

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KURAKLIK İNDİSLERİNİN HİDROKLİMATOLOJİK VERİLERE DAYALI
TAHMİNİ**



DOKTORA TEZİ

Buğrayhan BİÇKİCİ ARIKAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı

ŞUBAT 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KURAKLIK İNDİSLERİNİN HİDROKLİMATOLOJİK VERİLERE DAYALI
TAHMİNİ**

DOKTORA TEZİ

**Buğrayhan BİÇKİCİ ARIKAN
(501112501)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ercan KAHYA

ŞUBAT 2018

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501112501 numaralı Doktora Öğrencisi Buğrayhan BİÇKİCİ ARIKAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “KURAKLIK İNDİSLERİNİN HİDROKLİMATOLOJİK VERİLERE DAYALI TAHMİNİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ercan KAHYA**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Mehmet ÖZGER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet DOĞAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Bihret ÖNÖZ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU
Antalya Bilim Üniversitesi

Teslim Tarihi : 15 Ocak 2018
Savunma Tarihi : 19 Şubat 2018





Oğlum Murathan'a, eşim Mahir'e ve tüm aileme,



ÖNSÖZ

Kuraklık indislerinin hidroklimatolojik verilere dayalı tahminini kapsayan bu tez çalışması içerik, modelleme aşaması ve elde edilen çıktılar bakımından oldukça başarılı bir çalışma olarak değerlendirilebilir.

Doktora tezime başladığım ilk günden itibaren, değerli bilgi birikimiyle bana yol gösteren, akademik açıdan ufkumu açan saygıdeğer danışmanım, Prof. Dr. Ercan KAHYA hocama desteklerinden ötürü teşekkürü bir borç bilirim. Tezimin homojenlik testleri ile ilgili bölümünde desteklerini esirgemeyen saygıdeğer hocam Doç. Dr. Esra AKDENİZ'e değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim. Tezimin Bootstrap metodu ile ilgili bölümde değerli katkılarını ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen saygıdeğer hocam Yrd. Doç. Dr. Ufuk BEYAZTAŞ'a teşekkürlerimi sunarım. Tez izleme heyetinde yer alan saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Ahmet DOĞAN ve Doç. Dr. Mehmet ÖZGER'e değerli katkılarından dolayı saygı ve şükranlarımı sunarım. Ayrıca tez savunma sınavıma katılarak görüş ve yorumlarıyla katkı sağlayan saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU ve Prof. Dr. Bihret ÖNÖZ'e teşekkür ederim. TÜBİTAK 2211-C Öncelikli Alanlara Yönelik Doktora Tezlerini Destekleme Bursu ile tezimi destekleyen TÜBİTAK'a teşekkürlerimi arz ederim. İstanbul Teknik Üniversitesi, BAP birimine Doktora Tezlerini Destekleme Projesi kapsamında yaptıkları destekler için teşekkürlerimi sunarım. Çalışmamda kullanılan verilerin temin edilmesine yardımcı olmalarından dolayı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkürlerimi arz ederim. Çalışmalarım sırasında desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eşim Mahir ARIKAN'a, ilk göz ağrım biricik oğlum Murathan ARIKAN'a ve bu süreçte her zaman yanımda olarak desteklerini esirgemeyen ailemin bütün fertlerine ve tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Şubat 2018

Buğrayhan BİÇKİCİ ARIKAN
(İnşaat Müh.-Makine Müh.)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Genel Bakış	1
1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı	2
2. KURAKLIK	5
2.1 Kuraklık Çeşitleri	6
2.2 Kuraklık İndisleri	7
2.3 Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (Palmer Drought Severity Index-PDSI)	8
3. ATMOSFERİK SALINIMLAR	13
3.1 Kuzey Atlantik Salınımı (North Atlantic Oscillation, NAO).....	13
3.2 Güneyli Salınım (Southern Oscillation, SO).....	16
3.3 Arktik Salınım (Arctic Oscillation, AO)	20
4. HOMOJENLİK TESTLERİ.....	23
4.1 Giriş	23
4.2 Literatür Çalışması	24
4.3 Çalışma Alanı ve Veriler	25
4.4 Homojenlik Test Metotları	26
4.5 Çift Toplam Eğrisi Analizi	30
4.6 Yağış Verilerinin Homojenlik Sonuçları.....	31
5. GENETİK PROGRAMLAMA METODU İLE KURAKLIK TAHMİNİ.....	43
5.1 Giriş	43
5.2 Çalışma Alanı ve Uygulama Verileri	43
5.3 Genetik Programlama Metodu	46
5.4 Uygulama ve Sonuçlar	53
6. KURAKLIK İNDİSLERİ İÇİN TAHMİN ARALIKLARI OLUŞTURMA..	61
6.1 Giriş	61
6.2 Çalışma Alanı ve Veriler	63
6.3 Açıklayıcı veri analizi	64
6.4 Metodoloji	67
6.5 Sonuçlar.....	71
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	77
KAYNAKLAR	83
EKLER.....	91



KISALTMALAR

ACF	: Autocorrelation Function (Otokorelasyon Fonksiyonu)
ADF	: Augmented Dickey-Fuller
AIC	: Akaike Information Criterion
AO	: Arctic Oscillation (Arktik Salınım)
AOI	: Arctic Oscillation Index (Arktik Salınım İndisi)
FAO	: Food and Agriculture Organization of the United Nations
GP	: Genetik Programlama
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
LB	: Ljung-Box
LT	: Lead Time
MC	: Monte Carlo
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MSE	: Mean Squared Error
NAO	: North Atlantic Oscillation (Kuzey Atlantik Salınımı)
NAOI	: North Atlantic Oscillation Index (Kuzey Atlantik Salınım İndisi)
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration
PACF	: Partial Autocorrelation Function (Kısmi Otokorelasyon Fonksiyonu)
PDSI	: Palmer Drought Severity Index (Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi)
SNHT	: Standard Normal Homojenlik Testi
SO	: Southern Oscillation (Güneyli Salınım)
SOI	: Southern Oscillation Index (Güneyli Salınım İndisi)
UNCCD	: United Nations Convention to Combat Desertification
WMO	: World Meteorological Organization (Dünya Meteoroloji Örgütü)



SEMBOLLER

Y_i	: Yıllık toplam yağış
r_i	: Yıllık toplam yağış değerlerine karşılık gelen ranklar
X_k	: Test istatistiği
\bar{Y}	: Zaman serisi gözlemlerinin ortalaması
k	: Kırılma noktasının olduğu gözlem sayısı
R	: Rescaled adjusted range
s	: Serinin standart sapması
N	: Ardarda varyansın ortalama karesel oranı (Von Neumann oran testi)
P	: Yağış
M	: Eğim
K	: Pettitt test istatistiği
T_o	: Standart normal homojenlik test istatistiği
Q	: Buishand test istatistiği
σ^2	: Varyans
B	: Bootstrap simülasyon katsayısı
α	: Anlamlılık seviyesi
ε_t	: Hata terimi
ϕ	: Model parametresi



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi (PDSI) sınıflandırma.....	12
Çizelge 4.1 : Pettitt testinde %1 ve %5 anlam seviyesindeki kritik değerler	27
Çizelge 4.2 : Buishand testinde %1 ve %5 anlam seviyesindeki kritik değerler.....	28
Çizelge 4.3 : SNHT homojenlik testinde %1 ve %5 anlam seviyesindeki kritik değerler	29
Çizelge 4.4 : Von Neumann Oran testinde %1 ve %5 anlam seviyesindeki kritik değerler	30
Çizelge 4.5 : Homojen olmayan yağış istasyonları ve homojenlik testleri sonuçları.	33
Çizelge 4.6 : Akçakoca İstasyonu için düzenlemeden önceki homojenlik test sonuçları.....	38
Çizelge 4.7 : Homojen olmayan istasyonlara ait metadatalar.....	40
Çizelge 5.1: Kuraklık analizleri için kullanılacak Konya Kapalı Havzası'ndaki istasyonlara ait rakım ve koordinat bilgileri	46
Çizelge 5.2: LGP sistemi için önerilen parametre ayarları.....	54
Çizelge 5.3: 3, 6, 9 ve 12 ay öteleme süreli (lead time) kuraklık tahmini için oluşturulan senaryolar	55
Çizelge 5.4: Kuzey Atlantik Salınım indis (NAOI) değerlerinin kullanıldığı senaryolara ait analiz sonuçları (Aksaray İstasyonu)	57
Çizelge 5.5: Güneyli Salınım indis (SOI) değerlerinin kullanıldığı senaryolara ait analiz sonuçları (Aksaray İstasyonu).....	57
Çizelge 5.6: Arktik Salınım İndis değerlerinin kullanıldığı senaryolara ait analiz sonuçları (Aksaray İstasyonu)	58
Çizelge 6.1 : Çalışmada kullanılan Konya Kapalı Havzası'ndaki istasyonlara ait rakım ve koordinat bilgileri	63
Çizelge 6.2 : Atmosferik salınım indisleri ve p-değerlerinin tahmin katsayıları.....	72
Çizelge A.1: Homojenlik çalışmalarında kullanılan yağış istasyonları.....	92
Çizelge B.1: Cihanbeyli istasyonu (17191) analiz sonuçları	96
Çizelge B.2: Aksaray istasyonu (17192) analiz sonuçları	97
Çizelge B.3: Konya istasyonu (17244) analiz sonuçları.....	98
Çizelge B.4: Karaman istasyonu (17246) analiz sonuçları.....	99
Çizelge B.5: Konyaereğli istasyonu (17248) analiz sonuçları.....	100
Çizelge B.6: Niğde istasyonu (17250) analiz sonuçları.....	101
Çizelge B.7: Seydişehir istasyonu (17898) analiz sonuçları.....	102
Çizelge B.8: Karapınar istasyonu (17902) analiz sonuçları.....	103



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Kuraklık Çeşitleri	7
Şekil 3.1 : NAO'nun meydana geldiği bölge.....	13
Şekil 3.2 : Kuzey Atlantik Salınım Evreleri a) Pozitif Kuzey Atlantik Salınım Evresi b) Negatif Kuzey Atlantik Salınım Evresi.....	15
Şekil 3.3 : Alçak ve yüksek basınç merkezleri a) Pozitif (Kuvvetli) NAO evresi, b) Negatif (Zayıf) NAO Evresi	15
Şekil 3.4 : 1974-2016 Yılları Arası Kuzey Atlantik Salınım İndisi Değerleri	16
Şekil 3.5 : El Nino ya da La Nina'nın olmadığı normal koşulların gösterimi.....	17
Şekil 3.6 : El Nino koşullarının gösterimi	18
Şekil 3.7 : La Nina koşullarının gösterimi.....	18
Şekil 3.8 : 1974-2016 yılları arası Güneyli Salınım İndisi değerleri.....	20
Şekil 3.9 : Arktik Salınımın Evreleri a) Pozitif Evresi, b) Negatif Evresi.....	21
Şekil 3.10 : 1974-2016 yılları arası Arktik Salınım İndisi değerleri	215
Şekil 3.11 : Çalışmada kullanılan atmosferik salınım indislerinin birbirleriyle olan ilişkisi.....	22
Şekil 4.1 : Homojenlik testlerinin uygulandığı 160 istasyonun Türkiye üzerindeki dağılımı	26
Şekil 4.2 : Çift toplam eğrisi metodu.....	31
Şekil 4.3 : Homojen olmayan istasyonlar a) Pettitt testine göre, b) Buishand testine göre, c) SNHT testine göre, d) Von Neumann Oran, e) Dört teste göre de homojen olmayan istasyonlar.....	35
Şekil 4.4 : SNHT, Pettitt and Buishand Test Sonuçları (a) Düzeltmeden önceki homojenlik test sonuçları (b) Düzeltmeden önceki homojenlik test sonuçları.....	38
Şekil 4.5 : Akçakoca İstasyonu yağış verilerinin doğrusal regresyon eğrileri (a) Düzeltmeden önceki homojenlik test sonuçları (b) Düzeltmeden sonraki homojenlik test sonuçları	39
Şekil 5.1 : Konya Kapalı Havzası.....	44
Şekil 5.2 : Çalışmada kullanılan istasyonlar.....	45
Şekil 5.3 : Genetik Programlamanın akış şeması	48
Şekil 5.4 : Bireyin ağaçsal yapısı.....	50
Şekil 5.5 : Turnuva seçiminin gösterimi.....	51
Şekil 5.6 : Çaprazlama.....	52
Şekil 5.7 : Mutasyon.....	52
Şekil 5.8 : Aksaray İstasyonu'na ait LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (NAOI); a) 3 ay öteleme süresi, b) 6 ay öteleme süresi, c) 9 ay öteleme süresi, d)12 ay öteleme süresi	56
Şekil 5.9 : Aksaray İstasyonu'na ait LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (SOI); a) 3 ay öteleme süresi, b) 6 ay öteleme süresi, c) 9 ay öteleme süresi, d)12 ay öteleme süresi.....	56

Şekil 5.10 : Aksaray İstasyonu'na ait LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (AOI); a) 3 ay öteleme süresi, b) 6 ay öteleme süresi, c) 9 ay öteleme süresi, d) 12 ay öteleme süresi.....	57
Şekil 6.1 : Çalışma alanı (Konya Kapalı Havza'sındaki 4 yağış istasyonunun gösterimi).....	63
Şekil 6.2 : 1970-2013 yılları arasındaki PDSI değerlerinin mevsimlik eğilim ayrışma grafikleri.....	64
Şekil 6.3 : PDSI serilerinin otokorelasyon grafikleri.....	65
Şekil 6.4 : PDSI serilerinin kısmi-otokorelasyon grafikleri	66
Şekil 6.5 : Veri tabanlı ve elde edilen PDSI değerlerinin kantil-kantil grafikleri	67
Şekil 6.6 : Aylık PDSI değerleri için Ocak 2014-Aralık 2015 zaman aralığındaki %95 tahmin aralıkları.....	73
Şekil 6.7 : Kısa dönemli (3 aylık) PDSI değerleri için Ocak 2014-Aralık 2015 zaman aralığındaki %95 tahmin aralıkları.....	73
Şekil 6.8 : Orta dönemli (6 aylık) PDSI değerleri için Ocak 2014-Aralık 2015 zaman aralığındaki %95 tahmin aralıkları.....	74
Şekil 6.9 : AR(1) ve ARX(1) modeli ile elde edilen bootstrap öngörü aralıkları için simülasyon sonuçları.....	76
Şekil C.1 : Cihanbeyli İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (NAOI).....	104
Şekil C.2 : Cihanbeyli İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (SOI).....	104
Şekil C.3 : Cihanbeyli İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (AOI).....	105
Şekil D.1 : Aksaray İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (NAOI).....	106
Şekil D.2 : Aksaray İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (SOI).....	106
Şekil D.3 : Aksaray İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (AOI).....	107
Şekil E.1 : Konya İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (NAOI).....	108
Şekil E.2 : Konya İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (SOI).....	108
Şekil E.3 : Konya İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (AOI).....	109
Şekil F.1 : Karaman İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (NAOI).....	110
Şekil F.2 : Karaman İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (SOI).....	110
Şekil F.3 : Karaman İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (AOI).....	111
Şekil G.1 : Konyaereğli İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (NAOI).....	112
Şekil G.2 : Konyaereğli İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (SOI).....	112
Şekil G.3 : Konyaereğli İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (AOI).....	113
Şekil H.1 : Niğde İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (NAOI).....	114

Şekil H.2: Niğde İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (SOI).....	114
Şekil H.3: Niğde İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (AOI).....	115
Şekil I.1: Seydişehir İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (NAOI).....	116
Şekil I.2: Seydişehir İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (SOI).....	116
Şekil I.3: Seydişehir İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (AOI).....	117
Şekil J.1: Karapınar İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (NAOI).....	118
Şekil J.2: Karapınar İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (SOI).....	118
Şekil J.3: Karapınar İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (AOI).....	119





KURAKLIK İNDİSLERİNİN HİDROKLİMATOLOJİK VERİLERE DAYALI TAHMİNİ

ÖZET

Kuraklık, yağışların normal seviyelerinin önemli ölçüde altına düşmesi neticesinde arazi ve su kaynaklarının olumsuz etkilenmesine ve bu nedenle hidrolojik dengede bozulmalara sebep olan bir olaydır. Kuraklığın erken belirtileri kuraklığın olumsuz bazı sonuçlarını hafifletmeye yardımcı olacak değerli bilgiler sağlayabilir; su kaynakları sistemleri buna göre planlanabilir ve yönetilebilir. Kuraklığa hazırlıklı olmak ve kuraklığın neden olacağı olumsuz sonuçları hafifletmek; kuraklığın başlangıcı ve zaman içindeki gelişimi hakkında, yaygın kuraklık indisleri kullanarak sürekli kuraklık izleme yoluyla elde edilebilecek güncel bilgiye bağlıdır. Bir bölgede meteorolojik kuraklıkların izlenmesi ve incelenmesi için birçok kuraklık indisi geliştirilmiştir. Kuraklıkların şiddeti ve büyüklüğü genel olarak kuraklık indisleri tarafından ölçülür. Bu çalışmada, atmosferik salınımların etkisiyle kuraklık indislerinin tahmini amaçlanmıştır. Bu amaçla, tezin ilk aşamasında, Türkiye genelinde yaklaşık üniform dağılmış ve kesintisiz veriye sahip yağış istasyonları belirlenmiştir. Böylece 160 yağış istasyonunun 1974-2014 yılları arasındaki aylık yağış verilerinin homojenlikleri Standart Normal Homojenlik, Pettitt, Buishand ve Von Neumann Oran testleri ile analiz edilmiştir. Uygulanan 4 homojenlik testinin en az birisinden geçmeyen istasyonların homojen olmadığı kabulüyle, homojen olmayan istasyonlar çift toplam eğrisi metodu uygulanarak homojen hale getirilmeye çalışılmıştır. Homojen olmayan bir istasyondaki homojensizliğin arkasında yatan nedenleri anlayabilmek için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen metadatalar kullanılarak yorumlar yapılmıştır. Tezin ikinci aşamasında, pilot bölge olarak belirlenen Konya Kapalı Havzası için Lineer Genetik Programlama-Discipulus yazılım programı kullanılarak kuraklık tahminleri yapılmıştır. Evrimsel bir hesaplama tekniği olan genetik programlamada, önceki muhtemel çözümler ve genetik işlemciler kullanılarak, incelenen sistemin yapılandırılmış bir temsili üretilerek işlemler yapılır. Konya Kapalı Havzası'nda 1970-2016 zaman periyodunda, 8 yağış istasyonuna ait Palmer Kuraklık Şiddeti İndisleri ve yukarıdaki atmosferik salınım indisleri girdi olarak belirlenmiş, 3, 6, 9 ve 12 ay öteleme sürelerinde Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi tahminleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Program kullanılırken aylık gözlem verileri eğitim ve test verileri olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Tüm veri setinin % 70'i eğitim döneminde, geri kalan %30'luk kısmı da modelin geçerliliğini test etmek için kullanılmıştır. Çalıştığımız 8 istasyon için genel analiz sonuçlarına bakıldığında Aksaray ve Niğde istasyonlarında her üç salınım için kullanılan senaryolarda özellikle 3 ay ötelemeli kuraklık verilerinin makul şekile tahmin edildiği gözlemlenmiştir. Havzadaki diğer istasyonlara ait analiz sonuçları incelendiğinde programın 3, 6, 9 ve 12 ay öteleme süreli tahminlerde yeterli gelmediği gözlemlenmiştir. Tezin üçüncü aşamasında, Konya Kapalı Havzası'ndaki 4 istasyon için Palmer Kuraklık Şiddeti İndislerinin gelecek değerlerine ilişkin Bootstrap yöntemiyle aralık tahminleri elde edilmiştir.

Ayrıca, Kuzey Atlantik ve Arktik salınım indislerinin bu aralıklar üzerine olan etkileri incelenmiştir. Bu atmosferik salınım indislerinin kısa ve orta vadeli kuraklık tahminlerinde etkileri gözlemlenirken, aylık kuraklık tahminlerinin çalışılan bölgede aralık tahminleri üzerine bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.



PREDICTION OF DROUGHT INDICES BASED ON HYDROCLIMATOLOGICAL DATA

SUMMARY

Drought is a cause that adversely affects the land and water resources as a consequence of the fact that the normal levels of precipitation are considerably below that level, thereby causing deterioration of the hydrological balance. Early indications of droughts can provide valuable information to help mitigate some of its consequences of drought; for instance, decision makers may plan and manage the water resource systems accordingly. The success of drought preparedness and mitigation depends upon timely information on the drought onset and development in time, which can be obtained through continuous drought monitoring using common indices. Over a region, many drought indices have been developed for monitoring and examining meteorological droughts. The intensity and spatial extent of droughts are generally quantified by drought indices. In this study, the estimation of the drought indices with the influence of atmospheric oscillations was aimed. For this purpose, in the first part of the thesis, precipitation stations across Turkey with nearly uniform distributed and continuous data have been identified. Thus, the data set for 160 precipitation stations and the homogeneity of monthly precipitation data between 1974 and 2014 were analyzed by Standard Normal Homogeneity, Pettitt, Buishand and Von Neumann Ratio tests. Our decision criterion for a station to be homogeneous was rigidly set as a full confirmation through all of the four tests used in this study. Previous similar studies in Turkey did not adopt such a rigid criteria for the confirmation of homogeneity of precipitation series as applied in this study. Keeping this criterion in mind, all stations were subjected to the four homogeneity tests. As a result of overall evaluation, we determined 44 out of 160 stations to be inhomogeneous since either one or more tests did not confirm. Test-wisely speaking, the results of the SNHT and the Pettitt test showed that a set of 25 out of 160 stations were impacted from inhomogeneity. According to the Buishand test, 13 out of 160 stations were found to be inhomogeneous while the Von Neumann test revealed 22 inhomogeneous stations. Moreover five out of 160 stations possess inhomogeneity characteristic with the respect to the results of all four tests. Since we set the level of significance at 5%; the critical values are 167, 8.10, 8.07, and 1.49 for the Pettitt, SNHT, Buishand, and Von Neumann ratio tests, respectively. It is important to visually inspect the distribution of inhomogeneous stations in order to catch an underlying unexpected specific reason or to justify the required homogeneity correction. For this purpose, we mapped the distribution of inhomogeneous stations depending on applied test method. The Pettitt test revealed 25 inhomogeneous stations as twice as that of the Buishand test (implying that the former exhibits more conservative outcomes than the latter) as both tests are capable of detecting a break point in the middle of a series. It is important to note that all 13 inhomogeneous stations detected by the Buishand test were also comprised in the set of inhomogeneous stations of the Pettitt test. The SNHT, known as a good tool for

detecting a break point at the head or end part of a time series, brought out a fact that the reason behind inhomogeneity of 25 stations was a break point appearing mostly in the second half of time series (in particular 1996 or later). It is also noticeable that the year of 2008 was the most frequent break point as happened at six stations. The Von Neumann ratio test, which focusing on all parts of the time series, pointed out to seven inhomogeneous stations that were not caught by the other three tests; namely, Cankiri, Tatvan, Hakkari, Keskin, Ilgin, Baskale, and Milas stations. Among the 44 inhomogeneous stations, five stations (Nallihan, Sinop, Ardahan, Kars, and Mardin) could not pass the four tests. Two stations (Nallihan and Odemis) still remain inhomogeneous after applying Double Mass Curve Analysis (DMCA) to the set of 44 non-homogeneous meteorological stations. Subsequently, we adopted the DMCA to each of 44 inhomogeneous stations to see if any station could possibly turn out to be homogeneous. We drew a double mass curve by setting the annual precipitation total of an inhomogeneous station under consideration at ordinate axis and corresponding an average of precipitation total values of neighboring homogeneous stations at horizontal axis. We used minimum four neighboring stations in this analysis. Our results showed that 42 out of inhomogeneous 44 stations passed all the four analysis tests after being applied to correction based on the DMCA. However, it was not possible for only two stations, namely Odemis and Nallihan, to make them homogeneous. In the last of this section, interpretations were made using meta-data obtained from the Turkish State Meteorological Service to understand the reasons behind the inhomogeneity of a non-homogeneous station.

In the second part of the thesis, drought analyzes were carried out using the Linear Genetic Programming-Discipulus software program for the Konya Closed Basin, which was designated as pilot region. In genetic programming which is an evolutionary computational technique, processes are performed by generating a structured representation of the examined system using previous possible solutions and genetic operators. Palmer Drought Severity Indices (PDSI) of 8 precipitation stations and above-mentioned atmospheric oscillation indices were determined as inputs in the 1970-2016 time period of Konya Closed Basin and PDSI estimations were made at 3, 6, 9 and 12 months lead times and the obtained results were interpreted. In the program, monthly observation data were divided into training and test data. 70% of the entire data set was used in the training period, and the remaining 30% was used to test the validity of the model. When the results of the general analysis for the 8 stations are evaluated, it is observed that the scenarios used for all three oscillations in Aksaray and Nigde stations, particularly 3 months lead time drought data are reasonably estimated.

In the third part of the study, prediction intervals were obtained by Bootstrap method for future values of PDSI drought indices for 4 stations in Konya Closed Basin. In addition, the effects of the North Atlantic and Arctic Oscillation indices on these intervals have been examined. To obtain out-of-sample prediction intervals, we divide each time series into the following two parts: (i) the first part consisting of a length spanning from January, 1970 to December, 2013 (a total of 528 observations) on which the model construction will be based to calculate 24 steps ahead (monthly), 8 steps ahead (mid-term) and 4 steps ahead (short-term) predictions (ii) and the second part containing the period January, 2014-December, 2015 at which comparison with the observed values will be made. For each series, bootstrap simulations were performed, and we set the significance level to obtain 95% bootstrap prediction intervals for future PDSI values. The calculations were carried

out using R 3.3.3. While the effects of these atmospheric oscillation indices were observed in the short- and mid-term drought forecasts, it was found that the monthly drought forecasts had no effect on the prediction intervals of the study area. Our findings showed that the bootstrap method with AR(1) and ARX(1) models resulted in reasonable prediction intervals for future PDSI values so that almost all such values are well covered by the constructed prediction intervals. We might conclude that the bootstrap method produces narrower prediction intervals for the short-term forecasts compared to those constructed for long-term forecasts. This is because the latter is expected to contain more uncertain. The effects of AO are statistically significant only for Aksaray station, similarly the effects of NAO are also significant for Karaman and Seydisehir stations. The overall result suggests that the AO and NAO indexes do not play a crucial role for the monthly PDSI values in Konya basin since the prediction intervals constructed by oscillation indices are not significantly different from the intervals obtained by using only AR(1) model. On the other hand, the significant effects of the oscillation indexes can be readily seen in the short-term and mid-term forecast in Karaman station. We may speculate that the future short-term and mid-term drought values fluctuate in an increasing manner with time and even becomes more evident like a form of linear-trend appearance as we move to larger scale drought duration. It is worthwhile to note that the bootstrap prediction intervals seem to be self-adjusted to exhibit similar behavior having imbedded effects of the oscillation indexes.

1. GİRİŞ

1.1 Genel Bakış

Kuraklık, canlıların yaşamını olumsuz yönde etkileyen doğal afetlerin başında gelmektedir. Mevcut afetlere nazaran nadiren ortaya çıkmasına rağmen uzun süreli olarak, daha geniş alanları kapsayan bir doğal afettir. Kuvvetini yavaş yavaş artırır ve olay bittikten sonra bile etkileri sürer. Uzun yıllar ortalamasından daha az bir yağış meydana gelmesiyle oluşan kuraklık, karmaşık bir mekanizmaya sahip doğal bir iklim olayıdır. Etki derecesi, etki süresi ve oluşma zamanının tahmin edilmesi oldukça güç olan kuraklık, önemli sosyal, ekonomik ve çevresel etkileri olan bir afettir. Global ölçekte karşılaştığımız en büyük sorunlardan birisidir ve bugün gelinen nokta itibariyle çevre, tarım, teknoloji, ekonomi ve sağlık gibi pek çok alanda hayatımızın her noktasını etkilemektedir. Diğer doğal afetler gibi kuraklık da önleyemeyeceğimiz ancak gereken tedbirleri alarak vereceği zararları en aza indirebileceğimiz bir doğal afettir. Başka bir ifadeyle, suyun arz ve talebindeki dengeyi çok iyi kurarak kuraklığın olumsuz etkilerini azaltmak mümkün olabilecektir.

Kuraklık, doğal afetlerin etki dereceleri ve karakteristik özelliklerine göre yapılan değerlendirmede baş sırada yer almaktadır. Bu nedenle bu afet, son dönemlerin en önemli gündem maddesini oluşturmuştur. Ülkemiz, kuraklığın muhtemel etkileri açısından, risk grubu ülkeler arasında bulunmaktadır. “IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Dördüncü Değerlendirme Raporu’nda, Akdeniz Havzası’nda genel sıcaklık artışının 1° - 2°C’ye ulaşacağı, kuraklığın geniş bölgelerde hissedileceği ve özellikle iç kesimlerde sıcak hava dalgalarının ve aşırı sıcak günlerin sayısının artacağı ifade edilmektedir. Türkiye’de ise yıllık ortalama sıcaklıkların 2,5°-4°C artacağı, Ege ve Doğu Anadolu Bölgeleri’nde 4°C’yi, iç bölgelerinde ise bu artışın 5°C’yi bulacağı tahmin edilmektedir (IPCC, 2007). Gerek IPCC raporu, gerekse yürütülen bir dizi ulusal ve uluslararası bilimsel model çalışmaları, Türkiye’nin yakın gelecekte daha sıcak, daha kurak ve yağışlar açısından daha

belirsiz bir iklim yapısına sahip olacağını ortaya koymuştur” (İDEP, 2011). Kuraklık üzerine yapılan çalışmaların TÜBİTAK tarafından da öncelikli çalışma alanları arasında yer alması da bu konunun önemini göstermektedir.

Atmosferik koşullar, fiziki coğrafya faktörleri ve iklim koşulları Türkiye'de kuraklığa etki eden belli başlı faktörlerdendir. Hava ve iklimsel değişiklikler günlük yaşantımızı büyük ölçüde etkilemektedir. Beklenmedik şekilde soğuk geçen kışlar, yaz mevsiminde görülen kuraklıklar veya aşırı yağışlarla birlikte ortaya çıkan seller, iklimin doğal değişkenliği sırasında ortaya çıkan ekstrem olaylar olup, önlem alınmadığında doğal ve beşeri kaynakların zarar görmesine neden olmaktadır. Global ölçekte iklim koşullarında yıllar arası değişimleri yaratan ve ekstrem iklimik olayların ortaya çıkışında etkili olan esas faktör, atmosfer sirkülasyonunda görülen değişimlerdir. Bu değişimlerin bir bölümü hemen hemen periyodik olarak gerçekleşmekte ve bu nedenle “salınım” olarak adlandırılmaktadır (Erlat,1999). Geniş alanlarda, sürekli olmayan atmosfer hareketinin bir sonucu olan atmosferik salınımlar, dönemsel karaktere sahip iklim anomalileridir. Bu olay, birbirinden binlerce kilometre uzakta bulunan bölgelerde sıcaklık ve nemlilik bakımından zıt koşulların ortaya çıkmasına neden olur. İklimde zıt karakterli ve eş zamanlı meydana gelen bu değişimler, literatürde 'uzak bağlantı (teleconnection)' olarak adlandırılır (Tosunoğlu, 2014). Yeryüzünde çok sayıda uzak bağlantı tespit edilmiştir. Yapılan birçok çalışmada çeşitli atmosferik salınımların Türkiye'nin hidrometeorolojik verileri üzerinde önemli etkilerinin olduğu vurgulanmıştır (Kahya ve Karabörk 2001; Türkes ve Erlat 2003; Kalaycı vd. 2004; Göktürk 2005; Karabörk vd. 2005; Karabörk vd. 2007). Bu tez çalışması kapsamında, kuraklık analizleri yapılırken atmosferik salınım indislerinden Kuzey Atlantik Salınımı (NAO), Güneyli Salınım (SO) ve Arktik Salınımı (AO) indisleri kullanılacaktır.

Kuraklığın önceden tahmini, kuraklık başgöstermeden önce gerekli tedbirlerin alınması ve kuraklığın oluştuğu dönemlerde yerinde ve etkili planlamaların yapılması kuraklığın olumsuz etkilerini azaltmak için gerekli adımlardır.

1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı

Türkiye su azlığı çeken bir ülke durumunda olduğundan kuraklık ve kuraklığa neden olan atmosferik olaylar, kuraklığın modellenmesi ve analizleri konusunda yapılacak bilimsel çalışmalara diğer pek çok ülkeden daha fazla önem verilmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışması ile, kuraklık mekanizmasının daha iyi anlaşılması hedeflenmektedir. Çalışma kapsamında ilk olarak, Türkiye genelindeki 160 adet yağış istasyonuna ait 1974-2014 yılları arasındaki yağış verileri, 4 ayrı homojenlik testine tabi tutularak verilerin homojen olup olmadığı yönünde tespitler yapılacaktır. Elde edilen sonuçlar metaveriler ile birlikte yorumlanarak oluşan veri homojensizliğinin altında yatan nedenler belirlenmeye çalışılacaktır. Böylece havza bazında devam edilecek olan bu araştırmada veri güvenilirliği sağlanmış olunacaktır. İkinci aşamada genetik programlama kullanılarak, pilot uygulama olarak seçilen Konya Kapalı Havzası'nda kuraklık tahminleri yapılacaktır. 1970-2016 zaman periyodunda, havzadaki 8 yağış istasyonuna ait Palmer Kuraklık Şiddeti İndisleri (PDSI) ve yukarıda bahsedilen atmosferik salınım indisleri kullanılarak 3, 6, 9 ve 12 ay öteleme sürelerinde PDSI tahminleri yapılacaktır. Tahmin modelleri kurulurken, okyanus tropikleri üzerindeki konvektif faaliyetlerin Konya Kapalı Havzası üzerinde oynayacağı rolün ortaya çıkarılması da ayrıca hedeflenmiştir. Üçüncü aşamada; Konya Kapalı Havzası'nda seçilen 4 yağış istasyonu için PDSI kuraklık indislerinin gelecek değerlerine ilişkin Bootstrap metoduyla aralık tahminleri yapılacaktır. Ayrıca, yukarıda belirtilen atmosferik salınım indislerinin bu aralıklar üzerine olan etkileri incelenecektir. Önerilen yaklaşımın performansı, Konya Kapalı Havzası'ndaki 4 istasyondan elde edilen PDSI'ler için değerlendirilecektir. Önerilen yöntemin son örnek özellikleri daha kapsamlı bir simülasyon çalışması ile gösterilecektir.

Konya Kapalı Havzası için uygulanan bu çalışma, Türkiye'deki öteki havzalara da uygulanabilir. Bu çalışmanın sonuçları aynı zamanda Türkiye üzerindeki iklim davranışı ile ilgili Türkiye'deki bilimin gelişmesi için de yararlı olacaktır.

Tez çalışması kapsamında önerdiğimiz Genetik Programlama ve Bootstrap yöntemlerinin kuraklık tahmininde Türkiye için ilk defa kullanılacak olması dikkat çekicidir. Bununla birlikte çalışmada önerdiğimiz Bootstrap yöntemiyle atmosferik salınımların etkileri kullanılarak kuraklık tahminlerinin yapılması literatürde bir ilktir.



2. KURAKLIK

Kuraklık, bir bölgede beklenenden daha az yağış olması durumu olarak tanımlanabilir. Kuraklığın meydana gelmesinde yağış miktarının, yağış süresinin ve yağış niteliğinin, sıcaklıkların, havadaki bağıl nemdeki azalmanın ve yüksek rüzgarların da etkisi bulunmaktadır. Kuraklığın tanımı her disiplin için farklılık göstermektedir. Kuraklıkla ilgili birtakım kuruluşlar tarafından yapılan tanımlamalar aşağıda verilmiştir.

Kuraklık, Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO)' ne göre, yağışların normal seviyelerinin önemli ölçüde altına düşmesi neticesinde, arazi ve su kaynaklarının olumsuz etkilenmesine ve bu nedenle hidrolojik dengede bozulmalara sebep olan bir olay olarak tanımlanmaktadır (WMO, 1997). Birleşmiş Milletler Kuraklık ve Çölleşmeyle Mücadele Sözleşmesi'ne (UNCCD) göre ise, yağışların kaydedilmiş normal seviyelere göre belirgin biçimde azalmasıyla ortaya çıkan doğal bir olay olarak tanımlanır. Birleşmiş Milletler Dünya Tarım Örgütü'ne (FAO) göre ise, kuraklık, nemdeki azalmadan dolayı ürünlerin zarar gördüğü yılların yüzdesine göre tanımlanır.

İklimsel farklılıklar sebebiyle meydana gelen kuraklık, kurak ve yarı kurak bölgelerle birlikte, orta enlemlerin nemli-denizel iklimleri gibi diğer iklim bölgelerinde de meydana gelebilir (Türkeş, 1999). Kuraklıktan bahsedilebilmesi için yağışların beklenen miktarın altında olduğu zamanın en az bir dönem sürmesi gerekir. Türkiye'nin büyük çoğunluğu yarı kurak iklim şartlarının etkisindedir. Türkiye'deki kurak ve yarı kurak alan miktarı yaklaşık 51 milyon hektardır. Başka bir deyişle, Türkiye'nin %37.3'lük bölümünde yarı kurak iklim koşulları hakimdir (Kadıoğlu, 2012).

Kuraklık, yavaş gelişen ve değişik iklim şartlarında meydana gelebilen bir olaydır. Etkileri bölgeden bölgeye değişebildiğinden oldukça karmaşık bir yapıya sahip olan kuraklığın başlama ve bitiş zamanı, şiddeti ve frekansının tahmini zordur. Bu nedenle kuraklık oldukça tehlikeli bir olaydır. Kuraklık, canlılar için hayati olan su açığına

neden olduğundan; çevre, tarım, teknoloji, sağlık ve ekonomi vb. gibi pek çok alanda hayatımızın her noktasını olumsuz etkiler ve birçok zararı da beraberinde getirir. Kuraklığın erken belirtileri kuraklığın bazı sonuçlarını hafifletmeye yardımcı olacak değerli bilgiler sağlayabilir; su kaynakları sistemleri buna göre planlanabilir ve yönetilebilir.

Kuraklığı diğer afetlerden ayıran en belirgin özellikler arasında, başlama ve bitiş zamanının belli olmaması, birden fazla kaynağı aynı anda etkilemesi ve ekonomik boyutunun yüksek olması gelmektedir. Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından yapılan ankette 87 ülke içinde, aralarında Türkiye'nin de yer aldığı 74 ülkenin kuraklıktan en çok etkilendiği tespit edilmiştir (WMO, 1992).

2.1 Kuraklık Çeşitleri

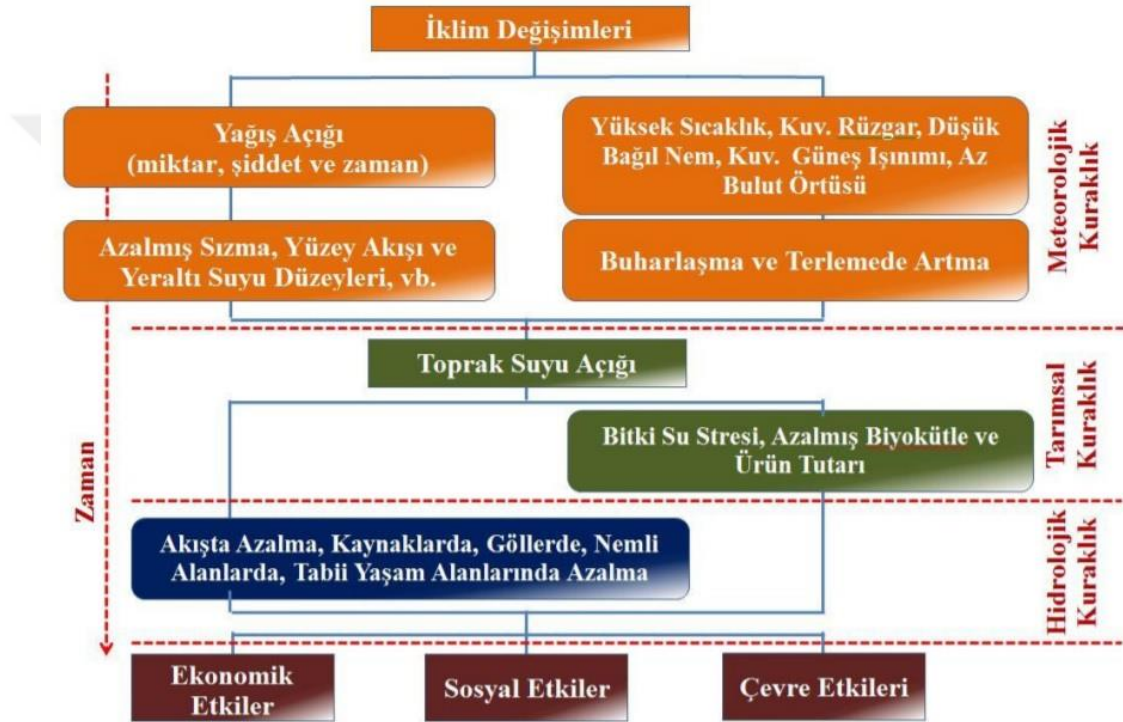
Literatürde kuraklık çeşitleri hakkında değişik tanımlamalar bulunmakla beraber yaygın olarak kullanılan üç kuraklık türü bulunmaktadır. Bu kuraklık türleri meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklık olarak sıralanabilir.

Meteorolojik kuraklık, uzun bir zaman dilimi içerisinde yağışların normal seviyesinin altına düşmesi olarak tanımlanır. Ortalama yağış miktarının normal seviyenin altında olması, akarsu akışlarında ve yeraltı sularının seviyelerinde azalmaya ve toprak nemliliğinde düşüşe neden olur. Artan sıcaklık, yağış miktarında ve nemdeki azalma meteorolojik kuraklığın ana sebeplerindedir. Meteorolojik kuraklık genellikle bölgesel olup, kuraklığı ifade etmede başta gelen göstergelerdendir.

Tarımsal kuraklık, toprak nemliliğindeki azalmayla beraber ürün miktarının azaldığı dönem olarak tanımlanır. Yağış ve nem azalsa dahi topraktaki su miktarı bir anda azalmadığından dolayı genellikle meteorolojik kuraklıktan sonra ortaya çıkar.

Hidrolojik kuraklık, uzun süreli yağış eksikliği sonucunda ortaya çıkan yüzey ve yeraltı sularının yetersiz hale gelmesiyle meydana gelir. Enerji üretimi ve tarım gibi faaliyetlerden ötürü suya olan ihtiyaçlar dönemsel olarak değişim gösterdiğinden, hidrolojik kuraklık ve meteorolojik kuraklık eş zamanlı olmayabilir. Meteorolojik kuraklık bittikten sonra da hidrolojik kuraklık varlığını sürdürebilir. Yağışların akışa geçerek akarsu ve göllerdeki su seviyelerini etkilemesi belli bir süre gerektireceğinden hidrolojik gözlemler kuraklığın ilk belirtileri arasında yer almaz.

