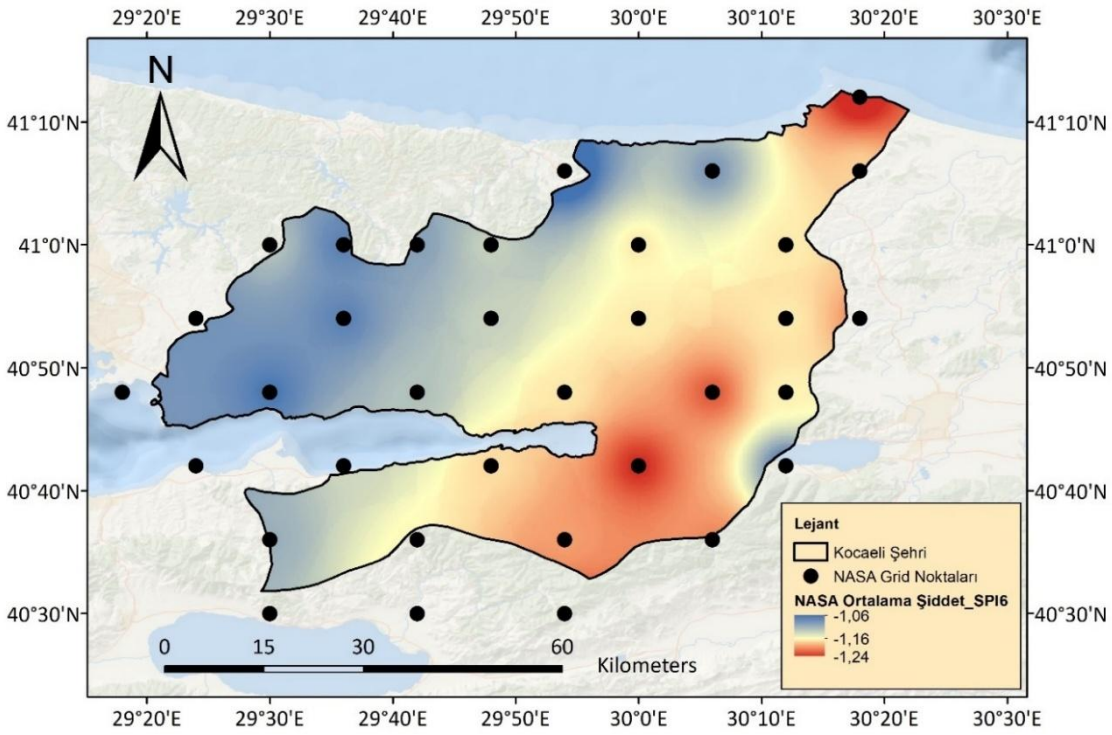
Şekil C.29 Kocaeli MGM gözlem istasyonu için SPI 6 Kocaeli ortalama kuraklık şiddeti haritası



