

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**BEYŞEHİR GÖLÜ HAVZASINDA YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK
KURAKLIK TAHMİNİ VE YÖNETİMİ**

Tülay AKKURT EROĞLUER

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

**ANKARA
2022**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

BEYŞEHİR GÖLÜ HAVZASINDA YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK KURAKLIK TAHMİNİ VE YÖNETİMİ

Tülay AKKURT EROĞLUER

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Halit APAYDIN

Kuraklık, tüm canlıların yaşamını etkileyen ve etkileri yaşandığı dönemden sonrasında da devam edebilen, planlı ve sürdürülebilir önlemler gerektiren, sürecin yavaş gerçekleşmesi nedeniyle sosyolojik açıdan sessiz yaşanan ve ciddi riskler içeren bir tabiat olayı ve kamusal bir sorundur. Bu çalışmada; Beyşehir Gölü Havzasının mevcut ve gelecekte karşılaşılabileceği kuraklığı belirlemek amacıyla, Seydişehir ve Beyşehir meteoroloji gözlem istasyonları ile Şarkikaraağaç, Soğuksu-Yeşil dağ, Suğla ve Beyşehir Gölü regülatör çıkış akım istasyonlarından elde edilen verilerden faydalanılmıştır. Bu istasyonlarda ölçülen veriler kullanılarak, yapay sinir ağı algoritması olan Neural Prophet (NP) ve Facebook Prophet (FP) modelleri ile gelecek 25 yıl için veri tahmini yapılmıştır. Tahmin edilen veriler ve geçmişte ölçülen veriler ile SPI, RDI ve SDI kuraklık indeksleri hesaplanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, NP ve FP model verileri ile hesaplanan kuraklık indeksleri tüm istasyonlarda 3, 6, 9 ve 12 aylık periyotlar için benzer şekilde giderek artan bir kuraklık eğilimi göstermiştir. Ölçülmüş verilerle hesaplanan kuraklık indekslerinde kuraklık sınıflarına göre frekans oranları, FP ve NP model verileri kullanılarak belirlenen frekans oranları ile çok yakın ve tutarlı olmuştur. SPI, RDI ve SDI indekslerinin kuraklık sınıflarına göre frekans oranları birbirine yakın düzeyde gerçekleşmiştir. Akım ölçülen istasyonlarda aşırı kurak dönem sayısı, yağış istasyonlarına kıyasla daha düşük bulunmuştur.

Eylül 2022, 122 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kuraklık, SPI, SDI, RDI, YSA, Neural Prophet, Facebook Prophet.

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

DROUGHT FORECASTING AND MANAGEMENT USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN THE BEYSEHIR LAKE BASIN

Tülay AKKURT EROĞLUER

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Agricultural Structures and Irrigation

Supervisor: Prof. Dr. Halit APAYDIN

Drought that affects the life of all living things and every aspect of life and which effects can continue after the experienced period in, requires planned and sustainable measures, is sociologically lived in silence due to the slow process, involves serious risks is a natural event and a public problem. In this study; in order to determine the drought that the Beyşehir Lake Basin may face in the future, the data obtained from the Seydişehir and Beyşehir meteorological observation stations and the Şarkikaraağaç, Soğuksu-Yeşildağ, Suğla and Beyşehir Lake regulator outflow stations were used. Using the data measured at these stations, data predictions for the next 25 years were made with Neural Prophet (NP) and Facebook Prophet (FP) models which is the artificial neural network algorithm. SPI, RDI and SDI drought indices were calculated with predicted data and data measured in the past. According to the results obtained from the study, drought indices calculated with NP and FP model data showed a similarly increasing drought trend for 3, 6, 9 and 12 month periods at all stations. Frequency rates according to drought classes in drought indices calculated with measured data are very close and consistent with the frequency rates determined using FP and NP model data. Frequency rates of SPI, RDI and SDI indexes according to drought classes were close to each other. The rate of extreme dry periods was found to be lower in flow-measured stations compared to precipitation stations.

September 2022, 122 pages

Key Words: Drought, SPI, SDI, RDI, ANN, Neural Prophet, Facebook Prophet.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Büyük bir istek ve motivasyonla başladığım doktora eğitimim sürecinde, yoğun mesaili iş hayatı ve diğer alanlardaki sorumluluklarım, karşılaştığım ve yaşadığım çeşitli zorluklar, çeşitli duygusal med-cezirler, motivasyon düşüklüğü, başlarken gösterdiğim gayretin yerini isteksizliğe bırakması ve bunlar gibi sayabileceğim kendime yarattığım çok sayıda inandırıcı (!) bahane, beni çalışmayı bırakma ile devam etme arasında yıllarca arafta bıraktı. Bu süreçte zaman zaman çalışmaya dönüp bir şeyler eklesem de süreklilik arz etmeyen bu küçük ataklar, daha çok oyalanmama ve kafamın içinde bir yerde bir türlü bitmeyen çalışmanın stresini psikolojik ve fiziksel olarak yaşamama ve kurtulunması gereken bir yük altında hissetmeme sebep oldu. Tüm bahaneleri bir tarafa bırakıp, gerçekten çalışmayı bitirmeye karar vermem çok uzun bir zaman aldı. Bu süreç içinde benden umudunu kesmeyen, akademik ve psikolojik yönden desteğini hiç esirgemeyen, büyük bir sabır ve anlayış gösteren, her zaman nazik ve mütevazı kişiliğiyle hayranlık duyduğum, çalışmaya büyük emeği geçen danışman hocam Prof. Dr. Halit APAYDIN’a gönülden teşekkür ederim.

Çalışma sürecinde, akademik alanda ve psikolojik açıdan sürekli destek veren Doç. Dr. Alper Serdar ANLI’ya ve çalışmada kullanılan verilerin sayısallaştırılmasında emeği geçen burada isimlerini yazamadığım Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü öğrencilerine tek tek teşekkür ediyorum.

Aile içinde zaman zaman çalışmayı tamamlayamayacağımın düşünülmesi nedeniyle eğlence ve sohbet konusu olan tez çalışmamı bitirerek eğlencelerine mutlu bir son vereceğim başta eşim, kardeşlerim, babam ve kızım, doktora eğitimini tamamlamamı benden daha çok isteyen anneme, manevi destekleri ve her konuda her zaman yanımda olmaları nedeniyle teşekkür ediyorum, iyi ki varsınız.

Tezi bitirmenin heyecanı ve rahatlığı ile burada saymayı unuttuğum, çalışmaya emeği geçen herkese teşekkürlerimi sunuyorum.

Tülay AKKURT EROĞLUER

Ankara, Eylül 2022

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
ETİK	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	8
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	30
3. 1 Materyal.....	30
3.2 Yöntem	36
3.2.1 Kuraklık indeksleri.....	37
3.2.2 Yapay zekâ tabanlı kuraklık tahmin modelleri.....	41
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	45
4.1 NP ve FP Modellemelerinin Değerlendirme Metrikleri	45
4.2 Modelleme Sonuçları	46
4.2.1 Soğuksu-Yeşildağ DSİ akım gözlem istasyonu (1614)	49
4.2.2 Şarkikarağaç DSİ akım gözlem istasyonu (1613).....	54
4.2.3 Beyşehir gölü suğla çıkışı EİE akım gözlem istasyonu (1621).....	59
4.2.4 Beyşehir gölü regülatör çıkışı EİE akım gözlem istasyonu (1604).....	65
4.2.5 Seydişehir MGM istasyonu yağış verileri ile yapılan modelleme	70
4.2.6 Seydişehir MGM istasyonu sıcaklık verileri ile yapılan modelleme.....	75
4.2.7 Beyşehir MGM istasyonu yağış verileri ile yapılan modelleme	80
4.2.8 Beyşehir MGM istasyonu sıcaklık verileri ile yapılan modelleme.....	85
4.3 Kuraklık İndeksleri	90
4.3.1 SPI indeksi	100
4.3.2 RDI indeksi.....	102
4.3.3 SDI indeksi.....	105
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	110
KAYNAKLAR	116
ÖZGEÇMİŞ.....	123

SİMGELER DİZİNİ

°C	Celcius
%	Yüzde
R	Korelasyon Katsayısı
Ha	Hektar
X_i	Yağış Miktarı
X_i^{ort}	Ortalama Yağış Miktarı
σ	Standart Sapma
Gx	Gama Dağılımı Fonksiyonu
P	Yağış Miktarı
ETo	Referans Bitki Su Tüketimi
Q_i	Akım Miktarı – Debi
V_i	Birikimli Akım
Zt	Gözlem Değeri
Φ_p	Z Parametresi için Katsayı
a_{t-q}	Hata Terimleri
Θ_q	Hata Terimlerine İlişkin Katsayı
δ	Sabit Değer
y	Veri serisini oluşturan veriler
ds	Zaman
g(t)	Trend Fonksiyonu
s(t)	Mevsimsellik Fonksiyonu
h(t)	Tatil Etkisi Fonksiyonu
ϵ_t	Hata Terimi
T(t)	t zamanındaki eğilim
S(t)	t zamanındaki mevsimsel etkiler
E(t)	t zamanındaki olay ve tatil etkileri
F(t)	Dışsal değişkenler için t zamanındaki regresyon etkileri
A(t)	Gözlemlere dayalı t zamanındaki otomatik regresyon etkileri
L(t)	Dışsal değişkenlerin gecikmeli gözlemleri için t zamanındaki regresyon etkileri

Kısaltmalar

AD	Anderson Darling
AI	Aridite İndeksi
AMaxE	Mutlak Maksimum Hata
AMinE	Mutlak Minimum Hata
ANFIS	Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi
AR	Otoregresif
ARIMA	Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama
BATS	Trend ve Mevsimsel Bileşenler
CC	Korelasyon Katsayısı
COMM-ELM	Komite Aşırı Öğrenme Makinesi
COMM-MLR	Komite Çoklu Doğrusal Regresyon
COMM-PSO-ANFIS	Komite Parçacık Sürüşü Optimizasyonu Adaptif Nöro Bulanık Çıkarım Sistemi

CPR	Değişim Noktası Aralığı
DLNM	Dağıtılmış Gecikmeli Doğrusal Olmayan Model
DLSTM	Dinamik Doğrusal Konumsal-Zamansal Model
DMSNN	Doğrudan Çok Adımlı Sinir Ağı
DSİ	Devlet Su İşleri
EB	Avrupa Blok İndeksi
EDI	Etkili Kuraklık İndeksi
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
ELM	Aşırı Öğrenme Makineleri
FIS	Bulanık Çıkarım Sistemi
GFF	Genelleştirilmiş İleri Besleme
FFBPANN	İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağı
FFNN	İleri Beslemeli Sinir Ağları
FP	Facebook Prophet
LSSVR	En Küçük Kareler Destek Vektör Regresyonu
LSTM	Doğrusal Konumsal-Zamansal Model
M	Ortalama
MA	Hareketli Ortalama
MAE	Mutlak Ortalama Hata
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MK	Mann-Kendall Testi
MLP	Çok Katmanlı Algılayıcı
MLPNN	Çok Katmanlı Algılayıcı Sinir Ağı
MLR	Çoklu Doğrusal Regresyon
MNN	Modüler Sinir Ağı
MSE	Ortalama Kare Hata
MVM	Hareketli Pencere Yöntemi
NADI	Doğrusal Olmayan Birikimli Kuraklık İndeksi
NAO	Kuzey Atlantik Salınımı
NARNN	Doğrusal Olmayan Otoregresif Sinir Ağı
NARNNX	Dış Kaynak Girişli Doğrusal Olmayan Otoregresif Sinir Ağı
NDVI	Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi
NIO	Doğrusal Olmayan Giriş ve Çıkış
NM	Normal Metot
NN	Sinir Ağı
NMSE	Normalleştirilmiş Ortalama Karekök Hata
NP	Neural Prophet
ÖV	Ölçülmüş Veri
P	Olasılık
PCA	Temel Bileşen Analizi
PDSI	Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi
PET	Potansiyel Evapotranspirasyon
PHDI	Palmer Hidrolojik Kuraklık İndeksi
PNI	Normalin Yüzdesi İndeksi
RDI	Keşif Kuraklık İndeksi
RMSE	Ortalama karekök hata
RMSNN	Yinelemeli Çok Basamaklı Sinir Ağı
RN	Yinelemeli Ağ

RNN	Tekrarlayan Sinir Ağı
SDI	Akım Kuraklık İndeksi
SGI	Standartlaştırılmış Yeraltısuyu Seviyesi İndeksi
SHDI	Standartlaştırılmış Hidrolojik Kuraklık İndeksi
SIAP	Standart Yıllık Yağış İndeksi
SMAPI	Toprak Nemi Anomali Yüzde İndeksi
SOI	Güney Salınım İndeksi
SPEI	Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi
SPI	Standartlaştırılmış Yağış İndeksi
SRI	Standartlaştırılmış Akış İndeksi
SVR	Destek Vektör Regresyonu
SWAT	Toprak ve Su Değerlendirme Aracı
SWSI	Standartlaştırılmış Su Depolama İndeksi
TLRN	Zaman Adımlı Yinelemeli Ağ
YSA	Yapay Sinir Ağları
WANFIS	Dalgacık Uyarlamalı Ağ Bulanık Çıkarım Sistemi
W-ANN	Melez Yapay Sinir Ağı
WB-ANN	Dalgacık Tabanlı Yapay Sinir Ağı
WEI	Su Kullanım İndeksi
ϵ -SVR	Destek Vektör Regresyon modeli

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Beyşehir Gölü Havzası	31
Şekil 3.2 Beyşehir Gölü alt havzaları.....	32
Şekil 4.1 Soğuksu-Yeşildağ istasyonu NP modeli eğitim verileri	49
Şekil 4.2 Soğuksu-Yeşildağ istasyonu NP modeli test verileri.....	50
Şekil 4.3 Soğuksu-Yeşildağ istasyonu NP modeli gelecek 5 yıl için tahmin verileri.....	50
Şekil 4.4 Soğuksu-Yeşildağ istasyonu NP modeli gelecek 15 yıl için tahmin verileri.....	51
Şekil 4.5 a) Soğuksu-Yeşildağ istasyonu seçilen NP modeli gelecek 25 yıl için tahmin verileri, b) Soğuksu-Yeşildağ istasyonu NP modeli gelecek 25 yıl için tahmin verileri.....	51
Şekil 4.6 Soğuksu-Yeşildağ istasyonu FP modeli eğitim verileri.....	52
Şekil 4.7 Soğuksu-Yeşildağ istasyonu FP modeli test verileri	53
Şekil 4.8 Soğuksu-Yeşildağ istasyonu FP modeli gelecek 5 yıl için tahmin verileri.....	53
Şekil 4.9 Soğuksu-Yeşildağ istasyonu FP modeli gelecek 15 yıl için tahmin verileri.....	54
Şekil 4.10 Soğuksu-Yeşildağ istasyonu FP modeli gelecek 25 yıl için tahmin verileri.....	54
Şekil 4.11 Şarkikaraağaç istasyonu NP modeli eğitim verileri.....	55
Şekil 4.12 Şarkikaraağaç istasyonu NP modeli test verileri	55
Şekil 4.13 Şarkikaraağaç istasyonu NP modeli gelecek 5 yıl için tahmin verileri.....	56
Şekil 4.14 Şarkikaraağaç istasyonu NP modeli gelecek 15 yıl için tahmin verileri.....	56
Şekil 4.15 Şarkikaraağaç istasyonu NP modeli gelecek 25 yıl için tahmin verileri.....	57
Şekil 4.16 Şarkikaraağaç istasyonu FP modeli eğitim verileri	57
Şekil 4.17 Şarkikaraağaç istasyonu FP modeli test verileri	58
Şekil 4.18 Şarkikaraağaç istasyonu FP modeli gelecek 5 yıl için tahmin verileri	58
Şekil 4.19 Şarkikaraağaç istasyonu FP modeli gelecek 15 yıl için tahmin verileri	59
Şekil 4.20 Şarkikaraağaç istasyonu FP modeli gelecek 25 yıl için tahmin verileri	59
Şekil 4.21 Suğla istasyonu NP modeli eğitim verileri	60
Şekil 4.22 Suğla istasyonu NP modeli test verileri.....	60
Şekil 4.23 Suğla istasyonu NP modeli gelecek 5 yıl için tahmin verileri	61
Şekil 4.24 Suğla istasyonu NP modeli gelecek 15 yıl için tahmin verileri	61
Şekil 4.25 Suğla istasyonu NP modeli gelecek 25 yıl için tahmin verileri	62
Şekil 4.26 Suğla istasyonu FP modeli eğitim verileri.....	62
Şekil 4.27 Suğla istasyonu FP modeli test verileri.....	63
Şekil 4.28 Suğla istasyonu FP modeli gelecek 5 yıl için tahmin verileri.....	63
Şekil 4.29 Suğla istasyonu FP modeli gelecek 15 yıl için tahmin verileri.....	64
Şekil 4.30 Suğla istasyonu FP modeli gelecek 25 yıl için tahmin verileri.....	64
Şekil 4.31 Beyşehir Gölü regülatör çıkış istasyonu NP modeli eğitim verileri	65
Şekil 4.32 Beyşehir Gölü regülatör çıkış istasyonu NP modeli test verileri.....	66
Şekil 4.33 Beyşehir Gölü regülatör çıkış istasyonu NP modeli gelecek 5 yıl için tahmin verileri	66
Şekil 4.34 Beyşehir Gölü regülatör çıkış istasyonu NP modeli gelecek 15 yıl için tahmin verileri	67
Şekil 4.35 Beyşehir Gölü regülatör çıkış istasyonu NP modeli gelecek 25 yıl için tahmin verileri	67
Şekil 4.36 Beyşehir Gölü regülatör çıkış istasyonu FP modeli eğitim verileri.....	68
Şekil 4.37 Beyşehir Gölü regülatör çıkış istasyonu FP modeli test verileri.....	68
Şekil 4.38 Beyşehir Gölü regülatör çıkış istasyonu FP modeli gelecek 5 yıl için tahmin verileri	69
Şekil 4.39 Beyşehir Gölü regülatör çıkış istasyonu FP modeli gelecek 15 yıl için tahmin verileri	69
Şekil 4.40 Beyşehir Gölü regülatör çıkış istasyonu FP modeli gelecek 25 yıl için tahmin verileri	70

Şekil 4.41 Seydişehir istasyonu NP modeli eğitim verileri.....	70
Şekil 4.42 Seydişehir istasyonu NP modeli test verileri	71
Şekil 4.43 Seydişehir istasyonu NP modeli gelecek 5 yıl için tahmin verileri	71
Şekil 4.44 Seydişehir istasyonu NP modeli gelecek 15 yıl için tahmin verileri	72
Şekil 4.45 Seydişehir istasyonu NP modeli gelecek 25 yıl için tahmin verileri	72
Şekil 4.46 Seydişehir istasyonu FP modeli eğitim verileri	73
Şekil 4.47 Seydişehir istasyonu FP modeli test verileri.....	73
Şekil 4.48 Seydişehir istasyonu FP modeli gelecek 5 yıl için tahmin verileri	74
Şekil 4.49 Seydişehir istasyonu FP modeli gelecek 15 yıl için tahmin verileri	74
Şekil 4.50 Seydişehir istasyonu FP modeli gelecek 25 yıl için tahmin verileri	75
Şekil 4.51 Seydişehir istasyonu NP modeli sıcaklık eğitim verileri	75
Şekil 4.52 Seydişehir istasyonu NP modeli sıcaklık test verileri.....	76
Şekil 4.53 Seydişehir istasyonu NP modeli gelecek 25 yıl için sıcaklık tahmin verileri	76
Şekil 4.54 Seydişehir istasyonu NP modeli gelecek 15 yıl için sıcaklık tahmin verileri	77
Şekil 4.55 Seydişehir istasyonu NP modeli gelecek 25 yıl için sıcaklık tahmin verileri	77
Şekil 4.56 Seydişehir istasyonu FP modeli eğitim verileri	78
Şekil 4.57 Seydişehir istasyonu FP modeli test verileri.....	78
Şekil 4.58 Seydişehir istasyonu FP modeli gelecek 5 yıl için sıcaklık tahmin verileri.....	79
Şekil 4.59 Seydişehir istasyonu FP modeli gelecek 15 yıl için sıcaklık tahmin verileri.....	79
Şekil 4.60 Seydişehir istasyonu FP modeli gelecek 25 yıl için sıcaklık tahmin verileri.....	80
Şekil 4.61 Beyşehir istasyonu NP modeli eğitim verileri	80
Şekil 4.62 Beyşehir istasyonu NP modeli test verileri.....	81
Şekil 4.63 Beyşehir istasyonu NP modeli gelecek 5 yıl için tahmin verileri.....	81
Şekil 4.64 Beyşehir istasyonu NP modeli gelecek 15 yıl için tahmin verileri	82
Şekil 4.65 Beyşehir istasyonu NP modeli gelecek 25 yıl için tahmin verileri	82
Şekil 4.66 Beyşehir istasyonu FP modeli eğitim verileri.....	83
Şekil 4.67 Beyşehir istasyonu FP modeli test verileri.....	83
Şekil 4.68 Beyşehir istasyonu FP modeli gelecek 5 yıl için tahmin verileri.....	84
Şekil 4.69 Beyşehir istasyonu FP modeli gelecek 15 yıl için tahmin verileri.....	84
Şekil 4.70 Beyşehir istasyonu FP modeli gelecek 25 yıl için tahmin verileri.....	85
Şekil 4.71 Beyşehir istasyonu NP modeli sıcaklık eğitim verileri.....	85
Şekil 4.72 Beyşehir istasyonu NP modeli sıcaklık test verileri	86
Şekil 4.73 Beyşehir istasyonu NP modeli gelecek 5 yıl için sıcaklık tahmin verileri.....	86
Şekil 4.74 Beyşehir istasyonu NP modeli gelecek 15 yıl için sıcaklık tahmin verileri.....	87
Şekil 4.75 Beyşehir istasyonu NP modeli gelecek 25 yıl için sıcaklık tahmin verileri.....	87
Şekil 4.76 Beyşehir istasyonu FP modeli sıcaklık eğitim verileri	88
Şekil 4.77 Beyşehir istasyonu FP modeli sıcaklık test verileri	88
Şekil 4.78 Beyşehir istasyonu FP modeli gelecek 5 yıl için sıcaklık tahmin verileri	89
Şekil 4.79 Beyşehir istasyonu FP modeli gelecek 15 yıl için sıcaklık tahmin verileri	89
Şekil 4.80 Beyşehir istasyonu FP modeli gelecek 25 yıl için sıcaklık tahmin verileri	90
Şekil 4.81 Seydişehir ve Beyşehir istasyonları SPI ve RDI kuraklık frekansları	96
Şekil 4.82 Akım istasyonları SDI kuraklık frekansları	96
Şekil 4.83 Seydişehir istasyonunda ölçülen yağış verileri ile hesaplanan SPI indeksi	100
Şekil 4.84 Seydişehir istasyonu FP modeline göre hesaplanan SPI indeksi	101
Şekil 4.85 Beyşehir istasyonunda ölçülen yağış verileri ile hesaplanan SPI indeksi.....	101
Şekil 4.86 Beyşehir istasyonu FP modeline göre hesaplanan SPI indeksi.....	102
Şekil 4.87 Seydişehir istasyonunda ölçülen yağış ve sıcaklık verileri ile hesaplanan RDI indeksi	103
Şekil 4.88 Seydişehir istasyonu FP modeline göre hesaplanan RDI indeksi	103
Şekil 4.89 Beyşehir istasyonunda ölçülen yağış ve sıcaklık verileri ile hesaplanan RDI indeksi	104
Şekil 4.90 Beyşehir istasyonu FP modeline göre hesaplanan RDI indeksi.....	104
Şekil 4.91 Soğuksu – Yeşiladağ (1614) istasyonu ölçülmüş akım verilerine göre SDI indeksi.	105

Şekil 4.92 Soğuksu – Yeşildağ 1614 İstasyonu FP modeline göre 25 yıllık SDI indeksi	106
Şekil 4.93 Şarkikaraağaç (1613) İstasyonu ölçülmüş akım verilerine göre SDI indeksi	106
Şekil 4.94 Şarkikaraağaç (1613) İstasyonu NP modeline göre 25 yıllık SDI indeksi	107
Şekil 4.95 Suğla (1621) İstasyonu ölçülmüş akım verilerine göre SDI indeksi	107
Şekil 4.96 Suğla (1621) İstasyonu FP modeline göre 25 yıllık SDI indeksi.....	108
Şekil 4.97 Beyşehir Gölü regülatör (1604) istasyonu ölçülmüş akım verilerine göre SDI indeksi	108
Şekil 4.98 Beyşehir Gölü regülatör (1604) istasyonu FP modeline göre 25 yıllık SDI indeksi	109



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Beyşehir Gölü alt havzaları.....	32
Çizelge 3.2 Konya Kapalı Havzası 2017 yılı kullanılabilir YÜS potansiyeli, hm ³ /yıl (Anonim, 2017).....	34
Çizelge 3.3 Bölgesel alan kullanımı	35
Çizelge 3.4 MGM istasyon bilgileri.....	35
Çizelge 3.5 DSİ istasyon bilgileri	36
Çizelge 3.6 Kuraklık türüne göre kullanılan çeşitli kuraklık indeksleri (Gürler, 2017)	36
Çizelge 3.7 SPI kuraklık kategorileri.....	38
Çizelge 3.8 RDI kuraklık kategorileri.....	39
Çizelge 3.9 SDI kuraklık kategorileri	40
Çizelge 3.10 NP’de normalizasyon seçenekleri.....	44
Çizelge 4.1 Modelleme sonuçları.....	47
Çizelge 4.2 Seçilen model sonuçları	48
Çizelge 4.3 Veri setlerine göre özet istatistikler ve uygun dağılımlar	92
Çizelge 4.4 Beyşehir ve Seydişehir istasyonlarında kuraklık frekansları	94
Çizelge 4.5 Akım istasyonları kuraklık frekansları.....	95
Çizelge 4.6 Beyşehir ve Seydişehir istasyonları kuraklık oranları.....	98
Çizelge 4.7 Akım istasyonları kuraklık oranları	99

1. GİRİŞ

Kuraklık, yağışların ortalama seviyelerden düşük gerçekleşmesine bağlı olarak yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının miktar ve seviyelerinin azalmasına neden olan doğal bir olay olarak ifade edilmektedir (Anonymous 1994)

Kuraklık, başlangıcı ile bitişinin belirlenmesi zor olan ve anlık gerçekleşen felaketlerden farklı olarak sonlanması zaman alan bir doğal afettir. Şiddeti zamanla artabilir, etkileri önce tarım sektöründe ardından diğer alanlarda yaşanır ve bu etkiler uzun yıllar devam edebilir (Kapluhan 2013).

Kuraklık, meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklık olarak genellikle üç aşamada sınıflandırılmakla beraber, son zamanlarda sosyoekonomik kuraklık 4. aşama olarak da değerlendirilmektedir. Belirli bir zaman diliminde ortalamadan düşük seyreden yağışlı dönemler meteorolojik kuraklık olarak ifade edilmektedir (Agnew 1990). Agnew ve Warren (1996), tarımsal kuraklığı toprak nemindeki eksikliğin tarımsal üretimde önemli azalmalara neden olması olarak tanımlamıştır. Hidrolojik kuraklık ise yeraltı suyu ve yüzeysel suların akışı ile seviyelerinde azalma yaşanması şeklinde açıklanmaktadır (Palmer 1965). Sosyoekonomik kuraklık, çeşitli malların arz ve talep oranlarındaki değişikliklerinin kuraklık ile ilişkilendirilmesi şeklinde değerlendirilmektedir (Wilhite ve Glantz 1985).

Kuraklık, şehirleşmenin artması, doğal alanların insan müdahalesi sonucu bozulması, tüketimin kontrolsüz şekilde artması ve üretilen atıkların büyüyerek yönetilebilir olmaktan çıkması, sürdürülebilir bir ekosistem için gerekli iyileştirmelerin, para, zaman, işgücü ve doğru politik kararlar ile uygulamalar gerektirmesi nedeniyle, küremizin en büyük problemlerinden biridir.

Kuraklığın ana nedeni, yağışların ortalamanın altında kalmasıdır denilebilir. Yağışın yetersiz kaldığı yerlerde sulama yapılarak tarımsal kuraklığın önüne geçilebilir veya etkisi azaltılabilir.

Ülkemizin bulunduğu iklim koşullarında, yağışların ortalamadan fazla olduğu dönemlerde dahi bitki su ihtiyacının tümünün yağışlardan karşılanması pek mümkün olmamaktadır. Su talebi yağışlarla karşılanamadığından, tarımsal kuraklığın olumsuz etkilerini önlemek için, ülkemizde sulama yapmak zorunluluk haline gelmiştir (Gürler 2017)

Tarımsal kuraklığın şiddetini ve süresini belirlerken bitkisel üretim periyodu ve yağışın birlikte dikkate alınması gereklidir. Kuraklık şiddeti tespit edilirken, bitki koşulları, yağış miktarı ve toprak nemi değerlendirilerek etkili yağış miktarı belirlenmelidir (Wilhite ve Glantz 1985).

Tarımsal üretim dönemlerinde yağışın olmadığı süreler üreticiler için önemli sorunlar yaratmaktadır. Üretim döneminde yaşanacak kurak sürelerin tahmin edilmesi, sulama için gerekli suyun depolanarak, ihtiyaç olduğunda bu depolardan karşılanması ve kuraklığın etkilerinin en aza indirilmesi açısından önem kazanmaktadır (Ünlükara vd. 2010).

Tarımsal sulamada akarsular önemli bir su kaynağıdır. Akarsuyu besleyen havzadaki yağış dağılımının düzensiz veya yetersiz oluşu, akarsu akım rejiminin değişmesine neden olmaktadır. Yağışın fazla olduğu dönemlerde su, yatak dışına taşarak zarara neden olurken, yağışın az olduğu dönemlerde ise akarsu verimi düşmektedir (Yüksel 2019)

Hisdal ve Tallaksen (2003), ekosistemin, tarımın ve suya bağlı aktiviteler ile canlı yaşamının yağış yetersizliği nedeniyle yaşanan kurak periyotlarda önemli ölçüde etkilendiğini ifade etmişlerdir.

Dalezios ve Bartzokas (1995), nüfus artış hızına bağlı olarak kırsal alanlarda ve şehirlerde su talebindeki artışa bağlı olarak olası yağış eksikliğinin, su kaynaklarının yetersiz olduğu kurak ve yarı kurak bölgelerde ciddi bir problem olacağını belirtmişlerdir.

Akarsulara benzer biçimde göller ve yeraltı suları da kuraklıktan önemli ölçüde etkilenmekte, su seviyelerinde düşüş yaşanmaktadır.

Kuraklık, doğrudan ya da dolaylı olarak, tarımsal üretimde miktar ve verimde azalmaya, toprağın tuzlulaşmasına, orman yangınlarında, sağlık sorunlarında ve tarımsal zararlılarda artışa, su kaynaklarından sağlanan enerji üretiminde düşüşe, su ve enerji maliyetlerinin artmasına, su kaynaklarının azalmasına veya kurumasına, bunlara bağlı olarak ekolojik dengede bozulmalara ve göç gibi sosyal ve ekonomik sorunlara neden olabilmektedir.

Kurak dönemlere yönelik doğru planlamalar yaparak gerekli önlemleri alabilmek için kuraklıktan etkilenen bölgeye ilişkin, kuraklık şiddeti, süresi ve frekansı gibi parametrelerin bilinmesi gereklidir. Bu bilgiler, kuraklık indekslerinden faydalanılarak elde edilebilir. Kuraklık konusunda yapılan çalışmalar sonucunda çeşitli yöntemler ve çok sayıda kuraklık indeksi geliştirilmiştir. Bu indekslerden, kuraklık yaşanan bölgeye ilişkin bilgiler edinilmektedir. Herhangi bir zaman periyodunda yağışın geçmiş seyrine göre değişimini gösteren birkaç indeks bulunmakta, bazı indeksler ise gösterdiği uyum nedeniyle belirli kullanımlar için tercih edilmektedir (Sattari vd. 2011).

Günümüze kadar yüzün üzerinde kuraklık indeksi geliştirilmiştir. Bu indeksler çeşitli çalışmalarda sınıflandırılmış, güçlü ve zayıf yönleri karşılaştırılmıştır. Ancak her amaca uygun ve kabul edilmiş bir kuraklık indeksi geliştirilememiştir.

Kuraklık, ülkemizde son yıllarda oldukça önemli boyutlara ulaşmıştır. Önümüzdeki yıllarda, İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde önemli ölçüde yağış eksikliği yaşanacağı tahmin edilmektedir (Anlı ve Yürekli 2014).

Sıcaklıklarda küresel boyutta meydana gelen artış ve yetersiz yağış, içme suyu, tarımsal amaçlı su kullanımı ve suya bağımlı diğer sektörlerin ihtiyacı olan suyun karşılanması açısından önemli bir sorundur. Su ihtiyacını karşılamak için yapılan depolama yapılarının işlevlerini yerine getirebilmeleri için doğru projelendirilmeleri gereklidir. Hidrolik yapıların tasarım parametrelerinin tahmininde kullanılan hidrolojik verilerdeki zaman içinde meydana gelen değişim su ile ilişkili yapıların başarısızlığa uğramasına sebebiyet verecektir. Bu nedenle, depolama yapılarına su sağlayan kaynakların su miktarında meydana gelen değişimlerin izlenmesi ve analiz edilmesi önem arz etmektedir.

Ülkemizde çevre sorunları göz ardı edilerek yapılan ekonomik büyüme temelli yapılaşmaya yönelik yatırımlar, sanayileşme, gelişen teknoloji, nüfus artışı ve küresel iklim değişikliği gibi unsurlar çevre ve su kaynakları üzerinde ağır bir yük oluşturmaktadır. Çevre ve su yönetimi konusunda kalıcı ve sürdürülebilir politikalar geliştirilmeli, su kaynakları ve bu kaynaklara bağlı tarım ve enerji yatırımları planlanırken kuraklık ve kuraklıktan kaynaklı sosyo-ekonomik kayıpların etkisi dikkate alınarak uzun vadeli çözümler üretilmelidir.

Yıllık su tüketimimizin yaklaşık %74'ü tarımsal faaliyetlerde gerçekleşmektedir (Gleick vd. 2011). Kuraklığın doğru olarak belirlenmesi ve tahmin edilmesi, kuraklık kaynaklı sosyo-ekonomik sorunların çözülmesinde ve önlem alınmasında önemli rol oynamaktadır. Kuraklık nedeni ile artan temiz su ihtiyacına cevap verebilmek için su kaynaklarının verimli ve doğru yönetilmesi gerekmektedir. Kuraklığın gerçekleşme zamanı, süresi ve etkilerinin doğru tahmin edilmesi ile tarımsal faaliyetlerin zamanı, uygulanan yöntem ve üretilen ürün çeşitleri, sulama yöntemi ve miktarı konularında planlama ve değişiklikler gerçekleştirilerek, kurak dönemde su ihtiyacı azaltıldığı için su yönetimi daha kolay yapılabilir (Kaplukan 2013).

Kuraklık yönetimi, su yönetimi ile doğrudan ilişki içindedir. Ülkemizde Tarım ve Orman Bakanlığı'nın merkez birimlerinden biri olan Su Yönetimi Genel Müdürlüğü ve bağlı kuruluş statüsündeki Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü ile Türkiye Su Enstitüsü, su yönetimi konusunda yetkili kamu organları olmakla birlikte başka pek çok kurum ve kuruluş su yönetimi konusunda söz ve sorumluluk sahibidir. Kurumların yetki ve sorumluluk alanlarının sınırları net ve keskin olmadığından, idari, hukuki ve yaptırım yönünden görev alanları çakışmaktadır. Bu durum karmaşa, daha çok bürokrasi, işgücü-zaman ve ekonomik kayıplara neden olmakta, uygulamaların verimini düşürmektedir.

Kuraklık yönetimi konusunda ise 23.07.2022 tarih ve 31901 sayılı Resmî Gazetede yayımlanan "Tarımsal Kuraklık Yönetiminin Görevleri, Çalışma Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik" ile Tarım ve Orman Bakanlığına bağlı "Tarımsal Kuraklık Yönetimi" birimi kurulmuştur. Bu birim, Tarımsal Kuraklık Yönetimi Koordinasyon Kurulu ile bu Kurula bağlı çalışan İzleme, Erken Uyarı ve Tahmin Komitesi, Risk Değerlendirme Komitesi, veri akış birimleri, çalışma grupları ve tarımsal kuraklık il kriz

merkezinden olmaktadır. İlgili yönetmelikte Tarımsal Kuraklık Yönetimi Koordinasyon Kurulunun görevleri şu şekilde sıralanmıştır;

- Tarımsal kuraklıkla mücadele stratejisi ve eylem planını hazırlamak, hazırlatmak ve uygulanmasını sağlamak.
- Tarımsal kuraklıkla mücadelede, kurum ve kuruluşlar arasında işbirliğini sağlamak.
- Risk Değerlendirme Komitesinden gelen rapor veya önerileri incelemek, kuraklık görülen illerde tarımsal kuraklıkla mücadele eylem planı kapsamında uygulama kararı almak.
- Tarımsal Kuraklık Eylem Planının uygulamasını izlemek, denetlemek ve alınan sonuçları değerlendirmek.
- Tarımsal Kuraklık Eylem Planının uygulanmasında karşılaşılabilecek mali, idari, teknik ve sosyal konulardaki sorunları gidermek.
- İhtiyaç duyulan kanun, yönetmelik ve diğer alt düzenlemelere ilişkin tasarılar hakkında önerilerde bulunmak.

Asıl amacı kuraklık yönetimi olan bir kuruluşun kurulmuş olması, ülkemiz açısından önemli bir gelişmedir. Ulusal düzeyde kuraklık politikalarının üretilmesi ve yerel uygun çözümler üretilerek uygulamaya geçirilmesi sağlanmalıdır. Ancak açıktır ki su yönetimi konusunda yaşanan karmaşa kuraklık yönetimini yakından ilgilendirmekte ve doğru koordinasyon içinde yürütülmesini gerektirmektedir.

Değişiklikten önceki ismi ile Orman ve Su İşleri Bakanlığı'nca 2017-2023 dönemini kapsayan "Ulusal Kuraklık Yönetimi Strateji Belgesi ve Eylem Planı" ile Tarım ve Orman Bakanlığı'nca havza bazında kuraklık yönetim planları hazırlanmıştır. Halen "Konya Havzası Kuraklık Yönetim Planının Güncellenmesi" çalışmaları ise devam etmektedir. Çalışmalar ulusal ve havza düzeyinde yapılmış olup, alt havzalar için de kuraklık yönetim planı hazırlanmasının yararlı olacağı değerlendirilmektedir.

Cramer vd. (2018), yaptıkları çalışmada Akdeniz havzası genelinde yıllık ortalama sıcaklıkların 19. Yüzyıl sonlarında görülen seviyelerin 1.4 derece üzerinde olduğunu belirtmişlerdir. Her 1 °C'lik küresel ısınma için, ortalama yağış miktarının, bölgenin büyük bölümünde özellikle de güneyinde yaklaşık %4 oranında azalacağı ve ortalama 1.5 °C'lik küresel ısınma için kurak dönemlerin %7 oranında uzayacağı ifade edilmiştir. 2 °C'lik küresel bir atmosferik sıcaklık artışı halinde Güney Fransa, Kuzeybatı İspanya ve Balkanlar'da yaz yağışlarında yaklaşık %10-15'lik bir azalma, Türkiye ve Portekiz'de ise yağışlarda %30 bir azalma olacağı ihtimalinden bahsetmişlerdir. Akdeniz bölgesindeki sulama talebinin sadece iklim değişikliği nedeniyle (sırasıyla 2 °C ve 5 °C ısınma için) yüzyılın sonuna kadar %4 ile %18 arasında artacağını tahmin edildiğini, nüfus artışı ve artan talebin bu oranları %22 ile %74 arasında yükseltebileceğini belirtmişlerdir. Çalışmada, Akdeniz'in en büyük gölü olan Beyşehir'in çıkış rejimi değiştirilmezse 2040'larda kurummasının olası olduğu ifade edilmiştir.

Bucak vd. (2017) çalışmalarında, Toprak ve Su Değerlendirme Aracı (Soil Water Assessment Tool- SWAT) ile Destek Vektör Regresyon modeli (ϵ -SVR) ilişkilendirilerek Beyşehir Gölü Su seviyesini tahmin etmişlerdir. Sonuçlar, sığ Akdeniz göllerinin bölgedeki ekosistem değerlerini yitirme ve kuruma riskiyle karşı karşıya kalabileceğini göstermektedir. Çalışmada, Beyşehir Gölü'nün iklim değişikliği ve sulanan tarım alanları için aşırı su çekilmesi nedeni ile tehdit altında olduğunu ve mevcut çıkış rejiminden dolayı 2040 yılında kuruyabileceğini belirtmişlerdir.

Yapılan araştırmalarda, yağış-akış ve kuraklık gibi hidrolojik olayların tahmininde, doğrusal olmayan yapıyı modellemede daha başarılı olan Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi ile yapılan tahminlerin geleneksel istatistik yöntemlere göre daha tutarlı sonuçlar verdiği görülmüştür. YSA, biyolojik sinir ağlarına benzer işleyişe sahip olan öğrenme sistemleridir. Bu sistem işlerken öğrenme, ezberleme, bilgiler-veriler arasında ilişki kurma, bu ilişkiler üzerinden tahmin-çıkarım yapma gibi işlemler gerçekleşir. YSA sınıflandırma, tahmin etme, modelleme gibi pek çok alanda kullanılır. Özellikle; eksik, belirsiz, karmaşık ve bulanık bilgileri işlemekte başarılıdır (Bayır 2008).

YSA kullanılarak gerçeğe daha yakın tahminlerin yapılması ile kurak dönemlerde yaşanabilecek ekonomik kayıplar öngörülerek, alınması gerekli önlemlere ilişkin program ve planlar daha erken ve daha etkin bir şekilde gerçekleştirilebilir.

Kuraklığın önceden ve doğru olarak tahmin edilmesi, kuraklık kaynaklı sosyo-ekonomik sorunların çözülmesinde ve önlem alınmasında önemli rol oynamaktadır. Kuraklık nedeni ile artan su ihtiyacına cevap verebilmek için su kaynakları verimli ve doğru bir şekilde yönetilmelidir. Ülkemizin pek çok bölgesinde kuraklık sebebiyle tarımda ihtiyaç duyulan suyun, yağışın zaman içindeki seyrine oranı yetersiz olduğundan, optimum seviyede ürün alınabilmesi için tarımsal üretimde sulama mutlak zorunluluktur (Kapluhan 2013).

Yağışın az olduğu bölgelerde kuraklığın ölçülebilir bir şekilde ifade edilmesi, sulama zamanı planlanması için oldukça önemlidir. Kuraklığı sınıflandırmak için pek çok indeks geliştirilmiştir. Bu kuraklık sınıflarının belirlenmesi, kuraklığın etkisini en aza indirmeyi amaçlayan su kaynakları yönetiminde gereklidir. Ancak, kuraklığı belirtmede kullanılan indeksler içinde sadece yağış göz önüne alanlar kuraklığı tam olarak açıklayamamaktadır. Yağışın, yılın farklı zamanlarında etkisinin değişiklik göstermesinden dolayı, tarımsal üretimin gerçekleştiği alanlarda kuraklık şiddetinin belirlenmesinde zorluk yaşanmaktadır. Bu nedenle, tarımsal kuraklık şiddeti ve kuraklık süresi belirlenirken bitki koşulları ve yetiştirme dönemi ile toprak nemliliği dikkate alınmalıdır (Okman 1981).

Beyşehir Gölü Havzası, Tarım Bakanlığı tarafından hazırlanan “Havza Temelli Üretim Modeli” içinde bulunmaktadır. Ancak su yönetimi açısından kurak dönemde uygulanacak bir eylem planı önerilmemiştir. Konya kapalı havzasında arz edilen suyun %95’i sulamada, %4’ü içme ve kullanma suyunda ve %1’i ise sanayide kullanılmaktadır (Anonim 2015). Beyşehir gölü alt havzasında da kullanım oranlarının benzer düzeyde gerçekleştiği tahmin edilmektedir. Tarımsal amaçlı kullanılan su miktarının yüksek olması, tarımsal kuraklığın doğru tahmin edilmesinin önemini artırmaktadır. Bu çalışmada; Beyşehir Gölü Havzası için, meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklığı belirlemek amacıyla, kuraklık indeksleri YSA kullanılarak tahmin edilmiş, kurak dönemlerde yaşanabilecek koşullar öngörülerek, su yönetimi ve tarımsal faaliyetlerin planlanması açısından alınması gerekli önlemlere ilişkin önerilerde bulunulmuştur.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Palmer (1965), Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksini (Palmer Drought Severity Index - PDSI) geliştirmiş olup, kapsamı geniş bir indekstir. PDSI; yağış, sıcaklık ve toprak nemi parametrelerini içermektedir. Çalışılan alanda yağış eksikliğini hesaba katmış, su dengesi eşitliğini arz-talep dengesini kurarak sağlamaya çalışmış ve evapotranspirasyonu hesaplamalara dahil etmiştir. İndeks, 1965-1990 yılları arasında yaygın olarak kullanılmıştır.

Palmer ve Holmes (1988), 1987 yılında Washington, Seattle'da yaşanan aşırı kuraklık üzerine, kuraklığın yönetimi ve alınacak kararlara yardımcı olmak amacı ile karar destek sistemi ile çalışan bir uzman sistemin geliştirilmesi ve uygulanmasını açıklamışlardır. Program bileşenleri uzman bir sistem, doğrusal programlama modeli, veri tabanı yönetim araçları ve bilgisayar grafiklerini içermektedir. Doğrusal programlama modeli, geçmiş hidrolojik rejimler için sistem verimini ve optimum işletme politikalarını belirlemektedir. Veri tabanı yönetimi ve grafik yazılımı, karar vericiler için iki binden fazla işletme politikasının görüntülenmesini ve depolanmasını sağlamaktadır. Sistem, karar vericilerin çok çeşitli yönetim alternatiflerini keşfetmelerine yardımcı olmak için, Seattle Su Bölümündeki yönetim personeli ile yapılan görüşmeler yoluyla geliştirilen kural tabanını kullanarak operatör deneyimini ve sezgisini içermektedir. Belirli operasyonel hedefler, model geliştirmenin başında tanımlanmış ve bu hedeflere ulaşmak için model oluşturulmuştur. Ek olarak, kural tabanının geliştirilmesi, yılın zamanına, depolama seviyelerine, sistem talebine, öngörülen sarf malzemelerine ve mevcut kısıtlama seviyesine bağlı olarak yapılandırılmış, mantıksal bir çalışma kuralları gelişimi gerektirmiştir. Çalışmada araştırmacılar, sistem kullanımının, kuraklık sırasında yöneticilere yardım ettiğini ileri sürmüştür.

Simonovic (1991), Kanada’da yaptığı çalışmada açık kanallarda akım ölçümü için uygun tasarlanmış bir yapay zekâ-uzman sistemi örnek vaka olarak incelemiştir. Hidroloji alanındaki en önemli uygulamaların detaylı bir incelemesini yaparak, bilgi tabanlı teknoloji uygulamalarının faydalarını ve hidroloji alanındaki olası kullanımlarını tartışmıştır. Hidrolojik uzman sistemler incelemesi baz alınarak, uzman sistemlerin hidroloji alanında önemli bir role sahip olduğu, tüm faydaları araştırmak ve mevcut uygulamaları test etmek ve doğrulamak için daha fazla geliştirme yapılması gerektiği sonuçlarına varılmıştır.

Gutman (1991), Colorado, Indiana, Nevada, New York, Oklahoma, Güney Carolina, Güney Dakota, Washington ve Wisconsin eyaletlerinin her biri için ortalama aylık sıcaklık ve yağış verilerinden faydalanarak geliştirilmiş, yeni bir Palmer Hidrolojik Kuraklık İndeksi (Palmer Hydrological Drought Index - PHDI) hesaplamıştır. Çalışmada eyaletlerin çoğu için stabilizasyon süresinin kısa olup, kurak eyaletler için süre 4 yıldan fazla olabildiği belirtilmiştir. Başlangıç koşullarının etkileri yaklaşık 3-4 yıl sonra minimum düzeye inmiştir. İndeks, uzun dönem kuraklık tahminlerinde daha başarılı olmuştur.

McKee vd. (1993) Colorado’da yaşanan kuraklıkları dikkate alarak, kuraklık izleme için Standartlaştırılmış Yağış İndeksini (Standardized Precipitation Index -SPI) önermişlerdir. Çalışmanın amacının kuraklık izlemede, çok yönlü bir araç olarak kullanılabilecek bir kuraklık göstergesi ve tanımı önermek olduğunu belirtmişlerdir. Önerilen SPI indeksi; kuraklığın başlaması, sona ermesi, yoğunluğu ve büyüklüğü dahil olmak üzere tutarlı bir hesaplama sağlamaktadır. Ayrıca, kuraklık sırasında endeks değerlerinin, olasılık, ortalama yüzdesi ve yağış açığı izleme bilgilerini ürettiğini belirtmişlerdir.

Wilhite, 1996 yılında yaptığı çalışmada, ülkelerin kuraklığa hazırlık için izleyebilecekleri on aşamadan oluşan bir planlama süreci önermiştir. Bu süreç, Afrika, Asya ve Latin Amerika’da gelişmekte olan ülkeler için kuraklığa hazırlık konusunda temel oluşturmuştur. Araştırmacı, önerdiği yaklaşımın kuraklık politikası konuları ile bütünleştirilmesini önermiş, acil durum planlarının hazırlanmasının, hükümetlerin kuraklık yönetimine yaklaşımlarında felsefi bir değişikliği örneklediğini belirtmiştir.

Guttman (1998) çalışmasında, standartlaştırılmış yağış indeksi SPI ile palmer kuraklık şiddeti indeksini (Palmer Drought Severity Index -PDSI) karşılaştırmıştır. Çalışmada, PDSI'nın spektral özelliklerinin ABD'de bölgelere göre farklılık gösterdiği ancak SPI'nın bölgesel farklılık göstermediği tespit edilmiştir. PDSI'nın karmaşık bir yapıda olduğu ve uzun dönem için daha iyi tahmin verirken, SPI'nın ise basit işlemler ile hesaplanarak daha kolay yorumlanabildiği belirtilmiştir.

Keyantash ve Dracup (2002), 14 farklı kuraklık indeksini karşılaştırdıkları çalışmada, Ulusal İklimsel Veri Merkezi tarafından belirlenmiş Willamette Vadisi ve Kuzey Oregon iklim bölgelerini test bölgesi olarak seçmişlerdir. Meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklık için çalışmalarda yaygın olarak kullanılan indekslerin belirlenen kriterlere göre güçlü ve zayıf yönleri incelenmiştir. Endeksler için 6 ağırlıklı karar kriteri belirlenmiştir. Bunlar doğruluk, izlenebilirlik, şeffaflık, karmaşıklık, genişletilebilirlik ve çok boyutlu uygulanabilirliktir. Meteorolojik kuraklık için SPI'nın önemli bir tahmin verisi sağladığı belirlenmiştir.

Chantasut vd. (2004), Tayland'da bulunan Chao Praya nehri çevresindeki 245 yağış izleme istasyonundan alınan 1941-1999 dönemindeki aylık yağış verilerini kullanarak, YSA tekniği ile yağış tahmini yapmışlardır. Stuttgart sinir ağı simülatöründe geri yayımlı sinir ağı modeli oluşturarak, gözlenen veriler ile tahmin edilen veriler arasında eğitim verilerinde %99.6, test verilerinde ise %96.9 düzeyinde bir doğruluk elde etmişler ve modelin kabul edilebilir sonuçlar verdiği sonucuna varmışlardır.

Morid vd. (2007), İran'ın Tahran ilinde yer alan 6 yağış istasyonundan elde edilen geçmiş yağış verilerini, YSA yöntemini kullanarak, etkili kuraklık indeksi (Effective Drought Index-EDI) ve SPI değerlerini hesaplamışlardır. Bunun için Kuraklık İndeks Paket Programı kullanılmıştır. 25'den fazla farklı ağ modeli test edilmiştir. EDI ve SPI karşılaştırıldığında, EDI ağ modelleri istatistiksel olarak daha üstün performans göstermiştir. Ayrıca EDI nemli ve kurak dönemlerin sınıflandırılmasında daha doğru tahminler vermiştir.

Bacanlı vd. (2008), kuraklık tahminleri yapmak amacıyla SPI ve aylık ortalama yağış değerlerini kullanarak modeller oluşturmuş ve uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sisteminin (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System-ANFIS) kuraklık tahmini için uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Bu amaçla, Orta Anadolu'da yer alan 10 adet yağış gözlem istasyonu belirlenmiştir. Tüm istasyonlar için veri setleri, 1964 ile 2006 arasında gözlenen 516 adet veri ölçümünü içermektedir. 1 ila 12 ay periyodundaki ölçeklerde SPI için farklı ANFIS analiz modellerinin eğitim ve testi gerçekleştirilmiştir. ANFIS tahmin modelleri ve gözlenen değerlerin sonuçları karşılaştırılmış ve modellerin performansları değerlendirilmiştir. Modeller ileri beslemeli sinir ağları (Feed Forward Neural Network-FFNN) ve çoklu doğrusal regresyon (Multiple Linear Regression-MLR) yöntemleri ile de analiz edilmiş ve ANFIS ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, ANFIS yönteminin kuraklığın tahmininde FFNN ve MLR yöntemlerinden üstün olduğunu ortaya koymuştur.

Ochoa-Rivera (2008), yaptığı çalışmada, rastgele bir bileşen içeren, çok katmanlı algılayıcı YSA'ya dayanan, doğrusal olmayan çok değişkenli bir model sunmuştur. Bu model, İspanya'nın merkez bölgesindeki Alto Tajo Nehri havzasına uygulanmıştır. Model, sentetik yıllık kuraklık verilerini elde etmede kullanılan aylık akış verilerini üretmek için uygulanmıştır. Modelin kalibrasyonu, havzanın bazı bölgelerinin aylık akış kayıtları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Model kalibrasyonu, sinir ağının geriye yayılım öğrenme algoritması ile eğitilmesi ve normal dağılımlı rastgele gürültünün modele eklenmesi ile yapılmıştır. Model, sentetik akış serilerinin ilgili istatistiklerini tarihsel kayıtlarla karşılaştırarak doğrulanmıştır. Aynı şekilde, sentetik kuraklık serileri tarihsel değerlerle karşılaştırıldığında yüksek korelasyon elde edilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışmada geliştirilen modelin, gelecekteki kuraklığı analiz etmek için uygun bir araç olabileceği belirtilmiştir.

Illeperuma ve Sonnadara (2009), Sri Lanka için kuraklık tahmininde yapay sinir ağlarını kullanmışlardır. 1870-1980 aralığında 13 istasyonda kaydedilen nemli ve kurak dönemleri kapsayan yağış verileri girdi olarak kullanılmıştır. SPI, her istasyonun aylık yağış kayıtlarının frekans dağılımına uygun olasılık-yoğunluk fonksiyonu kullanılarak hesaplanmıştır. Geliştirilen sinir ağı modeli 1-6 aylık zaman aralıklarıyla SPI'lar için test edilmiştir. 3 aylık bir zaman aralığı ile hesaplanan SPI-3 için ortalama korelasyon katsayısı 0.90, en düşük katsayı Nuwara Eliya'da 0.84 ve en yüksek korelasyon katsayısı Batticaloa ve Jaffna'da 0.94 olarak bulunmuştur. Genel olarak; kurak bölgedeki istasyonlardaki tahmin başarısı, nemli bölgedeki istasyonlara göre daha yüksek olmuştur. Model tahminleri, Mayıs-Temmuz dönemi (Güney-Batı muson sezonunun ilk bölümüdür) için yılın geri kalanına kıyasla daha iyi olup, tahminlerin doğruluğu, SPI değerlerini hesaplarırken kullanılan zaman aralığına bağlı olarak artmıştır. Bu çalışmanın sonuçları SPI konusunda eğitilmiş sinir ağı modellerinin, su kıtlığını tahmin etmek için kullanılabileceğini göstermiştir.