Bahsi geçen kuraklık türlerinin dışındaki kuraklık türlerinden biri de sosyoekonomik kuraklıktır. Kuraklığın sosyoekonomik tanımları, bazı ekonomik malların arz ve talebini meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklık unsurlarıyla ilişkilendirir. Sözü edilen kuraklık türlerinden farklı olarak, oluşumu kuraklıkları tanımlamak veya sınıflandırmak için arz ve talep, zaman ve mekan süreçlerine bağlıdır. Bu kuraklık türü, yağışlardaki azalmadan dolayı gelişen ve yapılan üretimin ihtiyacı karşılayamadığı durumlarda ortaya çıkmaktadır. Meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve sosyoekonomik kuraklıklar arasındaki ilişki Şekil 2.1’de şematize edilmiştir.



Şekil 2.1 : Kuraklık çeşitleri (Ulusal kuraklık yönetimi strateji belgesi ve eylem planı, 2017).

2.2 Kuraklık İndisleri

Kuraklık indisleri ve bu indislerin sınır değerleri, kuraklığı izlemek, kuraklık koşullarının başlangıcını ve kuraklığın büyüklüğünü belirlemek açısından önemlidir. Kuraklık indisleri; yağış, akış ve diğer su sağlama göstergeleri üzerinde kaydedilen binlerce veriyi kapsamlı büyük bir tabloda birleştirir. Bir kuraklık indeksinin değeri tipik olarak tek bir sayıdır ve karar vermek için ham verilerden çok daha kullanışlıdır (Sattari ve diğ., 2011).

Bir bölgenin ya da alanın üzerindeki meteorolojik kuraklığın izlenmesi ve incelenmesi amacıyla birçok kuraklık indisi geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları; Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI), Normalin Yüzdesi İndisi (PNI), Yüzey Su Sağlama İndisi, Ürün Nemi İndisi, Erinç İndisi ve Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (PDSI)'dir. Kuraklığın karakteristiklerini (şiddeti, süresi, coğrafi dağılımı vs) belirlemek için geliştirilen kuraklık indislerinden Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (PDSI) çok yaygın kullanılan indislerden biridir. Bu çalışmada kuraklık tahmin analizleri için, içeriğinde yağış, aylık ortalama sıcaklık, buharlaşma-terleme ve toprak su tutma kapasitesini kullanan PDSI kuraklık indisi kullanılmıştır.

2.3 Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (Palmer Drought Severity Index-PDSI)

Uzun süreli yağış azlığı ve buna bağlı olarak toprak nem eksikliği ile belirtilen meteorolojik kuraklıkları belirlemek, nitelemek ve izlemek için geliştirilen bir yöntemdir. Girdi olarak; yağış, aylık ortalama sıcaklık, buharlaşma-terleme ve toprak su tutma kapasitesi kullanılır (Türkeş vd, 2009). PDSI'nin amacı, standartlaştırılmış nem şartlarının ölçümlerini sağlamak için alanlar ve aylar arasında karşılaştırma yapabilmektir (Palmer, 1965). PDSI meteorolojik kuraklık indisidir ve anormal ıslak-kuru hava şartlarına cevap verir.

Palmer metodunun hesaplama süreci su dengesi ile başlar. Su dengesi genelde aylık toplam yağış (P) ve aylık ortalama sıcaklık (T) verisine dayanmaktadır. Bu hesaplama sürecinde toprak tabakası düşey olarak iki kısma ayrılmaktadır. Tarla kapasitesindeki kullanılabilir su miktarının yaklaşık 25 mm'sinin üst tabakada tutulduğu kabul edilmektedir. Toprağın alt tabakasındaki kullanılabilir su miktarı, bitki köklerinin etkin kök derinliğine ve çalışmada dikkate alınan alanın toprak özelliklerine bağlıdır. Potansiyel evapotranspirasyon (PE), iyi bilinen Thornthwaite metodu kullanılarak hesaplanmıştır (Thornthwaite,1948). Thornthwaite yaklaşımı ile istasyonların aylık ısı indeksi denklem 2.1 ile hesaplanır.

$$I = (12 / XN) \sum_{n=1}^{12} [T(I) / 5]^{1.514} \quad (2.1)$$

Burada, $T(I)$, aylık ortalama sıcaklığı ($^{\circ}C$); XN , dengenin olduğu ay sayısını göstermektedir. Ampirik olarak oluşturulan bir diğer tanım ise;

$$A = \left(\frac{6.75}{10^7}\right)I^3 - \left(\frac{7.71}{10^5}\right)I^2 + \left(\frac{1.79}{10^2}\right)I + 0.49 \quad (2.2)$$

Düzeltilmemiş potansiyel evapotranspirasyon (UPE); $T(I)$, A ve ısı indisi I 'nin bir fonksiyonu olarak denklem 2.3'ten hesaplanır,

$$UPE(I) = 1.6 \left(\frac{10T(I)}{I}\right)^A \quad (2.3)$$

Burada,

I : 12 aylık sıcaklık indisi toplamı,

T : Aylık ortalama sıcaklık

$T \geq 26.5$ °C olduğu zaman, $PE(I)$ aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$PE = -415.85 + 32.24T(I) - 0.43T(I)^2 \quad (2.4)$$

Yukarıda açıklanan ilişkiden elde edilen düzeltilmemiş potansiyel evapotranspirasyon değerinden (UPE), Thornthwaite' in gün ve ay uzunluklarına göre değişimi içeren düzeltme tablosu (Thornthwaite, 1948) kullanılarak, düzeltilmiş potansiyel evapotranspirasyon değeri (APE) elde edilir. Toprakten evapotranspirasyon ile nem kaybı, eğer APE aylık toplam yağıştan (P) büyükse olur. Üst toprak tabakasında nem kaybı (L_s) veya ($PE - P$), ve alt tabakadan nem kaybı (L_u), denklem 2.5 ile hesaplanır;

$$L_s = S'_s \text{ veya } (PE - P)$$

Hangisi daha küçükse ve $L_u \leq S'_u$ ise,

$$L_u = (PE - P - L_s) \frac{S'_u}{AWC} \quad (2.5)$$

S'_s : Başlangıçta yüzey tabakadaki kullanılabilir su miktarı,

PE : Belirtilen aya ait potansiyel evapotranspirasyon,

P : Belirtilen aya ait aylık toplam yağış miktarı,

S'_u : Ayın başlangıcında alt toprak tabakasında depolanan kullanılabilir su miktarı,

AWC : Her iki tabakadaki toplam kullanılabilir su miktarıdır.

Palmer metodunda, su dengesi için hesaplanmış birkaç parametreye ihtiyaç vardır. Bu parametreler; potansiyel yeniden dolun (PR), potansiyel kayıp (PL) ve potansiyel yüzey akışı (PRO). Potansiyel yeniden dolun, toprağı tarla kapasitesine getirmek için istenen su miktarıdır ve denklem 2.6 ile hesaplanır;

$$PR = AWC - S' \quad (2.6)$$

Yukarıdaki eşitlikte; S' , ayın başlangıcında toprağın her iki tabakasında da bulunan kullanılabilir su miktarıdır. Potansiyel kayıp (PL), hiç yağış olmadığında topraktan kaybedilebilecek olan su miktarıdır ve denklem 2.7 ile hesaplanır;

$$PL = PL_s + PL_u \quad (2.7)$$

$PL_s = PE$ veya S'_s olduğu yerde, hangisi daha küçükse,

$$PL_u = (PE - PL_s) \frac{S'_u}{AWC} \quad (2.8)$$

Palmer (1965) potansiyel yüzey akışını topraktaki kullanılabilir su miktarının bir fonksiyonu olarak tanımlamıştır. Bu fonksiyon denklem 2.9'deki gibi gösterilebilir.

$$PRO = AWC - PR = S' \quad (2.9)$$

Yukarıda hesap edilen dört potansiyel değer (PE, PR, PL, PRO), iklimsel analiz için yapılması için gerekli olan dört katsayıyı hesaplamak için kullanılır.

$$\text{Evapotranspirasyon katsayısı için } \alpha, \alpha_j = \overline{ET} / \overline{PE} \quad (2.10)$$

$$\text{Yeniden dolun katsayısı için } \beta, \beta_j = \overline{R}_j / \overline{PR} \quad (2.11)$$

$$\text{Yüzey akışı katsayısı için } \gamma, \gamma_j = \overline{RO} / \overline{PRO} = \overline{RO} / \overline{S}' \quad (2.12)$$

$$\text{Kaybedilen nem katsayısı için } \delta, \delta_j = \overline{L} / \overline{PL}_j, j = 1, 2, \dots, 12 \quad (2.13)$$

Ortalamalar, herhangi bir j ayı için ortalama değerleri kullanarak hesaplanan katsayıları belirtir. Katsayılar 12 ay için ayrı ayrı hesaplanır. Bu katsayılar her ay için gerçek yağış (P) ve 'CAFEC' (varolan şartlar için iklimsel yaklaşım) yağışı (\hat{P}) arasındaki farkı (d) hesaplamak için kullanılır. $d = P - \hat{P}$ yani,

$$d = P - (\alpha_j \cdot PE + \beta_j \cdot PR + \gamma_j \cdot PRO - \delta_j \cdot PL) \quad (2.14)$$

şeklinde gösterilir. d , normale göre nemlilik anomalisi olarak alınır.

Sonraki adım, her istasyon için aylık ağırlık faktörü olan K değerini hesaplamaktır. Palmer (1965), 12 ayın her biri için ($i=1,2,\dots,12$) ampirik bir ilişki geliştirmiştir. Ağırlık faktörü K her istasyon için aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır.

$$K_i' = 1.5 \log_{10} \left[\left(\frac{\overline{PE} + R + \overline{RO}}{\overline{P} + \overline{L}} + 2.80 \right) / \overline{D} \right] + 0.5 \quad (2.15)$$

Yukarıdaki eşitlikte; \overline{D} , d mutlak değerinin uzun süreli aylık ortalamasıdır; $\overline{P} + \overline{L}$, ortalama su varlığı ve $\overline{PE} + R + \overline{RO}$, ortalama su tüketimidir. Bu nedenle, K_i' değeri ortalama su varlığı ve tüketimine bağlıdır.

Daha sonra Palmer (1965), K' değerini kurak devreler ve nemli şartlar için geliştirmiştir. Kurak ve nemli devrelere göre düzenlenen yeni ağırlık faktörü K , aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$K = \frac{17.67}{\sum_{i=1}^{12} \overline{D}.K'} K' \quad (2.16)$$

Bu noktada, nemli şartların ölçümü için standardize edilmiş Z indisini hesaplamak için;

$$Z = d.K \text{ (Aylık nem anomali indisi)} \quad (2.17)$$

Aylık olarak hesaplanmış nem anomali indisi Z , nemli ve kurak devrelerin başlangıcını, bitişini ve şiddetini belirleyen parametrelerin hesaplanması için kullanılır.

Nemli bir devrenin (U_d = etkin kuraklık) sona erme olasılığı;

$$U_d = z - 0.15 \text{ ve } z_e = -2.691.X_{(i-1)} + 1.50 \quad (2.18)$$

Kurak bir devrenin sona erme olasılığı (U_w = etkin nemlilik);

$$U_w = z + 0.15 \text{ ve } z_e = -2.691.X_{(i-1)} - 1.50 \quad (2.19)$$

Buradaki parametreler olarak gösterilen kurak ve/veya nemli dönemin sona erme olasılığını gösteren P_e ' yi (olasılık yüzdesi) tanımlamak için kullanılır.

$$P_e = \frac{100.V}{Q} \quad (2.20)$$

$$V = \sum U_w \text{ veya } \sum U_d \text{ ve } Q = z_e + V_{(i-1)} \quad (2.21)$$

olarak verilir. Palmer' ın kuraklık şiddeti için son formülü;

$$X_i = X_{i-1} + \frac{z_i}{3} - 0.103X_{i-1} \quad (2.22)$$

Burada X_i , i. ay için palmer kuraklık şiddet indisidir (PDSI). Palmer genel eşitliği (X); kurak veya nemli devrelerin başlanıcını ve bitimini belirlemek için üç indise ayırmıştır;

X_1 : Nemli bir dönemin başlangıcını sağlayan şiddet indisi,

X_2 : Kurak bir dönemin başlangıcını sağlayan şiddet indisi,

X_3 : Herhangi bir kurak veya nemli dönemin başlamış olduğunu belirten indis.

Anlaşıldığı gibi X_1 değerleri daima pozitif; X_2 değerleri ise daima negatiftir.

$X_1 \geq +1.0$ olduğunda nemli devrenin başladığı kabul edilir; $X_2 \geq -1.0$ olduğunda ise kurak dönemin başladığı kabul edilir. X_3 değerleri daha önemlidir, çünkü halihazırda başlamış ve sürmekte olan kurak veya nemli dönemin şiddetini belirler. Çizelge 2.1'de PDSI sınıflandırması verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi (PDSI) sınıflandırma.

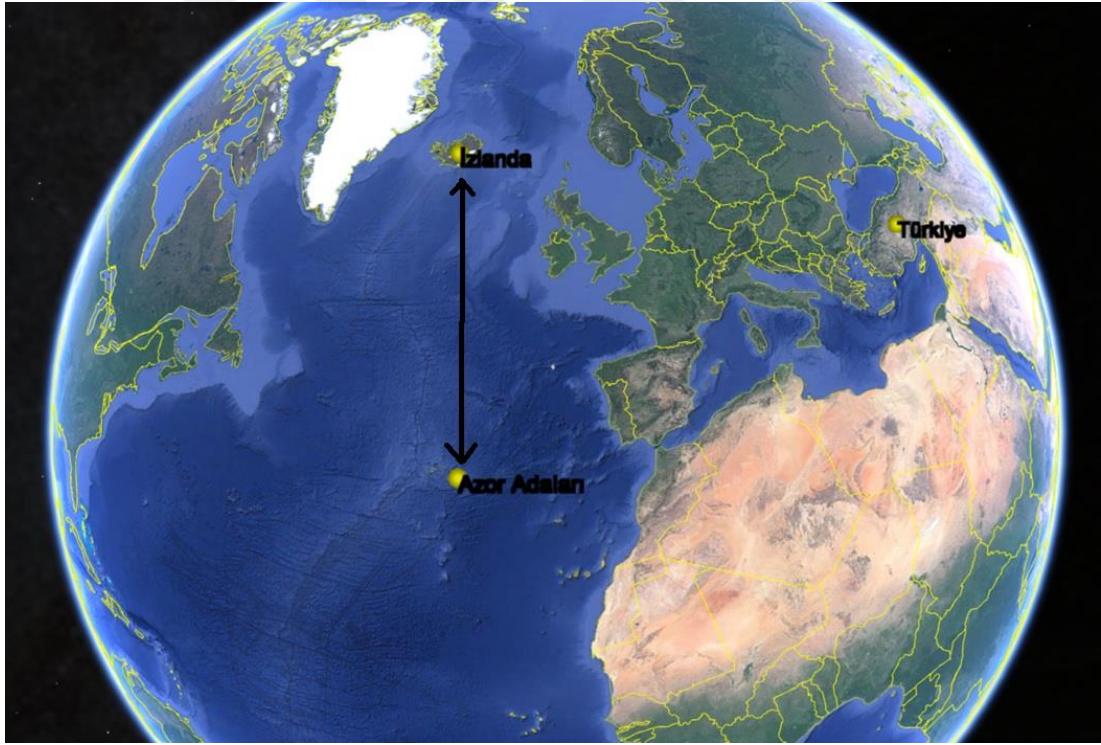
Sınıf Aralığı	Kuraklık Sınıfı
≥ 4	Aşırı Nemli
3 ile 3,99 arası	Çok Nemli
2 ile 2,99 arası	Orta Nemli
1 ile 1,99 arası	Az Nemli
0,5 ile 0,99 arası	Nemli Devre Başlangıcı
0,49 ile -0,49 arası	Normal Cıvarı
-0,50 ile -0,99 arası	Kuru Devre Başlangıcı
-1 ile -1,99 arası	Hafif Kurak
-2 ile -2,99 arası	Orta Kurak
-3 ile -3,99 arası	Şiddetli Kurak
≤ -4	Aşırı Kurak

Tez çalışması kapsamında, çalışmanın uygulandığı istasyonlara ait PDSI verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

3. ATMOSFERİK SALINIMLAR

3.1 Kuzey Atlantik Salınımı (North Atlantic Oscillation, NAO)

Kuzey Atlantik Salınımı (NAO), İzlanda ve Grönland üzerinde hakim alçak basınç merkezi ile Azor Adaları üzerinde hakim yüksek basınç merkezi arasındaki geniş ölçekli atmosferik basınç oynaması olarak tanımlanır (Şekil 3.1). NAO, iklim mekanizmalarını etkileyen önemli bir atmosferik salınımdır. NAO, kuzey yarımkürede etkili olduğu bölgelerde, su yönetimi, enerji ihtiyacı ve üretimi, tarım, balıkçılık vb. gibi pekçok sosyoekonomik olayda etkiye sahip olmasından dolayı araştırılması gereken bilimsel konular arasında yer almaktadır.



Şekil 3.1 : NAO'nun meydana geldiği bölge.

Kuzey Atlantik Salınım İndisi (NAOI), genellikle İzlanda ve Azor Adaları'nda bulunan iki farklı istasyonda ölçülen deniz seviyesi basınçlarının standardize edilmiş değerleri arasındaki farka eşittir. İndisler aylık, mevsimlik ve yıllık olarak

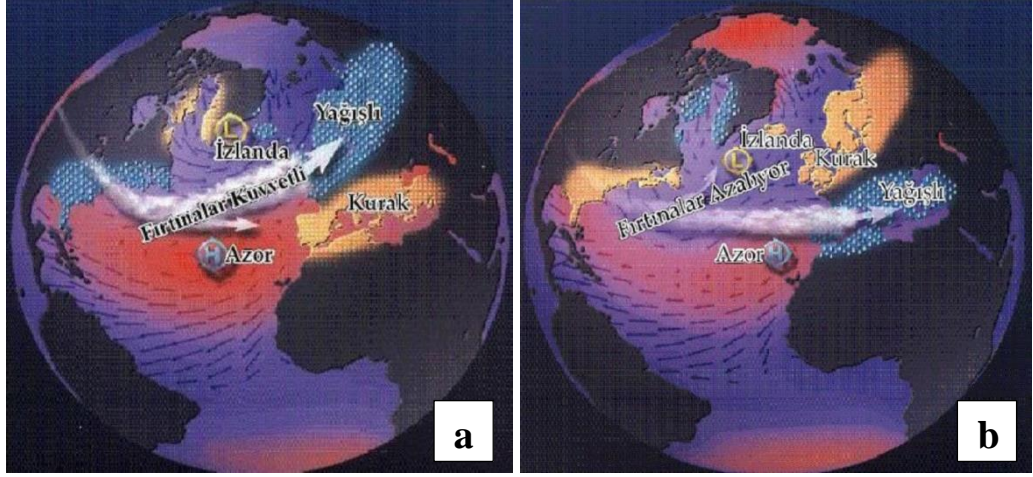
düzenlenmektedir. Fakat Aralık-Mart ayları arasındaki dönem, NAO'nun en etkili olduğu dönemi içerdiğinden; Aralık, Ocak, Şubat ve Mart aylarını kapsayan bir indis de hazırlanmaktadır.

Akdeniz, Marmara ve Karadeniz üzerindeki yüzeye yakın atmosferik sirkülasyonlar okyanus tropikal bölgelerindeki konvektif faaliyetlerden etkilenebilmektedir. Türkiye ile adı geçen denizlerin arasında 7200 km'lik bir kıyı şeridi olması, ülkenin yağışı ile NAO ve diğer bir takım atmosferik salınımlar arasındaki önemli ilişkinin makul bir fiziki gerekçesidir.

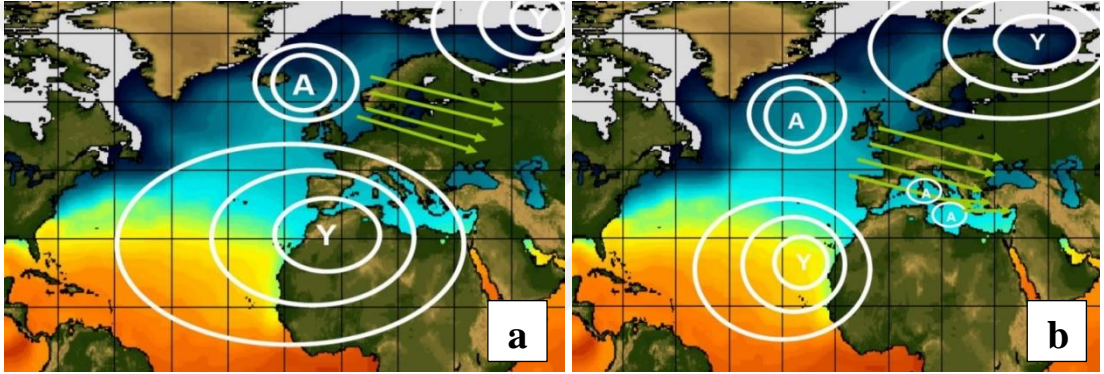
NAO'da meydana gelen pozitif ve negatif yönlü salınımlar, Türkiye'yi de kapsayan Akdeniz Havzası'nda yağış ve sıcaklık koşullarında etkindir (Şekil 3.2, Şekil 3.3).

NAO kuvvetli (pozitif) evresindeyken, kuzey yarım kürede görülen basınç farklılıklarını ve iklimde meydana gelen değişiklikleri ifade etmektedir (Şekil 3.2a, Şekil 3.3a). Bu evrede, İzlanda siklon alanında basınç değerleri normal değerlerin altında iken Azor antisiklon alanında basınç değerleri normal değerlerinden daha yüksektir. Bu evrede batı rüzgarları kuvvetlenir. Kuvvetli NAO evrelerinde, kış aylarında basınç merkezleri arasındaki farktan dolayı Atlantik üzerindeki batı rüzgarları daha meridyonel akım kazanır (Erlat 2002). Kuvvetli NAO evresinde, Türkiye'yi de kapsayan Akdeniz havzasına ulaşan cephesel depresyonların sıklığında bir azalma ve bununla bağlantılı olarak da özellikle kış döneminde kurak koşullar ortaya çıkmaktadır (Erlat 2002).

NAO negatif evresinde, İzlanda ve Azor Adaları arasındaki basınç farkı azalmaktadır. İzlanda normal basınç değerinin üstüneyken; Azor Adaları'nda normal basınç değerinin altındadır. Bu evrede batı rüzgarları zayıflamaktadır. Kış mevsimlerinde batı rüzgârları ılık ve nemli hava kütlelerini Akdeniz Havzası'na taşımaktadır (Şekil 3.2b, Şekil 3.3b). Bundan dolayı İskandinavya'da ve Avrupa'nın kuzeyinde kurak ve soğuk hava koşulları hakimdir (Hurrell ve diğ., 2000).



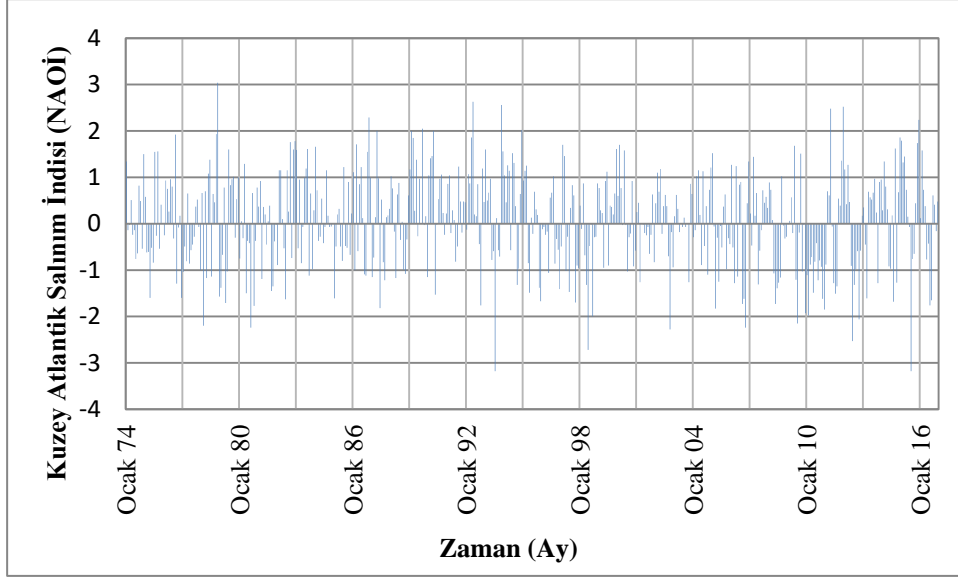
Şekil 3.2 : Kuzey Atlantik Salınım evreleri a) Pozitif Kuzey Atlantik Salınım evresi
b) Negatif Kuzey Atlantik Salınım evresi.



Şekil 3.3 : Alçak ve yüksek basınç merkezleri a) Pozitif (kuvvetli) NAO evresi,
b) Negatif (zayıf) NAO evresi.

Kuzey Atlantik Salınımının oluşum nedeni henüz tam belirlenebilmiş değildir. Bir kısım araştırmacı, bu olayın atmosferin doğal değişkenliğinin bir sonucu olduğu, bir kısmıysa El Nino-Güneyli Salınım olayında olduğu gibi Kuzey Atlantik Salınımının da dinamik bir okyanus atmosfer etkileşiminden doğduğunu belirtmektedir. Ayrıca yeryüzü ve stratosfere ait özelliklerle antropojenik etkilerle oluşan küresel ısınmanın, Kuzey Atlantik Salınımının evre ve büyüklüğünü etkilediği düşünülmektedir (Yetmen, 2006).

Kuzey Atlantik Salınım İndisi olarak kullanılacak aylık standart indis değerleri NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)'dan temin edilmiştir (<https://www.ncdc.noaa.gov>). Bu tez çalışmasında kuraklık analizi için kullanılan 1974-2016 zaman aralığındaki Kuzey Atlantik Salınım indisine ait veriler Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : 1974-2016 yılları arası Kuzey Atlantik Salınım İndisi değerleri.

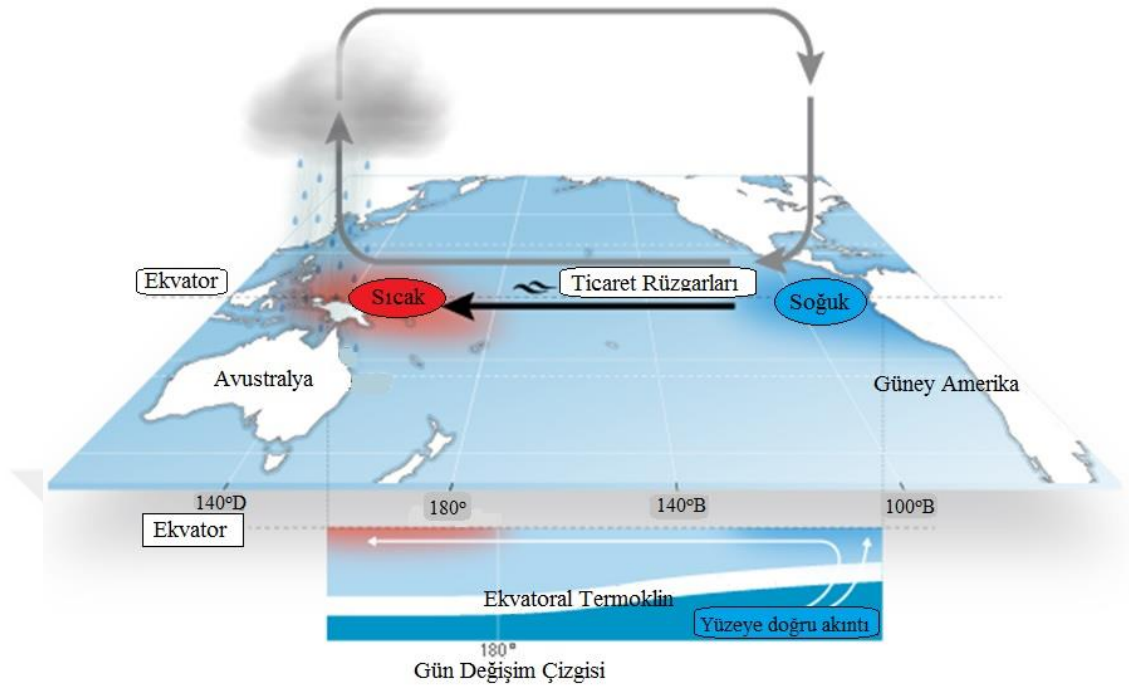
3.2 Güneyli Salınım (Southern Oscillation, SO)

Güneyli Salınım (SO), tropikal enlemlerde, batı ve doğu Pasifik Okyanusu üzerinde görülen geniş alanlı bir atmosferik basınç dalgalanması olarak tanımlanır. Basıncıdaki değişiklik, rüzgâr şiddeti, okyanus akıntıları, deniz yüzeyi sıcaklıkları ve yağış olaylarındaki dalgalanmalar ile yakından ilişkilidir.

Bu salınımın ekstrem fazları El Nino ve La Nina olarak bilinir. Bu fazlar, dünyada meydana gelen hava olaylarını, büyük selleri, kuraklığı, sıcak hava dalgalarını, farklı bölgelerdeki mevsimleri ve küresel ısınmayı etkiler.

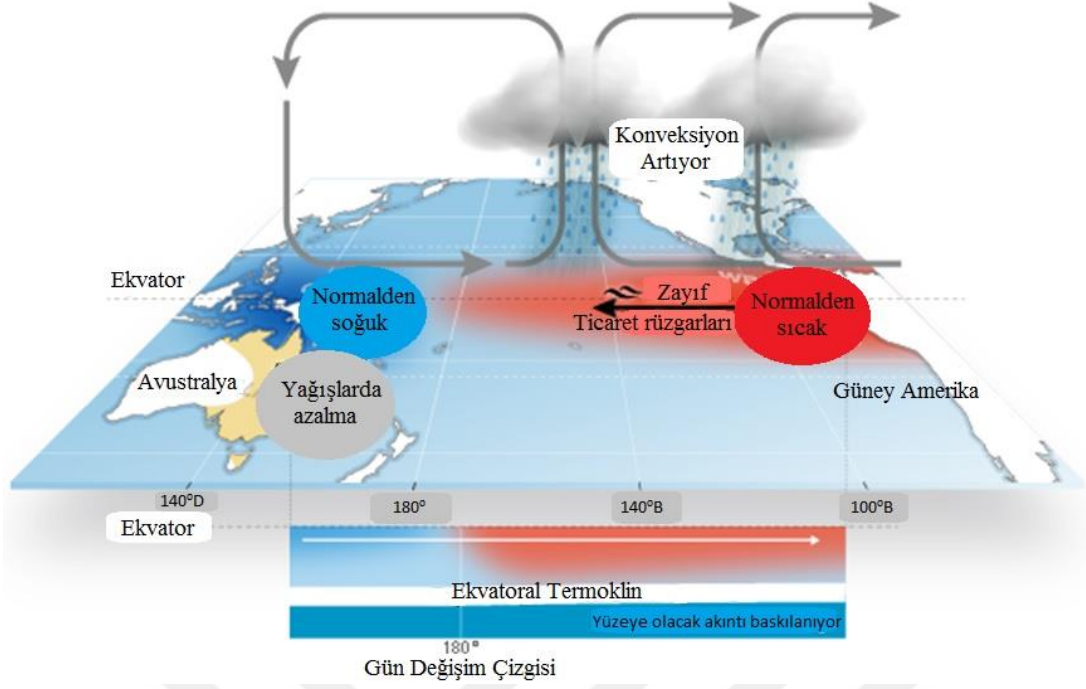
El Nino dışındaki zamanlarda Pasifik Okyanusunun tropikal bölgeleri genel olarak doğudan batıya doğru esen Alizelere (ticaret rüzgarları) ev sahipliği yapar. Bu sürekli rüzgarlar, sıcak suları estikleri yöne doğru iterler. Böylece sıcak sular okyanusun batısına doğru, Asya ve Avustralya kıyıları civarında birikir. Okyanusun diğer tarafı, güney ve orta Amerika civarındaysa sıcak sular kıyından itildiği için okyanusun derinliklerindeki soğuk su kütleleri yüzeye doğru yükselir. Bu durum tropikal Pasifik civarında batıda sıcak, doğuda ise daha soğuk su olmak üzere sıcaklık farkına neden olur. Batıdaki bu sıcaklık, Okyanus yüzey üzerindeki havayı ekstra ısıtır. Bu da havanın daha kolay yükselmesine neden olur. Yükselen nemli hava, bulutlu ve yağmurlu bir gökyüzü oluşturur. Batıda yükselen bu sıcak nemli hava dünyanın bu kısmında atmosfer hareketliliğini artırırken; diğer tarafta ise soğuk, kuru ve daha sakin bir hava hakim olmaktadır. Bu hava akımı doğudan gelen rüzgarları

kuvvetlendirir, böylece dünyanın bu bölümünde El Nino başlayana kadar kendi kendine varlığını sürdüren bir döngü gerçekleşir (Şekil 3.5).

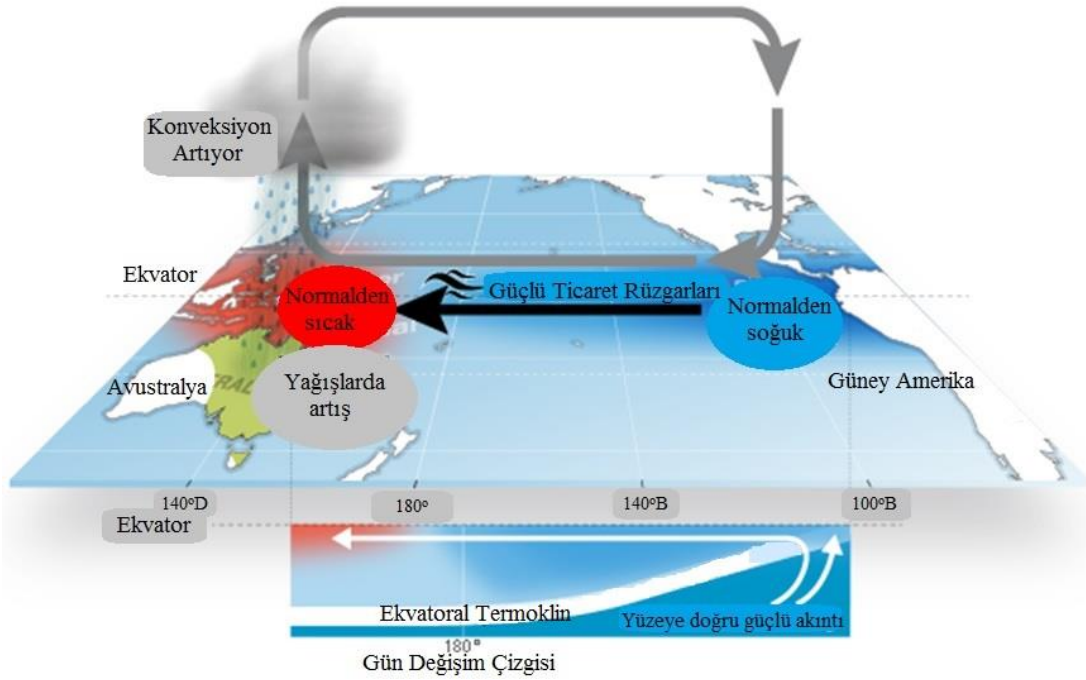


Şekil 3.5 : El Nino ya da La Nina'nın olmadığı normal koşulların gösterimi (Url-1).

Eğer uygun koşullar oluşursa tropikal Pasifik hava sistemleri ya da Ekvator çevresinde okyanustaki küçük değişimler olağan alizeleri bile tersine çevirebilen olaylar zincirini yani El Ninoyu başlatabilir (Şekil 3.6). Bu ters esen alizeler nedeniyle yüzeydeki sıcak suların batıya itilmesi ve doğuda derinlerde bulunan soğuk suların yüzeye taşınması daha az gerçekleşir. Bu durum, genelde okyanusun soğuk olan taraflarının ısınmasına, normalde var olan sıcaklık farkının ise yok olmasına olanak sağlar. Okyanusun en sıcak olduğu alanlar nemli ve çalkantılı hava durumları ile karşı karşıya kalır. Bu, Ekvatorial Pasifik civarında yağmur yağışını, aynı zamanda büyük ölçekli rüzgarları değiştirir ve rüzgarlardaki bu değişimse dünya üzerindeki yağışlar ve sıcaklık değişimleri üzerinde etkili olur. El Nino, dünyanın her bir bölgesini hava koşulları ile direkt ya da sosyal, ekonomik nedenlerle dolaylı olarak etkileyebilir. El Ninonun Pasifik Okyanusu'nun tropikal yüzeyinde neden olduğu ekstra sıcaklıklardan dolayı atmosfere aktarılan büyük miktardaki enerji geçici bir küresel ısınmaya neden olabilir. Bu nedenle El Nino yılları kaydedilen en sıcak yıllar arasında olma özelliği gösterir. El Nino, yılbaşına yakın zamanlarda gelişerek birkaç ay sürebilir. El Nino, sonunda tamamen etkisini kaybedebileceği gibi bazen tam tersi olan La Nina ya da dönüşebilir (Şekil 3.7).



Şekil 3.6 : El Niño koşullarının gösterimi (Url-1).



Şekil 3.7 : La Niña koşullarının gösterimi (Url-1).

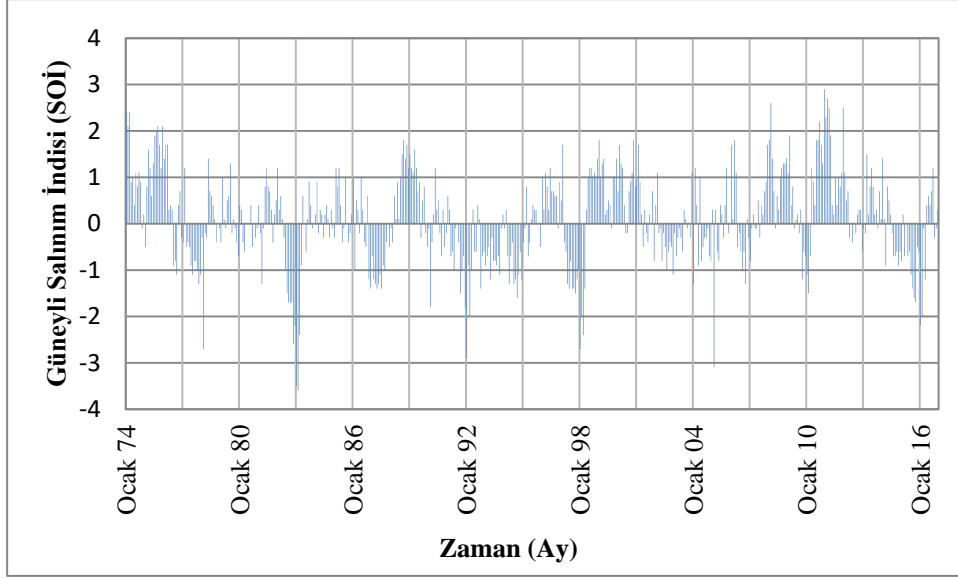
La Niña, normal esen alizelerle bağlantılıdır. Bu sıcak suyu tropikal pasifğin batı kısmına doğru iter ve doğu kısmında ise soğuksu akımını artırır. Bu soğuk su, Amerika'nın kıyılarından okyanusun ortalarına doğru uzanır (Şekil 3.7). La Niña da küresel hava durumunu etkiler ve El Ninonun tam tersi etkiler gösterir.

Güneyli Salınım normal durumdayken (Pasifik'te yüksek basıncın bulunduğu dönem) bölgede anormal bir olay gerçekleşmemektedir. Ancak Güneyli Salınımın harekete geçtiği yıllarda (Pasifik'teki basıncın düşüp Hint Okyanusu'nda yükseldiği dönem) Avustralya, Endonezya, Hindistan ve Afrika'nın güney kesimlerinde kuraklık yaşanmaktadır. Bu dönemde (El Nino yıllarında) Kanada'nın batısında da kışlar ılıman geçmektedir (Url-2).

Önceleri El Nino, yalnızca Pasifik Okyanusu'nun belirli bir bölgesini ilgilendiren önemli, ama yeni ortaya çıkan bir okyanus olayı olarak görülmüştür. Ancak son yıllarda güneyli salınım olarak bilinen bir atmosfer anomalisiyle ortaya çıktığı anlaşılan bu doğal olayın, binlerce yıldan beri yaşandığı, dünyada görülen büyük kuraklıkların ve ekstrem atmosfer olaylarıyla ilgili diğer doğal afetlerin bununla ilişkili olduğu kanıtlanmıştır. Genel olarak Türkiye'deki şiddetli ve yaygın kuraklık olayları, kuvvetli El Nino yıllarına ya da bir yıl sonrasında karşılık gelmektedir (Martı, 2007).

Güneyli Salınımın sayısal temsili için kullanılan indislerden en yaygın olanı Güneyli Salınım İndisi (Southern Oscillation Index, SOI) basit olarak standardize edilmiş Tahiti'deki deniz seviyesi atmosfer basıncı ile Darwin'deki (Avustralya) deniz seviyesi atmosfer basınçları farkı olarak tanımlanır. SOI değerleri literatürde birkaç şekilde hesaplanmakla beraber temelde doğu ve batı Pasifik arasındaki basınç farklılığını ifade eder (Kahya ve Dracup, 1993).

Bu tez çalışmasında kuraklık analizi için kullanılan 1974-2016 zaman aralığındaki Güneyli Salınım indisine ait veriler Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



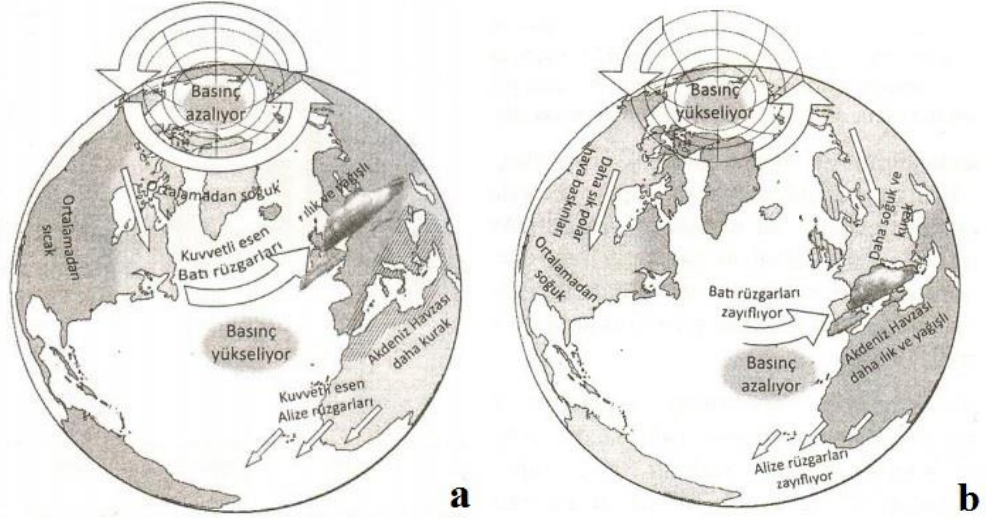
Şekil 3.8 : 1974-2016 yılları arası Güneyli Salınım İndisi değerleri.