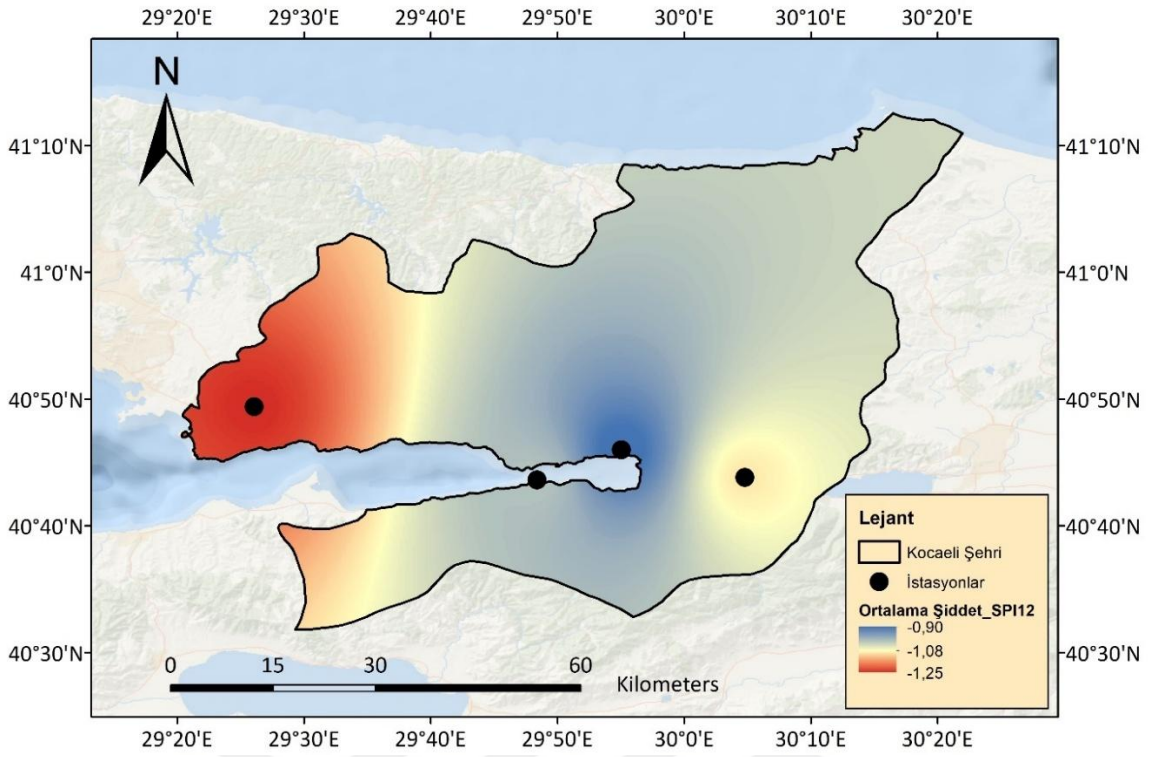
Şekil C.30 ERA 5 grid noktaları için SPI 6 Kocaeli ortalama kuraklık şiddeti haritası



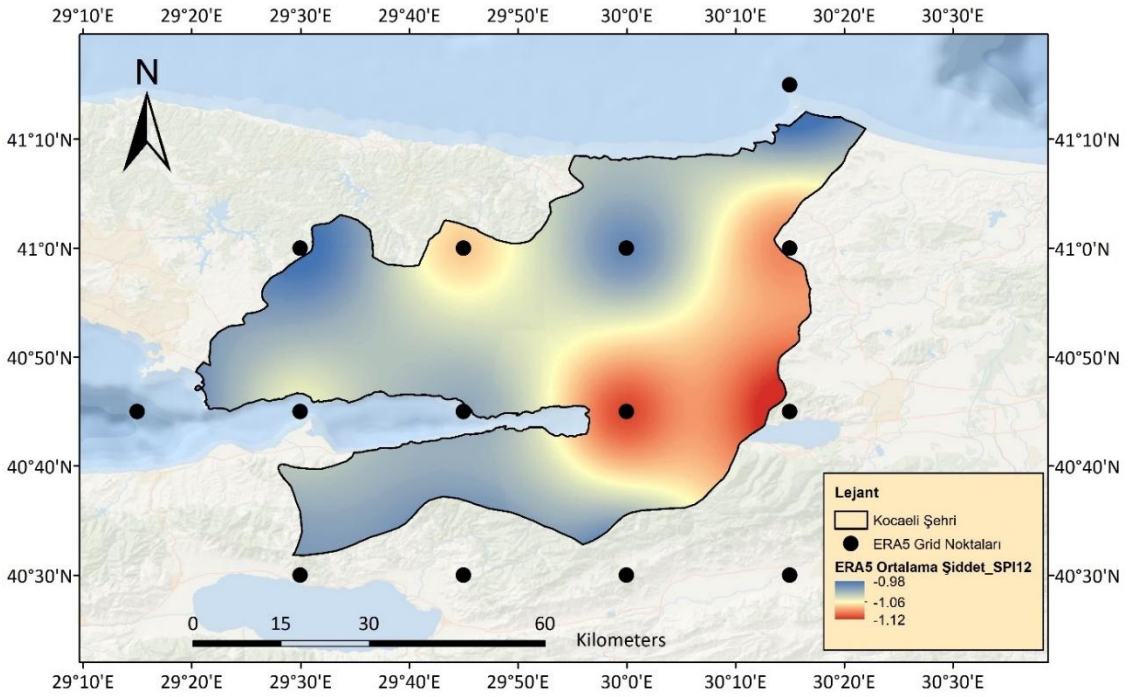
Şekil C.31 ERA 5-Land grid noktaları için SPI 6 Kocaeli ortalama kuraklık şiddeti haritası