Santos vd. (2009), Brezilya'nın kuzeydoğusunda yer alan San Francisco Nehri havzasında tanımlanan 3 homojen yağış alanında çalışma yapmışlardır. Brezilya ulusal su ajansının 248 yağış istasyonundan coğrafi dağılımına dayanılarak elde edilen istasyonların 1938-2005 yılları arasındaki verileri kullanılmıştır. Tanımlanmış her bölgede SPI geri yayımlı ileri beslemeli bir yapay sinir ağı kullanılarak tahmin edilmiştir. 3, 6, 9 ve 12 aylık periyotlar için SPI hesaplaması yapılmıştır. Sonuçlar, YSA'nın kuraklık tahmini için uygun olduğunu göstermiştir. Farklı hidrolojik bölgeler sonuçları etkilememiştir. 1 aylık tahminler için 3 ila 12 ay arasındaki endeksler yeterli olmuş, ancak daha uzun süreli 3 aydan 6 aya kadarki tahminler için SPI-12 tutarlı sonuçlar vermiş, diğer endeksler yetersiz kalmıştır.

Cutore vd. (2009), İtalya'nın Sicilya bölgesi için PHDI tahminleri için modeller geliştirmeyi amaçlamışlardır. Bu modeller, büyük ölçekli iklim indeks bilgilerini içeren YSA'ya dayanmaktadır. Gelecek 4 aya kadarki PHDI tahminlerinde, önceki aylarda gözlemlenen indeks değerleri kullanılmıştır. Doğrudan yaklaşım ve yinelemeli yaklaşımdan oluşan 2 farklı tahmin modeli kullanılmıştır. Sonbahar ve kış ayları için yinelemeli yaklaşım modeli tahminlerinde gelişme gözlenmiş, diğer aylar için önemli bir farklılık bulunmamıştır. Tahminler arasındaki karşılaştırmada, kış ve sonbahar ayları için Kuzey Atlantik Salınımı (North Atlantic Oscillation-NAO) ve Avrupa blok indeksi (European Blocking-EB) bilgilerini içeren ve içermeyen modellerin tümünde Palmer Hidrolojik Kuraklık İndeksi ve iklim indeksleri arasında yüksek bir korelasyon bulunmuştur. Çalışmada, NAO ve EB endekslerinin Sicilya'daki kuraklık gelişimi üzerinde bir miktar etkisi olduğu belirlenmiştir.

Ünlükara vd. (2010), Kayseri ilinde 1975-2009 yılları arasında ölçülen aylık toplam yağış verileri ile hesaplanmış referans bitki su tüketimi (ET_o) değerlerini kullanarak keşif kuraklık indeksine (Reconnaissance Drought Index-RDI) göre kuraklık analizi yapmışlardır. Dört dönem (Ocak-Mart:k1, Ocak-Haziran:k2, Ocak-Eylül:k3, Ocak-Aralık:k4) için aylık toplam yağmur serileri ve aylık ET_o serileri ile RDI değerleri saptanmıştır. Kayseri'de RDI değerlerine göre çoğunlukla hafif kuraklık olduğu; orta derece, şiddetli ve aşırı kuraklıkların az olmakla birlikte zaman zaman yaşandığı belirtilmiştir.

Yürekli vd. 2010 yılında yaptıkları çalışmada, Karaman'ın SPI, RDI ve EDI indeksine göre kuraklığını belirlemeyi amaçlamışlardır. Karaman istasyonunda, 1975–2009 arasında gözlenen aylık yağmur verileri ile Penman-Monteith eşitliği kullanılarak belirlenen ETo değerleri kullanılarak, dört dönem (Ocak-Mart:k1, Ocak-Haziran:k2, Ocak-Eylül:k3, Ocak-Aralık:k4) için toplam aylık yağmur serileri ve aylık ETo oranı serileri oluşturulmuştur. Bu serilerden EDI, RDI ve SPI değerleri hesaplanmıştır. İndislere göre son yıllarda Karaman'da kurak bir dönem başladığı görülmekte olup, ilde RDI sınıflarına göre çoğunlukla hafif ve orta derece kuraklığın yaşandığı belirtilmiştir. Sattari vd. (2010), Ankara ilin de Ocak 1975-Aralık 2016 arasında kaydedilen meteorolojik verilerinden faydalanarak, ileri beslemeli geri yayımlı YSA yöntemiyle ETo modelleri geliştirmişlerdir. Penman-Monteith yöntemi ile hesaplanan ETo değerleri ve yağış, sıcaklık, nem, rüzgâr hızı ve güneş radyasyonu verilerinin çeşitli kombinasyonları ile YSA modelleri denenmiştir. Bu model sonuçlarında elde edilen ETo değerleri, Penman-Monteith yöntemi ile hesaplanan ETo değerleri ile karşılaştırılmış ve YSA modellerinin Ankara için iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Abarghouei vd. (2011), İran'ın aşırı kurak olan Ardakan bölgesinde kuraklık tahmini yapmak için YSA'dan yararlanmışlardır. 4 yağmur istasyonundan toplanan verilerden yararlanarak, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık SPI değerlerini elde etmişlerdir. Farklı YSA yapılarının değerlendirilmesi ve test edilmesinden sonra, eğim inişli geri yayılım (gradient descent back propagation-training) ağının diğerlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Daha sonra farklı aylık gecikme süreleri (1-12 ay) için SPI değerleri test edilmiştir. Genel olarak, Ardakan bölgesinde yapay sinir ağları ile kuraklık tahmininde korelasyon katsayısı (R) 0.79'dan fazla bulunmuş, çoğu durumda 0.90'dan daha yüksek ve dikkate değer sonuçlar elde edilmiştir.

Dastorani ve Afkhami (2011), İran'ın Yazd meteoroloji istasyonunda kuraklık tahmini için Neuro Solution programında çok katmanlı algılayıcı (Multi-Layer Perceptron-MLP), geliştirilmiş ileri besleme (Generalized Feed Forward-GFF), modüler sinir ağı (Modular Neural Network-MNN), temel bileşen analizi (Principal Component Analysis-PCA), yinelemeli ağ (Recurrent Network -RN) ve zaman adımıyla yinelemeli ağ (Time Lag Recurrent Network-TLRN) gibi farklı tiplerde YSA kullanmış ve değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada, 1966-2000 yılları arasındaki yağışın 3 yıllık hareketli ortalamaları, maksimum sıcaklık, ortalama sıcaklık, bağıl nem, ortalama rüzgâr hızı, yaygın rüzgârın yönü ve buharlaşma gibi meteorolojik parametrelerin çeşitli kombinasyonları girdi olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, dinamik yapıya sahip RN ve TLRN gibi ağlar bu çalışma için daha iyi sonuçlar vermiştir. Tek bir gizli katman ve hiperbolik tanjant transfer fonksiyonuna sahip TLRN ağı, gelecek yılın 3 yıllık hareketli ortalama yağışını tahmin etmek için en uygun model yapısı olmuştur. Sonuçlar, doğruluğu en yüksek model çıktılarını elde etmek için yağış ve maksimum sıcaklık verileri girdi kombinasyonunun, en uygun girdiler olduğunu göstermiştir. Genel olarak, YSA'nın kuraklık olaylarını modellemek ve tahmin etmek için etkili bir araç olduğu saptanmıştır.

Sattari vd. (2011), 1975-2009 yılları arasında Karaman istasyonunda ölçülen aylık yağmur verilerini kullanarak 3, 6, 9 ve 12 aylık periyotlardaki SPI değerlerini hesaplamışlardır. Modellemede İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağları (Feed Forward Back Propagation Artificial Neural Network-FFBPANN) metodu kullanılmıştır. Modelde girdi olarak yağış verileri ve SPI değerleri kombinasyonları kullanılarak gelecek için kuraklık tahminleri yapılmıştır. YSA kullanılarak elde edilen SPI değerleri 1999-2009 arası için test edilmiştir. En iyi FFBPANN modeli seçilirken, AMaxE (Absolute Maximum Error), AMinE (Absolute Minimum Error), MAE (Absolute Mean Error), MSE (Mean Square Error), NMSE (Normalized Mean Square Error) ve doğrusal korelasyon katsayısı göz önüne alınmıştır. Sonuç olarak modelin uzun periyotlarda SPI değerlerini tahminde zorlandığı, bunun uzak ve yakın dönemlerde yağış serileri arasındaki korelasyonun düşük olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir.

Marj ve Meijerink (2011), İran'ın kuzeybatısındaki Azerbaycan Eyaleti'nin Ahar-chay havzasında yaptıkları çalışmada 18 yıllık yağış verisini kullanmışlardır. Tarımsal kuraklık tahmini için, uydu verisine dayanan normalleştirilmiş fark bitki örtüsü indeksi (Normalized Difference Vegetative Index-NDVI) esas alınarak, etkili iklimsel sinyaller ve YSA'nın kullanıldığı yeni bir model önerilmiştir. Uygulanan YSA, ileri beslemeli çoklu sinir ağıdır. Modelin girdileri, Güney Salınım İndeksi (Southern Oscillation Index-SOI) ve NAO iklim sinyalleridir. NDVI indeksini YSA ile tahmin etmede; yakın dönem ve değerlendirme için normal yöntem (Normal Method-NM) kullanılmış, daha uzun (18 yıllık) süre için ise hareketli pencere yöntemi (Moving Window Method-MWM) kullanılmıştır. Sonuçlar; Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında sentetik NDVI'nin, önceki (1 yıllık) ilkbahar döneminin aynı aylarını kapsayan SOI ve NAO indekslerinin girişi ile YSA kullanılarak tahmin edilebileceğini göstermektedir. Diğer dönemler-mevsimler için NDVI tahmininde bu indekslerin katkısı bulunamamıştır.

Rezaeian-Zadeh ve Tabari (2012), yaptıkları çalışmada İran'daki beş sinoptik istasyonda, SPI değerlerini tahmin etmişlerdir. Bu amaçla, tanjant sigmoid aktivasyon fonksiyonu ile Levenberg-Marquardt eğitim algoritmasını kullanarak MLP ağı uygulamışlardır. Çalışma istasyonları, De Martonne kuraklık indeksine göre farklı iklim bölgelerinde bulunmaktadır. Bu çalışmada, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık toplam yağış serileri kullanılmış ve SPI3, SPI6, SPI9, SPI12 ve SPI24 hesaplanmıştır. 4 farklı MLP modeli oluşturulmuştur. İlk modelde; 1, 2, 3 ve 4 aylık gecikmeli SPI ile 1 ve 2 aylık zaman gecikmeli öncül yağışlar girdi olarak kullanılmış ve MLP1 oluşturulmuştur. 1 aylık zaman gecikmeli öncül NAO veya öncül SOI veya her ikisinin de MLP1'e eklenmesi ile sırasıyla MLP2, MLP3 ve MLP4 elde edilmiştir. Modellere NAO ve SOI'nin eklenmesi tahmin doğruluğunu artırmıştır. Sonuçlar, MLP4'ün diğer MLP'lerden daha yüksek bir doğrulukla tahminler verdiğini göstermiştir. Ayrıca modeller, uzun süreli olan SPI12 ve SPI24 değerlerini diğer SPI değerlerinden daha doğru tahmin edebilmişlerdir.

Barua vd. (2012), kuraklık koşullarını sınıflandırmak için doğrusal olmayan birikimli kuraklık indeksini (Nonlinear Aggregated Drought Index -NADI) geliştirmişlerdir. İki YSA tahmin modeli, yinelemeli çok basamaklı sinir ağı (Recursive Multistep Neural Network-RMSNN) ve doğrudan çok adımlı sinir ağı (Direct Multi Step Neural Network-DMSNN) modeli kullanılmıştır. YSA tabanlı kuraklık tahmin modelleri ile otoregresif entegre hareketli ortalama (Autoregressive Integrated Moving Average -ARIMA) modeli karşılaştırılmış, sonuçlar RMSNN ve DMSNN modellerinin ARIMA modelinden daha iyi performans sergilediğini göstermiştir.

Sattari vd. (2012), Ankara ilinin 1926-2006 yılları arasında yağış, rüzgâr, nem ve sıcaklık ölçümlerini kullanarak, kuraklık koşullarını aylık ve yıllık bazda karar ağacı teknikleri ile değerlendirmişlerdir. Veri madenciliği araştırması sonucunda rüzgâr, nem ve sıcaklık parametrelerinin, kuraklık analizlerinde yağış kadar etkili olmadığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, Ankara ilinin genelde normal ve neredeyse normal kurak iklime sahip olduğu belirtilmiştir. Yağış miktarının tüm aylarda, ocak ayında ise yağış ile rüzgârın kuraklığın belirlenmesinde dikkate alınması gerektiği ifade edilmiştir.

Cebeci vd. (2013), Ankara Yenimahalle Güvenç Havzası için havzanın kurak periyotları ile yağış, kuraklık ve aşındırıcı güç indekslerini hesaplamışlardır. Havzanın, 1984–2008 yılları arasında gözlenen yağış ve sıcaklık verilerini kullanarak Fournier Yağış İndisi ve Bagnouls–Gaussen Kuraklık İndisini belirlemişlerdir. 63.8 olan yağış indisi az, 112.6 olarak hesaplanan kuraklık indisi kurak, 5.3 değeri ile aşındırıcı güç indisi ise orta düzey olarak belirlenmiştir. 2002 yılında en uzun süreli kuraklık, 1998 yılında en kısa dönemli kuraklık ve Ağustos 2008’de en şiddetli kuraklık meydana gelmiştir.

Masinde (2013), MATLAB programının YSA aracını kullanarak yaptığı çalışmada, Kenya’da yer alan 4 iklim istasyonunun 30 yıldan fazla günlük hava verileri ile EDI’ni hesaplamıştır. 1 günden 4 yıla kadar değişen zaman ölçekleri için kuraklık tahmin modellerini denemiştir. Model sonuçlarında, EDI değerleri ile ölçülen değerler arasında %75 ila %98 arasında korelasyon değerleri elde edilmiştir.

Yürekli vd. (2013a), Ankara merkez meteoroloji istasyonunun 1970-2012 yılları arası aylık toplam yağmur miktarları ile ETo hesaplanmasında göz önüne alınan meteorolojik verileri kullanılarak 3, 6, 12, 24 ve 48 aylık periyotlardaki RDI indislerini hesaplamışlardır. 100 yıllık dönemde sıcaklığın 5°C artacağı varsayımı ile aynı dönemler için RDI indisleri hesaplanarak indisler arasındaki fark belirlenmiştir. Çalışmada, RDI indisinin kuraklık şiddetinde küresel ısınmadan kaynaklanan değişimi yansıtabileceği sonucuna varılmıştır.

Yürekli vd. (2013b), Ekinli II Göleti havzasında, 1967-1999 yılları arası günlük, aylık ve yıllık yağış verilerini kullanarak, yağışların kuraklık eğilimlerini SPI yöntemiyle belirlemişlerdir. SPI değerleri iki parametrelili gama dağılımı kullanılarak standart normal dağılımdan elde edilmiştir. Çalışmada, havzanın kuraklık eğilimi 6, 12, 24 ve 48 aylık süreler için araştırılmıştır. 12 aylık süre için hesaplanan SPI sonuçlarında hafif kuraklık, 24 aylık sürede orta derece kuraklık, 48 aylık sürede şiddetli kuraklık ve 6 aylık süre için ise aşırı şiddetli kuraklık sınıfı daha fazla görülmüştür.

Ünlükara ve Yürekli (2013), yaptıkları çalışmada Kayseri ili için SPI ve Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksini (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index-SPEI) 35 yıllık (1975-2009) veriler kullanılarak 3, 6, 9 ve 12 aylık dönemler için hesaplamışlardır. Sıcaklığın 3°C (Senaryo I) ve 5°C (Senaryo II) artışı için SPEI değerleri hesaplanmıştır. Aynı dönemler için hesaplanan SPI ile SPEI arasındaki farklılık ortaya konulmaya çalışılmıştır. Gerçek veriden elde edilen SPEI grafikleri ile Senaryo I ve II'ye göre elde edilen SPEI grafiklerinde kuraklıkların süresi ve şiddetinde önemli ölçüde bir değişiklik gözlenmemiştir. Sonuçlar, 1990'lı yıllardan sonra Kayseri ilinde sıcaklığın $3-5^{\circ}\text{C}$ derece artması halinde kuraklığa girildiğini göstermektedir. Özellikle Senaryo II'ye göre kuraklığın şiddetinin artarak devam edeceği görülmektedir.

Yu vd. (2013), Çin’de bulunan 609 noktada, 1951-2010 yılları arasında gözlenen aylık yağış ve hava sıcaklığı değerlerini kullanarak 3 ve 12 aylık SPEI hesaplamışlardır. Çin’deki kuraklığın, uzun dönemli eğilimler, etkilenen bölge oranı, yoğunluk, süre, kuraklık sıklığı v.b. çeşitli özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada, doğrusal olmayan eğilimleri saptamak için uygun olan, parametrik olmayan Mann-Kendall (MK) testi kullanılmıştır. Sonuçlar, şiddetli ve aşırı kuraklığın, 1990’ların sonundan itibaren Çin’in tüm bölgelerinde giderek önemli olmaya başladığını ortaya koymuştur.

Anlı, 2014 yılında yaptığı çalışmada, Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde ETo’nın zamansal değişimi ve RDI parametrelerini kullanarak meteorolojik kuraklık analizi yapmıştır. Penman-Monteith yöntemiyle bölgedeki iller için referans bitki su tüketimi tahmin edilmiş ve bir yıl dört dönemde (k1, k2, k3 ve k4) incelenmiştir. Bu dönemler için referans bitki su tüketiminin zamana bağlı değişimi Dickey-Fuller ve Mann Whitney U testleri kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmada, referans bitki su tüketiminin eğiliminin zamanla arttığı ve RDI’ya göre bölgede genel olarak hafif kuraklık yaşandığı ve önemli miktarda orta ve şiddetli kuraklığın görüldüğü belirtilmiştir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde kuraklıkla birlikte kültür bitkilerinin referans bitki su tüketiminin artması ve tarımsal masrafların yükselmesi beklenmektedir.

Wambua vd. (2014), Tana nehri yukarı havzasındaki kuraklığın etkilerini belirlemeyi ve kuraklık tahmin yöntemleri ile kuraklık indekslerini tanımlamayı amaçlamışlardır. Yukarı Tana Nehri havzası için su kaynaklarının entegre yönetiminin önemini vurgulamışlar ve bu tür bir yönetimin, planlama, geliştirme, dağıtım, mali yönetim ve su kullanımını kontrol etmeyi kapsaması gerektiğine ve tüm paydaşları bu yönleriyle dahil etmenin önemine değinmişlerdir. Yukarı Tana nehri havzasındaki su seviyelerinde büyük bir dalgalanma olduğu ve bunun kuraklık sıklığının, süresinin ve şiddetinin artmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Kurak dönemlerde, havzada su kalitesinin azaldığı ve suyun evsel içme suyu, hidroelektrik üretimi ve sulamada paylaştırılmasında büyük bir zorluk yaşandığı vurgulanmıştır. Önlem alabilmek ve kaynaklarının yönetimine rehberlik etmek için kuraklık oluşumu ve erken uyarı sistemi hakkında bilgi sahibi olmanın gerekli olduğu ve etkili bir kuraklık tahmin aracı geliştirilmesinin öneminden bahsetmişlerdir.

Srivastava vd. (2014), yaptıkları çalışmada çok sayıda parametreye sahip derin sinir ağlarının çok güçlü bir makine öğrenme sistemi olduğunu ve bununla birlikte, aşırı öğrenmenin bu tür ağlarda ciddi bir sorun yarattığını belirtmişlerdir. Büyük ağların kullanımının yavaş olmasının, test sırasında birçok farklı büyük sinir ağı tahminlerinin birleştirilmesinde aşırı öğrenmeyle baş etmeyi zorlaştırdığını ifade etmişlerdir. Bırakmanın (dropout) bu sorunun çözümünde kullanılan bir teknik olduğu belirtilerek, birimleri (bağlantıları ile birlikte) eğitim sırasında sinir ağından rastgele çıkarmak gerektiği, bunun birimlerin aşırı öğrenmelerini önleyeceği vurgulanmıştır. Eğitim sırasında, üstel sayıda "inceltilmiş" ağlardan örnekler atılmasının, aşırı öğrenmeyi önemli ölçüde düşüreceği ve diğer normalleştirme yöntemlerine kıyasla önemli gelişmeler sağlayacağı ifade edilmiştir. Bu bırakma işleminin görme, konuşma tanıma, belge sınıflandırması ve hesaplama biyolojisindeki denetlenen öğrenme görevlerine dair sinir ağlarının performansını geliştirdiğini, pek çok kıyaslama verilerinde en gelişmiş sonuçları elde ettiğini göstermişlerdir.

Anonim (2015), tarafından hazırlanan “Konya Havzası Kuraklık Yönetim Planı” çalışmasında, klimatolojik, meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklık türleri için aridite ve kuraklık indislerinden Konya Havzası’nın koşullarına uygun olanları belirlenmiştir. Bu amaçla, Erinç Kuraklık İndisi (Im), UNEP/UNCCD Aridite İndisi (AI), Aydeniz Kuraklık İndisi, Palmer Kuraklık İndisleri (PDSI, PHDI ve Palmer Nem Anomali İndisi -Z İndisi), SPI, PNPI, Su Kullanım İndisi (WEI) kullanılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre, 12-aylık SPI sonuçları değerlendirildiğinde, Konya Havzası’nın (Karapınar dışında) kurak istasyonları olarak tanımlanabilecek Çumra, Aksaray, Karaman, Kulu ve Niğde bölgelerinin orta düzeyde kurak olma olasılıkları %7-9, klimatolojik kuraklık ise en düşük Seydişehir %7, en yüksek Beyşehir %11 olmak üzere havzanın en yağışlı iki istasyonunda görülmüştür. PDSI’nin çok kurak olma olasılıkları, en düşük % 4.6 ile Beyşehir ve en yüksek yaklaşık % 10 ile Konya’da görülürken, aşırı kurak olma olasılıkları en düşük % 0.2 oranında Seydişehir’de ve en yüksek % 9 oranında Kulu’da olduğu hesaplanmıştır. PDSI serileri ile Havza’da 1972-1974, 1984-1985, 1989-1990, 1999-2001, 2004-2008 ve 2012-2013 dönemlerinde önemli kuraklıklar yaşandığı belirlenmiştir.

Hong ve Hong (2015), Malezya'daki Selangor nehri havzasında kuru ve ıslak dönemlerin her ikisi için de 8 istasyonun uzun dönem ortalama aylık yağış verileri ile 3 ila 9 aylık SPI değerlerini MLP yapay sinir ağı yöntemi ile türetmişlerdir. Sonuçlar, uzun süreli SPI değerlerinin, MLP yapay sinir ağı modeli kullanılarak daha yüksek doğrulukla tahmin edilebileceğini göstermiştir.

Wu vd. (2015), 1951-2012 döneminde Güneybatı Çin'de ölçülen yağış, sıcaklık, simule toprak nemi ve akış verilerini temel alarak; meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklıklar arasındaki ilişkileri farklı zaman ölçeklerinde analiz etmişlerdir. Meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklığı belirlemek için sırasıyla, SPEI, toprak nemi anomali yüzde endeksi (Soil Moisture Anomaly Percentage Index -SMAPI) ve standartlaştırılmış akış indeksi (Standardized Runoff Index -SRI) kullanılmıştır. Sonuçlar, üç endeks arasında iyi bir korelasyon olduğunu göstermiştir. SMAPI, 3 aylık SPEI ve SRI değerleri ile en iyi korelasyona sahip olup, tarımsal kuraklığın 3 aylık bir ölçekle karakterize edildiğini göstermiştir. Üç kuraklığın yayılma özellikleri belirgin olarak farklılık göstermiştir. Sonuçlar, üç kuraklık türü arasındaki niceliksel ilişkileri göstermiş ve bölgesel kuraklık izleme ve stratejik kararlar almak için önemli bir destekleyici kanıt sağlamıştır.

Deo ve Şahin (2015), doğu Avustralya'da bulunan sekiz istasyonda yaptıkları çalışmada, 1915-2005 yılları arasındaki verileri kullanarak, 2006-2012 yılları arasındaki aylık SPI ve SPEI değerlerini tahmin ederek, YSA'nın uygulanabilirliğini test etmişlerdir. En iyi YSA mimarisi, 18 girdi nöronu, 43 gizli nöron ve 1 çıktı nöronu ile Levenberg-Marquardt eğitim algoritması, aktivasyon ve çıktı fonksiyonu olarak tanjant sigmoid denkleminde oluşmuştur. Çalışma sonucunda mevcut YSA modelleri SPEI tahmininde başarılı olduğu ve bu nedenle modelleme tekniklerinin, bilim adamları ve mühendisler için önemli pratik yararlar sunduğu belirtilmiştir.

Maca ve Pech (2015), yaptıkları çalışmada 2 farklı yapay sinir ağı modeline dayanan kuraklık indisleri tahminlerini karşılaştırmışlardır. İlk model çok katmanlı algılayıcı, diğeri ise entegre sinir ağı modelidir. Analiz edilen kuraklık indeksleri, SPI ve SPEI'dır. Modellerin karşılaştırılması, altı model performans ölçümüne dayanmaktadır. Veriler Amerika'daki iki farklı su havzasından alınmıştır. Kuraklık indisleri tahmin sonuçları; entegre sinir ağı modelinin, ileri beslemeli çok tabakalı algılayıcı modelinden üstün olduğunu ortaya koymuştur.

Valipour (2016), İran'ın Gilan bölgesinde bulunan 27 yağış istasyonunun yıllık yağış verilerinden 1968-1988 dönemindeki verileri yapay sinir ağının kalibrasyonu ve 1989-1999 yıllarına ait verileri ise test için kullanmıştır. Çalışmada, MATLAB yazılımının YSA aracındaki doğrusal olmayan otoregresif sinir ağı (Non-Linear Autoregressive Neural Network -NARNN), doğrusal olmayan giriş ve çıkış (Non-Linear Input-Output -NIO) ve dış kaynaklı girişli NARNN (NARNN with exogenous input-NARNNX) yapıları kullanılmış ve karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, NARNNX'in doğruluk oranının, NARNN ve NIO' dan daha iyi olduğunu göstermiştir. Gizli katmandaki nöron sayısının optimizasyonu, ağ doğruluğunun artmasına yol açmıştır. Sonuçlar, ayrıca, optimize edilmiş YSA'ların sadece vaka çalışması için değil, aynı zamanda çeşitli yağış aralıklarında tüm nemli bölgeler için de geçerli olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada, YSA'ların optimizasyonunun pik noktalarının tahmin doğruluğunu arttırdığı gösterilmiştir.

Le vd. (2016), Vietnam Khanhhoa eyaletinde yaptıkları çalışmada, 1977-2014 yılları arasındaki dönem için 3 ayrı istasyondan alınan yağış ve sıcaklık verilerini kullanarak; 3, 6 ve 12 aylık SPEI'ni tahmin etmek için gecikmeli iklim sinyallerini incelemişlerdir. Kuraklık endeksinin çeşitli çevresel sinyallere nasıl tepki verdiğini araştırmak ve endeksin tahmin edilmesine izin veren, veriye dayalı model oluşturmak için çok katmanlı algılayıcı ileri beslemeli yapay sinir ağları yöntemini kullanmışlardır. Çalışma alanını çevreleyen Hint ve Pasifik Okyanusundaki beş iklim sinyali endeksi önceki gecikmeli SPEI ve yağış verileri ile birlikte girdi değişkenleri olarak seçilmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki, iklim sinyallerinin modele eklenmesi tahminleri iyileştirmiştir. Çalışmada, iklim sinyallerinin yerel değişkenler (gecikmeli SPEI ve yağış) kullanmadan öngörücüler haline gelebileceği belirtilmiştir. Gecikmeli iklim sinyallerinin, okyanus ve atmosferik dolaşımın değişimi ile ilişkili olduğu ve dünya genelinde yağış modelinin değişmesine neden olduğundan bu sinyalleri kullanmanın kuraklık gibi uç (veya ekstre-marjinal) olayları tahmin etmek için yararlı olacağı belirtilmiştir.

Dayal vd. (2016), Brisbane, Avustralya bölgesi için 4 iklim değişkenini (aylık yağış, potansiyel bitki su tüketimi, Güney Salınımı İndeksi ve Nifio 4 indeksi) girdi olarak kullanarak aylık SPI'yi YSA uygulayarak tahmin etmişlerdir. Kullanılan yapay zekâ tekniği dalgacık analizli bir melez yapay sinir ağı (W-ANN) ve yapay sinir ağıdır. Modelde aylık verilerin yaklaşık %80'i ağı eğitmek için kullanılmış, verilerin yaklaşık %10'u ağı doğrulamak için geri kalanı ise modelleri test etmek için kullanılmıştır. W-ANN modeli, geleneksel yapay sinir ağı modelinden daha iyi performans göstermiştir.

Khosravi vd. (2017), İran'ın doğusunda yer alan İsfahan bölgesinde yaptıkları çalışmalarında MODIS uydusundan alınan 2000-2014 dönemi verilerini kullanmışlardır. Bu verilerle uzaktan algılanan (Remotely Sensed -RS) kuraklık ve meteorolojik kuraklık endeksleri oluşturulmuştur. Daha sonra bu iki veri arasındaki korelasyon araştırılmış ve bazıları çalışma alanının da kuraklık şiddetinin izlenmesi için aday indeksler olarak seçilmiştir. Bunların zaman serisi davranışlarını modellemek için dört makine öğrenmesi yöntemi sinir ağı (Neural Network-NN), destek vektör regresyonu (Support Vector Regression-SVR), en küçük kareler destek vektör regresyonu (Least Squares Support Vector Regression-LSSVR) ve ANFIS kullanılarak karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, tüm indeksleri modellemede SVR'nin en yüksek ve NN'nin en düşük etkinliği olduğunu göstermiştir. Buna ek olarak, LSSVR ve ardından ANFIS'in, indeksleri modellemede diğer yöntemlerden daha hızlı olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanının son 15 yılın ilkbahar ve yaz mevsimindeki kuraklık şiddetini belirlemek üzere indeksler için 29 bulanık kural üzerine kurulu bir bulanık çıkarım sistemi (FIS) tasarlanmıştır. 2000 ve 2011 yılları hariç tüm yılların ilkbaharının normal olduğu ve bu iki yılda ılıman bir kuraklık koşuluna sahip olduğu gösterilmiştir. Buna karşılık, 4 yıllık yaz döneminde (2000, 2010, 2011 ve 2014) ılımlı kuraklık, geri kalan yılların yazında ise şiddetli kuraklık olduğu belirlenmiştir.

Ali vd. (2017), Pakistan'ın Kuzey Saha ve KPK bölgesinde bulunan 17 meteoroloji istasyonundan topladıkları aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık verilerini kullanarak her istasyon için SPEI'ni hesaplamışlardır. Çalışma alanında bulunan istasyonlardaki kuraklık tahmininde SPEI değerlerini tahmin etme yöntemini belirlemek için çok katmanlı algılayıcı (Multilayer Perceptron Neural Network-MLPNN) modeli kullanılmıştır. Sonuç olarak; SPEI değerleri, yağış ile potansiyel evapotranspirasyon (PET) arasındaki farkın olasılık dağılımına uygun olarak tahmin etmişlerdir. MLPNN modelinin operasyonel amaçlar için kullanışlı olduğunu, gözlemlenen ve tahmin edilen SPEI değerlerinden oluşan girdi verileri arasındaki farkın fazla olmadığını tespit etmişlerdir.

Agana ve Homaifar (2017), kuraklık tahminlerinde derin öğrenme algoritmalarının kullanımını incelemişlerdir. Standartlaştırılmış Nehir Akış Endeksinin (SSI), gecikmeli değerlerini girdi olarak kullanarak uzun süreli kuraklığı tahmin etmek için iki sınırlı Boltzmann makinesinden oluşan derin anlama ağını önermişlerdir ve performansını çok katmanlı algılayıcı ve destek vektör regresyonu modelleri ile karşılaştırmışlardır. Önerilen model, Üst Colorado Nehri Havzasında bulunan Gunnison Nehri Havzasındaki farklı zaman ölçekli kuraklık endekslerini tahmin etmek için uygulanmıştır. Derin anlama ağı modelinin, çok katmanlı algılayıcıya kıyasla uzun vadeli kuraklık tahmini için daha güvenilir ve etkili olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte destek vektör regresyonu üzerindeki performans daha az önemli olmuştur.

Le vd. (2017), kuraklıktaki uzun vadeli eğilim ile 2015-2016 El Nino'ya bağlı olarak beklenen, kısa fakat yoğun bir sulak dönem arasındaki karmaşık etkileşimleri araştırmak için tekrarlayan sinir ağlarını (RNN) kullanmışlardır. Bu El Nino mevsiminin bölgeye önemli miktarda yağış getireceği tahmin edilse de araştırmacıların Palmer Z indeksine (PZI) dayalı uzun vadeli tahminleri 1998-1999 El Nino olayıyla çelişen devam eden bir kuraklık eğilimi göstermiştir. Çalışmada daha uzun bir tarihsel veri kümesinin, daha iyi bir YSA eğitimi için gerekli olduğu, çünkü 1895- 2005 tarihsel kaydının, analiz edilmesi gereken yalnızca birkaç El Nino olayını içerdiği belirtilmiştir. Gerçekleştirilen metodolojinin elde ettiği sonuçların, sadece geçmiş PZI zaman serilerine dayanan gelecek yıl için aşırı değerleri tahmin etmede oldukça tatmin edici olduğu sonucuna varılmıştır.

Dehghani vd. (2017), Amerika'da bulunan Black River havzasında yaptıkları çalışmada, hidrolojik kuraklık indekslerini temsilen farklı zaman ölçekleri için standartlaştırılmış hidrolojik kuraklık indeksini (Standardized Hydrological Drought Index -SHDI) benimsemişlerdir. 3, 6, 9 ve 12 aylık hidrolojik kuraklık tahmini için dinamik doğrusal konumsal-zamansal model (Dynamic Linear Spatiotemporal Model -DLSTM) ile YSA modellerinin performansını karşılaştırmışlardır. DLSTM hemen hemen tüm zaman ölçekleri için (3, 6, 9 ve 12 aylık) SHDI tahminlerinde YSA'dan çok daha üstün performans göstermiştir.

Kâtip (2018), YSA yöntemi ile SPI indeksini tahmin ederek, Bursa ilindeki meteorolojik kuraklığı belirlemek amacı ile yaptığı çalışmada, sıcaklık, yağış, güneşlenme süreleri ve 10 cm derinlikte toprak sıcaklığı verilerini kullanmıştır. 3, 6, 9 ve 12 aylık dönemler için

bulunan SPI değerlerine göre kuraklık tahminlerinde, 12 aylık SPI değerlerinin meteorolojik ve tarımsal kuraklık için daha iyi bir gösterge olduğu ve toprak sıcaklığının kuraklığı belirlemede etken bir parametre olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmada ayrıca YSA'nın SPI ve kuraklığı tahmin etmede etkili bir araç olduğu belirtilmiştir.

Ali vd. (2018), Pakistan'da yer alan İslamabad, Dera İsmail Han ve Multan bölgelerini kapsayan çalışmalarında 1981-2015 yıllarına ait yağış, aylık ortalama sıcaklık ve aylık ortalama bağıl nem verilerini kullanarak, SPI'yi tahmin etmeye çalışmışlardır. Çalışmada, Komite aşırı öğrenme makinesi (Committee Extreme Learning Machine - Comm-ELM) modeli, komite parçacık sürüsü optimizasyonu adaptif nöro bulanık çıkarım sistemi (Committee Particle Swarm Optimization-Adaptive Neuro Fuzzy Inference System - Comm-PSO-ANFIS) modeli ve komite çoklu doğrusal regresyon (Committee Multiple Linear Regression - Comm-MLR) modeli ile karşılaştırılmış ve komite aşırı öğrenme makinesi (Comm-ELM) modelinin 3 istasyonun hepsinde daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiş ve kuraklık tahmin modelinde periyodiklik döngüsünün önemi vurgulanmıştır.

Munir vd. (2018), Malezya'da yer alan Langat Nehri Havzasına ait 1986-2016 yılları arasındaki yağış ve su seviyesi verilerini kullanarak, 2 adet sinir ağı tabanlı model ve 2 adet dalgacık tabanlı yapay sinir ağı (Wavelet-Based Artificial Neural Network - W-ANN) modeli ile meteorolojik ve hidrolojik kuraklığı temsil eden Standart Yıllık Yağış İndeksi (Standard Index of Annual Precipitation - SIAP) ve Standartlaştırılmış Su Depolama İndeksini (Standardized Water Storage Index - SWSI) tahmin etmişlerdir. Çalışmada, sinir ağı tabanlı modeller ve dalgacık tabanlı modellerin ikisinde de korelasyon katsayısı yüksek bulunmuş ve her iki modelleme yönteminin de güvenilir olduğu belirtilmiştir.

Mouatadid vd. (2018), Doğu Avustralya'da kuraklığa eğilimli bir bölgede bulunan altı meteoroloji gözlem istasyonunda ölçülen parametreleri çalışma verisi olarak kullanmışlardır. SPEI'yi tahmin etmek için aşırı öğrenme makineleri (ELM) modeli, YSA modeli, çoklu doğrusal regresyon (MLR) modeli ve en küçük kareler destek vektör regresyon (Least Square Support Vector Regression - LSSVR) modeli karşılaştırılmıştır. Altı istasyondan alınan Ocak 1915 ve Aralık 2012 tarihleri arasındaki aylık yağış (P, mm), maksimum sıcaklık (Tmax, °C) ve FAO-56 Penman-Monteith bazlı ET₀ (mm) verilerinden SPEI elde edilmiştir. Modellerde giriş verileri olarak 1, 3, 6 ve 12 aylık

gecikmeli SPEI ($SPEIm-1$, $SPEIm-3$, $SPEIm-6$, ve $SPEIm-12$) değerleri kullanılmıştır. Sonuçlar, ELM ve YSA modellerinin MLR ve LSSVR modellerinden daha iyi performans gösterdiğini ve dört modelin hepsinin de üç aylık SPEI tahminlerine kıyasla 12 aylık SPEI değerlerini daha büyük bir doğrulukla tahmin ettiğini göstermiştir.

Soh vd. (2018), Langat Nehir Havzası'ndaki 1, 3 ve 6 aylık zaman ölçeklerinde SPEI'yi tahmin etmek amacıyla Dalgacık ARIMA YSA (Wavelet-ARIMA-ANN - WAANN) modelini ve dalgacık uyarlamalı ağ bulanık çıkarım sistemi (Wavelet-Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System-WANFIS) modelini uygulamışlardır. Modellerde, 2008-2015 arası SPEI değerlerini tahmin etmek için 1976-2007 arasındaki geçmiş SPEI verileri kullanılmıştır. İki modelin tahmin doğruluğunun zaman leği uzunluğunda arttığı tespit edilmiştir. SPEI-1'in tahmini için, her iki modelle ilgili hataların göreceli olarak yüksek olduğu kabul edilmiş, performans ölçütlerine ve grafiklere dayanarak, WAANN modelinin SPEI-3 ve SPEI-6'nın tahmininde daha iyi olduğu belirtilmiştir.

Tyralis ve Papacharalampous (2018), ABD'deki 671 havza için günlük akış, yağış ve sıcaklık verilerini içeren CAMELS veri setini kullanarak, kayıp değerleri içeren veri setleri dahil tüm havzaları analizden ıkarımış ve son olarak kalan 513 havza için ortalama aylık akış, yağış ve sıcaklık zaman serilerini oluşturmuşlardır. 1980-2012 yılları arasındaki aylık değerlere çeşitli algoritmalar uydurarak, 2013 yılının aylık değerlerini tahmin etmişlerdir. Naive 1, Naive 2, ARFIMA, SES ve Prophet 1 algoritmaları olmak üzere yalnızca endojen tahmin değişkenlerini kullanan beş tahmin algoritması uygulamışlardır. Tahmin kalitesini RMSE, NSE (Nash-Sutcliffe Verimliliği), d (uzlaşma indeksi) ve KGE (Kling-Gupta Verimliliği) metriklerini kullanarak değerlendirmişlerdir. Sonuçlar, karşılaştırılan yaklaşımların eşdeğer ve tutarlı sonuçlar ürettiğini göstermiştir.

Papacharalampous vd. (2018), 985 adet 40 yıllık aylık sıcaklık ve 1552 adet 40 yıllık aylık yağış zaman serilerinden oluşan bir örneğe otomatik tek değişkenli zaman serisi tahmin yöntemleri uygulayarak aylık sıcaklık ve yağış tahmin edilebilirliğini araştırmışlardır. Yöntem olarak, rastgele yürüyüş (sapma ile), Otomatik Regresif Kesirli Entegre Hareketli Ortalama (ARFIMA), Box-Cox dönüşümü ile üstel düzgünleştirme durum-uzay modeli, ARMA hataları, Trend ve Mevsimsel bileşenler (BATS), basit üstel yumuşatma ile Theta ve Prophet metotlarını kullanmışlardır. Sonuçlar şunları göstermiştir: (a) rastgele yürüyüş yöntemleri dışında incelenen tüm yöntemler, uzun

sürekli uygulamalarda kullanılabilecek kadar doğrudur; (b) aylık sıcaklık ve yağış, diğer yöntemlerle iyileştirilerek, bir doğruluk düzeyine kadar tahmin edilebilir; (c) harici olarak uygulanan klasik mevsimsel ayrıştırma, BATS ve Prophet yöntemleri tarafından kullanılan otomatik mevsimsel ayrıştırma ile karşılaştırıldığında çoğunlukla daha iyi tahminlerle sonuçlanmıştır ve (d) Prophet, özellikle harici olarak uygulanan klasik mevsimsel ayrıştırma ile birleştirildiğinde rekabetçi bulunmuştur.

Papacharalampous ve Tyrallis (2018), Doniphan, Missouri’de bulunan Current Nehrinin 1981-2013 dönemi akış verilerini kullanarak, rastgele orman algoritması ve Prophet modelinin yedi gün sonrasına kadar akış tahmin performansını değerlendirmişlerdir. Sonuçlar, rastgele ormanların genel anlamda daha iyi performans gösterdiğini ve ani akış dalgalanmalarını daha tatmin edici şekilde tahmin ettiğini göstermiş ve Prophetin ortalama karekök hatası açısından daha kötü bir performans sergilediği belirtilmiştir.

Zhang vd. (2019), Çin’in Shaanxi eyaletinde bulunan 32 meteoroloji istasyonunun 1961-2016 yılları arasındaki günlük ortalama basınç, ortalama minimum sıcaklık, ortalama bağıl nem, ortalama rüzgâr hızı, yağış ve güneşlenme süresi verilerini kullanarak kuraklığı tahmin etmek için yeni bir model geliştirmişlerdir. 3, 6, 9 ve 12 aylık dönemler için SPEI kuraklık indeksini tahmin etmede ve kuraklık sınıflandırmada bir istatistiksel model olan çapraz korelasyon, dağıtılmış gecikmeli doğrusal olmayan model (Distributed Lag Non Linear Model-DLNM), yapay sinir ağı modeli ve XGboost modeli kullanılmıştır. XGboost modeli SPEI değerini ve kuraklık sınıflarını, DLNM, yapay sinir ağı ve çapraz korelasyon metotlarına göre daha yüksek doğrulukla tahmin etmiştir.

Oo ve Phyu (2020), Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresinden temin ettikleri 2010-2017 yılları arasındaki günlük ortalama sıcaklık verilerini kullanarak, Myanmar, Myitkina şehri için Facebook Prophet modeli ile 2018-2020 yılları için sıcaklık tahmini yapmışlardır. Önce 2010 ve 2011 yılları verilerini kullanarak 2012-2013 sıcaklık verilerini tahmin etmişler ve model tutarlığı yüksek çıkmıştır. Kurulan model ile 2018-2020 sıcaklıkları tahmin edilmiştir.

Toharudin vd. (2021), Bandung'daki beş yıllık günlük hava sıcaklıklarının tahmini için lineer zamansal konumsal model (Linear Spatiotemporal Model – LSTM) ve FP modellerini kullanmışlardır. Sonuçlara göre, FP maksimum hava sıcaklığında daha iyi

performans gösterirken, LSTM ise minimum hava sıcaklığında daha iyi performans göstermiştir. FP modelinden alınan RMSE, maksimum hava sıcaklığı için 1.03 ve minimum sıcaklık için 1.04 bulunmuştur. Bu modelin avantajı, LSTM modelinde olduğu gibi daha önce ayarlanacak herhangi bir parametre olmadığından modelleme süresinin LSTM modeline göre daha kısa olması şeklinde ifade edilmiş ve hem LSTM hem de FP, hava sıcaklığı tahmini için başarılı olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmalara göre, sıcaklık verilerinin tahmininde Prophet modelleri başarılı sonuçlar vermiştir.

Basak vd. (2022), batı Hindistan'daki yarı kurak bölgelerde bulunan 38 meteoroloji istasyonu için çoklu zaman ölçeklerinde SPI (SPI3, SPI6, SPI12 ve SPI24) hesaplamaları yaparak, Prophet modelinin meteorolojik kuraklığı tahmin etme kabiliyetini değerlendirmişlerdir. Bunun için Prophet, destek vektör regresyon (SVR) ve çoklu doğrusal regresyon (MLR) modelleri arasında karşılaştırma yapılmıştır. Sonuçlar, Prophet modelinin kuraklık tahmini için kabul edilebilir doğruluk sağladığını, buna karşın SVR ve MLR modellerinin determinasyon katsayısı (R^2) ve NSE verimliliği açısından kısa vadeli tahmin için daha büyük hata gösterdiğini ortaya koymuş ve kuraklık tahmini için yeni bir model olarak Prophet modeli önerilmiştir.

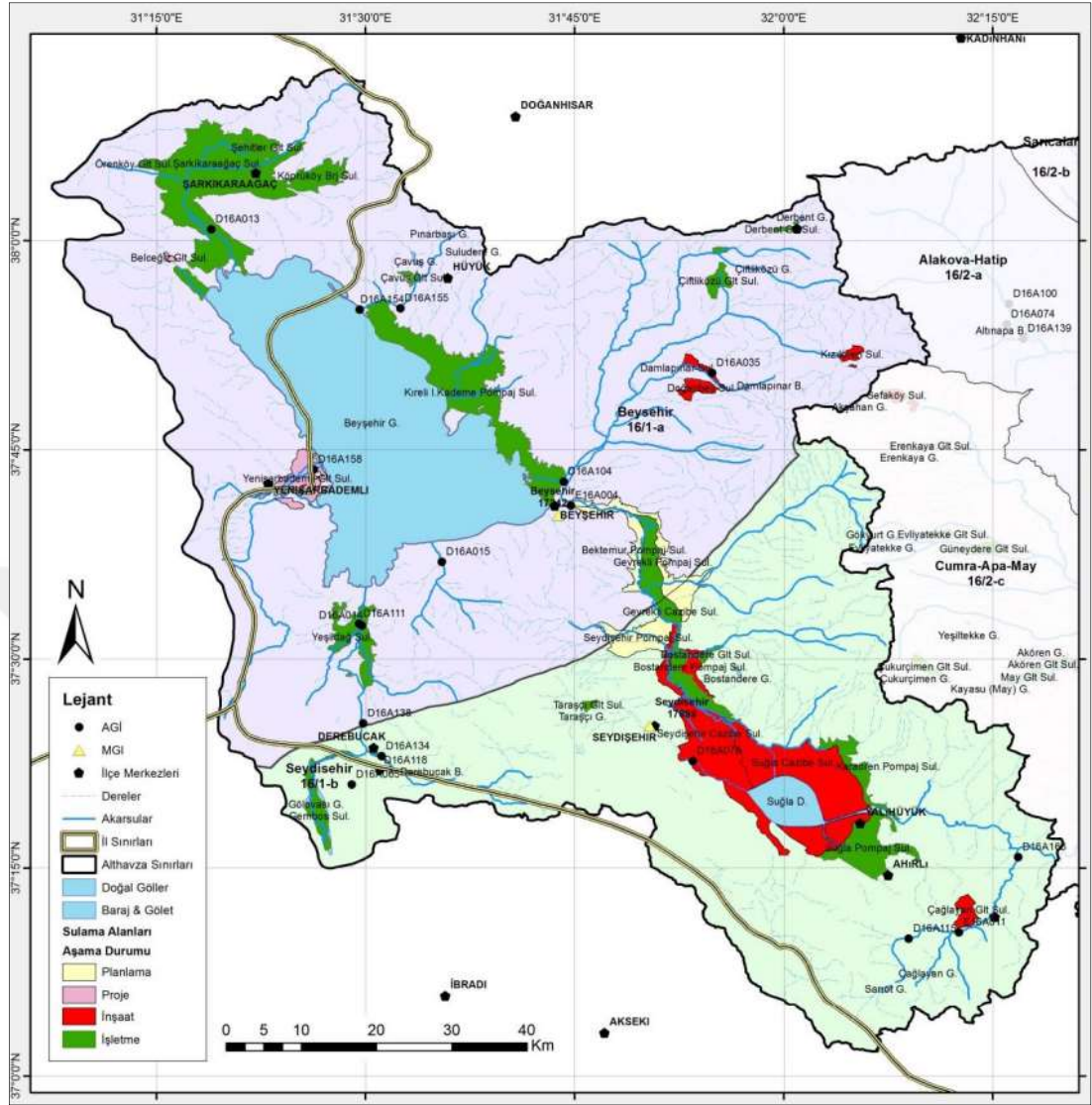
Bu çalışmada, MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü), EİE (Elektrik İşleri Etüt İdaresi) ve DSİ (Devlet Su İşleri)'den temin edilen yağış, sıcaklık ve akım verileri kullanılarak, kısa (5 yıl), orta (15 yıl) ve uzun (25 yıl) dönemli periyotlar için Beyşehir Gölü Havzasında görülebilecek yağış, sıcaklık ve akım verileri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Tahmin için yapay sinir ağlarından yararlanan ve kullanımı oldukça yaygınlaşan Neural Prophet ve Facebook Prophet modelleri kullanılmıştır. Geçmiş veriler ve modellerden elde edilen veriler yardımı ile kuraklık tahminleri yapılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3. 1 Materyal

Beyşehir Gölü Havzası, İç Anadolu Bölgesi'nde, Konya Kapalı Havzasının güney batısında, 31° 46'-31° 15' doğu boylamları ile 38° 03'- 37° 26' kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Havzanın batı tarafında Anamas Dağları, Kartoz Dağı ve Dedegül Dağı, doğu tarafında Alaca Dağ, Sultan Dağları, Erenkilit Dağı, kuzeyinde Şarkikaraağaç Ovası, güney tarafında ise Seyran ve Seydişehir Dağları bulunmaktadır (Özkan 2004).

Bölgedeki akarsulardan biri, Konya Ovası Sulama Projesi'nin ana kaynağı niteliğindeki Çarşamba Çayı'dır. Ayrıca Kızıloğlu Deresi, Huğlu tarafından gelen Hanboğazı Deresi, Karaburun mevkiinden göle karışan Soğukpınar, Elze Deresi, Üstünler Çayı, Kavak Çayı, Yeşildağ civarından gelen Kuru Dere, Doğanbey civarından gelen Sarıöz Deresi ve Sadıkhacı'dan çıkan Eflatunpınar Çayı gibi küçük bazı akarsuları vardır. Şekil 3.1'de Beyşehir Gölü Havzası ve havzadaki su kaynakları görülmektedir.

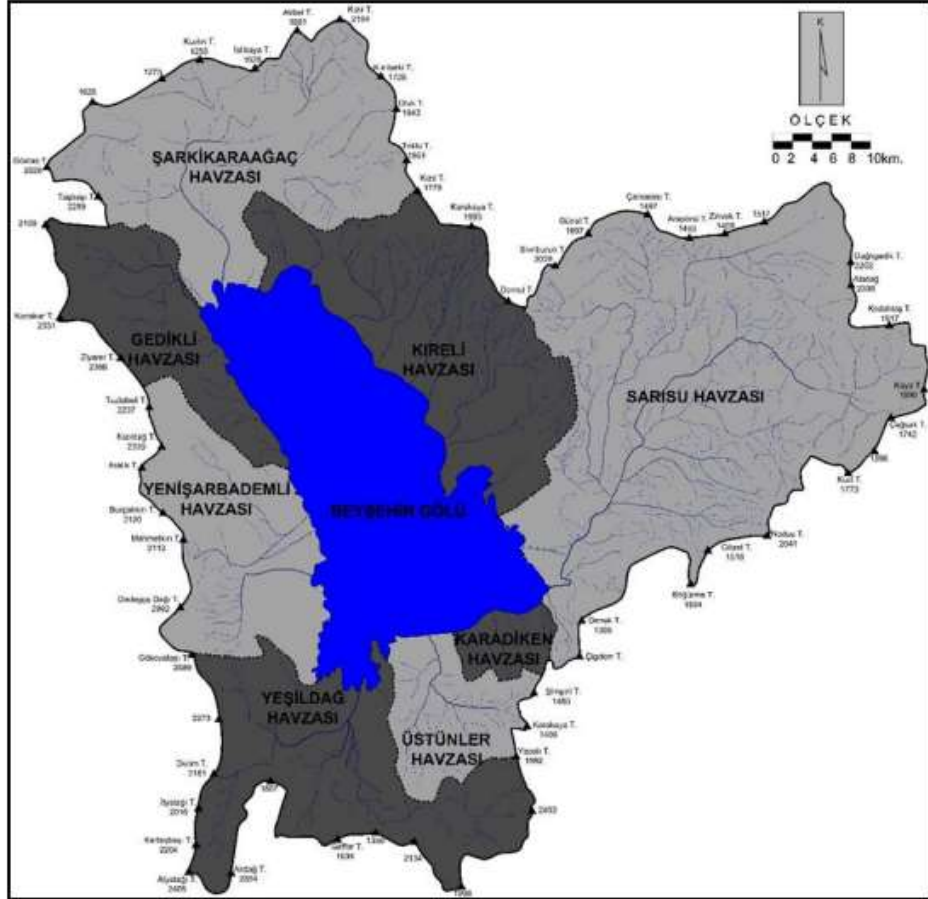


Şekil 3.1 Beyşehir Gölü Havzası

Beyşehir Gölü havzası; Şarkikaraağaç, Yenişarbademli, Yeşildağ, Kireli, Karadiken, Sarısu, Gedikli ve Üstünler olmak üzere sekiz alt havzaya ayrılmaktadır (Şekil 3.2 ve Çizelge 3.1). Havza alanı 4121 km² olup, 1134 km² ile en büyük alt havzası Sarısu, 58 km²'lik alanı ile en küçük alt havza ise Karadiken havzasıdır (Soyaslan ve Hepdeniz 2018).