Güneyli Salınım İndisi olarak kullanılacak aylık standart indis değerleri NOAA'dan temin edilmiştir (Url-3).

3.3 Arktik Salınım (Arctic Oscillation, AO)

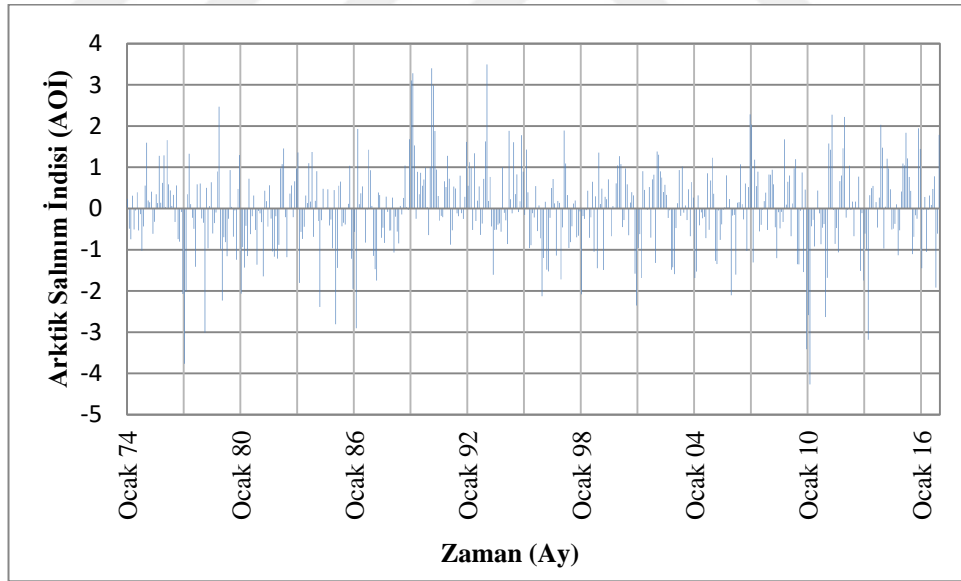
Arktik Salınımı (AO), kuzey yarımkürede arktik bölge ve orta enlemler arasındaki atmosferik basınç değişiklikleriyle nitelenen büyük ölçekli bir atmosferik salınımdır. Arktik Salınım da NAO gibi, Akdeniz Havzası, Avrupa ve Kuzey Atlantik'te uzun ve kısa dönemli iklimsel değişkenliğin en önemli denetleyicilerinden biri olarak bilinir (Tosunoğlu, 2014).

Kuzey yarımkürenin kutba yakın bölgelerinde hava çok soğuktur ve ağırlığından dolayı soğuk hava yüzeye çökme eğilimi gösterir. Bununla bağlantılı olarak deniz seviyesinde yüksek basınç, onun üzerinde de bir alçak basınç oluşur. Atmosferin üst seviyelerindeki bu alçak basınca, kutbi girdap denir. Kutbi girdap ne kadar güçlüyse, kutup bölgesindeki soğuk havayı çevresine o denli iyi sararak yukarı çeker ve yüzeyden güney enlemlere kaçmasına engel olur. Kutbi girdabın güçlü, kutup ve İzlanda bölgesindeki basınç değerlerinin düşük olduğu bu duruma pozitif AO denir (Şeki 3.9a). Kutbi girdabın güçlenemediği, böylece soğuk havanın yüzeyde kalarak kutup bölgesindeki ve çevresindeki deniz seviyesi basınç değerlerini yükselttiği duruma da negatif AO denir (Şekil 3.9b). Yüzeyde kalan bu soğuk hava kolaylıkla güney enlemlere kaçar, böylece özellikle kuzey ve batı Avrupa'da soğuk hava dalgaları görülür (Url-4).



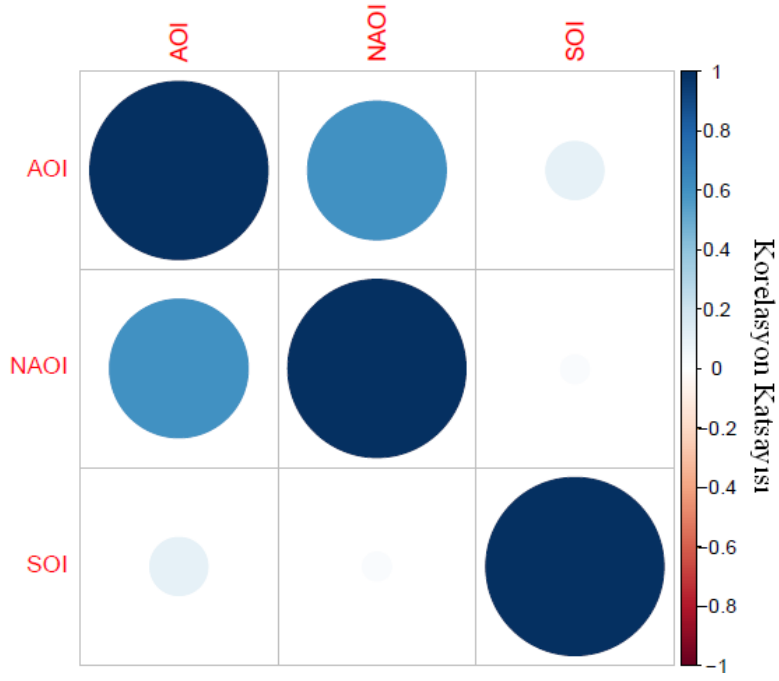
Şekil 3.9 : Arktik Salınımın evreleri a) Pozitif evre, b) Negatif evre (Bozyurt 2010).

Arktik Salınım İndisi olarak kullanılacak aylık standart indis değerleri NOAA'dan temin edilmiştir (<https://www.ncdc.noaa.gov>). Bu tez çalışmasında kuraklık analizi için kullanılan 1974-2016 zaman aralığındaki Arktik Salınım İndisine ait veriler Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10 : 1974-2016 yılları arası Arktik Salınım İndisi değerleri.

Yukarıda detaylı bir şekilde açıkladığımız NAOI, SOI ve AOI atmosferik salınım indislerinin birbirleriyle olan ilişkisinin tespiti, özellikle çalışmanın kuraklık analizleri bölümünde üreteceğimiz senaryolar için zemin oluşturması bakımından önemlidir. Atmosferik salınım indislerinin birbirleriyle olan ilişkisini göstermek için elde ettiğimiz sonuçlar Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.11 : Çalışmada kullanılan atmosferik salınım indislerinin birbirleriyle olan ilişkisi.

Şekil 3.11 incelendiğinde NAO ve AO indisleri arasında orta derecede bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Tez çalışmasının kuraklık analizi kısmında oluşturulan tahmin senaryoları için, yukarıda elde ettiğimiz atmosferik salınımlar arasındaki bu ilişkiler değerlendirilecek ve buna göre çeşitli senaryolar oluşturulacaktır.

4. HOMOJENLİK TESTLERİ

4.1 Giriş

İklim değerlendirmeleri yapmak, doğru tahminler ve modelleme yapmak için doğru verilere ihtiyaç duyulmaktadır. İklim ve hidrolojik çalışmalar için uzun vadeli, homojen ve sürekli yağış serilerinin bulunması şarttır. Homojen olmayan veri setlerinin istatistiksel analizlerde güvenilir sonuçlar vermediği dikkati çekmektedir. Bu nedenle hidroklimatolojik araştırmalarda kullanılacak verilerde herhangi bir heterojenlik bulunması halinde bunun düzeltilmesi veya hiç kullanılmaması gereklidir. Herhangi bir heterojenlik varsa, bulunan istatistiksel parametreler olayın fiziğini yansıtmaz, yapılan uygulama ve yorumlar hatalı olur, kısacası yapılacak analiz için sağlıklı sonuç elde edilemez. İstasyon yerinin değiştirilmesi, rutin gözlem yöntemlerinde ve ölçüm tekniklerindeki değişiklikler, arazi kullanım koşullarındaki değişiklikler, şehirleşme, ormansızlaştırma gibi nedenler veri kayıtlarının homojen yapısının bozulmasına yol açabilir.

Herhangi bir istasyonun tarihçesi hakkında yeterli bilgi varsa, o istasyon için rapor edilmiş bir yer değişikliği ya da gözlem tekniği değişikliğinin olup olmadığını incelemek suretiyle kayıtların homojenliği hakkında “doğrudan” bir değerlendirme yapmak mümkündür. Eğer böyle bir durum varsa oluşan sistematik değişiklikleri düzeltmek yoluna gidilebilir. Yeterli istasyon tarihçesinin yokluğunda “dolaylı” homojenlik kontrolü yapmak yoluna gidilir. En etkili yolun doğrudan ve dolaylı kontrollerin bir arada yapılması olduğu söylenebilir. Dolaylı homojenlik testleri başlıca iki gruba ayrılır: Mutlak testler ve Göreceli testler. Mutlak testler tek bir istasyona ait kayıtların incelenmesine dayanırken, göreceli testler homojen olduğu kabul edilen komşu istasyonlara ait verilerin de kullanılması esasına dayanır (Tosunoğlu, 2014).

Homojen olmayan veri setlerinde metadata (veribilgi) kullanılarak verilerdeki homojensizliğin altında yatan nedenler hakkında bilgi sahibi olunabilir. Metadata,

veri hakkındaki bilgidir. Yani üretilen veri hakkında gözlem zamanındaki değişimleri içeren bilgidir. Mesela istasyonun yerindeki değişim, ölçüm yapılan alettaki değişiklik, istasyon çevresindeki yerleşim, şehirleşme vb. durumların etkisiyle alınan ölçümlerde hatalar olabilir. Metadata, homojenlik çalışmalarında kullanılacak veri kalitesinde önemli bir yer tutan gözlem durumunu da içeren bir istasyondaki tarihi bilgidir. Bu bilgiler veri kalitesi, sürekliliği ve veri homojenliği gibi çalışmaları kullanıldığı için önemlidir (Demircan ve diğ., 2015).

4.2 Literatür Çalışması

Hanssen-Bauer ve Førland (1994), Standart Normal Homojenlik Testini (SNHT) kullanarak Norveç'teki 165 yağış istasyonunun yağış verilerinin homojenlik analizini yapmışlardır. Çalışmalarında 165 istasyonun 50'sinin homojen olduğunu bulmuşlardır. Tarhule ve Woo (1998), Pettitt testini kullanarak Kuzey Nijerya'daki yağış özelliklerinde meydana gelen değişiklikleri incelemiştir. Mihajlovic (2006), SNHT testini kullanarak aylık toplam yağış serilerinin homojenliğini analiz etmiştir. Kang ve Yusof (2012), SNHT, Buishand, Pettitt ve Von Neumann homojenlik testlerini kullanarak Malezya Yarımadası'nda yağış verilerinin homojenliğini analiz etmişlerdir. Al-Lami ve diğ. (2014), 1981-2010 dönemi için Irak'taki 36 meteoroloji istasyonuna ait verilerin homojenliğini incelemiştir. Çalışmalarında yağış serilerinin homojenliğini belirlemek için Pettitt, SNHT, Buishand Aralık Testi ve Von Neumann Oran testini uygulamışlardır.

Hidrolojik ve meteorolojik değişkenlerin homojenliğini analiz etmek için bir takım teknikler kullanılmıştır. Türkeş (1996), 1930-1993 periyodunda Kruskal-Wallis testini kullanarak Türkiye'deki 91 istasyonun yıllık yağış verilerinin homojenliğini analiz etmiştir. Kahya ve Kalaycı (2004), Van Belle ve Hughes (1984) tarafından geliştirilen bir yöntemle Türkiye'deki aylık akarsu akımındaki eğilimlerin homojenliğini test etmişlerdir. Karabörk ve diğ. (2007), SNHT ve Pettitt Testi ile yağış verilerinin homojenliğini kontrol etmiş ve iki testin en az birinin belirtmesi durumunda o istasyonun homojen olmadığı düşünülmüştür. Sonuç olarak, 212 istasyondan 43'ünün homojen olmadığı tespit edilmiştir. Göktürk ve diğ. (2007), SNHT homojenlik testini kullanarak Türkiye yağış serilerinin homojenlik değerlendirmesini yapmışlardır. Homojenlik testlerinin doğru bir şekilde uygulanması gerektiğini ve istasyonların homojenliğini açıklamak için meta verilerin

kontrol edilmesini önermişlerdir. Fırat ve diğ. (2010), Türkiye genelindeki 267 meteoroloji istasyonu için 1968-1998 periyodundaki yağış verilerinin homojenliğini test etmek için Pettitt, SNHT ve Runs testlerini (Swed-Eisenhart) uygulamışlardır.

4.3 Çalışma Alanı ve Veriler

1132 m ortalama yüksekliğe sahip, doğusu ile batısı arasındaki mesafesi 1600 km'yi aşan ve kuzeyi ile güneyi arasındaki mesafesi yaklaşık 800 km olan Türkiye, karmaşık bir jeolojik yapıya sahip olan Alp-Himalaya kuşağının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Türkiye, sıcak/kurak tropikal bölge ile nemli orta enlem bölge arasında başlıca subtropikal bölgeye yerleşmiştir. Bu yüzden, yazın subtropikal yükseklikleri (subtropical high) ile kışın egemen batılıları (prevailing westerlies) yaşar.

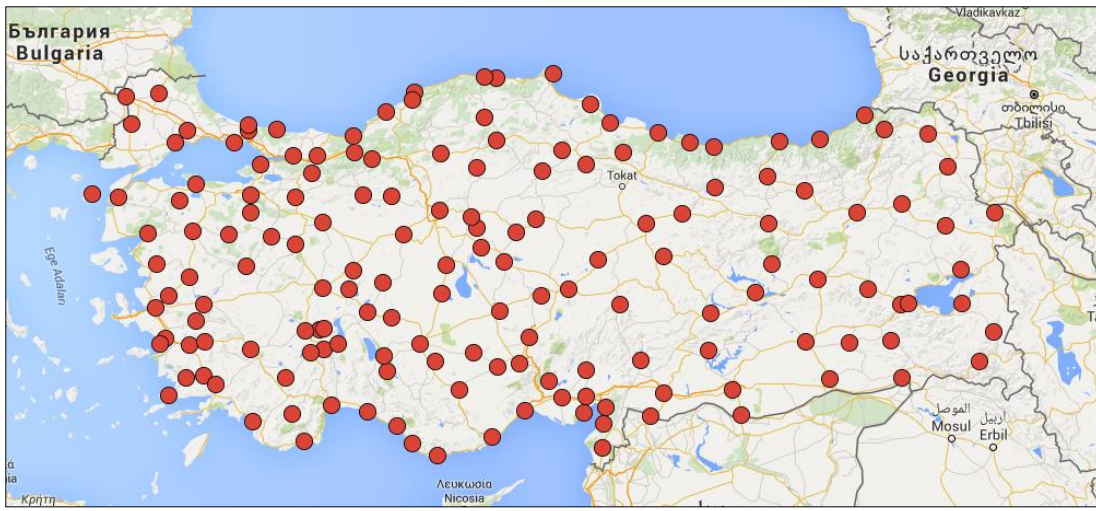
Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle, sürekli değişen hava akımlarının etkisindedir. Orta kuşakta bulunan Türkiye'nin güneyinde "az yağışlı ve sıcak" bir iklim, kuzeyinde ise; her mevsimi yağışlı bir iklim kuşağı bulunmaktadır. Türkiye ayrıca, bir Akdeniz ülkesi olduğu için bu bölgedeki iklime mahsus şartlara da sahiptir. Kuzey sıra dağları ile adeta ülkemizin kuzeyinde bulunan serin ve nemli iklim kuşağından tecrit edilmiş olan Türkiye, batıda ve güneyde Akdeniz havzası iklimi ile, güneydoğuda ise çöl iklimleri ile kuvvetli bir temas halindedir (Yeğnidemir, 2005).

Önceki çalışmalar, Türkiye ikliminin İzlanda (alçak) ve Azorlar (yüksek)'da meydana gelen birleşik basınç sisteminden kuvvetli şekilde etkilendiğini göstermektedir. Doğuda ve kuzeyde yüksek basınç sistemi, güneyde Muson (alçak) basınç sistemi hakimdir. Kış aylarında Türkiye genelinde hakim olan hava akımları büyük ölçekli Sibiryaya antisiklon ve polar ön siklonlar ile Akdeniz depresyonları tarafından kontrol edilir. Batılı-kuzeybatılı ile doğulu-kuzeydoğulu hava akımları polar ön depresyonları ve Sibiryaya antisiklonlarının bir ürünüdür. Güneybatılı ve Güneyli hava akımları Akdeniz cephe depresyonunun ürünüdür (Tatlı ve diğ, 2004).

Daha önce de bahsedildiği gibi, Akdeniz, Marmara ve Karadeniz üzerindeki yüzeye yakın atmosferik sirkülasyonlar okyanus tropikal bölgelerindeki konvektif faaliyetlerden etkilenebilmektedir. Türkiye ile adı geçen denizlerin arasında 7200 km'lik bir kıyı şeridi olması, ülkenin yağışı ile NAO ve diğer bir takım atmosferik salınımlar arasındaki önemli ilişkinin makul bir fiziki gerekçesidir.

Türkiye'deki yağış değişkenliği üzerine etkisi olan bu okyanus-atmosferik olgularının değerlendirmesi, bu yüzden, yapılacak çalışmanın ana kapsamı gibi düşünülmüştür. Çalışmada, NAO, SO ve AO ile kuraklık arasındaki ilişki değerlendirileceği gibi, bu salınımların kuraklık üzerine etkileri de incelenecektir.

Bu tez çalışmasında, homojenlik testleri için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen, kesintisiz veriye sahip ve Türkiye geneline dağılmış 160 meteoroloji istasyonuna ait 1974-2014 yılları arasındaki aylık yağış verileri kullanılmıştır. Türkiye genelinde neredeyse üniform dağılıma sahip olan bu meteoroloji istasyonlarının coğrafi konumu Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1 : Homojenlik testlerinin uygulandığı 160 yağış istasyonunun Türkiye üzerindeki dağılımı.

4.4 Homojenlik Test Metotları

Bu tez çalışmasında, yağış verilerine yaygın olarak kullanılan Pettitt, Buishand, Von Neumann Oran ve Standart Normal Homojenlik (SNHT) testleri uygulanmıştır. Wijngaard (2003) bu testlerin verilerin homojenliğini belirlemek için yeterli olduğunu ileri sürmüştür. Bu testlerden Buishand, Pettitt ve SNHT testleri zaman serisinde bir sıçrama olup olmadığını inceler, kırılma noktasını belirler. Von Neumann Oran Testi, serinin rasgele dağılmadığını varsayar ve homojenliğin ne zaman bozulduğu hakkında bilgi vermez. SNHT, zaman serilerinin başında ve sonundaki kırılmalara karşı hassastır. Pettitt ve Buishand testleri, zaman serisinin ortasında kırılmaları belirleme konusunda daha hassastır.

Bu tez çalışmasında kullanılan dört testin dışında Bayesian, Tukey, Link-Wallace, Dunnet, Barlett ve Harley metotları hidrometeorolojik zaman serilerinin homojenlik analizlerinde kullanılmaktadır (Deepesh ve Madan, 2012).

Çalışmada kullandığımız homojenlik testleri aşağıda detaylı bir şekilde tanımlanmıştır.

Pettitt Testi: Pettitt (1979) tarafından bir zaman serisindeki kırılma noktasını saptamak için önerilen bu parametrik olmayan yöntem, aylık veya yıllık ölçekteki değişim noktasını bulur. H_0 hipotezine göre, veriler birbirinden rasgele ve bağımsız dağılmıştır. Bu test aykırı değerlerden en az etkilenir. Bu testte, yıllık toplam yağış değerleri (Y_i) yerine bunlara karşılık gelen rankları (sıraları) (r_i) ile test istatistikleri hesaplanır. Y_1, \dots, Y_n serisinin sıraları r_1, \dots, r_n olmak üzere test istatistiği (X_k) aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$X_k = 2 \sum_{i=1}^k r_i - k(n+1) \quad k = 1, \dots, n \quad (4.1)$$

Eğer “K” yılı civarında serinin ortalamasında bir kayma oluşmuş ise X_k istatistiği $k = K$ yılı civarında maksimum ya da bir minimumdur.

$$X_K = \max_{1 \leq k \leq n} |X_k| \quad (4.2)$$

X_k değerlerinin mutlak değerlerinin minimum olanı şeklinde seçilen X_K istatistiğinin Pettitt tarafından verilen (Çizelge 4.1) ve örnek büyüklüğüne bağlı bir kritik değeri geçmesi durumunda H_0 hipotezi reddedilir, zaman serisinde homojenliğin bozulduğu sonucuna varılır. Pettit testi kayıtların orta yıllarında meydana gelen kırılmalara karşı daha hassastır (Kahya ve diğ, 2006).

Çizelge 4.1 : Pettitt testinde %1 ve %5 anlam seviyesindeki kritik değerler.

	Zaman serisindeki kayıtların sayısı (n)					
	20	30	40	50	70	100
1%	71	133	208	293	488	841
5%	57	107	167	235	393	677

Buishand Testi: Verilerin normal olarak dağıldığını varsayan Buishand testinde, veriler H_0 hipotezine göre rasgele dağılmıştır. Buishand testi, Pettit testinde olduğu

gibi kayıtların ortalarındaki yıllarda meydana gelen kırılmalara karşı daha hassastır. Buishand testinin test istatistiği Q aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$S_0^* = 0 \quad S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) \quad k = 1, \dots, n \quad (4.3)$$

Burada;

\bar{Y} : Zaman serisi gözlemlerinin ortalaması (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)

k : Kırılma noktasının olduğu gözlem sayısı

Burada S_k^* , verilen serinin kısmi toplamını ifade etmektedir. Eğer test edilen serinin ortalamasında anlamlı bir değişiklik söz konusu değil ise Y_i ve \bar{Y} arasındaki fark sıfır etrafında değişim gösterecektir. Eğer ortalama da bir değişim var ise ki bu değişimin anlamlı olup olmadığı aşağıdaki R katsayısının (rescaled adjusted range) hesap edilmesine dayanmaktadır.

$$R = (\max S_k^* - \min S_k^*) / s \quad 0 \leq k \leq n \quad (4.4)$$

Burada R katsayısı elde edildikten sonra Buishand test değeri (Q), R / \sqrt{n} işlemiyle elde edilir ve Buishand (1982)' in verdiği kritik değeriyle karşılaştırılır. Eğer hesaplanan test istatistiği değeri tablo değerinden büyük ise test edilen serinin homojen olmadığı sonucuna varılır (Tosunoğlu, 2014) . Buishand testinde %1 ve %5 anlam seviyesindeki kritik değerler Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Buishand testinde %1 ve %5 anlam seviyesindeki kritik değerler.

	Zaman serisindeki kayıtların sayısı (n)					
	20	30	40	50	70	100
1%	1,60	1,70	1,74	1,78	1,81	1,86
5%	1,43	1,50	1,53	1,55	1,58	1,62

Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT): Bu yöntem, Alexandersson (1986) tarafından geliştirilmiş olup, birçok iklimsel ve hidrolojik ölçeğin test edilmesinde başarıyla kullanılmaktadır. SNHT kayıtların başlangıç ya da bitiş tarihlerine yakın yıllarda oluşan kırılmalara karşı hassastır (Kahya vd., 2006). $Y_i (i = 1, \dots, n)$ eldeki n yıllık zaman serisini göstermek üzere, zaman serisinin ilk k yılının ortalaması ile son " $n - k$ " yılının ortalamasının kıyaslanması için " $T(k)$ " istatistiği aşağıdaki ifade ile bulunur.

$$T(k) = k\bar{z}_1^2 + (n-k)\bar{z}_2 \quad k = 1, \dots, n \quad (4.5)$$

Yukarıda belirtilen \bar{z}_1 ve \bar{z}_2 aşağıdaki ifadelerle belirlenir.

$$\bar{z}_1 = \frac{1}{k} \frac{\sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y})}{s} \quad \text{ve} \quad \bar{z}_2 = \frac{1}{n-k} \frac{\sum_{i=k+1}^n (Y_i - \bar{Y})}{s} \quad (4.6)$$

“s” değeri serinin standart sapmasını, “ \bar{Y} ” ise serinin ortalamasını belirtmektedir. Zaman serisinde K yılında başlayan bir kırılma varsa (ortalamanın kayması şeklinde) $T(k)$ istatistiği $k = K$ yılı yakınlarında maksimum değere ulaşır. Nihai test istatistiği olan T_0 değeri, $T(k)$ değerlerinin maksimum olanı seçilir.

$$T_0 = \max(T(k)) \quad 1 \leq k < n \quad (4.7)$$

SNHT homojenlik testinde %1 ve %5 anlam seviyesindeki kritik değerler Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 : SNHT homojenlik testinde %1 ve %5 anlam seviyesindeki kritik değerler (Jaruskova, 1994 ve Alexandersson, 1986).

	Zaman serisindeki kayıtların sayısı (n)					
	20	30	40	50	70	100
1%	9,56	10,45	11,01	11,38	11,89	12,32
5%	6,95	7,65	8,1	8,45	8,80	9,15

Bütün Y_i değerlerinin benzer bir dağılımdan geldiği şeklindeki sıfır hipotezi T_0 değerinin belirli bir limit değeri aşması halinde reddedilir ve zaman serisinin homojen olmadığı sonucuna varılır. Limit değer örnek büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir.

Von Neumann Oran Testi: Von Neumann Oran Testinde, diğer homojenlik testlerinden farklı olarak, H_0 hipotezine göre veriler rasgele dağılmamıştır. Von Neumann Oran Testinin hassaslığı, verinin doğal yapısındaki homojenliğin ayrılığının tespitindedir. Halbuki diğer üç test sıçramaya hassasiyet göstererek homojenlikten ayrılmayı incelemektedir (Cengiz, 2005). Bu test, homojenliğin bozulduğu kırılma yılı hakkında bilgi vermez (Wijngaard ve diğ., 2003). Von Neumann oran testinde N , ardarda (yıldan yıla) varyansın ortalama karesel oranını belirtir. N değeri aşağıdaki denklemlerle bulunur.

$$N = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (Y_i - Y_{i+1})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (4.8)$$

Von Neumann oran testinde %1 ve %5 anlam seviyesindeki kritik değerler Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4 : Von Neumann oran testinde %1 ve %5 anlam seviyesindeki kritik değerler.

	Zaman serisindeki kayıtların sayısı (<i>n</i>)					
	20	30	40	50	70	100
1%	1,04	1,2	1,29	1,36	1,45	1,54
5%	1,3	1,42	1,49	1,54	1,61	1,67

Eğer hesaplanan *N* değeri, kritik *N* değerini geçerse H_0 hipotezi kabul edilir ve zaman serisinin homojen olduğu sonucuna varılır.

4.5 Çift Toplam Eğrisi Analizi

Çift Toplam Eğrisi Analizi, hidrometeorolojik verilerdeki hataların düzeltilerek verilerin homojenliğini sağlamak için literatürde sıklıkla kullanılır. Yağış verileri çeşitli nedenlerle meydana gelen hatalardan ötürü homojenlik özelliklerini kaybetmiş olabilirler. Bu hatalar rastgele ve sistematik olmak üzere iki tipte gruplandırılabilir. Rastgele ve örnekleme hatası olarak tanımlanan hatalar, gözlemlerdeki yanlış okumalardan kaynaklanır. Sistematik hatalar ise istasyon konumundaki değişiklikler, ölçüm cihazının yanlış yerleştirilmesi, şehirleşme ve benzeri sebeplerden dolayı meydana gelebilir. Bu tür hatalarda gözlenen değerler her zaman gerçek değerlerden daha az veya her zaman daha büyüktür. Dolayısıyla bu tür hataların düzeltilerek yağış verilerinin homojenliği sağlanabilir. Bu düzeltme için Çift Toplam Eğrisi Analizi kullanılır. Bu teknik tutarsız yağış verilerini tespit etmek ve düzeltmek için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çift toplam eğrisi analizinde, bir istasyonun değerlerinin kontrolü, o istasyonun yıllık veya aylık toplam değerlerinin ve o istasyona komşu bir grup istasyonun aynı süredeki ortalama yıllık veya aylık toplam değerlerinin karşılaştırılmasıyla yapılmaktadır. Şekil 4.2'de böyle bir analizin grafiği görülmektedir.



Şekil 4.2 : Çift toplam eğrisi metodu (Usul, 2008).

Grafikte görülen eğim değişikliği o istasyonun yağış rejiminde bir değişiklik olduğunu anlatır. Meteorolojik bir değişiklik bütün istasyonları birden etkileyeceği için bir eğim değişikliğine sebep olmaz. Dolayısıyla burada görülen kırılma sistematik bir hatadan gelmektedir ve eğim değişikliğinden sonraki değerler eski eğrinin uzantısına getirilmelidir. Hatalı değerler (eğim değişikliğinden sonraki), grafikteki doğruların eğimlerinin oranı ile aşağıdaki denklem kullanılarak düzeltilir.

$$P_{(düzeltilen)} = \frac{M_a}{M_o} P_{(gözlenen)} \quad (4.9)$$

Burada M_a son kısmın eğimini, M_o düzeltme yapılan kısmın eğimini gösterir.

4.6 Yağış Verilerinin Homojenlik Sonuçları

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden 196 büyük klima istasyonuna ait aylık yağış verileri elde edilmiştir. Bu istasyonlara ait verilerin tek tek incelenmesi sonucunda 1974-2014 yılları arasındaki gözlem süresi ele alındığında istatistiksel açıdan en uygun (en uzun ve en fazla sayıda) veri setlerine ulaşılabildiği görülmüştür. İlk olarak, 1974-2014 yılları arasındaki 40 yıllık gözlem süresi ele alındığında 36 adet yağış istasyonunun gözlem sürelerinin az olması veya yağış verilerinde eksiklik bulunmasından ötürü çalışmanın dışında tutulmuştur.

Bu kısımda, 1974-2014 yılları arasındaki gözlem süresinde Türkiye geneline homojen bir şekilde dağılmış 160 meteoroloji istasyonuna ait yağış verileri SNHT, Pettit, Buishand ve Von Neumann oran testlerine tabi tutulmuş ve homojenlikleri

kontrol edilmiştir. İstasyonlara ait yağışların homojenlik kontrolleri yıllık toplam yağışlar üzerinden yapılmıştır. Çalışmanın bu kısmında kullanılan yağış istasyonlarına ait bilgiler Ek A'da verilmiştir.

Bu çalışmada homojenlik analizleri için R istatistiksel yazılım programı kullanılmıştır. Türkiye genelinde belirlenen yağış istasyonlarına uygulanan bu dört homojenlik testi sonuçlarına göre, testlerin en az birisinde homojen olmadığı belirlenen istasyonlara ait verilerin homojen olmadığı kabulü yapılmıştır. Bu kabul gözönünde bulundurularak tüm istasyonlar belirtilen dört homojenlik testine tabi tutulmuştur. Genel değerlendirme sonucunda 160 yağış istasyonundan 44 tanesinin uygulanan dört homojenlik testinin en az birisinden geçmediği yani verilerinin homojen olmadığı belirlenmiştir (%5 önem seviyesinde). Pettitt testine göre 160 istasyondan 25 tanesi homojen olmayan kayıtlar içermektedir (Şekil 4.3a). Buishand testine göre 13 istasyondaki kayıtlar homojen değildir (Şekil 4.3b). SNHT testine göre 25 istasyondaki kayıtlar homojen değildir (Şekil 4.3c). Von Neumann Oran testine göre ise 22 istasyon homojen olmayan kayıtlar içermektedir (Şekil 4.3d). Çizelge 4.5'de özetlenen sonuçlara göre belirtilen dört testten de geçmeyen, yani homojen olmayan 5 adet istasyon tespit edilmiştir (Nallıhan, Sinop, Ardahan, Kars ve Mardin İstasyonları) (Şekil 4.3e).

Çizelge 4.5, istasyonlar için hesaplanan test istatistiklerinin maksimum değerlerini ve bu maksimum değerlerin oluştuğu yılları göstermektedir. Çizelge 4.5'te verilen istatistiki bilgilerden Pettitt ve Buishand testlerinin yakaladığı kırılmalar çoğunlukla 1974-2014 ortalarına denk gelirken, SNHT genellikle çalışma periyodunun başlangıç ve bitişine yakın yerlerde kırılmalar tespit etmiştir. Bu da, çalışmada kullanılan testlerin kırılma yıllarını yakalama hususunda göreceli hassaslıklara sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.5 : Homojen olmayan yağış istasyonları ve homojenlik testleri sonuçları.

İstasyon Numarası	İstasyon	Test İstatistiği (Kırılma Yılı)			Test İstatistiği
		Pettitt Testi (K)	SNHT (T ₀)	Buishand Testi (Q)	Von Neumann Oran Testi
17015	Akçakoca	266 (1989)	11.9 (1989)	10.918 (1989)	-
17020	Bartın	178 (1994)	-	8.627 (1994)	-
17026	Sinop	240 (1986)	13 (1986)	10.864 (1986)	1.15
17030	Samsun	202 (1986)	8.45 (1986)	8.772 (1986)	-
17034	Giresun	184 (1999)	-	-	-
17038	Trabzon	202 (1987)	-	-	1.48
17040	Rize	171 (1984)	-	-	-
17045	Artvin	208 (1987)	8.31 (1984)	8.654 (1987)	-
17046	Ardahan	295 (2001)	18.5 (2001)	12.991 (2001)	1.17
17052	Kırklareli	-	8.52 (2013)	-	-
17054	Çorlu	-	8.34 (2008)	-	-
17074	Kastamonu	-	11.1 (2008)	-	1.26
17080	Çankırı	-	-	-	1.37
17089	Bayburt	218 (1994)	-	8.652 (1994)	-
17097	Kars	336 (2000)	21.7 (2000)	14.328 (2000)	1
17099	Ağrı	198 (1995)	-	8.403 (1995)	1.43
17100	İğdir	176 (2000)	-	-	-
17110	Gökçeada	184 (1993)	-	-	-
17116	Bursa	192 (1996)	9.7 (2009)	-	-
17145	Edremit	-	10 (2008)	-	-
17150	Balıkesir	-	10.3 (2008)	-	1.46
17190	Afyon	172 (1995)	-	-	-
17205	Tatvan	-	-	-	1.31
17208	Bitlis	182 (1996)	-	-	1.29
17246	Karaman	170 (1981)	8.93 (1981)	-	-
17250	Niğde	-	8.75 (2008)	-	1.42
17275	Mardin	232 (1988)	10.9 (1988)	10.323 (1988)	1.43
17285	Hakkari	-	-	-	1.47
17608	Uzunköprü	-	11.4 (2013)	-	1.28
17622	Bafra	-	9.98 (2012)	-	-
17674	Gönen	-	9.93 (2008)	-	-
17679	Nallıhan	304 (1998)	15.3 (1998)	12.355 (1998)	0.665
17716	Zara	-	10.2 (2011)	-	1.33
17730	Keskin	-	-	-	1.42
17748	Simav	196 (1981)	11 (1981)	8.524 (1981)	-
17754	Kulu	181 (1999)	-	-	-
17822	Ödemiş	-	8.67 (1981)	-	1.48

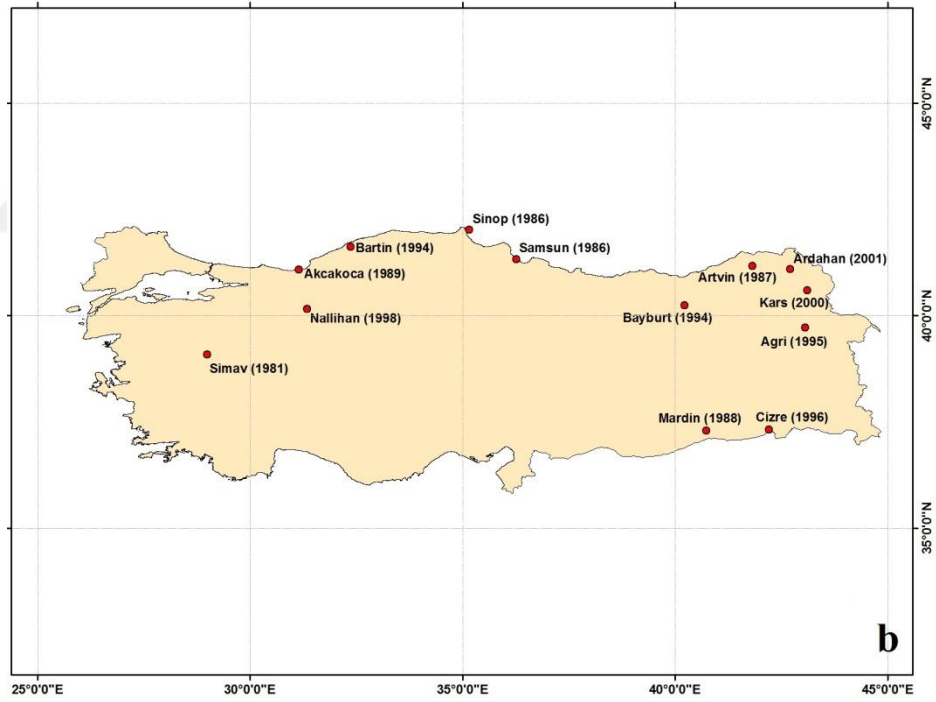
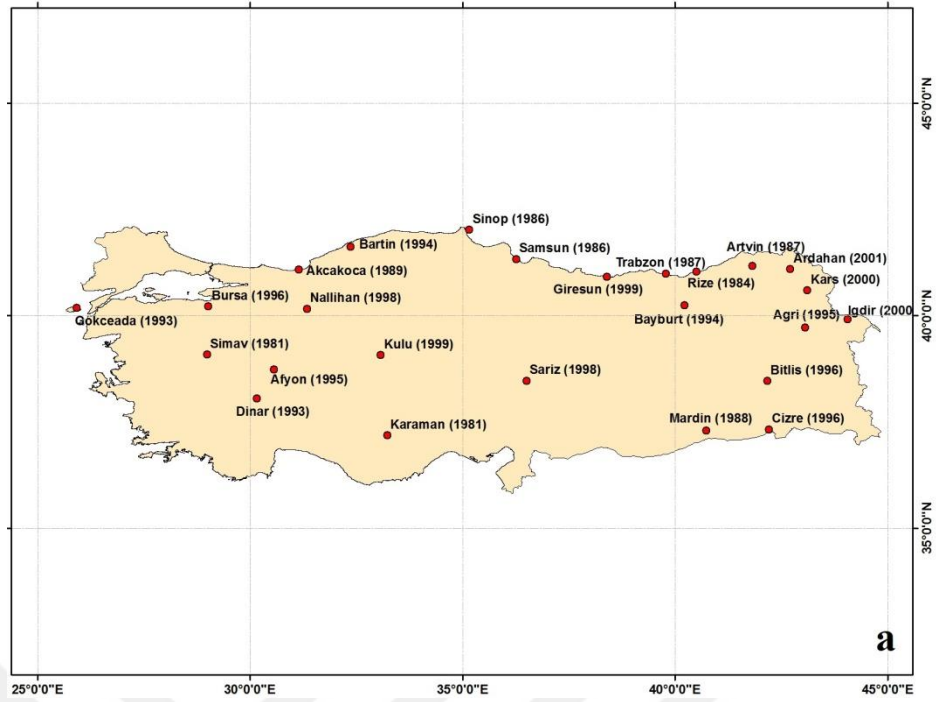
Çizelge 4.5 (devam): Homojen olmayan yağış istasyonları ve homojenlik testleri sonuçları.

İstasyon Numarası	İstasyon	Test İstatistiği (Kırılma Yılı)			Test İstatistiği
		Pettitt Testi (K)	SNHT (T ₀)	Buishand Testi (Q)	Von Neumann Oran Testi
17832	İlgın	-	-	-	1.42
17840	Sarız	182 (1998)	9.03 (2010)	-	1.48
17862	Dinar	168 (1993)	-	-	-
17880	Başkale	-	-	-	1.41
17884	Milas	-	-	-	1.3
17900	Cumra	-	8.11 (1977)	-	-
17950	Cizre	206 (1996)	8.48 (1996)	9.367 (1996)	-

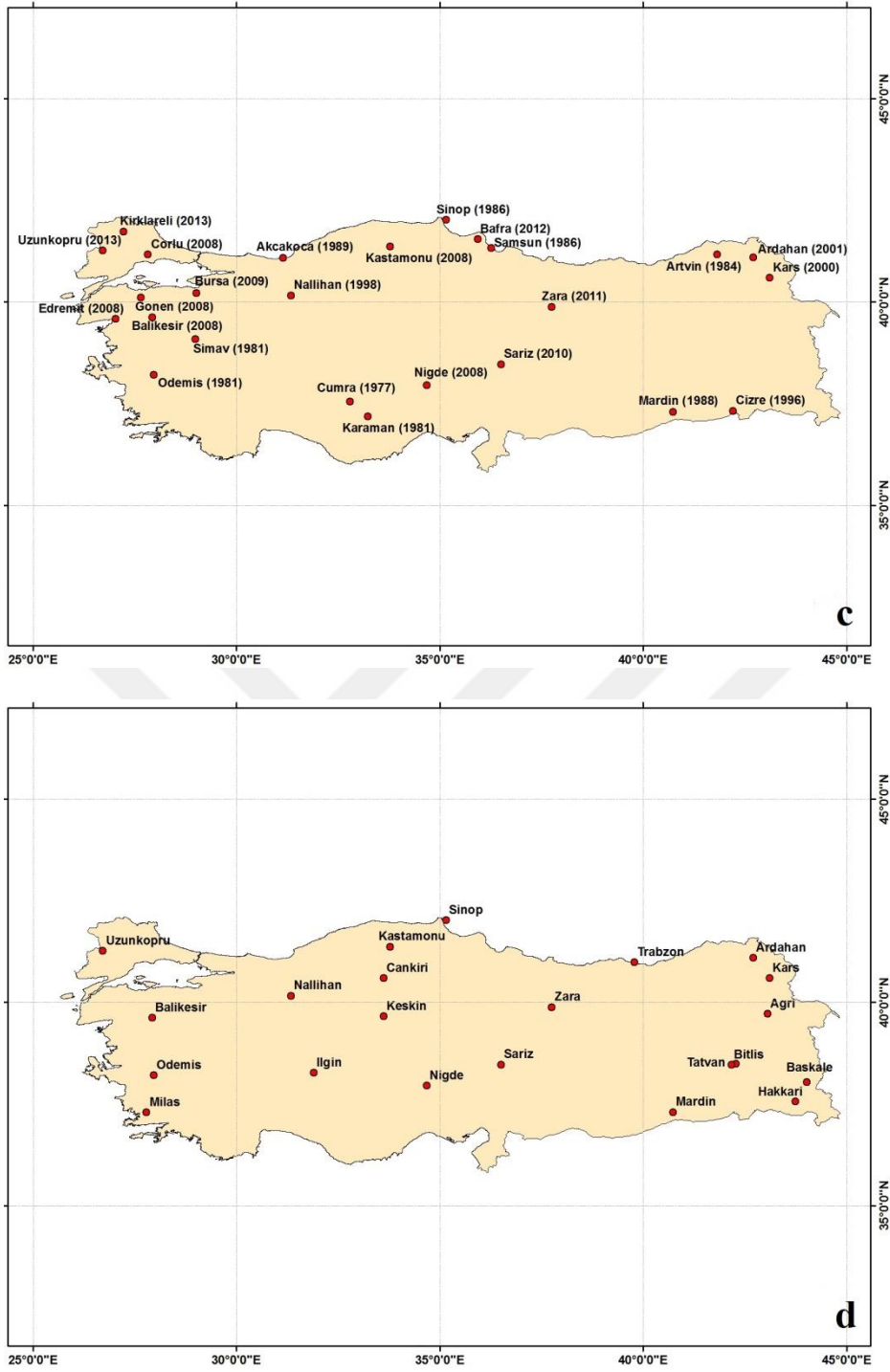
*%5 önem seviyesinde Pettitt, SNHT, Buishand ve Von Neumann Oran testleri için kritik değerler sırasıyla; 167, 8.10, 8.07 ve 1.49'dur.