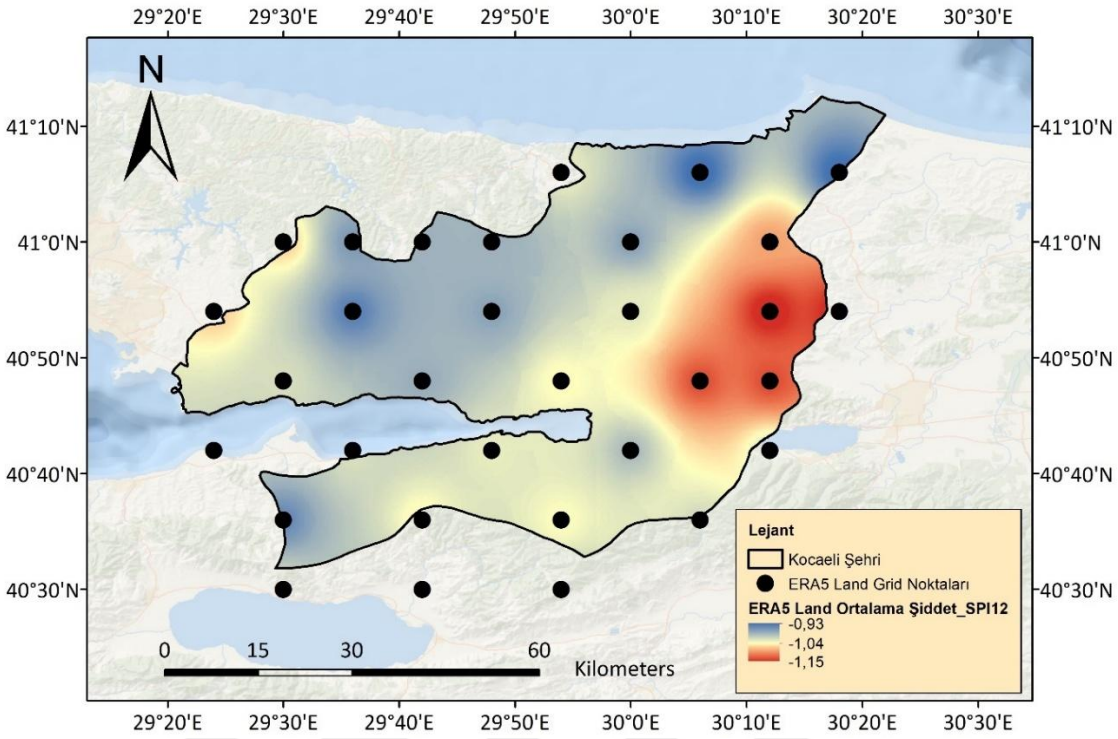
Şekil C.32 IMERG NASA grid noktaları için SPI 6 Kocaeli ortalama kuraklık şiddeti haritası