Çizelge 3.1 Beyşehir Gölü alt havzaları

Havza Adı	İli	Alan (km ²)	Alan (%)
Şarkıkaraağaç	Isparta	576.09	16.67%
Kireli	Konya	495.86	14.35%
Sarısu	Konya	1134.27	32.83%
Karadiken	Konya	58.39	1.69%
Üstünler	Konya	166.97	4.83%
Yeşildağ	Konya	446.26	12.91%
Yenişarbademli	Isparta	341.16	9.87%
Gedikli	Isparta	236.42	6.84%
Toplam		3455.42	100%
Göl Alanı		665.80	16.15%
Havza Toplamı		4121.22	100%



Şekil 3.2 Beyşehir Gölü alt havzaları

Beyşehir Gölü Havzasında yer alan Şarkıkaraağaç, Yenişarbademli, Beyşehir ve Seydişehir meteoroloji istasyonlarının verileri, Özkan (2003) tarafından, Thornthwaite

yöntemi kullanılarak analiz edilmiş ve yapılan analiz sonuçlarına göre, Şarkikaraağaç ve Beyşehir’de, orta sıcaklıkta, yarı nemli, yaz döneminde yüksek düzeyde su açığı ile deniz iklimine benzer bir iklim hakimdir. Seydişehir ve Yenişarbademli’de ise, yine orta sıcaklıkta ve yaz döneminde yüksek düzeyde su açığı yaşanan, nemli bir iklim hakimdir.

Yapılan analize göre bölgede uzun süren yaz kuraklıkları yaşanmaktadır. Bitki vejetasyon döneminin büyük bölümü yaz kuraklığına denk geldiğinden, su eksikliği üretim verimini büyük ölçüde etkilemektedir. Yaz döneminde rüzgârların göl üzerinden geçmesi hava nispi nemi ve yağışlar üzerinde etkili olmaktadır. Bu nedenle yazın hâkim rüzgâr yönü büyük önem taşımaktadır. Beyşehir’de yazın hâkim rüzgâr yönü % 9.71 ile kuzey doğu, Şarkikaraağaç’ta % 5.46 ve % 4.47 esme oranı ile doğu ve kuzey doğudur. Genel olarak Beyşehir Gölü’nde, Kasım ayından Nisan ayına kadar gölden su kaçağı ve Mayıs ayından Ekim ayına kadar da gölde beslenme meydana gelmektedir. Yani su çekildiğinde gölde beslenme, suların göle ulaştığı zaman ise gölde kaçak meydana gelmektedir (Mercan 2006). Beyşehir Gölü Havzasını, yeraltısuyu girişleri, yüzeysel akış ve gölün aldığı yağışlar beslemektedir. Karstik kaçaklar, su tahliyesi, sulama ve buharlaşma ise gölden çıkışları oluşturmaktadır. Soğuksu, Yenişarbademli, Üstünler, Sarıöz, Ebülvefa, Eflatunpınarı, Kurucaova, Ozan ve Çavuş dereleri gölü beslerken, gölün tahliyesi Beyşehir çayı göl çıkışından, Seydişehir ovasını dolanarak düşük kotta yer alan Suğla Gölü yatağına doğru gerçekleşmektedir. 1914 yılında tamamlanan ve gölün çıkışında yer alan regülatör vasıtasıyla göl, tatlı su deposu olarak kullanılmaktadır (Soyaslan ve Hepdeniz 2018).

Tarım ve Orman Bakanlığınca 2018 yılında yayınlanan Konya Kapalı Havzası Sektörel Su Tahsis Planı’nda, su kaynaklarının havza ve alt havza ölçeğinde paylaşımının sağlanması, gelecekte her sektörün ihtiyacı olan suyun sosyo-ekonomik koşullar ve ihtiyaçlar göz önüne alınarak adil bir şekilde karşılanması amaçlanarak, 9 alt havza ve 10 sektör (İçme ve kullanma suyu, Tarım, Çevresel su ihtiyacı, Sanayi, Enerji, Maden, Hayvancılık, Su ürünleri, Turizm -jeotermal dahil, Ticari su) dikkate alınmıştır. Tüm alt havzalarda tarım sektörü su ihtiyacı en fazla olan sektördür. Beyşehir Alt Havzası’nda ise tarım sektörünün yanında çevre sektörü de önem kazanarak çevresel su ihtiyacı açısından diğer alt havzalar ile karşılaştırıldığında en yüksek talebi oluşturmaktadır. Çalışmada, havzadaki baraj, göl, depolama, göletler ve havza dışından su transferi dikkate alınarak

kullanılabilir yerüstü su potansiyeli hesaplanmış ve çizelge 3.2’de verilmiştir (Anonim 2018).

Çizelge 3.2 Konya Kapalı Havzası 2017 yılı kullanılabilir YÜS potansiyeli, hm³/yıl
(Anonim, 2017)

Alt Havzalar									Toplam
Beyşehir	Konya Çumra	Karaman Ayrancı	Ereğli Niğde Bor	Aksaray	Altınekin	Cihanbeyli Yeniceoba	Şereflikoçhisar	Misli	
916	157	139	151	114	0.5	8	14.7	3.7	1505

Beyşehir Gölü Havzası, içinde barındırdığı su kaynakları, tarım alanları ve milli parkı ile ülke ve bölge ekonomisi açısından önemlidir ve sahip olduğu doğal güzellikleri, biyolojik çeşitliliği ile birlikte İç Anadolu Bölgesi’nin en büyük kapalı havzası olan Konya Kapalı Havzası’nın en önemli tatlı su kaynağıdır. Gölde içme suyu temini (Beyşehir İlçesi ve 7 kasaba), tarımsal sulama (Konya Ovası, Şarkikaraağaç ve Kireli pompaj sulaması), balıkçılık ve turizm başta olmak üzere çok amaçlı olarak faydalanılmaktadır (Soyaslan ve Hepdeniz 2018).

Beyşehir Gölü, Türkiye’nin en büyük tatlı su gölüdür. Göl, deniz seviyesinden ortalama 1121 metre yüksektir ve Beyşehir Gölü Milli Parkı içinde yer almaktadır. Milli parkı 2017 yılında yaklaşık yarım milyon kişi ziyaret etmiştir. Milli park sınırları içinde 85 aile, 305 tür, 545 tür, 140 alt tür ve 54 varyete yer almakta olup, milli park alanı içinde bulunan 560 taksonun 88’i endemiktir. Su ürünleri açısından ekonomik değeri yüksektir. Gölde 22 ada ve pek çok kayalık bulunmaktadır ve önemli bir kuş üreme, konaklama merkezidir. Tarım ve Orman Bakanlığı 2018 yılı verilerine göre, Beyşehir Gölü’nden, 145 021 kg Sazan, 177 616 kg Sudak ve 594 692 kg İsrail Sazanı elde edilmiştir. Göl üzerinde 456 adet kayıtlı ticari gemi faaliyet göstermektedir. İlçenin iklim ve toprak özelliklerine bağlı olarak, yetiştirilen bütün ürünlerin verimleri, Konya ve Türkiye ortalama verimlerinden oldukça yüksektir.

Beyşehir gölü ve çevresi; Milli Park Koruma Alanı (Beyşehir Gölü ve Kızıldağ Milli Parkı), İçme ve Sulama Suyu Rezervi Koruma Alanı, uluslararası önemi olan A grubu sulak alan, tarihi ve kültürel zenginliği bakımından SİT Alanı olarak belirlenmiştir. 02.06.2017 tarihli Resmî Gazete ile 16 836 ha büyüklüğündeki Beyşehir Ovası, Büyük Ova koruma alanı olarak ilan edilmiştir.

Bölgesel alan kullanım durumu çizelge 3.3’de (Anonim, 2016) gösterilmektedir. Beyşehir gölü havzasının tarımsal ve ekonomik faaliyetler açısından önemi büyüktür.

Çizelge 3.3 Bölgesel alan kullanımı

Alan Kullanım Türü		Tarım Arazisi	Çayır-Mera	Orman	Diğer	Toplam	
Beyşehir	Ha	65 373.00	19 133.00	77 263.00	50 403.66	212 172.66	
	%	30.81	9.02	36.42	23.76	100	
Konya	Ha	2 247 856.60	761 460.70	540 189.00	531 845.65	4 081 351.95	
	%	55.08	18.66	13.24	13.03	100	
Türkiye	Ha	24 294 680.80	14 616 687.30	21 389 783.00	18 056 548.90	78 357 700.00	
	%	31.00	18.65	27.30	23.04	100	
Beyşehir Alan Kullanım Oranları	Konya	%	2.91	2.51	14.30	9.48	5.2
	TR52	%	2.60	1.82	11.02	7.22	4.27
	Göller Havzası	%	15.90	15.18	15.84	14.04	15.33
	Türkiye	%	0.27	0.13	0.36	0.28	0.27

Kuraklığın tarım ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerini planlamak ve yönetmek için kuraklığın olabildiğince doğru tahmini ve standartlaştırılmış kuraklık ölçümlerini kesin olarak öngören araçlar gerektirir (Mouatadid vd. 2018). Çalışmada, Beyşehir Gölü havzasında gözlenmiş akım, yağış ve sıcaklık verileri kullanılmış, kısa ve orta ve uzun vadede bölgede beklenen kuraklık YSA kullanılarak tahmin edilmiştir. Çalışmada, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)’nden alınan meteorolojik gözlem verilerinin sağlandığı istasyonlara ilişkin bilgiler çizelge 3.4’de, Devlet Su İşleri’nden (DSİ) temin edilen akım verilerinin ait olduğu istasyon bilgileri ise çizelge 3.5 de verilmiştir.

Çizelge 3.4 MGM istasyon bilgileri

İstasyon Adı	İstasyon No	Rakım	Gözlem Süresi
Beyşehir	17896	1148	1933-42, 46-48, 53-59BK.88D.
Seydişehir	17898	1131	1945, 53-53BK.

BK: Büyük Klima

Çizelge 3.5 DSI istasyon bilgileri

İstasyon Adı	İstasyon No	Rakım	Gözlem Süresi
Soğuksu-Yeşiladağ Köprüsü	16-14	1113	1992-2015
Şarkikaraağaç	16-13	1145	1960-2004
EİE Beyşehir G. Regülatör çıkışı	16-04	1120	1964-2005
EİE Beyşehir G. Suğla çıkışı	16-21	1090	1968-2011

3.2 Yöntem

Meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklığın belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalar sonucunda çeşitli kuraklık indeksleri geliştirilmiştir. Bu indeksler hesaplanırken başta yağış olmak üzere, sıcaklık, evapotranspirasyon, akım, nem vb. parametrelerden yararlanılmaktadır. Çizelge 3.6’da kuraklık türüne göre kullanılan çeşitli indeksler örnek olarak verilmiştir.

Çizelge 3.6 Kuraklık türüne göre kullanılan çeşitli kuraklık indeksleri (Gürler, 2017)

Meteorolojik Kuraklık	Tarımsal Kuraklık	Hidrolojik Kuraklık
Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (Standardized Precipitation Index -SPI) (1-3 Aylık)	Keşif Kuraklık İndeksi (Reconnaissance Drought Index -RDI)	Akım Kuraklık İndeksi (Streamflow Drought Index-SDI)
Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi (Palmer Drought Severity Index - PDSI)	SPI (6-9 Aylık)	SPI (12-24 Aylık)
Palmer-Z İndeksi (Palmer-Z Index)	Yüzey suyu ihtiyaç indeksi (Surface Water Supply Index-SWSI)	Palmer Hidrolojik Kuraklık İndeksi (Palmer Hydrological Drought Index - PHDI)
Normalin Yüzdesi İndeksi (Percent of Normal PNI)	Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index - SPEI)	Standartlaştırılmış Yeraltısuyu Seviyesi İndeksi (Standardized Groundwater Level Index - SGI)

Çalışma alanı olan Beyşehir Gölü Havzası’nda yer alan gözlem istasyonlarının büyük bölümünde kısa dönemli veri kaydı bulunmaktadır. İstasyonların bir kısmı farklı zaman dilimlerinde kapalı olduğundan sürekli ve uzun süreli veri elde edilememiştir. Açık

istasyonlarda ise sadece yağış, sıcaklık ve akım parametreleri için uzun dönem ölçümleri yer almaktadır.

Beyşehir gölü havzasında hidrolojik olayların tahmininde kullanılan ve doğrusal olmayan problemlerin çözümünde tutarlılık oranı yüksek olan YSA kullanılarak geleceğe yönelik veri üretilmiş ve bu veriler kullanılarak kuraklık tahmini yapılmıştır.

Meteorolojik kuraklık için Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (Standardized Precipitation Index-SPI), tarımsal kuraklık için Keşif Kuraklık indeksi (RDI) ve hidrolojik kuraklık için Akım Kuraklık İndeksi (Streamflow Drought Index-SDI) kullanılarak, havzanın gelecekteki kuraklık olasılıkları belirlenmeye çalışılmıştır.

3.2.1 Kuraklık indeksleri

Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (Standardized Precipitation Index)

Zamana bağlı olarak, yağış miktarında meydana gelen değişim kuraklığı belirleyen en önemli etkenlerden biri olduğundan, kuraklığı etkileyen diğer parametreler dikkate alınmadan geliştirilen çeşitli kuraklık hesaplama yöntemleri bulunmaktadır. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) yöntemi de McKee vd. (1993) tarafından sadece yağış verilerinden faydalanarak, kuraklığı belirlemek için geliştirilmiştir (Eşitlik 3.1). Bu yöntem kuraklığın farklı zaman dilimlerinde (3, 6, 12 ay vb.) izlenebilmesine olanak vermektedir.

SPI, i istasyonunda belirli bir zaman dilimindeki yağış miktarı (X_i) ile ortalama yağış miktarı (X_i^{ort}) arasındaki farkın, standart sapmaya (σ) oranı olarak tanımlanmaktadır (Eşitlik 3.1). Bu eşitlik, yağış veri serisinin normal dağılım göstermesi durumunda kullanılmaktadır. Yağış verileri normal dağılıma uymuyorsa, seriye uygun dağılım bulunarak, bu dağılımda gözlemlerin olasılıklarına, standart normal dağılımda karşılık gelen z-değerleri belirlenmektedir. Thom (1966) tarafından, Gama dağılımı, yağmur serilerine en iyi uyum gösteren dağılım olarak belirtilmiştir (Ünlükara ve Yürekli 2013).

$$SPI = \frac{X_i - X_i^{ort}}{\sigma} \quad 3.1$$

Gama dağılımına ait kümülatif olasılık dağılım fonksiyonu ile dağılım parametreleri Eşitlik 3.2 ve 3.3’de verilmiştir.

$$G(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad 3.2$$

$\alpha > 0$ olmak üzere şekil parametresini ve $\beta > 0$ olmak üzere ölçek parametresini göstermektedir.

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad \beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad 3.3$$

Negatif SPI değerleri kurak dönemi, pozitif SPI değerleri ise nemli dönemi göstermektedir. SPI değerlerine göre yapılan sınıflandırma çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7 SPI kuraklık kategorileri

SPI	Kuraklık Kategorileri
$SPI \geq 2.00$	Aşırı nemli
$1.50 \leq SPI < 2.00$	Çok nemli
$1.00 \leq SPI < 1.50$	Orta nemli
$0.50 \leq SPI < 1.00$	Normale yakın nemli
$-0.50 \leq SPI < 0.50$	Normal
$-1.00 \leq SPI < -0.50$	Normale yakın kurakça
$-1.50 \leq SPI < -1.00$	Orta düzeyde kurak
$-2.00 \leq SPI \leq -1.5$	Şiddetli kurak
$SPI < -2$	Aşırı kurak

Keşif Kuraklık İndeksi (Reconnaissance Drought Index)

Keşif kuraklık indeks değerlerini elde etmek için öncelikle FAO Penman-Monteith yönteminden elde edilen referans bitki su tüketimleri (ET_0) ve aylık toplam yağmur miktarları kullanılarak Eşitlik 3.4 ile α^i değerleri elde edilir (Tsakiris vd. 2007).

$$\alpha^i = \frac{\sum_{j=1}^k P_{ij}}{\sum_{j=1}^k ET_{0ij}} \quad i=1 \dots N \quad 3.4$$

Daha sonra α^i değerlerinden yararlanarak bunların ortalamaları ve standart sapmaları yardımıyla Keşif Kuraklık İndeks değerleri Eşitlik 3.5 ile hesaplanır (Nalbantis ve Tsakiris 2008).

$$RDI = \frac{\alpha^i - \mu_{\alpha^i}}{\sigma_{\alpha^i}} \quad 3.5$$

Bu indeks yaklaşımı, eklenik yağışlar (ölçülen) ve potansiyel evapotranspirasyona (hesaplanan) dayandırılmış olup, başlangıç, normalize edilmiş ve standardize edilmiş değerler olmak üzere üç adet çıktı sunmaktadır. Standardize edilmiş çıktılar, SYİ'nin yapısına benzerlik göstermekte ve doğrudan karşılaştırılabilmektedir. Girdi parametreleri, aylık sıcaklıklar ve yağış değerleridir (Kayam vd. 2017). RDI için kuraklık kategorileri çizelge 3.8'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.8 RDI kuraklık kategorileri

RDI	Kuraklık Kategorisi
$RDI \geq 0.0$	Kuraklık yok
$-1.0 \leq RDI < 0.0$	Hafif kurak
$-1.5 \leq RDI < -1.0$	Orta derece kurak
$-2.0 \leq RDI < -1.5$	Şiddetli kurak
$RDI < -2.0$	Aşırı kurak

Akım Kuraklık İndeksi (Streamflow Drought Index)

Aylık akarsu akımlarına göre Q_{ij} parametresinde i hidrolojik su yılını, j ise hidrolojik yıldaki ayları göstermektedir ($j=1$ Ekim'den 30 Eylül'e). Elde edilen serilere göre V_{ik} parametresi eşitlik 3.6 ile elde edilir.

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^{3k} Q_{i,j} \quad i=1, 2, \dots, j=1, 2, \dots, 12 \quad k=1, 2, 3, 4 \quad 3.6$$

$V_{i,k}$ i . hidrolojik yıldaki birikimli akım debilerini, k ise referans periyotlarını göstermektedir. $k=1$ (Ekim-Aralık), $k=2$ (Ekim-Mart), $k=3$ (Ekim-Haziran), $k=4$ (Ekim-Eylül) dir. Birikimli $V_{i,k}$ değerlerine göre Akım Kuraklık İndeksi (SDI) eşitlik 3.7 ile elde edilir (Ben-Zvi 1987).

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \overline{V_k}}{S_k} \quad i=1, 2, \dots, k=1, 2, 3, 4 \quad 3.7$$

Eşitlikte $\overline{V}_k$ ve S_k referans periyotlara göre birikimli akım değerlerinin ortalama ve standart sapmasını göstermektedir. k -referans periyodu için elde edilen birikimli akarsu akımlarına ait zaman serisinin normal dağılım göstermesi durumunda eşitlik 3.7 kullanılmaktadır. Bu nedenle birikimli akarsu akımlarının normal bir dağılıma sahip olup olmadığını saptamak için normalite testinin yapılması gerekmektedir. Okman (1994), hidrolojik değişkenlerin genellikle sağa kaymış bir dağılım gösterdiğini belirtmiştir. Birikimli zaman serisinin normal dağılım göstermemesi durumunda, veriye 2 parametrelili gama dağılımı uygulanır. Bundan sonrada standart normal dağılıma dönüştürülür. Nalbantis ve Tsakiris (2009) de elde ettikleri birikimli akarsu akımlarının logaritmik dönüşümlerini yaparak verinin normal dağılıma uymasını sağlamışlardır. Akım kuraklık indeksine ait kuraklık kategorileri çizelge 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3.9 SDI kuraklık kategorileri

SDI	Kuraklık Kategorisi
$SDI \geq 0.0$	Kuraklık yok
$-1.0 \leq SDI < 0.0$	Hafif kurak
$-1.5 \leq SDI < -1.0$	Orta derece kurak
$-2.0 \leq SDI < -1.5$	Şiddetli kurak
$SDI < -2.0$	Aşırı kurak

3.2.2 Yapay zekâ tabanlı kuraklık tahmin modelleri

Çalışmada, istasyonlardan elde edilen mevcut akım, yağış ve sıcaklık verileri Facebook Prophet (FBP) ve Neural Prophet (NP) algoritmaları ile analiz edilerek, 2015-2040 yılları arasındaki 25 yıllık süre için akım, yağış ve sıcaklık verileri tahmin edilmiştir.

Zaman serilerini tahmin etmek için kullanılan yöntemlerden biri ARIMA modelidir. Veriler arasında doğrusal bir ilişki olduğu varsayımı ile modelleme yapılır. Durağan ya da çeşitli yöntemlerle durağanlaştırılmış zaman serilerinde iyi sonuçlar vermektedir.

Durağan olmamasına rağmen fark alma işlemi uygulanarak durağanlaştırılmış serilerde kullanılan modellere “durağan olmayan doğrusal stokastik modeller” denilmektedir. Bu modeller, d dereceden farkı alınmış serilerde, değişkenin t-dönemindeki değerinin belirli sayıdaki önceki dönem değerleri ile aynı dönemdeki hata teriminin doğrusal bir fonksiyonu olan AR modelleri ile değişkenin t-dönemindeki değerinin aynı dönemdeki hata terimi ve belirli sayıda önceki dönem hata terimlerinin doğrusal fonksiyonu olan MA modellerinin birleşiminden oluşmaktadır. Modeller genellikle ARIMA (p, d, q) şeklinde gösterilmektedir. Modelde d fark alma derecesini, p ve q ise sırayla otoregresif (AR) model ile hareketli ortalama (MA) modelinin derecesini, ifade etmektedir (Kaynar ve Taştan 2009). ARIMA modellerinde mevsimsellik dikkate alınmamaktadır.

ARIMA modeli eşitlik 3.8'deki gibi ifade edilmektedir.

$$Z_t = \Phi_1 Z_{t-1} + \Phi_2 Z_{t-2} + \dots + \Phi_p Z_{t-p} + \delta + a_t - \Theta_1 a_{t-1} - \Theta_2 a_{t-2} - \dots - \Theta_q a_{t-q} \quad 3.8$$

Eşitlik 3.8'de;

$Z_t, Z_{t-1}, \dots, Z_{t-p}$ parametreleri, d derecesinden farkı alınan gözlem değerlerini,

$\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_p$ parametreleri ise Z parametreleri için katsayıları,

$a_t, a_{t-1}, \dots, a_{t-q}$ parametreleri, hata terimlerini,

δ sabit değeri,

$\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_q$ ise hata terimlerine ilişkin katsayıları ifade etmektedir.

Arima ve türevleri klasik istatistikî yöntemler olup akım gibi stokastik olayların modellenmesinde oldukça çalışılmıştır. Bu tez kapsamında yapay zekâ teknolojisinin yetenekleri kullanılarak akım ve iklim değışkenleri tahmin edilmeye çalışılmış ve ilgili indekslerde kullanılmıştır.

Facebook Prophet (FP)

Facebook (Meta) şirketinin Core Data Science ekibi tarafından geliştirilen Prophet, açık kaynak kodları içeren bir yazılımdır ve açık bir kütüphane gibi çalışmaktadır. FP, Python ve R destekli, zaman serilerini yüksek doğrulukla tahmin edebilen, klasik metotlar ile derin öğrenme modelleri arasında hibrit bir çözüm yöntemidir. Prophet zaman serileri için zaman (ds) ve zaman serisini oluşturan verilerin değeri (y) parametrelerini kullanmaktadır.

FP, kısa vadeli tahminler için daha doğru olan doğrusal ve logistik (logaritmik) olmak üzere yalnızca iki tür tahmin yöntemine sahiptir. FP, doğrusal olmayan eğilimlerin yıllık, haftalık ve günlük ölçekte mevsimsellik etkisiyle uyumlu olduğu bir ek modele dayalı zaman serisi verilerini tahmin etmek için bir prosedürdür. Prophet geleceğı tahmin ettiğı gibi, eksik verileri doldurarak anormallikleri de tespit edebilmektedir. (Wang vd. 2020)

FP algoritması, tahmin yaparken aşağıdaki eşitliğı (3.9) kullanmaktadır.

$$Y(t) = g(t) + s(t) + h(t) + \epsilon t \quad 3.9$$

Eşitlikte bulunan;

$g(t)$, zaman serilerindeki değışimler için kullanılan trend fonksiyonudur.

$s(t)$ günlük, haftalık veya yıllık vadeler için mevsimselliğı gösterir.

$h(t)$ ara sıra söz konusu olan tatil benzeri günlerin etkisini ifade eder.

ϵt hatayı temsil eden terimdir.

Neural Prophet (NP)

Neural Prophet, Facebook Prophet ve AR-Net'ten ilham alan, PyTorch üzerine kurulu sinir ağı tabanlı zaman serisi modelidir. Standart derin öğrenme yöntemleriyle eğitilmiş, hibrit bir tahmin çerçevesidir.

Neural Prophet, Prophet paketinin Neural Network modülleriyle tanıttığı klasik zaman serisi bileşenlerini, lineer olmayan dinamiklere izin veren hibrit bir modelde birleştirmiştir. Bu tür iki NN bileşeni, otomatik regresyon ve ortak değişken modülleridir.

NP, PyTorch üzerinde gradyan azalma optimizasyonunu kullanarak çalışır. AR-Net aracılığıyla otokorelasyon modellemesini kullanır. Fourier terimi ile mevsimselliği dikkate alır. Tatil etkilerini gözetir ve eksik veriler ile aykırı verileri işler.

NP'de tahmin edilen değerler Y_t olarak toplanır. Model yalnızca zamana bağlıysa, isteğe bağlı sayıda tahmin üretilebilir (Eşitlik 3.10).

$$Y_t = T(t) + S(t) + E(t) + F(t) + A(t) + L(t) \quad 3.10$$

Eşitlikte;

$T(t)$ = t zamanındaki eğilim

$S(t)$ = t zamanındaki mevsimsel etkiler

$E(t)$ = t zamanındaki olay ve tatil etkileri

$F(t)$ = Gelecekte bilinen dışsal değişkenler için t zamanındaki regresyon etkileri

$A(t)$ = Geçmiş gözlemlere dayalı olarak t zamanındaki otomatik regresyon etkileri

$L(t)$ = Dışsal değişkenlerin gecikmeli gözlemleri için t zamanındaki regresyon etkileri

NP, trend bileşenini klasik yaklaşımla modeller, ancak büyüme oranının birkaç yerde değişmesine izin verir. Böylece trend, sürekli parça bazında lineer bir seri olarak modellenmiştir. Mevsimsellik etkilerini göstermek için Fourier terimleri kullanılmıştır. Burada otomatik regresyon (AR), bir değişkenin gelecekteki değerinin geçmiş değerlerine göre gerileme sürecini ifade eder.

Geleneksel AR modelinde $h = 1$ adımlık ileri tahmin için yalnızca bir tahmin üretirken, NP’de AR-Net, doğrusal/doğrusal olmayan bir model ile istenildiği kadar h tahminleri üretilmektedir. Gecikmeli regresörler, gözlemlenen değişkenleri hedef zaman serisi ile ilişkilendirmek için kullanılır. Genellikle ortak değişkenler olarak adlandırılırlar.

Zaman serilerine uygulanacak normalizasyon türü kullanıcı tarafından ayarlanabilmektedir. NP kütüphanesinde normalizasyon için kullanılabilecek hazır seçenekler çizelge 3.10’da verilmiştir. Belirtilmezse veya 'otomatik' olarak ayarlanırsa, varsayılan olarak atanan 'soft' seçeneği kullanılır. Ancak zaman serisi değerlerinin ikili olması durumunda 'minmax' seçeneği uygulanır. Eğitimin veya tahminin sonunda, modelin üzerinde çalıştığı normalleştirilmiş değerler ilk dağılıma geri dönüştürülür.

Çizelge 3.10 NP’de normalizasyon seçenekleri

İsim	Normalleştirme Prosedürü
auto	ikili ise 'minmax', değilse 'soft'
off	veri normalleştirilmesi yapmaz
minmax	minimum değeri 0.0'a ve maksimum değeri 1.0'a ölçeklendirir
standardize	standart sapmaya böler

Değerlendirme Metrikleri

Çalışmada kullanılan başarı/hata parametreleri korelasyon katsayısı, Ortalama karekök hata (Root Mean Square Error -RMSE) ve Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error – MAE) dır (Eşitlik 3.11-3.13).

$$R = \frac{s_{xy}}{s_x s_y} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}_i)}{n-1}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y}_i)^2}{n-1}}} \quad 3.11$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (y_i - \bar{y}_i)^2} \quad 3.12$$

$$MAE = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (y_i - \bar{y}_i) \quad 3.13$$

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çalışmada, geçmiş aylık ortalama akım, yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak, kısa (5 yıl), orta (15 yıl) ve uzun (25 yıl) vade için aylık ortalama akım, yağış ve sıcaklık değerleri tahmin edilmiş, sonrasında kuraklık indeksleri hesaplanmıştır. Her istasyon için hem FP hem de NP kullanılarak analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda eğitim ve test sonuçlarına göre korelasyon değeri en yüksek model kullanılarak gelecek tahminleri yapılmıştır. Kısa, orta ve uzun dönem için yapılan tahminler ile eğitim ve test değerleri grafiklerde gösterilmiş, tahmin sonuçlarına ilişkin performansı gösteren korelasyon katsayısı, ortalama karekök hata ve ortalama mutlak hata parametreleri ise çizelge 4.1’de verilmiştir.

4.1 NP ve FP Modellemelerinin Değerlendirme Metrikleri

NP modelinde kullanılan veri setlerindeki değerler minimum 0.0 ve maksimum 1.0 olacak şekilde ölçeklendirilerek normalize edilmiştir. Analizde gizli katman sayısı 3 alınmış ve AdamW optimizier kullanılmıştır.

FP ve NP modellemesinin her ikisinde de mevsimsellik dikkate alınarak tahminler yapılmıştır. Veri setlerinde toplam verinin %80’i eğitim ve %20’si test aşaması için ayrılmıştır.

Çizelge 4.1’de analiz edilen istasyonlar için her iki metoda göre elde edilen başarı ve hata metrikleri gösterilmektedir. Çizelge 4.2’de ise seçilen model sonuçları verilmiştir.

En iyi korelasyon değerleri, Seydişehir ve Beyşehir istasyonlarında sıcaklık analizlerinde elde edilmiştir. Her iki analiz yönteminde de test ve eğitim verilerinde 0.97 ve üzerinde korelasyon katsayısı (CC) değerleri bulunmaktadır. Bu durum sıcaklık verilerinin tahmininde NP ve FP’nin başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir. Ancak hem yağış hem de akış verileri için yapılan NP modellemesinde tüm istasyonlarda korelasyon değerleri 0.75’in altında bulunmuştur. Eğitim verileri en küçük 0.565 ve en büyük 0.722 CC değerlerini almış test verilerinde ise en küçük 0.582, en büyük 0.693 değeri elde edilmiştir.

Benzer biçimde yağış ve akış verileri kullanılan FP modellerinde korelasyon değeri eğitim setinde 0.575 ile 0.745 arasında değişirken, test setinde 0.556 ile 0.706 arasında değerler almıştır. NP ve FP modellerinin ikisinde de eğitim ve test verilerinin korelasyon değerleri arasında önemli düzeyde fark bulunmaktadır. Test verisi toplam verinin yaklaşık %20 si kadar olup, istasyondaki gözlem süresine göre değişmekle birlikte yaklaşık son 10-15 yılın verisinden oluşmaktadır. Bu durum test verisinin geçmişini tam olarak yansıtamamasına ve eğitim verisinden biraz farklı bir eğilim göstermesine ve korelasyon değerinin daha düşük bulunmasına neden olmaktadır.

Hata metrikleri yönünden analizler incelendiğinde Seydişehir ve Beyşehir istasyonları için yağış verilerinin hata değerlerinin her iki analizde de çok yüksek olduğu görülmektedir.

Hesaplanan kuraklık indekslerinin sonuçları incelenmiş, istasyon bazında NP ve FP modelleri karşılaştırılarak korelasyon ve hata metrikleri yönünden daha iyi sonuca sahip algoritma modeli seçilmiş ve bu modelin indeks sonuçları değerlendirilmiştir.

4.2 Modelleme Sonuçları

Tüm istasyonlar için hem NP hem de FP modellemeleri yapılmış ve şekil 4.1 - 4.80’de grafikler verilmiştir. Tüm grafiklerde mevsimsellik etkisi belirgin şekilde göze çarpmaktadır. Gelecek tahmini yapılan modelleme sonuçlarında veri serisinin eğiliminde azalma gözlenen durumlarda yağış ve akım verilerinde negatif sonuçlar üretilmiştir. Yağış ve akım verileri negatif olamayacağından indeksler hesaplanırken negatif bulunan tahmin verileri “0” olarak kabul edilmiştir. Ancak YSA model algoritmalarının çalışma sistematığını göstermek ve model sonuçlarını ortaya koymak için negatif sonuçlar 5, 15 ve 25 yıllık tahmin grafiklerinde değiştirilmeden bırakılmıştır.

Çizelge 4.1 Modelleme sonuçları

İSTASYON	ANALİZ YÖNTEMİ	EĞİTİM				TEST			
		CC	NSTt	RMSE	MAE	CC	NSTt	RMSE	MAE
Soğuksu-Yeşiladağ Akım Verileri DSİ AGİ (1614)	Neural Prophet	CC = 0.722	NSTt = 0.52	RMSE = 1.04	MAE: 0.722	CC = 0.615	NSTt = -0.026	RMSE = 7.73	MAE: 4.642
	Facebook Prophet	CC = 0.722*	NSTt = 0.52	RMSE = 2.28	MAE: 1.376	CC = 0.556	NSTt = 0.25	RMSE = 5.77	MAE: 3.552
Şarkikarağaç Akım Verileri DSİ AGİ (1613)	Neural Prophet	CC = 0.695	NSTt = 0.45	RMSE = 1.02	MAE: 0.574	CC = 0.627	NSTt = 0.37	RMSE = 0.88	MAE: 0.505
	Facebook Prophet	CC = 0.660	NSTt = 0.42	RMSE = 1.05	MAE: 0.701	CC = 0.630	NSTt = 0.34	RMSE = 0.90	MAE: 0.586
Beyşehir Gölü Suğla Çıkışı Akım Verileri EİE AGİ (1621)	Neural Prophet	CC = 0.720	NSTt = 0.51	RMSE = 6.49	MAE: 4.845	CC = 0.680	NSTt = 0.38	RMSE = 7.36	MAE: 5.518
	Facebook Prophet	CC = 0.745	NSTt = 0.55	RMSE = 6.18	MAE: 4.880	CC = 0.703	NSTt = 0.48	RMSE = 6.88	MAE: 5.286
Beyşehir Gölü Regülatör Çıkışı Akım Verileri EİE AGİ (1604)	Neural Prophet	CC = 0.653	NSTt = 0.42	RMSE = 9.28	MAE: 6.496	CC = 0.607	NSTt = 0.26	RMSE = 6.77	MAE: 5.179
	Facebook Prophet	CC = 0.741	NSTt = 0.55	RMSE = 8.20	MAE: 6.058	CC = 0.603	NSTt = 0.33	RMSE = 6.44	MAE: 5.052
Seydişehir MGM İstasyonu Yağış Verileri	Neural Prophet	CC = 0.657	NSTt = 0.43	RMSE = 51.64	MAE: 32.765	CC = 0.693	NSTt = 0.48	RMSE = 45.45	MAE: 32.486
	Facebook Prophet	CC = 0.653	NSTt = 0.43	RMSE = 51.85	MAE: 32.729	CC = 0.706	NSTt = 0.49	RMSE = 44.91	MAE: 32.196
Beyşehir MGM İstasyonu Yağış Verileri	Neural Prophet	CC = 0.565	NSTt = 0.32	RMSE = 31.62	MAE: 21.959	CC = 0.582	NSTt = 0.34	RMSE = 30.47	MAE: 21.691
	Facebook Prophet	CC = 0.575	NSTt = 0.33	RMSE = 31.37	MAE: 21.876	CC = 0.578	NSTt = 0.31	RMSE = 31.02	MAE: 21.588
Seydişehir MGM İstasyonu Sıcaklık Verileri	Neural Prophet	CC = 0.973	NSTt = 0.95	RMSE = 1.93	MAE: 1.468	CC = 0.975	NSTt = 0.95	RMSE = 1.82	MAE: 1.427
	Facebook Prophet	CC = 0.975	NSTt = 0.95	RMSE = 1.86	MAE: 1.383	CC = 0.974	NSTt = 0.94	RMSE = 1.97	MAE: 1.553
Beyşehir MGM İstasyonu Sıcaklık Verileri	Neural Prophet	CC = 0.977	NSTt = 0.95	RMSE = 1.71	MAE: 1.291	CC = 0.976	NSTt = 0.95	RMSE = 1.73	MAE: 1.328
	Facebook Prophet	CC = 0.978	NSTt = 0.96	RMSE = 1.67	MAE: 1.244	CC = 0.969	NSTt = 0.91	RMSE = 2.43	MAE: 1.967

* En iyi tahmine ait değerler kalın yazı ile yazılmıştır.

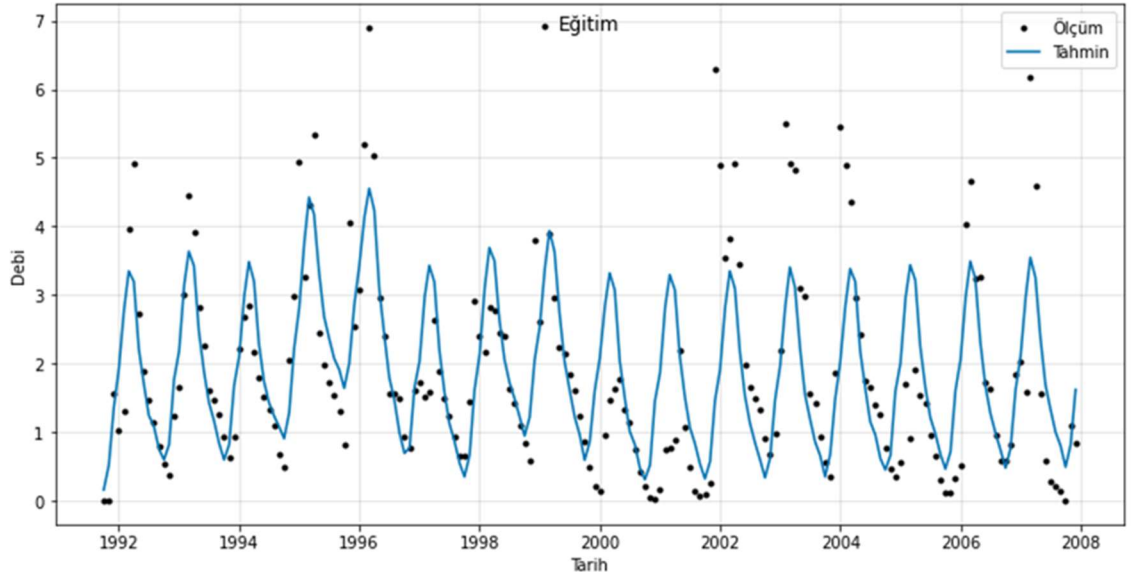
Çizelge 4.2 Seçilen model sonuçları

İSTASYON	ANALİZ YÖNTEMİ	EĞİTİM				TEST			
		CC	NSTt	RMSE	MAE	CC	NSTt	RMSE	MAE
Soğuksu-Yeşilıdağ Akım Verileri DSİ AGİ (1614)	Facebook Prophet	CC = 0.722	NSTt = 0.52	RMSE = 2.28	MAE: 1.376	CC = 0.556	NSTt = 0.25	RMSE = 5.77	MAE: 3.552
Şarkikarağaç Akım Verileri DSİ AGİ (1613)	Neural Prophet	CC = 0.695	NSTt = 0.45	RMSE = 1.02	MAE: 0.574	CC = 0.627	NSTt = 0.37	RMSE = 0.88	MAE: 0.505
Beyşehir Gölü Suğla Çıkışı Akım Verileri EİE AGİ (1621)	Facebook Prophet	CC = 0.745	NSTt = 0.55	RMSE = 6.18	MAE: 4.880	CC = 0.703	NSTt = 0.48	RMSE = 6.88	MAE: 5.286
Beyşehir Gölü Regülatör Çıkışı Akım Verileri EİE AGİ (1604)	Facebook Prophet	CC = 0.741	NSTt = 0.55	RMSE = 8.20	MAE: 6.058	CC = 0.603	NSTt = 0.33	RMSE = 6.44	MAE: 5.052
Seydişehir MGM İstasyonu Yağış Verileri	Facebook Prophet	CC = 0.653	NSTt = 0.43	RMSE = 51.85	MAE: 32.729	CC = 0.706	NSTt = 0.49	RMSE = 44.91	MAE: 32.196
Beyşehir MGM İstasyonu Yağış Verileri	Facebook Prophet	CC = 0.575	NSTt = 0.33	RMSE = 31.37	MAE: 21.876	CC = 0.578	NSTt = 0.31	RMSE = 31.02	MAE: 21.588
Seydişehir MGM İstasyonu Sıcaklık Verileri	Facebook Prophet	CC = 0.975	NSTt = 0.95	RMSE = 1.86	MAE: 1.383	CC = 0.974	NSTt = 0.94	RMSE = 1.97	MAE: 1.553
Beyşehir MGM İstasyonu Sıcaklık Verileri	Facebook Prophet	CC = 0.978	NSTt = 0.96	RMSE = 1.67	MAE: 1.244	CC = 0.969	NSTt = 0.91	RMSE = 2.43	MAE: 1.967

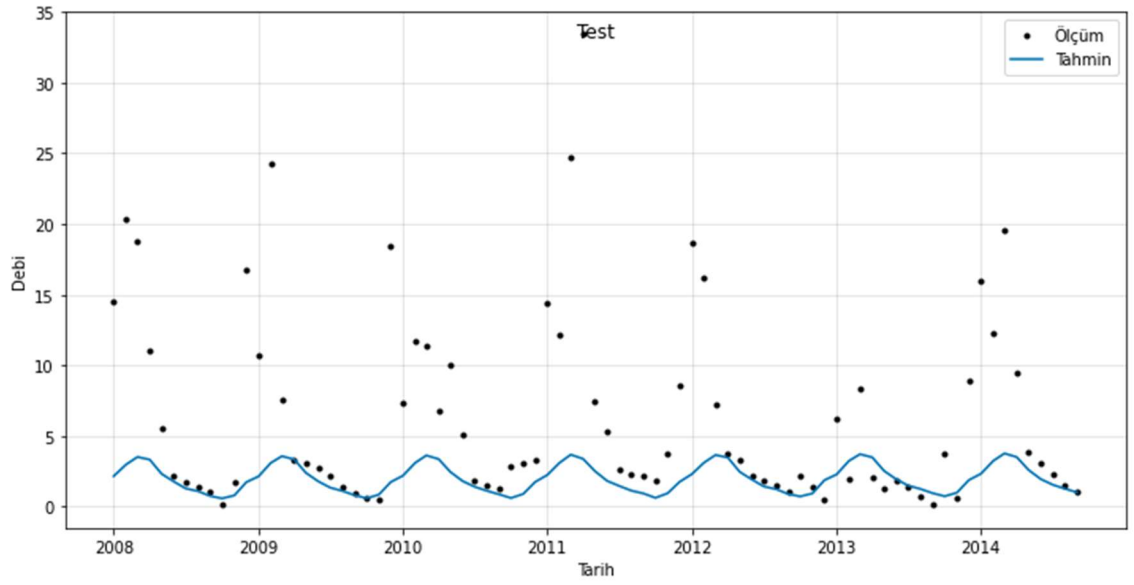
4.2.1 Soğuksu-Yeşildağ DSİ akım gözlem istasyonu (1614)

NP ile yapılan modelleme sonuçları

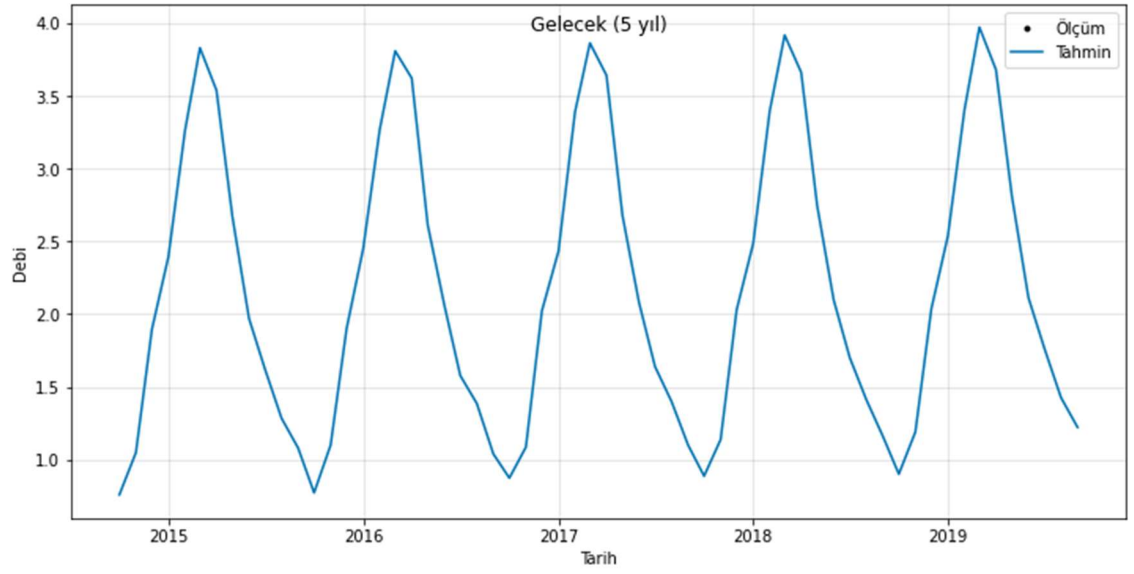
Soğuksu-Yeşildağ istasyonunda, eğitim ve test verisi incelendiğinde 2000 yılından sonra yağış verisindeki eğilimin hemen hemen yatay seyrettiği görülmektedir. NP ile yapılan gelecek tahminine göre artan bir eğilimle debi yaklaşık $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$ 'den (2015), $4.8 \text{ m}^3/\text{s}$ 'ye (2040) kadar yükselmektedir (Şekil 4.5a). Soğuksu-Yeşildağ istasyonu için yapılan modeller arasında sonuçları Şekil 4.5b'de verilen modelde, ölçülen aylık ortalama akım verileriyle tahmin modeli arasındaki ilişki daha iyi olmasına rağmen trendin beklenenin çok üzerinde artması ve korelasyon katsayısının daha düşük ve hata metriklerinin yüksek olması sebebi ile modeller arasından korelasyon katsayısı en yüksek olan ve tahmin grafiği Şekil 4.5a'da verilen model dikkate alınmıştır.



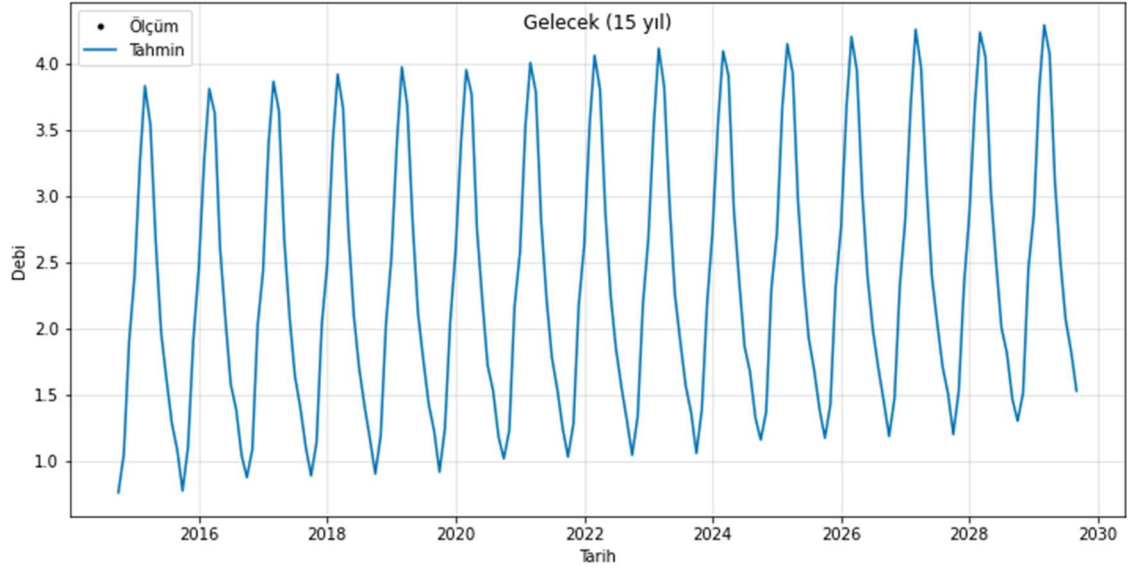
Şekil 4.1 Soğuksu-Yeşildağ istasyonu NP modeli eğitim verileri



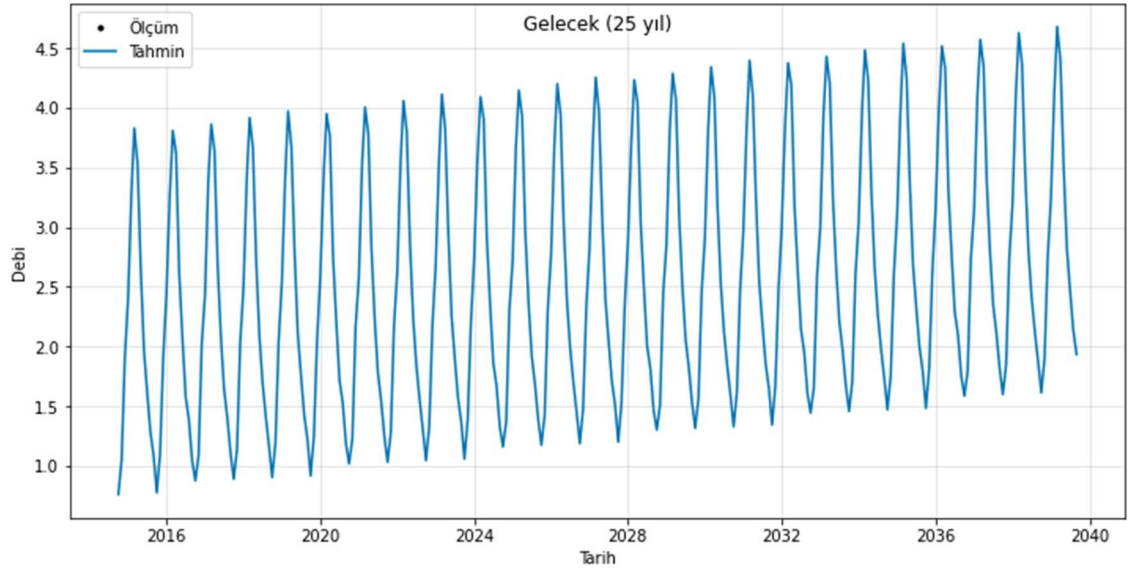
Şekil 4.2 Soğuksu-Yeşildağ istasyonu NP modeli test verileri



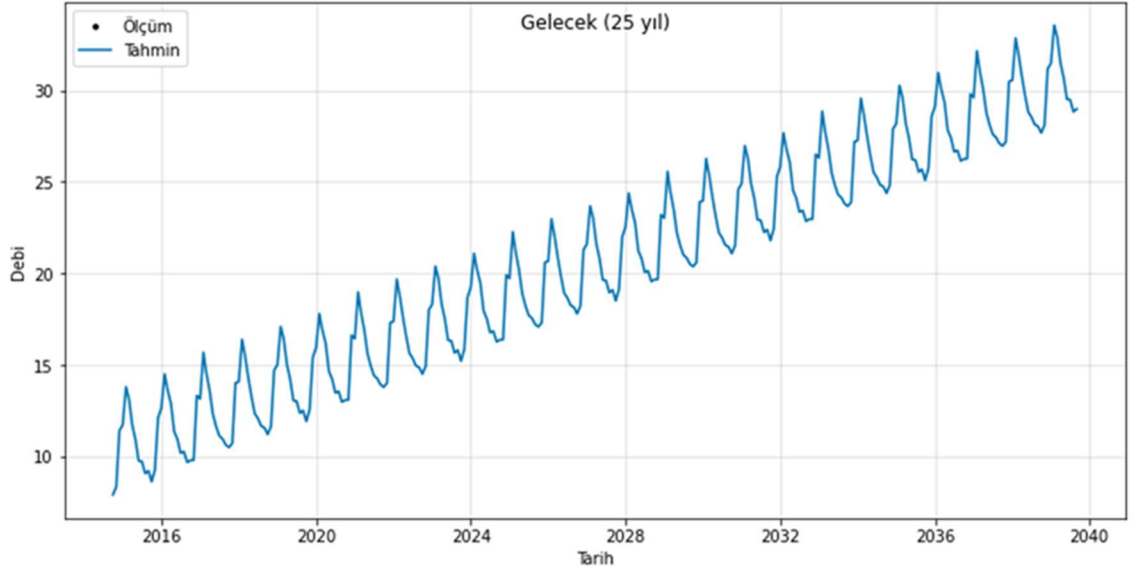
Şekil 4.3 Soğuksu-Yeşildağ istasyonu NP modeli gelecek 5 yıl için tahmin verileri



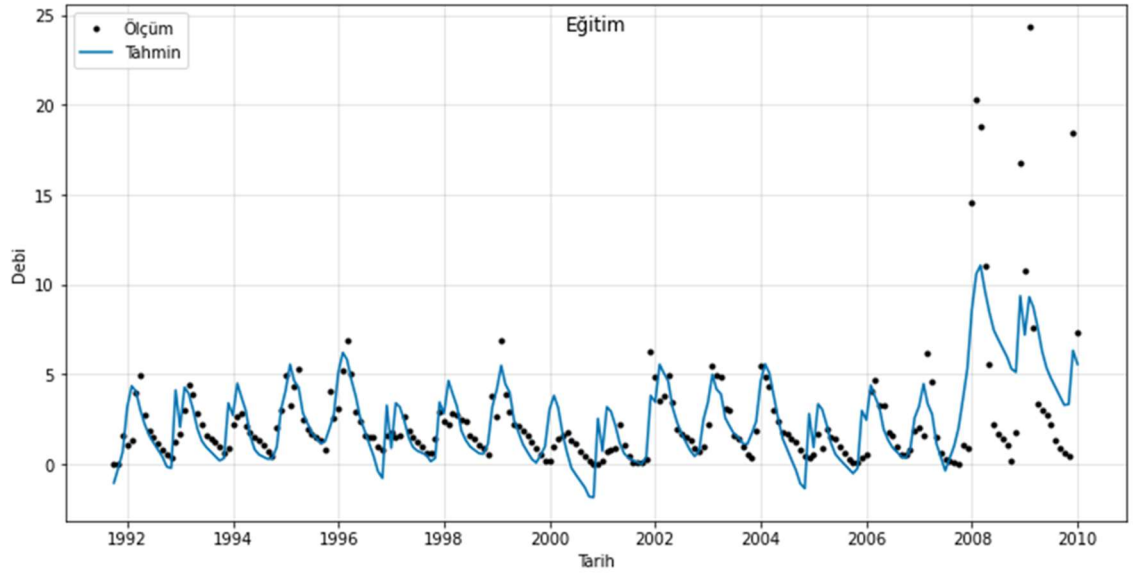
Şekil 4.4 Soğuksu-Yeşildağ istasyonu NP modeli gelecek 15 yıl için tahmin verileri



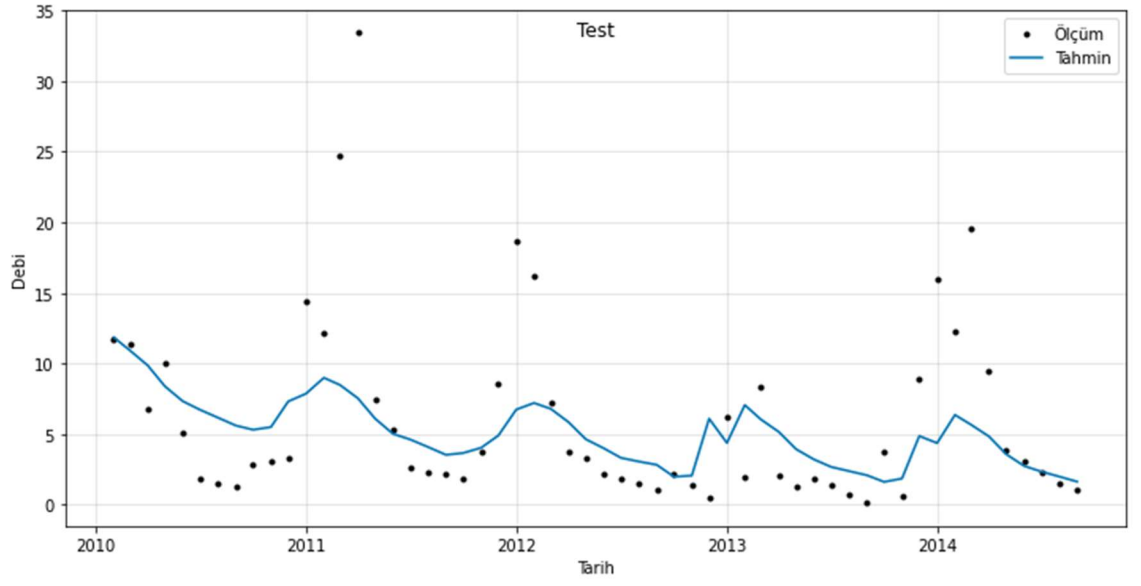
Şekil 4.5a Soğuksu-Yeşildağ istasyonu seçilen NP modeli gelecek 25 yıl için tahmin verileri



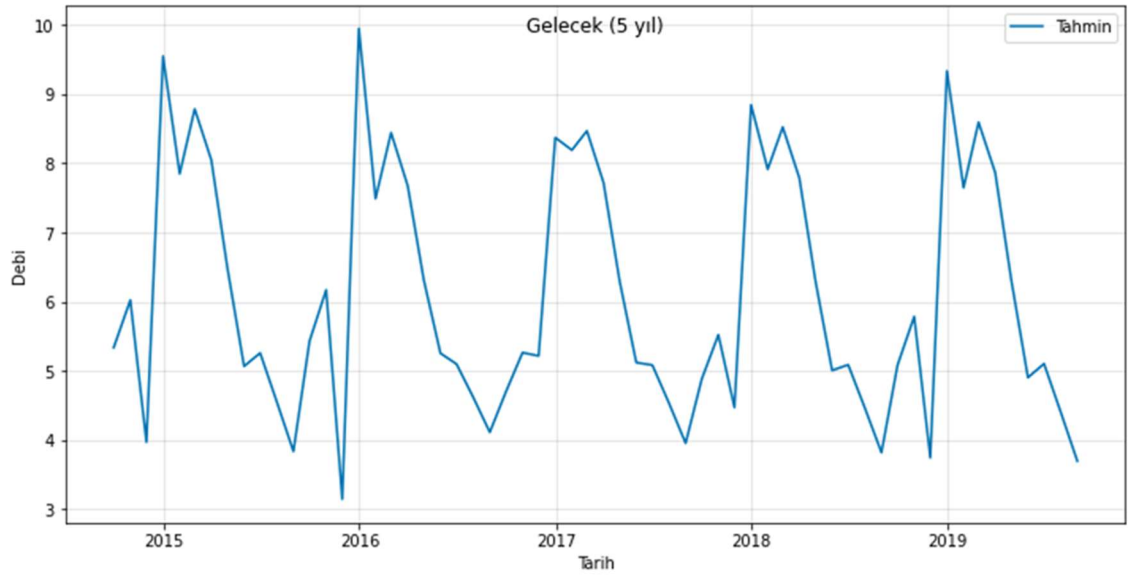
Şekil 4.5b Soğuksu-Yeşildağ istasyonu NP modeli gelecek 25 yıl için tahmin verileri
1614 Soğuksu-Yeşildağ- FP ile yapılan modelleme sonuçları
 FP ile yapılan analize göre eğitim verilerinde 2008'e kadar küçük değişim aralıklarında artıp azalan bir trend varken, 2008'den sonra belirgin bir artış olmaktadır. Gelecek 5, 15 ve 25 yıl için yapılan tahminlerde ise akımda neredeyse yatay bir eğilim izlenmektedir.