Beklenmedik özel bir nedeni yakalamak veya gerekli homojenlik düzeltmesini doğrulamak için homojen olmayan istasyonların dağılımını görsel olarak incelemek önemlidir. Bu amaçla, Şekil 4.3'te, uygulanan homojenlik testlerine göre homojen olmayan istasyonların dağılımı haritalandırılmıştır.

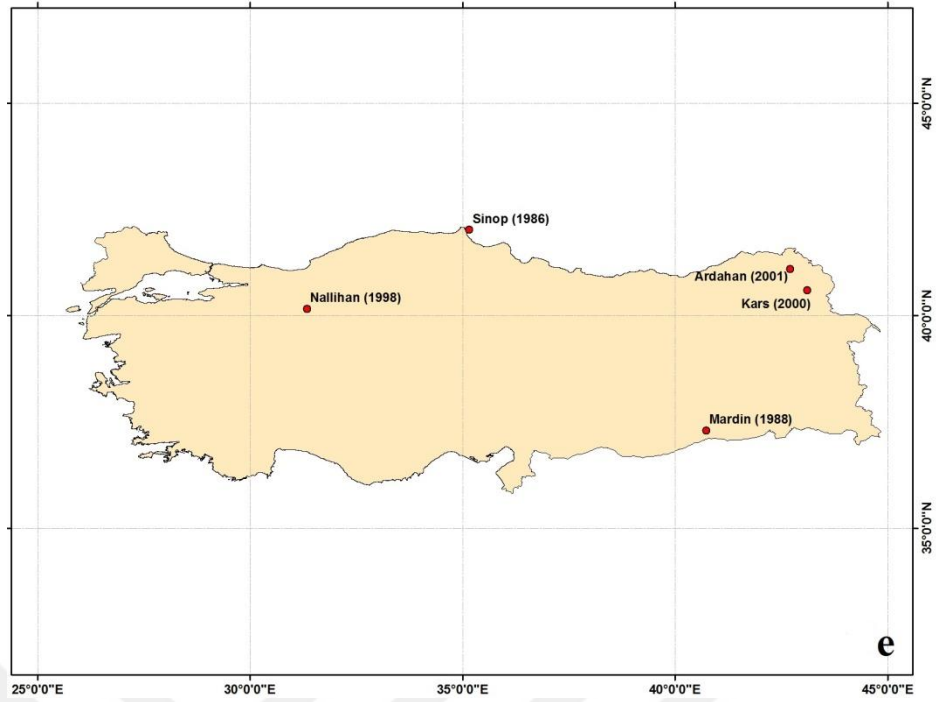
Pettitt testi (Şekil 4.3a), Buishand testinin iki katı kadar homojen olmayan istasyon (25 istasyon) tespit etmiştir. Buishand testine göre (Şekil 4.3b) homojen olmadığı tespit edilen 13 istasyonun, Pettitt testinde tespit edilen homojen olmayan istasyon setinde yer aldığı tespit edilmiştir. SNHT homojenlik testi sonuçlarına göre homojen olmayan 25 istasyonun 16'sının serinin sonlarına doğru olan kırılmaları yakaladığı tespit edilmiştir (Şekil 4.3c) (1994 yılı ve sonrası). Ayrıca 2008 yılı, 6 istasyonda kırılmanın görüldüğü yıl olarak dikkat çekmektedir. Von Neumann oran testinde, diğer üç homojenlik testi tarafından yakalanamayan 7 adet homojen olmayan istasyon (Çankırı, Tatvan, Hakkari, Keskin, İlgın, Başkale ve Milas) tespit edilmiştir (Şekil 4.3d).



Şekil 4.3 : Homojen olmayan istasyonlar a) Pettitt testine göre, b) Buishand testine göre, c) SNHT testine göre, d) Von Neumann oran testine göre, e) Dört teste göre de homojen olmayan istasyonlar.



Şekil 4.3 (devam) : Homojen olmayan istasyonlar a) Pettitt testine göre, b) Buishand testine göre, c) SNHT testine göre, d) Von Neumann oran testine göre, e) Dört teste göre de homojen olmayan istasyonlar.



Şekil 4.3 (devam) : Homojen olmayan istasyonlar a) Pettitt testine göre, b) Buishand testine göre, c) SNHT testine göre, d) Von Neumann oran testine göre, e) Dört teste göre de homojen olmayan istasyonlar.

Bundan sonraki aşamada Pettitt, Buishand, SNHT ve Von Neumann oran testlerine göre homojen olmadığı belirlenen yağış gözlem istasyonlarına ait verilerin Çift Toplam Eğrisi metodu kullanılarak homojen hale getirilmesine çalışılmıştır.

Yağış Verilerinin Homojen Hale Getirilmesi:

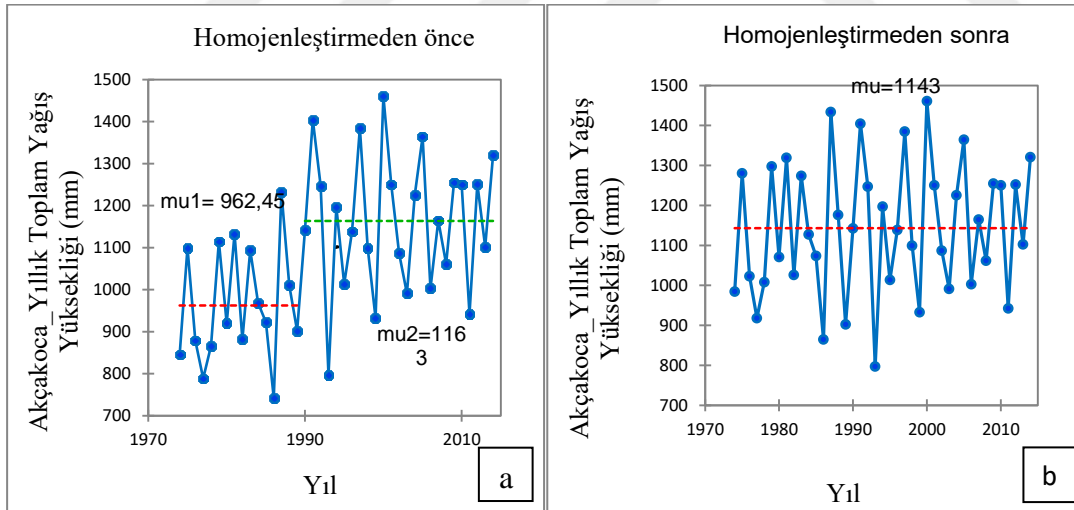
Çalışmanın bu bölümünde, uygulanan homojenlik testleriyle homojen veri setlerine sahip olmadığı tespit edilen istasyonlara ait verilerin Çift toplam eğrisi metodu kullanılarak homojenleştirilmesi sağlanmıştır. Bu amaçla, homojen olmayan yağış gözlem istasyonlarının yıllık toplam yağış verileri ve bu istasyonlara komşu olan homojen ve kesintisiz veriye sahip istasyonların (çalışmada en az dört adet komşu istasyon seçilmiştir) aylık yağış verileri hesaba katılarak çift toplam eğrisi metodu uygulanmış ve homojen olmayan istasyonlara ait aylık yağış verilerindeki hatalar düzeltilmeye çalışılmıştır. Çift Toplam Eğrisi analizi uygulandıktan sonra yapılan homojenlik testlerinden elde edilen sonuçlara göre homojen olmayan 44 istasyonun 42'sinin verileri homojenleştirilebilmiş, 2 tanesinin verileri homojenleştirilememiştir (Ödemiş ve Nallıhan). Hatalar düzeltildikten sonra elde edilen yeni veri setlerinin homojenlik analizleri yukarıda açıklanan yöntemlerle tekrar kontrol edilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda elde edilen yeni aylık yağış değerlerinin homojen özellik taşıdığı sonucuna varılmıştır.

Çift Toplam Eğrisi analizine tabi tutulan herbir istasyonda uygulanan işlemleri örneklendirmenin faydalı olacağı düşünülmüştür. Bu amaçla, Türkiye'nin kuzeybatısındaki Akçakoca Meteoroloji İstasyonu rasgele seçilmiş ve düzeltme işleminden önceki homojenlik test sonuçları Çizelge 4.6 ve Şekil 4.4a' da verilmiştir. Şekil 4.4a'da görüldüğü üzere 1989 yılında bir sıçrama tespit edilmiştir. Çift toplam eğrisi metodundan sonra elde edilen yeni veri setinin homojen olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.4b).

Çizelge 4.6 : Akçakoca Meteoroloji İstasyonu için düzenlemeden önceki homojenlik test sonuçları.

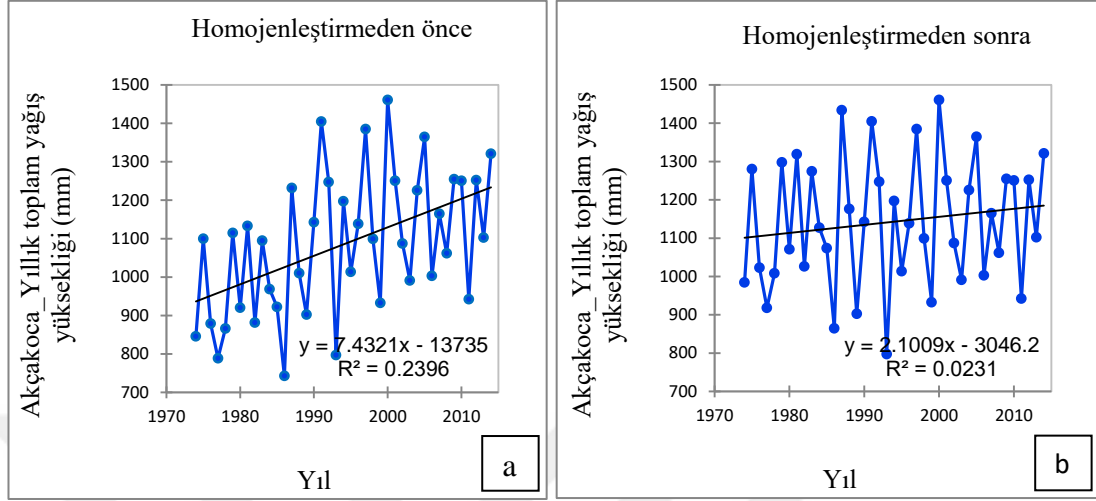
Homojenlik Testi	Test İstatistiği	Kırılma Yılı	0.05 Güven Aralığındaki Kritik Değerler
SNHT	11.92	1989	8.10
Pettit Testi	266	1989	167
Buishand Testi	10.92	1989	8.07



Şekil 4.4 : SNHT, Pettitt and Buishand Test Sonuçları (a) Düzeltmeden önceki homojenlik test sonuçları (b) Düzeltmeden önceki homojenlik test sonuçları.

Yukarıdaki grafiklerden ve test sonuçlarından da görüldüğü üzere Akçakoca Meteoroloji İstasyonuna ait yağış verilerindeki hatalar başarıyla düzeltilmiş olup (Şekil 4.4b), yeni veriler söz konusu homojenlik testlerini (%95 güven aralığında) başarıyla geçmiştir. Akçakoca Meteoroloji İstasyonuna ait yağış verileri homojen hale getirilirken bu istasyonun yakınında bulunan Sakarya, Düzce, Bolu ve

Zonguldak meteoroloji istasyonlarına ait yağış verilerinden yararlanılmıştır. Yapılan homojenlik kontrolleri ve verilerdeki düzeltmelerin yapılmasından sonra çalışmada kullanılacak yağış gözlem istasyonları bu şekilde belirlenmiştir.



Şekil 4.5 : Akçakoca Meteoroloji İstasyonu yağış verilerinin doğrusal regresyon eğrileri (a) Düzeltmeden önceki homojenlik test sonuçları (b) Düzeltmeden sonraki homojenlik test sonuçları.

Şekil 4.5, homojenleştirmeden önce ve sonraki, Akçakoca İstasyonu yağış verilerinin doğrusal regresyon eğrilerini göstermektedir. Şekil 4.5'deki grafiklerden de görüleceği üzere homojenleştirme yapıldıktan sonra regresyon eğrisinin eğiminde gözle görülür bir azalma olmuştur. Bu durum grafiklerde gösterilen denklemlerdeki eğim katsayılarından da anlaşılmaktadır.

Metadataya Dayalı Yorumlar:

Homojen olmayan veri setlerinde metadata (veri bilgi) kullanılarak verilerdeki homojensizliğin altında yatan nedenler hakkında bilgi sahibi olunabilir. Metadata, veri hakkındaki bilgidir. Yani üretilen veri hakkında gözlem zamanındaki değişimleri içeren bilgidir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen bilgiler doğrultusunda, veri ağımız için sınırlı miktarda veri bilgisi elde edilebilmiştir (12 istasyon). Elde edilen bu veri bilgileri Çizelge 4.7'de verilmiş olup, homojen olmayan istasyonlar için homojensizlik nedenleri yorumlanmaya çalışılmıştır.

Çizelge 4.7 : Homojen olmayan istasyonlara ait metadatalar.

İstasyon No	İstasyon Adı	Kırılma Yılı	Veri Bilgi
17020	Bartın	1994	2013 yılında gözlem istasyonunun konumu değişmiştir (5 m öteye taşınmış).
17030	Samsun	1986	Gözlem istasyonunun yeri iki defa değişmiştir. İlkinde 1973 yılında (16 km öteye), ikincisinde 2015 yılında (100 m kuzeydoğuya) taşınmıştır.
17034	Giresun	1999	1984 yılında gözlem istasyonunun yeri değişmiştir.
17038	Trabzon	1987	2006 yılında gözlem istasyonunun yeri değişmiştir.
17045	Artvin	1984, 1987	Gözlem istasyonunun yeri üç defa değişmiştir. İlkinde 1983 yılında (300 m uzağa, 597 m rakımdan 628 m rakıma 31 m yükseğe), ikincisinde 1989 yılında, üçüncüsünde 2009 yıllarında gözlem istasyonunun yerinde değişiklik yapılmış.
17046	Ardahan	2001	1994 yılında gözlem istasyonunun yeri değişmiştir.
17054	Çorlu	2008	2014 yılında gözlem istasyonu kuzeyde 2.5 km öteye taşınmıştır.
17150	Balıkesir	2008	2003 yılında gözlem istasyonunun yeri değişmiştir.
17608	Uzunköprü	2013	2014 yılında gözlem istasyonu kuzeydoğuda 2.5 km öteye taşınmıştır.
17622	Bafra	2012	1982 yılında gözlem istasyonunun yeri değişmiştir.
17748	Simav	1981	2012 yılında gözlem istasyonunun yeri değişmiştir.
17900	Cumra	1977	1997 yılında gözlem istasyonunun yeri değişmiştir.

Bir istasyondaki homojensizliğin arkasında yatan nedenleri anlayabilmek için metadataların kullanımına en iyi örnek olarak veri ağında bulunan Artvin ve Uzunköprü istasyonları verilebilir. Kırılma yılları ve istasyonların taşınma yılları çok yakın olan bu istasyonlar doğrudan nedeni açıklayan örnekler olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle, Artvin'deki ölçüm istasyonu, ilk olarak 1983 yılında 300 m uzaklıkta ve 31 m yükseklikteki bir yere taşınmış ve daha sonra 1989 ve 2009'da diğer istasyon yeri değişiklikleri gerçekleşmiştir. İstatistiksel testlerimize göre tespit edilen kırılma yıllarının (1984 ve 1987 yılları) rasat istasyonunun yer değiştirdiği 1983 ve 1989 yıllarına yakın olması bu homojensizlik durumunun istasyon yeri değişikliği nedeniyle olduğunu göstermektedir. Uzunköprü istasyonunda da benzer bir durum görülmektedir. Çizelge 4.7'de verilen homojen olmayan 12 istasyondan 6 tanesinde (Bartın, Trabzon, Çorlu, Simav, Cumra ve Uzunköprü istasyonları) istasyon yeri değişikliğinden önce kırılmanın olduğu yıllar tespit edilmiştir. Kırılma yılı ile istasyon yeri değişikliği yılı arasındaki sürenin 1 yıldan 31 yıla kadar değiştiği belirlenmiştir. Uzunköprü ve Çorlu istasyonlarında bu durum sırasıyla 1 ve 6 yıl olarak tespit edilmiştir. Bartın, Trabzon, Simav ve Cumra istasyonlarının taşınma yılları ve kırılma yılları arasında 19 yıldan fazla bir zaman görülmektedir. Bu

durumda çevresel faktörlerin verilerin homojensizliğinde rol oynamış olabileceğinden bahsedilebilir. Bartın istasyonunda kırılma yılı 1994 olarak tespit edilmiş ve 2013 yılında istasyon yerinde 5 metre gibi ihmal edilebilir bir hareket gözlemlenmiştir. Benzer durum diğer üç istasyonda mevcuttur (Trabzon 1987-2006, Simav 1981-2012, Cumra 1977-1997).

Çizelge 4.7’de görüleceği üzere Artvin ve Trabzon istasyonlarında 1987 yılında, Çorlu ve Balıkesir istasyonlarında 2008 yılında kırılmalar görülmüştür. Veri setlerinde görülen kırılma yıllarının birden çok istasyonda eş zamanlı görülmesi, bu kırılmaların iklimin kendi doğal kırılmaları olduğunu düşündürmektedir.





5. GENETİK PROGRAMLAMA METODU İLE KURAKLIK TAHMİNİ

5.1 Giriş

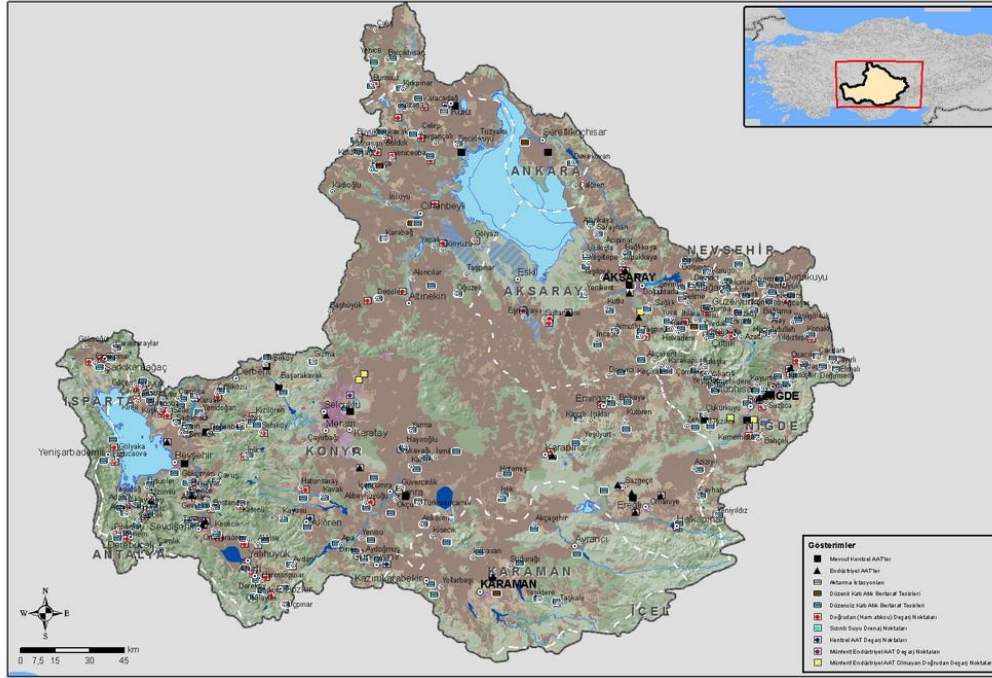
Tez çalışmasının bu bölümünde, tahmin değişkenleri olarak atmosferik salınım indislerinden NAOI, SOI, AOI ve kuraklık indislerinden PDSI verileri kullanılarak 3, 6, 9 ve 12 ay ötelemeli PDSI indis değerlerinin tahmini amaçlanmıştır. 1970-2016 yılları arasındaki aylık NAOI, SOI, AOI atmosferik salınım indisleri ve PDSI kuraklık indisleri girdi olarak belirlenerek ve Konya Kapalı Havzası'ndaki 8 istasyonun herbiri için 3, 6, 9 ve 12 ay ötelemeli PDSI değerlerinin tahmini için çeşitli senaryolar üretilecektir. Daha sonra Lineer Genetik Programlama algoritması kullanan Discipulus yazılım programında uygulamalar yapılacak ve elde edilen sonuçlar yorumlanacaktır.

Kuraklık tahmini, kuraklık riski ve sürdürülebilir su kaynakları yönetimi için önemli bir bileşendir. Son yıllarda artan su ihtiyacı ve yaklaşmakta olan iklim değişikliği nedeniyle, kuraklık tahmin modelleri son zamanlarda oldukça dikkat çekmektedir. Son yıllarda pek çok kuraklık tahmin modelleri geliştirilmiştir (Mishra ve Desai, 2005; Cancelliere ve diğ, 2007; Modarres, 2007; Fernandez ve diğ, 2009; Mishra ve Singh, 2011; Özger ve diğ, 2012). Literatürde genetik programlama (GP) yaklaşımının farklı varyantları; yağış-akış modellemesi (Dorado ve diğ, 2003; Nourani ve diğ, 2012), buharlaşma (Kisi ve Güven, 2010), birim hidrograf tayini (Rabuñal ve diğ, 2007), sediment taşınımı (Aytek ve Kisi, 2008), deniz seviyesi tahmini (Ghorbani ve diğ, 2010), akım tahminleri (Danandeh Mehr ve diğ, 2013) ve diğerleri gibi su kaynakları mühendisliğinde geniş modelleme problemlerinin çözülmesi için sağlam ve açık bir yöntem olarak telaffuz edilmiştir.

5.2 Çalışma Alanı ve Uygulama Verileri

Türkiye'nin Orta Anadolu Bölgesinde yer alan Konya Kapalı Havzası, yaklaşık 55,000 km² alan kaplamaktadır ve kapladığı bu alan da Türkiye'nin yaklaşık %7'sini

teşkil etmektedir (Şekil 5.1). Havzanın kuzeyinde Kızılırmak ve Sakarya Havzaları, güneyinde Doğu Akdeniz Havzası, doğusunda Kızılırmak ve Seyhan Havzaları, batısında Antalya ve Akarçay Havzaları yer almaktadır. Konya Kapalı Havzası sınırları içerisinde Konya, Aksaray, Ankara, Antalya, Isparta, İçel, Karaman, Niğde ve Nevşehir illerine bağlı bölgeler bulunmaktadır.

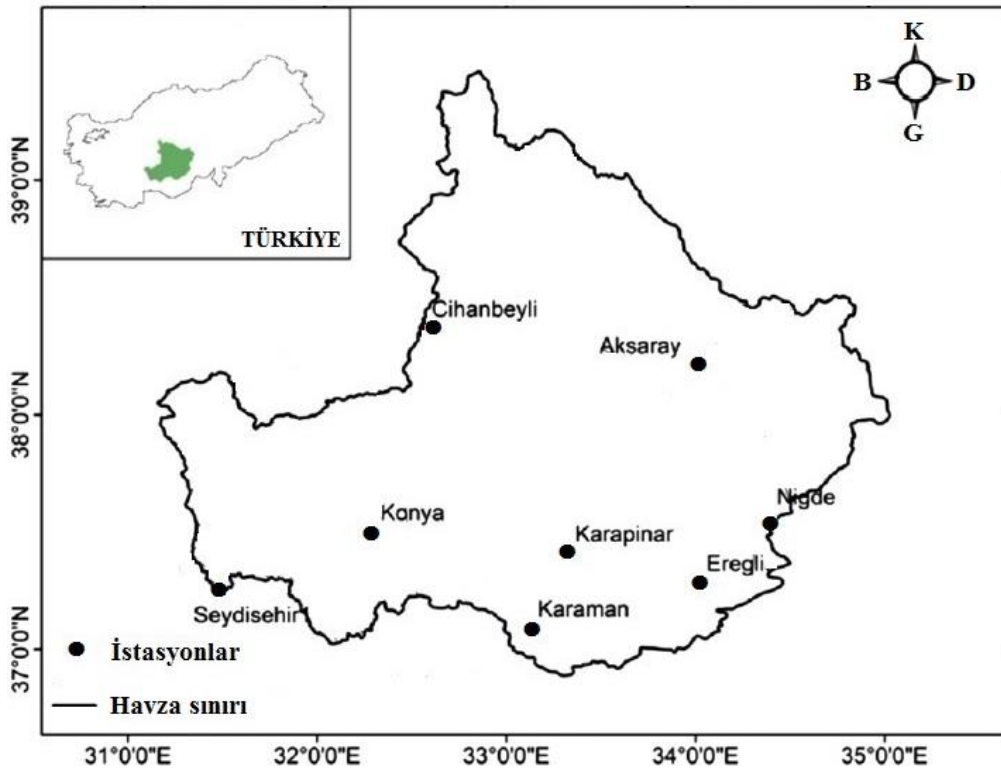


Şekil 5.1 : Konya Kapalı Havzası.

Konya Kapalı Havzası, Türkiye'de yıllık yağış miktarı en düşük olan bölgelerin başında gelmektedir. Havzadaki toplam yıllık yağış 286 mm'den 740 mm'ye kadar değişir. Yüzeysel olarak büyük bir alana sahip olması nedeniyle farklı iklimlerin görülebildiği Konya Kapalı Havzası'nın güneyinde Akdeniz iklimi; orta ve kuzey kesimlerinde ise karasal iklim hakimdir. Yağışlar ilkbahar ve kış aylarında görülmektedir. Havza sınırları içerisinde yer alan Niğde ilinde karasal iklim özellikleri görülmektedir. Aksaray ilinde de yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk olan karasal iklim tipi hakimdir. Yağışlar genellikle ilkbahar ve kış aylarında görülmektedir. Gece-gündüz ve yaz-kış sıcaklık farkları çok fazladır. Havzanın en yağışlı bölgesi batı kısmı, Beyşehir-Seydişehir dolaylarıdır. Bu yörede aylık yağış miktarı 135 mm'yi bulmaktadır. Havza sınırları içerisinde yer alan Karaman ilinde de karasal iklim hakim olup, sıcak ve kurak geçen yaz aylarında yağış miktarı 2.8 - 6.4 mm'ye kadar düşmektedir (TÜBİTAK MAM ve Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010).

Sulak alanların çeşitli nedenlerle işlevini kaybetmesi, yeraltı su seviyesinin düşmesi, habitat kaybı ve toprağın tuzlulaşması havzanın ana sorunlarını oluşturmaktadır. Tekrarlayan kuraklıklar da bu sorunları daha kötü bir duruma sokmaktadır. Havzanın hidrolojik, çevresel ve tarımsal sorunlarını en aza indirmek için detaylı kuraklık analizlerine ihtiyaç vardır (Doğan, 2013). Konya Kapalı Havzası'nda yapılacak kuraklık tahminlerinin gelecekte yaşanacak benzer kuraklıklara karşı alınacak önlemler konusunda kolaylık sağlayacağı tahmin edilmektedir.

Bu çalışmada, kuraklık tahmin değişkenleri olarak kullanılan NAOI (Kuzey Atlantik Salınım İndisi), SOI (Güneyli Salınım İndisi) ve AOI (Arktik Salınım İndisi) atmosferik salınım indislerinin 1970-2016 zaman aralığındaki değerleri NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)'nın web sitesinden elde edilmiştir. Kuraklık indisi olarak kullandığımız PDSI (Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi) kuraklık indislerine ait 1970-2016 periyodundaki Konya Kapalı Havzası'ndaki 8 istasyona ait veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'nden temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan Konya Kapalı Havzası'ndaki 8 istasyon Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Bu istasyonlara ait bilgiler Çizelge 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.2 : Çalışmada kullanılan istasyonlar.

Çizelge 5.1: Kuraklık analizleri için kullanılacak Konya Kapalı Havzası'ndaki istasyonlara ait rakım ve koordinat bilgileri.

İstasyon No	İstasyon	Enlem	Boylam	Rakım (m)
17191	Cihanbeyli	38,39	32,56	969
17192	Aksaray	38,23	34,05	965
17244	Konya	37,52	32,29	1031
17246	Karaman	37,11	33,13	1025
17248	Konyaereğli	37,3	34,03	1044
17250	Niğde	37,58	34,41	1211
17898	Seydişehir	37,25	31,5	1131
17902	Karapınar	37,43	33,33	1004

5.3 Genetik Programlama Metodu

Genetik programlama (GP), önceki muhtemel çözümleri ve dönüşüm operatörlerini kullanarak, incelenen sistemin yapılandırılmış bir temsilini üreten evrimsel bir hesaplama tekniğidir (Koza, 1992). İlk GP uygulaması John Koza tarafından 1992 yılında genetik algoritma (GA) kullanılarak çeşitli bilgisayar programlarının geliştirilmesi ile yapılmıştır. GA gibi GP kavramı da doğada meydana gelen evrim sürecinden esinlenerek, “en güçlünün hayatta kalması” ilkesini izler. Genetik algoritmanın aksine, çözümü bir bilgisayar programı veya genetik algoritmadaki bir dizi sayıya karşı bir denklemdir. GP'nin doğası, sistemin nasıl performans gösterdiğine ilişkin ek bilgi elde etmeyi sağlar. Diğer bir deyişle; giriş ve çıkış verileri arasındaki ilişkiye dair bir fikir verir (Nourani ve diğ., 2013). GP, ağaç temelli bir genomda aday çözümleri tutar ve dönüşüm operatörleri (çaprazlama ve mutasyon) ağaç esaslı genomlar üzerinde hareket eder (Koza, 1992).

GP, genetik algoritma tekniğinin uzantısı olarak geliştirilmiş bir teknik olup, birbirinden üretilen ve çözüme daha yakın programlar (bireyler) kümesinden oluşmaktadır. Her adımda bir öncekinden daha başarılı programların üretilmesi amaçlanır. GP, bilgisayarların problemi yüksek seviye adımdan başlayarak sonuca yönelik olarak problemi çözmesi işlemidir. GP'de tanım kümesine bağlı olmaksızın populasyon üremesi sağlanır ve çözüm elde edilir. Genetik programlamanın genetik algoritmadan farkı, yeni üretim (nesil) programlarını yine genetik işlemciler ile üreterek çözüme ulaşmayı hedeflemesidir.

GP, çıktının girdi değişkenleriyle nasıl ilişkili olduğunu en iyi açıklayan denklemi (sembolik biçimde) veya bilgisayar programını tahmin etmek için, genetik

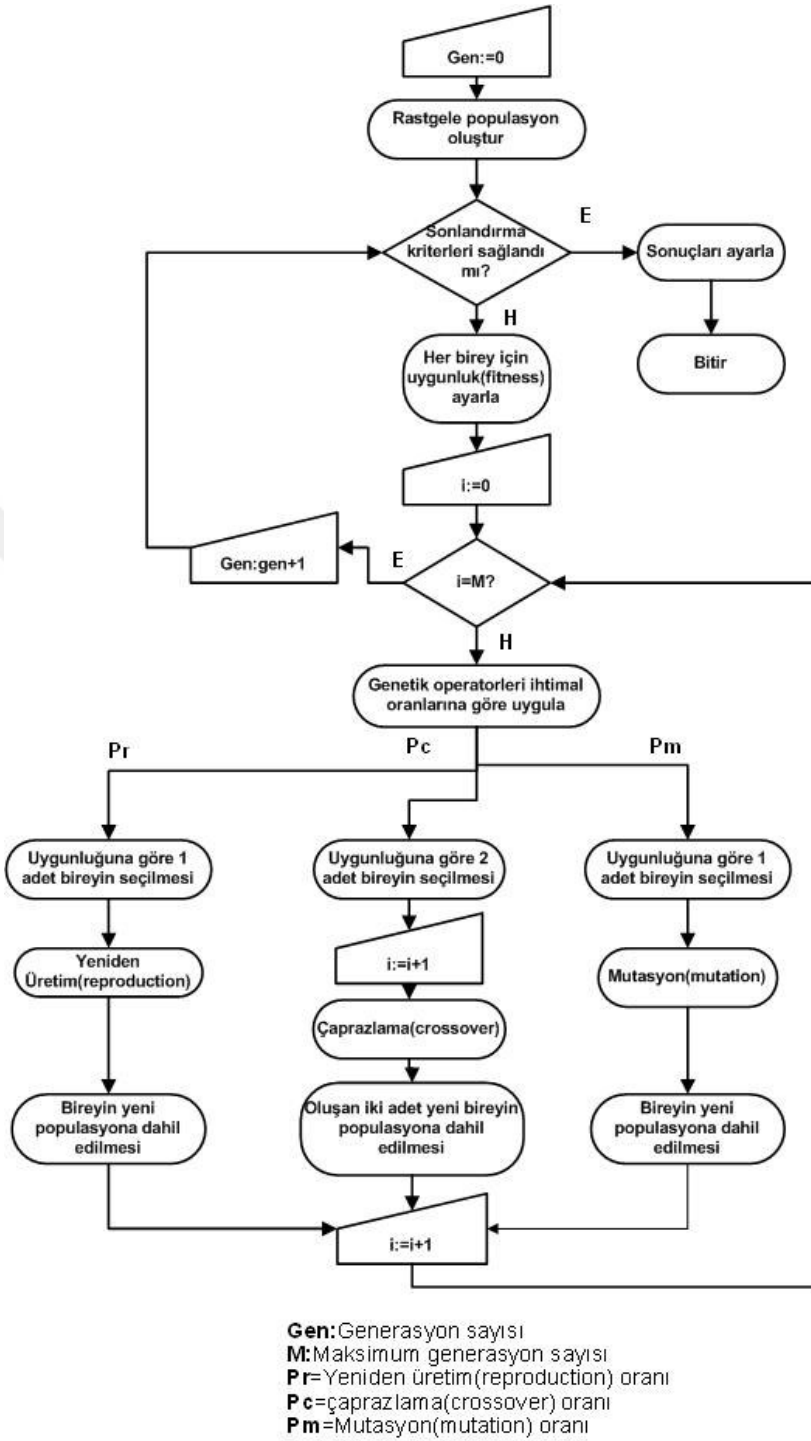
algoritmada olduğu gibi bit dizeleri yerine ayrıştırma ağaçlarında çalışır. Genetik programlamayla ilgili kavramlar hakkında daha detaylı bilgi Koza (1992)'de bulunabilir.

GP, bilgisayarlı evrim sürecinin işleyeceği rastgele oluşturulmuş bir bilgisayar programı popülasyonu ile başlar. Ardından, popülasyondan programlar rasgele seçilerek bir 'turnuva' veya rekabet gerçekleştirilir. GP, her programın kullanıcı tarafından belirlenen görevi nasıl yerine getirdiğini ölçer. Görevi en iyi yapan iki program turnuvayı kazanır. GP algoritması daha sonra iki kazanan programı kopyalar ve bu kopyaları çaprazlama ve mutasyon operatörleri vasıtasıyla iki yeni programa dönüştürür, yani kazananların artık 'çocukları' olur. Bu iki yeni çocuk programı, turnuvadaki iki kaybeden programın yerine program popülasyonuna yerleştirilir.

Çaprazlama, biyolojik çoğalmada görülen genetik materyal alışverişinden esinlenmiştir. Bir nesilden belirli sayıda çocuk üretilene kadar ve belirlenen bir sayıda nesil yaratılincaya kadar çocukların yaratılması (tekrar tekrar) devam eder. Tüm bu sürecin sonunda ortaya çıkan çocuklar (bir denklem ya da bir bilgisayar programı) sorunun çözümüdür. GP, böylelikle üreme, mutasyon ve çaprazlama gibi doğal genetik işlemleri takip ederek bir birey popülasyonunu tekrarlayan bir şekilde bir başka popülasyona dönüştürür. Şekil 5.3, Koza (1992) tarafından verilen GP'nin genel akış şemasını göstermektedir.

Programları temsil eden rastgele ağaçların bir popülasyonu başlangıçta oluşturulmuş ve genetik işlemler bu ağaçlar üzerinde iki ayrı kümenin yardımıyla bireyler üretmek üzere gerçekleştirilmiştir. Bunlar; terminal ve fonksiyon setidir.

Popülasyon, terminal kümesi ve fonksiyon kümesi kullanılarak genetik işlemleri gerçekleştirmek için başlangıçta ağaçlardan oluşan veri kümelerinden oluşturulmuş programlardır. Bir çalışma için belirlenen işlev, gelişmekte olan programlarda kullanılacak operatörlerden oluşur: toplama, çıkarma, mutlak değer, logaritma, karekök vs. gibi. Bir çalıştırma için ayarlanan terminal, işlev setinin çalıştığı değerlerden oluşur. Popülasyon büyüklüğü, popülasyon içinde evrim geçirilecek programların sayısıdır. Daha büyük popülasyon daha karmaşık sorunu çözebilir. Maksimum popülasyon büyüklüğü, bilgisayarın RAM'ına ve popülasyondaki programların uzunluğuna bağlıdır.



Şekil 5.3 : Genetik Programlamanın akış şeması (Arslan, 2005).

Genetik Programlama Akışı:

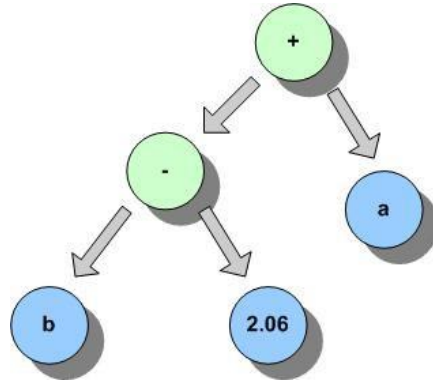
Genetik programlamada ilk olarak terminal ve fonksiyon kümeleri kullanılarak çözüm kümesi (birey havuzu-popülasyon) rasgele üretilir. Bu işlemin ardından durma kriteri sağlanana dek aşağıdaki işlemler tekrarlı şekilde devam ettirilir.

- Havuzda oluşan bireylerin herbirisinin kodladığı problem çözümünün kalitesinin değerlendirilmesi.
- Bu değerlendirmenin ışığında genetik işlemcileri uygulayarak havuzu değişikliğe uğratması.

Popülasyon içerisindeki bireylerin problemi çözebilme kabiliyetini bulmak amacıyla uyumluluk değerlendirmesi yapılır. Bireyler daha sonra uyumluluk değerlerine göre seçilerek çeşitli genetik işlemcilerle tabii tutulmaktadır. Bunlar uyumluluk değerlendirmesi, seçim, çaprazlama ve mutasyondur. Seçilen birey ağaçlarından rasgele iki düğüm seçilir ve bu iki noktadan alınan alt ağaçlar yer değiştirilerek çaprazlama gerçekleştirilir. Mutasyon ise belli bir olasılıkla gerçekleştirilir. Mutasyonda rasgele bir düğüm seçilir ve rasgele bir düğümlerle yer değiştirilir. Seçilen bireyler üzerinde çaprazlama ve mutasyon operatörleri belirli olasılıklarla uygulanarak bireyler bir sonraki popülasyona aktarılır. Yeni popülasyonun bu şekilde oluşturulur ve bir iterasyon tamamlandıktan sonra işlemler tekrar ettirilir. Birçok iterasyondan sonra, bir yada birden fazla çözüm ortaya çıkartılıp genetik programlama işlemleri bitirilir.

Genetik Programlama Bileşenleri:

-Terminal ve fonksiyonlar: Genetik programlamada bireyleri oluşturabilmek için terminaller ve fonksiyonlar kullanılır. Terminaller, problemin tanımlanmasında doğrudan etkin olan sabitler veya değişkenlerdir. Fonksiyonlar ise belli bir işlem mantığında terminalleri birleştirmeyi sağlar. Fonksiyonlar ve terminallerin anlamlı bir şekilde bir araya getirilmesiyle bireyler (kromozomlar) oluşur. Genetik programlamada kullanılan bireylerin yapısı dallanan bir ağaca benzemektedir. Terminaller, bu yapının bittiği kısımlara konumlanır. Fonksiyonlar ise birleşim noktalarında bulunurlar (Arslan, 2005). Şekil 5.4'de terminal ve fonksiyonlardan oluşturulmuş bir bireyin ağaçsal yapısı yer almaktadır. Şekilde + ve – fonksiyonları; a, b, 2.06 ise terminalleri göstermektedir.



Şekil 5.4 : Bireyin ağaçsal yapısı (Arslan, 2005).

-Birey havuzunun oluşturulması: Genetik programlarda başlangıç popülasyonları problem çözümüne ulaşmada çok önemli bir etken olduğundan dolayı probleme uygun başlangıç popülasyonu oluşturma yöntemi seçilmelidir. Bu yöntem, deneme yanılma yöntemi ile büyüme, doyurma, yarı-yarı dağıtma yöntemi gibi bazı başlangıç popülasyonu oluşturma yöntemleri arasından seçilebilir.

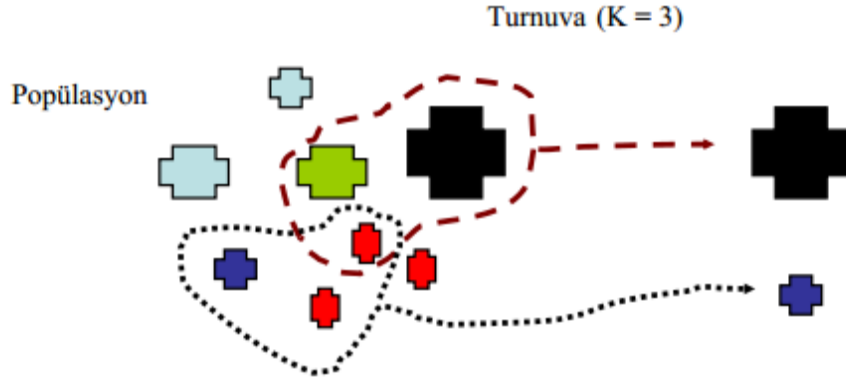
-Uyumluluk fonksiyonu: Nesildeki bireyler ele alınan problemin türüne göre işlevsel veya matematiksel sonuçlar verirler. Bu sonuçlar uyum diye adlandırılan, bireyin problemi çözebilme kabiliyetini gösteren bir tür sayısal niceliğe çevrilirler ve bu niceliğe göre sıralanırlar. Sıralanan bireylerin bir kısmı, yine çoğu kez uyumlarına dayanan bir prosedüre (genetik işlemciler) göre seçilirler. Bu temel genetik işlemciler; yeniden üreme, çaprazlama ve mutasyon olarak özetlenebilir (Arslan, 2005).