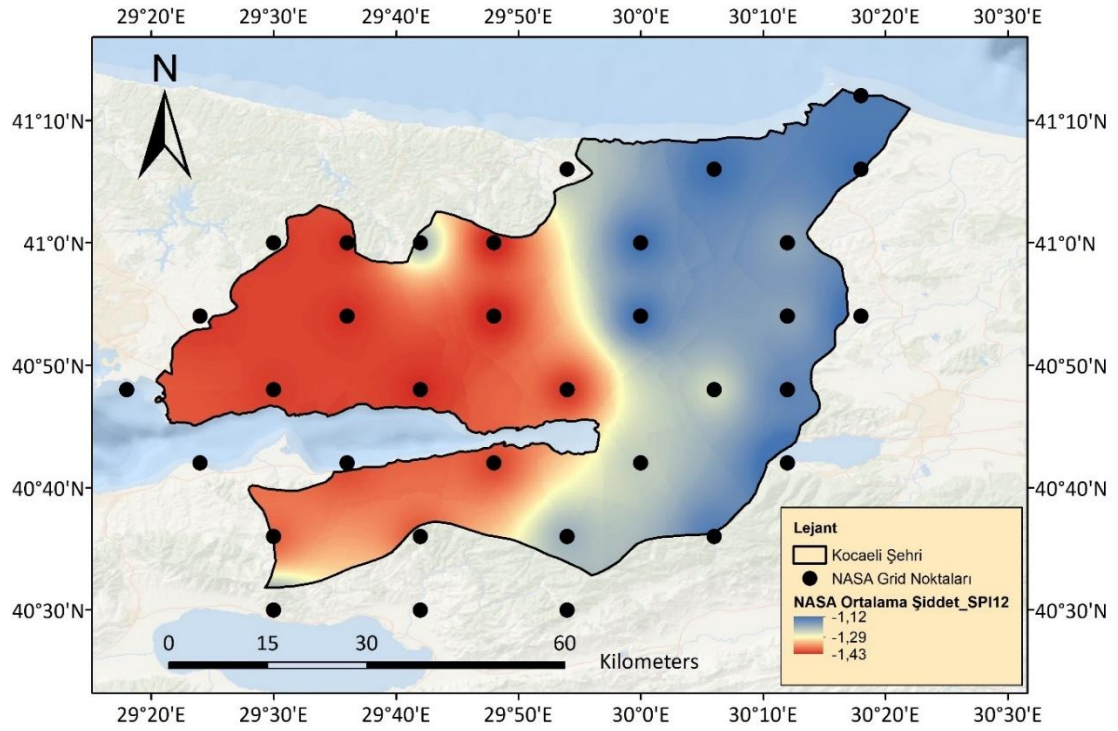
Şekil C.33 Kocaeli MGM gözlem istasyonu için SPI 12 Kocaeli ortalama kuraklık şiddeti haritası



Şekil C.34 ERA 5 grid noktaları için SPI 12 Kocaeli ortalama kuraklık şiddeti haritası



Şekil C.35 ERA 5-Land grid noktaları için SPI 2 Kocaeli ortalama kuraklık şiddeti haritası



Şekil C.36 IMERG NASA grid noktaları için SPI 12 Kocaeli ortalama kuraklık şiddeti haritası

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Öğsüz, E. ve Şişman, E. (2023). *Drought Analysis Research with Meteorological Indices: The Case of Kocaeli.* Ulugh Beg International Congress of Science and Engineering Knowledge, Tashkent-Uzbekistan, 22-23 May 2023.

2. Öğsüz, E., Abu Arra, A. ve Şişman, E. (2025). *Evaluating Reanalysis Data for Drought Assessment: A case study of Kocaeli.* 11th International European Conference on Interdisciplinary Scientific Research, Lisbon, Portugal, 20-22 January 2025.

3. Öğsüz, E., Abu Arra, A., Birpınar, M. E., Gazioğlu, A. ve Şişman, E. (2025). *Evaluating Optimal Temporal Periods for City-based Drought Analysis: Validating WMO's Year Period and Exploring Acceptable Time Period.* 11th International European Conference on Interdisciplinary Scientific Research, Lisbon, Portugal, 20-22 January 2025.