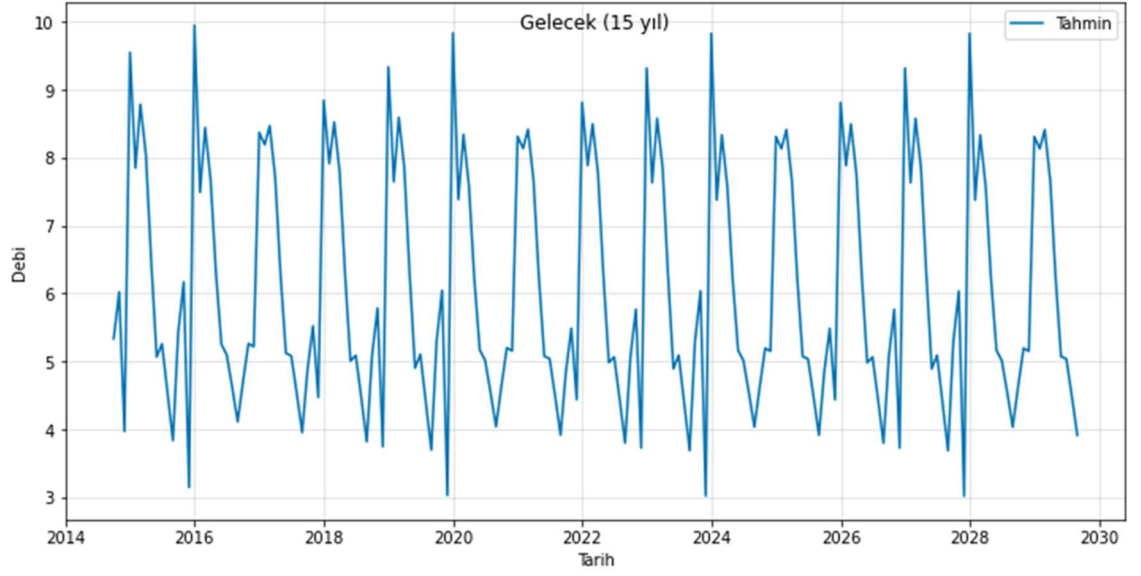
Şekil 4.6 Soğuksu-Yeşildağ istasyonu FP modeli eğitim verileri



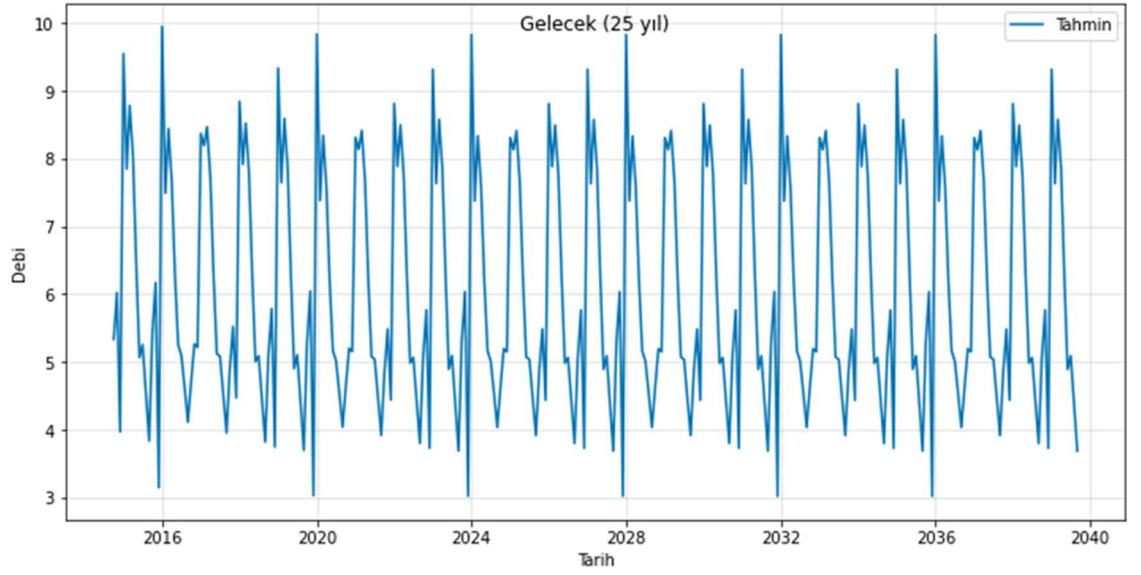
Şekil 4.7 Soğuksu-Yeşildağ istasyonu FP modeli test verileri



Şekil 4.8 Soğuksu-Yeşildağ istasyonu FP modeli gelecek 5 yıl için tahmin verileri



Şekil 4.9 Soğuksu-Yeşildağ istasyonu FP modeli gelecek 15 yıl için tahmin verileri



Şekil 4.10 Soğuksu-Yeşildağ istasyonu FP modeli gelecek 25 yıl için tahmin verileri

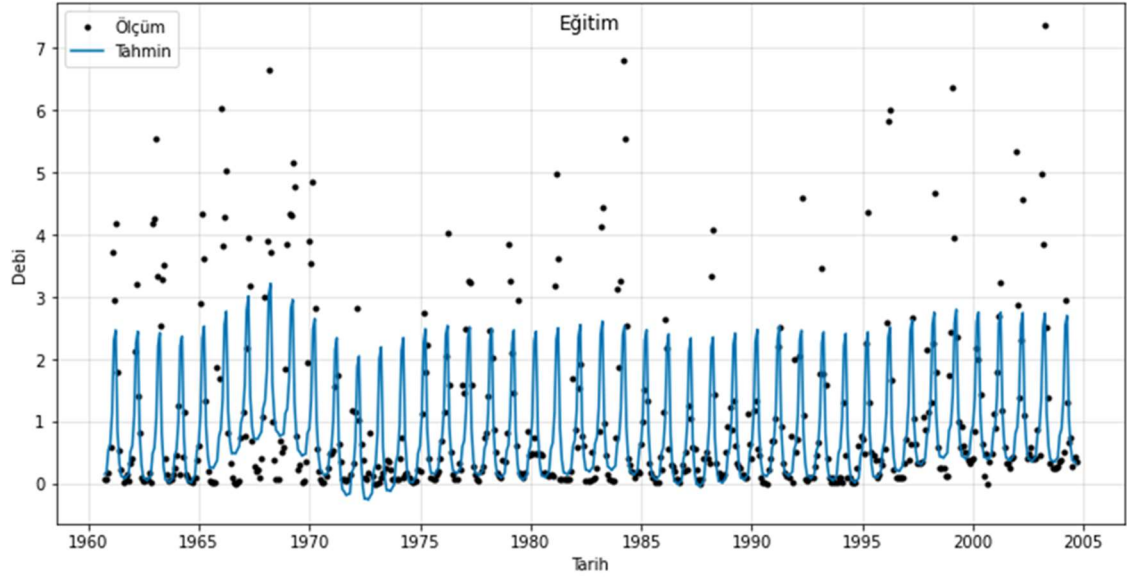
4.2.2 Şarkikaraağaç DSİ akım gözlem istasyonu (1613)

NP ile yapılan modelleme sonuçları

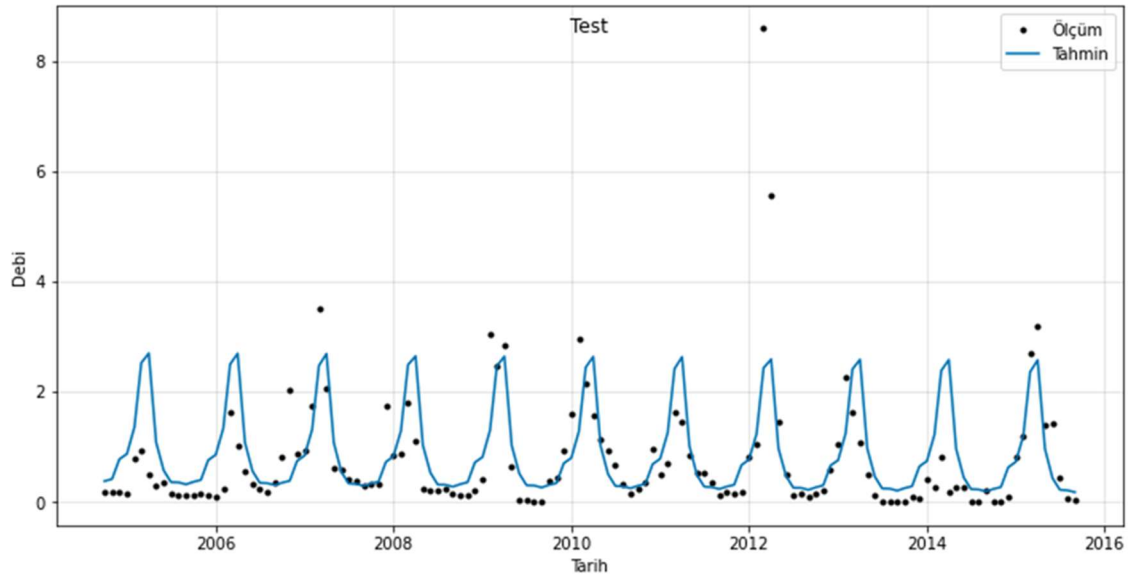
Şarkikaraağaç istasyonuna ait analizler incelendiğinde NP ile yapılan gelecek dönem tahminlerinde akımda yavaşça azalan bir eğilim görülmektedir.

Eğitim verileri ile elde edilen model grafiği incelendiğinde 1965-1970 yılları arasında akım debisinde belirgin bir artış gözlemlense de 1975 yılından sonra yıllara göre debide

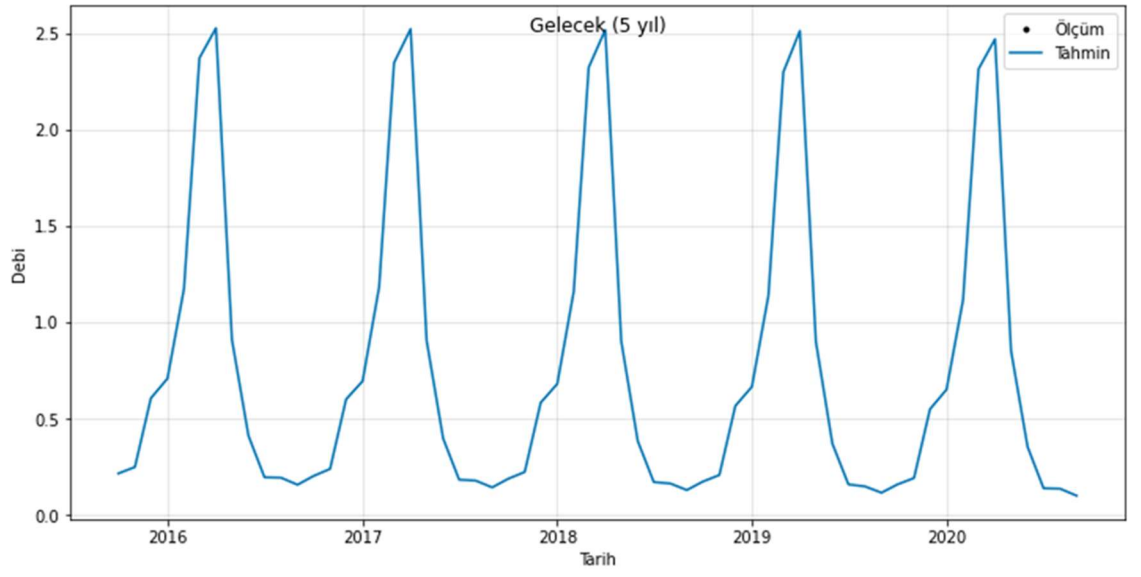
önemli bir değişim gözlenmemiştir. 1960-1985 arasındaki yağış değerlerinin bir kısmı model eğrisinin dışında kalmıştır.



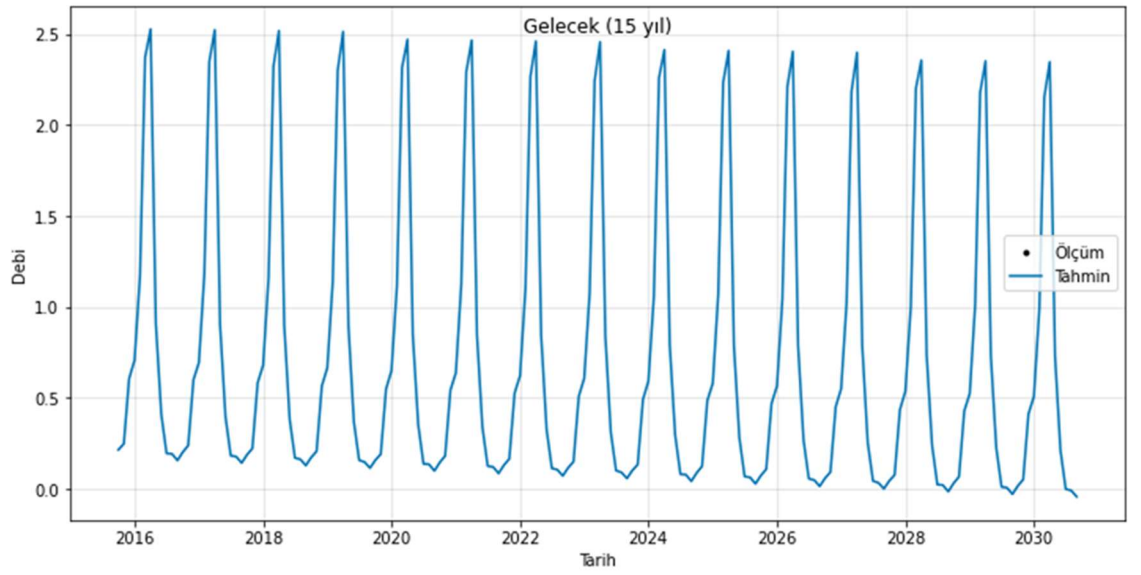
Şekil 4.11 Şarkikaraağaç istasyonu NP modeli eğitim verileri



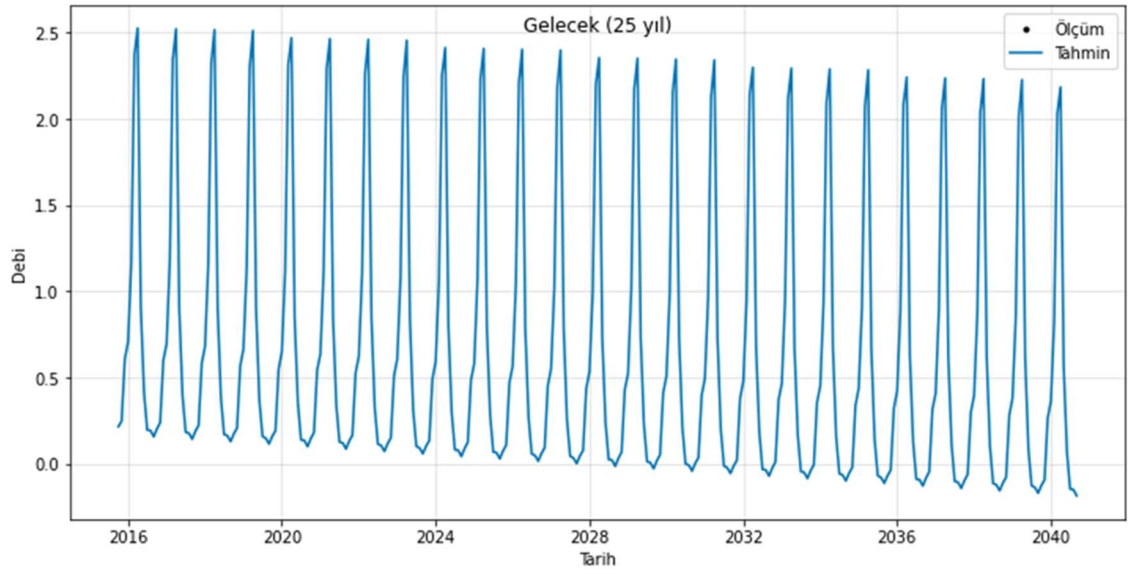
Şekil 4.12 Şarkikaraağaç istasyonu NP modeli test verileri



Şekil 4.13 Şarkikaraağaç istasyonu NP modeli gelecek 5 yıl için tahmin verileri



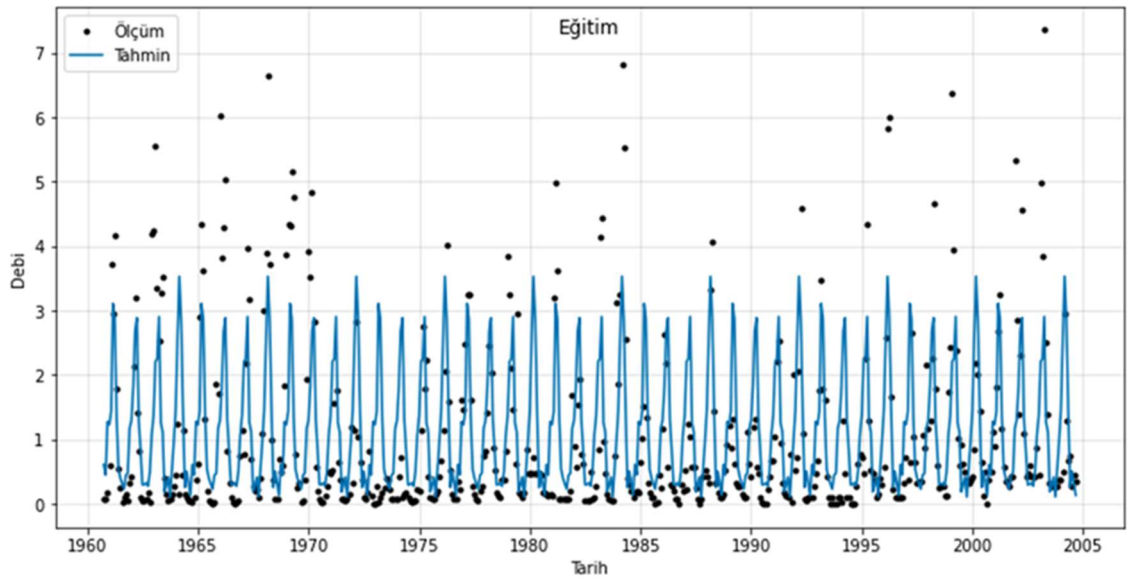
Şekil 4.14 Şarkikaraağaç istasyonu NP modeli gelecek 15 yıl için tahmin verileri



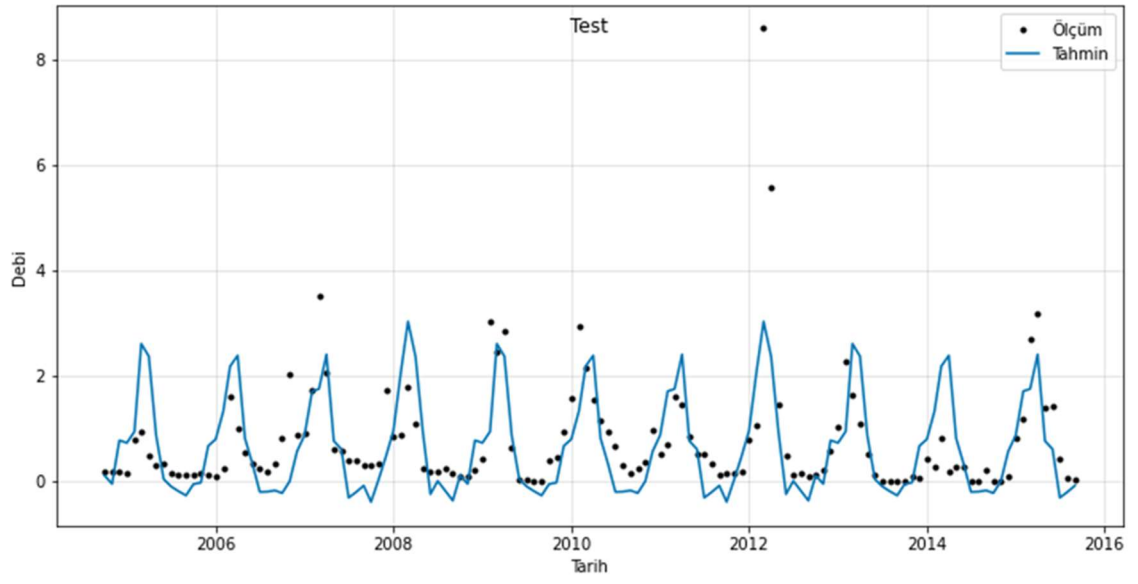
Şekil 4.15 Şarkikaraağaç istasyonu NP modeli gelecek 25 yıl için tahmin verileri

1613 Şarkikaraağaç - FP ile yapılan modelleme sonuçları

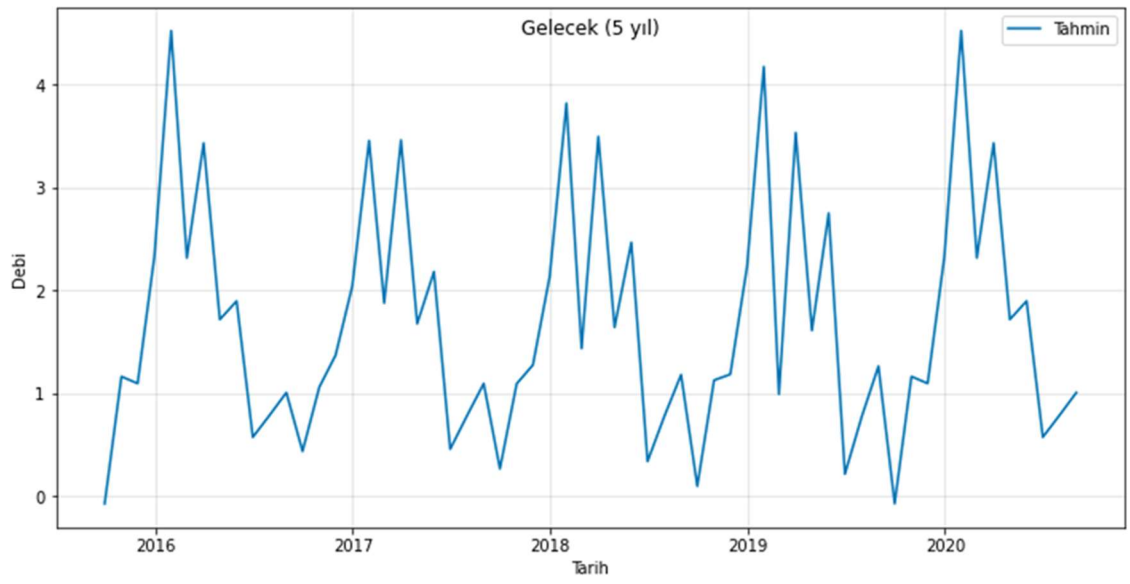
FP modelinin grafikleri incelendiğinde eğitim ve test verilerinde 1961-2015 arasında akım debisi hemen hemen aynı değerlerde stabil bir seyir izlemiştir. Gelecek tahminlerinde de benzer şekilde yatay eğilim sürmektedir.



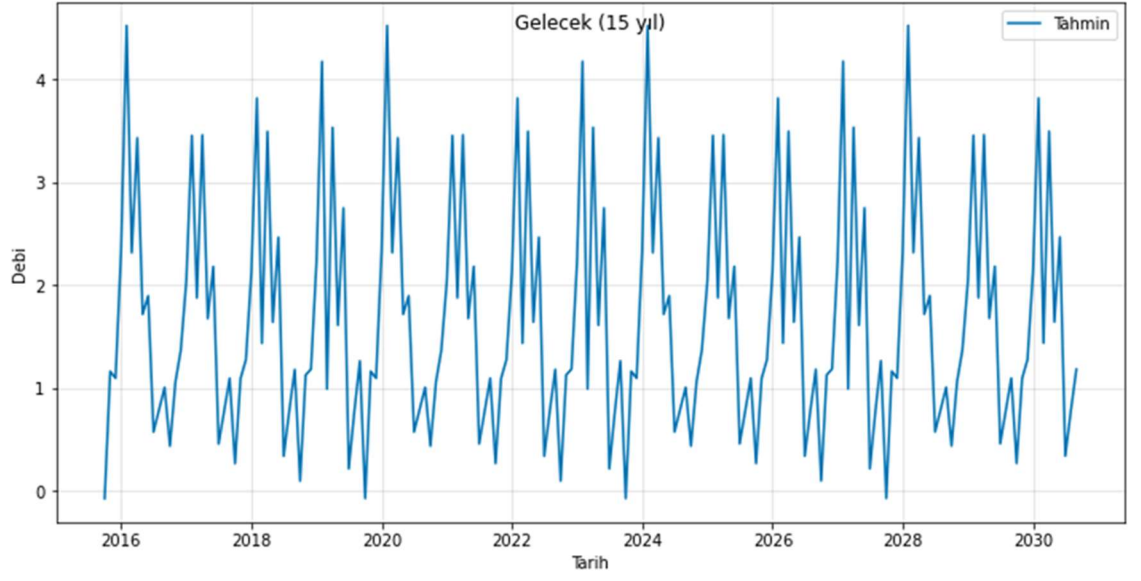
Şekil 4.16 Şarkikaraağaç istasyonu FP modeli eğitim verileri



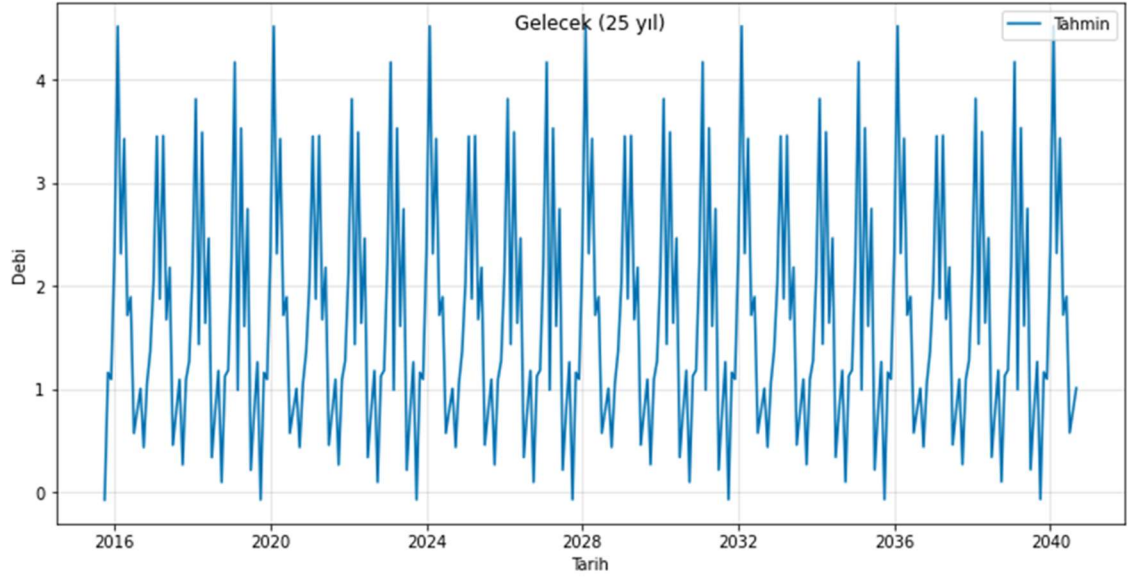
Şekil 4.17 Şarkikaraağaç istasyonu FP modeli test verileri



Şekil 4.18 Şarkikaraağaç istasyonu FP modeli gelecek 5 yıl için tahmin verileri



Şekil 4.19 Şarkikaraağaç istasyonu FP modeli gelecek 15 yıl için tahmin verileri



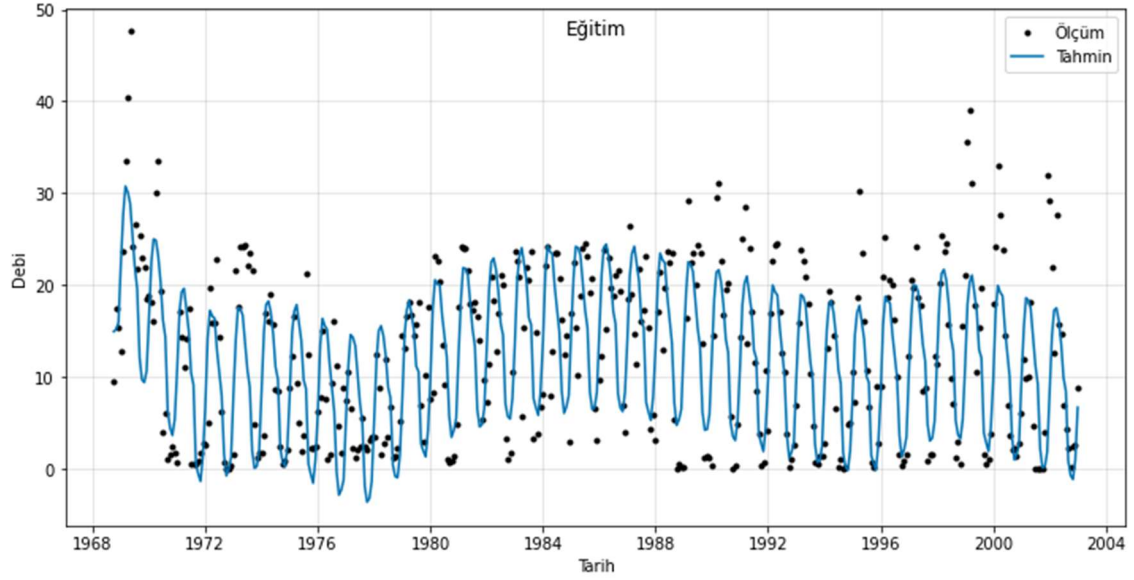
Şekil 4.20 Şarkikaraağaç istasyonu FP modeli gelecek 25 yıl için tahmin verileri

4.2.3 Beyşehir gölü suğla çıkışı EİE akım gözlem istasyonu (1621)

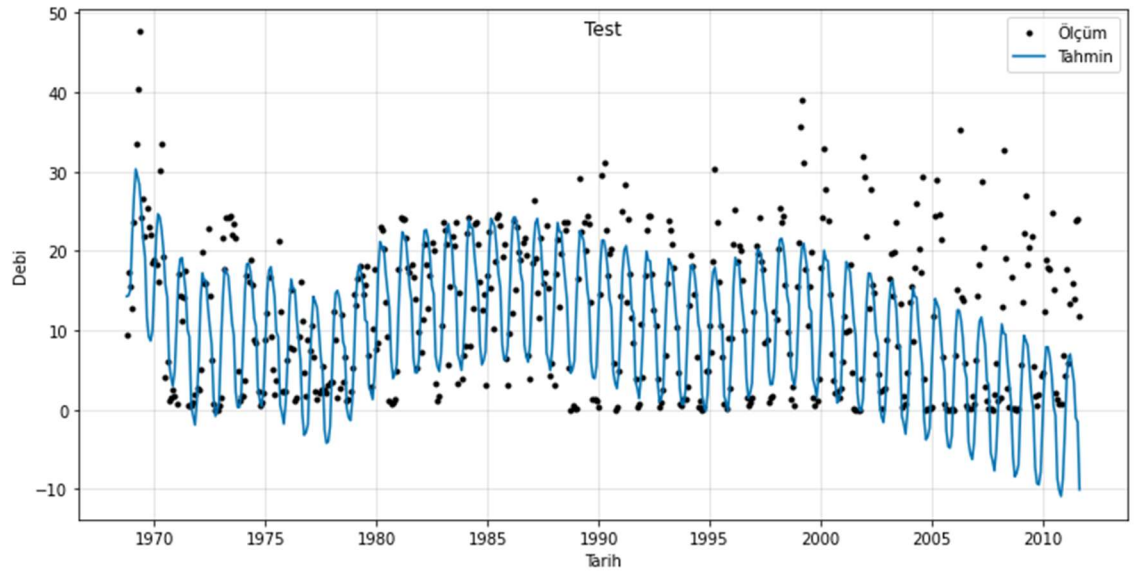
NP ile yapılan modelleme sonuçları

Beyşehir gölünün seviyesine bağlı olarak ihtiyaç olan zamanlarda, Beyşehir gölü regülatör kapakları açılarak mambadan tahliye edilen su, mansapta yer alan Suğla gölünde depolanmaktadır. Bu iki istasyon arasındaki akım eğiliminin benzer olması beklenmektedir.

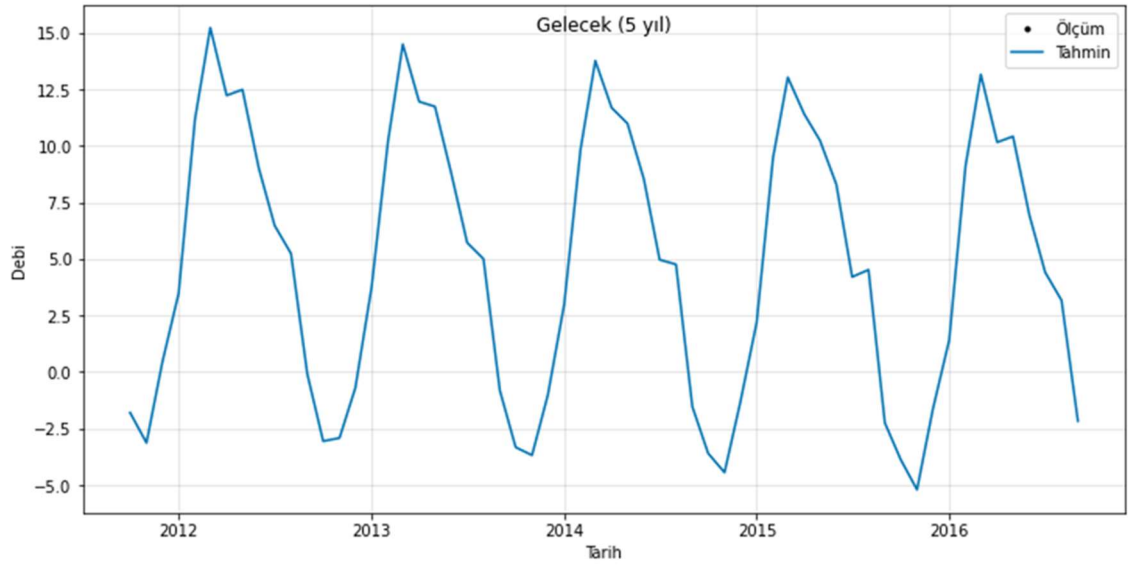
NP analizlerine göre Suğla ıkış istasyonunda, eğitım ve test verilerinde belirgin şekilde azalan bir eğilim bulunmaktadır. 2012 yılında yaklaşık 15 m³/s olacağı tahmin edilen akım debisi 2036 yılında 5 m³/s den daha aşağıya düşmektedir.



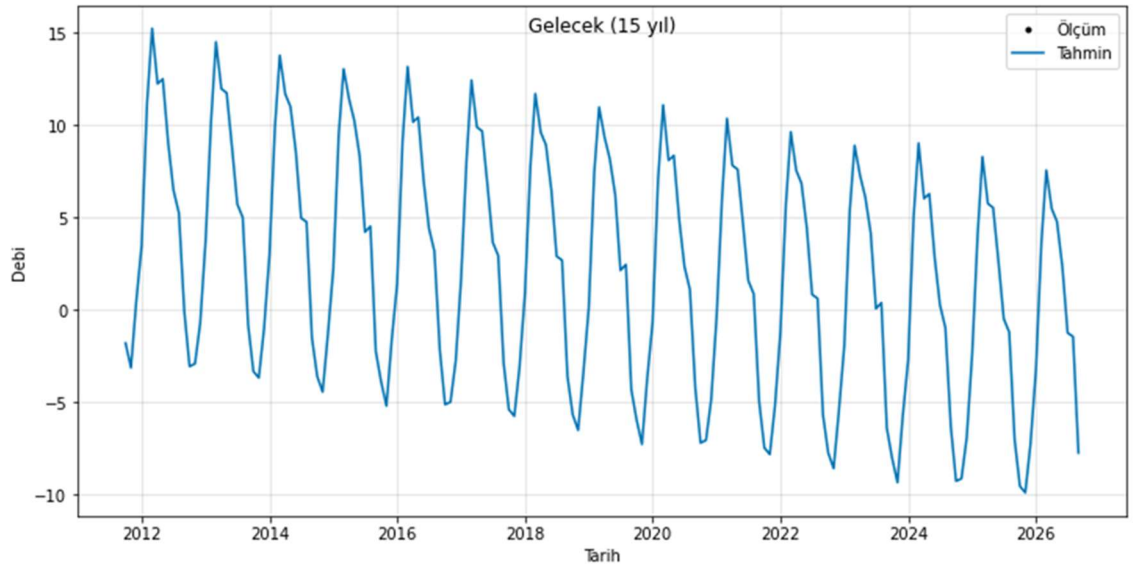
Şekil 4.21 Suğla istasyonu NP modeli eğitım verileri



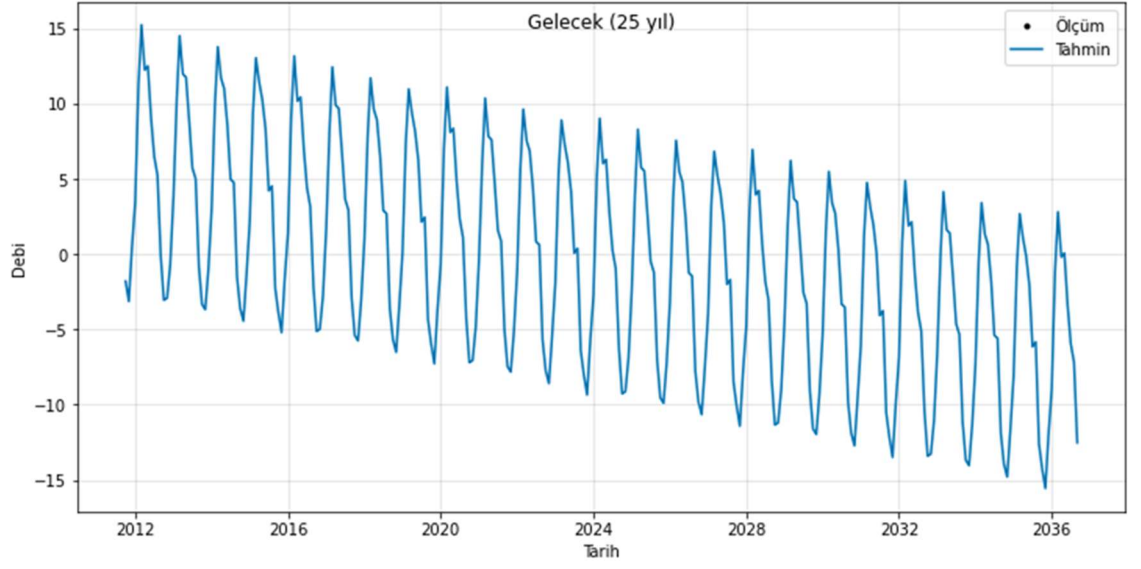
Şekil 4.22 Suğla istasyonu NP modeli test verileri



Şekil 4.23 Suğla istasyonu NP modeli gelecek 5 yıl için tahmin verileri



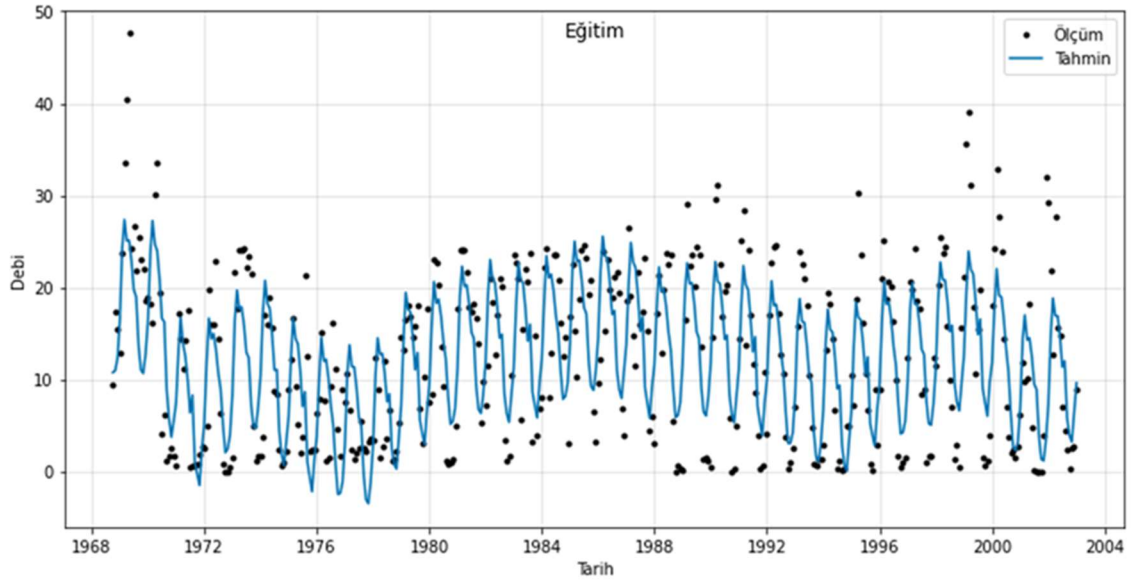
Şekil 4.24 Suğla istasyonu NP modeli gelecek 15 yıl için tahmin verileri



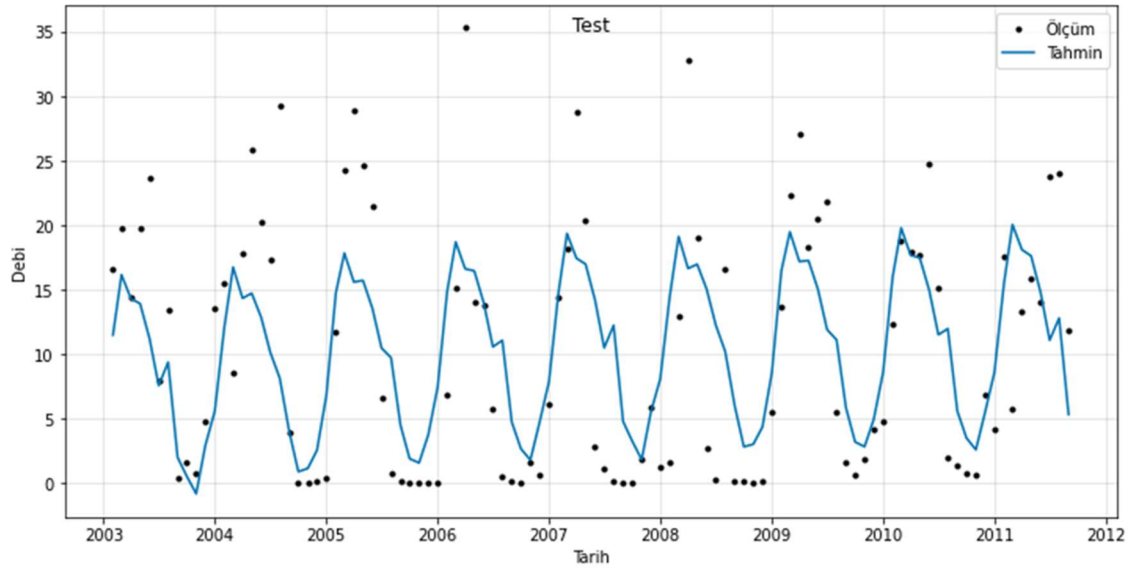
Şekil 4.25 Suğla istasyonu NP modeli gelecek 25 yıl için tahmin verileri

1621 Beyşehir Gölü suğla çıkışı - FP ile yapılan modelleme sonuçları

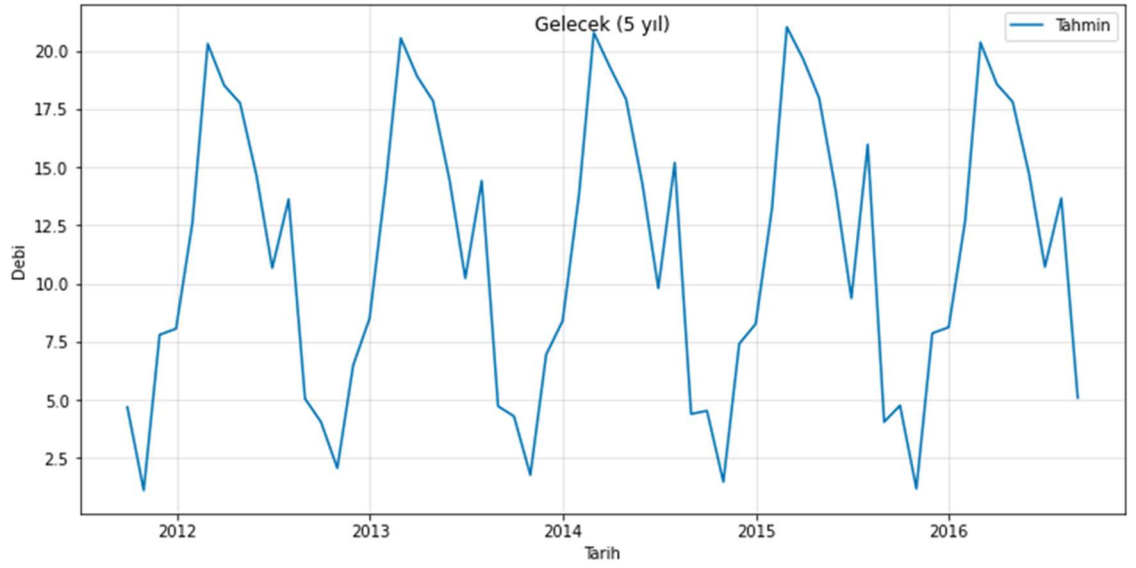
FP analizinde eğitim ve test grafikleri NP modeli ile uyum içinde olmasına rağmen, NP analizinden çok farklı biçimde FP'ye göre gelecek 5, 15 ve 25 yıl içinde akımda yatay bir seyir gözlenmektedir.