Uyumluluk fonksiyonu, popülasyondaki her bir bireyi parametre olarak alır ve bu bireylerin ortama uyumluluklarını karşılaştırabilmemizi sağlayacak şekilde uyumluluk değerlerini oluşturup geri döndürür.

-Seçim: Değişikliğe uğramış bir havuzdan bir sonraki kuşağa hangi bireylerin aktarılacağına seçimidir. Problem tipine göre turnuva seçimi, uyum-oranlı seçimi, sigma skalalı seçimi, sıralama seçimi, elitizm yöntemlerinden biri seçim yöntemi olarak seçilebilir. Bu yöntemlerden turnuva yöntemi, bu tez çalışmasında kullandığımız Discipulus'un kullandığı yöntemdir.

Turnuva seçiminde popülasyon içerisinde rastgele n adet birey seçilir. Kaç tane birey seçileceği de popülasyonun büyüklüğüne göre değişir. Popülasyondaki birey sayısı

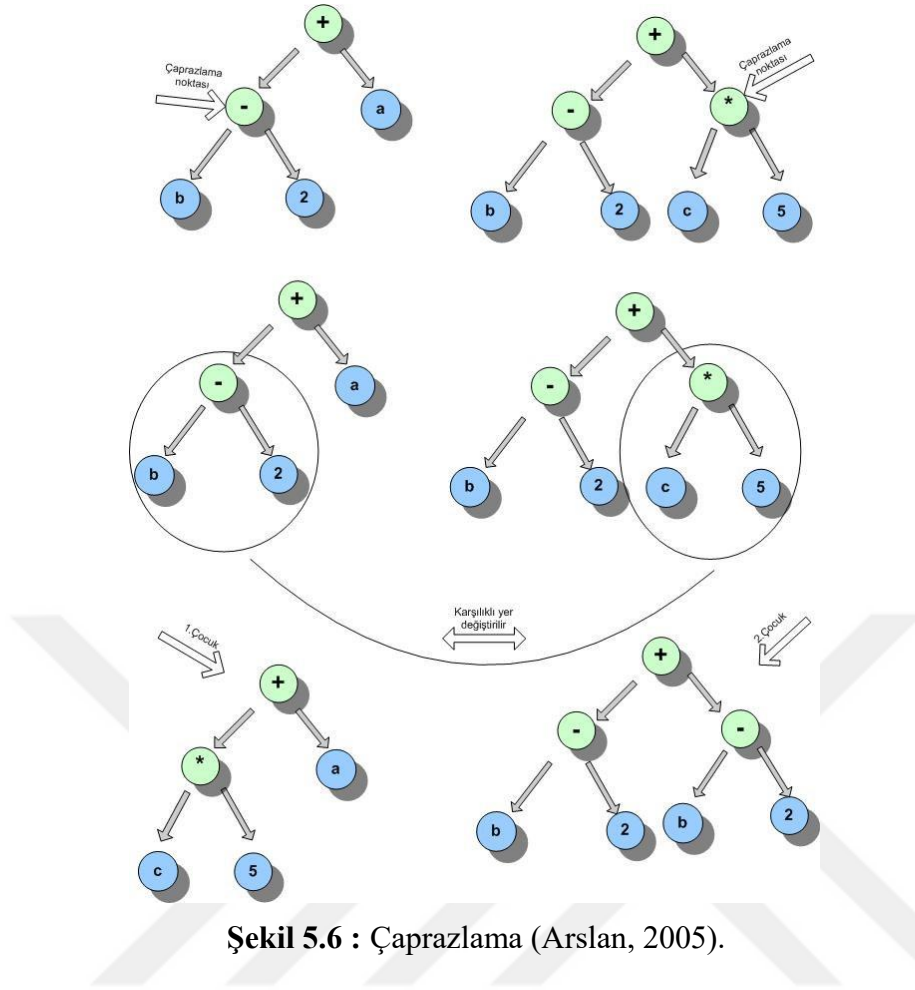
fazla ise n daha fazla alınmalıdır. Bu bireyler içerisinde uyumluluğu en iyi olan birey seçilir. Bu işlem seçilen bireylerin sayısı popülasyon sayısına eşit olana kadar devam eder. Şekil 5.5’de turnuva seçimi yöntemi gösterilmektedir.



Şekil 5.5 : Turnuva seçiminin gösterimi (Maza ve Tidor, 1991).

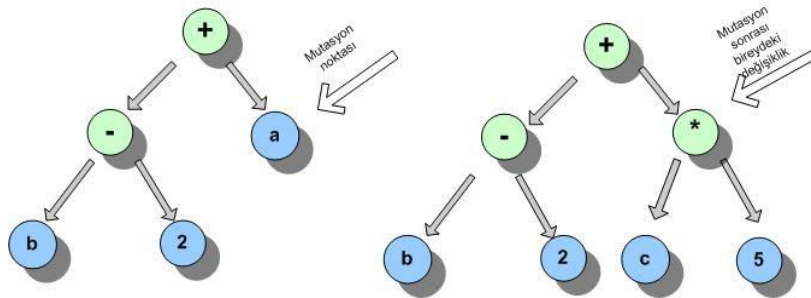
-Genetik işlemciler:

- Yeniden üreme: Seçilen bireylerden bazıları gelecek nesile hiçbir genetik operatör tarafından değişikliğe uğramadan (çaprazlama, mutasyon) doğrudan aktarılır (yeniden üreme). En iyi program, uygunluk kriterine göre kopyalanır ve yeni popülasyona dahil edilir.
- Çaprazlama: İki birey (programlar) ebeveyn denilen fitnessa göre seçilir. Seçilen bu bireyler, onları oluşturan ağaçsal yapıların rasgele bir düğüm noktasından ikiye ayrılır ve ayrılan bu parçalar takas edilir. Bu şekilde iki birey oluşur. Ortaya çıkan bireyler yeni popülasyona eklenir. Popülasyondaki bireylerden bazılarının eşleştirilmesi ve bu şekilde ebeveyn bireylerin gen bilgilerini içeren yeni kromozomlar (çocuk) üretilmiş olur. Böylece her çocuğun her bir geni ebeveynlerinden birisi ile aynı olacaktır. Şekil 5.6’da çaprazlama öncesinde varolan iki birey ve çaprazlama sonrası ortaya çıkan bireyler gösterilmiştir.



Şekil 5.6 : Çaprazlama (Arslan, 2005).

- Mutasyon: Mutasyonda havuzdaki bireylerden rastgele bir tanesi seçilir. Mutasyon, seçilen bireyin ağaç yapısının rasgele bir noktadan kırılması ve bu nokta altındaki bölgeye yeni bir ağaç yapı eklenmesi (aynı terminal setinden rastgele seçilen yeni terminaller) ile yeni bir birey elde etme işlemidir. Yani bir alt ağaç, rasgele bir diğeri ile değiştirilir. Oluşan mutant yeni popülasyona eklenir. Mutasyon bizi genetik programlamada karşımıza çıkan lokal minimum ya da maksimumlardan kurtulmamızı sağlar. Şekil 5.7’de mutasyon için seçilen birey ve mutasyon sonrası oluşan yeni birey gösterilmektedir.



Şekil 5.7 : Mutasyon (Arslan, 2005).

Çaprazlama, yeniden üreme ve mutasyon işlemlerinin belli bir oranda uygulanması neticesinde eski nesilden yeni bir nesil oluşturulur. Bu yeni nesil de yukarıda anlatılan işlevlerden geçirilerek başka nesillerin oluşmasını sağlar. Ne zaman herhangi bir nesilde elde ettiğimiz bireylerden bir tanesi istediğimiz sonuca ulaşırsa Genetik Programlama yöntemi o zaman sonlandırılır. Yöntemde, en iyi sonuç veren birey problemin çözümü olarak belirtilir (Arslan, 2005).

Lineer (Doğrusal) Genetik Programlama (LGP)

Lineer Genetik Programlama (LGP), standart GP sistemlerinden farklıdır, çünkü aday çözümler programlardır ve dönüşüm operatörleri ağaç tabanlı olmayan lineer bir genom üzerinde hareket eder (Banzhaf ve diğerleri, 1998). Programların kodlama yapısındaki değişiklikten dolayı “doğrusal” olarak adlandırılmıştır. Genetik programlamanın doğrusal olması, sadece doğrusal olarak ayrılabilen problemlerle sınırlanarak kullanılacağı anlamına gelmemektedir. Genetik programlama doğrusallıktan dolayı fonksiyonellikten hiçbirşey kaybetmez (Telcioglu, 2007).

5.4 Uygulama ve Sonuçlar

Kuraklık tahminleri LGP - Discipulus yazılım programı kullanılarak yapılmıştır. Öngörülen modellemede LGP uygulaması hakkında daha fazla bilgi Poli ve ark. (2008) yer almaktadır. Bu çalışmada, fonksiyonların modellenmesinde fonksiyon seti olarak temel aritmetik işlemler; toplama (+), çıkarma (-), çarpma (*), bölme (/), karekök ($\sqrt{\quad}$) ve trigonometrik fonksiyonları (sin,cos) içeren farklı matematiksel fonksiyonlar kullanılmıştır. Çalışmada kullandığımız NAOI, SOI, AOI indisleri ve öncül PDSI değerleri ile birlikte -1 ile 1 arasında rastgele değerler dizisi terminal setimiz olarak tanımlanmıştır. Ortalama Karesel Hata (MSE) uygunluk fonksiyonu rasgele oluşturulmuş ilk programların sıralamasında kullanılmış ve daha sonra yeni programlar hem çaprazlama hem de mutasyon operatörleri kullanılarak geliştirilmiştir. Çizelge 5.2’de verilmiş olduğu gibi aşırı uyum probleminden kaçınmak için programın maksimum boyutu ve maksimum nesil sayısı sırasıyla 512 byte ve 1000 nesil ile sınırlandırılmıştır (Danandeh Mehr ve diğ., 2014). Bu parametreler hakkında daha fazla bilgi Francone (2010)’da bulunabilir. Modelleri kurmak için Francone (2010) tarafından geliştirilen LGP yazılım paketi Discipulus kullanılmıştır.

Çizelge 5.2: LGP sistemi için önerilen parametre ayarları.

Parametre	Değer
Popülasyon boyutu	500
Mutasyon oranı	95%
Çaprazlama oranı	50%
Başlangıç program boyutu	80 (Byte)
Maksimum program boyutu	512 (Byte)
Geliştirilmemiş nesiller	300
Maksimum nesil sayısı (Başlangıçtan beri gelen nesiller)	1000

Discipulus programı kullanılarak çalışmada kullanacağımız her bir atmosferik salınım indisinin de dahil olduğu 3, 6, 9 ve 12 ay öteleme sürelerinde tahminler yapılmıştır. Program kullanılırken aylık gözlem verileri (1970-2016 döneminde PDSI ve NAOI-SOI-AOI serileri) eğitim ve test verileri olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. Tüm veri setinin % 70'i eğitim döneminde, geri kalan %30'luk kısmı modelin geçerliliğini test etmek için kullanılmıştır. Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10, her bir atmosferik salınım indisi için 3, 6, 9 ve 12 aylık öteleme sürelerinde gözlemlenen ve tahmin edilen PDSI serilerini göstermektedir (Aksaray istasyonu örnek olarak gösterilmiştir).

Önerilen tahmin modelinin etkinliği ve uyumluluğunun belirlenmesi açısından R^2 ve MSE hesaplamaları hidrolojik tahmin çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. R^2 için elde edilen yüksek değerler (1'e kadar) ve MSE için küçük değerler modelin yüksek verimliliğini göstermektedir. Her bir atmosferik salınım indisi için oluşturulan senaryolara göre, programdan elde edilen MSE ve R^2 değerleri Çizelge 5.4, Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6'da gösterilmiştir (Aksaray İstasyonu). İstasyonların 3, 6, 9 ve 12 ay öteleme süreli kuraklık tahmini için oluşturulan senaryolar Çizelge 5.3'te gösterilmiştir.

Her bir atmosferik salınım için aşağıda oluşturulan senaryolara göre Konya Havzası'nda bulunan 8 adet istasyon için program çalıştırılmıştır. Programdan elde edilen sonuçlara göre gözlemlenen ve programdan elde edilen çıktılara göre 3, 6, 9

ve 12 LT için grafikler çizilmiştir. Konya Kapalı Havzası içinde yer alan Aksaray İstasyonu'na ait program çıktıları (Çizelge 5.4, Çizelge 5.5, Çizelge 5.6) ve 3, 6, 9 ve 12 ay ötelemeli grafikler (Şekil 5.8, Şekil 5.9, Şekil 5.10) aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 5.3: 3, 6, 9 ve 12 ay öteleme süreli (lead time) kuraklık tahmini için oluşturulan senaryolar.

Kuzey Atlantik Salınım İndis (NAOI) değerlerinin kullanıldığı senaryolar

$$3\text{-Month LT: } PDSI_{t+3} = f(\mathbf{NAOI}_t, PDSI_t, PDSI_{t-1}, PDSI_{t-12})$$

$$6\text{-Month LT: } PDSI_{t+6} = f(\mathbf{NAOI}_t, PDSI_t, PDSI_{t-1}, PDSI_{t-2}, PDSI_{t-12})$$

$$9\text{-Month LT: } PDSI_{t+9} = f(\mathbf{NAOI}_t, PDSI_t, PDSI_{t-1}, PDSI_{t-2}, PDSI_{t-3}, PDSI_{t-12})$$

$$12\text{-Month LT: } PDSI_{t+12} = f(\mathbf{NAOI}_t, PDSI_t, PDSI_{t-1}, PDSI_{t-2}, PDSI_{t-3}, PDSI_{t-4}, PDSI_{t-12})$$

Güneyli Salınım İndis (SOI) değerlerinin kullanıldığı senaryolar

$$3\text{-Month LT: } PDSI_{t+3} = f(\mathbf{SOI}_t, PDSI_t, PDSI_{t-1}, PDSI_{t-12})$$

$$6\text{-Month LT: } PDSI_{t+6} = f(\mathbf{SOI}_t, PDSI_t, PDSI_{t-1}, PDSI_{t-2}, PDSI_{t-12})$$

$$9\text{-Month LT: } PDSI_{t+9} = f(\mathbf{SOI}_t, PDSI_t, PDSI_{t-1}, PDSI_{t-2}, PDSI_{t-3}, PDSI_{t-12})$$

$$12\text{-Month LT: } PDSI_{t+12} = f(\mathbf{SOI}_t, PDSI_t, PDSI_{t-1}, PDSI_{t-2}, PDSI_{t-3}, PDSI_{t-4}, PDSI_{t-12})$$

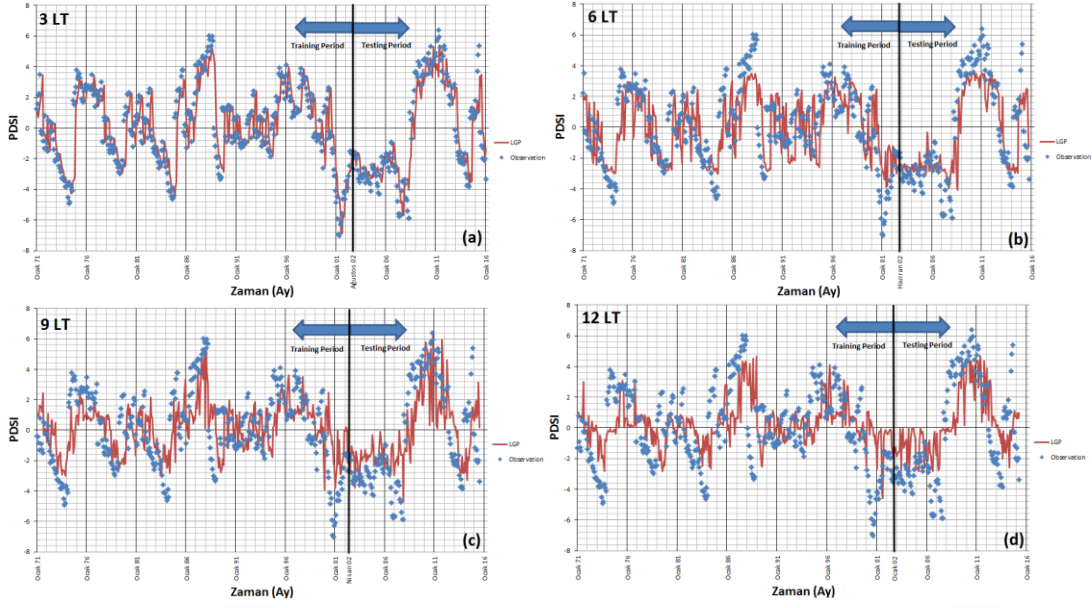
Arktik Salınım İndis (AOI) değerlerinin kullanıldığı senaryolar

$$3\text{-Month LT: } PDSI_{t+3} = f(\mathbf{AOI}_t, PDSI_t, PDSI_{t-1}, PDSI_{t-12})$$

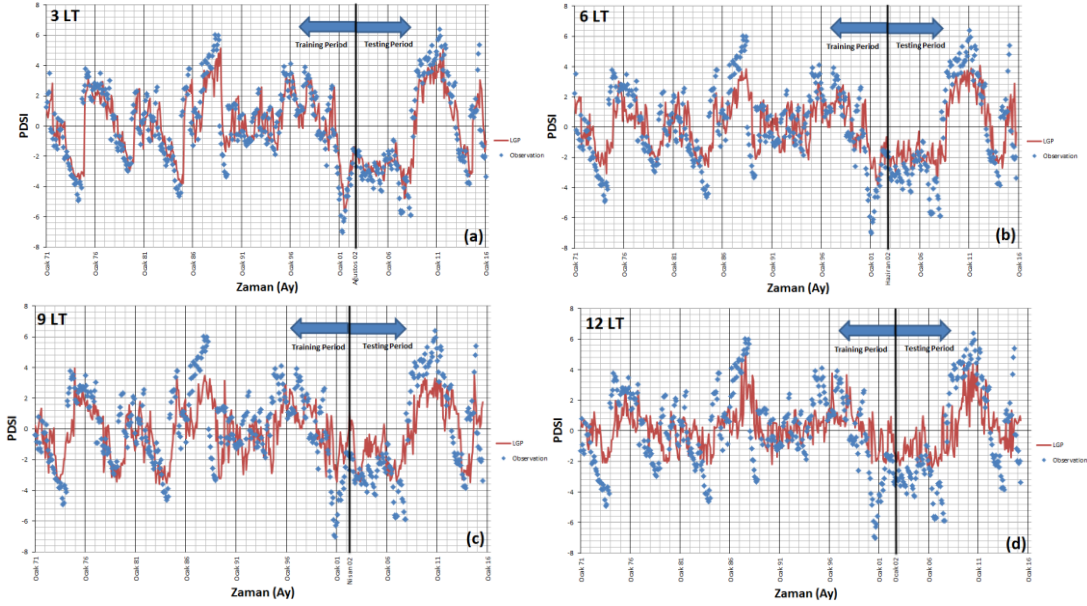
$$6\text{-Month LT: } PDSI_{t+6} = f(\mathbf{AOI}_t, PDSI_t, PDSI_{t-1}, PDSI_{t-2}, PDSI_{t-12})$$

$$9\text{-Month LT: } PDSI_{t+9} = f(\mathbf{AOI}_t, PDSI_t, PDSI_{t-1}, PDSI_{t-2}, PDSI_{t-3}, PDSI_{t-12})$$

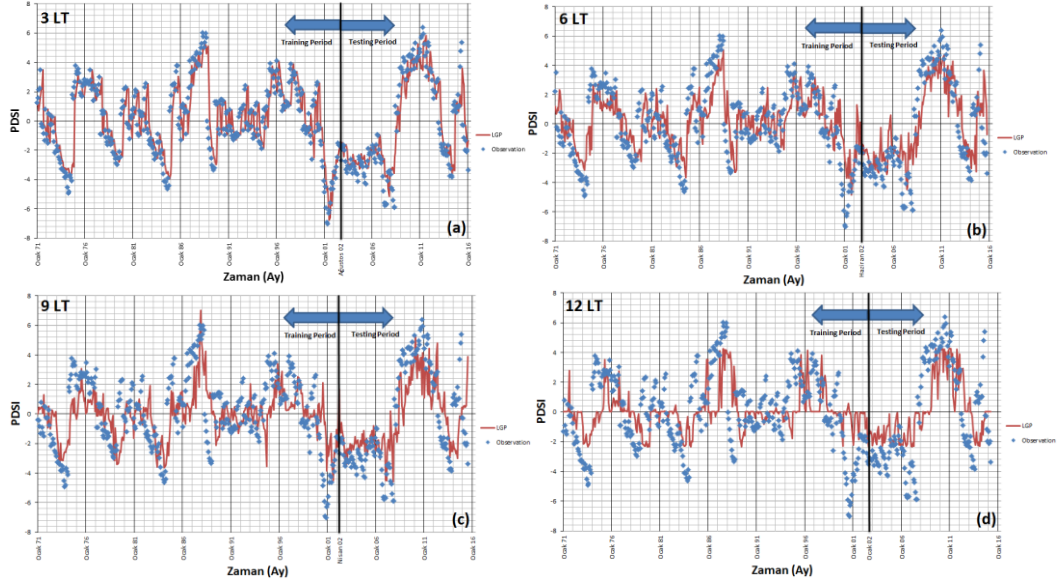
$$12\text{-Month LT: } PDSI_{t+12} = f(\mathbf{AOI}_t, PDSI_t, PDSI_{t-1}, PDSI_{t-2}, PDSI_{t-3}, PDSI_{t-4}, PDSI_{t-12})$$



Şekil 5.8 : Aksaray Meteoroloji İstasyonu'na ait LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (NAOI); a) 3 ay öteleme süresi, b) 6 ay öteleme süresi, c) 9 ay öteleme süresi, d)12 ay öteleme süresi.



Şekil 5.9 : Aksaray Meteoroloji İstasyonu'na ait LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (SOI); a) 3 ay öteleme süresi, b) 6 ay öteleme süresi, c) 9 ay öteleme süresi, d)12 ay öteleme süresi.



Şekil 5.10 : Aksaray Meteoroloji İstasyonu'na ait LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (AOI); a) 3 ay öteleme süresi, b) 6 ay öteleme süresi, c) 9 ay öteleme süresi, d) 12 ay öteleme süresi.

Çizelge 5.4: Kuzey Atlantik Salınım İndis (NAOI) değerlerinin kullanıldığı senaryolara ait analiz sonuçları (Aksaray Meteoroloji İstasyonu).

Tahmin Senaryosu	Ortalama Hata Karesi (MSE)		R-Squared (R ²)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
3-ay öteleme süresi	2,632	2,3611	0,5678	0,7892
6-ay öteleme süresi	3,9085	3,6383	0,3603	0,6768
9-ay öteleme süresi	4,5303	5,629	0,2584	0,5025
12- ay öteleme süresi	5,8412	6,3946	0,0509	0,4349

Çizelge 5.5: Güneyli Salınım İndis (SOI) değerlerinin kullanıldığı senaryolara ait analiz sonuçları (Aksaray Meteoroloji İstasyonu).

Tahmin Senaryosu	Ortalama Hata Karesi (MSE)		R-Squared (R ²)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
3-ay öteleme süresi	2,5281	2,4934	0,5848	0,7773
6-ay öteleme süresi	3,4404	3,9714	0,4369	0,6472
9-ay öteleme süresi	4,7167	5,5815	0,2279	0,5067
12- ay öteleme süresi	4,9557	6,8053	0,1948	0,3986

Çizelge 5.6: Arktik Salınım İndis (AOI) değerlerinin kullanıldığı senaryolara ait analiz sonuçları (Aksaray Meteoroloji İstasyonu).

Tahmin Senaryosu	Ortalama Hata Karesi (MSE)		R-Squared (R ²)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
3-ay öteleme süresi	2,6043	2,3589	0,5723	0,7893
6-ay öteleme süresi	3,2164	4,0493	0,4736	0,6403
9-ay öteleme süresi	4,3681	5,0208	0,285	0,5563
12- ay öteleme süresi	5,8833	6,2663	0,0441	0,4462

Programdan elde edilen R² sonuçlarına bakıldığında train değerlerinin test değerlerinden yüksek olması beklenir. Ancak programdan elde edilen sonuçlar incelendiğinde bazı istasyonlarda test değerlerinin train değerlerinden yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, çalışılan istasyonlardaki zaman serilerinin seçilen eğitim ve test periyodundaki davranışları ile açıklanabilir.

Çalışılan problemin türüne göre elde edilen analiz sonuçları için yapılacak yorumlamalar değişiklik gösterir. Problemimizin türüne göre literatürdeki daha önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlar incelendiğinde (Özger ve diğ., 2012; Danandeh Mehr ve diğ., 2014), yaklaşık olarak 0.70-0.75 üzerindeki R2 test değerleri yapılan tahminlerin iyi sonuç verdiğini göstermektedir. Buna göre, Aksaray İstasyonu'nda NAOI, SOI ve AOI için oluşturulan senaryolara göre programdan elde edilen sonuçlar incelendiğinde programın yalnızca 3 ay öteleme süreli tahminlerde iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Çalıştığımız 8 istasyon için genel analiz sonuçlarına bakıldığında Aksaray (17192 nolu istasyon) ve Niğde (17250 nolu istasyon) istasyonlarında üç salınım için kullanılan senaryolarda özellikle 3 ay ötelemeli kuraklık verilerinin makul şekile tahmin edildiği gözlemlenmiştir. Havzadaki diğer istasyonlara ait analiz sonuçları incelendiğinde programın 3, 6, 9 ve 12 ay öteleme süreli tahminlerde yeterli gelmediği gözlemlenmiştir. Konya Kapalı Havzası'nda çalıştığımız tüm istasyonlara ait 3, 6, 9 ve 12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları ve analiz sonuçları EK'ler kısmında detaylı bir şekilde verilmiştir.

Çizelge 5.3'deki senaryolar, NAOI, SOI ve AOI atmosferik salınım indisleri için ayrı ayrı oluşturularak sonuçların eldesi sağlanmış ve yorumlamalar yapılmıştır. Bu

senaryolar için yapılan analizlerin dışında, çalışılan atmosferik salınım indislerinin çeşitli kombinasyonları (NAOI-AOI, NAOI-SOI, SOI-AOI ve NAOI-AOI-SOI) için de senaryolar oluşturulmuş ve analizler yapılmıştır. Ancak bu analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 5.3’de oluşturulan senaryolara ait analiz sonuçlarından daha iyi sonuç vermediği tespit edilmiştir.





6. KURAKLIK İNDİSLERİ İÇİN TAHMİN ARALIKLARI OLUŞTURMA

6.1 Giriş

Tez çalışmasının bu bölümünde aylık, kısa (üç aylık) ve orta dönemli (altı aylık) sezonsal kuraklık gözlemlerini kullanarak geçerli tahmin aralıkları elde etmek için artık tabanlı Bootstrap yöntemine dayalı bir yaklaşım önerilmiştir. Ayrıca, Kuzey Atlantik ve Arktik Salınım indekslerinin oluşturulan tahmin aralıkları üzerindeki etkileri de incelenecektir. Önerilen yaklaşımın performansı, Orta Anadolu'da bulunan Konya Kapalı Havzası'ndan elde edilen Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi (PDSI) için değerlendirilecektir. Önerilen yöntemin son örnek özellikleri daha kapsamlı bir simülasyon çalışması ile gösterilecektir.

Kuraklık önemli bir problemdir ve bu yüzden kuraklık tahminleri de literatürde önemli derece ilgi çekmiştir. Misra ve Desai (2005), Mishra ve Desai (2006), Kim ve Valdes (2003), Morid ve diğ. (2007), Özger ve diğ. (2011), Özger ve diğ. (2012) ve Belayneh ve diğ. (2014) kuraklık tahmini üzerine genel bir bakış sunmuşlardır. Bu çalışmalarda sadece nokta tahminleri düşünülmüştür. Halbuki aralık tahminleri, modeldeki belirsizliği de hesaba katarak daha iyi çıkarsama yapabilme yeteneğine sahiptir. Teknik olarak, bu tarz aralıkların oluşturulması pratikte genellikle bilinmeyen bazı dağılımsal varsayımlar gerektirir. Dahası, tahmin edilen parametreler ile birlikte kurulan aralık tahminleri, varsayımlardan sapmalar olduğu durumlarda etkilenebilir ve güvenilir olmayan sonuçlar doğurabilir. Dağılımsal varsayımları göz ardı ederek bu aralıkların kurulması için Bootstrap gibi bilinen yeniden örnekleme tekniklerinin kullanılması iyi bir yoldur.

Bilindiği gibi Efron (1979) tarafından önerilen orijinal parametrik olmayan Bootstrap yöntemi özdeş ve bağımsız (i.i.d.) dağılım varsayımını ihlal ettiğinden bağımlı verilerdeki istatistiksel problemlere genel olarak tatmin edici cevaplar üretmez. Bağımlı verilerle uğraşmak için artık tabanlı Bootstrap yönteminin de olduğu çeşitli yeniden örnekleme teknikleri önerilmiştir. Bu teknikte, doğrusal regresyon

otoregresyon ya da parametrik olmayan regresyon modelleri gibi bazı genel modeller ile orijinal veriden elde edilen artıklar bootstrap veri setini elde etmek için yeniden örneklenir. Daha fazla bilgi için Freedman (1981), Efron ve Tibshirani (1986), Liu (1988), ve Hardle ve Bowman (1988)' e bakılabilir.

Literatürde farklı Bootstrap uygulamaları mevcuttur. Yapay sinir ağları (YSA) tabanlı Bootstrap metodu hidrolojik modelleme çalışmalarında başarıyla uygulanmıştır. Abraham (2003), girdi alanını yağış-akış modellemesi bağlamında sürekli örnekleme için Bootstrap tekniğini kullanmış ve daha yüksek doğruluklar ve daha iyi küresel genellemeler açısından marjinal bir iyileşme önerdiğini bildirmiştir. Tiwari ve Chatterjee (2010), çalışmalarında saatlik taşkın tahmini için doğru ve güvenilir bir ANN (Artificial Neural Network-Yapay sinir ağları) modelinin geliştirilmesi için Wavelet (dalga) ve Bootstrap tekniklerinin potansiyelini belirlemek için bir hybrid wavelet-bootstrap-ANN (WBANN) modeli geliştirilmiştir. Çalışmalarında dalga ayrıştırmasının ANN modellerinin performansını geliştirmesine karşın, Bootstrap yeniden örnekleme tekniğinin daha tutarlı ve kararlı çözümler ürettiğini ortaya koymuşlardır. Jia ve Culver (2006), farklı yapılar sahip sinir ağlarının genelleme hatalarını tahmin etmek ve küçük bir veri örneği ile sentetik akış tahmini için güven aralıkları oluşturmak için Bootstrap tekniğini kullanmıştır. Srivastav ve ark. (2007) Bootstrap tekniğine dayanan ANN hidrolojik modeller için belirsizlik analizi yöntemi önermişlerdir. 1 saat ötelemeli nehir akışını tahmin etmek için bir ANN modeli geliştirmişlerdir ve sonuçlar, önerilen belirsizlik analizi yönteminin çok etkili olduğunu ve ANN tabanlı bir hidrolojik modele uygulanabileceğini ortaya koymuşlardır.

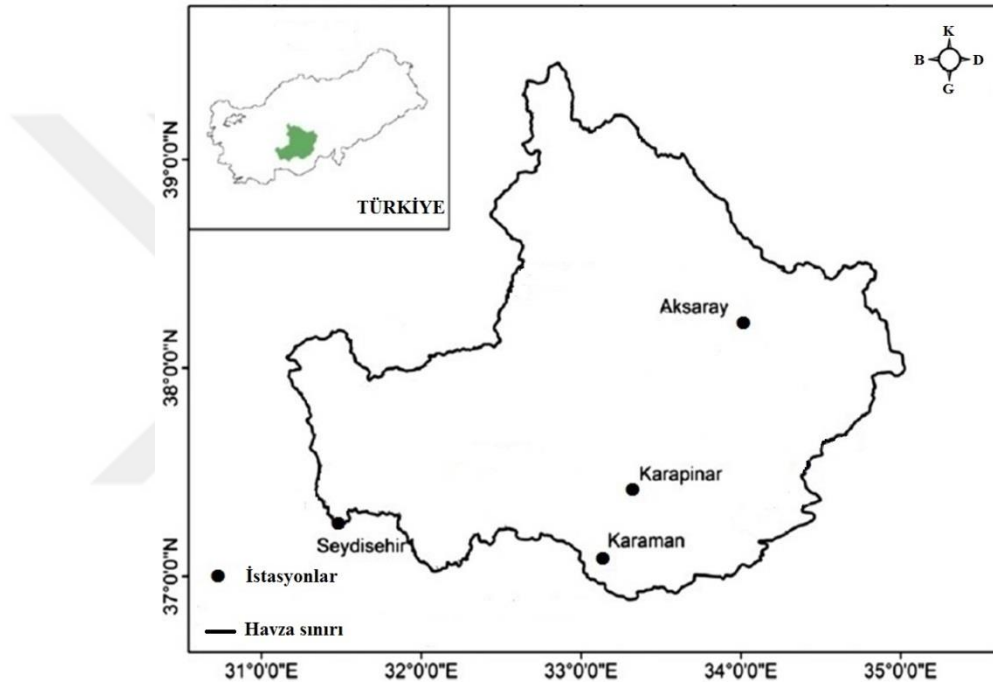
Bootstrap yönteminin kuraklık tahmininde Türkiye için ilk defa kullanılacak olması dikkat çekicidir. Bununla birlikte çalışmada önerdiğimiz Bootstrap yöntemiyle atmosferik salınımların etkileri kullanılarak kuraklık tahminlerinin (aralık tahminleri) yapılması literatürde bir ilktir. Bu nedenle çalışmada, Bootstrap metodu kullanılarak kuraklık için aralık tahminleri yapılmıştır.

Bu çalışmada, PDSI verilerine ilişkin geçerli aralık tahminleri elde etmek için artık tabanlı bootstrap yöntemi kullanılmıştır. Özetle yöntemin çalışma prensibi şu şekildedir: Öncelikle, model parametrelerini elde etmek için En Küçük Kareler (EKK) kullanılır ve artıklar hesaplanır. Daha sonra, EKK katsayılarının bootstrap tahminlerini elde etmek için kullanılan bootstrap verisini elde etmek için bu

yöntem orijinal veriye uygulanır. Son olarak, gelecek değerler bootstrap tekrarları ve bootstrap dağılımının Monte Karlo tahminlerine ait kantilleri aracılığı ile elde edilir.

6.2 Çalışma Alanı ve Veriler

Çalışma alanı olarak Türkiye'nin Orta Anadolu bölgesinde yer alan Konya Kapalı Havzası belirlenmiştir. Havzada belirlenen 4 yağış istasyonunda çalışmalar yürütülmüştür. Çalışmanın bu kısmında kullanılan istasyonlar Şekil 6.1'de gösterilmiştir. Yine bu istasyonlara ait bilgiler Çizelge 6.1'de verilmiştir.



Şekil 6.1 : Çalışma alanı.

Çizelge 6.1 : Çalışmada kullanılan Konya Kapalı Havzası'ndaki istasyonlara ait rakım ve koordinat bilgileri.

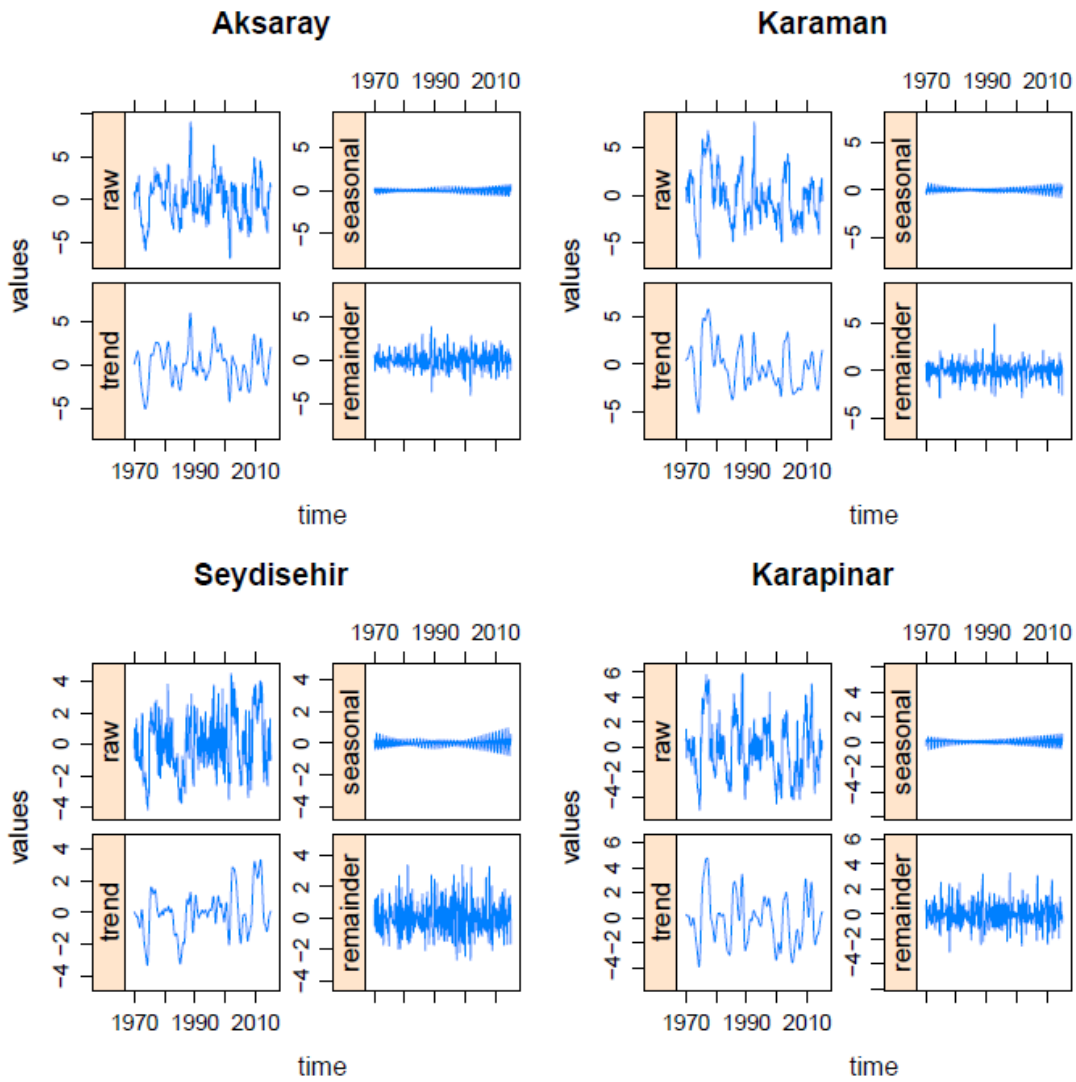
İstasyon No	İstasyon	Enlem	Boylam	Rakım (m)
17192	Aksaray	38,23	34,05	965
17246	Karaman	37,11	33,13	1025
17898	Seydişehir	37,25	31,5	1131
17902	Karapınar	37,43	33,33	1004

Çalışma alanı ile ilgili daha kapsamlı genel bilgiler Bölüm 5.1'de verilmiştir. Çalışmanın bu bölümünde kuraklık indisi olarak yine Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (PDSI) kullanılmıştır. Atmosferik salınım indislerinden NAOI ve AOI kullanılmıştır. 552 gözlemden oluşan aylık PDSI verileri Ocak 1970'den itibaren Aralık 2015'e kadar olacak şekilde Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. 1970-2015

yılları arasındaki NAOI ve AOI indislerine ait veriler, NOAA Yer Sistemi Araştırma Laboratuvarı'ndan elde edilmiştir.

6.3 Açıklayıcı Veri Analizi

Her bir PDSI serisine ait orijinal veri, mevsimsel, trend ve artık bileşenlerini gösteren mevsimsel-trend ayrışım grafiği Şekil 6.2' de gösterilmiştir. Şekil 6.2, tüm PDSI serilerinde mevsimsel ve trend bileşeninin olmadığını açıkça göstermektedir.

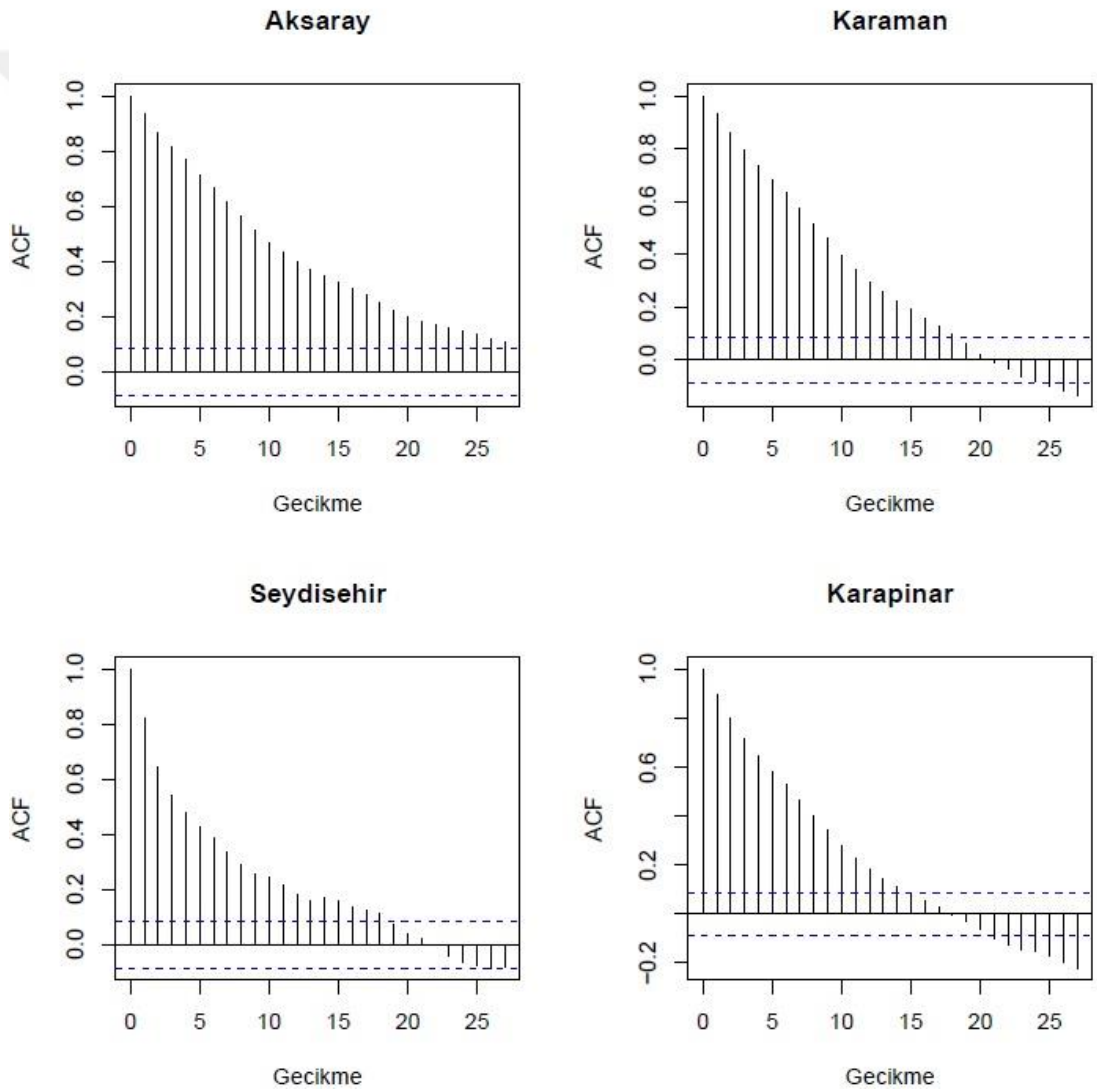


Şekil 6.2 : 1970-2013 yılları arasındaki PDSI değerlerinin mevsimlik eğilim ayrışma grafikleri.