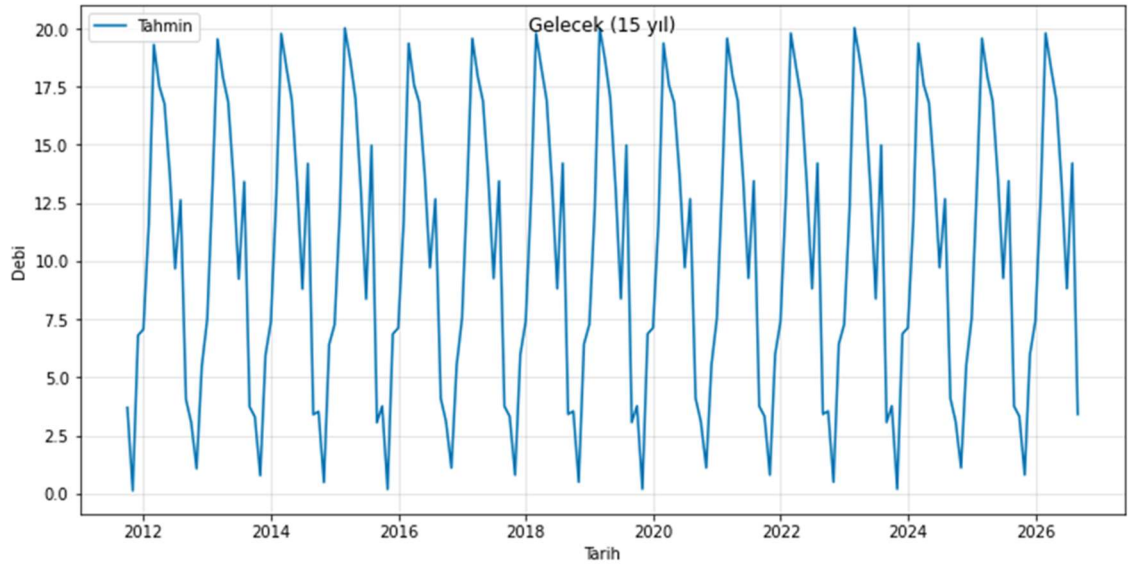
Şekil 4.26 Suğla istasyonu FP modeli eğitim verileri



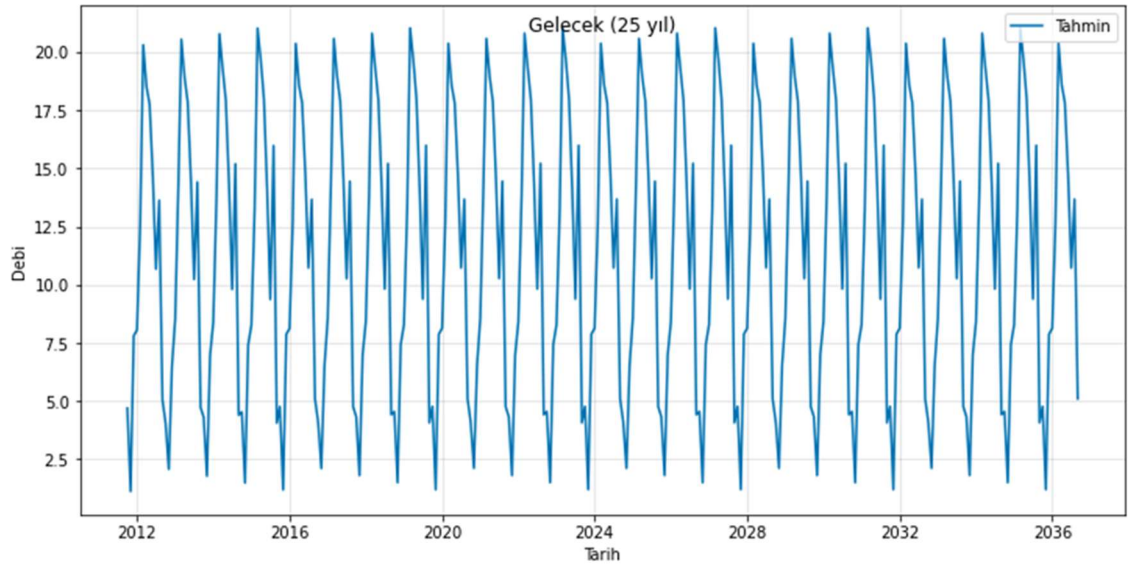
Şekil 4.27 Suğla istasyonu FP modeli test verileri



Şekil 4.28 Suğla istasyonu FP modeli gelecek 5 yıl için tahmin verileri



Şekil 4.29 Suğla istasyonu FP modeli gelecek 15 yıl için tahmin verileri

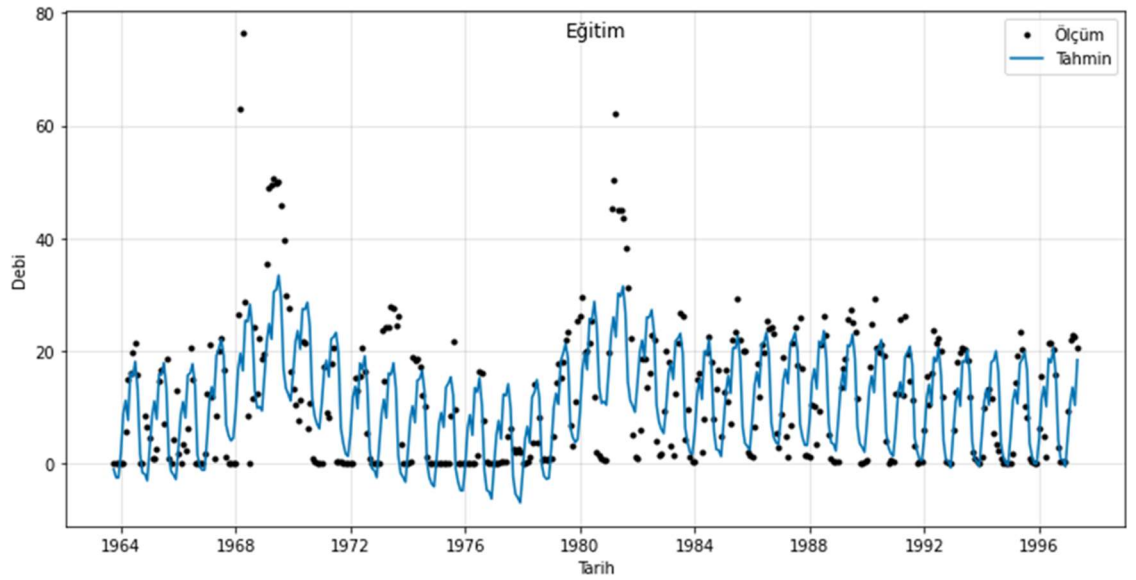


Şekil 4.30 Suğla istasyonu FP modeli gelecek 25 yıl için tahmin verileri

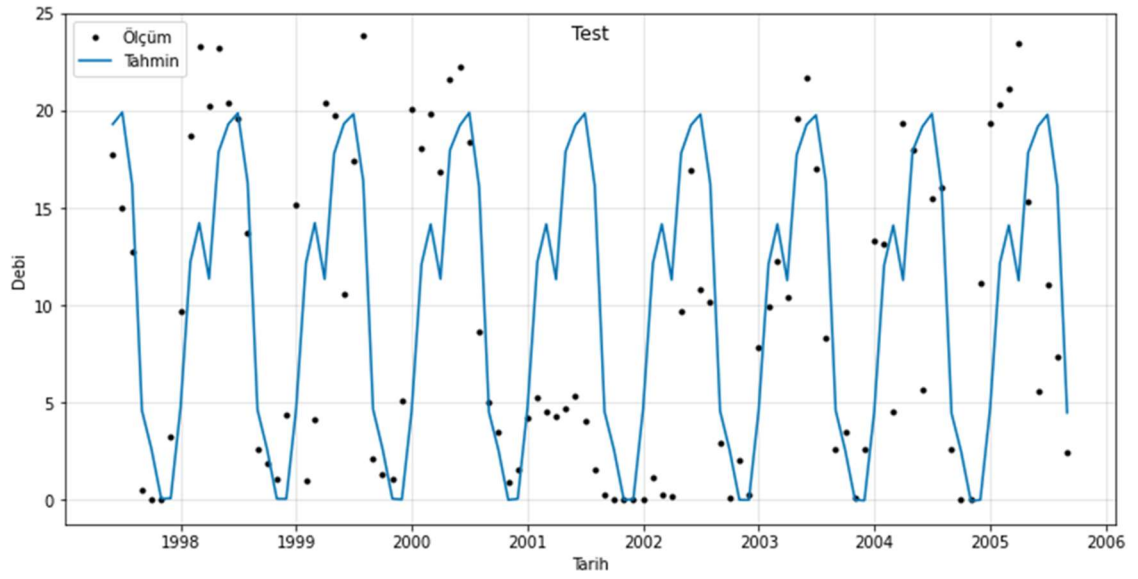
4.2.4 Beyşehir gölü regülatör çıkışı EİE akım gözlem istasyonu (1604)

NP ile yapılan modelleme sonuçları

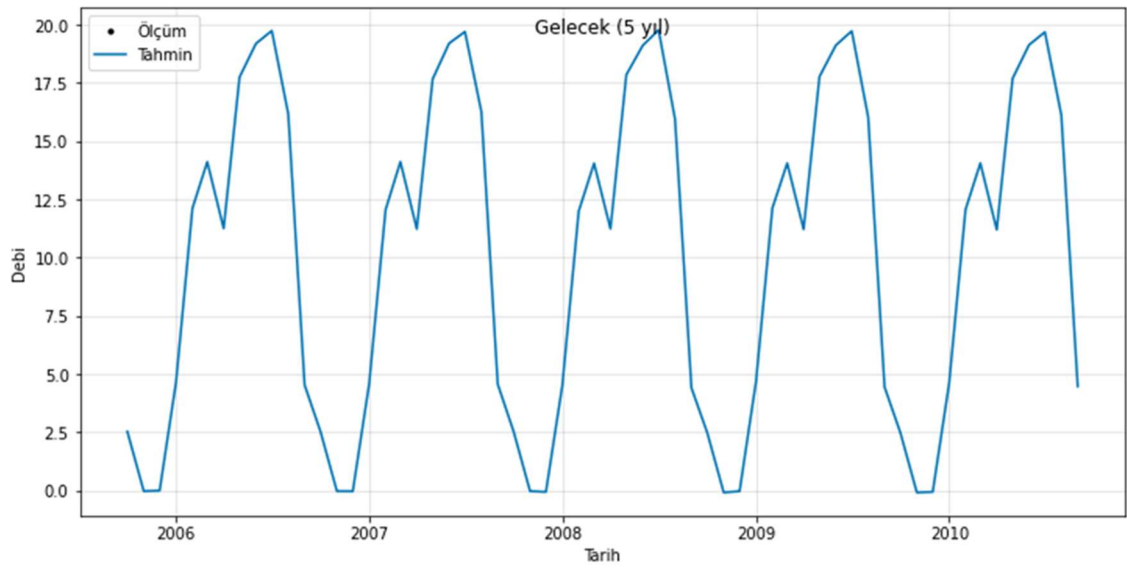
Suğla çıkışı istasyonunda NP analizine göre azalma izlenirken regülatör çıkışında yatay bir eğilim bulunmaktadır. Bu durum Suğla gölünü besleyen diğer kaynakların akımında bir azalma olduğu şeklinde yorumlanabilir. Regülatör kontrollü bir yapı olduğundan çıkış istasyonundaki akımın yatay seyretmesi, belli miktarda suyun tahliye edilmesine bağlı olabileceği gibi Beyşehir gölünün akım eğiliminin yatay olduğu şeklinde de yorumlanabilir. Eğitim ve test verileri değerlendirildiğinde 1984 yılından 2005'e kadar gözlenmiş verilerde gelecek tahminleri ile örtüşen şekilde eğilimde bir yataylık bulunmaktadır. 1960-1984 arasında eğitim verilerinde gözlenen değişimlerin kısa orta ve uzun dönemli tahmin sonuçlarında önemli bir etki meydana getirmediği söylenebilir.



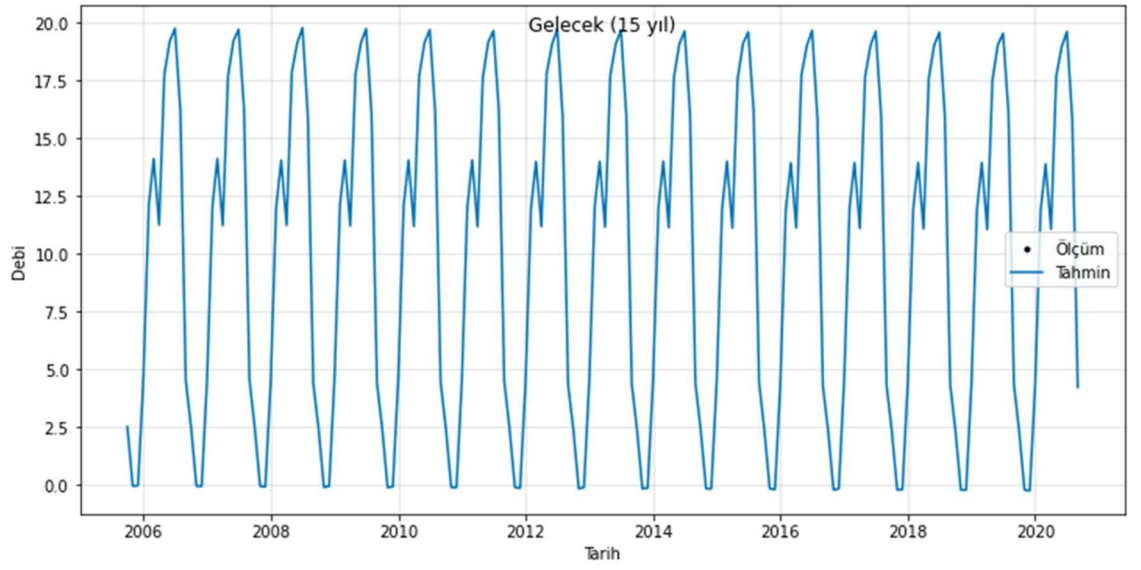
Şekil 4.31 Beyşehir Gölü regülatör çıkış istasyonu NP modeli eğitim verileri



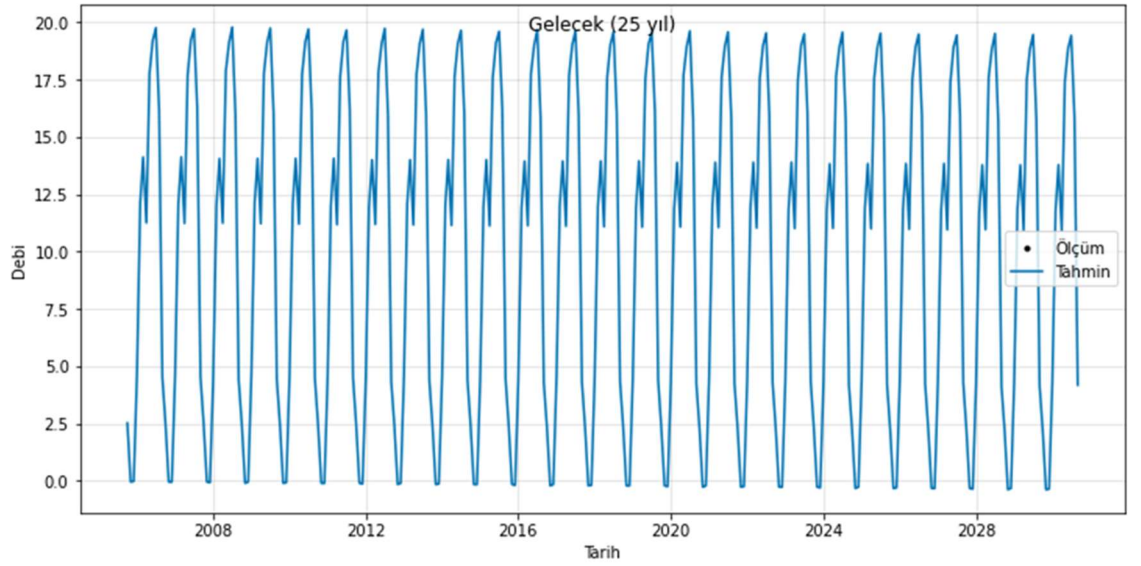
Şekil 4.32 Beyşehir Gölü regülatör çıkış istasyonu NP modeli test verileri



Şekil 4.33 Beyşehir Gölü regülatör çıkış istasyonu NP modeli gelecek 5 yıl için tahmin verileri



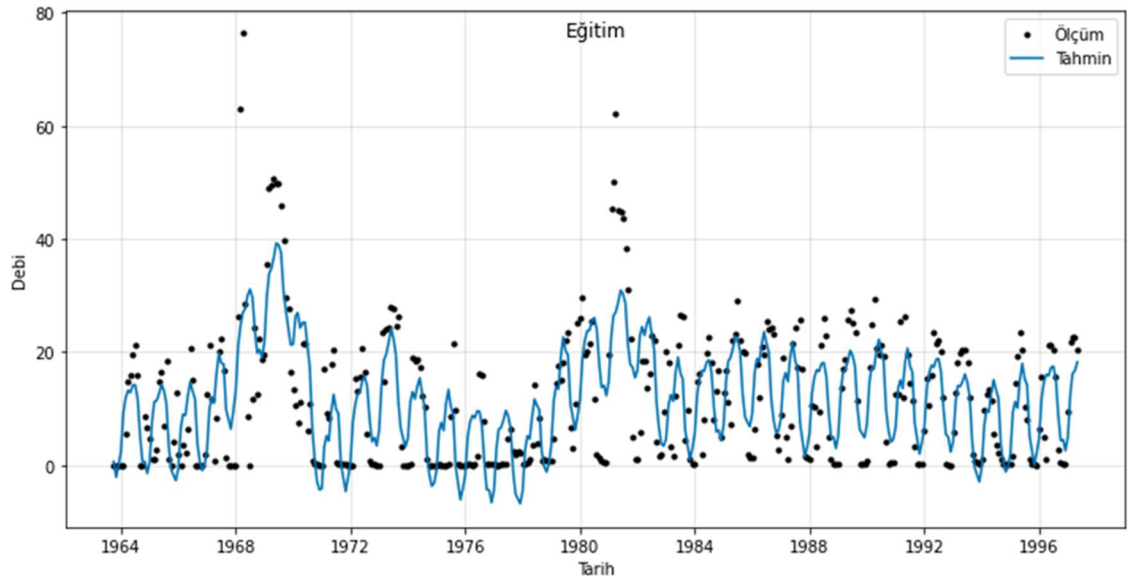
Şekil 4.34 Beyşehir Gölü regülatör çıkış istasyonu NP modeli gelecek 15 yıl için tahmin verileri



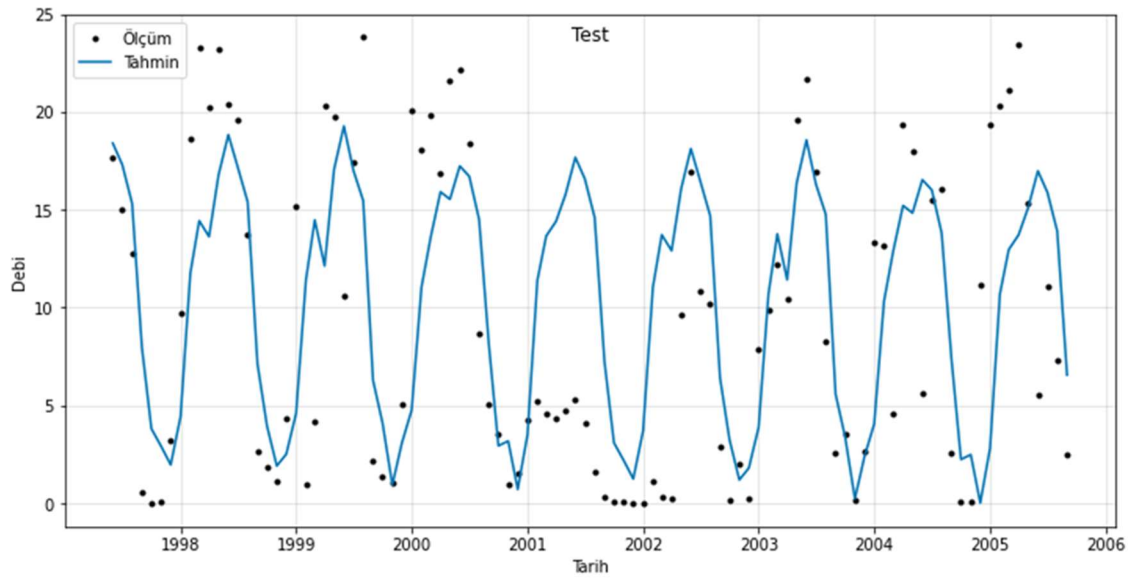
Şekil 4.35 Beyşehir Gölü regülatör çıkış istasyonu NP modeli gelecek 25 yıl için tahmin verileri

1604 Beyşehir Gölü regülatör çıkışı - FP ile yapılan modelleme sonuçları

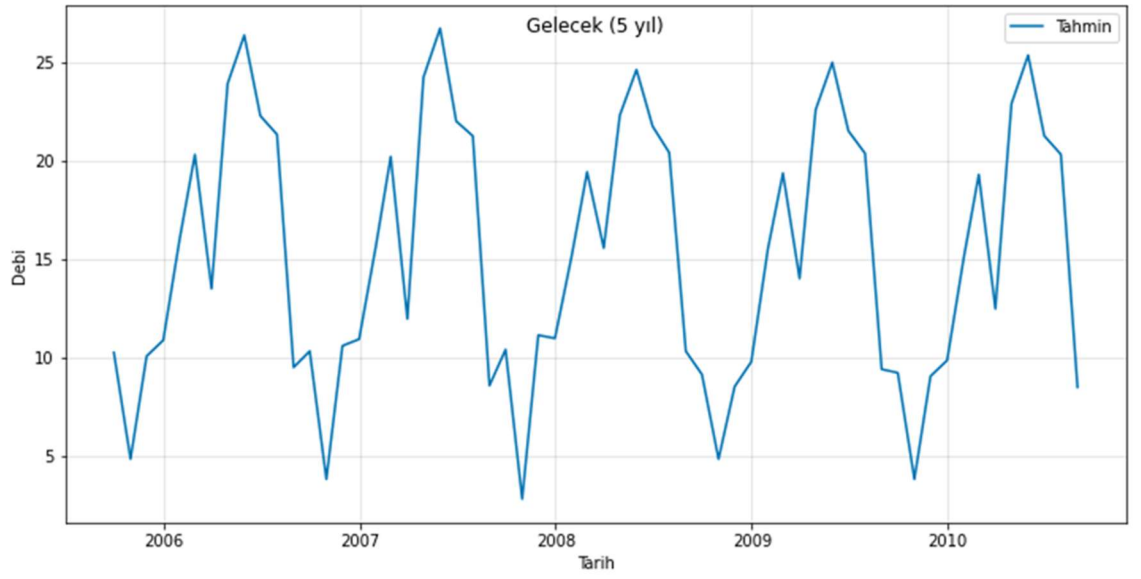
Regülatör çıkış istasyonunda FP analizine göre azalan bir eğilim görülmesine rağmen, Suğla çıkışı FP analizinde yatay bir eğilim bulunmaktadır. Akım debisinin 1984 yılından sonra, 1964-1984 arasında gözlenen akım değerlerinin ortalamasına yakın seyrettiği görülmektedir. FP modelinin gelecek periyotlar için yapılan tahminlerinde de bu ortalamanın civarında değerler alarak azalan bir eğilim gösterdiği söylenebilir.



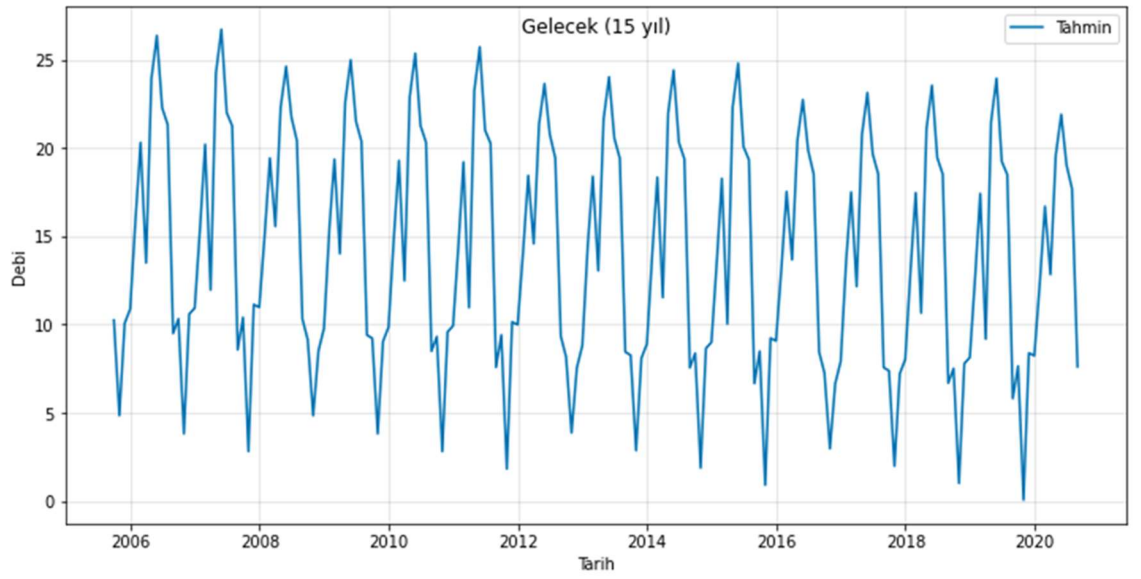
Şekil 4.36 Beyşehir Gölü regülatör çıkış istasyonu FP modeli eğitim verileri



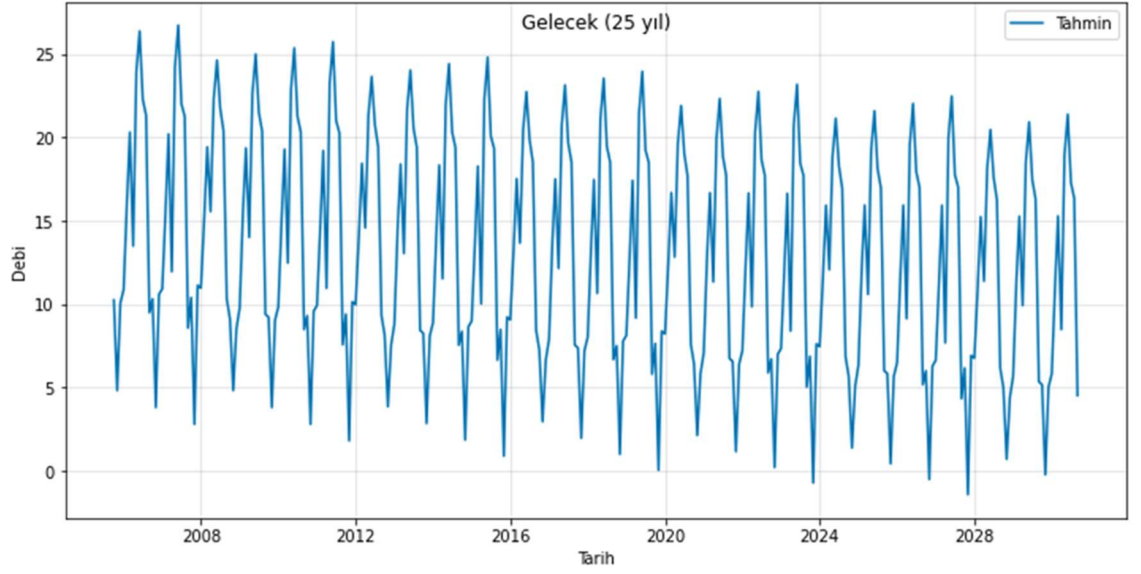
Şekil 4.37 Beyşehir Gölü regülatör çıkış istasyonu FP modeli test verileri



Şekil 4.38 Beyşehir Gölü regülatör çıkış istasyonu FP modeli gelecek 5 yıl için tahmin verileri



Şekil 4.39 Beyşehir Gölü regülatör çıkış istasyonu FP modeli gelecek 15 yıl için tahmin verileri

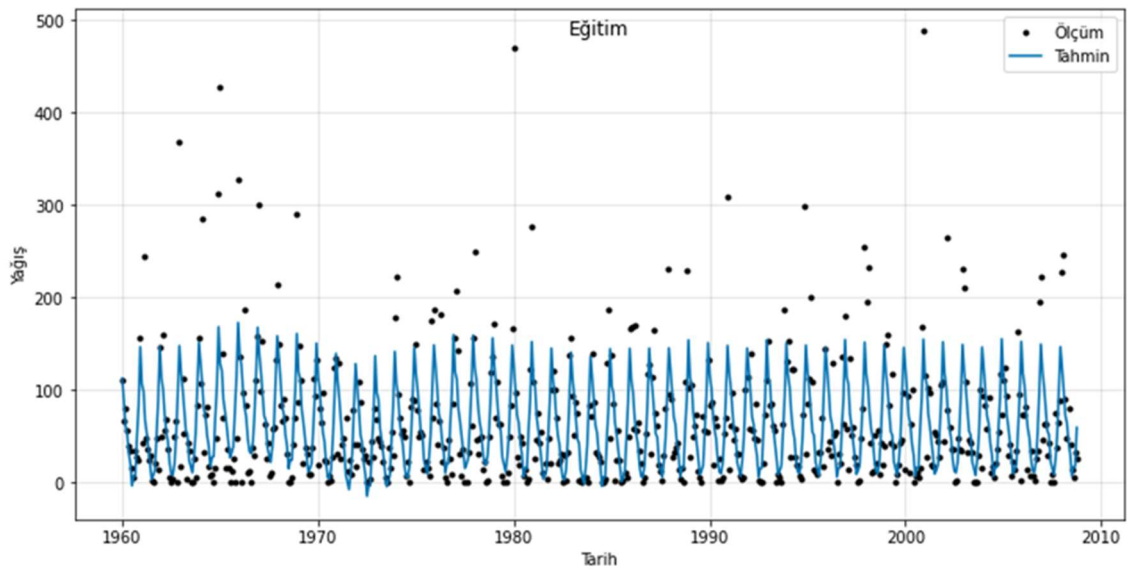


Şekil 4.40 Beyşehir Gölü regülatör çıkış istasyonu FP modeli gelecek 25 yıl için tahmin verileri

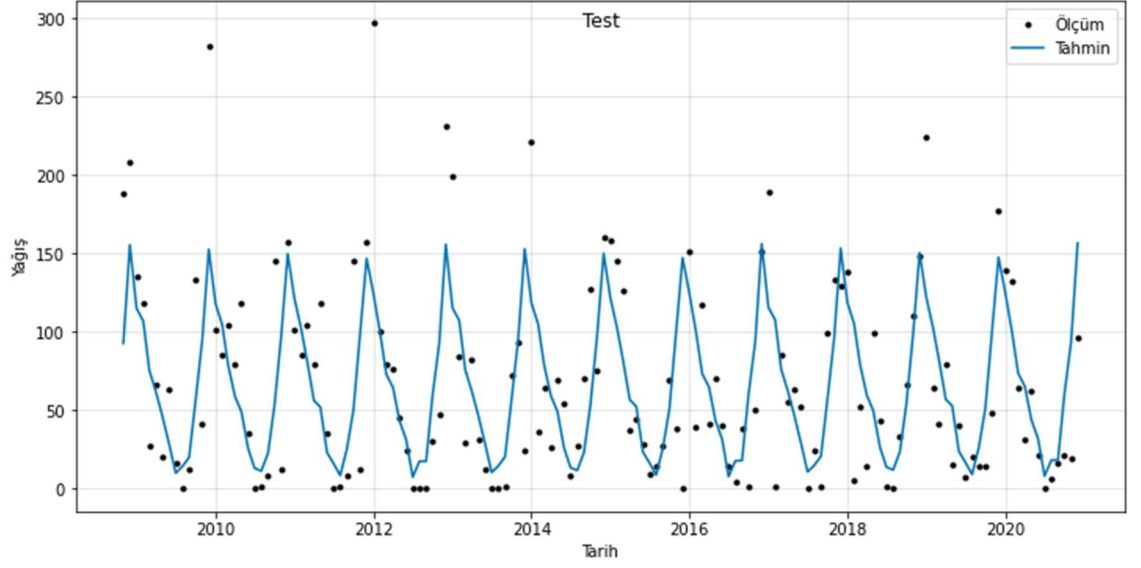
4.2.5 Seydişehir MGM istasyonu yağış verileri ile yapılan modelleme

NP ile yapılan modelleme sonuçları

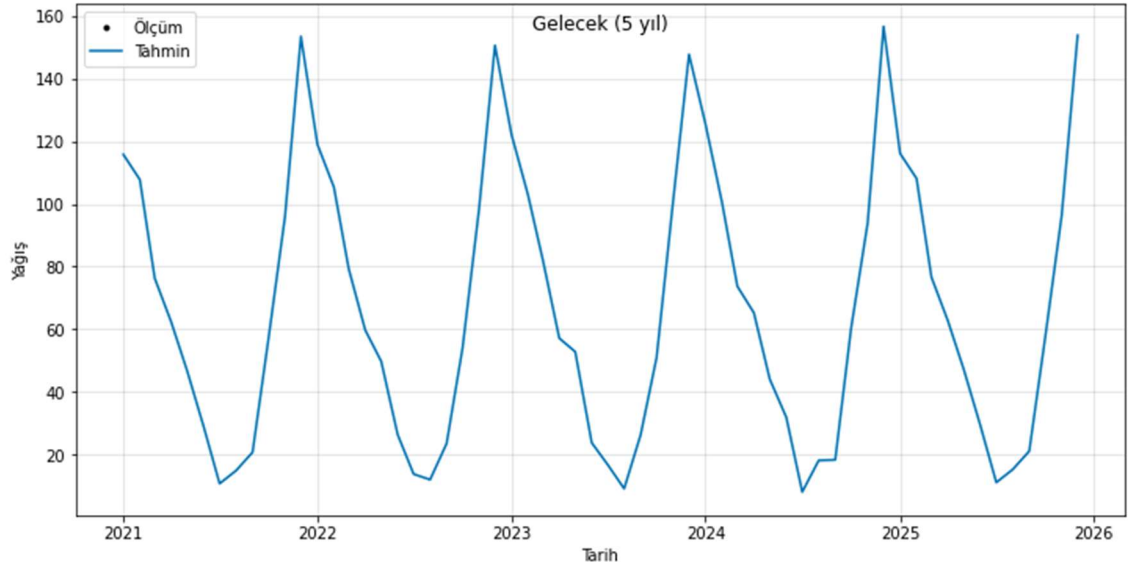
Şekil 4.41’de yer alan eğitim verilerine göre 1965 yılından sonra yağış miktarında azalan bir eğilim gözlenmektedir. NP modellemesi ile yapılan gelecek tahminlerine göre Seydişehir istasyonunda yağış, çok hafif bir düşüşle zamanla azalan bir eğilim göstermektedir.



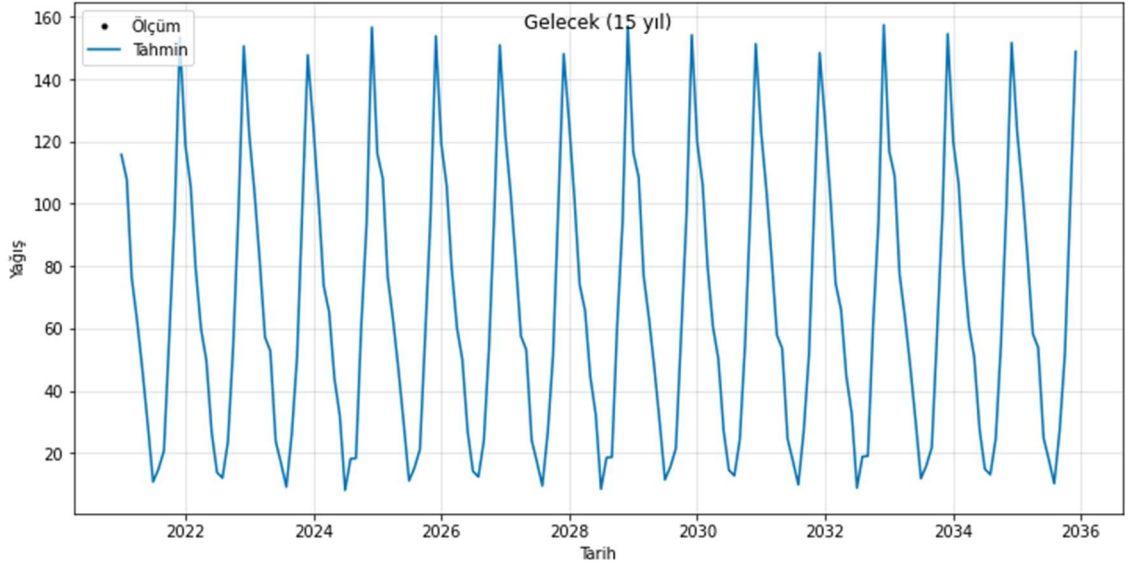
Şekil 4.41 Seydişehir istasyonu NP modeli eğitim verileri



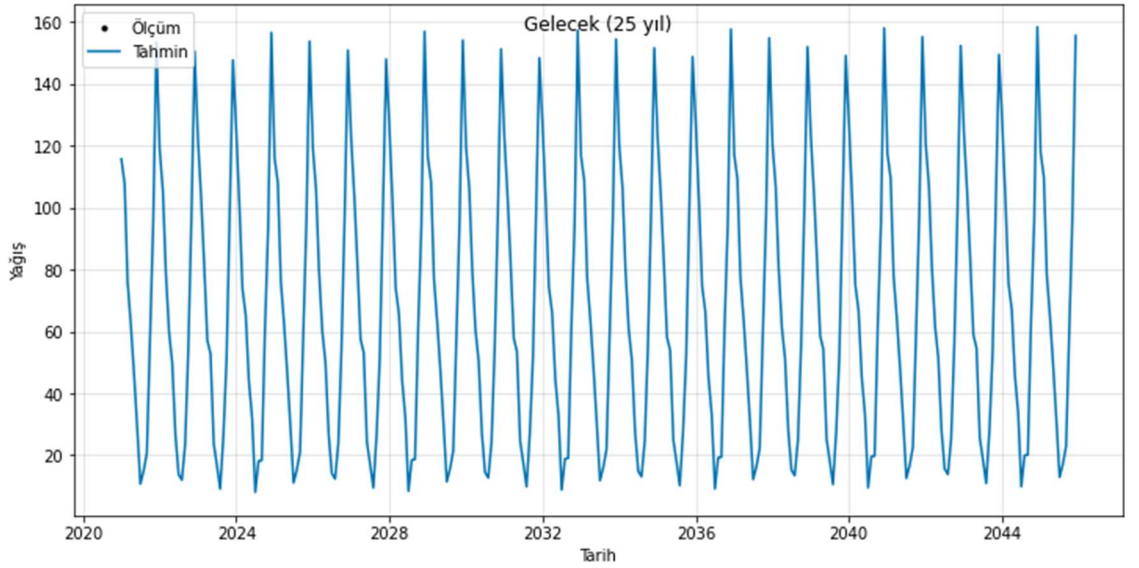
Şekil 4.42 Seydişehir istasyonu NP modeli test verileri



Şekil 4.43 Seydişehir istasyonu NP modeli gelecek 5 yıl için tahmin verileri



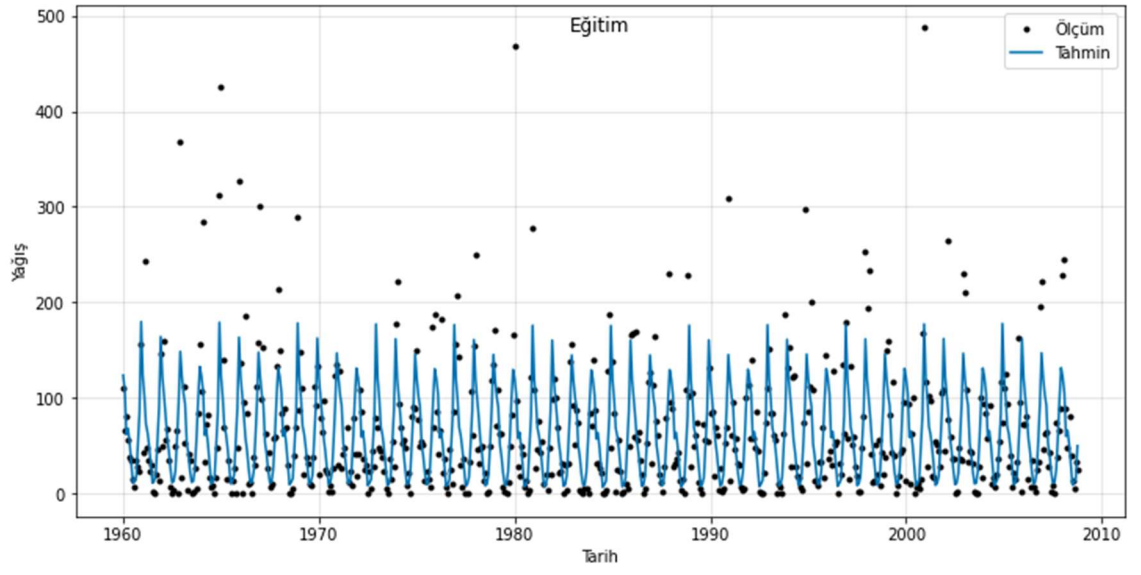
Şekil 4.44 Seydişehir istasyonu NP modeli gelecek 15 yıl için tahmin verileri



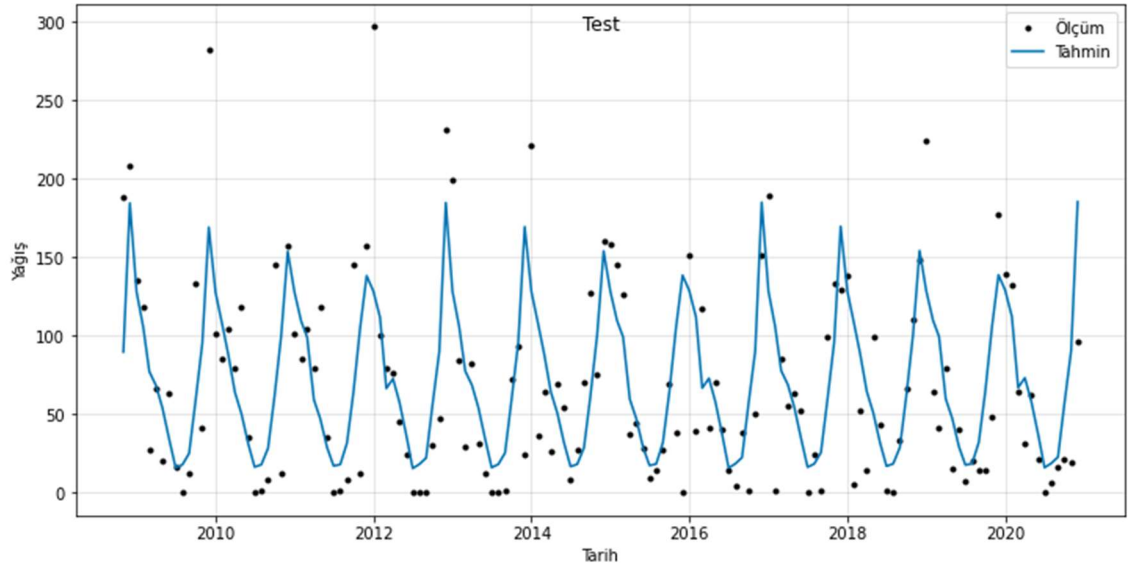
Şekil 4.45 Seydişehir istasyonu NP modeli gelecek 25 yıl için tahmin verileri

Seydişehir MGM yağış verileri- FP ile yapılan modelleme sonuçları

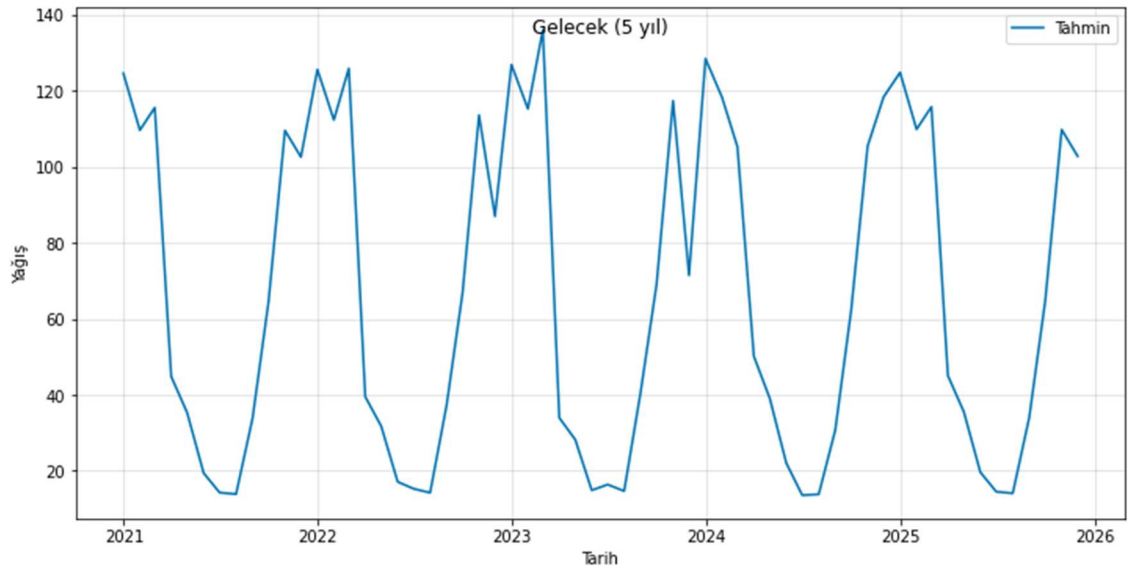
FP ile elde edilen tahminlere göre NP modelinden daha belirgin şekilde yağış azalan bir eğilim göstermektedir. 2020 yılında 180 mm civarındaki yağış miktarı 2046 yılında 110 mm'ye düşmektedir.



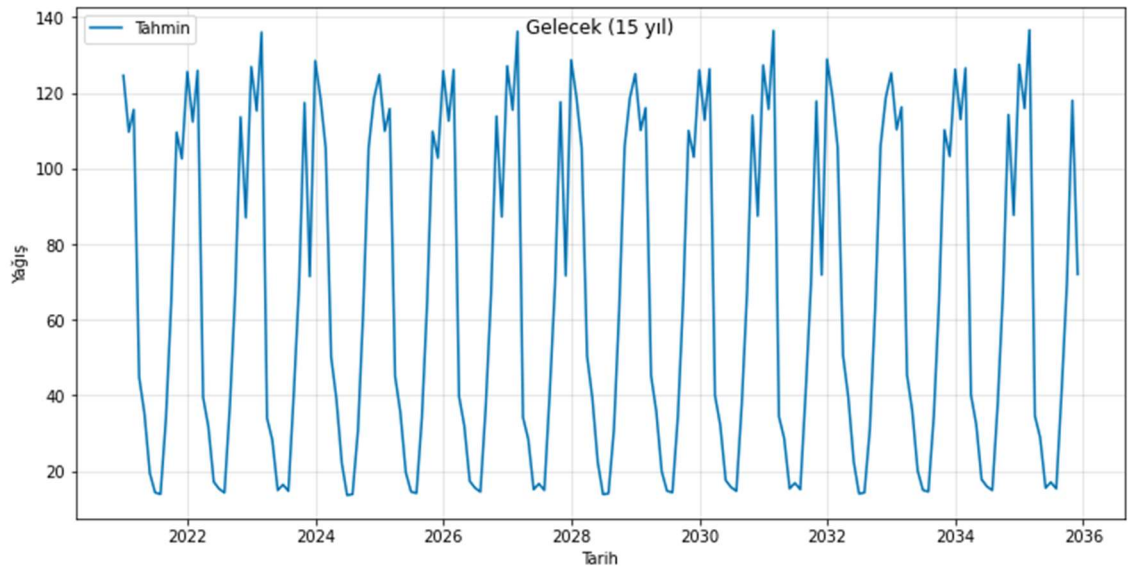
Şekil 4.46 Seydişehir istasyonu FP modeli eğitim verileri



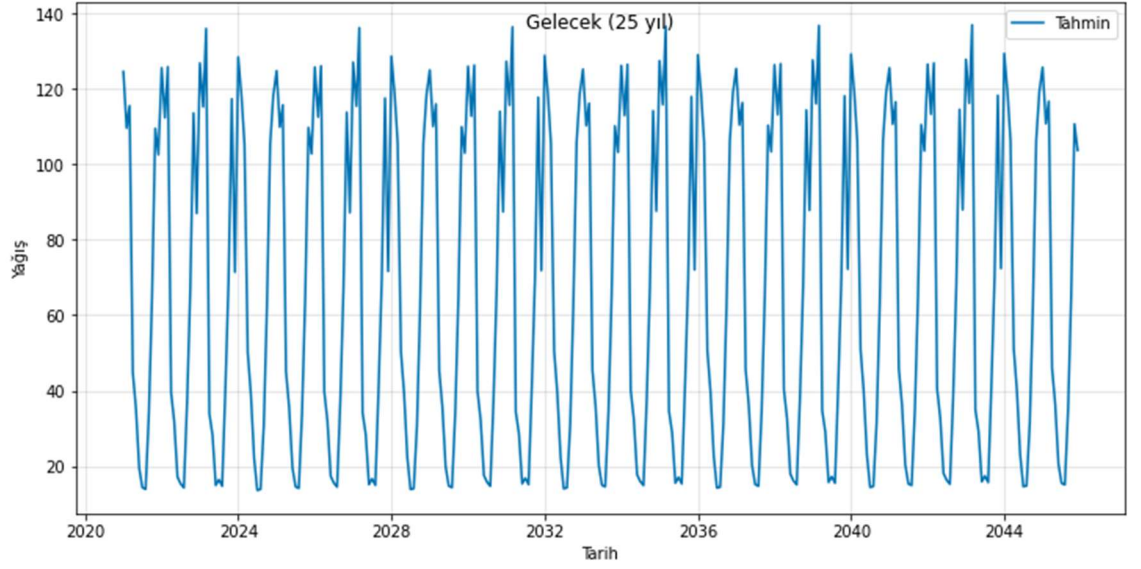
Şekil 4.47 Seydişehir istasyonu FP modeli test verileri



Şekil 4.48 Seydişehir istasyonu FP modeli gelecek 5 yıl için tahmin verileri



Şekil 4.49 Seydişehir istasyonu FP modeli gelecek 15 yıl için tahmin verileri

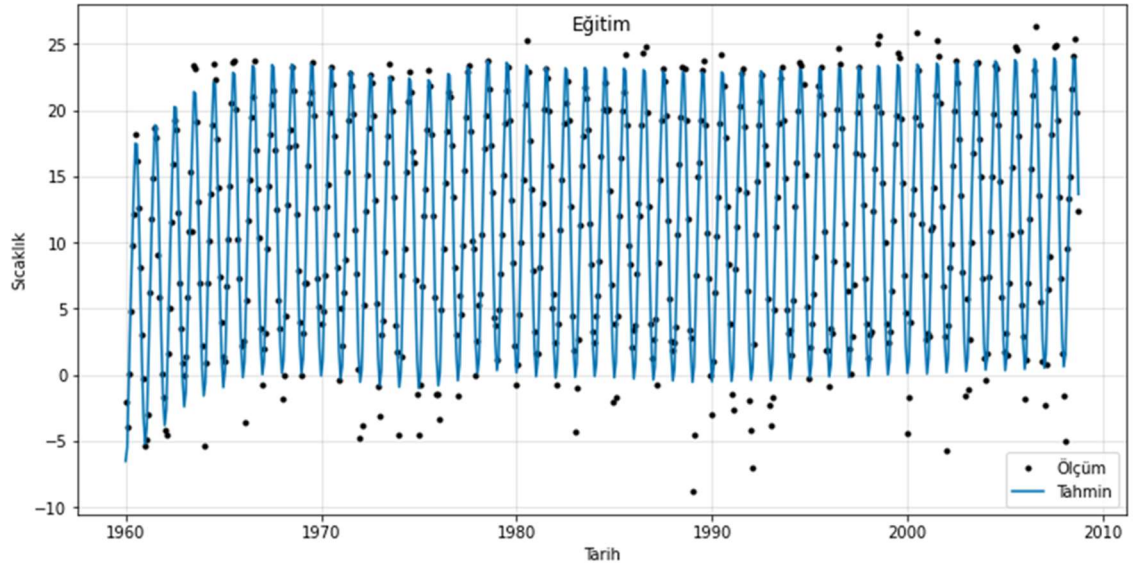


Şekil 4.50 Seydişehir istasyonu FP modeli gelecek 25 yıl için tahmin verileri

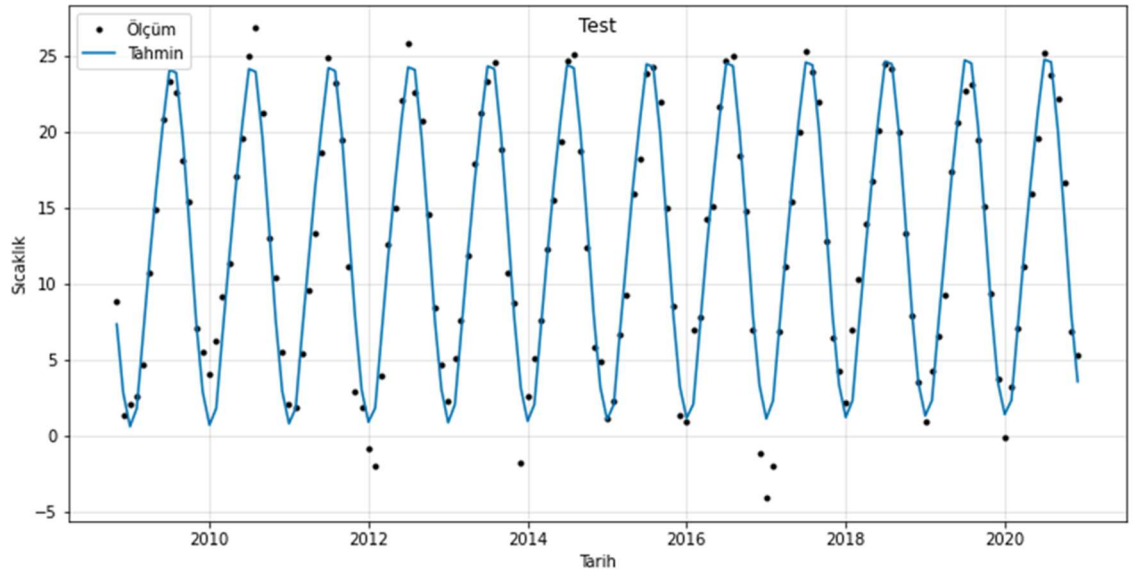
4.2.6 Seydişehir MGM istasyonu sıcaklık verileri ile yapılan modelleme

NP ile yapılan modelleme sonuçları

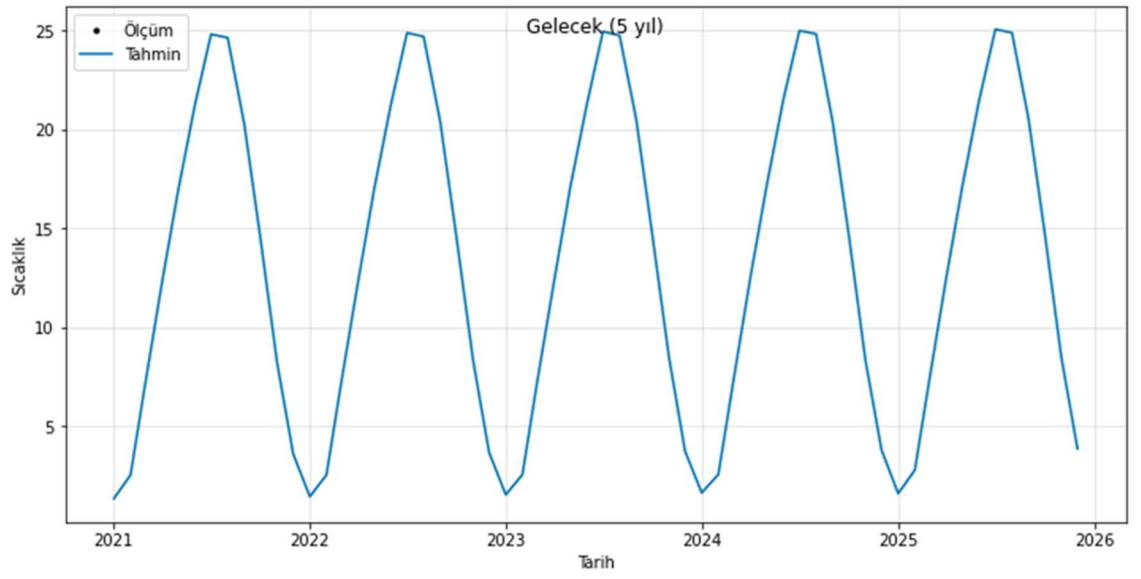
Seydişehir istasyonu için yapılan kısa, orta ve uzun dönem tahminlerine göre hafif eğimle artan bir sıcaklık eğilimi görülmektedir. Yağış tahmininde hafif eğimle bir azalma söz konusu iken sıcaklık benzer oranda artış göstermiştir. Aynı hafif artış eğitim ve test verilerinden de izlenebilmektedir.