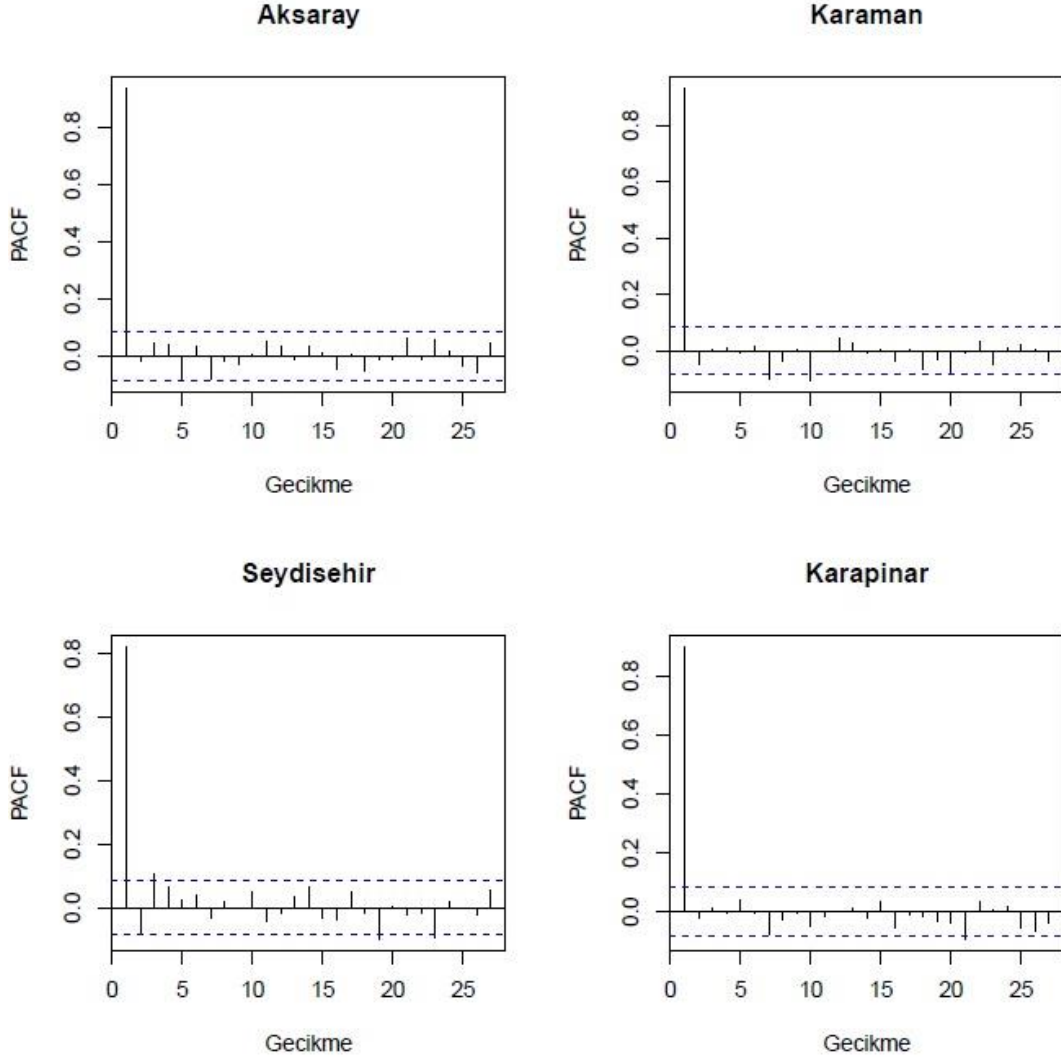
PDSI değerlerinin durağanlık koşulu Ljung-Box (LB) ve augmented Dickey-Fuller (ADF) t-istatistik testleri uygulanarak kontrol edilmiştir. Küçük p-değerleri (LB testi için p-değeri = 0.000 ve ADF testi için p-değeri=0.010) durağan olmayan sıfır hipotezini reddederek PDSI serilerinin sıfır ortalamalı durağan süreçleri olduğunu

göstermektedir. Dahası, PDSI serilerinde sabit bir mevsimselliğin olmadığı sıfır hipotezi, log-olabilirlik oran testi uygulanarak test edilmiştir. Log-olabilirlik değerleri üstel düzeltilmiş ve ekstra mevsimsellik teriminin eklendiği modellerden hesaplanmıştır ve elde edilen p-değeri=1.000 mevsimsel bileşenin anlamlı olmadığını göstermiştir.

PDSI serilerinin otokorelasyon fonksiyonu (ACF) ve kısmi-otokorelasyon fonksiyonu (PACF) grafikleri sırası ile Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'te gösterilmiştir. Zaman serileri grafikleri ve ACF-PACF grafikleri PDSI serilerini modellemek için otoregresif (AR) modelinin uygun olabileceğini göstermiştir.

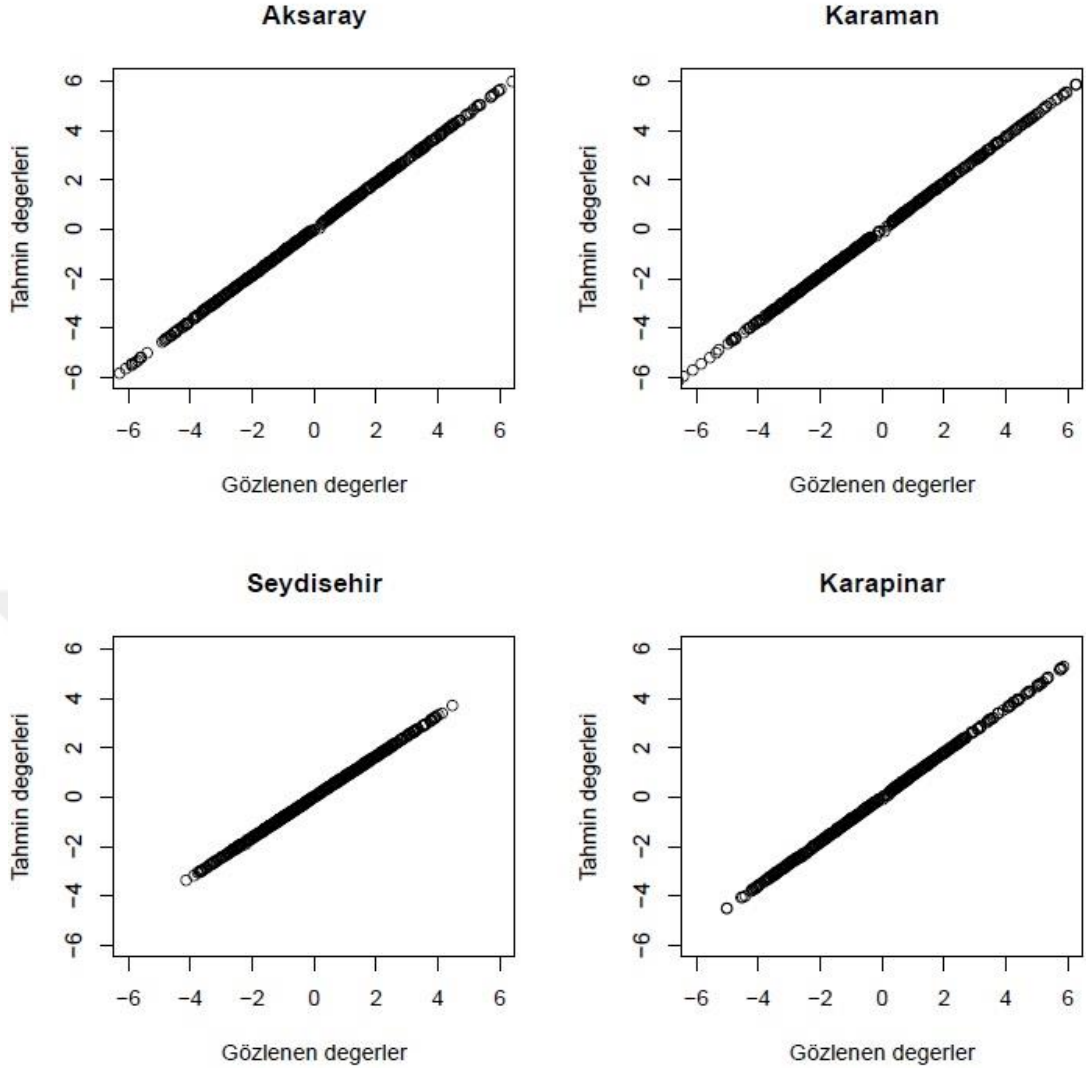


Şekil 6.3 : PDSI serilerinin otokorelasyon grafikleri.



Şekil 6.4 : PDSI serilerinin kısmi-otokorelasyon grafikleri.

Optimal ötelemeyi belirlemek için çeşitli p değerleri ile çok sayıda mümkün $AR(p)$ modellerinin alt kümeleri tanımlanmıştır. En iyi modeli seçmek için, Akaike bilgi kriteri (AIC) kullanılmıştır (Çünkü bu kriter tahminleme için en iyi modeli belirlemek için önerilmiştir) ve sonuçlar AIC' ye göre tüm PDSI serileri için $AR(1)$ modelinin optimal olduğunu göstermiştir. $AR(1)$ modeli ile elde edilen PDSI değerlerine karşılık kantil-kantil grafikleri Şekil 6.5' te verilmiştir.



Şekil 6.5 : Veri tabanlı ve elde edilen PDSI değerlerinin kantil-kantil grafikleri.

Veri-tabanlı ve tahmin edilen PDSI serilerinin aynı dağılımlardan geldiği bu grafiklerden açıktır. Bir başka ifadeyle, tüm istasyonlarda PDSI serileri AR(1) modeli tarafından iyi bir şekilde tahmin edilmiştir.

6.4 Metodoloji

$\{X_t\}_{t=1}^n$, AR(1) sürecinden durağan rassal değişkenler dizisi olsun. Böylece bu çalışmada düşünülen 1 dereceli otoregresif model:

$$X_t = \phi_0 + \phi_1 X_{t-1} + \varepsilon_t, \quad t = 1, \dots, n \quad (6.1)$$

olarak tanımlanır. Burada $|z| \leq 1$ için $\phi(z) = 1 - \phi_1(z) \neq 0$, ε_t i.i.d. sıfır ortalamalı ve birim varyanslı bir seri ve ϕ_0 ve ϕ_1 model parametreleridir. $\{x_0, x_1, \dots, x_n\}$, AR(1)

süreci için, $t=1,2,\dots,n$ için $X_t = (1, x_{t-1})$ olsun. Ayrıca, $y = (x_1, x_2, \dots, x_n)'$, $\varepsilon = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n)'$ ve

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_0 \\ 1 & x_1 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & x_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix}$$

olsun. Öyle ki $y = X\phi + \varepsilon$ elde edilir. ϕ 'nin EKK tahmini $\hat{\phi}$, Denklem 6.2' deki gibi elde edilir.

$$\hat{\phi} = (X'X)^{-1}X'y \quad (6.2)$$

Otoregresif zaman serileri modelleri için bootstrap yöntemi veri altındaki tüm bilgi ve varsayımları gerektirmeden, tahmincilerin özelliklerini yakınsamak için en genel yöntemlerden birisidir. $\{X_t\}_{t=1}^n$, $g: R^d \rightarrow R$ düzgün fonksiyonu ile ilgili parametresi $\theta_0 = g(\mu)$ olan F gibi bilinmeyen bir dağılım fonksiyonuna sahip n genişliğinde durağan bağımlı rassal değişkenlerin bir serisi olsun. Ayrıca dağılımın sabit bir ortalama (μ) ve sonlu bir varyansa (σ^2) sahip olduğu varsayılır. $\hat{\theta}_n = g(\bar{X}_n)$, $\bar{X}_n = n^{-1} \sum_{i=1}^n X_i$, x_n 'e dayalı olarak θ_0 'ın tahmincisi olsun. Daha sonra, $\hat{\theta}_n$ 'in bootstrap tahmini $\hat{\theta}_n^* = g(\bar{X}_n^*)$ olarak elde edilir. Burada $\bar{X}_n^* = n^{-1} \sum_{i=1}^n X_i^*$ bootstrap verisinden elde edilir; $x_n^* = \{X_t^*\}_{t=1}^n$. “Düzgün fonksiyon modeli” bootstrap tahmincilerinin güçlü tutarlılık özelliklerini elde etmemize imkan sağlayan esnek bir modeldir ve bir çok düzgün tahminci çeşidini içerir. Bu model altındaki ana fikir: eğer ilgilenilen istatistik varyans, basıklık ve çarpıklık gibi ortalamanın bir fonksiyonu ile gösterilebiliyor ise bootstrap tahmincilerinin teorik özellikleri ortalamanın düzgün fonksiyon modeli kullanılarak gösterilebilir (Ortalamanın düzgün fonksiyon modeli hakkında daha detaylı bilgi Hall (1992)'den elde edilebilir).

\hat{X}_t ve X_{n+h} sırası ile $h=1,2,\dots$ için X_t 'nin tahmin değeri ve h-adımlı gözlemlenemeyen gelecek değer olsun. Buna dayalı olarak tahmin kökü Denklem 6.3 ile aşağıdaki gibi tanımlanır,

$$X_{n+h} - \hat{X}_{n+h} \quad (6.3)$$

Burada X_{n+h} 'ın tahmini olan \hat{X}_{n+h} gözlemlenen veriden ($\{X_t\}_{t=1}^n$) elde edilir. Tahmin kökünün bootstrap eşitliği Denklem 6.3 ile aynı mantıkta hesaplanır, fakat (X_{n+h}, \hat{X}_{n+h}) yerine $(X_{n+h}^*, \hat{X}_{n+h}^*)$ kullanılır.

$$X_{n+h}^* - \hat{X}_{n+h}^* \quad (6.4)$$

Nominal α için, asimptotik olarak geçerli X_{n+h} için $\%(1-\alpha)100$ tahmin aralığı (L_n, U_n) dir. Burada $n \rightarrow \infty$ iken eğer $P(L_n \leq X_{n+h} \leq U_n) \rightarrow 1-\alpha$ ise L_n ve U_n sırası ile alt ve üst sınırlardır. $P(X_{n+h} - \hat{X}_{n+h} \leq \alpha)$ ait kantileri yakınsamak için yaratılan bootstrap dağılımının tahmin kökünün kantileri $P^*(X_{n+h}^* - \hat{X}_{n+h}^* \leq \alpha)$ kullanılabilir. Eğer;

$$\sup_{\alpha} \left| P(X_{n+h} - \hat{X}_{n+h} \leq \alpha) - P^*(X_{n+h}^* - \hat{X}_{n+h}^* \leq \alpha) \right| \rightarrow 0 \text{ olasılıksal olarak ise} \quad (6.5)$$

Bağımlı verilerde daha detaylı bilgi Berkowitz ve Kilian (2000), Bose ve Politis (1995), Bulhmann (2002), Carey (2005), Hardle ve diğerleri (2003), Li ve Maddala (1996), ve Politis (2003)' den elde edilebilir. Ayrıca, otoregresif zaman serileri modelleri için öngörü aralıkları hakkında daha detaylı bilgi için Pan ve Politis (2016)'e ve bu çalışmadaki referanslara bakılabilir.

$h = 1, \dots, s$, $s \geq 1$ tahmin adımını gösterebilir. Bu çalışmada AR(1) modeli için öngörü aralıklarının oluşturulmasında kullandığımız algoritma aşağıdaki gibidir.

Adım 1. Denklem 6.2' yi kullanarak EKK tahmincileri elde edilir.

Adım 2. $\hat{\varepsilon}_t = x_t - \hat{x}_t$ tahmin edilen artıkları hesaplanır. Burada $\hat{x}_t = \hat{\phi}_0 + \hat{\phi}_1 x_{t-1}$ ' dir.

Adım 3. Tahmin artıkları $t = 2, \dots, n$ için, $r_t = \hat{\varepsilon}_t - \bar{\hat{\varepsilon}}$ olarak hesaplanır. Burada $\bar{\hat{\varepsilon}} = (n-1)^{-1} \sum_{t=2}^n \hat{\varepsilon}_t$ dir. \hat{F}_n , r_t 'nin ampirik dağılım fonksiyonunu temsil etmektedir.

Adım 4. Bootstrap artıklarını $\{\varepsilon_t^*\}_{t \geq 1}$ i.i.d. olarak \hat{F}_n ' den elde edilir.

Adım 5. Bootstrap gözlemleri x_t^* aşağıdaki gibi hesaplanır;

$x_t^* = \hat{\phi}_0 + \hat{\phi}_1 x_{t-1}^* + \varepsilon_t^*$, $t=2, \dots, n$ için elde edilir, x_1^* ise y 'den rassal olarak seçilir.

Pratikte durağanlıktan emin olmak için m gibi pozitif büyük bir sayı için $n+m$ tane bootstrap örnekleme yaratılır ve ilk m gözlem silinir.

Adım 6. Denklem 6.2 yardımı ile AR(1) katsayılarının EKK tahmincilerinin bootstrap tahminleri elde edilir.

Adım 7. Bootstrap gelecek tahmin değerleri aşağıdaki yinelemeli formül kullanılarak elde edilir,

$$\hat{x}_{n+t}^* = \hat{\phi}_0^* + \hat{\phi}_1^* \hat{x}_{n+t-1}^*, \quad t=1, \dots, h.$$

Burada $t \leq 1$ için $\hat{x}_{n+t-1}^* = x_{n+t-1}$ alınır.

Adım 8. Bootstrap gelecek değerleri aşağıdaki gibi oluşturulur,

$$x_{n+t}^* = \hat{\phi}_0 + \hat{\phi}_1 x_{n+t-1}^* + \varepsilon_{n+t}^*, \quad t=1, \dots, h.$$

Burada $t \leq 1$ için $x_{n+t-1}^* = x_{n+t-1}$ alınır.

Adım 9. Bootstrap kök tekrarı $x_{n+h}^* - \hat{x}_{n+h}^*$ hesaplanır.

Adım 10. 4-9 adımları B defa tekrar edilir, burada B bootstrap simülasyon sayısıdır. $q(\alpha)$ bootstrap dağılımının α 'ncü kantilini göstermektedir.

X_{n+h} için $\%(1-\alpha)100$ 'lük bootstrap tahmin aralığı aşağıda verilen denklem 6.6 ile hesaplanır.

$$[\hat{x}_{n+h} + q(\alpha/2), \hat{x}_{n+h} + q(1-\alpha/2)] \quad (6.6)$$

Burada $t=1, \dots, h$ için $\hat{x}_{n+h} = \hat{\phi}_0 + \hat{\phi}_1 \hat{x}_{n+t-1}$ ve $t \leq 1$ için $\hat{x}_{n+t-1} = x_{n+t-1}$ 'dir.

Çalışmada, atmosferik salınım indislerinin bootstrap tahmin aralıklarına etkilerini görmek için bu indisler AR modelinde açıklayıcı değişken olarak kullanılmıştır. Bu amaçla, aşağıdaki dışsal değişkenli otoregresif modeli (ARX(1)) kullanılmıştır.

$$X_t = \phi_0 + \phi_1 X_{t-1} + \gamma' F_{t-1} + \varepsilon_t, \quad t=1, \dots, n \quad (6.7)$$

Burada F_{t-1} , $v \times u$ dışsal değişken vektörünü göstermektedir. Goncalves ve Perron (2016)'da belirtildiği gibi iterasyona bağlı öngörü algoritması dışsal değişkenlerin

tahmininin gerekmesi ile bir dezavantaja sahiptir. Bundan dolayı, çalışmamızda bu zorluğun üstesinden gelmek için bir direkt-tahmin yöntemi kullanılmıştır. Bu bağlamda, aşağıdaki ARX modeli düşünülmüştür,

$$X_t = \phi_0 + \phi_1 X_{t-h} + \gamma' F_{t-h} + \varepsilon_t, \quad t = h, \dots, n \quad (6.8)$$

Bu yöntem, EKK ile tahmin edilebilir. Bu yöntem ile nokta tahminlerinin elde edileceği yineleme yöntemi şu şekildedir; $\hat{X}_{n+h} = \hat{\phi}_0 + \hat{\phi}_1 X_n + \gamma' F_n$. Goncalves ve Perron (2016) ve Goncalves ve diğ. (2017)'de bahsedildiği gibi regresyon artıkları $h > 1$ adım tahmini yapılır iken $h-1$ derecesine serisel olarak bağımlıdır. Goncalves ve diğ. (2017), ε^* 'ı yeniden örneklerken blok wild bootstrap yöntemi kullanarak serisel bağımlılığa karşı güçlü hale getirmiştir. Bu amaçla, örneklem artıkları $\hat{\varepsilon}_{t+h}$, b ardışık gözlemden oluşan örtüşmeyen bloklara bölünmüştür ve $h > 1$ iken blok genişliği h olarak alınmıştır. Daha sonra, bootstrap artıkları, $j = 1, \dots, \frac{T-h}{b}, i = h+1, \dots, h+b$ ve $\eta_j \sim i.i.d.(0,1)$ için,

$$\varepsilon_{i+(j-1)b}^* = \hat{\varepsilon}_{i+(j-1)b} \eta_j \quad (6.9)$$

olarak oluşturulur. Bu çalışmada yapılan hesaplamaların hepsi düşünülen model formlarının doğruluğu altında hesaplanmıştır.

6.5 Sonuçlar

Örnek dışı tahmin aralıkları elde etmek için her bir zaman serisi iki parçaya bölünmüştür: (i) İlk kısım model yapımının aylık, orta ve kısa vadeli hesaplamaya dayandığı Ocak 1970 ile Aralık 2013 arasındaki uzunluktan oluşmaktadır (Toplam 528 gözlem). (ii) İkinci kısım, gözlemlenen değerlerle karşılaştırma yapılacak olan Ocak 2014-Aralık 2015 dönemini içermektedir. Her seri için, $B = 1000$ bootstrap simülasyonları gerçekleştirilmiştir ve gelecekteki PDSI değerleri için %95 bootstrap tahmin aralıkları elde etmek için anlamlılık seviyesi $\alpha = 0.05$ olarak ayarlanmıştır. Hesaplamalar R 3.3.3 kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

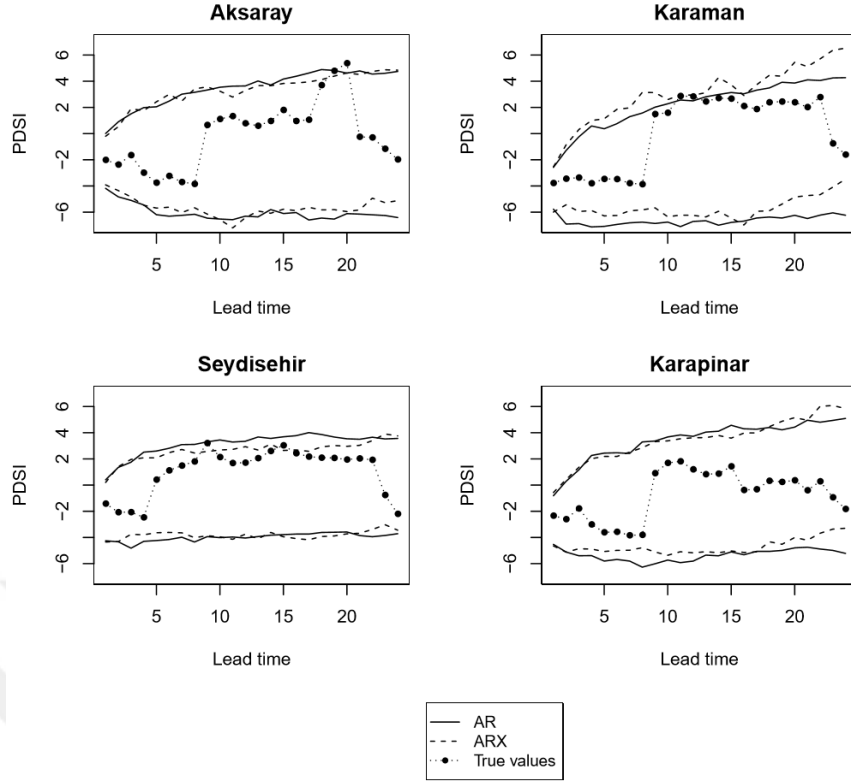
Aylık, kısa vadeli ve orta vadeli kuraklık (PDSI) gözlemleri için oluşturulan tahmin aralıkları, veri temelli değerlerle birlikte sırasıyla Şekil 6.6, Şekil 6.7 ve Şekil 6.8'de sunulmuştur. Bulgularımız, AR (1) ve ARX (1) modelleri ile bootstrap metodunun,

gelecekteki PDSI değerleri için makul tahmin aralıklarıyla sonuçlandırıldığını ve böylece hemen hemen tüm bu değerlerin, oluşturulan tahmin aralıklarıyla iyi örtülmüş olduğunu göstermiştir. Bootstrap metodunun, kısa vadeli tahminler için uzun vadeli tahminler için oluşturulan tahminlere kıyasla daha dar tahmin aralıkları ürettiğine karar verebiliriz. Çünkü uzun vadeli tahminlerin daha belirsiz olması beklenmektedir.

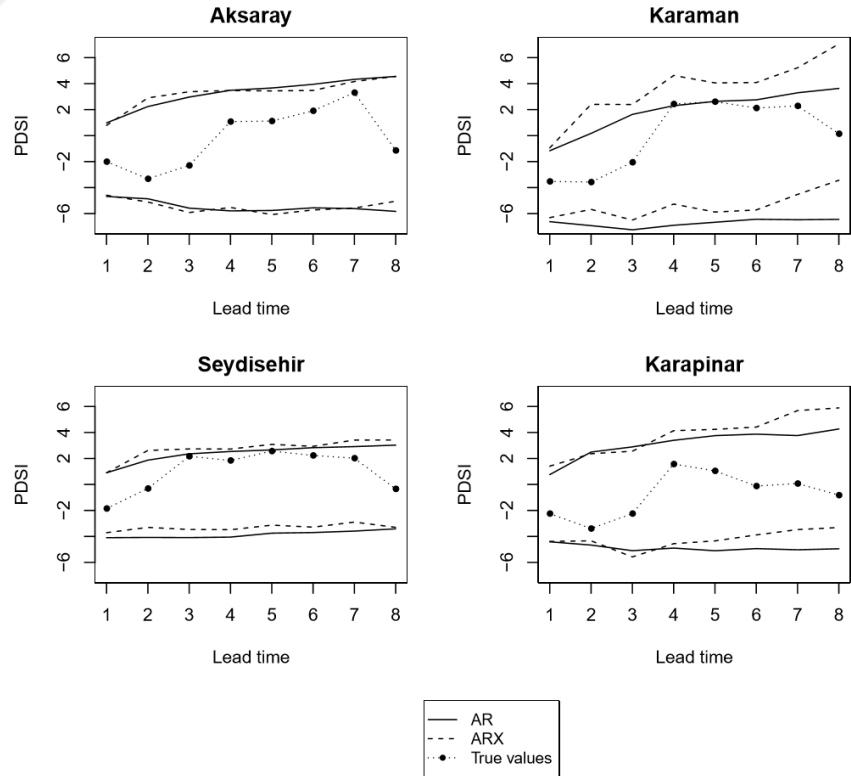
Çizelge 6.2 salınım endekslerinin tahmini katsayılarını ve p-değerlerini göstermektedir. * ile gösterilen p-değerleri, ilgili istasyon için önemli salınım indeksini belirtmektedir. Açıktır ki, AO' nun etkileri sadece Aksaray istasyonu için istatistiksel olarak anlamlıdır. Benzer şekilde Karaman ve Seydişehir istasyonları için NAO' nun etkileri de önemlidir. Genel sonuç, AO ve NAO indekslerinin, Konya Kapalı Havzası'ndaki aylık PDSI değerleri için önemli bir rol oynamadığını göstermektedir; bu nedenle, salınım indeksleri ile oluşturulan tahmin aralıkları, sadece AR (1) modeli kullanılarak elde edilen aralıklardan anlamlı derecede farklı değildir. Öte yandan, salınım endekslerinin önemli etkileri, Karaman istasyonundaki kısa ve orta vadeli tahminlerde kolayca görülebilir (Şekil 6.7 ve Şekil 6.8). Gelecekteki kısa ve orta vadeli kuraklık değerlerinin zamanla artan bir şekilde dalgalandığını ve daha büyük ölçekli kuraklık süresine geçtiğimizde doğrusal eğilim görünümünün bir biçimi gibi daha belirgin hale geldiğini düşünebiliriz. Bootstrap öngörü aralıklarının, salınım endekslerinin etkilerini içine alan benzeri davranış sergileyecek şekilde kendiliğinden ayarlanmış gibi görüldüğü unutulmamalıdır.

Çizelge 6.2 : Atmosferik salınım indislerinin tahmin katsayıları ve p-değerleri.

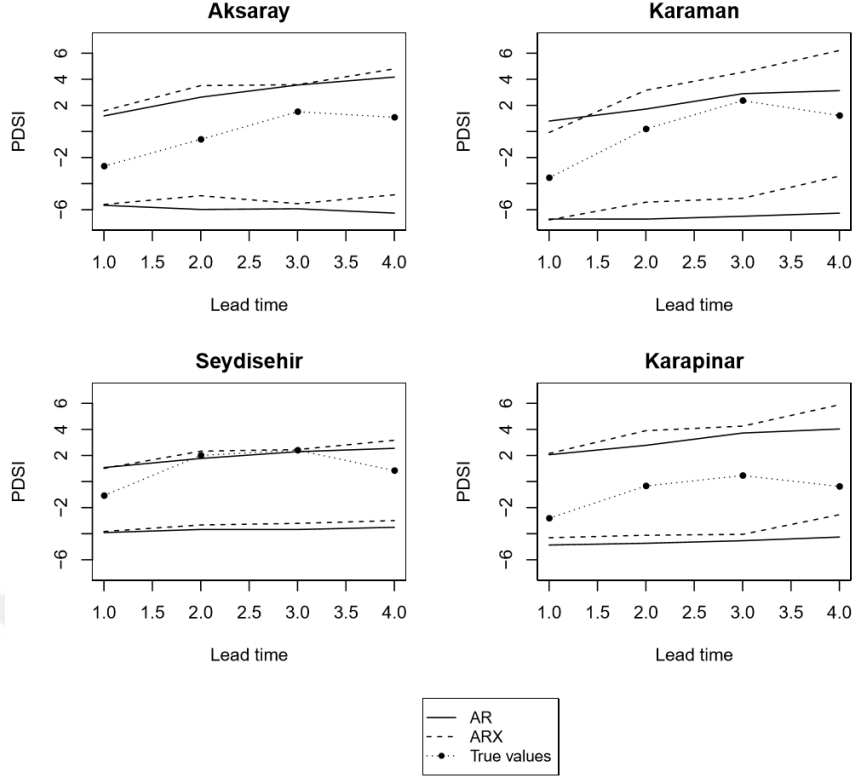
İstasyon	İndisler	$\hat{\gamma}$	p-değeri
Aksaray	AOI	0.1301	0.0151*
	NAOI	-0.1274	0.0178*
Karaman	AOI	0.0481	0.3500
	NAOI	-0.1154	0.0257*
Seydişehir	AOI	0.0857	0.1368
	NAOI	-0.1377	0.0173*
Karapınar	AOI	0.0427	0.4460
	NAOI	-0.0890	0.1130



Şekil 6.6 : Aylık PDSI değerleri için Ocak 2014-Aralık 2015 zaman aralığındaki %95 tahmin aralıkları.



Şekil 6.7 : Kısa dönemli (3 aylık) PDSI değerleri için Ocak 2014-Aralık 2015 zaman aralığındaki % 95 tahmin aralıkları.



Şekil 6.8 : Orta dönemli (6 aylık) PDSI değerleri için Ocak 2014-Aralık 2015 zaman aralığındaki % 95 tahmin aralıkları.

Şekil 6.7’de Karaman istasyonunda kısa dönemli PDSI değerleri için elde edilen tahmin aralığı grafiği incelendiğinde, gözlemlenen 3 ay ötelemeli (LT) PDSI değeri -2.0 (orta kurak) dolaylarında olup, elde edilen PDSI kuraklık tahmin aralıkları incelendiğinde PDSI değerinin üst sınırının 1.0 (az nemli), alt sınırının -7.5 (aşırı kurak) olduğu tespit edilmiştir (-7.5 ile 1.0 aralığında). Atmosferik salınımların etkileri dahil edildiğinde ise PDSI değerinin üst sınırının 3.5 (çok nemli), alt sınırının -6.5 (aşırı kurak) olduğu belirlenmiştir (-6.5 ile 3.5 aralığında).

Şekil 6.8’de Karaman istasyonunda orta dönemli PDSI değerleri için elde edilen tahmin aralığı grafiği incelendiğinde, gözlemlenen 3 ay ötelemeli (LT) PDSI değeri 2.0 (orta nemli) dolaylarında olup, elde edilen PDSI kuraklık tahmin aralıkları incelendiğinde PDSI değerinin üst sınırının 2.5 (orta nemli), alt sınırının -6.5 (aşırı kurak) olduğu tespit edilmiştir (-6.5 ile 2.5 aralığında). Atmosferik salınımların etkileri dahil edildiğinde ise PDSI değerinin üst sınırının 5.0 (aşırı nemli), alt sınırının -5.0 (aşırı kurak) olduğu tespit edilmiştir (-5.0 ile 5.0 aralığında).

Simülasyon Analiz Sonuçları:

AR(1) ve ARX(1) modelleri ile kurulan öngörü aralıklarının performanslarını karşılaştırmak için bir benzetim çalışması yapılmıştır. Bu karşılaştırma kapsama olasılığı, aralık uzunluğu ve tahmin edilen standart hataya dayanmaktadır. Anlamlılık düzeyi, %95 öngörü aralığı elde etmek için 0.05 seçilmiştir. Benzetim çalışmasına ait dizayn aşağıdaki gibidir.

Adım 1. Denklem 6.10' daki gibi yapay bir veri yaratılır.

$$X_t = \phi_0 + \phi_1 X_{t-1} + \gamma F_{t-1} + \varepsilon_t, \quad t = 1, \dots, n \quad (6.10)$$

Burada, $\phi_0 = 0$, $\phi_1 = 0.5$, $\gamma \in [0.05, 0.2]$ 0.05'lik artımlar ve $n=250$ olarak alınmıştır. Hata terimleri $\varepsilon_t \sim N(0,1)$ dağılım izlemektedir ve sadece bir dışsal değişken kullanılmıştır.

Adım 2. $h = 1, \dots, 24$ için $R=1000$ tane X_{n+h} gerçek değer oluşturulur.

Adım 3. $h = 1, \dots, 24$ ve $b = 1, \dots, B$ için bootstrap kök tekrarları $x_{n+h}^{*,b} - \hat{x}_{n+h}^{*,b}$ hesaplanır. Daha sonra, bootstrap kapsama olasılıkları x_{n+h} için,

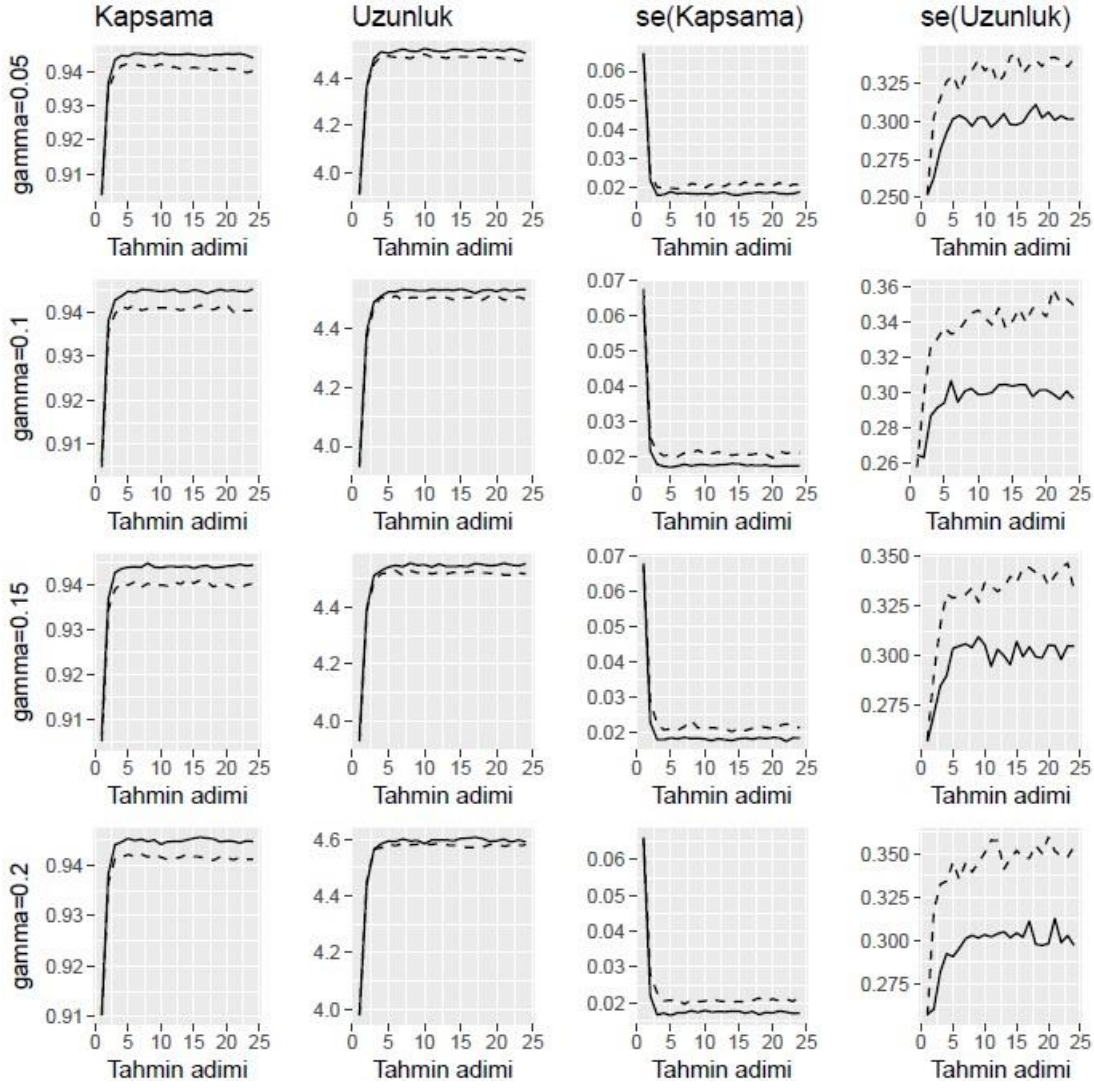
$$\frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \mathbf{1}\{\hat{x}_{n+h} + q(\alpha/2) \leq x_{n+h} \leq \hat{x}_{n+h} + q(1-\alpha/2)\}$$

olarak hesaplanır. Burada $q(\alpha)$ ve 1 sırası ile α ' ıncı bootstrap kantilini ve indikatör fonksiyonunu göstermektedir. Buna karşılık hesaplanan aralık uzunluğu ise;

$$\hat{x}_{n+h} + q(1-\alpha/2) - \hat{x}_{n+h} + q(\alpha/2)$$

olarak elde edilir.

Adım 4. Ortalama değerleri ve kapsama olasılığı ile aralık uzunluğuna ait standart hataları hesaplamak için 1-3 adımlarını MC=1000 (MC, Monte Karlo simülasyon sayısı) defa tekrar edilir. Sonuçlar Şekil 6.9'da gösterilmiştir.



Şekil 6.9 : AR(1) ve ARX(1) modeli ile elde edilen bootstrap öngörü aralıkları için simülasyon sonuçları.

Elde edilen sonuçlara göre AR(1) ve ARX(1) modeli ile elde edilen bootstrap öngörü aralıkları aynı performansa sahip olma eğilimindedirler. Her iki tahmin aralıkları da nominal kapsama olasılığına yakın değerler üretmişlerdir. Aralarındaki tek fark aralık uzunlukları için elde edilen standart hatalardır ve bu fark da dışsal değişkenden kaynaklanmaktadır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya üzerinde geniş ölçekli alanlarda meydana gelen ve çeşitli alanları doğal veya dolaylı olarak etkileyen atmosferik salınımların kuraklık üzerindeki etkilerinin belirlenmesi bu çalışmanın ana konusunu oluşturmaktadır. Çalışmada, Kuzey Atlantik Salınımı, Güneyli Salınım ve Arktik Salınımlarının etkisiyle Türkiye'nin Orta Anadolu kesiminde bulunan Konya Kapalı Havzası kuraklık indislerinin tahmini amaçlanmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında, Türkiye genelinde homojen olarak dağılmış ve kesintisiz veriye sahip 160 yağış istasyonuna ait 1974-2014 yılları arasındaki aylık yağış verilerinin homojenlikleri Standart Normal Homojenlik Testi, Pettitt testi, Buishand testi ve Von Neumann Oran testi ile analiz edilmiştir. Homojenlik testleri için R istatistiksel yazılım programı kullanılmıştır. Uygulanan dört homojenlik testinin en az birisinden geçmeyen istasyonların homojen olmadığı kabulü yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre homojenlik testlerinin uygulandığı 160 yağış istasyonundan 44 tanesinin uygulanan dört homojenlik testinin en az birisinden geçmediği yani verilerinin homojen olmadığı belirlenmiştir (%5 önem seviyesinde). 160 yağış istasyonundan Pettitt testine göre 25 istasyon, Buishand testine göre 13 istasyon, SNHT testine göre 25 istasyon, Von Neumann Oran testine göre ise 22 istasyon homojen olmayan kayıtlar içerdiği tespit edilmiştir. Özetlenen sonuçlara göre belirtilen dört testten de geçmeyen, yani homojen olmayan 5 adet istasyon tespit edilmiştir (Nallıhan, Sinop, Ardahan, Kars ve Mardin İstasyonları). Elde edilen istatistiki bilgilerden, Pettitt ve Buishand testlerinin yakaladığı kırılmalar çoğunlukla 1974-2014 ortalarına denk gelirken, SNHT genellikle çalışma periyodunun başlangıç ve bitişine yakın yerlerde kırılmalar tespit etmiştir. Bu da çalışmada kullanılan testlerin kırılma yıllarını yakalama hususunda göreceli hassaslıklara sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Homojen olmadığı tespit edilen istasyonlar çift toplam eğrisi metodu uygulanarak homojen hale getirilmeye çalışılmıştır. İklim ve hidrolijik çalışmalar için uzun vadeli, homojen ve sürekli yağış serilerinin bulunması şarttır. Eğer verilerde heterojenlik varsa bulunan istatistiksel parametreler olayın fiziğini yansıtmaz, yapılan uygulama ve yorumlar hatalı olur, kısacası yapılacak analiz için

sağlıklı sonuç elde edilemez. Bu nedenle öncelikli olarak verilerin homojenliğinin kontrolü önemlidir. Homojen olmayan verilerin bulunması halinde bunların homojenleştirilmesi ya da çalışmalarda hiç kullanılmaması gerekmektedir.

Çalışmanın bu bölümünde ayrıca, homojen olmayan bir istasyondaki homojensizliğin arkasında yatan nedenleri anlayabilmek için MGM'den elde edilen metadatalar kullanılarak yorumlar yapılmıştır. Bu bilgiler veri kalitesi ve verilerin homojenliğini değerlendirme açısından önemlidir. MGM'den elde ettiğimiz bilgiler doğrultusunda, veri ağımız için sınırlı miktarda, 12 istasyona ait veri bilgisi elde edilebilmiştir. Elde edilen bu veri bilgilerle homojen olmayan istasyonlar için homojensizlik nedenleri yorumlanmaya çalışılmıştır. Bir istasyondaki homojensizliğin arkasında yatan nedenleri anlayabilmek için metadataların kullanımına en iyi örnek olarak veri ağımızda bulunan Artvin ve Uzunköprü istasyonları verilebilir. Kırılma yılları ve istasyonların taşınma yılları çok yakın olan bu istasyonlar doğrudan nedeni açıklayan örnekler olarak karşımıza çıkmıştır. Özellikle, Artvin'deki ölçüm istasyonu, ilk olarak 1983 yılında 300 m uzaklıkta ve 31 m yükseklikteki bir yere taşınmış ve daha sonra 1989 ve 2009'da diğer istasyon yeri değişiklikleri gerçekleşmiştir. İstatistiksel testlerimize göre tespit edilen kırılma yıllarının (1984 ve 1987 yılları) rasat istasyonunun yer değiştirdiği 1983 ve 1989 yıllarına yakın olması bu homojensizlik durumunun istasyon yeri değişikliği nedeniyle olduğunu göstermiştir. Uzunköprü istasyonunda da benzer bir durum tespit edilmiştir. Homojen olmayan 12 istasyondan 6' sında (Bartın, Trabzon, Çorlu, Simav, Cumra ve Uzunköprü İstasyonları) istasyon yeri değişikliğinden önce kırılmanın olduğu yıllar tespit edilmiştir. Kırılma yılı ile istasyon yeri değişikliği yılı arasındaki sürenin 1 yıldan 31 yıla kadar değiştiği belirlenmiştir. Uzunköprü ve Çorlu istasyonlarında bu durum sırasıyla 1 ve 6 yıl olarak tespit edilmiştir. Bartın, Trabzon, Simav ve Cumra istasyonlarının taşınma yılları ve kırılma yılları arasında 19 yıldan fazla bir zaman görülmektedir. Bu durumda çevresel faktörlerin verilerin homojensizliğinde rol oynamış olabileceğinden bahsedilebilir. Bartın istasyonunda kırılma yılı 1994 olarak tespit edilmiş ve 2013 yılında istasyon yerinde 5 metre gibi ihmal edilebilir bir hareket gözlemlenmiştir. Benzer durum diğer üç istasyonda mevcuttur. (Trabzon 1987-2006, Simav 1981-2012, Cumra 1977-1997). Artvin ve Trabzon istasyonlarında 1987 yılında, Çorlu ve Balıkesir istasyonlarında 2008 yılında kırılmalar görülmüştür. Veri

setlerinde görülen kırılma yıllarının birden çok istasyonda eş zamanlı görülmesi, bu kırılmaların iklimin kendi doğal kırılmaları olduğunu düşündürmektedir.

Tez çalışmasının ikinci aşamasında, pilot bölge olarak belirlenen Konya Kapalı Havzası için Lineer Genetik Programlama- Discipulus yazılım programı kullanılarak kuraklık tahminleri yapılmıştır. Konya Kapalı Havzası'nda 1970-2016 zaman periyodunda, 8 yağış istasyonuna ait Palmer Kuraklık Şiddeti İndisleri ve atmosferik salınım indisleri (Kuzey Atlantik Salınım İndisi, Güneyli Salınım İndisi ve Arktik Salınım İndisi) inputlar olarak belirlenmiş, 3, 6, 9 ve 12 ay öteleme sürelerinde Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi tahminleri yapılmıştır. Program kullanılırken aylık gözlem verileri (1970-2016 döneminde PDSI ve NAOI serileri) eğitim ve test verileri olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. Tüm veri setinin % 70'i eğitim döneminde, geri kalan %30'luk kısmı modelin geçerliliğini test etmek için kullanılmıştır. Önerilen tahmin modelinin etkinliği ve uyumluluğunun belirlenmesi bakımından R^2 ve hata kareler ortalaması (MSE) hesaplamaları hidrolojik tahmin çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. R^2 için elde edilen yüksek bir değer (1'e kadar) ve hata kareler ortalaması (MSE) için küçük değerler modelin yüksek verimliliğini göstermektedir. Herbir atmosferik salınım indisi için oluşturulan senaryolara göre, programdan elde edilen hata kareler ortalaması (MSE) ve R^2 değerlerine göre yorumlamalar yapılmıştır. Konya Kapalı Havzasındaki 8 istasyon için LGP çıktılarında elde edilen genel analiz sonuçları incelendiğinde Aksaray ve Niğde istasyonlarında her üç salınım için kullanılan senaryolarda 3 ay ötelemeli kuraklık verilerinin makul şekilde tahmin edildiği gözlemlenmiştir. Havzadaki diğer istasyonlara ait analiz sonuçları incelendiğinde programın 3, 6, 9 ve 12 ay öteleme süreli tahminlerde yeterli gelmediği gözlemlenmiştir. Konya Kapalı Havzası için uygulanan Lineer Genetik Modelleme ile kuraklık analizi Türkiye'deki mevcut diğer havzalara da uygulanıp genel bir değerlendirme çalışması yapılabilir.

Tez çalışmasının üçüncü aşamasında, gelecekteki PDSI temelli kuraklık gözlemleri için otoregresif zaman serisi modelleri kullanarak tahmin aralıkları oluşturmak için artık tabanlı bootstrap yöntemi önerilmiştir. Hidroklimatolojik açıdan, hem Kuzey Atlantik hem de Arktik salınımlarının olası etkilerini, oluşturulan tahmin aralıkları üzerindeki temsili endeksi kullanılarak belirlemeye çalışılmıştır. Bu çalışmada ele alınan tüm sayısal analizler, bootstrap metodunun gelecekteki PDSI değerleri için geçerli tahmini aralıklarla sonuçlandığını onaylamıştır. Aralık uzunlukları, kısa

vadeli tahminler için uzun vadeli tahminlerinkinden çok daha dar olmaktadır. Bu anlamda, üç ay gibi kısa vadeli tahminlerin dikkate alınması kuraklık yönetimi için daha mantıklı olabilir. Kısa vadeli kuraklık tahminleri kuraklığın tarımsal sistemlere etkilerini izlemek için fayda sağlar. Bununla birlikte su kaynaklarının yönetimi için de önem arz etmektedir. Uzun vadeli kuraklık tahminleri ise kuraklığın bölgesel davranışını anlamamıza yardımcı olur. Daha sonra yapılacak çalışmalarda, bootstrap yönteminin performansları diğer kuraklık endeksleri için daha ayrıntılı olarak incelenebilir. Yaklaşımımız, tahminin önemli olduğu diğer meteorolojik, hidrolojik alanlarda da kullanılabilir.

Tez çalışması kapsamında önerdiğimiz Genetik Programlama ve Bootstrap yöntemlerinin kuraklık tahmininde Türkiye için ilk defa kullanılacak olması dikkat çekicidir. Bununla birlikte çalışmada önerdiğimiz Bootstrap yöntemiyle atmosferik salınımların etkileri kullanılarak kuraklık tahminlerinin (aralık tahminleri) yapılması literatürde bir ilktir.

Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçların, Konya Kapalı Havzası'ndaki su kaynakları planlama ve yönetimi, kuraklık değerlendirmeleri gibi konularda yapılacak diğer çalışmalara zemin hazırlayacağı düşünülmektedir. Konya Kapalı Havzası'na uygulanan bu çalışma, Türkiye'deki diğer havzalara da uygulanabilir ve Türkiye çapında genel bir değerlendirme haritası oluşturulabilir. Konya Kapalı Havzası'na uygulanan modelleme ve analizler sonucunda aşağıda belirtilen hususların kuraklık konusunda yapılacak tüm çalışmalarda dikkate alınması önerilmektedir.

- Diğer ülkelerde olduğu gibi Türkiye için de dikkat edilmesi gereken bir olay olan kuraklığın tahmini için, öncelikli olarak kapsamlı bir kuraklık yönetim planı dahilinde kuraklık belirleme, izleme ve değerlendirme çalışmalarına ağırlık verilmelidir. Bu konuda kuraklık risk çözümlemesi çalışmaları oldukça yetersizdir.
- Sıcaklık, yağış, yüzey akışı, toprak nemi gibi ana iklimsel ve hidrolojik değişkenler düzenli olarak izlenmeli ve normal değerlerden olan sapmalarının trendi gözlenmelidir.

- Kuraklığın önceden tahmini ile, kuraklık sonucu ortaya çıkabilecek zararları azaltmak için bir takım planlama yatırımları yapılabilir. Bu sayede ileride kuraklık etkisiyle karşılaşılabilecek olumsuz durumlar için hazırlıklı olunabilir.
- Kuraklık etkilerinin belirlenip, havza yönetim planlarına dahil edilmesi gerekmektedir.
- Suyun geri dönüşümü ve su tasarrufu sağlanmalıdır.
- Kuraklığın tarım, ekonomi, enerji, sağlık vb. alanlarda neden olduğu olumsuz sonuçlar hakkında bilimsel bir takım çalışmalara ağırlık verilip, kamuoyu bilinçlendirilmelidir.





KAYNAKLAR

- Abrahart, R.J. (2003).** Neural network rainfall-runoff forecasting based on continuous resampling. *Journal of Hydroinformatics*, 5(1), 51-61.
- Alexandersson, H. (1986).** A homogeneity test applied to precipitation data, *Journal of Climate*, 6, 661-675.
- AL-Lami, A. M., AL-Timimi, Y. K. & AL-Salihi, A.M. (2014).** The homogeneity analysis of rainfall time series for selected meteorological stations in Iraq, *Diyala Journal for Pure Sciences*, 10 (2), 60-77.
- Arslan, Y. (2005).** *Mühendislikte tersine problem uygulamaları için genetik programlama yaklaşımı.* (Bilim Uzmanlığı Tezi). Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Aytek, A. & Kisi, O. (2008).** A genetic programming approach to suspended sediment modelling. *J. Hydrol.* 351 (3-4), 288-298.
- Banzhaf, W., Nordin, P., Keller, R. & Francone, F.D. (1998).** Genetic programming-an introduction on the automatic evolution of computer programs and its application. *dpunkt/Morgan Kaufmann: Heidelberg*, San Francisco.
- Belayneh, A., Adamowski, J., Khalil, B. & Ozga-Zielinski, B. (2014).** Long-term spi drought forecasting in the awash river basin in ethiopia using wavelet neural network and wavelet support vector regression models, *Journal of Hydrology*, 508, 418-429.
- Berkowitz, J. & Kilian, L. (2000).** Recent developments in bootstrapping time series, *Econometric Reviews*, 19, 1-48.
- Bose, A. & Politis, D. (1995).** A review of the bootstrap for dependent samples. In: Bhat, B.R., Prakasa Rao, B.L.S. (Eds.), *Stochastic Processes and Statistical Inference*. New Age International Publishers, 3951, New Delhi.
- Bozyurt, O., (2010).** *Güneş aktivitelerinin kuzey Atlantik salınımı ve Arktik salınım üzerindeki etkileri ile bunların yağış ve sıcaklık değerleri bakımından Türkiye'den örnekler ile değerlendirilmesi.* (Doktora Tezi). Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Buishand, T.A. (1982).** Some Methods for Testing the Homogeneity of Rainfall Records, *Journal of Hydrology*, 58, 11-27.
- Bulmann, P. (2002).** Bootstraps for time series, *Statistical Science*, 17, 52-72.
- Cancelliere, A., Mauro, G.D., Bonaccorso, B. & Rossi, G. (2007).** Drought forecasting using the standardized precipitation index. *Water Resources Management*, 21, 801-819.
- Carey, V. (2005).** Resampling methods for dependent data, *Journal of the American Statistical Association*, 100, 712-713.

- Cengiz, T. M.** (2005). *Türkiye Göl Seviyelerinin Hidroklimatolojik Analizi*. (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Danandeh Mehr, A., Kahya, E. & Olyaie, E.** (2013). Streamflow prediction using linear genetic programming in comparison with a neuro-wavelet technique. *Journal of Hydrology*, 505, 240–249.
- Danandeh Mehr, A., Kahya, E. & Özger, M.** (2014). A gene-wavelet model for long lead time drought forecasting, *Journal of Hydrology*, 517, 691–699.
- Deepesh, M. and Madan Kumar, J.** (2012). *Hydrologic Time Series Analysis; Theory and Practice*, Springer.
- Demircan, M., Çiçek, İ., Türkoğlu, N., Ekici, M. & Arabacı, H.** (2015). Ortalama sıcaklıklardaki türdeşlik kırılmalarının iklim göstergeleriyle ilişkisi, *VII. Uluslararası Katılımlı Atmosfer Bilimleri Sempozyumu*, 13-21.
- Doğan, S.** (2013). *Konya Kapalı Havzası kuraklık karakterizasyonunun zamansal-konumsal analizi*. (Doktora Tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Dorado, J., Rabuñal, J.R., Pazos, A., Rivero, D., Santos, A. & Puertas, J.** (2003). Prediction and modeling of the rainfall-runoff transformation of a typical urban basin using ANN and GP. *Appl. Artif. Intell.*, 17, 329–343.
- Efron, B.** (1979). Bootstrap methods: another look at the jackknife, *The Annals of Statistics*, 7, 1–26.
- Efron, B. & Tibshirani, R.** (1986). Bootstrap methods for standard errors, confidence intervals, and other measures of statistical accuracy, *Statistical Science*;1, 54–77.
- Erlat E.** (1999). El Nino, La Nina ve Güneyli Salınım, *Ege Coğrafya Dergisi*, 10, 195-218, İzmir.
- Erlat, E.** (2002). Türkiye’de Minimum Sıcaklıklar İle Kuzey Atlantik Salınımı Arasındaki İlişkiler, *Klimatoloji Çalıştayı*. Ege Üniversitesi, İzmir.
- Fernandez, C., Vega, J.A., Fonturbel, T. & Jimenez, E.** (2009). Streamflow drought time series forecasting: a case study in a small watershed in North West Spain. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.*, 23, 1063–1070.
- Firat, M., Dikbas, F., Koc, A.C. & Gungor, M.** (2010). Missing data analysis and homogeneity test for Turkish precipitation series, *Sadhana*, 35(6),707–720.
- Francone, F.D.** (2010). DiscipulusTM with Notitia and solution analytics owner’s manual. *Register Machine Learning Technologies Inc.*, Littleton, CO, USA.
- Freedman, D.** (1981). Bootstrapping regression models, *The Annals of Statistics*, 9:1218–1228.
- Ghorbani, M.A., Khatibi, R., AYTEK, A., Makarynsky, O. & Shiri, J.** (2010). Sea water level forecasting using genetic programming and artificial neural networks. *Comput. Geosci.*, 36 (5), 620–627.

- Goncalves, S. & Perron, B.** (2016). Discussion of bootstrap prediction intervals for linear, nonlinear, and nonparametric autoregressions, by li pan and dimitris politis, *Journal of Statistical Planning and Inference*, 117, 31–34.
- Goncalves, S., Perron, B. & Djogbenou, A.** (2017). Bootstrap prediction intervals for factor models, *Journal of Business & Economic Statistics*, 35, 53–67.
- Göktürk, M. O.** (2005). *North Sea-Caspian pattern and its influence on the hydrometeorological parameters over Turkey.* (Master Thesis). Istanbul Technical University, Eurasia Institute of Earth Sciences, Istanbul.
- Göktürk, O.M., Bozkurt, D., Şen, Ö.L. & Karaca, M.** (2007). Quality control and homogeneity of Turkish precipitation data, *Hydrological Process*, 22, 3210-3218.
- Hanssen-Bauer, I. & Førland, E.** (1994). Homogenizing long Norwegian precipitation series, *Journal of Climate*, 1001–1013.
- Hardle, W. & Bowman, A.** (1998). Bootstrapping in nonparametric regression: Local adaptive smoothing and confidence bands, *Journal of the American Statistical Association* 83,100–110.
- Hardle, W., Horowitz, J. & Kreiss, J.** (2003). Bootstrap for time series, *International Statistical Review*, 71, 435–459.
- Hurrell, J.W., Hoerling, M.P. & Folland, C.K.** (2000). Climatic Variability Over The North Atlantic, *Meteorology at the Millennium: 150th Anniversary of the Royal Meteorological Society*.
- IPCC, (2007).** *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* [Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996.
- İDEP, (2011).** *İDEP, Türkiye Cumhuriyeti iklim değişikliği ulusal eylem planı 2011-2023*, Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Jaruskova, D.** (1994). Change-point detection in meteorological measurement, *Monthly Weather Review*, 124, 1535-1543.
- Jia, Y. & Culver T. B.** (2006). Bootstrapped artificial neural networks for synthetic flow generation with a small data sample, *Journal of Hydrology*, 331, pp: 580– 590. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2006.06.005
- Kadioğlu, M.** (2012). *Türkiye’de iklim değişikliği risk yönetimi*, Türkiye’nin Birleşmiş milletler iklim değişikliği çerçeve sözleşmesine ilişkin ikinci ulusal bildirim hazırlık faaliyetlerinin desteklenmesi projesi. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Kahya, E. & Dracup, J.A.** (1993). U.S. streamflow patterns in relation to the El Nino/Southern Oscillation, *Water Resour.Res.*, 29, 2491-2503.

- Kahya, E. & Karabörk, M. Ç.** (2001). The Analysis of El Nino And La Nina Signals in Streamflows of Turkey, *Int. J. Climatol.*, 21,1231–1250.
- Kahya, E. & Kalaycı, S.** (2004). Trend analysis of streamflow in Turkey, *Journal of Hydrology*, 289, 128-144.
- Kahya, E., Cıgızoğlu, K., Dorum, A., Karabök, Ç.M., Kömüşcü ,Ü.A., Cengiz, M.T., Martı, İ.A. & Tarhan M.** (2006). El Nino ve La Nina olaylarının etkileri ile Türkiye’deki yağış zaman serilerinin karakteristik özelliklerindeki ve dağılımlarındaki değişkenlerin analizi, *Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu*, Proje No: YDABAG 102Y146.
- Kalaycı, S., Karabörk, M. Ç. & Kahya, E.** (2004). Analysis of el nino signals on turkish streamflow and precipitation patterns using spectral analysis, *Fresenius Enviromental Bulletin*, 13(8), 719-725.
- Kang, H.M. & Yusof, F.** (2012). Homogeneity tests on daily rainfall series in Peninsular Malaysia, *Int J Contemp Math Sci*, 7(1), 9–22.
- Karabork, M.C., Kahya, E. & Karaca, M.** (2005). The influences of the Southern and North Atlantic Oscillations on climatic surface variables in Turkey, *Hydrological Processes*, 19(6), 1185–1211.
- Karabörk, M. Ç, Kahya, E. & Kömüşcü, A. U.** (2007). Analysis of Turkish precipitation data: Homogeneity and the Southern Oscillation forcings on frequency distributions, *Hydrological Processes*, John Wiley & Sons Ltd., 21, 3203–3210.
- Kim, T. & Valdes, J.** (2003). Nonlinear model for drought forecasting based on a conjunction of wavelet transforms and neural networks, *Journal of Hydrologic Engineering*, 8, 319–328.
- Kisi, O. & Guven, A.** (2010). Evapotranspiration modeling using linear genetic programming technique, *J. Irrig. Drain. Eng.*, 136 (10), 715–723.
- Koza, J.** (1992). *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*, A Bradford Book, MIT Press.
- Li, H. & Maddala, G.** (1996). Bootstrapping time series models, *Econometric Reviews*, 15,115–158.
- Liu R.** (1988). Bootstrap procedures under some non i.i.d. models, *The Annals of Statistics*, 16,1697–1708.
- Martı, İ.A.** (2007). *Türkiye’deki akım, yağış ve sıcaklık verilerinin Güneyli Salınımıyla olan ilişkilerinin incelenmesi.* (Doktora Tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Maza, M. De la & Tidor, B.** (1991). Increased Flexibility in Genetic Algorithms: The Use of Variable Boltzmann Selective Pressure to Control Propagation, Proc. of the ORSA CSTS Conference, *Computer Science and Operations Research: New Developments in their Interfaces*, 425-440.
- Mihajlovic, D.** (2006). Monitoring the 2003–2004 meteorological drought over Pannonian part of Croatia, *International Journal of Climatology*, 26, 2213–2225.

- Mishra, A. & Desai, V.** (2005). Drought forecasting using stochastic models, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 19, 326–339.
- Mishra, A. & Desai, V.** (2006). Drought forecasting using feed forward recursive neural network, *Ecological Modelling*, 198, 127–138.
- Mishra, A.K. & Singh, V.P.** (2011). Drought modelling – a review, *Journal of Hydrology*, 403, 157–175.
- Modarres, R.** (2007). Streamflow drought time series forecasting, *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.*, 15 (21), 223–233.
- Morid, S., Smakhtin, V. & Bagherzadeh, K.** (2007). Drought forecasting using artificial neural networks and time series of drought indices, *International Journal of Climatology*, 27, 2103-2211.
- Nourani, V., Komasi, M. & Alami, M.T.** (2012). Hybrid wavelet–genetic programming approach to optimize ANN modelling of rainfall-runoff process, *J. Hydrol. Eng.*, 7 (6), 724–741.
- Nourani, V., Komasi, M. & Alami, M.T.** (2013). Geomorphology-based genetic programming approach for rainfall-runoff modeling. *J. Hydroinform.* 15 (2), 427–445.
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı.** (2017). Ulusal kuraklık yönetimi strateji belgesi ve eylem planı 2017-2023, Ankara.
- Ozger, M., Mishra, A. K., & Singh, V. P.** (2011). Estimating palmer drought severity index using a wavelet fuzzy logic model based on meteorological variables. *International Journal of Climatology*, 31(13), 2021-2032.
- Özger, M., Mishra, A. & Singh, V.** (2012). Long lead time drought forecasting using a wavelet and fuzzy logic combination model: A case study in Texas, *Journal of Hydrometeorology*, 13, 284–297.
- Palmer, W.** (1965). *Meteorological drought*. United States Department of Commerce, Weather Bureau, Research Paper, No 45.
- Pan, L. & Politis, D.** (2016). *The national drought atlas*. Bootstrap prediction intervals for linear, nonlinear and nonparametric autoregressions, 177,1–27.
- Pettitt, A. N.** (1979). A non-parametric approach to the change-point problem, *Applied Statistics*, 28(2), 126-135, England.
- Poli, R., Langdon, W.B. & McPhee, N.F.** (2008). A Field Guide to Genetic Programming. Published via <http://lulu.com> and freely available at <http://www.gp-field-guide.org.uk> (With contributions by J.R. Koza)
- Politis, D.** (2003). The impact of bootstrap methods on time series analysis, *Statistica Science*, 18, 219–230.
- Rabuñal, J.R., Puertas, J., Suárez, J. & Rivero, D.** (2007). Determination of the unit hydrograph of a typical urban basin using genetic programming and artificial neural networks. *Hydrological Process*, 476–485.

- Sattari, M. T., Yürekli, K., & Ünlükara, A.** (2011). Karaman İlinde Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı Kullanılarak Kuraklığın Tahmini, *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi* 4 (1), 7-13.
- Srivastav, R. K., K. P. Sudheer & I. Chaubey.** (2007). A simplified approach to quantifying predictive and parametric uncertainty in artificial neural network hydrologic models, *Water Resour. Res.*, 43, W10407, doi:10.1029/2006WR005352.
- Tarhule, A. & Woo, M. K.** (1998). Changes in rainfall characteristics in Northern Nigeria, *International Journal of Climatology*, Royal Meteorological Society. 18, 1261–1271.
- Tatlı, H., Dalfes, N. H. & Menteş, S.** (2004). A statistical downscaling method for monthly total precipitation over Turkey, *Int. J. Climatol.*, 24, 161–180.
- Telcioğlu, M.B.** (2007). *Veri madenciliğinde genetik programlama temelli yeni bir sınıflandırma yaklaşımı ve uygulaması.* (Yüksek Lisans Tezi). Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Thornthwaite, C. W.** (1948). An Approach toward a rational classification of climate, *Geography Review*, 38, 55-94.
- Tiwari, M. K. & Chatterjee, C.** (2010). Development of an accurate and reliable hourly flood forecasting model using wavelet–bootstrap–ANN (WBANN) hybrid approach. *Journal of Hydrology*, 394(3-4), 458-470.
- Tosunoğlu, F.** (2014). *Türkiye'deki meteorolojik ve hidrolojik kuraklıkların atmosferik salınımlarla olan ilişkilerinin incelenmesi.* (Doktora Tezi). Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- TÜBİTAK MAM & Çevre ve Orman Bakanlığı.** (2010). *Proje Adı: Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması – Konya Kapalı Havzası*, TÜBİTAK MAM Çevre Enstitüsü.
- Türkeş, M.** (1996). Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey. *Int. J. Climatology*, 16, 1057-1076.
- Türkeş, M.** (1999). Vulnerability of Turkey to Desertification With Respect to Precipitation and Aridity Conditions, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Science*, 23, 363-380.
- Türkeş, M. & Erlat, E.** (2003). Precipitation changes and variability in Turkey linked to the North Atlantic Oscillation during the period 1930-2000, *International Journal Climatology*, 23, 1771–1796.
- Türkeş, M., Akgündüz A.S. & Demirörs Z.** (2009). Palmer Kuraklık İndisi'ne Göre İç Anadolu Bölgesi'nin Konya Bölümü'ndeki Kurak Dönemler ve Kuraklık Şiddeti. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 7(2), 129-144.
- Url-1** < <https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/enso/enso-essentials/> >
- Url-2** < <http://www.elnino.noaa.gov> >
- Url-3** < <https://www.ncdc.noaa.gov> >
- Url-4** < <https://havadelisi.com> >

- Usul N. (2008).** *Mühendislik Hidrolojisi*. ODTÜ Yayınevi, Ankara.
- Van Belle, G. & Hughes, J.P. (1984).** Nonparametric tests for trend in water quality, *Water Resources Research*, 20 (1), 127–136.
- Wijngaard, J.B, Klein Tank, A.M.G & Konnen, G.P. (2003).** Homogeneity of 20 th century European daily temperature and precipitation series, *Int J Climatol*, 23, 679–692.
- WMO (1992).** Monitoring, Assesment and Combat of Drought and Desertification, TD-No.55, Geneva.
- WMO (1997).** Extreme Agrometeorological Events, CagM-X Working Group, Geneva.
- Yeğnidemir, M.K. (2005).** *İç Anadolu Bölgesi'nin standartlaştırılmış yağış indisi (SYİ) metodu ile kuraklık analizi*. (Yüksek Lisans Tezi). Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Yetmen, H. (2006).** *GAP alanında Kuzey Atlantik Salınımı'na bağlı yağış ve akım değişimleri*. (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.



EKLER

EK A : Homojenlik çalışmalarında kullanılan yağış istasyonları

EK B: Kuraklık tahmini için kullanılan Konya Kapalı Havzası'ndaki 8 yağış istasyonunununa ait Lineer Genetik Programlama (LGP) analiz sonuçları.

EK C: Cihanbeyli İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları

EK D: Aksaray İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları

EK E: Konya İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları

EK F: Karaman İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları

EK G: Konyaareğli İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları

EK H: Niğde İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları

EK I: Seydişehir İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları

EK J: Karapınar İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları

EK A**Çizelge A.1: Homojenlik çalışmalarında kullanılan yağış istasyonları.**

No	İst. No	İstasyon Adı	Koordinatlar			Derlenmiş Yıllar	Toplam Yıl
			Enlem	Boylam	Yükseklik		
1	17015	AKÇAKOCA	41.09	31.14	10	1974-2014	40
2	17020	BARTIN	41.63	32.33	30	1974-2014	40
3	17022	ZONGULDAK	41.45	31.Ağu	137	1974-2014	40
4	17024	INEBOLU	41.98	33.77	64	1974-2014	40
5	17026	SINOP	42.02	35.17	32	1974-2014	40
6	17030	SAMSUN	41.28	36.3	4	1974-2014	40
7	17033	ORDU	40.98	37.9	4	1974-2014	40
8	17034	GİRESUN	40.92	38.4	38	1974-2014	40
9	17037	TRABZON	41	39.72	30	1974-2014	40
10	17040	RİZE	41.03	40.52	4	1974-2014	40
11	17042	HOPA	41.4	41.43	33	1974-2014	40
12	17045	ARTVIN	41.18	41.82	628	1974-2014	40
13	17046	ARDAHAN	41.11	42.71	1827	1974-2014	40
14	17050	EDİRNE	41.67	26.57	51	1974-2014	40
15	17052	KIRKLARELİ	41.73	27.23	232	1974-2014	40
16	17054	CORLU	41.17	27.Ağu	183	1974-2014	40
17	17056	TEKİRDAĞ	40.98	27.55	4	1974-2014	40
18	17059	KUMKOY	41.25	29.Mar	30	1974-2014	40
19	17061	KIRECBURNU	41.17	29.Nis	58	1974-2014	40
20	17066	KOCAELİ	40.78	29.93	76	1974-2014	40
21	17069	SAKARYA	40.78	30.42	31	1974-2014	40
22	17070	BOLU	40.73	31.52	742	1974-2014	40
23	17072	DUZCE	40.83	31.17	146	1974-2014	40
24	17074	KASTAMONU	41.37	33.78	800	1974-2014	40
25	17080	CANKIRI	40.6	33.62	751	1974-2014	40
26	17083	MERZİFON	40.87	35.33	759	1974-2014	40
27	17084	CORUM	40.55	34.95	776	1974-2014	40
28	17085	AMASYA	40.65	35.83	412	1974-2014	40
29	17086	TOKAT	40.3	36.57	608	1974-2014	40
30	17088	GUMUSHANE	40.47	39.47	1219	1974-2014	40
31	17089	BAYBURT	40.25	40.22	1584	1974-2014	40
32	17090	SIVAS	39.75	37.02	1285	1974-2014	40
33	17094	ERZİNCAN	39.75	39.5	1218	1974-2014	40
34	17096	ERZURUM	39.92	41.27	1869	1974-2014	40
35	17097	KARS	40.62	43.1	1775	1974-2014	40
36	17099	AGRI	39.72	43.05	1631	1974-2014	40
37	17100	IGDIR	39.92	44.05	858	1974-2014	40
38	17110	GOKCEADA	40.2	25.Eyl	72	1974-2014	40
39	17112	CANAKKALE	40.15	26.42	6	1974-2014	40
40	17114	BANDIRMA	40.35	27.97	58	1974-2014	40

Çizelge A.1 (devam): Homojenlik çalışmalarında kullanılan yağış istasyonları.

No	İst. No	İstasyon Adı	Koordinatlar			Derlenmiş Yıllar	Toplam Yıl
			Enlem	Boylam	Yükseklik		
41	17116	BURSA	40.18	29.Tem	100	1974-2014	40
42	17119	YALOVA	40.65	29.27	4	1974-2014	40
43	17120	BILECIK	40.15	29.98	539	1974-2014	40
44	17126	ESKISEHIR	39.77	30.52	801	1974-2014	40
45	17130	ANKARA	39.95	32.88	891	1974-2014	40
46	17135	KIRIKKALE	39.85	33.52	747	1974-2014	40
47	17140	YOZGAT	39.82	34.8	1298	1974-2014	40
48	17145	EDREMIT	39.6	27.Şub	21	1974-2014	40
49	17150	BALIKESIR	39.63	27.92	102	1974-2014	40
50	17155	KUTAHYA	39.42	29.97	969	1974-2014	40
51	17160	KIRSEHIR	39.15	34.17	1007	1974-2014	40
52	17162	GEMEREK	39.18	36.07	1173	1974-2014	40
53	17165	TUNCELI	39.12	39.55	980	1974-2014	40
54	17172	VAN	38.5	43.38	1671	1974-2014	40
55	17184	AKHISAR	38.92	27.85	93	1974-2014	40
56	17186	MANISA	38.62	27.43	71	1974-2014	40
57	17190	AFYON	38.75	30.53	1034	1974-2014	40
58	17191	CIHANBEYLI	38.65	32.93	969	1974-2014	40
59	17192	AKSARAY	38.38	34.08	965	1974-2014	40
60	17196	KAYSERI	38.73	35.48	1093	1974-2014	40
61	17199	MALATYA	38.35	38.32	898	1974-2014	40
62	17201	ELAZIG	38.67	39.23	991	1974-2014	40
63	17203	BINGOL	38.88	40.48	1177	1974-2014	40
64	17204	MUS	38.73	41.48	1284	1974-2014	40
65	17205	TATVAN	38.5	42.3	1665	1974-2014	40
66	17208	BİTLİS	38.48	42.16	1785	1974-2014	40
67	17210	SIIRT	37.92	41.95	896	1974-2014	40
68	17220	IZMIR	38.43	27.17	25	1974-2014	40
69	17232	KUSADASI	37.87	27.25	22	1974-2014	40
70	17234	AYDIN	37.85	27.85	56	1974-2014	40
71	17237	DENIZLI	37.78	29.Ağu	426	1974-2014	40
72	17238	BURDUR	37.72	30.28	967	1974-2014	40
73	17239	AKŞEHİR	38.37	31.43	1002	1974-2014	40
74	17240	ISPARTA	37.77	30.55	997	1974-2014	40
75	17242	BEYŞEHİR	37.68	31.75	1141	1974-2014	40
76	17244	KONYA	37.87	32.48	1031	1974-2014	40
77	17246	KARAMAN	37.18	33.22	1025	1974-2014	40
78	17248	KONYAEREGLI	37.5	34.05	1044	1974-2014	40
79	17250	NIGDE	37.97	34.68	1211	1974-2014	40
80	17255	KAHRAMANMARAS	37.6	36.93	572	1974-2014	40

Çizelge A.1 (devam): Homojenlik çalışmalarında kullanılan yağış istasyonları.

No	İst. No	İstasyon Adı	Koordinatlar			Derlenmiş Yıllar	Toplam Yıl
			Enlem	Boylam	Yükseklik		
81	17261	GAZIANTEP	37.07	37.38	855	1974-2014	40
82	17262	KİLİS	36.71	37.11	640	1974-2014	40
83	17265	ADİYAMAN	37.75	38.28	672	1974-2014	40
84	17270	SANLIURFA	37.13	38.77	547	1974-2014	40
85	17275	MARDIN	37.3	40.73	1080	1974-2014	40
86	17280	DIYARBAKIR	37.9	40.23	677	1974-2014	40
87	17282	BATMAN	37.88	41.12	540	1974-2014	40
88	17285	HAKKARI	37.58	43.73	1728	1974-2014	40
89	17290	BODRUM	37.05	27.43	27	1974-2014	40
90	17292	MUGLA	37.22	28.37	646	1974-2014	40
91	17296	FETHIYE	36.62	29.Ara	3	1974-2014	40
92	17300	ANTALYA	36.88	30.Tem	51	1974-2014	40
93	17310	ALANYA	36.55	32.025	7	1974-2014	40
94	17320	ANAMUR	36.08	32.83	5	1974-2014	40
95	17330	SILIFKE	36.38	33.93	15	1974-2014	40
96	17340	MERSİN	36.8	34.6	3	1974-2014	40
97	17351	ADANA	37	35.33	20	1974-2014	40
98	17370	ISKENDERUN	36.58	36.17	4	1974-2014	40
99	17372	ANTAKYA	36.2	36.15	104	1974-2014	40
100	17375	FINIKE	36.3	30.15	3	1974-2014	40
101	17602	AMASRA	41.75	32.38	73	1974-2014	40
102	17606	BOZKURT	41.95	34.02	167	1974-2014	40
103	17608	UZUNKOPRU	41.27	26.68	52	1974-2014	40
104	17610	SİLE	41.18	29.61	31	1974-2014	40
105	17622	BAFRA	41.57	35.92	20	1974-2014	40
106	17624	UNYE	41.13	37.28	20	1974-2014	40
107	17636	FLORYA	40.98	28.75	36	1974-2014	40
108	17646	CERKES	40.82	32.9	1125	1974-2014	40
109	17650	TOSYA	41.02	34.03	820	1974-2014	40
110	17662	GEYVE	40.52	30.Mar	100	1974-2014	40
111	17674	GONEN	40.1	27.65	37	1974-2014	40
112	17679	NALLIHAN	40.18	31.35	650	1974-2014	40
113	17680	BEYPAZARI	40.17	31.92	682	1974-2014	40
114	17682	SEBINKARAHISAR	40.3	38.42	1300	1974-2014	40
115	17690	HORASAN	40.05	42.17	1540	1974-2014	40
116	17695	KELES	39.92	29.Tem	1063	1974-2014	40
117	17700	DURSUNBEY	39.58	28.63	639	1974-2014	40
118	17704	TAVSANLI	39.55	29.May	834	1974-2014	40
119	17716	ZARA	39.9	37.75	1348	1974-2014	40
120	17728	POLATLI	39.58	32.15	885	1974-2014	40

Çizelge A.1 (devam): Homojenlik çalışmalarında kullanılan yağış istasyonları.

No	İst. No	İstasyon Adı	Koordinatlar			Derlenmiş Yıllar	Toplam Yıl
			Enlem	Boylam	Yükseklik		
121	17730	KESKIN	39.68	33.62	1140	1974-2014	40
122	17732	ÇİÇEKDAĞI	39.61	34.42	900	1974-2014	40
123	17742	BERGAMA	39.12	27.18	53	1974-2014	40
124	17748	SIMAV	39.08	28.98	809	1974-2014	40
125	17752	EMIRDAG	39.02	31.15	983	1974-2014	40
126	17754	KULU	39.1	33	1010	1974-2014	40
127	17756	KAMAN	39.37	33.72	1075	1974-2014	40
128	17762	KANGAL	39.23	37.38	1545	1974-2014	40
129	17784	ERCIS	39.03	43.35	1678	1974-2014	40
130	17792	SALIHLI	38.48	28.13	111	1974-2014	40
131	17796	BOLVADIN	38.72	31.May	1018	1974-2014	40
132	17798	YUNAK	38.82	31.73	1120	1974-2014	40
133	17822	ODEMIS	38.23	27.97	118	1974-2014	40
134	17826	SENIRKENT	38.1	30.55	959	1974-2014	40
135	17832	ILGIN	38.28	31.92	1034	1974-2014	40
136	17835	URGUP	38.63	34.92	1060	1974-2014	40
137	17840	SARIZ	38.48	36.5	1500	1974-2014	40
138	17850	SULTANHISAR	37.9	28.15	73	1974-2014	40
139	17854	SELCUK	37.95	27.37	17	1974-2014	40
140	17862	DINAR	38.07	30.17	864	1974-2014	40
141	17864	ULUBORLU	38.08	30.45	1160	1974-2014	40
142	17880	BASKALE	38.05	44.02	2400	1974-2014	40
143	17882	EGIRDİR	37.87	30.83	920	1974-2014	40
144	17884	MILAS	37.32	27.78	52	1974-2014	40
145	17886	YATAGAN	37.35	28.13	365	1974-2014	40
146	17892	TEFENNI	37.32	29.77	1142	1974-2014	40
147	17898	SEYDISEHIR	37.42	31.83	1131	1974-2014	40
148	17900	CUMRA	37.58	32.78	1013	1974-2014	40
149	17902	KARAPINAR	37.72	33.55	1004	1974-2014	40
150	17906	ULUKISLA	37.55	34.48	1453	1974-2014	40
151	17908	KOZAN	37.45	35.82	11	1974-2014	40
152	17936	KARAIŞALI	37.27	35.07	230	1974-2014	40
153	17950	CIZRE	37.32	42.18	400	1974-2014	40
154	17952	ELMALI	36.75	29.92	1095	1974-2014	40
155	17954	MANAVGAT	36.78	31.43	38	1974-2014	40
156	17960	CEYHAN	37.03	35.82	30	1974-2014	40
157	17962	DORTYOL	36.85	36.22	28	1974-2014	40
158	17974	GAZIPASA	36.27	32.32	21	1974-2014	40
159	17979	YUMURTALIK	36.77	35.78	27	1974-2014	40
160	17980	AKÇAKALE	36.73	38.95	365	1974-2014	40

EK B**Çizelge B.1:** Cihanbeyli istasyonu (17191) analiz sonuçları.

Tahmin Senaryosu (NAOI)	Ortalama Hata Karesi (MSE)		R-Squared (R ²)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
3-ay öteleme süresi	2,5929	4,7224	0,623	0,4331
6-ay öteleme süresi	4,3707	6,5371	0,366	0,22
9-ay öteleme süresi	4,8932	7,2174	0,2905	0,1439
12- ay öteleme süresi	6,1964	7,6216	0,1077	0,0960

Tahmin Senaryosu (SOI)	Ortalama Hata Karesi (MSE)		R-Squared (R ²)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
3-ay öteleme süresi	2,6445	4,6251	0,6155	0,4448
6-ay öteleme süresi	4,8548	6,0581	0,2958	0,2771
9-ay öteleme süresi	5,3968	6,9902	0,2175	0,1709
12- ay öteleme süresi	5,7827	7,3756	0,1672	0,1251

Tahmin Senaryosu (AOI)	Ortalama Hata Karesi (MSE)		R-Squared (R ²)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
3-ay öteleme süresi	2,6186	4,2334	0,6193	0,4918
6-ay öteleme süresi	4,4755	6,0362	0,3508	0,2797
9-ay öteleme süresi	5,4612	7,0172	0,2082	0,1677
12- ay öteleme süresi	6,5542	7,189	0,0561	0,1473

Çizelge B.2: Aksaray istasyonu (17192) analiz sonuçları.