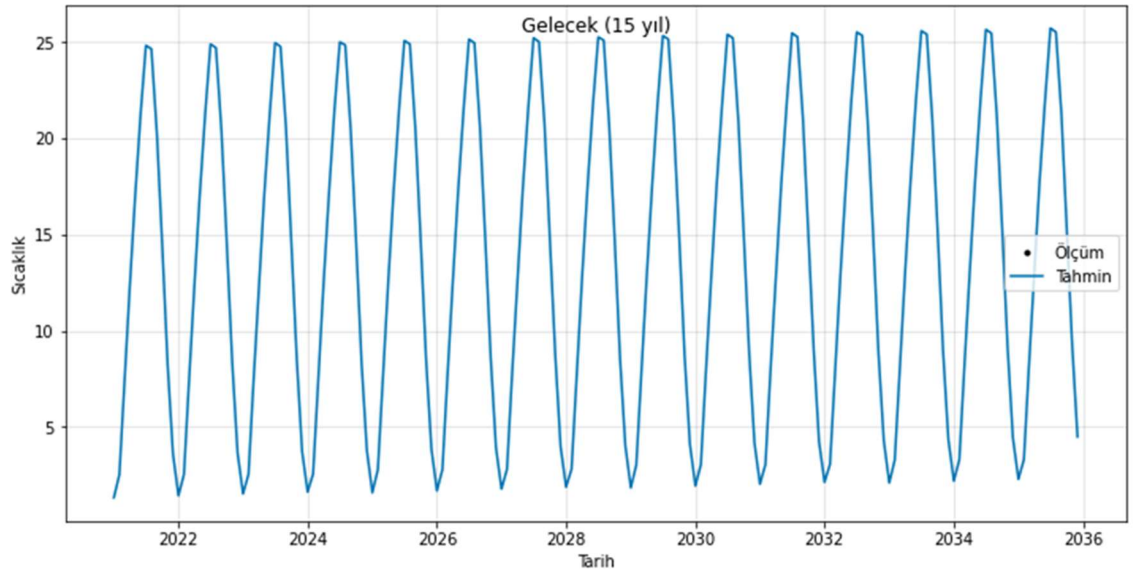
Şekil 4.51 Seydişehir istasyonu NP modeli sıcaklık eğitim verileri



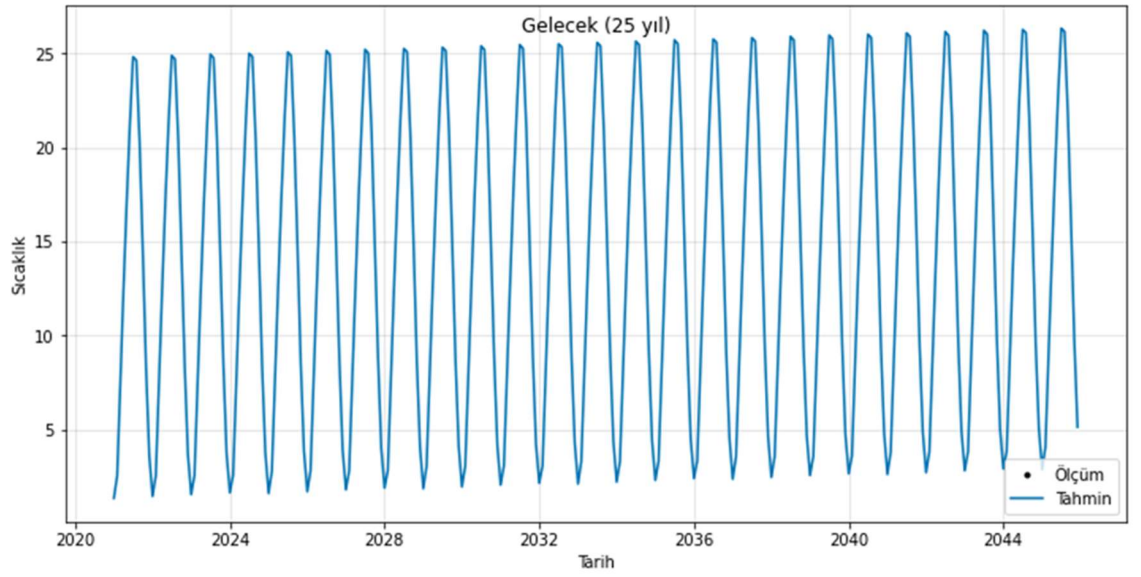
Şekil 4.52 Seydişehir istasyonu NP modeli sıcaklık test verileri



Şekil 4.53 Seydişehir istasyonu NP modeli gelecek 25 yıl için sıcaklık tahmin verileri



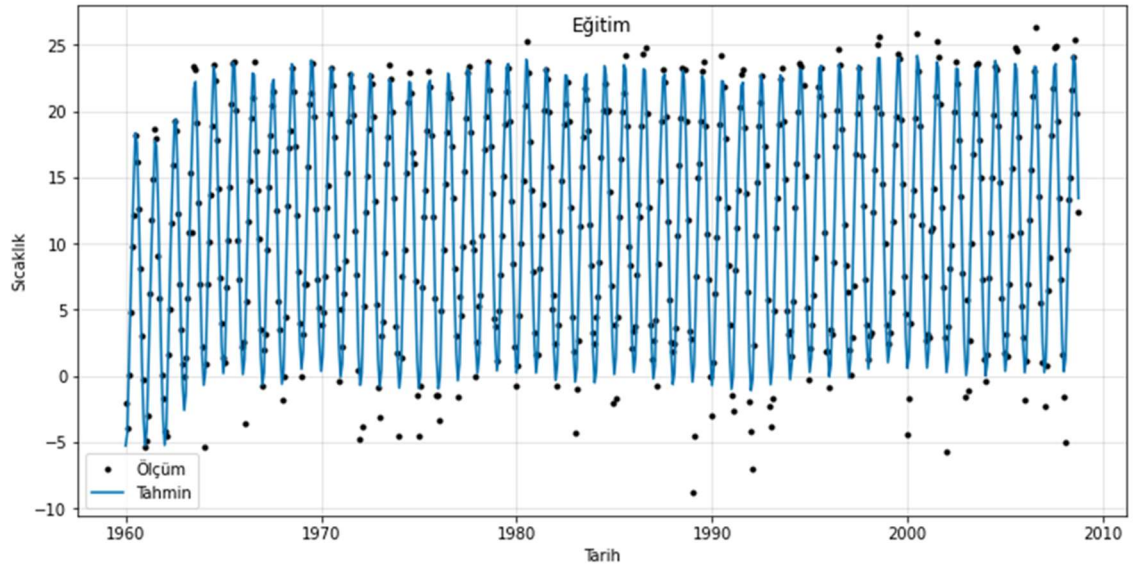
Şekil 4.54 Seydişehir istasyonu NP modeli gelecek 15 yıl için sıcaklık tahmin verileri



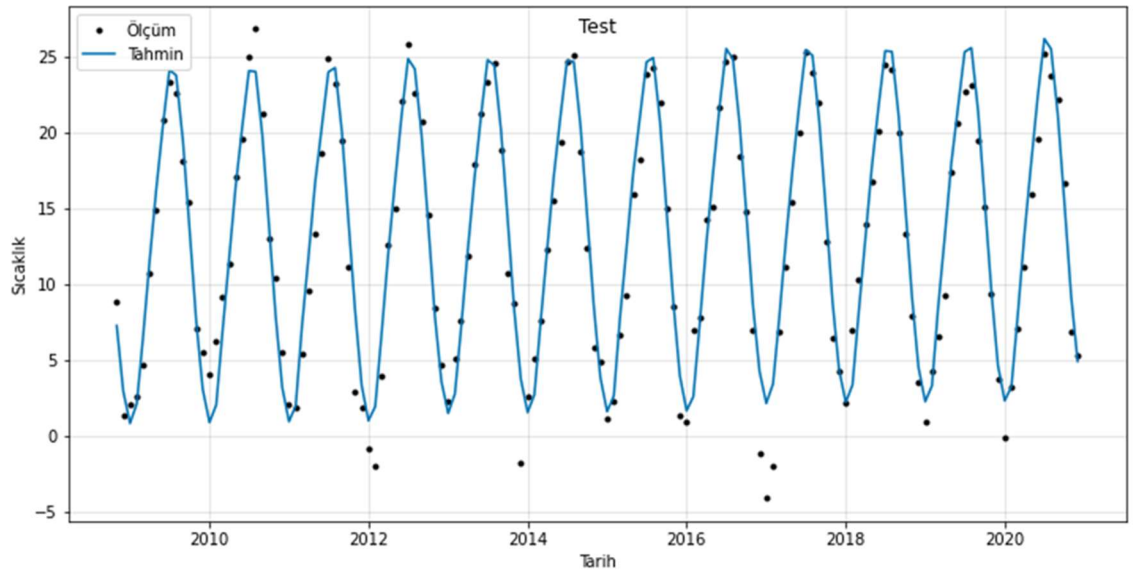
Şekil 4.55 Seydişehir istasyonu NP modeli gelecek 25 yıl için sıcaklık tahmin verileri

Seydişehir MGM istasyonu sıcaklık verileri- FP ile yapılan modelleme sonuçları

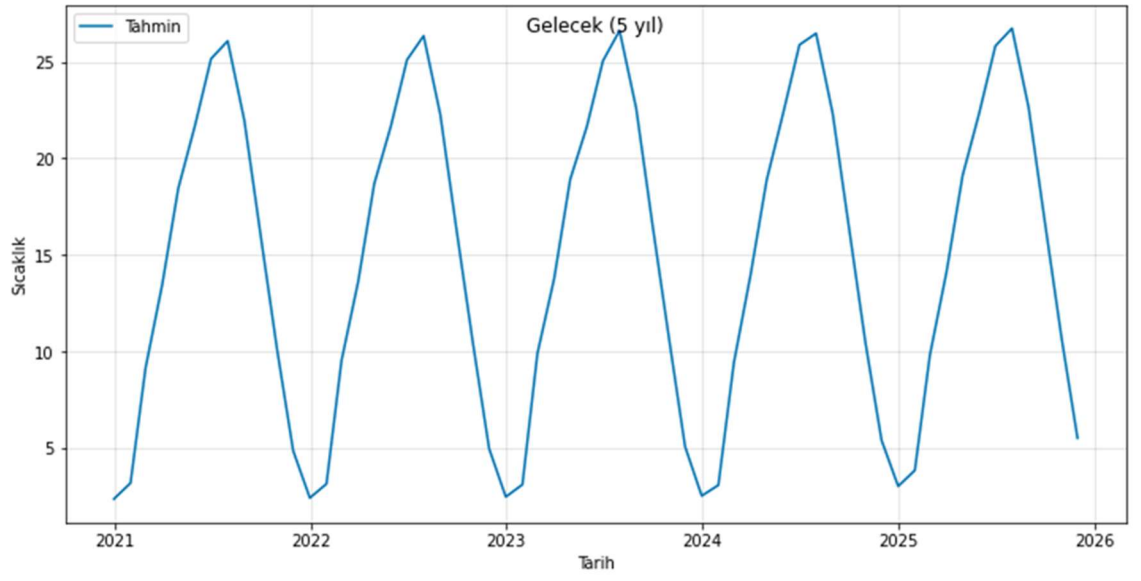
FP analizlerinde de NP ile benzer şekilde artan bir sıcaklık eğilimi görülmektedir. Seydişehir istasyonu için FP ile yapılan yağış tahminindekine benzer oranda sıcaklıkta da NP modeline göre daha belirgin bir artış görülmektedir.



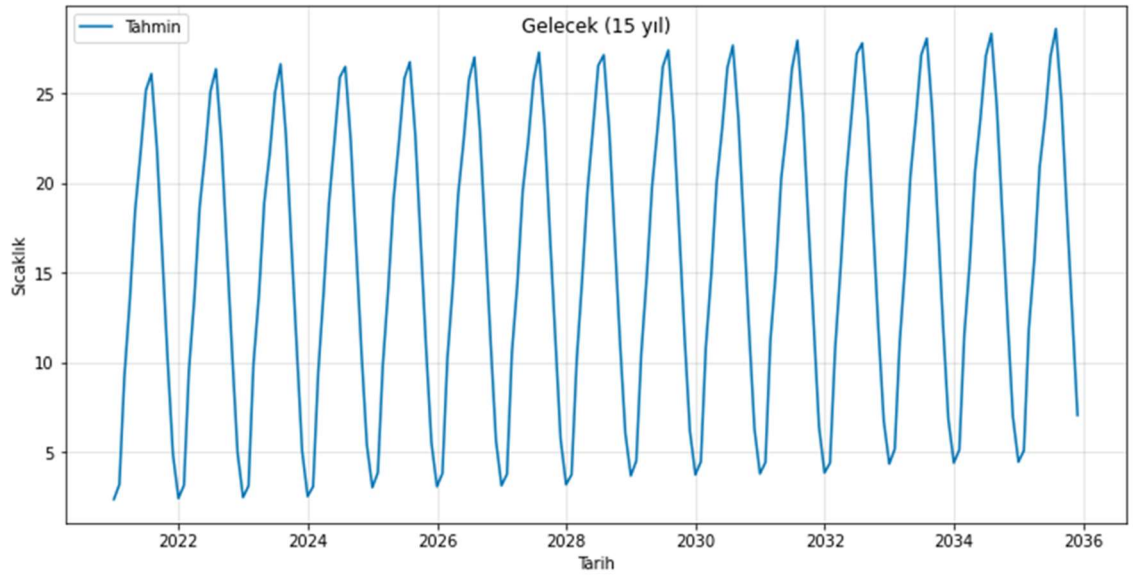
Şekil 4.56 Seydişehir istasyonu FP modeli eğitim verileri



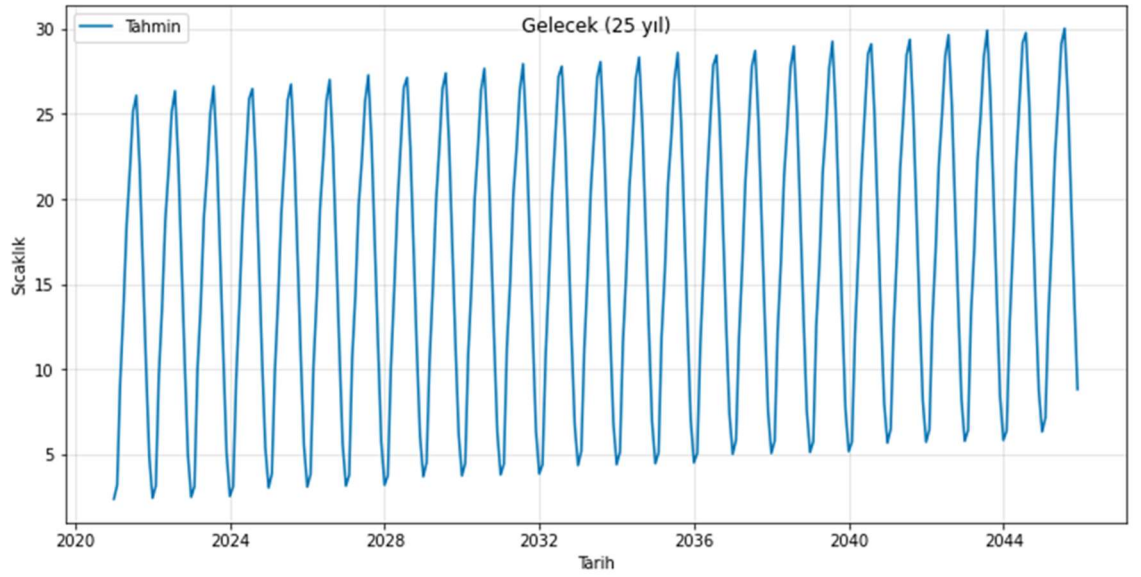
Şekil 4.57 Seydişehir istasyonu FP modeli test verileri



Şekil 4.58 Seydişehir istasyonu FP modeli gelecek 5 yıl için sıcaklık tahmin verileri



Şekil 4.59 Seydişehir istasyonu FP modeli gelecek 15 yıl için sıcaklık tahmin verileri

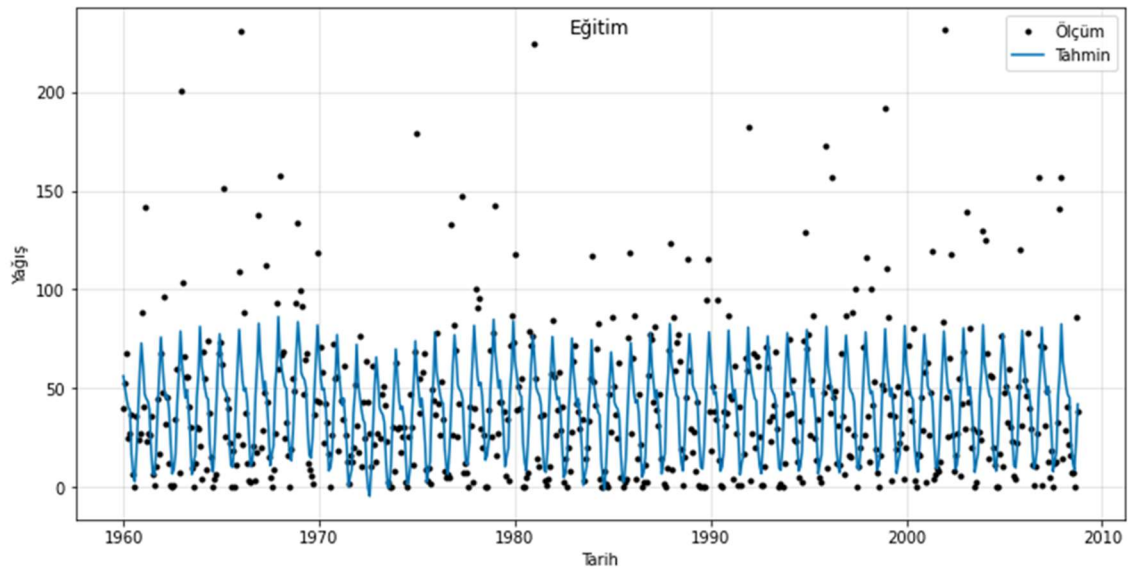


Şekil 4.60 Seydişehir istasyonu FP modeli gelecek 25 yıl için sıcaklık tahmin verileri

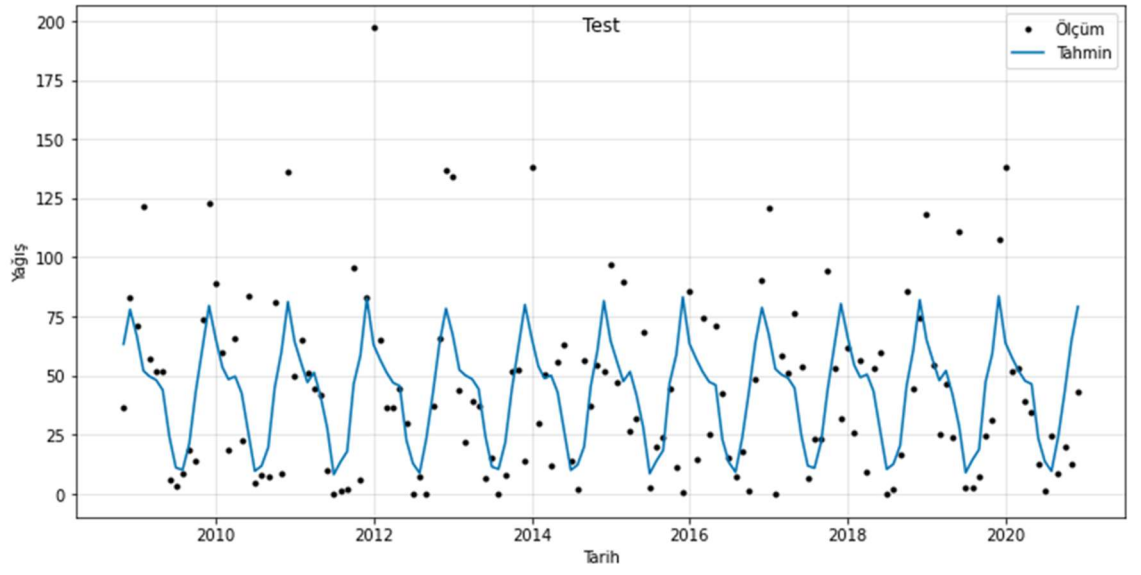
4.2.7 Beyşehir MGM istasyonu yağış verileri ile yapılan modelleme

NP ile yapılan modelleme sonuçları

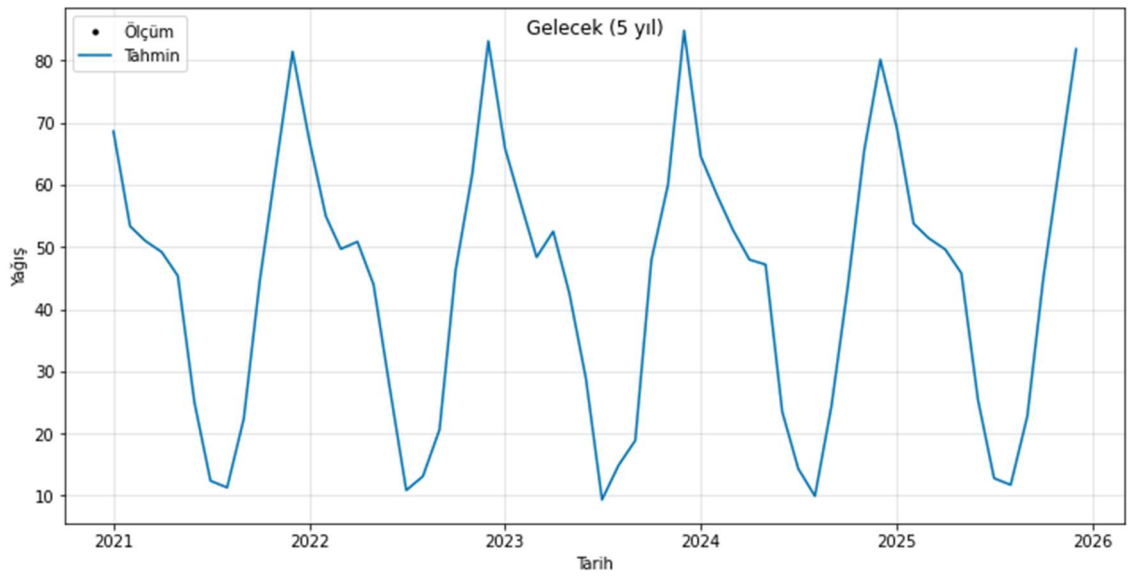
Seydişehir istasyonunda yağış eğiliminde hafif bir azalma izlenirken Beyşehir istasyonunda neredeyse yatay bir seyir görülmektedir. Gelecek 25 yıl süresince yağış miktarı 80 mm'nin üzerinde bir değer almaktadır.



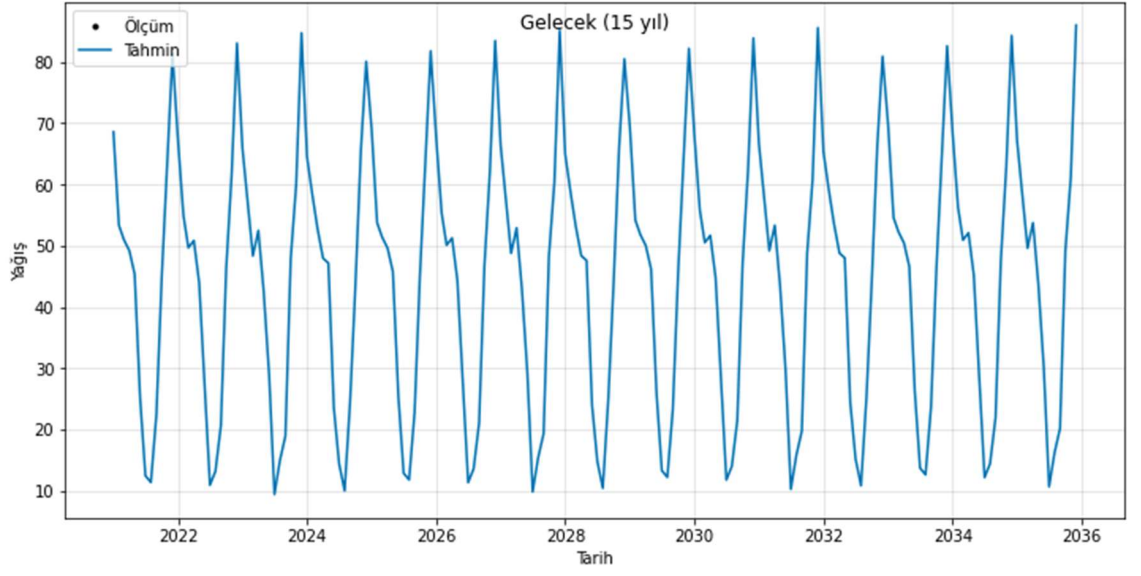
Şekil 4.61 Beyşehir istasyonu NP modeli eğitim verileri



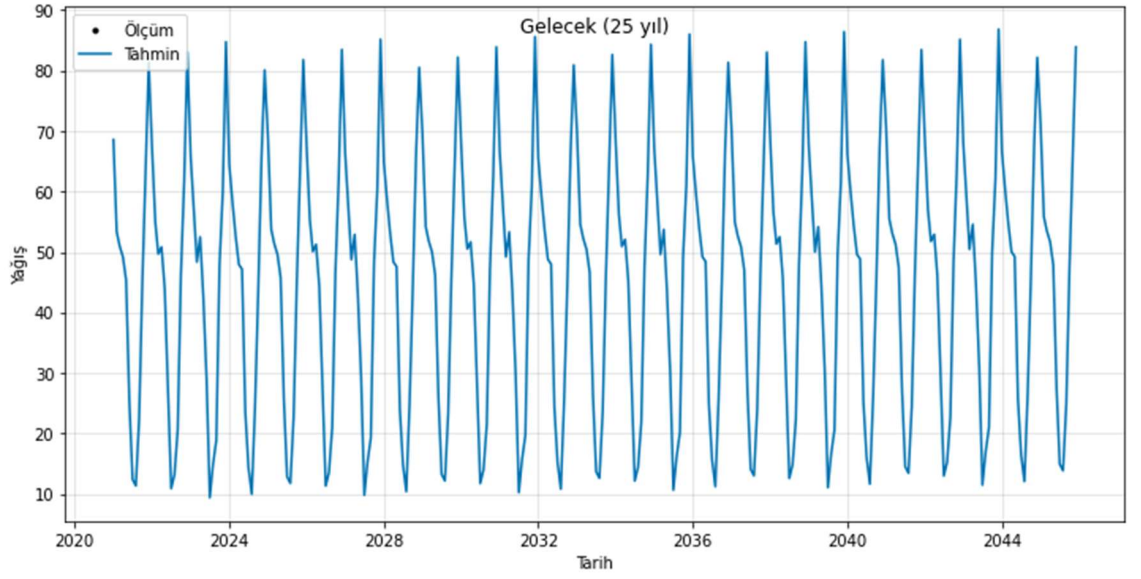
Şekil 4.62 Beyşehir istasyonu NP modeli test verileri



Şekil 4.63 Beyşehir istasyonu NP modeli gelecek 5 yıl için tahmin verileri



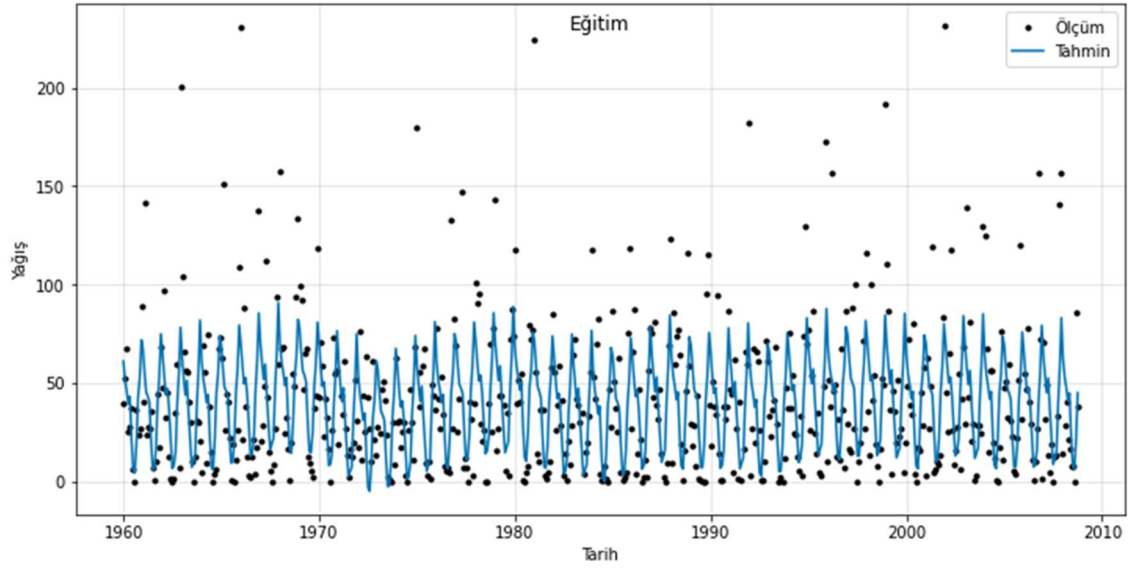
Şekil 4.64 Beyşehir istasyonu NP modeli gelecek 15 yıl için tahmin verileri



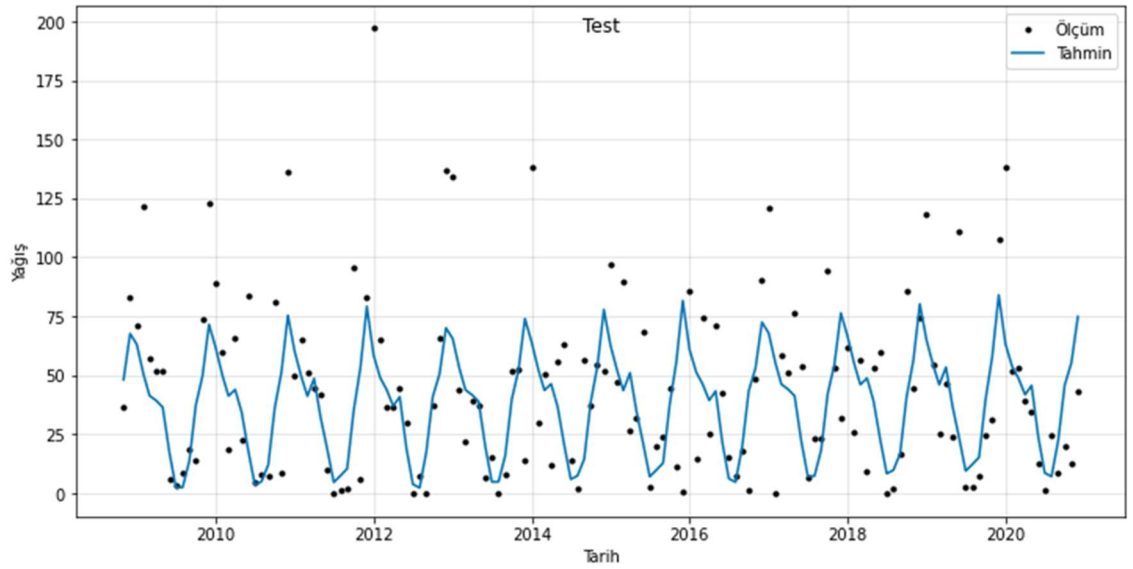
Şekil 4.65 Beyşehir istasyonu NP modeli gelecek 25 yıl için tahmin verileri

Beyşehir MGM istasyonu yağış verileri - FP ile yapılan modelleme sonuçları

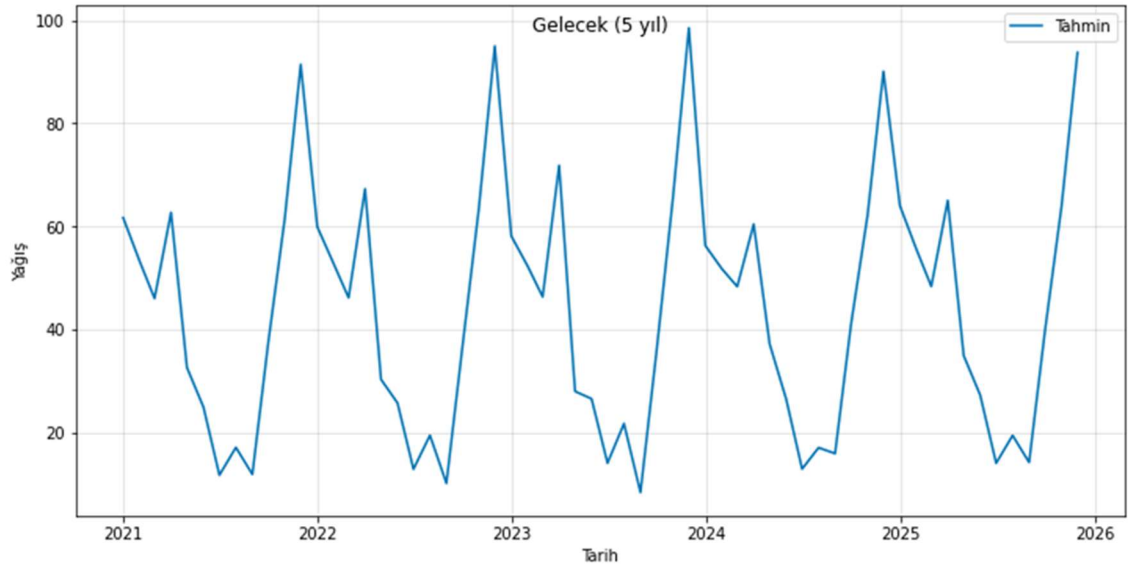
Beyşehir istasyonu yağış verilerinin gelecek tahminlerine göre hafif artan bir eğilim bulunmaktadır.



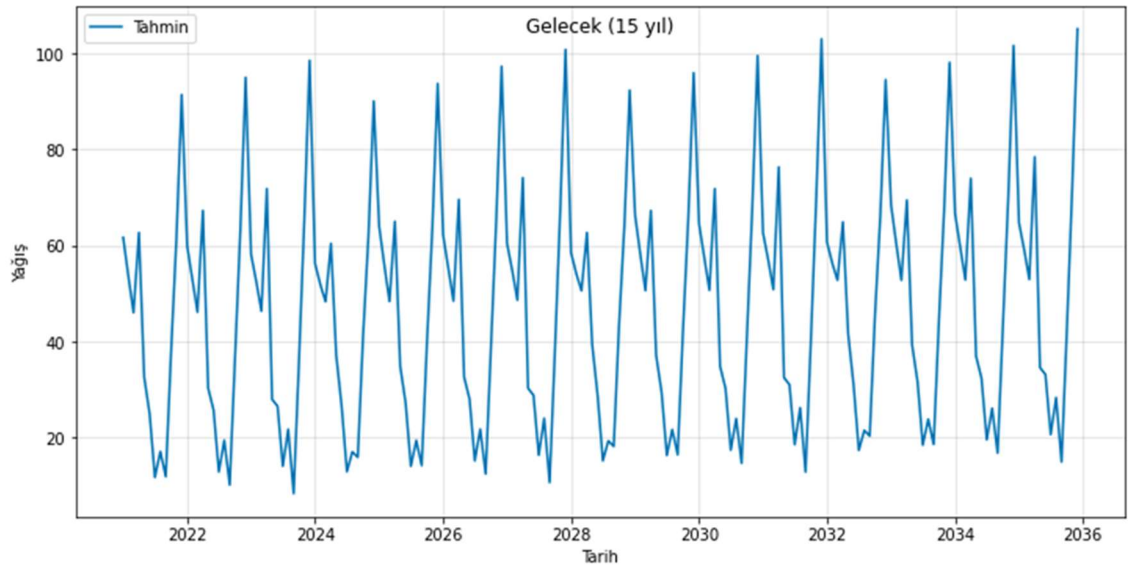
Şekil 4.66 Beyşehir istasyonu FP modeli eğitim verileri



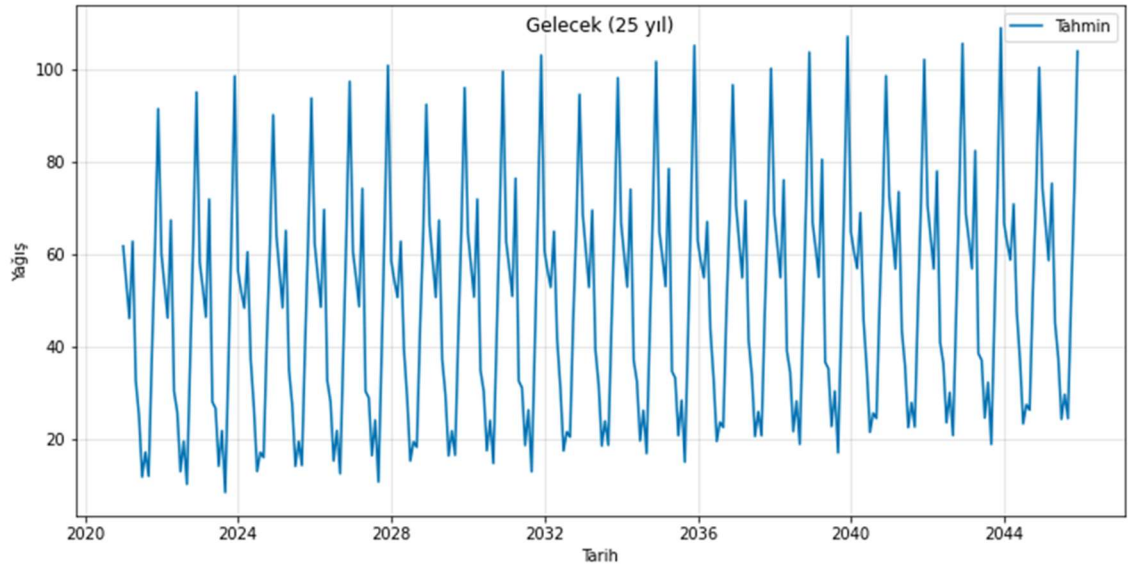
Şekil 4.67 Beyşehir istasyonu FP modeli test verileri



Şekil 4.68 Beyşehir istasyonu FP modeli gelecek 5 yıl için tahmin verileri



Şekil 4.69 Beyşehir istasyonu FP modeli gelecek 15 yıl için tahmin verileri

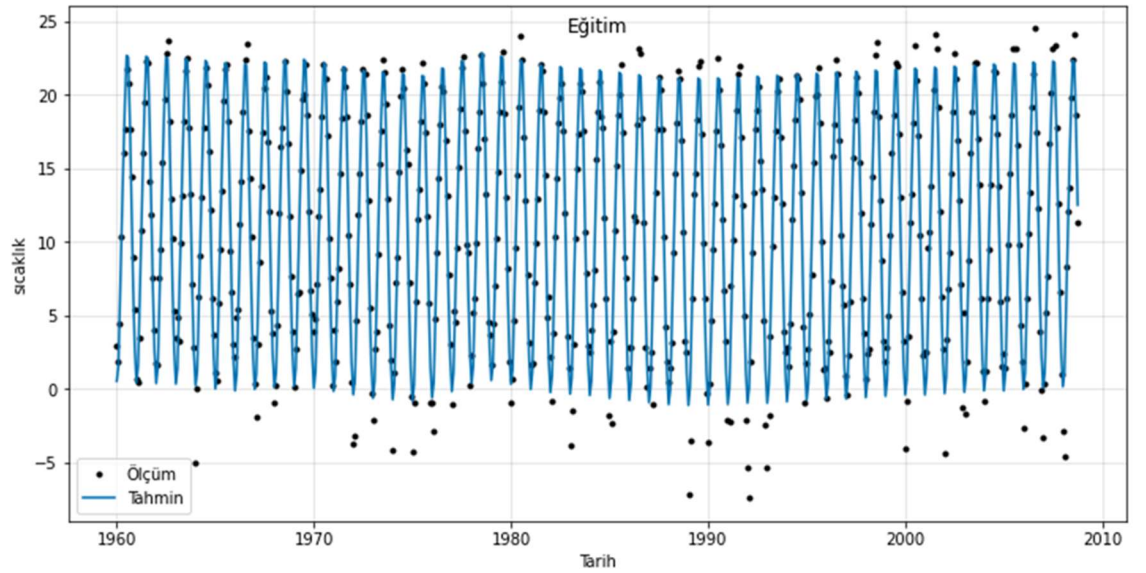


Şekil 4.70 Beyşehir istasyonu FP modeli gelecek 25 yıl için tahmin verileri

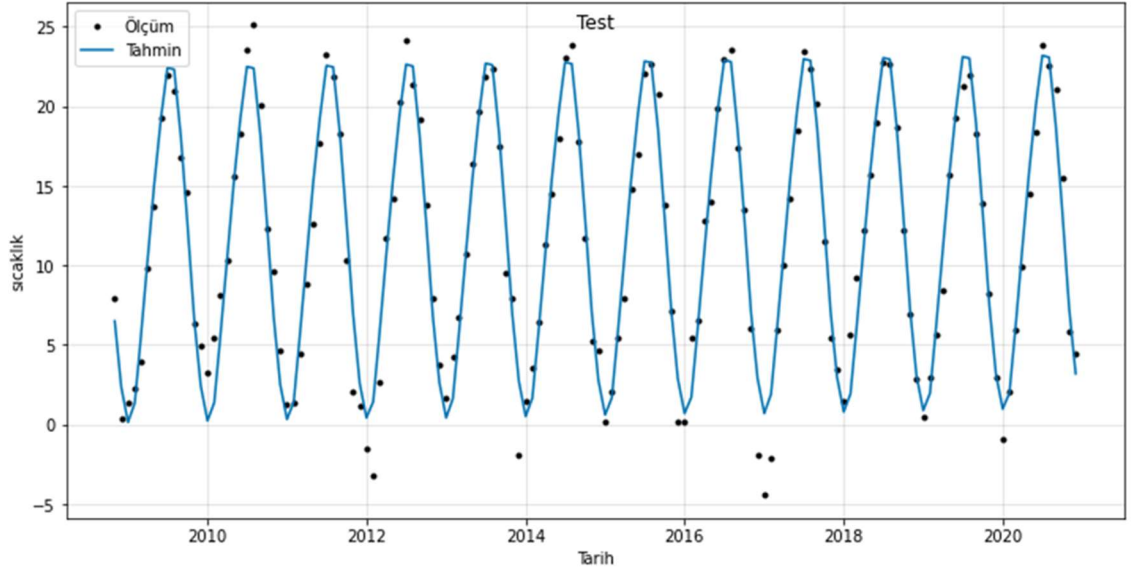
4.2.8 Beyşehir MGM istasyonu sıcaklık verileri ile yapılan modelleme

NP ile yapılan modelleme sonuçları

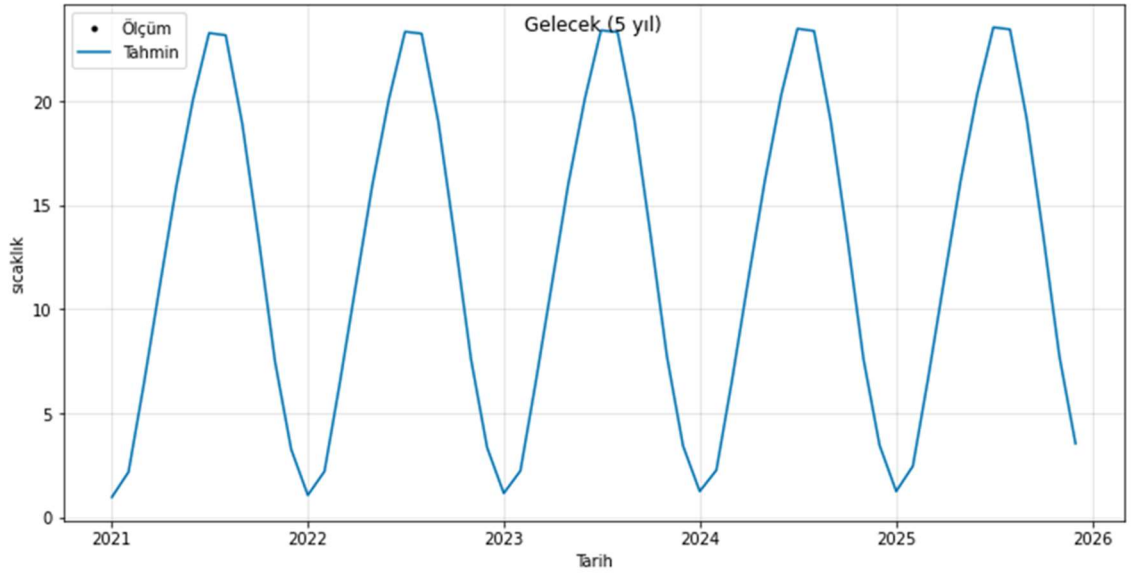
Beyşehir istasyonu için yapılan NP analizinde yağışta yatay bir seyir izlenirken sıcaklıkta hafif artan bir eğilim görülmektedir.



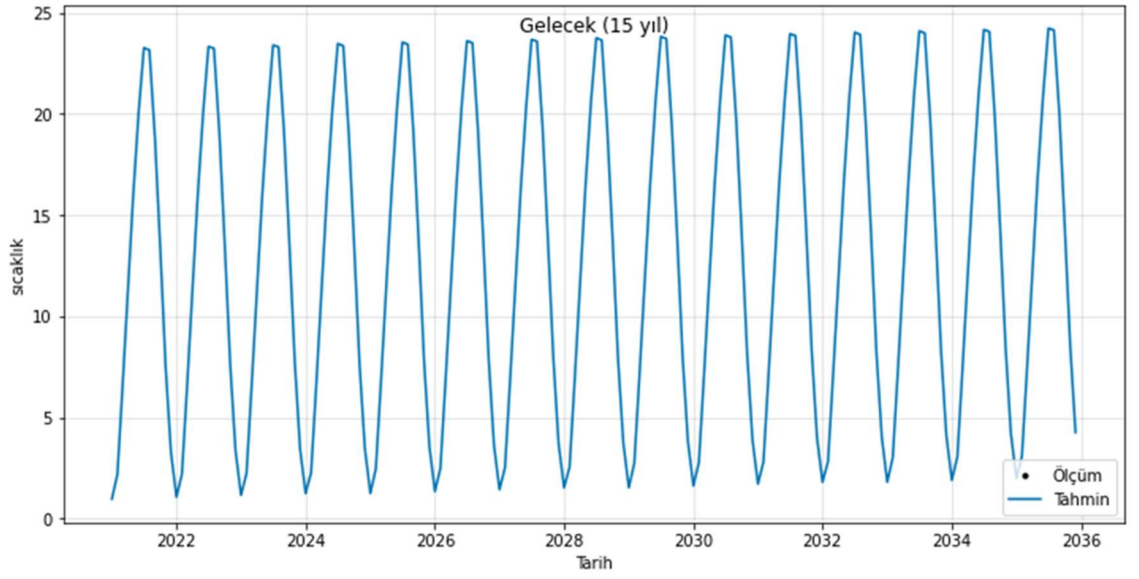
Şekil 4.71 Beyşehir istasyonu NP modeli sıcaklık eğitim verileri



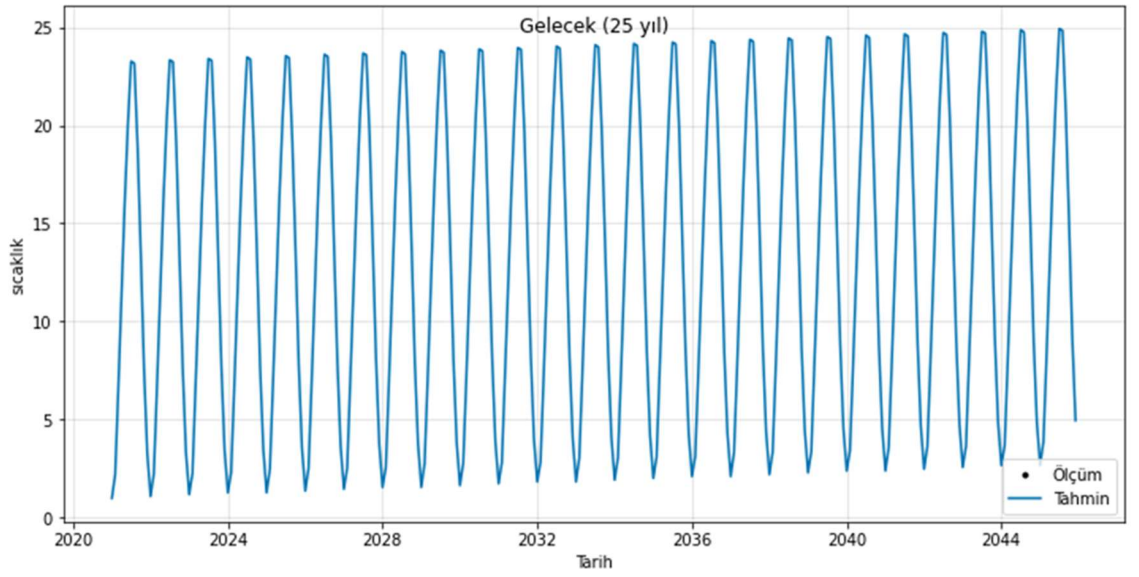
Şekil 4.72 Beyşehir istasyonu NP modeli sıcaklık test verileri



Şekil 4.73 Beyşehir istasyonu NP modeli gelecek 5 yıl için sıcaklık tahmin verileri



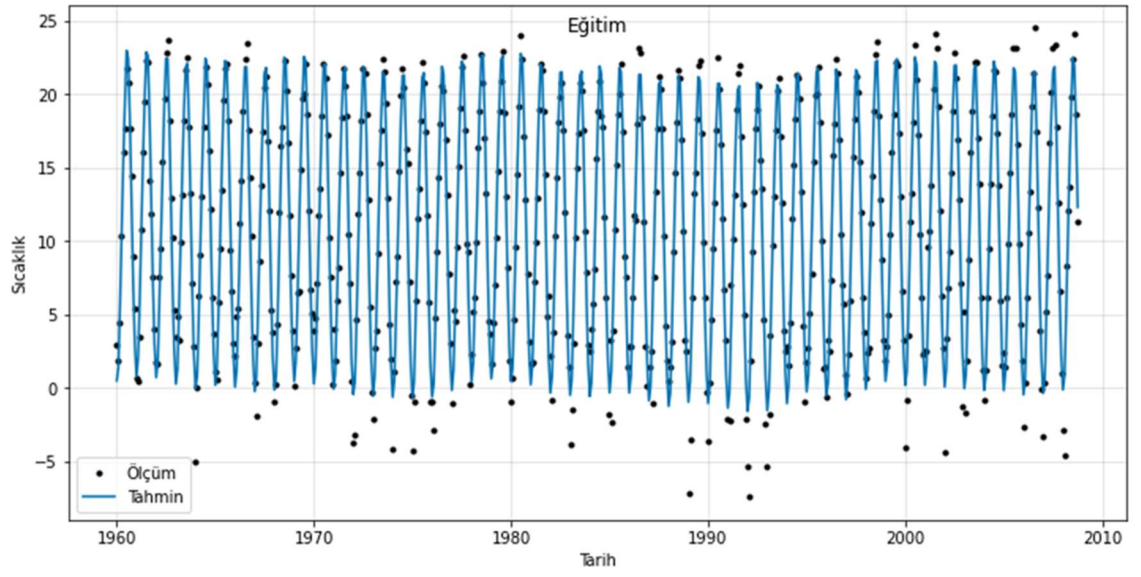
Şekil 4.74 Beyşehir istasyonu NP modeli gelecek 15 yıl için sıcaklık tahmin verileri



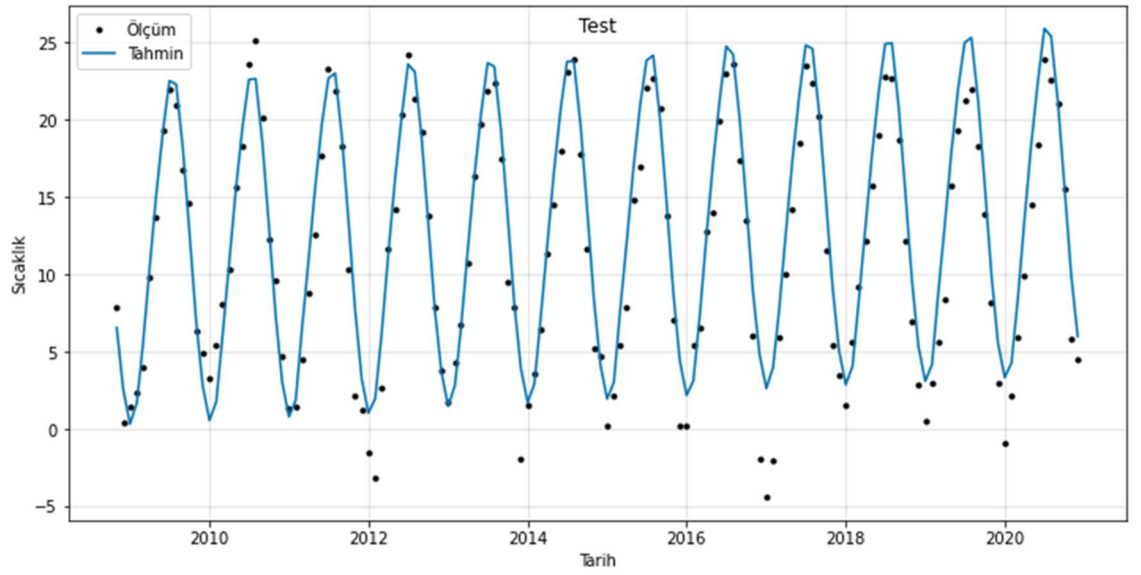
Şekil 4.75 Beyşehir istasyonu NP modeli gelecek 25 yıl için sıcaklık tahmin verileri

Beyşehir MGM istasyonu sıcaklık verileri - FP ile yapılan modelleme sonuçları

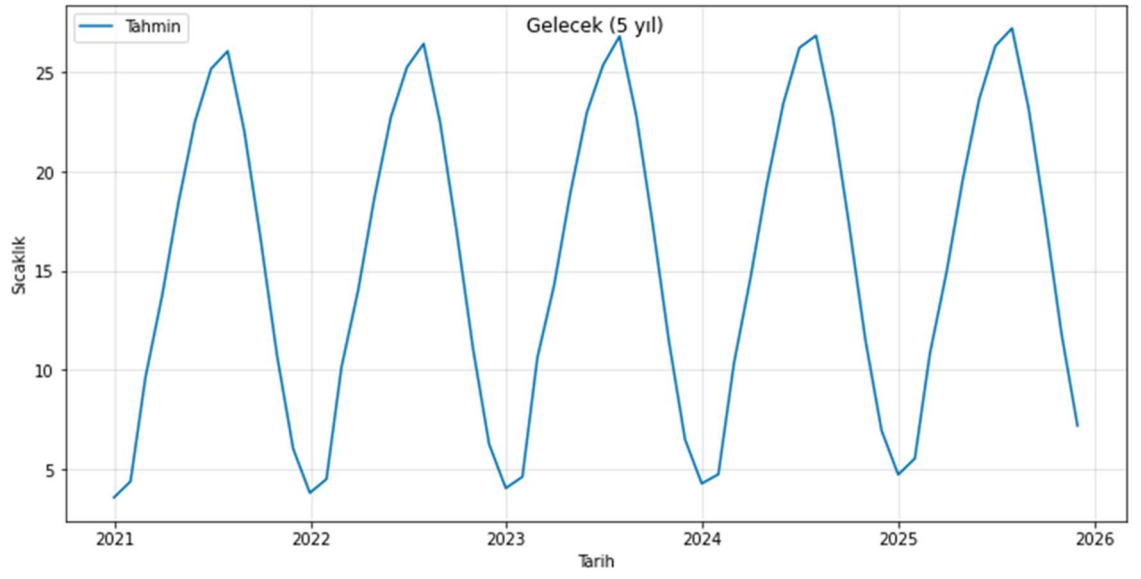
Beyşehir istasyonu için yapılan NP analizinde hafif bir artış varken FP tahminlerinde eğilimde belirgin bir artış görülmektedir. NP modelinde sıcaklık en yüksek 25 °C'lık bir değer alırken FP modelinde en yüksek 33 °C tahmin edilmiştir.



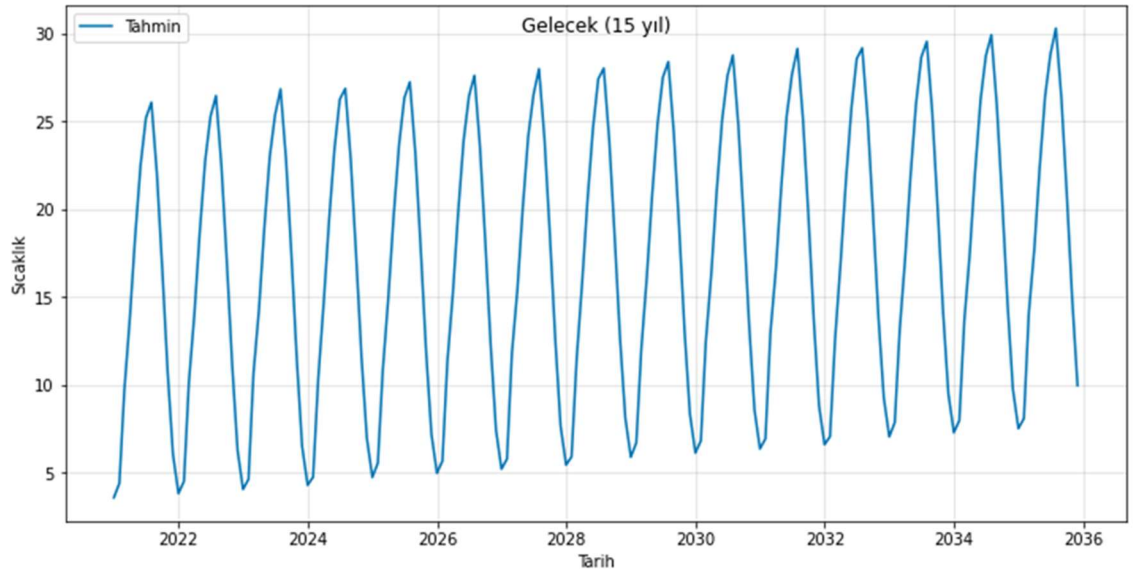
Şekil 4.76 Beyşehir istasyonu FP modeli sıcaklık eğitim verileri



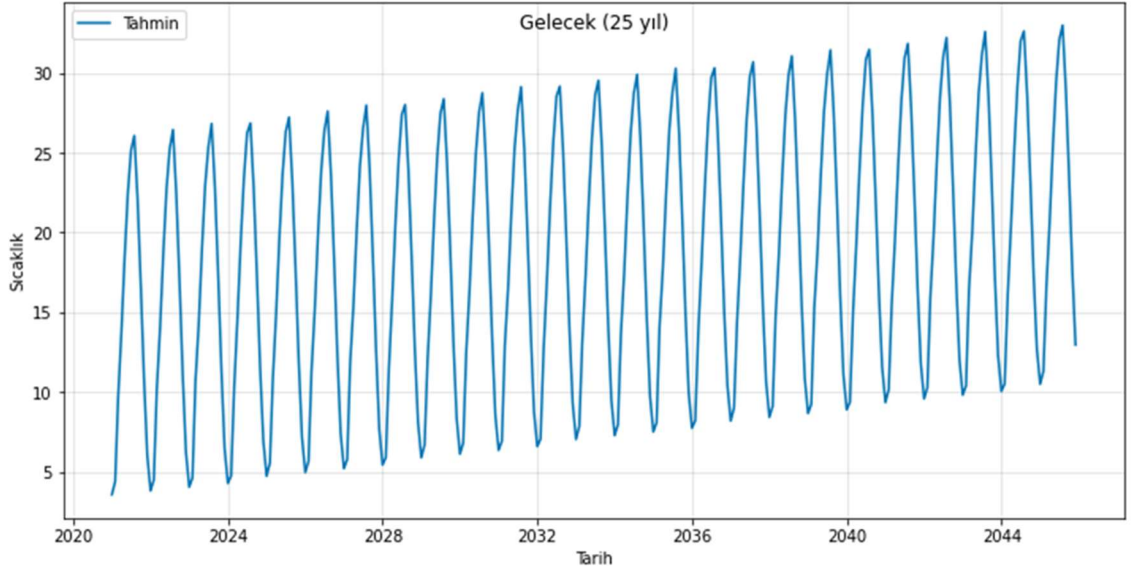
Şekil 4.77 Beyşehir istasyonu FP modeli sıcaklık test verileri



Şekil 4.78 Beyşehir istasyonu FP modeli gelecek 5 yıl için sıcaklık tahmin verileri



Şekil 4.79 Beyşehir istasyonu FP modeli gelecek 15 yıl için sıcaklık tahmin verileri



Şekil 4.80 Beyşehir istasyonu FP modeli gelecek 25 yıl için sıcaklık tahmin verileri

4.3 Kuraklık İndeksleri

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) istasyonlarında ölçülen yağış ve sıcaklık verileri ile DSİ ve EİE istasyonlarında ölçülen akım verileri kullanılarak NP ve FP algoritmalarında modeller kurularak gelecek dönemlere ilişkin veri tahmini yapılmıştır. Modelleme yapılırken, her istasyonda yağış, sıcaklık ve akım veri serilerinin tümü için farklı hiperparametrelerle çok sayıda model kombinasyonu oluşturulmuştur. Modellemede epoch (dönem) sayısı, öğrenme oranı (learning rate), change-points range (cpr) hiperparametrelerine çok sayıda değer verilerek elde edilen modellerden istatistiksel olarak en iyi sonuçları veren model dikkate alınmış ve bu modele ait sonuç grafikleri çizilmiştir (Şekil 4.81-4-101).

NP modellerinde; learning rate [1,0.1,0.01], epoch [100,200], change-points range [0.99, 2, 5, 10, 15, 20, 0.75] ve batch size [16, 32] değerlerinin kombinasyonlarına göre sonuçlar üretilmiştir. FP modellerinde ise; seasonality prior scale [0.75,0.5,100], change points scale [10,0.5,500], change points range [0.9,0.95] değerlerinin kombinasyonları kullanılmıştır.

Beyşehir ve Seydişehir istasyonlarında sıcaklık ve yağış için elde edilen tahmin verileri ile gözlenmiş veriler kullanılarak SPI ve RDI kuraklık indeksleri hesaplanmıştır. Beyşehir Gölü regülatör çıkış istasyonu, Suğla istasyonu, Şarkikaraağaç istasyonu ile Soğuksu-

Yeşildağ istasyonlarında ölçülen akım verileri ve bu istasyonlar için yapılan tahmin verileri ile SDI indeksleri hesaplanarak grafiklerle gösterilmiştir.

Her üç indeks için geliştirilen eşitlikler, verilerin normal dağılması durumunda kullanılmaktadır. İndeksler için kullanılan 3, 6, 9 ve 12 aylık veri serilerinin normal dağılıma uygunluğunu test etmek için Anderson Darling test istatistiği kullanılmıştır. Veri setlerine göre özet istatistikler ve uygun dağılımlar Çizelge 4.3’de gösterilmiştir. Test sonuçlarına göre normal dağılıma uymayan veri serilerinin uygun olduğu dağılımlar belirlenmiş, bu dağılımın olasılık değerleri hesaplanarak buna karşılık gelen Z değerleri bulunmuştur. Normal dağılıma uymayan veri serileri içinde lognormal dağılıma uyum gösterenlerin sayısı diğer dağılımlara göre yüksek bulunmuştur.

Veri serileri test edilirken NP ile oluşturulan serilerin normal dağılıma uygunluk oranı FP ile elde edilen veri serilerine göre oldukça yüksek bulunmuştur. Bu durumun NP’de veri setinin normalizasyona tabi tutulmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. FP modellerinde normalizasyon işlemi yapılmamıştır.

Çizelge 4.4’de Seydişehir ve Beyşehir istasyonları, çizelge 4.5’de ise akım ölçümü yapılan diğer istasyonlar için kuraklık sınıfına göre kuraklık frekansları gösterilmiştir. İstasyonlarda ölçülen veri (ÖV) kullanılarak hesaplanan indeks frekansları ÖV sütunu altında verilmiştir.

Çizelge 4.3 Veri setlerine göre özet istatistikler ve uygun dağılımlar

İstasyon	Veri	Dönem	M	σ	Cs	Ck	AD	P	Uygun dağılım
Soğuksu Yeşiladağ 1614 SDI	ÖV	K =1	5.777	5.576	1.461	1.233	1.716	<0.005	Lognormal
		K =2	24.338	20.903	0.976	-0.729	2.124	<0.005	Lognormal
		K =3	35.159	27.571	1.240	0.503	1.930	<0.005	Lognormal
		K =4	38.870	28.640	1.221	0.572	1.734	<0.005	Lognormal
	FP	K =1	18.834	0.195	2.476	7.411	2.164	<0.005	Loglogistic
		K =2	42.811	0.424	0.960	4.524	3.148	<0.005	Johnson Trns
		K =3	59.193	0.492	2.004	7.846	2.335	<0.005	Johnson Trns
		K =4	72.507	0.611	2.257	8.896	2.282	<0.005	Johnson Trns
Şarkikaraa ğaç 1613 SDI	ÖV	K =1	1.453	1.256	1.634	2.992	2.569	<0.005	Exponential
		K =2	7.027	4.323	0.956	0.162	1.798	<0.005	Lognormal
		K =3	11.222	6.341	0.732	-0.026	0.849	0.027	Lognormal
		K =4	11.726	6.446	0.721	-0.097	0.888	0.022	Lognormal
	NP	K =1	0.600	0.265	0.360	-1.280	0.663	0.073	Normal
		K =2	4.336	0.580	0.180	-1.258	0.391	0.354	Normal
		K =3	7.698	0.893	0.110	-1.254	0.342	0.463	Normal
		K =4	7.849	1.069	0.279	-1.219	0.439	0.271	Normal
Suğla 1621 SDI	ÖV	K =1	13.169	13.550	1.729	3.358	2.879	<0.005	Gamma
		K =2	57.994	24.824	0.827	-0.076	1.229	<0.005	Lognormal
		K =3	112.631	36.784	0.600	1.462	0.642	0.088	Normal
		K =4	143.267	48.587	0.497	1.090	0.269	0.664	Normal
	FP	K =1	17.175	0.053	-2.974	9.113	4.328	<0.005	Johnson Trns.
		K =2	70.454	1.082	-1.054	-0.920	4.785	<0.005	3 Prm Lognormal
		K =3	112.818	0.681	-0.002	-1.085	0.699	0.059	Normal
		K =4	136.612	1.146	-1.069	-0.778	4.195	<0.005	3 Prm. Lognormal
Beyşehir Gölü Regülatör 1604 SDI	ÖV	K =1	10.213	16.056	2.313	5.800	4.775	<0.005	3 Prm Weibull
		K =2	43.478	34.252	1.341	2.151	1.232	<0.005	Largest extr. Val.
		K =3	94.266	61.244	1.536	3.790	1.636	<0.005	Johnson Trns
		K =4	134.209	80.710	1.936	5.832	1.619	<0.005	Gamma
	FP	K =1	17.740	4.690	0.187	-1.141	0.369	0.401	Normal
		K =2	59.872	9.298	0.176	-1.171	0.330	0.494	Normal
		K =3	123.735	13.897	0.201	-1.163	0.313	0.525	Normal
		K =4	156.794	18.551	0.184	-1.150	0.294	0.572	Normal
Seydişehir SPI	ÖV	3 ay	302.468	119.881	0.819	0.374	0.843	0.626	Normal
		6 ay	436.395	121.598	0.475	-0.235	0.491	0.211	Normal
		9 ay	473.812	124.705	0.470	-0.219	0.415	0.323	Normal
		12 ay	769.432	168.297	0.450	0.026	0.354	0.451	Normal
	FP	3 ay	278.069	5.785	0.506	-1.015	0.703	0.058	Normal
		6 ay	346.604	3.977	0.082	-0.593	0.088	0.998	Normal
		9 ay	463.510	7.377	0.406	-0.665	0.311	0.530	Normal
		12 ay	793.043	25.635	-4.200	19.783	3.991	<0.005	Johnson Trns

Çizelge 4.3 Veri setlerine göre özet istatistikler ve uygun dağılımlar (devam)

İstasyon	Veri	Dönem	M	σ	Cs	Ck	AD	P	Uygun dağılım
Seydişehir RDI	ÖV	3 ay	13.814	9.074	1.708	3.570	2.311	<0.005	Loglogistic
		6 ay	1.649	0.483	0.449	-0.437	0.488	0.215	Normal
		9 ay	0.761	0.220	0.928	1.340	0.666	0.078	Normal
		12 ay	1.101	0.253	0.757	0.702	0.563	0.139	Normal
	FP	3 ay	9.449	0.630	0.146	-0.828	0.163	0.936	Normal
		6 ay	1.185	0.026	-0.185	-0.710	0.137	0.973	Normal
		9 ay	0.671	0.016	0.043	-0.497	0.083	0.998	Normal
		12 ay	1.023	0.044	-3.343	14.204	2.138	<0.005	Weibull
Beyşehir SPI	ÖV	3 ay	174.216	63.721	0.404	-0.274	0.412	0.330	Normal
		6 ay	287.664	67.077	-0.304	-0.181	0.578	0.127	Normal
		9 ay	321.216	70.640	-0.109	-0.442	0.545	0.155	Normal
		12 ay	493.446	90.251	-0.172	-0.350	0.442	0.279	Normal
	FP	3 ay	176.601	2.955	0.098	-0.701	0.113	0.991	Normal
		6 ay	302.209	4.839	-0.020	-1.197	0.293	0.575	Normal
		9 ay	352.391	7.494	0.029	-1.067	0.334	0.484	Normal
		12 ay	546.301	9.691	-0.002	-1.194	0.268	0.653	Normal
Beyşehir RDI	ÖV	3 ay	8.611	6.199	3.425	17.464	3.321	0.053	Normal
		6 ay	1.133	0.279	-0.255	-0.195	0.528	0.171	Normal
		9 ay	0.542	0.119	-0.142	-0.190	0.450	0.267	Normal
		12 ay	0.742	0.130	-0.147	-0.222	0.450	0.267	Normal
	FP	3 ay	6.099	0.413	0.268	-1.132	0.369	0.400	Normal
		6 ay	1.080	0.015	-0.023	-0.852	0.145	0.963	Normal
		9 ay	0.542	0.003	-0.050	-0.818	0.172	0.920	Normal
		12 ay	0.745	0.007	-0.075	-1.191	0.282	0.609	Normal

Ö.V: Ölçülmüş Veri, M.: Ortalama, σ : Standart Sapma, Cs: Çarpıklık Katsayısı, Ck: Basıklık Katsayısı, AD: Anderson Darling Değeri, P: Olasılık Değeri

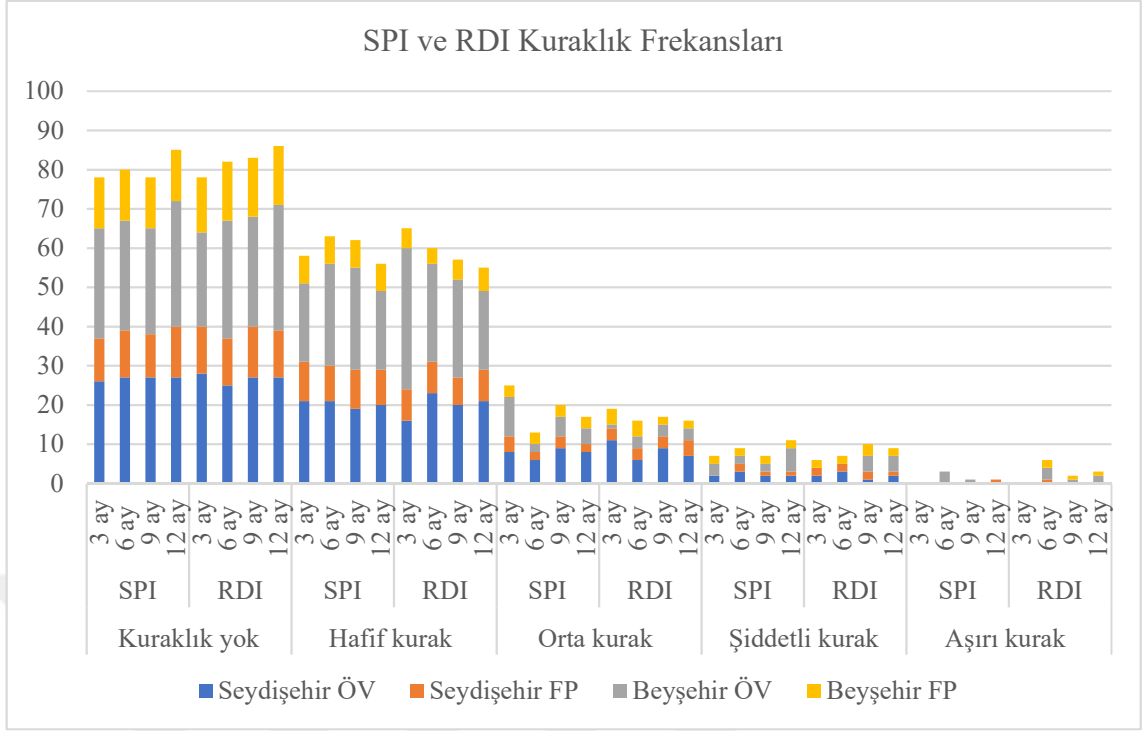
Çizelge 4.4 ve 4.5 incelendiğinde Seydişehir, Soğuksu-Yeşiladağ ve Şarkikaraağaç istasyonlarında aşırı kurak dönemin hiç yaşanmadığı görülmektedir. Tüm istasyonlarda sıklığı en yüksek kuraklık sınıfı kurak olmayan dönemdir. Bunu hafif kurak durum takip etmektedir. Tüm istasyonlarda kurak olmayan ve hafif kurak dönemlerin toplamı ölçülmüş verilere göre %80'den fazladır ve benzer şekilde model sonuçlarına göre %75'in üzerindedir. Tüm istasyonlarda düşük oranda da olsa gelecek 25 yılda orta kurak ve şiddetli kurak dönemler beklenmektedir. Şiddetli kurak dönemler en çok Şarkikaraağaç istasyonunda yaşanmıştır ve %8.64 oranındadır. Aşırı kurak dönem en yüksek %2.45 değeri ile Beyşehir istasyonunda yaşanmıştır. Geçmişte yaşanan kurak dönemlerin yüzde oranı ile FP ve NP modelleri ile tahmin edilen verilerle hesaplanan kurak dönemlerin oranları birbirine çok yakın gerçekleşmiştir. Sadece Suğla-1621 istasyonunda kurak olmayan durum için gelecek tahmin modelinin oranı geçmişte yaşanan orandan %13 daha fazla bulunmuş buna karşılık hafif kuraklık %22 daha az tahmin edilmiştir.

Çizelge 4.4 Beyşehir ve Seydişehir istasyonlarında kuraklık frekansları

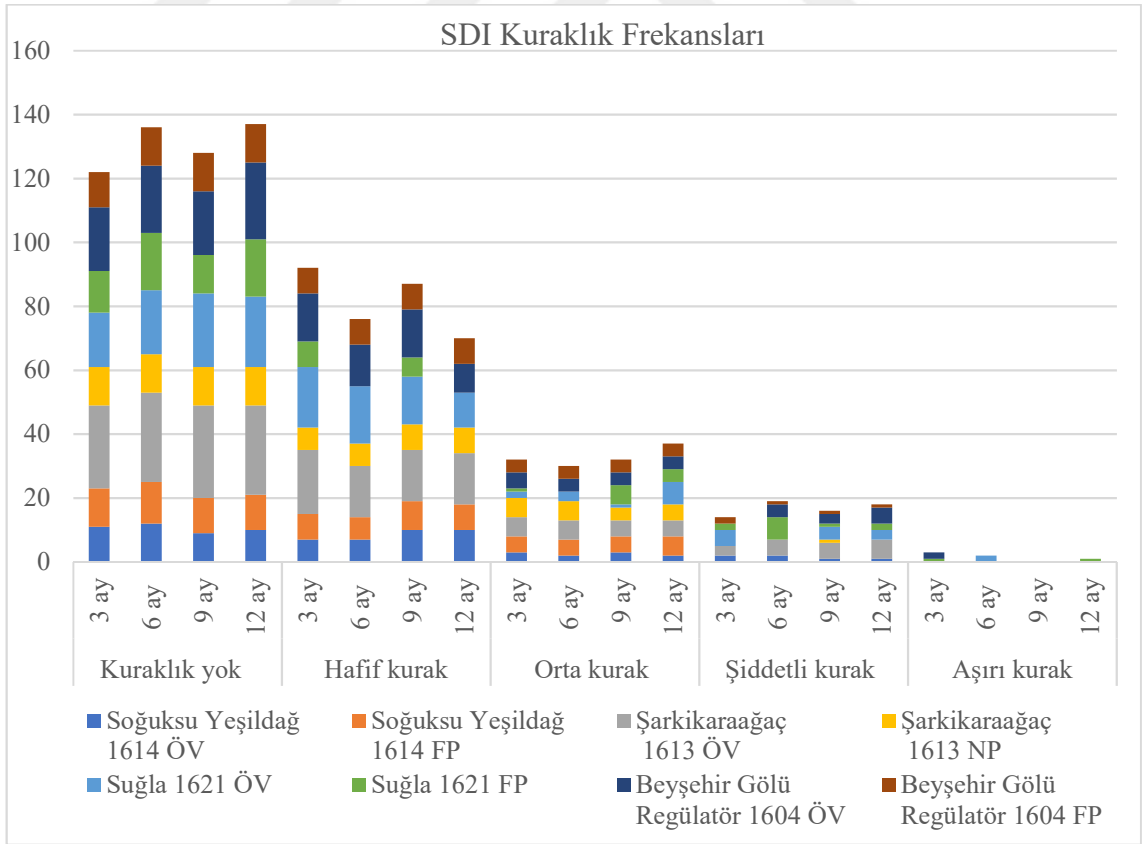
Kuraklık Sınıfı / İstasyon	İndeksler		Seydişehir		Beyşehir	
	Periyotlar		ÖV	FP	ÖV	FP
Kuraklık yok ≥ 0.0	SPI	3 ay	26	11	28	13
		6 ay	27	12	28	13
		9 ay	27	11	27	13
		12 ay	27	13	32	13
	RDI	3 ay	28	12	24	14
		6 ay	25	12	30	15
		9 ay	27	13	28	15
		12 ay	27	12	32	15
$-1.0 \leq$ Hafif kurak < 0.0	SPI	3 ay	21	10	20	7
		6 ay	21	9	26	7
		9 ay	19	10	26	7
		12 ay	20	9	20	7
	RDI	3 ay	16	8	36	5
		6 ay	23	8	25	4
		9 ay	20	7	25	5
		12 ay	21	8	20	6
$-1.5 \leq$ Orta kurak < -1.0	SPI	3 ay	8	4	10	3
		6 ay	6	2	2	3
		9 ay	9	3	5	3
		12 ay	8	2	4	3
	RDI	3 ay	11	3	1	4
		6 ay	6	3	3	4
		9 ay	9	3	3	2
		12 ay	7	4	3	2
$-2.0 \leq$ Şiddetli kurak < -1.5	SPI	3 ay	2	0	3	2
		6 ay	3	2	2	2
		9 ay	2	1	2	2
		12 ay	2	1	6	2
	RDI	3 ay	2	2	0	2
		6 ay	3	2	0	2
		9 ay	1	2	4	3
		12 ay	2	1	4	2
Aşırı kurak < -2.0	SPI	3 ay	0	0	0	0
		6 ay	0	0	3	0
		9 ay	0	0	1	0
		12 ay	0	1	0	0
	RDI	3 ay	0	0	0	0
		6 ay	0	1	3	2
		9 ay	0	0	1	1
		12 ay	0	0	2	1

Çizelge 4.5 Akım istasyonları kuraklık frekansları

Kuraklık Sınıfı / İstasyon	İndeksler		Soğuksu Yeşiladağ 1614		Şarkikaraağaç 1613		Suğla 1621		Beyşehir Gölü Regülatör 1604	
	Periyotlar		ÖV	FP	ÖV	NP	ÖV	FP	ÖV	FP
Kuraklık yok ≥ 0.0	SDI	3 ay	11	12	26	12	17	13	20	11
		6 ay	12	13	28	12	20	18	21	12
		9 ay	9	11	29	12	23	12	20	12
		12 ay	10	11	28	12	22	18	24	12
$-1.0 \leq$ Hafif kurak < 0.0	SDI	3 ay	7	8	20	7	19	8	15	8
		6 ay	7	7	16	7	18	0	13	8
		9 ay	10	9	16	8	15	6	15	8
		12 ay	10	8	16	8	11	0	9	8
$-1.5 \leq$ Orta kurak < -1.0	SDI	3 ay	3	5	6	6	2	1	5	4
		6 ay	2	5	6	6	3	0	4	4
		9 ay	3	5	5	4	1	6	4	4
		12 ay	2	6	5	5	7	4	4	4
$-2.0 \leq$ Şiddetli kurak < -1.5	SDI	3 ay	2	0	3	0	5	2	0	2
		6 ay	2	0	5	0	0	7	4	1
		9 ay	1	0	5	1	4	1	3	1
		12 ay	1	0	6	0	3	2	5	1
Aşırı kurak < -2.0	SDI	3 ay	0	0	0	0	0	1	2	0
		6 ay	0	0	0	0	2	0	0	0
		9 ay	0	0	0	0	0	0	0	0
		12 ay	0	0	0	0	0	1	0	0



Şekil 4.81 Seydişehir ve Beyşehir istasyonları SPI ve RDI kuraklık frekansları



Şekil 4.82 Akım istasyonları SDI kuraklık frekansları

Beyşehir ve Seydişehir istasyonunda SPI indeksine göre geçmişte yaşanan kuraklık frekansları birbirine çok yakın gerçekleşmiştir (çizelge 4.4). RDI indeksine göre her iki istasyonda kuraklığın yaşanmadığı dönemlerin oranı sırasıyla %46.5 ve %46.9 olurken RDI indeksi ile tanımlanan diğer kuraklık sınıflarına göre iki istasyon arasında belirgin bir fark gözlenmiştir. Seydişehir ve Beyşehir istasyonları bazında SPI ve RDI kuraklık frekanslarının oranı birbirine çok yakındır. Geçmişte yaşanan kurak dönemlerin kuraklık sınıflarına göre frekans toplamaları her iki indekste benzer oranda hesaplanmış ve bu iki indeksin kuraklığı temsil etme açısından birbiriyle tutarlı olduğu görülmüştür. Kuraklık sınıfı alt toplamaları her iki indeks için birbirine yakın olmasına rağmen 3, 6, 9 ve 12 aylık periyotlara göre kuraklık sıklığının indekslere göre dağılımları arasındaki fark alt toplam ile orantılı şekilde artmaktadır.

Seydişehir istasyonunda SPI indeksine göre 3, 6, 9 ve 12 aylık periyotlarda geçmişte görülen kuraklık frekansları hemen hemen eşit dağılmıştır. RDI indeksine göre Seydişehir istasyonunda geçmişte orta düzeyde kuraklık ve kuraklığın olmadığı zamanlar en çok ilk 3 aylık periyotta görülürken, hafif düzeyde kuraklık en çok 6 aylık dönemde yaşanmıştır. Seydişehir istasyonunda FP modeline göre RDI ve SPI indekslerinin kuraklık olmayan dönem oranı birbirine yakın iken, hafif kurak dönemin görülme oranı SPI indeksinde %6.9 daha fazla tahmin edilmiştir. FP modeline göre Seydişehir istasyonunda orta kurak dönem sıklığı SPI için en fazla 3 aylık periyotta iken RDI için 12 aylık periyotta hesaplanmış, diğer kuraklık sınıfları için dönem sıklığı tüm periyotlarda SPI ve RDI'ın her ikisi için de neredeyse eşit dağılmıştır.

Beyşehir istasyonunda kurak olmayan dönem sıklığı, SPI için geçmişte en çok 12 aylık periyotta görülürken, FP modeline göre kurak olmayan dönem tüm periyotlar için eşittir. RDI indeksine göre kurak olmayan dönem sıklığı en çok 12 aylık periyotta yaşanmış, FP modeline göre tüm periyotlarda neredeyse eşit hesaplanmıştır. Hafif kurak dönem SPI'a göre geçmişte en çok 6 ve 9 aylık periyotta iken RDI için belirgin bir farkla 3 aylık periyotta görülmüş ve FP modelinde tüm periyotlarda eşit olmuştur. Orta kurak dönem, SPI'a göre büyük oranda 3 aylık periyotta gerçekleşmişken RDI'a göre en az 3 aylık periyotta görülmüş ve FP modelinde SPI sonuçlarında periyotlara göre eşit dağılmış RDI'da ise 3 ve 6 aylık periyotta sıklığı daha fazla hesaplanmıştır.

Çizelge 4.6 Beyşehir ve Seydişehir istasyonları kuraklık oranları

İstasyon			Seydişehir		Beyşehir	
Kuraklık İndeksi	Kuraklık Sınıfı	Frekans	ÖV	FP	ÖV	FP
SPI	Kuraklık yok	Toplam	107	47	115	52
		Oran	46.9%	46.5%	46.9%	52.0%
	Hafif kurak	Toplam	81	38	92	28
		Oran	35.5%	37.6%	37.6%	28.0%
	Orta kurak	Toplam	31	11	21	12
		Oran	13.6%	10.9%	8.6%	12.0%
	Şiddetli kurak	Toplam	9	4	13	8
		Oran	3.9%	4.0%	5.3%	8.0%
	Aşırı kurak	Toplam	0	1	4	0
		Oran	0.0%	1.0%	1.6%	0.0%
	Genel Toplam		228	101	245	100
RDI	Kuraklık yok	Toplam	107	49	114	59
		Oran	46.9%	48.5%	46.5%	59.0%
	Hafif kurak	Toplam	80	31	106	20
		Oran	35.1%	30.7%	43.3%	20.0%
	Orta kurak	Toplam	33	13	10	12
		Oran	14.5%	12.9%	4.1%	12.0%
	Şiddetli kurak	Toplam	8	7	8	9
		Oran	3.5%	6.9%	3.3%	9.0%
	Aşırı kurak	Toplam	0	1	6	4
		Oran	0.0%	1.0%	2.4%	4.0%
	Genel Toplam		228	101	245	100

Akım istasyonlarında kurak olmayan dönemlerin frekans oranı Suğla istasyonunda FP modeline göre %61 iken diğer tüm istasyonlarda geçmişte ve FP modelinde %45 ile %50 arasında değişmektedir. Hafif kurak dönem sıklığı Suğla istasyonu FP modelinde %14 diğer istasyonlarda model ve geçmiş zamanda %30-37 arasında birbirine yakın değerler almıştır (çizelge 4.7). Orta kurak dönem, en çok FP modelinde 1613 ve 1614 istasyonlarında %21 oranında hesaplanmıştır. Şiddetli kurak dönem en yüksek 1621 istasyonunda FP modeline göre %12 değerini almıştır. İstasyonların kuraklık frekansları incelendiğinde geçmişte görülen kuraklık sıklığı ve model verisiyle hesaplanan frekans değeri arasındaki en yüksek fark Suğla istasyonunda hafif kurak dönemde SDI'a göre %22.6 olmuş, benzer şekilde model ile geçmiş dönem arasındaki fark Beyşehir

istasyonunda RDI indeksine göre %23.3 olarak hesaplanmıştır. Aşırı kurak dönem oranı yağış istasyonlarına kıyasla daha düşüktür. SPI ve RDI için kuraklık sınıflarının frekans oranları çok yakın değerlerdedir. SPI, RDI ve SDI indekslerinin kuraklığı benzer şekilde temsil ettiği görülmektedir. Bu indekslerin birbiri ile korelasyonunun yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Geçmiş dönemde, kuraklık sınıfına göre kuraklık frekansları tüm akım istasyonlarında birbirine çok yakın değerler almıştır. İstasyonlar havzayı benzer şekilde temsil etmektedir.

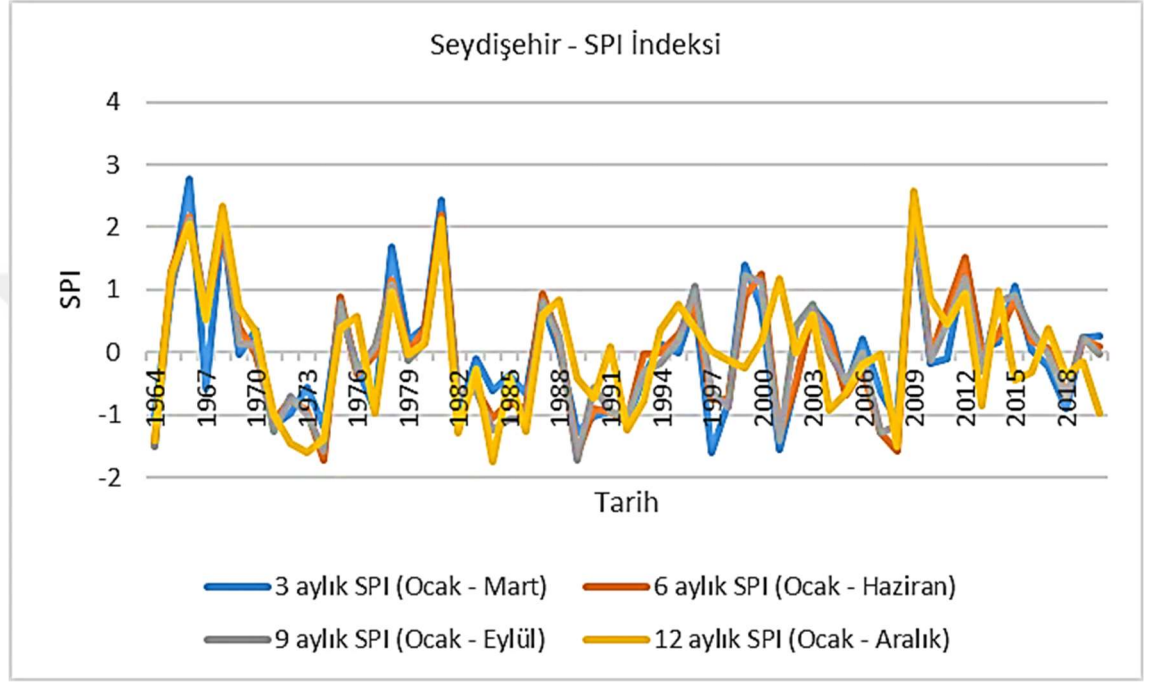
Kurak olmayan dönem 1614 istasyonunda geçmişte ve modelde en çok 6 aylık periyotta, 1613 istasyonunda, geçmişte 9 aylık periyotta modelde ise tüm periyotlarda eşit görülmüştür. 1621 istasyonunda kurak olmayan dönem en çok geçmişte 9 aylık periyotta, modelde 6 ve 12 aylık periyotlarda, 1604 istasyonunda ise geçmişte en çok 12 aylık periyotta görülmüştür. Hafif kurak dönemler, geçmişte 1614 – 9/12 aylık periyotlar, 1613 ve 1621’de 3 aylık periyot, 1604 – 3/9 aylık periyotlarda yaşanmıştır. Orta kurak dönem ise en çok geçmişte 1621 istasyonunda 12 aylık periyotta görülmüştür. 3, 6, 9 ve 12 aylık periyotlarda kuraklık sınıfına göre SPI ve SDI indekslerindeki kuraklık frekanslarının değerleri birbirine yakın düzeyde gerçekleşmiştir. Tüm periyotların SPI ve SDI hesaplarına göre kuraklığı yakın düzeyde açıklayabildiği belirlenmiştir.

Çizelge 4.7 Akım istasyonları kuraklık oranları

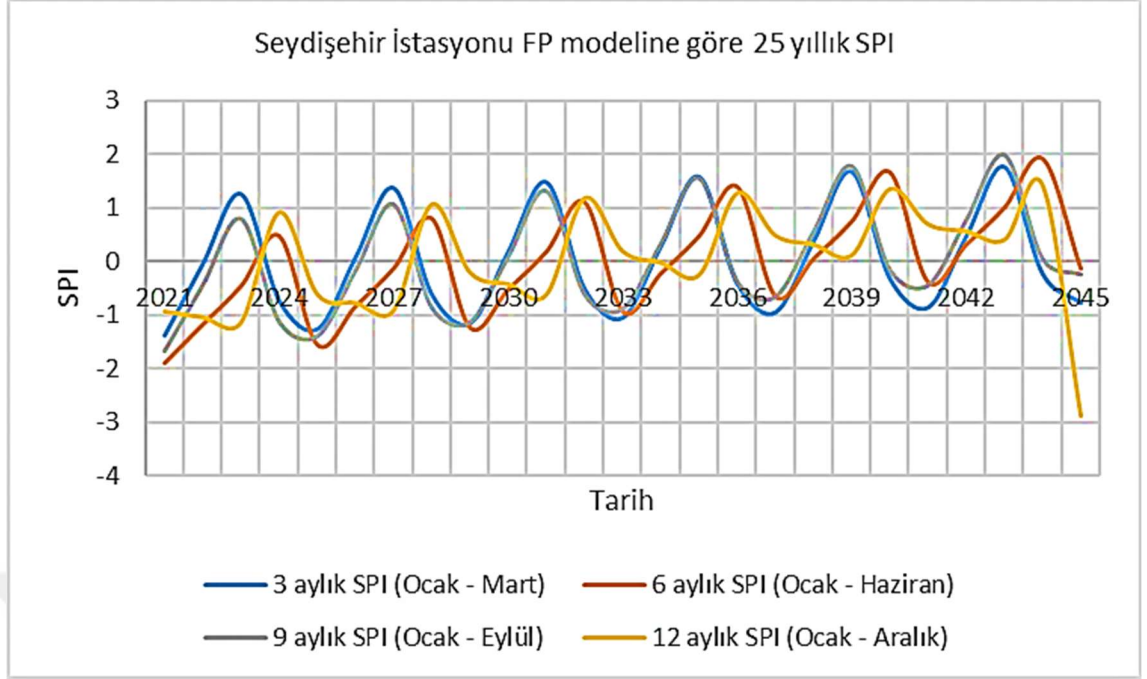
İstasyon		Soğuksu Yeşildağ 1614		Şarkikaraağaç 1613		Suğla 1621		Beyşehir Gölü Regülatör 1604	
Kuraklık Sınıfı	Frekans	ÖV	FP	ÖV	NP	ÖV	FP	ÖV	FP
Kuraklık yok	Toplam	42	47	111	48	82	61	85	47
	Oran	45.7%	47.0%	50.5%	48.0%	47.7%	61.0%	50.6%	47.0%
Hafif kurak	Toplam	34	32	68	30	63	14	52	32
	Oran	37.0%	32.0%	30.9%	30.0%	36.6%	14.0%	31.0%	32.0%
Orta kurak	Toplam	10	21	22	21	13	11	17	16
	Oran	10.9%	21.0%	10.0%	21.0%	7.6%	11.0%	10.1%	16.0%
Şiddetli kurak	Toplam	6	0	19	1	12	12	12	5
	Oran	6.5%	0.0%	8.6%	1.0%	7.0%	12.0%	7.1%	5.0%
Aşırı kurak	Toplam	0	0	0	0	2	2	2	0
	Oran	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.2%	2.0%	1.2%	0.0%
Genel Toplam		92	100	220	100	172	100	168	100

4.3.1 SPI indeksi

Seydişehir istasyonunda SPI indeksine göre kurak olmayan dönem oranı ve dönem uzunluğu daha fazladır. En sulak dönem 2009 yılında yaşanmıştır.

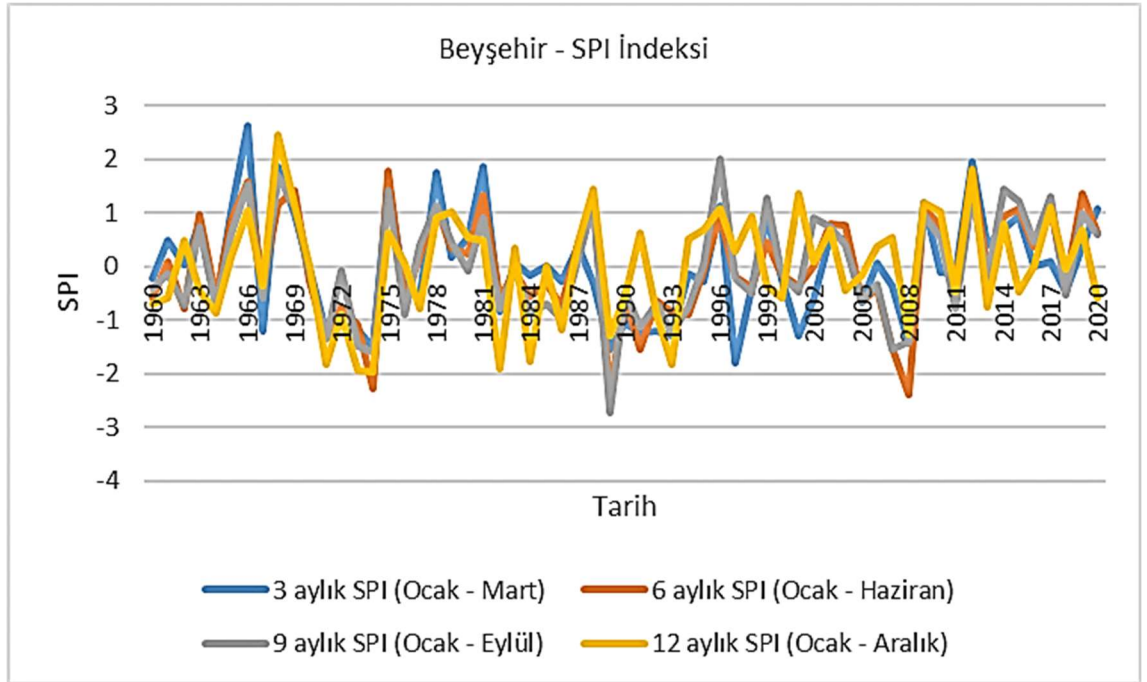


Şekil 4.83 Seydişehir istasyonunda ölçülen yağış verileri ile hesaplanan SPI indeksi FP modeline göre kurak olmayan dönemlerin süresi giderek uzamakta ve artış eğilimi göstermektedir.

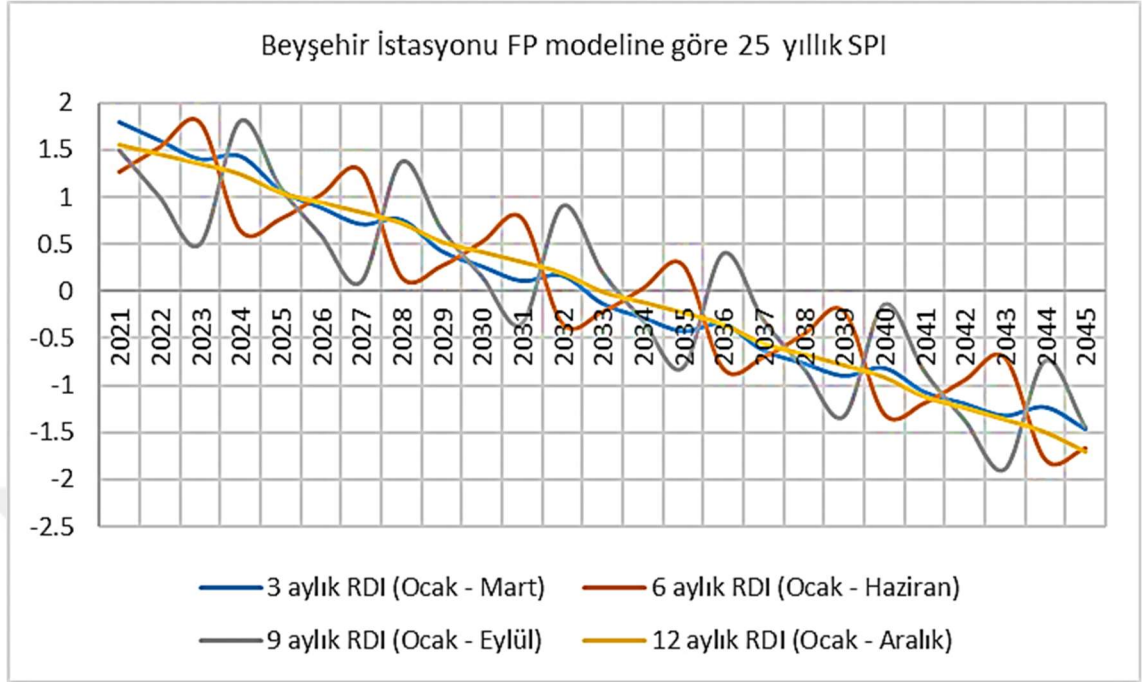


Şekil 4.84 Şeydişehir istasyonu FP modeline göre hesaplanan SPI indeksi

Beyşehir istasyonunda SPI indeksine göre en nemli dönem 1968 yılında ve en kurak dönem 1989 yılında yaşanmıştır. FP modeline göre 2033 yılından sonra giderek kuraklaşan bir eğilim bulunmaktadır.



Şekil 4.85 Beyşehir istasyonunda ölçülen yağış verileri ile hesaplanan SPI indeksi

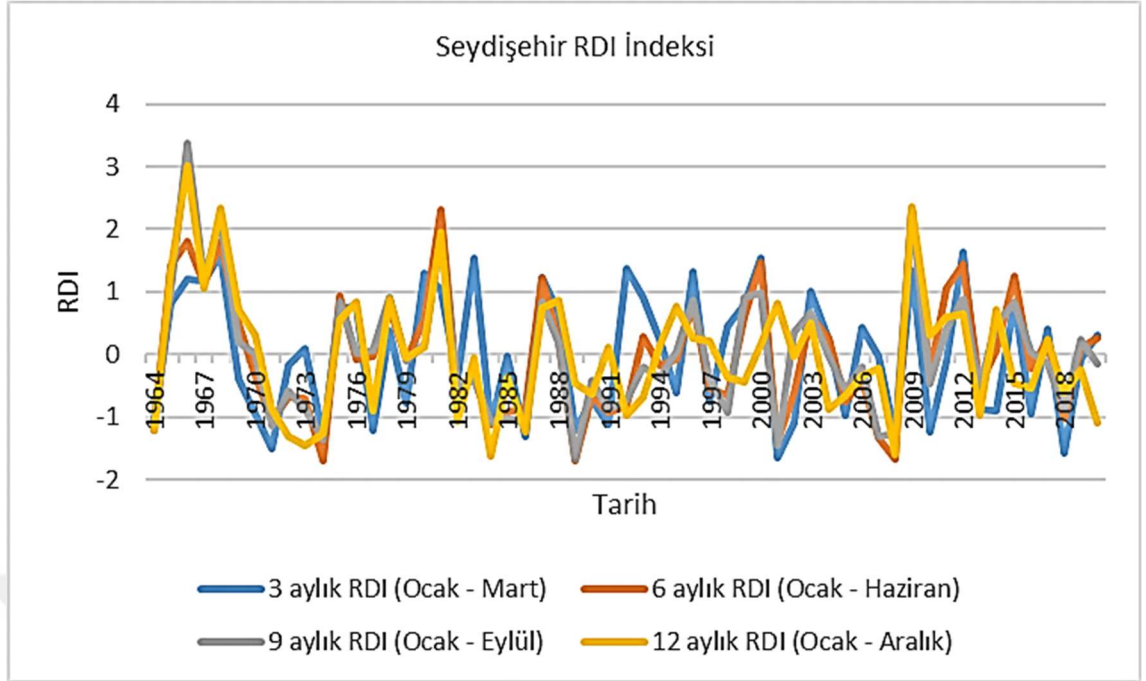


Şekil 4.86 Beyşehir istasyonu FP modeline göre hesaplanan SPI indeksi

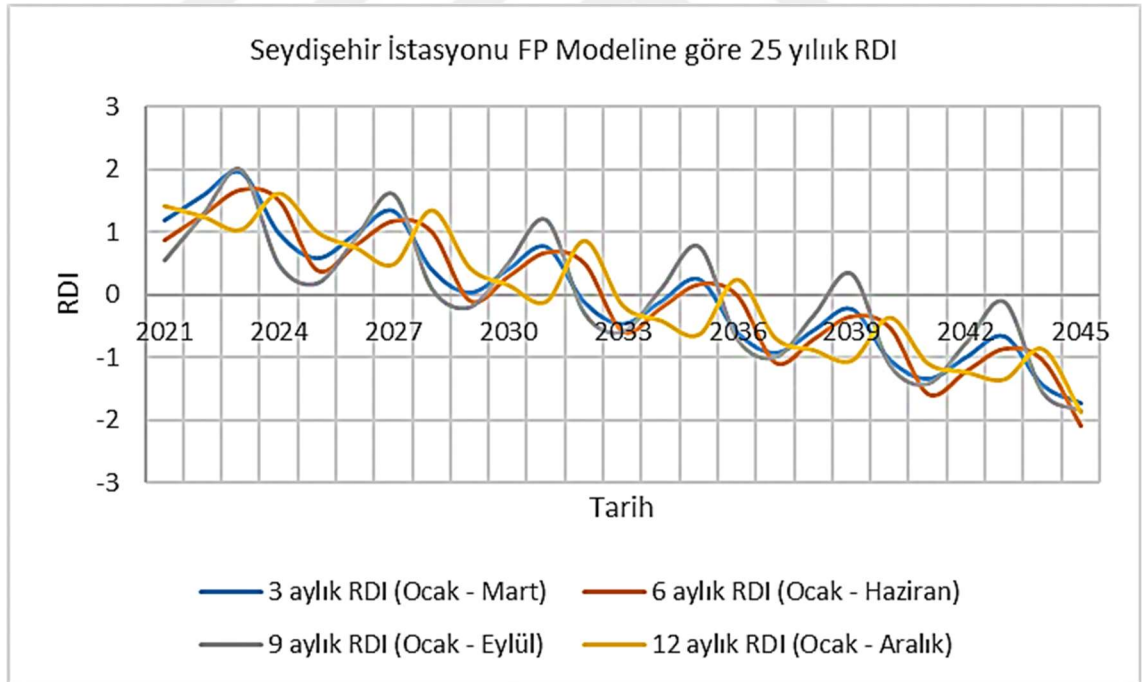
4.3.2 RDI indeksi

RDI indeksine göre Seydişehir istasyonunda kurak olmayan yıl oranı fazla olsa da giderek kurak değerlere yaklaşan bir eğilim bulunmaktadır. RDI indeksine göre en nemli dönem 1966 yılı, en kurak dönem ise 2007 yılında yaşanmıştır. FP modelinde ise SPI tahmininde olduğu gibi RDI indeksine göre de giderek kuraklaşan bir eğilim bulunmaktadır.

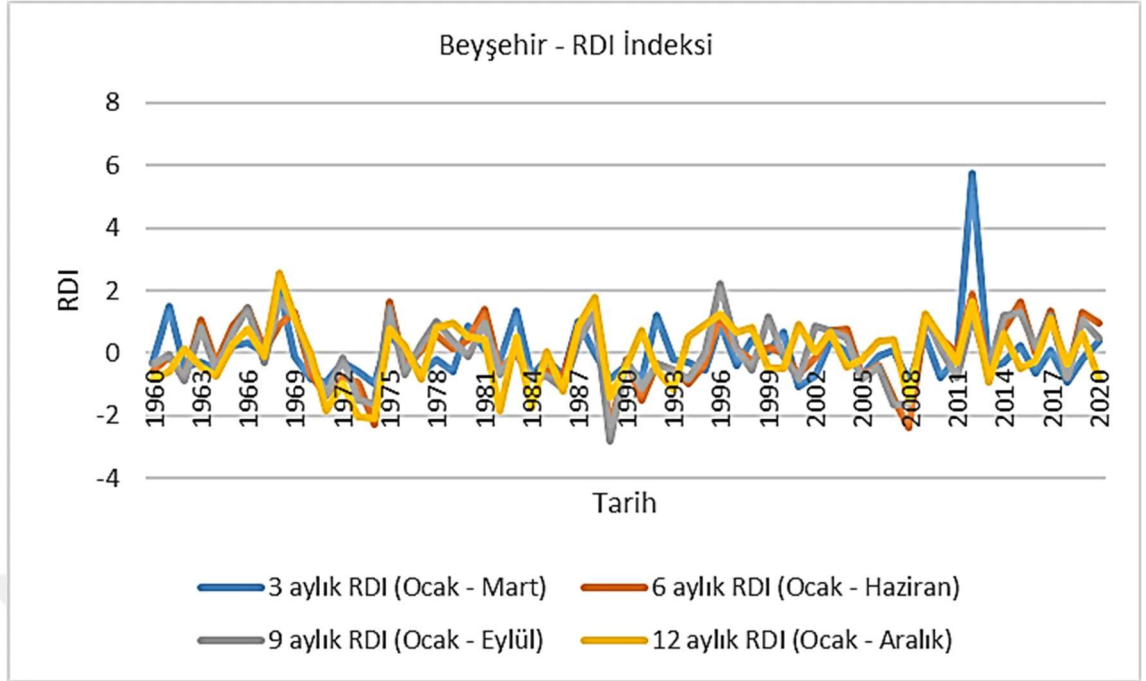
Beyşehir istasyonunda RDI indeksine göre 1968 en nemli yıl ve 1974 en kurak yıl olarak görülmüştür. FP modeline göre Beyşehir istasyonunda 2035 yılından itibaren uzun süren bir kurak döneme girilmektedir.



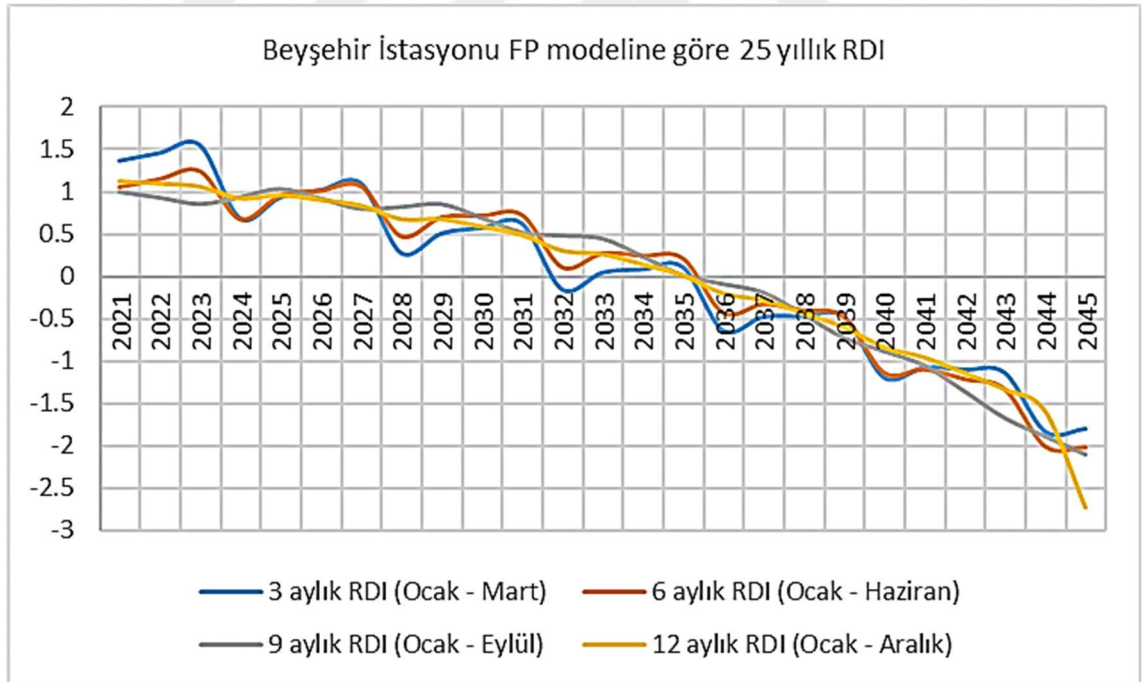
Şekil 4.87 Seydişehir istasyonunda ölçülen yağış ve sıcaklık verileri ile hesaplanan RDI indeksi



Şekil 4.88 Seydişehir istasyonu FP modeline göre hesaplanan RDI indeksi



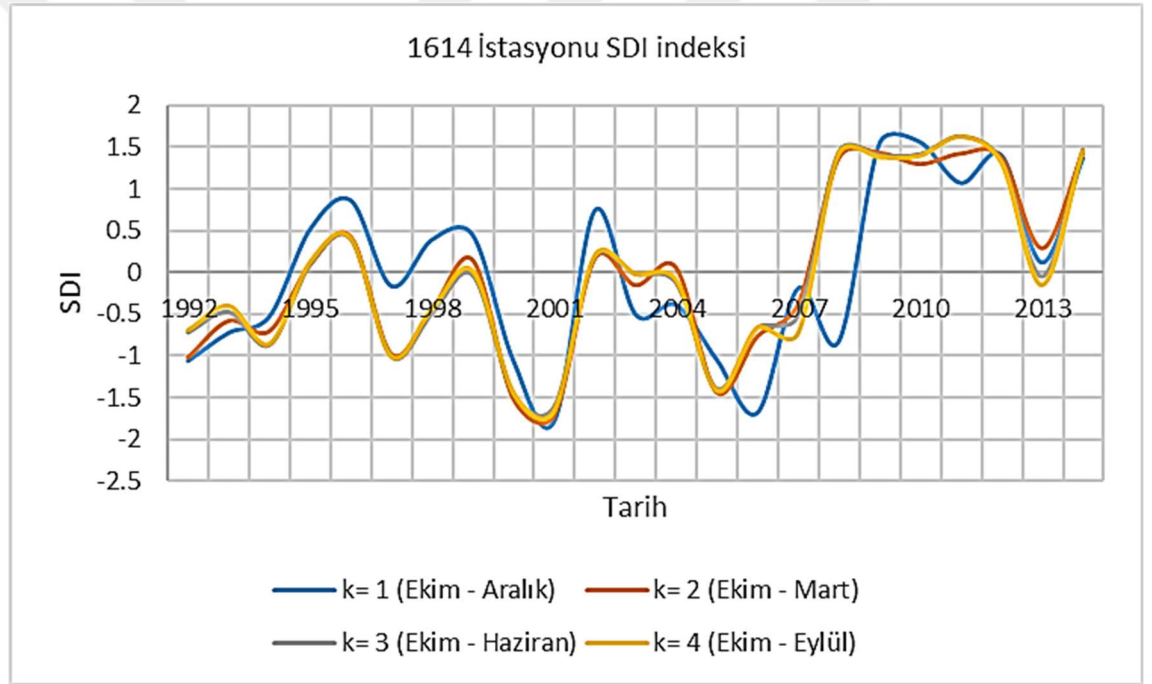
Şekil 4.89 Beyşehir istasyonunda ölçülen yağış ve sıcaklık verileri ile hesaplanan RDI indeksi



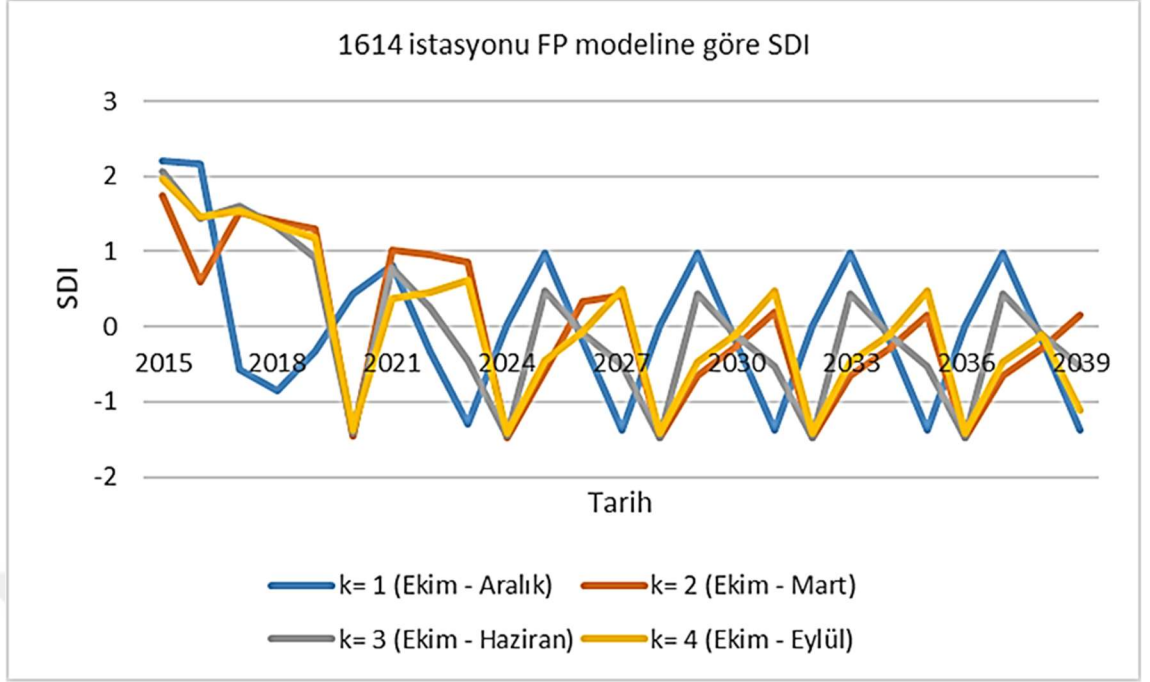
Şekil 4.90 Beyşehir istasyonu FP modeline göre hesaplanan RDI indeksi

4.3.3 SDI indeksi

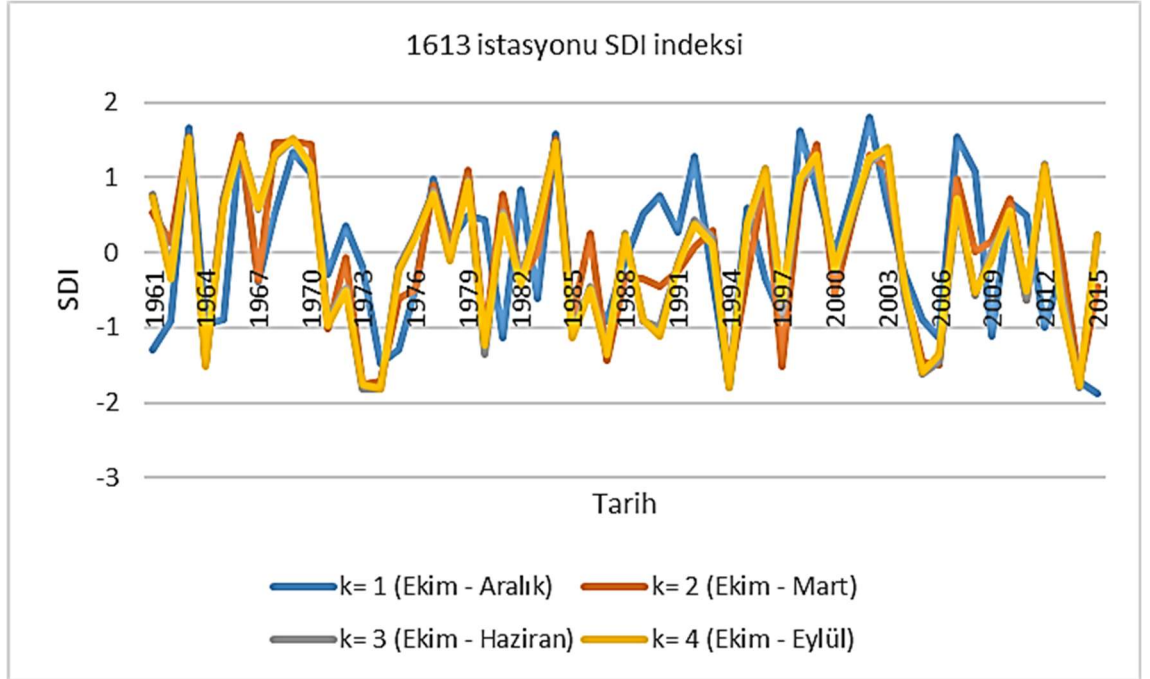
1614 numaralı istasyonda nemli dönem süresi ve oranı 2007 yılından sonra dikkate değer düzeyde giderek artmıştır. En kurak yıl 2001 olmuştur ancak FP modeline göre kuraklık eğilimi artmaktadır. 1613 numaralı istasyonda kurak olmayan dönem oranı %50'den fazla olmasına rağmen bu istasyonun FP modeli ile hesaplanan indeks değerleri lineer denebilecek şekilde azalmaktadır. 1604 numaralı istasyonda da tahmin edilen değerler benzer sonuçları vermiş sadece 1621 numaralı istasyonda model sonuçlarına göre indeks değerleri yatay bir seyir izlemektedir.



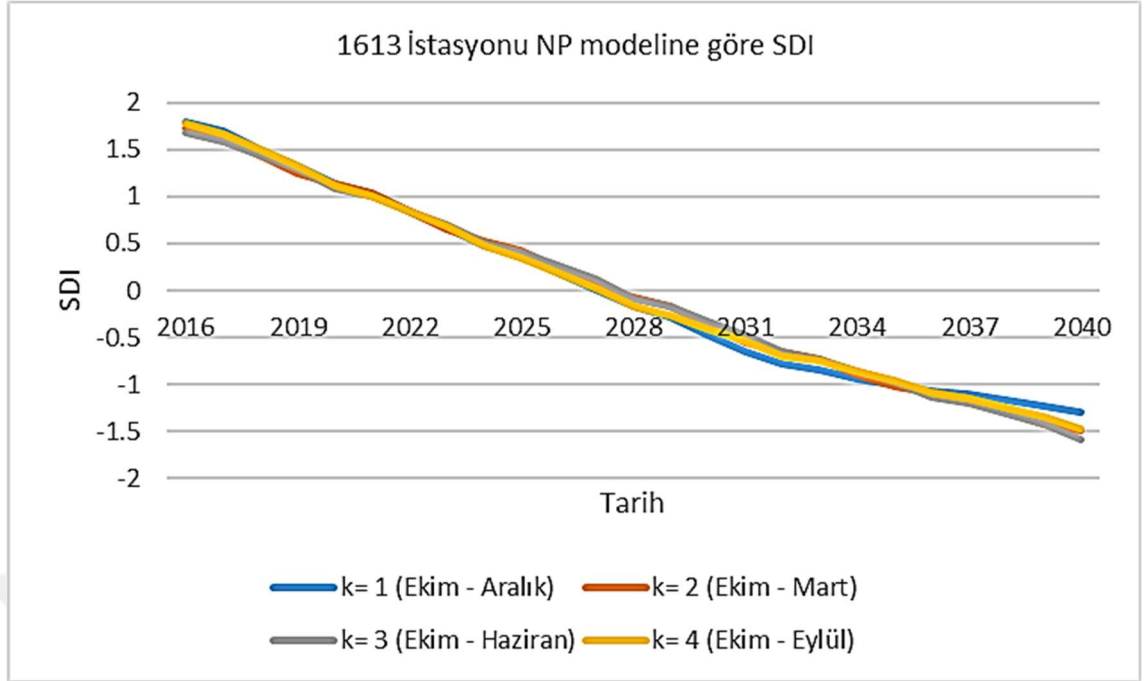
Şekil 4.91 Soğuksu – Yeşildağ (1614) istasyonu ölçülmüş akım verilerine göre SDI indeksi



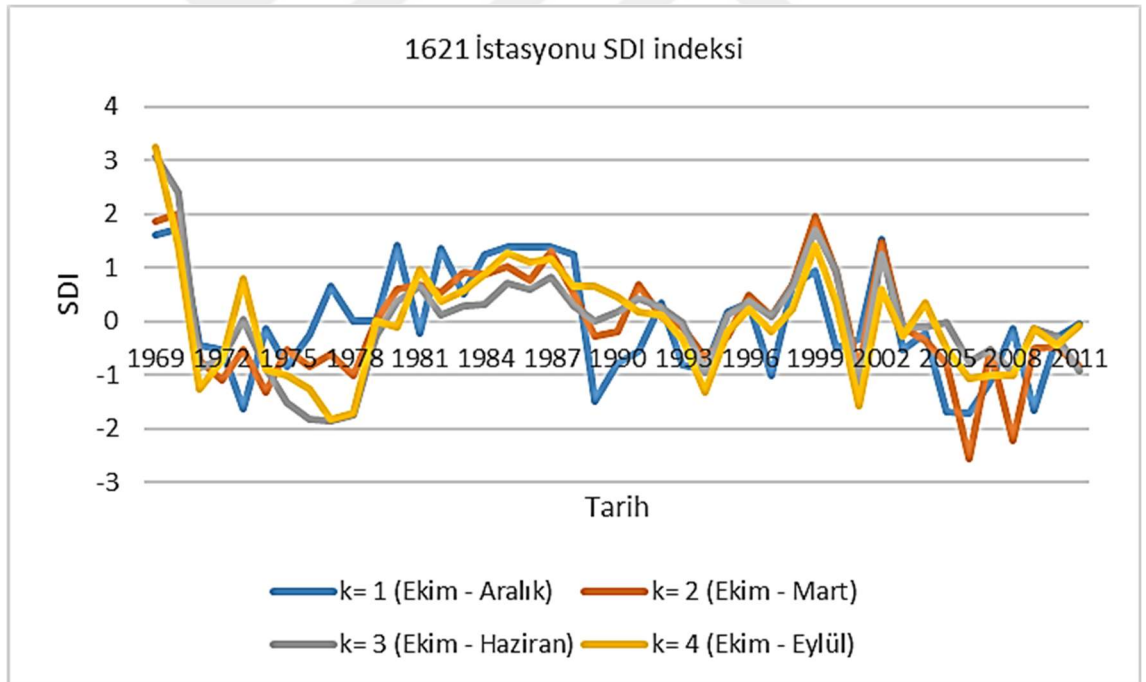
Şekil 4.92 Soğuksu – Yeşil dağ 1614 İstasyonu FP modeline göre 25 yıllık SDI indeksi



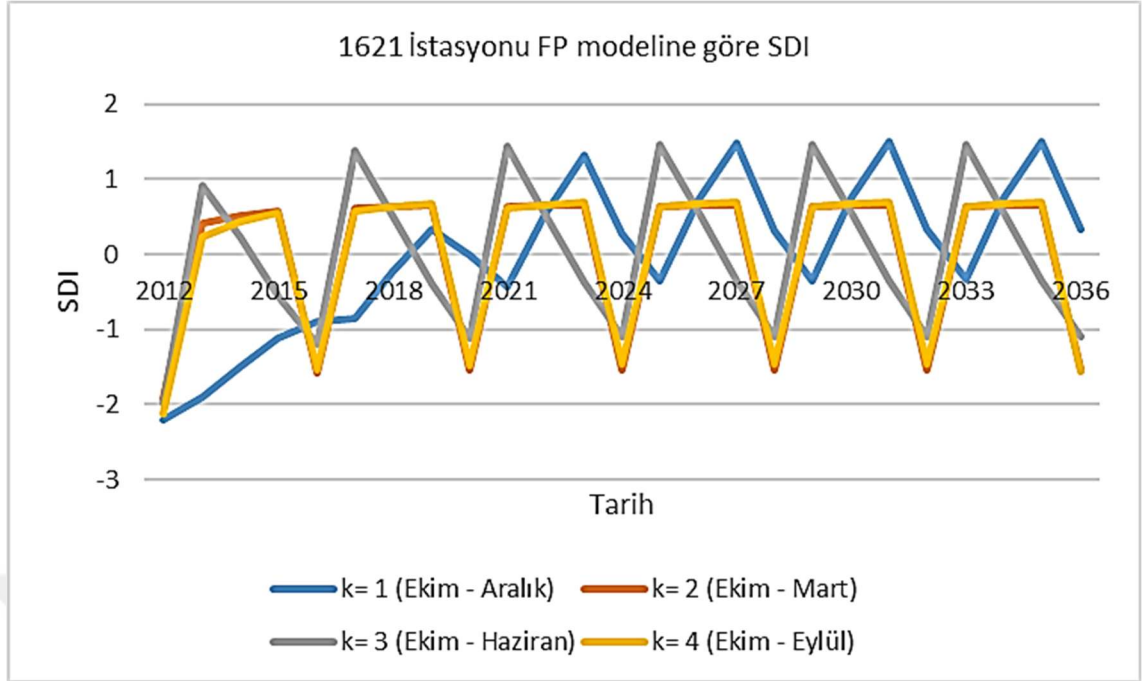
Şekil 4.93 Şarkikaraağaç (1613) İstasyonu ölçülmüş akım verilerine göre SDI indeksi



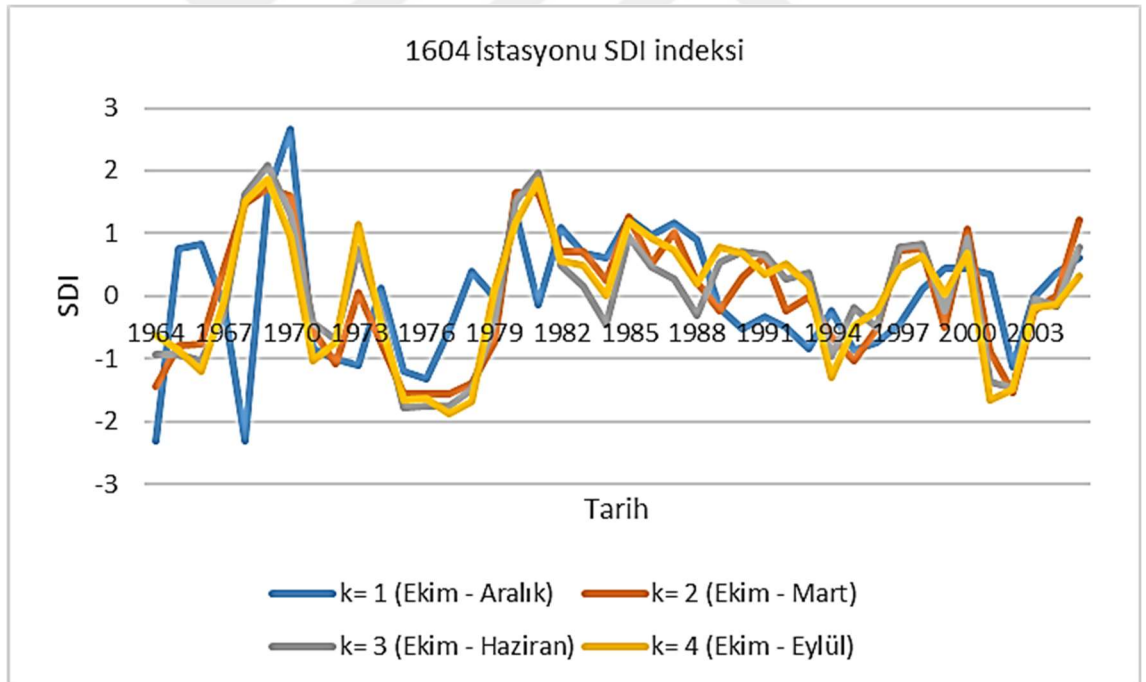
Şekil 4.94 Şarkikaraağaç (1613) İstasyonu NP modeline göre 25 yıllık SDI indeksi



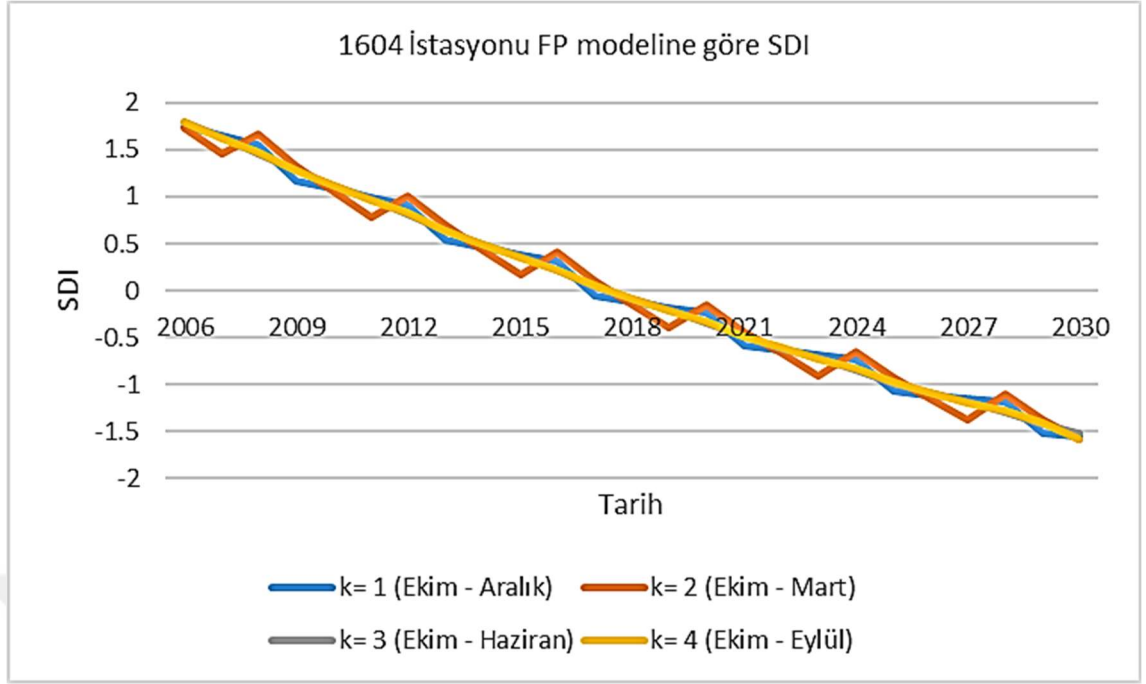
Şekil 4.95 Suğla (1621) İstasyonu ölçülmüş akım verilerine göre SDI indeksi



Şekil 4.96 Suğla (1621) İstasyonu FP modeline göre 25 yıllık SDI indeksi



Şekil 4.97 Beyşehir Gölü regülatör (1604) istasyonu ölçülmüş akım verilerine göre SDI indeksi



Şekil 4.98 Beyşehir Gölü regülatör (1604) istasyonu FP modeline göre 25 yıllık SDI indeksi

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Kuraklık, en kısa ve açık hali ile yağış eksikliği olarak tanımlanmaktadır. Ancak etkileri ve sonuçlarının anlaşılması açısından kuraklığın bu tanımla özdeşleşmesi kuraklığa ilişkin yeterli farkındalığı ve bilinci oluşturmamakta, kavramı basitleştirmektedir.

Kuraklık tüm canlıların yaşamını, hayatın her alanını etkileyen ve etkileri yaşandığı dönemden sonrasında da devam edebilen, planlı ve sürdürülebilir önlemler gerektiren, kayıpların yavaş gerçekleşmesi nedeniyle sosyolojik açıdan sessiz yaşanan ve gizli tehditler içeren bir tabiat olayı ve kamusal bir sorundur.

Kuraklık, diğer tüm afetlere göre daha fazla sayıda insanı etkileyen, en karmaşık ve en az anlaşılan doğal afet olarak kabul edilir (Wilhite 1996). Kurumsal, politik, bütçe ve insan kaynakları kısıtlamaları kuraklığın planlanmasını zorlaştırır (Wilhite ve Easterling, 1987). Dünya çapında var olan en büyük kısıtlama, politikacılar, politika yapıcılar, teknik personel ve halk tarafından yapılan kuraklık anlayışı eksikliğidir (Wilhite 1996).

Willhite (1996), devletlerin kuraklık politikasını sürdürülebilir kalkınma sorunları ile bütünleştirmesi gerektiğini ifade etmiş, kuraklık hazırlık planı oluşturulurken, kısa vadeli acil durumdan çok uzun vadeli kırılganlığın azaltılmasına daha fazla önem verilirse, kuraklık yönetimine daha etkili, verimli ve zamanında bir yaklaşım sağlanacağını belirtmiştir.

Kuraklık yönetimi konusunda yapılan çalışmalardan sonuç alınabilmesi ve fayda elde edilebilmesi için uzmanların dışında politika yapıcı ve karar alıcıların çalışmalara aktif şekilde katılması ve konunun önemini kavraması, halkın bilinçlendirilmesi ve farkındalık kazanması ve eğitilmesi için yeterli miktarda bütçe ayrılması, sivil toplum kuruluşlarının daha etkili çalışması ve karar alma mekanizmalarında yer alması ve iş dünyasının da elini taşın altına koyması gerekmektedir.

Kuraklık yönetiminin etkili olabilmesi için, kuraklığın izlenmesi ve doğru tespit edilmesi önem arz etmektedir. Ülkemizde gözlem istasyonlarında uzun yıllardır veri kaydı yapılmasına rağmen çoğu istasyonda uzun süreli ve kesintisiz ölçüm yapılamamıştır. Çeşitli nedenlerle istasyonlar dönem dönem kapalı kalmış süreklilik tam olarak

sağlanamamıştır. Bunun için izleme ve kayıt faaliyetlerinin gerçekleştirildiği gözlem ve ölçüm istasyonlarının sayısı ve kalitesi artırılmalı, burada çalışan personelin yeterli eğitimi almış ve görev bilinci kazanmış olması sağlanmalıdır.

Bugüne kadar yapılan çok sayıda çalışmada, Konya Kapalı Havzasının kuraklık açısından durumu araştırılmış, bu çalışmaların bir kısmında bir alt havza olarak Beyşehir Gölü Havzası da incelenmiştir. Ancak sadece Beyşehir Gölü Havzası özelinde havzanın kuraklık durumuna ilişkin bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışmada Beyşehir Gölü Havzasının kuraklık durumu YSA yöntemlerinden faydalanılarak incelenmiştir. YSA yöntemleri içinde çeşitli algoritma modelleri bulunmaktadır. 2018 yılında, FP modelleri ile zaman serilerinin tahminleri üzerine çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. NP ise 2020 yılından beri zaman serisi tahminlerinde kullanılmaktadır. Her iki modelde çok yenidir ve Beyşehir Gölü havzasında kuraklığın tahmini için YSA yöntemi ve NP ile FP modelleri ilk kez bu çalışmada kullanılmıştır.

Bu çalışmada, Beyşehir Gölü Havzası'nın kuraklığını belirlemek amacı ile 6 istasyon seçilmiş ve bu istasyonların verileri kullanılmıştır. Beyşehir Gölü havzasında yer alan ve uzun yıllar verisi bulunan az sayıda istasyon bulunmaktadır. İstasyonların büyük kısmı küçük ve nispeten yeni istasyonlar olduğundan uzun süreli ve kesintisiz veriye sahip istasyonların verileri kullanılmıştır. Bugüne kadar yapılan akademik çalışmalarda çok sayıda kuraklık indeksi üretilmiştir. Bu kuraklık indekslerini kullanabilmek için çeşitli parametrelere ait veri serilerine ihtiyaç bulunmaktadır. Beyşehir Gölü Havzası'nda yer alan istasyonlarda bu parametrelerden kullanılabilecek düzeyde kaydı olan yağış, sıcaklık ve akım verilerinden faydalanılmıştır. Bu verilerin kullanılabileceği SPI, RDI ve SDI kuraklık indeksleri seçilerek Beyşehir Gölü Havzası'nda tarımsal, hidrolojik ve meteorolojik kuraklık, YSA metotları kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, son yıllarda çeşitli alanlarda sıkça kullanılan Facebook Prophet ve Neural Prophet algoritmalarında mevcut veriden yararlanılarak modeller eğitilmiş geleceğe dönük 25 yıllık veri tahmin edilmiştir. Epoch sayısı, öğrenme oranı, normalizasyon yöntemi, change-- points range gibi hiperparametrelere farklı değerler verilerek çok sayıda model kombinasyonu yaratılmıştır. NP ve FP modelleri içinden, korelasyon katsayısı ve hata metrikleri istatistiksel açıdan en iyi olan modeller seçilerek bu modellerle tahmin edilen veri serileri indeks hesaplamalarında kullanılmıştır.

Hesaplanan SPI, RDI ve SDI indekslerinde kullanılacak veri serilerinin normal dağılıma uygun olması istenmektedir. İstasyonlarda ölçülen yağış ve akış verilerinin büyük bölümü normal dağılım gösterirken bir kısmı bu dağılıma uymadığından uygun oldukları dağılım belirlenmiş, bu dağılıma göre olasılık değerleri hesaplanarak bu değerlere karşılık gelen Z değerleri bulunmuş ve indeksler belirlenmiştir. FP modellerinden elde edilen veriler çok yüksek oranda normal dağılıma uygunluk göstermemiş, NP modellerinden elde edilen verilerin ise büyük bölümü normal dağılıma sahip olmuştur. Bu durumun NP modeli kurulurken verilere normalizasyon uygulanması ile ilişkili olabileceği değerlendirilmiştir.

Çalışma sonuçlarına göre, NP ve FP model verileri ile hesaplanan kuraklık indeksleri tüm istasyonlarda 3, 6, 9 ve 12 aylık periyotlar için benzer şekilde giderek artan bir kuraklık eğilimi göstermiştir. Ölçülmüş verilerle hesaplanan kuraklık indekslerinde kuraklık sınıflarına göre frekans oranları, FP ve NP model verileri kullanılarak belirlenen frekans oranları ile çok yakın ve tutarlıdır. SPI, RDI ve SDI indekslerinin kuraklık sınıflarına göre frekans oranları benzer düzeyde gerçekleşmiştir.

SPI, SDI ve RDI indeksleri hesaplamalarına göre Seydişehir, Soğuksu-Yeşiladağ ve Şarkikaraağaç istasyonlarında aşırı kurak dönemin hiç yaşanmadığı görülmüştür. Tüm istasyonlarda kurak olmayan dönemlerin frekans değeri en yüksektir. Bunu hafif kurak durum takip etmektedir. Tüm istasyonlarda kurak olmayan ve hafif kurak dönemlerin toplamı %80'den fazladır. Şiddetli kurak dönemler en çok Şarkikaraağaç istasyonunda yaşanmıştır ve %8.64 oranındadır. Aşırı kurak dönem en yüksek %2.45 değeri ile Beyşehir istasyonunda yaşanmıştır. Seydişehir ve Beyşehir istasyonları bazında SPI ve RDI kuraklık frekanslarının oranı birbirine çok yakındır. Geçmişte yaşanan kurak dönemlerin kuraklık sınıflarına göre frekans toplamaları her iki indekste benzer oranda hesaplanmış ve bu iki indeksin Beyşehir Gölü Havzası için kuraklığı temsil etme açısından birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

Akım ölçülen istasyonlarda aşırı kurak dönem oranı, yağış istasyonlarına kıyasla daha düşüktür. Geçmiş dönemde, kuraklık sınıfına göre kuraklık frekansları tüm akım istasyonlarında birbirine çok yakın değerler almıştır. 3, 6, 9 ve 12 aylık periyotlarda kuraklık sınıfına göre SPI ve SDI indekslerindeki kuraklık frekanslarının değerleri birbirine yakın düzeyde gerçekleşmiştir.

Bu çalışmada hem yağış hem de akış verileri için yapılan NP modellemesinde tüm istasyonlarda korelasyon değerleri 0.75'in altında bulunmuştur. Eğitim verileri en küçük 0.565 ve en büyük 0.722 CC değerlerini almış test verilerinde ise en küçük 0.582, en büyük 0.693 değeri elde edilmiştir.

Benzer biçimde yağış ve akış verileri kullanılan FP modellerinde korelasyon değeri eğitim setinde 0.575 ile 0.745 arasında değişirken, test setinde 0.556 ile 0.706 arasında değerler almıştır. NP ve FP modellerinin ikisinde de eğitim ve test verilerinin korelasyon değerleri arasında önemli düzeyde fark bulunmaktadır. Test verisi toplam verinin yaklaşık %20 si kadar olup, istasyondaki gözlem süresine göre değişmekle birlikte yaklaşık son 10-15 yılın verisinden oluşmaktadır. Bu durum, test verisinin geçmişi tam olarak yansıtamamasına ve eğitim verisinden biraz farklı bir eğilim göstermesine ve korelasyon değerinin daha düşük bulunmasına neden olmuştur.

Çalışmada, NP ve FP modelleri için bulunan korelasyon değerleri kabul edilebilir düzeydedir. SPI, RDI ve SDI ile hesaplanan kuraklık sınıflarına göre, Beyşehir Gölü Havzasında görülen kuraklık ve önümüzdeki 25 yıl için tahmin edilen kuraklık birbirine yakın değerler almış ve her üç indekste havzayı temsil ettiği yağış, akış ve sıcaklık arasında tutarlı bir ilişki olduğu görülmüştür.

Konya Kapalı Havzası Kuraklık Yönetim Planında yapılan analiz sonuçları ile bu tez çalışmasında bulunan kuraklık olasılıkları birbiri ile uyumludur. Konya Kapalı Havzası Kuraklık Yönetim Planında PDSI zaman dizilerine göre Beyşehir'in uzun süreli kuraklık olasılıkları %1.36 aşırı nemli, %3.33 çok nemli, %11.06 orta nemli, %18.03 hafif nemli, %33.18 normale yakın, %15.15 hafif kurak, %11.82 orta kurak, %4.55 şiddetli kurak ve %1.52 aşırı kurak olarak bulunmuştur. Yine raporda SPI dizilerine göre %1.82 aşırı nemli, %4.55 çok nemli, %8.79 orta nemli, %15.61 hafif nemli, %37.88 normale yakın, %13.03 hafif kurak, %8.03 orta kurak, %4.55 şiddetli kurak ve %5.76 aşırı kuraktır. Hafif kurak ve kuraklık olmama durumunun toplam olasılığı SPI ve PDSI indekslerine göre %81.5 düzeyindedir. Benzer şekilde bu tez çalışmasında da Beyşehir gölü havzasında değerlendirilen tüm istasyonlarda ölçülen verilerle yapılan SPI, RDI ve SDI sonuçlarına göre kurak olmayan ve hafif kurak dönemlerin toplamı %80'den fazla iken FP ve NP model sonuçlarına göre %75'in üzerinde bulunmuştur.

Bu çalışmada, NP ve FP modellerindeki en iyi korelasyon değerleri, Seydişehir ve Beyşehir istasyonlarındaki sıcaklık tahminlerinde elde edilmiştir. Her iki analiz yönteminde de sıcaklık tahminleri için test ve eğitim verilerinde 0.97 ve üzerinde CC değerleri bulunmaktadır. NP ve FP sıcaklık tahminlerinde yüksek korelasyon ve düşük hata değeri ile iyi performans göstermiştir. Benzer şekilde, Oo ve Phyu (2020), Myanmar, Myitkina şehri için Facebook Prophet modeli ile 2018-2020 yılları için sıcaklık tahmini yapmışlar ve model tutarlılığını yüksek bulmuşlardır. Yine Toharudin vd. (2021), Bandung'daki beş yıllık günlük hava sıcaklıklarının tahmini için LSTM ve FP modellerini kullanmış hem LSTM hem de FP, hava sıcaklığı tahmini için başarılı olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmalara göre, sıcaklık verilerinin tahmininde Prophet modelleri başarılı sonuçlar vermiştir.

Bu çalışmada akış, yağış ve sıcaklık verileri FP ve NP modelleri ile analiz edilmiş, sonuçların ölçülen veriler ile arasındaki korelasyon değerleri kabul edilebilir düzeyde bulunmuştur. Bu tez çalışmasına benzer şekilde Tyralis ve Papacharalampous tarafından 2018 yılında ABD'deki 513 havza için yapılan çalışmada benzer şekilde ortalama aylık akış, yağış ve sıcaklık zaman serileri kullanılmış, Naive 1, Naive 2, ARFIMA, SES ve Prophet 1 algoritmaları olmak üzere uygulanan beş tahmin algoritmasının sonuçlarının eşdeğer ve tutarlı olduğu belirtilmiştir. Yine Papacharalampous vd. (2018), aylık sıcaklık ve yağış tahmin edilebilirliğini araştırmışlar, rastgele yürüyüş, ARFIMA, Box-Cox ile üstel düzgünleştirme durum-uzay modeli, ARMA hataları, BATS, basit üstel yumuşatma ile Theta ve Prophet metotlarını kullanmışlardır. Sonuçta, rastgele yürüyüş yöntemleri dışında incelenen tüm yöntemler, uzun süreli uygulamalarda kullanılabilecek kadar doğru bulunmuştur. Bir diğer çalışmada, Basak vd. (2022), Hindistan'daki 38 meteoroloji istasyonu için çoklu zaman ölçeklerinde SPI hesaplamaları yapmışlar, Prophet modelinin kuraklık tahmini için kabul edilebilir doğruluk sağladığını belirterek kuraklık tahmini için yeni bir model olarak Prophet modelini önermişlerdir.

Papacharalampous ve Tyralis (2018), akış verilerini kullanarak, rastgele orman algoritması ve Prophet modelinin yedi gün sonrasına kadar akış tahmin performansını değerlendirmişler ve Prophetin ortalama karekök hatası açısından daha kötü bir performans sergilediğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada da benzer şekilde tüm

istasyonlarda yağış ve akış tahminlerinde FP ve NP modelleri ortalama karekök hata ve ortalama mutlak hata açısından kötü sonuçlar vermiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, Beyşehir Gölü Havzası için gelecekte yapılacak çalışmalarda, kuraklık tahminleri için kuraklığı etkileyen diğer parametrelerin de analiz edilmesinin daha doğru sonuçlar üreteceği, FP ve NP modellerinin sürekli geliştirildiği dikkate alındığında yapılacak çalışmalarda bu modellerin kullanılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada test verileri için son 10-15 yıllık periyotlar dikkate alınmıştır. İleride yapılacak araştırmalarda test verilerinin seçimi ve verilerin normalizasyonu için farklı yöntemler kullanılması, model algoritmasında farklı fonksiyonların denenmesi, model mimarisi oluşturulurken kullanılan hiperparametrelerin kombinasyonlarının sayısının artırılması, havzayı daha iyi temsil edebilmek için mevcut tüm istasyon verilerinin kullanılması önerilmektedir.

Yapılan çalışmada, Beyşehir gölü havzasının kuraklığını belirlemek için SPI, RDI ve SDI indekslerinden faydalanılmıştır. İleriki çalışmalarda, literatürde yer alan diğer indekslerden faydalanarak daha geniş kapsamlı araştırmalar yapılabilir. Bu çalışmalarda, çalışma alanında yetiştirilen ürünler dikkate alınarak ürün optimizasyonu yapılabilir ve bu ürün optimizasyonuna göre olası kuraklık tahminlerinde bulunulması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abarghouei, H.B., Kousari, M.R., Amin, M., Zarch. A. 2011. Prediction of drought in dry lands through feedforward artificial neural network abilities. Arab J Geosci, 6, 1417-1433.
- Agana, N.A., Homaifar, A. 2017. A deep learning-based approach for long-term drought prediction. SoutheastCon, 30 March-02 April, 1-8, North Carolina.
- Agnew, C. T. 1990. Spatial aspects of drought in the Sahel. Journal of Arid Environments 18: 279-293.
- Agnew, C. T. and Warren, A. 1996. A framework for tackling drought and degradation. Journal of Arid Environments 33: 309-320.
- Ali, M., Deo, R.C., Downs, N.J., Maraseni, T. 2018. Multi-stage committee based extreme learning machine model incorporating the influence of climate parameters and seasonality on drought forecasting. Computers and Electronics in Agriculture 152, 149–165.
- Ali, Z., Hussain, I., Faisal, M., Nazir, H.M., Hussain, T., Shad, M.Y., Shoukry, A.M., Gani, S.H. 2017. Forecasting drought using multilayer perceptron artificial neural network model. Advances in Meteorology, 2017.
- Anlı, A.S. 2014. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde referans bitki su tüketiminin (eto) zamansal değişimi ve RDI (keşif kuraklık indeksi) yöntemiyle meteorolojik kuraklık analizi. Tarım Bilimleri Dergisi, 20, 248-260.
- Anlı, A. S. ve Yürekli, K. 2014. Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) ile Ankara ilinin Kuraklık Analizi. 12. Ulusal Kültürteknik Sempozyumu. Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
- Anonim, 2015. Konya Havzası Kuraklık Yönetim Planı. Dolsar Mühendislik, Ankara, 26.
- Anonim, 2016. Konya Tarım İl Müdürlüğü.
- Anonim, 2017. Web sitesi: <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Akar%C3%A7ay%20konya%2003.07.2019/Konya%20SSTP%20Eylem%20Plan%C4%B1.pdf> Erişim Tarihi: 01.07.2021
- Anonim, 2018. Sektörel Su Tahsisi Eylem Planı ve Genelgesi (2019-2024). Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Tarım ve Orman Bakanlığı. Ankara.
- Anonymous, 1994. Birleşmiş Milletler Çölleşmeyle Mücadele Sözleşmesi. BM Çevre ve Kalkınma Konferansı, 1992. Rio De Janeiro
- Bacanlı, Ü.G., Fırat, M., Dikbaş, F. 2008. Adaptive neuro-fuzzy inference system for drought forecasting. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 23, 1143–1154.

- Barua, S., Ng, A. W. M., Perera, B. J. C. 2012. Artificial neural network-based drought forecasting using a nonlinear aggregated drought index. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(12), 1408-1413.
- Basak, A., Rahman, T. M. S., Das, J., Hosono, T., Kisi, O. 2022. Drought forecasting using the Prophet model in a semi-arid climate region of western India. *Hydrological Sciences Journal*, 67 (9), 1397-1417.
- Bayır, R. 2008. Yapay Zekâ Teknikleri Dersi Ders Notları. Karabük Üniversitesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi bölümü.
- Bucak, T., Trolle, D., Andersen, H.E., Thodsen, H., Erdoğan, Ş., Levi, E.E., Filiz, N., Jeppesen, E., Beklioğlu, M. 2017. Future water availability in the largest freshwater Mediterranean lake is at great risk as evidenced from simulations with the SWAT model. *Sci. Total Environ.* 581–582, 413–425.
- Cebeci, İ., Öztürk, F., Sarısamur, F., Cebel, H. 2013. Güvenç Havzası Aşındırıcı Güç İndisleri ve Kurak Dönemlerin Belirlenmesi. *Toprak Su Dergisi*, 2(1), 15-22.
- Chantasut, N., Charoenjit, C., Tanprasert, C. 2004. Predictive Mining of Rainfall Predictions Using Artificial Neural Networks for Chao Phraya River. *Proceedings of Joint Conference The 4th International Conference of The Asian Federation of Information Technology in Agriculture and The 2nd World Congress on Computers in Agriculture and Natural Resources*, August 9-12, 117-122. Bangkok, Thailand.
- Cramer, W., Guiot, J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J.P., Iglesias, A., Lange, M.A., Lionello, P., Llasat, M.C., Paz, S., Peñuelas, J., Snoussi, M., Toreti, A., Tsimplis, M.N., Xoplaki, E. 2018. Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change*, 8, 972–980
- Cutore, P., Mauro, G.D., Cancelliere, A. 2009. Forecasting palmer index using neural networks and climatic indexes. *Journal of Hydrologic Engineering*, 14 (6), 588-595.
- Dalezios, N.R., Bartzokas, A., 1995. Daily precipitation variability in semiarid agricultural region. *Hydrological Sciences Journal*. 40 (5):569–585
- Dastorani, M.T., Afkhami, H. 2011. Application of artificial neural networks on drought prediction in Yazd (Central Iran). *Desert*, 16, 39-48.
- Dayal, K.S., Deo, R.C., Apan, A.A. 2016. Application of hybrid artificial neural network algorithm for the prediction of standardized precipitation index. *IEEE Region 10 Conference (TENCON)*, 22-25 November, *Proceedings of the International Conference*, 2962-2966, Singapore.
- Dehghani, M., Saghafian, B., Rivaz, F., Khodadadi, A. 2017. Evaluation of dynamic regression and artificial neural networks models for real-time hydrological drought forecasting. *Arab J Geosci*, 10, 266.
- Deo, R.C., Şahin, M. 2015. Application of the artificial neural network model for prediction of monthly standardized precipitation and evapotranspiration index

- using hydrometeorological parameters and climate indices in eastern Australia. *Atmospheric Research*, 161–162, 65-81.
- Gleick, P., Cooley, H., Cohen, M.J., Morikawa, M., Morrison, J. ve Palaniappan, M. 2011. *The World's Water Vol.7: The Biennial Report on Freshwater Resources*, Pacific Institute Washington DC, ABD: Island Press.
- Gutman, N. B., 1991. Sensitivity of the Palmer Hydrologic Drought Index. *Water Resources Bul.* 27, 797-807
- Guttman, N. B., 1998. Comparing the Palmer drought index and the standardized precipitation index. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1),113-121.
- Gürler, Ç., 2017. Beyşehir ve Konya-Çumra-Karapınar Alt Havzalarında Standartlaştırılmış İndis Yaklaşımı ile Hidrolojik Kuraklık Değerlendirmesi. Uzmanlık Tezi, Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Hisdal, H., Tallaksen, L. M. (2003). Estimation of regional meteorological and hydrological drought characteristics. *Journal of Hydrology*, 281, 230–247.
- Hong, D., Hong, K. 2015. Drought forecasting using MLP neural networks. 8th International Conference on u-and e-Service, Science and Technology, 25-28 November, 62-65, Jeju, South Korea.
- Illeperuma, G., Sonnadara, U. 2009. Forecasting Droughts using Artificial Neural Networks. National Symposium on Disaster Risk Reduction & Climate Change Adaptation, 7-8 July, Proceedings of the National Symposium, Vol 1, 100-107, Colombo.
- Kapluhan, E. 2013. Türkiye’de Kuraklık ve Kuraklığın Tarıma Etkisi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, Sayı 27,487-510.
- Katip, A. 2018. Meteorological Drought Analysis Using Artificial Neural Networks for Bursa City, Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research* 16(3), 3315-3332.
- Kayam, Y., Yılmaz, G., Etöz, M., Yüceerim, G. 2017. Bazı Kuraklık İndislerinin Karşılaştırılması ve İklimsel Analizler; Menemen Örneği. 5. Uluslararası Katılımlı Toprak ve Su Kaynakları Kongresi, 12- 15 Eylül 2017, Kırklareli.
- Kaynar, O. ve Taştan, S. 2009. Zaman Serileri Tahmininde ARIMA-MLP Melez Modeli, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, Cilt: 23, Sayı: 3, 141-149
- Keyantash, J. and Dracup, J. A. 2002. The quantification of drought: an evaluation of drought indices, *Bulletin of American Meteorological Society*, 83, 1167–1180
- Khosravi, I., Moghaddam, Y.J., Sarajian, M.R. 2017. The comparison of NN, SVR, LSSVR and ANFIS at modelling meteorological and remotely sensed drought

- indices over the eastern district of Isfahan, Iran. *Natural Hazards*, 87(3), 1507–1522.
- Le, J.A., El-Askary, H.M., Allali, M., Struppa, D.C. 2017. Application of recurrent neural networks for drought projections in California. *Atmospheric Research*, 188, 100-106.
- Le, M.H., Perezb, G.C., Solomatine, D., Nguyen, L.B. 2016. Meteorological drought forecasting based on climate signals using artificial neural network- a case study in Khanhhoa province Vietnam. 12th International Conference on Hydroinformatics, 21-26 August, Procedia Engineering, Vol 154, 1169 – 1175, Incheon, South Korea.
- Maca, P., Pech, P. 2015. Forecasting SPEI and SPI drought indices using the integrated artificial neural networks. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2016, 14.
- Mckee, T. B., Doesken, N. J. And Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*. Boston, MA: American Meteorological Society, 17(22): 179-183.
- Marj, A.F., Meijerink, A.M.J. 2011. Agricultural drought forecasting using satellite images, climate indices and artificial neural network. *International Journal of Remote Sensing*, 32(24), 9707–9719.
- Masinde, M. 2013. Artificial neural networks models for predicting effective drought index: Factoring effects of rainfall variability. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19(8), 1139–1162.
- Mercan, D.E. (2006). Beyşehir Gölü’nün Hidrodinamik Modellemesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 137.
- Morais, B.S., Silva, G.B.L. 2009. Drought forecast using an artificial neural network for three hydrological zones in San Francisco River basin, Brazil. *Proc. of Symposium HS.2 at the Joint IAHS & IAH Convention*, 6-12 September, 302-312, Hyderabad, India.
- Morid, S., Smakhtin, V., Bagherzadeh, K. 2007. Drought forecasting using artificial neural networks and time series of drought indices. *International Journal of Climatology*, 27, 2103-2111.
- Mouatadid, S., Raj, N., Deo, R.C., Adamovski J.F. 2018. Input selection and data-driven model performance optimization for predicting Standardized Precipitation and Evaporation Index in a drought-prone region. *Atmospheric Research*, 212, 130-149.
- Munir, M., Khan, H., Muhammad, N.S., El-Shafie, A. 2018. Wavelet-ANN versus ANN-Based Model for Hydrometeorological Drought Forecasting. *Water*, 10(8), 998.
- Nalbantis, I., Tsakiris, G. 2008. Assessment of Hydrological Drought Revisited. *Water Resources Management*. 23:881-897.

- Ochoa, J.C., Rivera. 2008. Prospecting droughts with stochastic artificial neural networks. *Journal of Hydrology*, 352, 174–180.
- Okman, C. 1981. The Recurrence Probability of Agricultural Drought Spells in Ankara Province: University of Ankara press, Publication Number 777, Ankara.
- Okman, C., 1994. Hidroloji. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayın No: 1388, 359s, Ankara.
- Oo, Z., Phyu, S. 2020. Time Series Prediction Based on Facebook Prophet: A Case Study, Temperature Forecasting in Myintkyina. *International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers*, 8(4), 263-267.
- Özkan, K., 2003. Beyşehir Gölü Havzasının Yetiştirme Ortamı Özellikleri ve Sınıflandırılması. Doktora Tezi, İÜ Araştırma Fonu Proje Numarası T-981/19022001, 189.
- Özkan, K. 2004. Beyşehir Gölü Havzası'nda Anadolu Karaçamının (*Pinus Nigra* Arnold) Yayılışı ile Fizyografik Yetiştirme Ortamı Faktörleri Arasındaki İlişkiler. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, A:2, 30-47
- Palmer W. C., 1965. Meteorological Drought. US Department of Commerce, Weather Bureau, Technical Paper, 45, 58.
- Palmer, N.R., Holmes, K.J. 1988. Operational Guidance During Droughts: Expert System Approach. *Journal of Water Resources Planning Management*, 114, 647-666.
- Papacharalampous, G., Tyralis, H., Koutsoyiannis, D. 2018. Predictability of monthly temperature and precipitation using automatic time series forecasting methods. *Acta Geophys.* 66, 807–831.
- Papacharalampous, G., Tyralis, H. 2018. Evaluation of random forests and Prophet for daily streamflow forecasting. *Advances in Geosciences*. 45, 201-208.
- Rezaeian-Zadeh, M., Tabari, H. 2012. MLP-based drought forecasting in different climatic regions. *Theoretical and Applied Climatology*, 109, 407–414. Santos C.A.G.,
- Santos, C.A.G., Morais, B.S., Silva, G.B., 2009. Drought forecast using an artificial neural network for three hydrological zones in San Francisco River basin, Brazil. *IAHS Publication* 333, 302.
- Sattari, M.T., Yürekli, K., Ünlükara, A., Anlı, A.S., Karahan, G. 2010. Ankara'da aylık ETo miktarlarının yapay sinir ağları yöntemi ile tahmin edilmesi. I. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi, 1-4 Haziran, Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü, 24-33, Eskişehir.
- Sattari, M.T., Yürekli, K., Ünlükara, A. 2011. Karaman ilinde yapay sinir ağları yaklaşımı kullanılarak kuraklığın tahmini. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 40, 7-13.

- Sattari, M.T., Anlı, A.S., Apaydın H., Kodan, S. 2012. Decision trees to determine the possible drought periods in Ankara. *Atmosfera*, 25(1), 65-83.
- Simonovic, S.P. 1991. Knowledge-based systems and operational hydrology. *Can. J. Civ. Eng.* 18, 1-11.
- Soh, Y.W., Koo, C.H., Huang, Y.F., Fung, K.F. 2018. Application of artificial intelligence models for the prediction of standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) at Langat River Basin, Malaysia. *Computers and Electronics in Agriculture*, 144, 164–173.
- Soyaslan, İ., Hepdeniz, K. 2018. Beyşehir Gölü Havzasının Yeraltısuyu Akım Modellemesi Esaslı Hidrojeolojik Özelliklerinin Değerlendirilmesi. *The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University* 9(1): 63-74.
- Srivastava, N., Hinton, G., Krizhevsky, A., Sutskever, I., Salakhutdinov, R. 2014. Dropout: A simple way to prevent neural networks from overfitting. *Journal of Machine Learning Research*, 15, 1929-1958.
- Toharudin, T., Pontoh, R.S., Caraka, R.E., Zahroh, S., Lee, Y., Chen, R.C. 2021. Employing long short-term memory and Facebook prophet model in air temperature forecasting. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, 1-24.
- Tsakiris G., Pangalou D., Vangelis H., 2007. Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI): *Water Resources Management*, 21: 821-833.
- Tyralis, H. and Papacharalampous, G. A. 2018. Large-scale assessment of Prophet for multi-step ahead forecasting of monthly streamflow, *Advances in Geosciences*, 45, 147–153
- Ünlükara, A., Yürekli, K. 2013. Küresel ısınmanın kuraklığa etkilerinin değerlendirilmesinde SPI ve SPEI indislerinin karşılaştırılması. 3. Uluslararası Bursa Su Kongresi, 22-24 Mart, vol.1,225-233, Bursa.
- Ünlükara, A., Yürekli, K., Anlı, A.S., Örs, İ. 2010. Kayseri ilinin RDI (Reconnaissance) indeksine göre kuraklığının değerlendirilmesi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3, 13-17.
- Yüksel, S., 2019. Kızılırmak Havzasında Mevsimsel ve Yıllık Yağmurlardaki Değişkenliğin Saptanması. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2.
- Yürekli, K., Ünlükara, A., Yıldırım, M. 2010. Farklı yaklaşımlarla Karaman ilinin kuraklık analizi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3, 19-23.
- Yürekli, K., Ünlükara, A., Öztürk, Ö., Cebeci, İ., Sarısamur, F. 2013a. Küresel ısınmanın kuraklığa etkilerinin belirlenmesinde RDI (Reconnaissance) indisi kullanımı. III. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, 3-5 Haziran, İstanbul.

- Yürekli, K., Oğuz, İ., Akar, Ö. 2013b. Artova Ekinli II gölet havzasında uzun yıllık yağış gidişlerinin kuraklık açısından irdelenmesi. III. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi, 22-24 Ekim, Bildiriler Kitabı, 547-550, Tokat.
- Valipour, M. 2016. Optimization of neural networks for precipitation analysis in a humid region to detect drought and wet year alarms. *Meteorological Applications*, 23, 91–100.
- Yu, M., Li, O., Hayes, M.J., Svoboda, M.D., Heime, R.R. 2013. Are droughts becoming more frequent or severe in China based on the standardized precipitation evapotranspiration index: 1951–2010?
- Wambua, R.M., Mutua, B.M., Raude, J.M. 2014. Drought forecasting using indices and artificial neural networks for upper Tana River Basin, Kenya-A Review Concept. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 4, 152.
- Wang, P., Zheng, X., Li, J., & Zhu, B. (2020). Prediction of epidemic trends in COVID-19 with logistic model and machine learning technics. *Chaos, Solitons & Fractals*, 139, 110058. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110058>
- Wilhite, D. A., 1996. A methodology for drought preparedness. *Natural Hazards*, 13, 229-252
- Wilhite, D. A., Glantz, M. H. 1985. Understanding The Drought Phenomenon: The Role of Definitions, *Water International* 10, 111-120.
- Wilhite, D. A. and Easterling, W. E. 1987. *Planning for Drought: Toward a Reduction of Societal Vulnerability*, Westview Press, Boulder, Colorado, U.S.A.
- Wu, Z., Mao, Y., Li, X., Lu, G., Lin, O., Xu, H. 2015. Exploring spatiotemporal relationships among meteorological, agricultural, and hydrological droughts in southwest China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 30(3), 1033–1044
- Zhang, R., Chen, Z.Y., Xu, L.J., Ou, C.Q. 2019. Meteorological drought forecasting based on a statistical model with machine learning techniques in Shaanxi province, China. *Science of the Total Environment*, 665, 338-346.