Tahmin Senaryosu (NAOI)	Ortalama Hata Karesi (MSE)		R-Squared (R ²)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
3-ay öteleme süresi	2,632	2,3611	0,5678	0,7892
6-ay öteleme süresi	3,9085	3,6383	0,3603	0,6768
9-ay öteleme süresi	4,5303	5,629	0,2584	0,5025
12- ay öteleme süresi	5,8412	6,3946	0,0509	0,4349

Tahmin Senaryosu (SOI)	Ortalama Hata Karesi (MSE)		R-Squared (R ²)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
3-ay öteleme süresi	2,5281	2,4934	0,5848	0,7773
6-ay öteleme süresi	3,4404	3,9714	0,4369	0,6472
9-ay öteleme süresi	4,7167	5,5815	0,2279	0,5067
12- ay öteleme süresi	4,9557	6,8053	0,1948	0,3986

Tahmin Senaryosu (AOI)	Ortalama Hata Karesi (MSE)		R-Squared (R ²)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
3-ay öteleme süresi	2,6043	2,3589	0,5723	0,7893
6-ay öteleme süresi	3,2164	4,0493	0,4736	0,6403
9-ay öteleme süresi	4,3681	5,0208	0,285	0,5563
12- ay öteleme süresi	5,8833	6,2663	0,0441	0,4462

Çizelge B.3: Konya istasyonu (17244) analiz sonuçları.

Tahmin Senaryosu (NAOI)	Ortalama Hata Karesi (MSE)		R-Squared (R ²)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
3-ay öteleme süresi	1,8828	3,5565	0,7714	0,5545
6-ay öteleme süresi	3,2861	5,7007	0,6026	0,29
9-ay öteleme süresi	4,6514	7,0043	0,4394	0,1328
12- ay öteleme süresi	6,2807	7,9393	0,2488	0,017

Tahmin Senaryosu (SOI)	Ortalama Hata Karesi (MSE)		R-Squared (R ²)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
3-ay öteleme süresi	2,0837	3,402	0,747	0,5739
6-ay öteleme süresi	3,1474	5,9217	0,6194	0,2625
9-ay öteleme süresi	4,7439	6,8327	0,4283	0,1541
12- ay öteleme süresi	6,73	7,8431	0,195	0,0289

Tahmin Senaryosu (AOI)	Ortalama Hata Karesi (MSE)		R-Squared (R ²)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
3-ay öteleme süresi	2,0713	3,3886	0,7485	0,5756
6-ay öteleme süresi	3,3621	5,69	0,5934	0,2913
9-ay öteleme süresi	4,5601	6,7568	0,4504	0,1634
12- ay öteleme süresi	6,182	8,6506	0,2606	0

Çizelge B.4: Karaman istasyonu (17246) analiz sonuçları.

Tahmin Senaryosu (NAOI)	Ortalama Hata Karesi (MSE)		R-Squared (R ²)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
3-ay öteleme süresi	1,8539	1,8878	0,7588	0,6447
6-ay öteleme süresi	3,7384	3,3784	0,5142	0,363
9-ay öteleme süresi	4,6613	3,8492	0,3945	0,2715
12- ay öteleme süresi	4,7236	4,7008	0,3896	0,1104

Tahmin Senaryosu (SOI)	Ortalama Hata Karesi (MSE)		R-Squared (R ²)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
3-ay öteleme süresi	1,7974	1,889	0,7662	0,6445
6-ay öteleme süresi	3,2627	3,618	0,576	0,3178
9-ay öteleme süresi	4,5867	4,4259	0,4042	0,1624
12- ay öteleme süresi	4,9939	4,8873	0,3547	0,0751

Tahmin Senaryosu (AOI)	Ortalama Hata Karesi (MSE)		R-Squared (R ²)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
3-ay öteleme süresi	2,1043	2,0622	0,7262	0,6119
6-ay öteleme süresi	3,6914	3,6399	0,5203	0,3137
9-ay öteleme süresi	4,7404	4,0987	0,3842	0,2243
12- ay öteleme süresi	5,1361	4,3133	0,3363	0,1837

Çizelge B.5: Konyaereğli istasyonu (17248) analiz sonuçları.

Tahmin Senaryosu (NAOI)	Ortalama Hata Karesi (MSE)		R-Squared (R ²)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
3-ay öteleme süresi	2,3684	3,2582	0,6381	0,5548
6-ay öteleme süresi	3,9955	5,2965	0,3901	0,2807
9-ay öteleme süresi	4,7812	6,463	0,2694	0,1269
12- ay öteleme süresi	5,7099	7,0732	0,1308	0,0445

Tahmin Senaryosu (SOI)	Ortalama Hata Karesi (MSE)		R-Squared (R ²)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
3-ay öteleme süresi	2,1896	3,3539	0,6654	0,5417
6-ay öteleme süresi	3,4314	5,7217	0,4762	0,223
9-ay öteleme süresi	3,8744	6,7067	0,408	0,094
12- ay öteleme süresi	4,7232	7,145	0,281	0,0348

Tahmin Senaryosu (AOI)	Ortalama Hata Karesi (MSE)		R-Squared (R ²)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
3-ay öteleme süresi	2,2245	3,2917	0,6601	0,5502
6-ay öteleme süresi	3,2945	5,7685	0,4971	0,2166
9-ay öteleme süresi	4,3306	6,9655	0,3383	0,0591
12- ay öteleme süresi	5,3185	7,2358	0,1904	0,0225

Çizelge B.6: Niğde istasyonu (17250) analiz sonuçları.

Tahmin Senaryosu (NAOI)	Ortalama Hata Karesi (MSE)		R-Squared (R ²)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
3-ay öteleme süresi	2,1596	3,6253	0,6821	0,6903
6-ay öteleme süresi	4,2284	5,3326	0,382	0,5463
9-ay öteleme süresi	4,8018	7,0501	0,3042	0,4025
12- ay öteleme süresi	5,0709	8,9391	0,2706	0,2424

Tahmin Senaryosu (SOI)	Ortalama Hata Karesi (MSE)		R-Squared (R ²)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
3-ay öteleme süresi	2,993	3,4112	0,5594	0,7086
6-ay öteleme süresi	4,1123	5,8468	0,399	0,5026
9-ay öteleme süresi	4,5873	7,5186	0,3353	0,3628
12- ay öteleme süresi	6,3641	7,4414	0,0846	0,3693

Tahmin Senaryosu (AOI)	Ortalama Hata Karesi (MSE)		R-Squared (R ²)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
3-ay öteleme süresi	2,3747	3,6612	0,6504	0,6873
6-ay öteleme süresi	4,1372	5,5061	0,3954	0,5316
9-ay öteleme süresi	5,339	6,4973	0,2263	0,4494
12- ay öteleme süresi	5,916	7,6368	0,149	0,3528

Çizelge B.7: Seydişehir istasyonu (17898) analiz sonuçları.

Tahmin Senaryosu (NAOI)	Ortalama Hata Karesi (MSE)		R-Squared (R ²)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
3-ay öteleme süresi	2,2365	2,2899	0,2535	0,4798
6-ay öteleme süresi	2,5485	3,2702	0,1598	0,2564
9-ay öteleme süresi	2,7561	4,0495	0,0997	0,081
12- ay öteleme süresi	2,9921	4,2474	0,0286	0,0414

Tahmin Senaryosu (SOI)	Ortalama Hata Karesi (MSE)		R-Squared (R ²)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
3-ay öteleme süresi	2,0537	2,516	0,3145	0,4284
6-ay öteleme süresi	2,7646	3,1359	0,0885	0,287
9-ay öteleme süresi	2,8759	3,8127	0,0605	0,1348
12- ay öteleme süresi	2,931	3,9167	0,0484	0,116

Tahmin Senaryosu (AOI)	Ortalama Hata Karesi (MSE)		R-Squared (R ²)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
3-ay öteleme süresi	2,0688	2,3884	0,3095	0,4574
6-ay öteleme süresi	2,679	3,2585	0,1167	0,2591
9-ay öteleme süresi	2,8656	3,8944	0,0639	0,1162
12- ay öteleme süresi	3,0273	4,1806	0,0171	0,0564

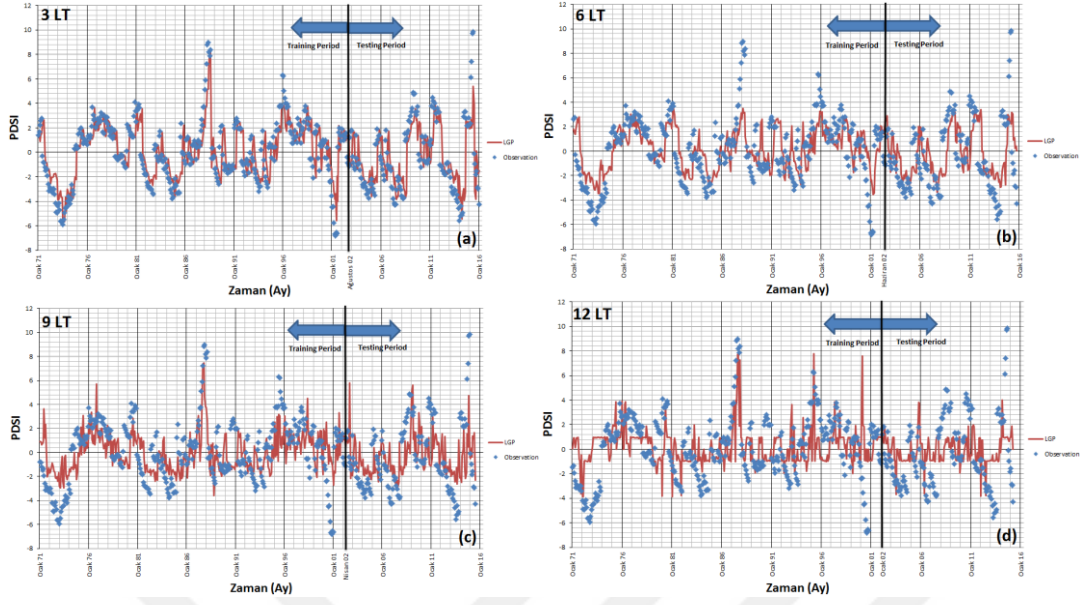
Çizelge B.8: Karapınar istasyonu (17902) analiz sonuçları.

Tahmin Senaryosu (NAOI)	Ortalama Hata Karesi (MSE)		R-Squared (R ²)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
3-ay öteleme süresi	2,1568	2,6705	0,6072	0,502
6-ay öteleme süresi	3,1412	3,9845	0,4314	0,2577
9-ay öteleme süresi	3,8717	4,7362	0,3034	0,1162
12- ay öteleme süresi	4,5595	5,1744	0,1848	0,0344

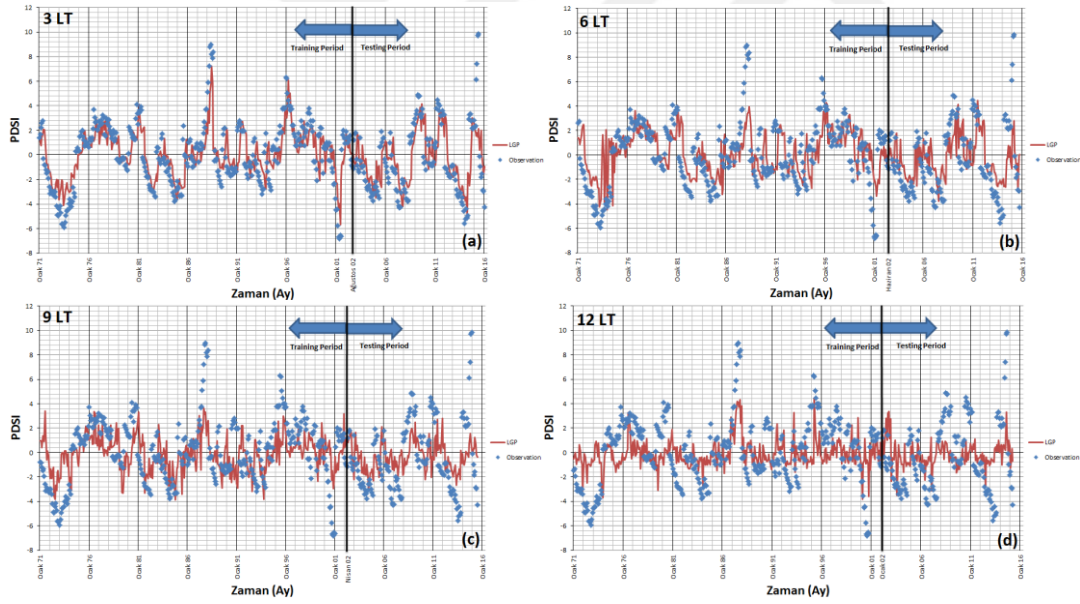
Tahmin Senaryosu (SOI)	Ortalama Hata Karesi (MSE)		R-Squared (R ²)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
3-ay öteleme süresi	1,9747	2,7858	0,6404	0,4805
6-ay öteleme süresi	2,8295	3,9367	0,4878	0,2666
9-ay öteleme süresi	3,8756	4,8321	0,3027	0,0983
12- ay öteleme süresi	5,0556	5,1356	0,0961	0,0416

Tahmin Senaryosu (AOI)	Ortalama Hata Karesi (MSE)		R-Squared (R ²)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
3-ay öteleme süresi	2,3326	2,7521	0,5752	0,4868
6-ay öteleme süresi	3,3405	3,9258	0,3953	0,2687
9-ay öteleme süresi	3,602	5,0063	0,352	0,0658
12- ay öteleme süresi	4,6082	5,2709	0,1761	0,0164

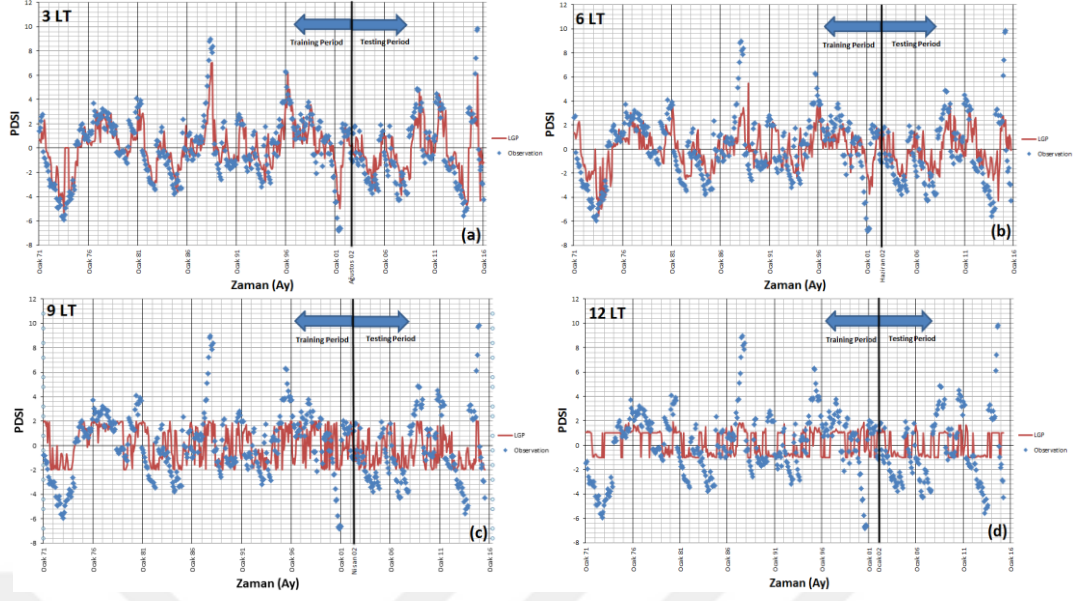
EK C



Şekil C.1: Cihanbeyli İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (NAOI).

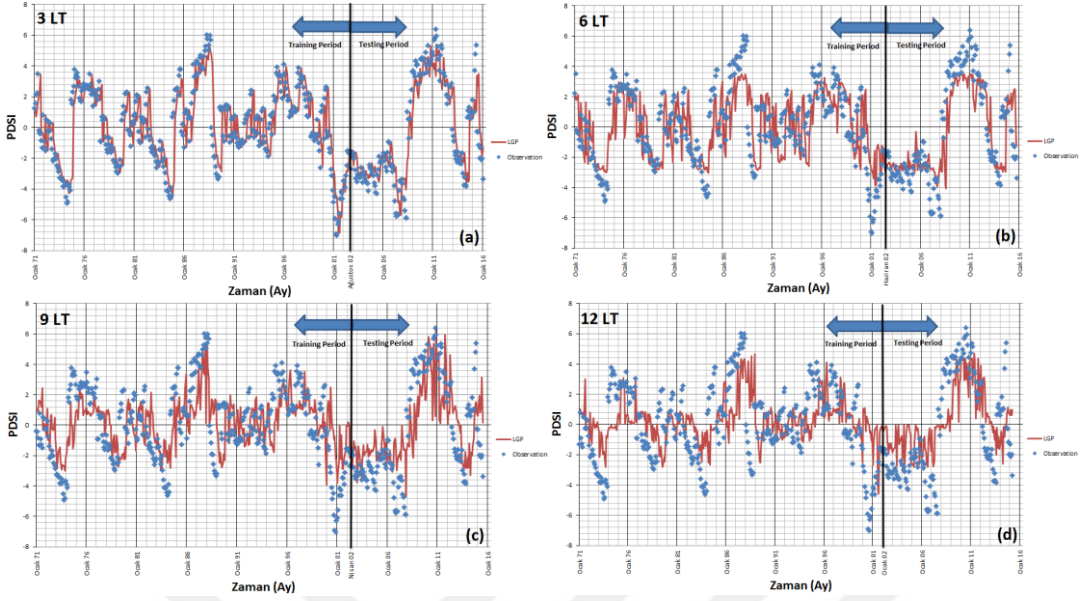


Şekil C.2: Cihanbeyli İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (SOI).

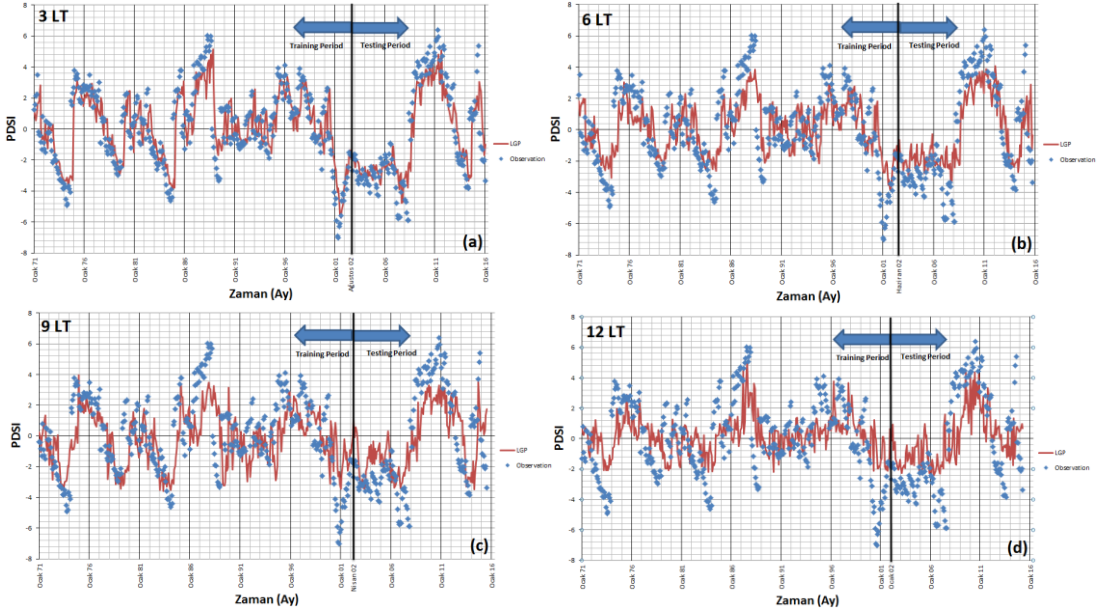


Şekil C.3: Cihanbeyli İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (AOI).

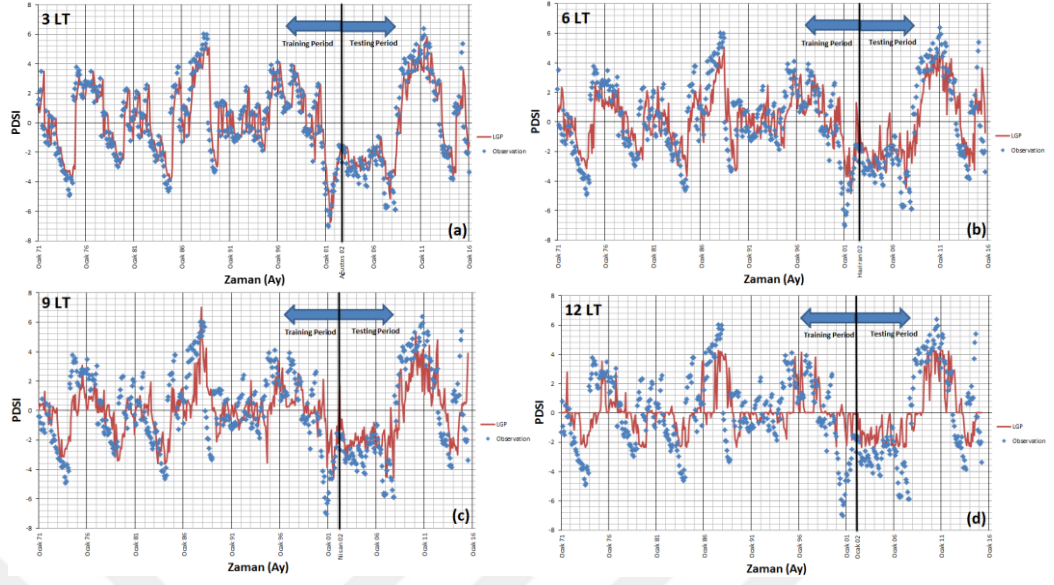
EK D



Şekil D.1: Aksaray İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (NAOI).

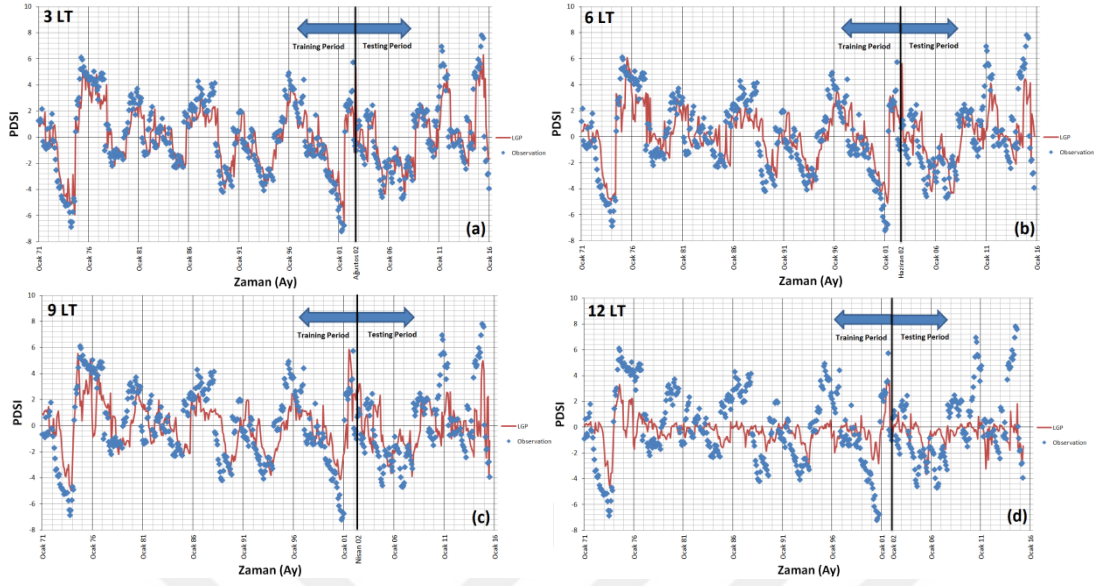


Şekil D.2: Aksaray İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (SOI).

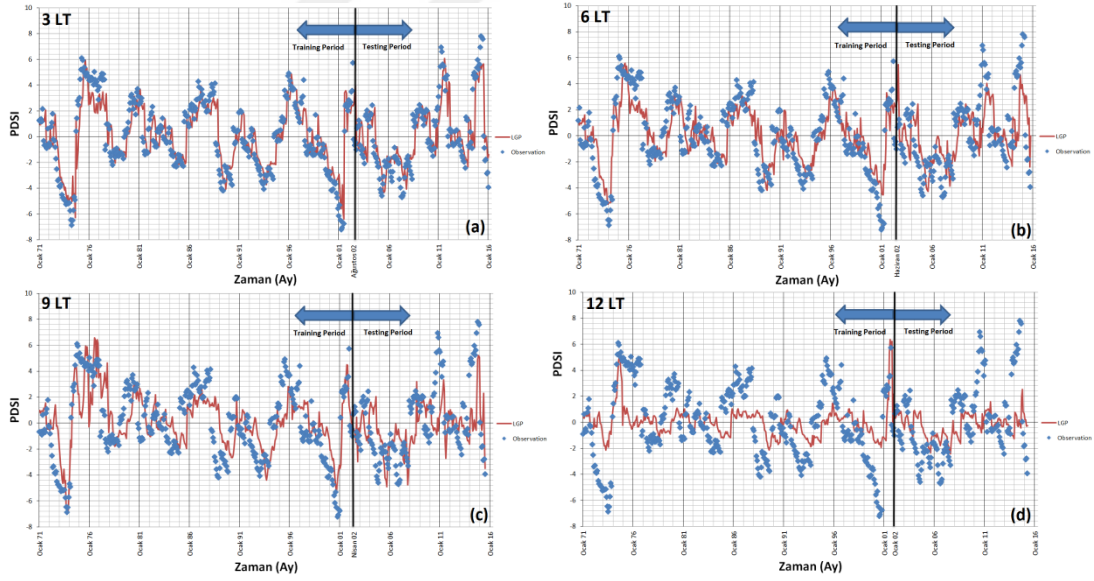


Şekil D.3: Aksaray İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (AOI).

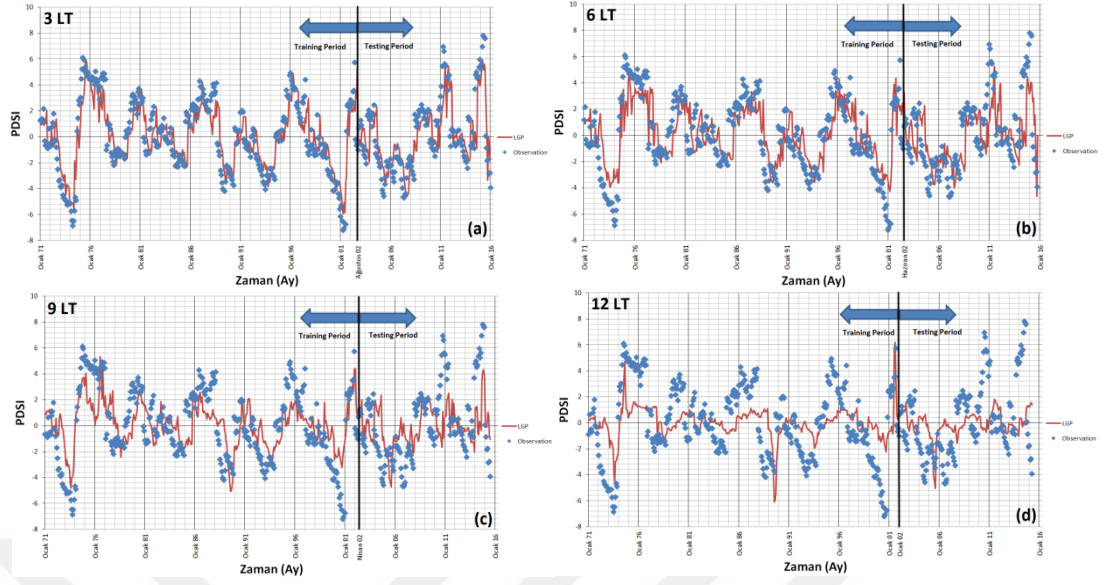
EK E



Şekil E.1: Konya İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (NAOI).

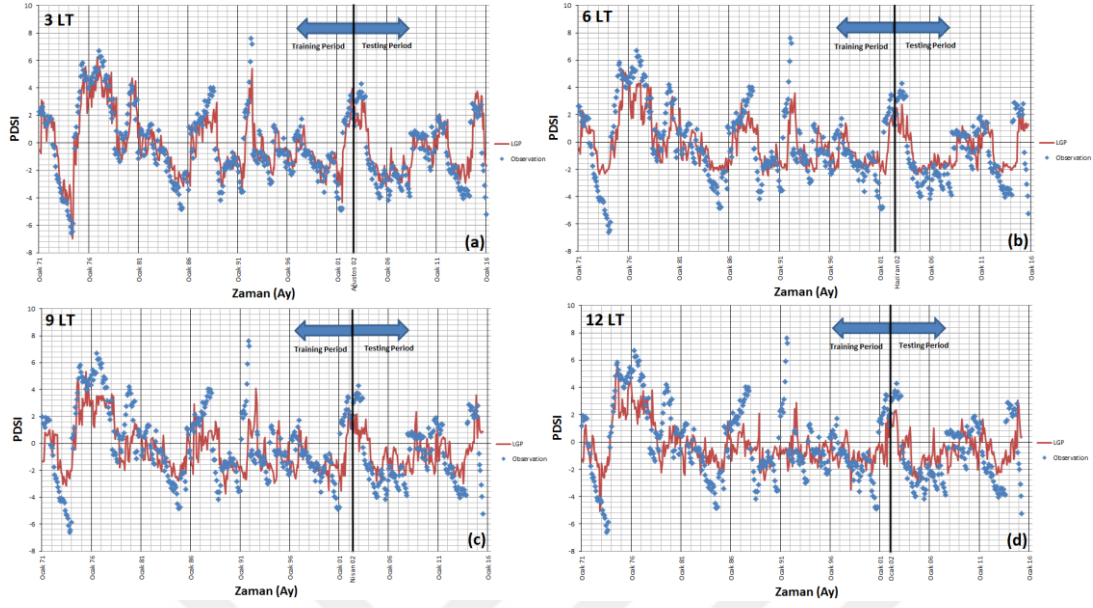


Şekil E.2: Konya İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (SOI).

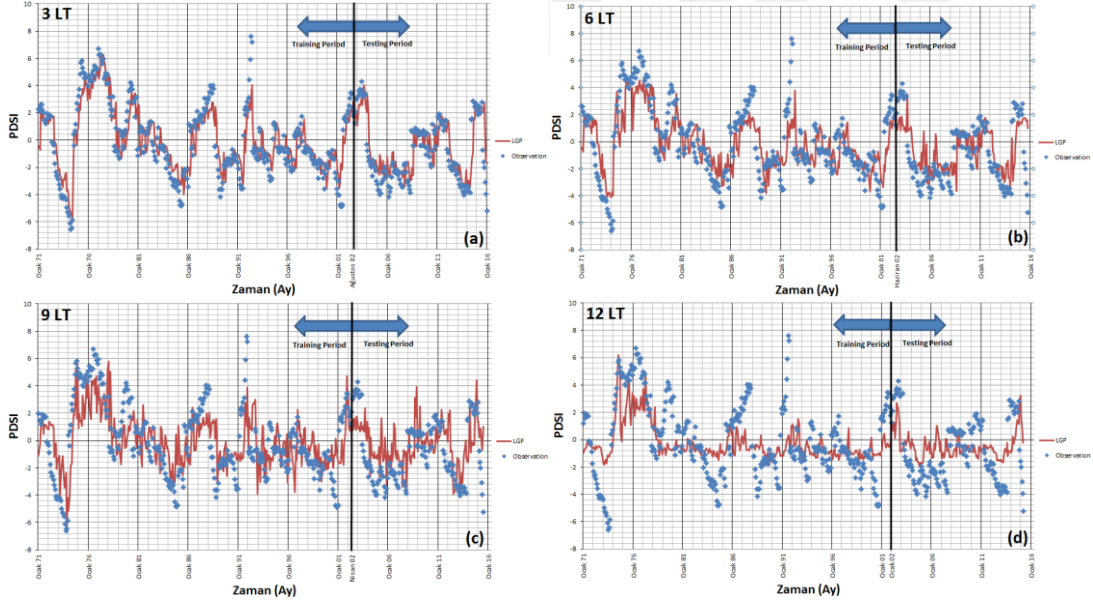


Şekil E.3: Konya İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (AOI).

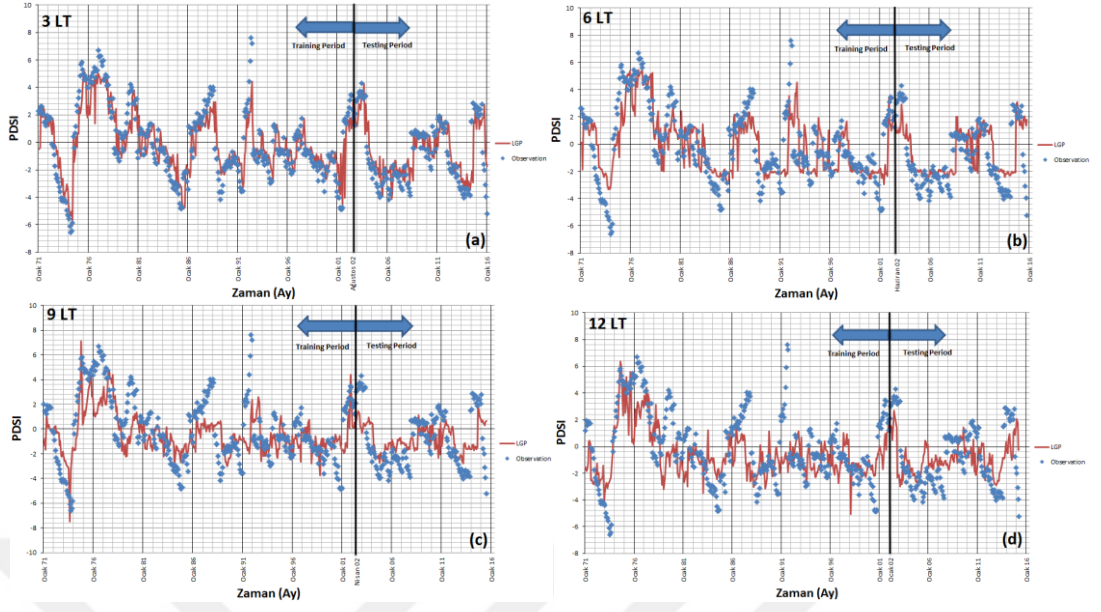
EK F



Şekil F.1: Karaman İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (NAOI).

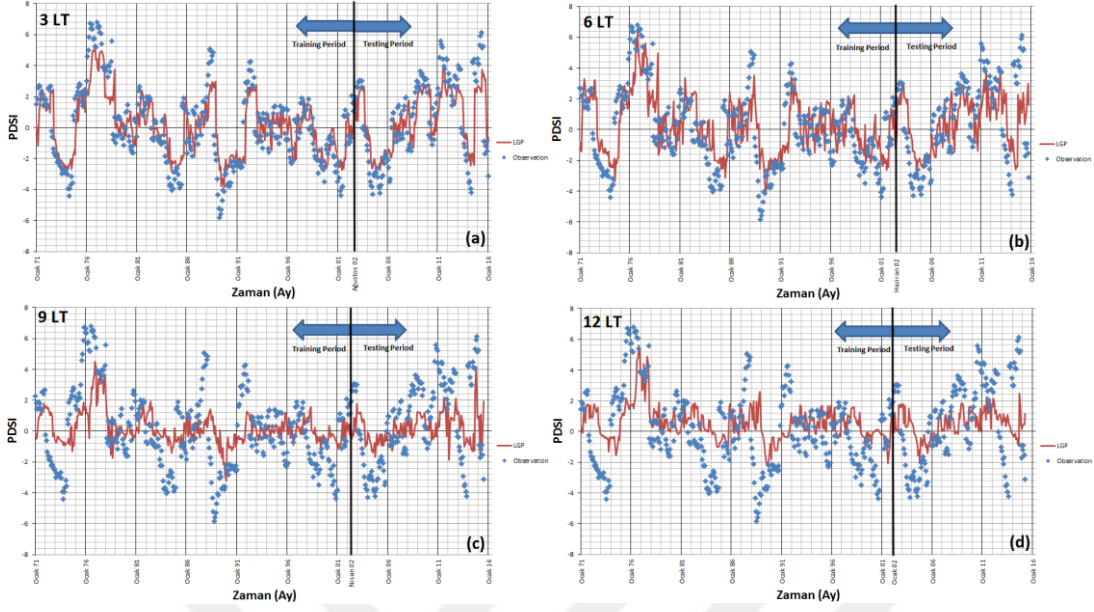


Şekil F.2: Karaman İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (SOI).

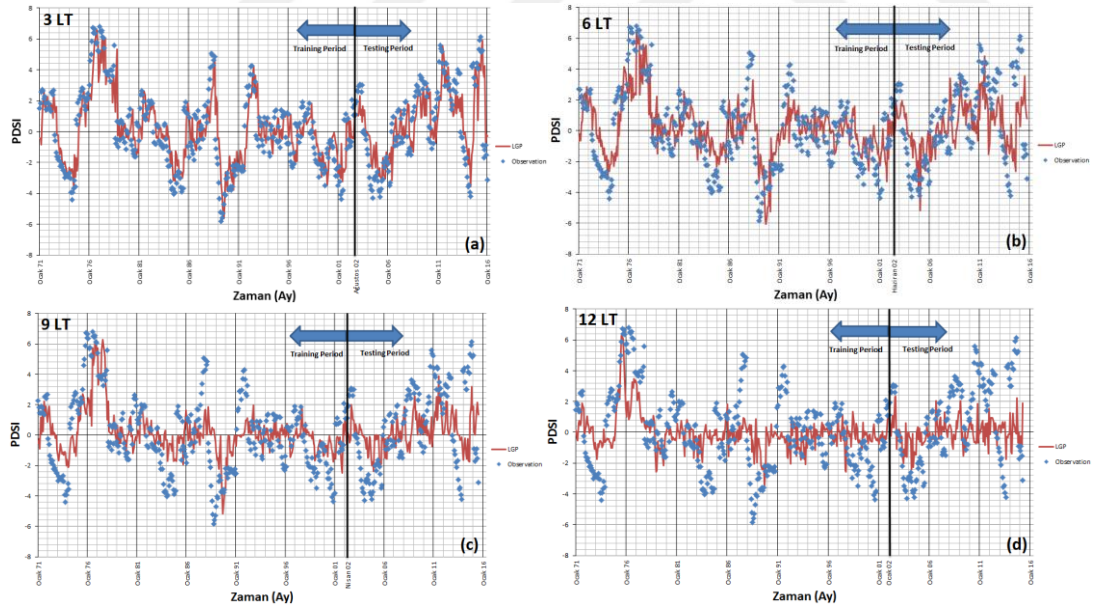


Şekil F.3: Karaman İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (AOI).

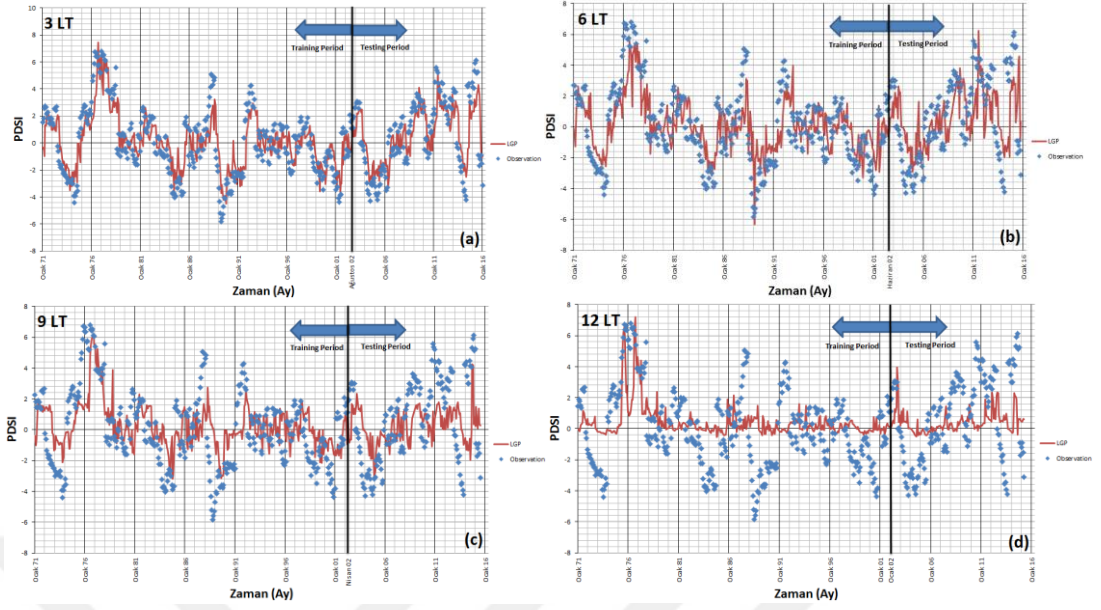
EKG



Şekil G.1: Konyaeregli İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (NAOI).

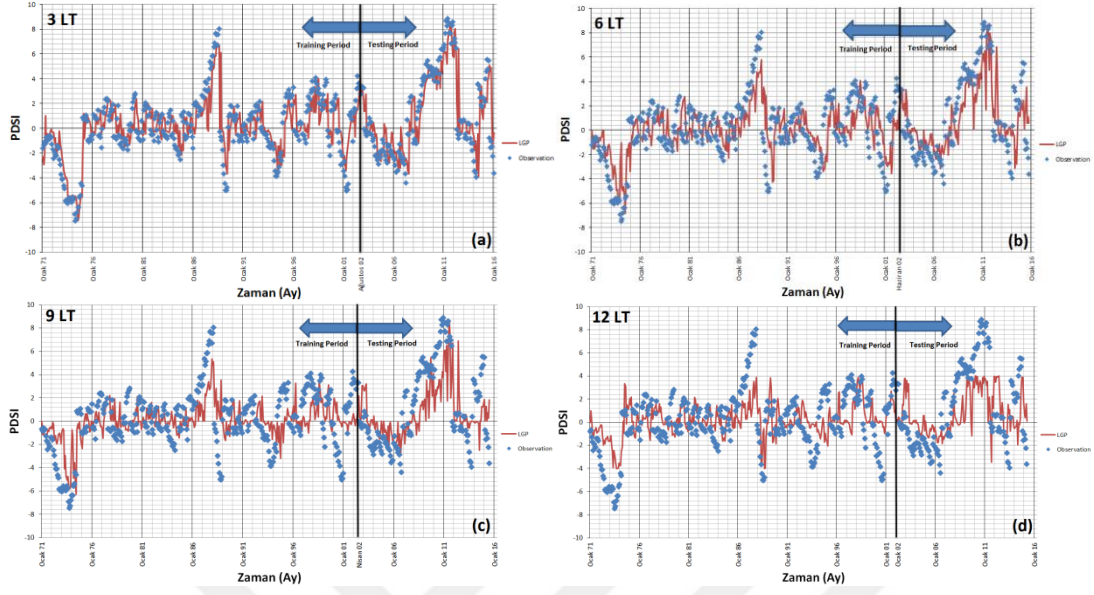


Şekil G.2: Konyaeregli İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (SOI).

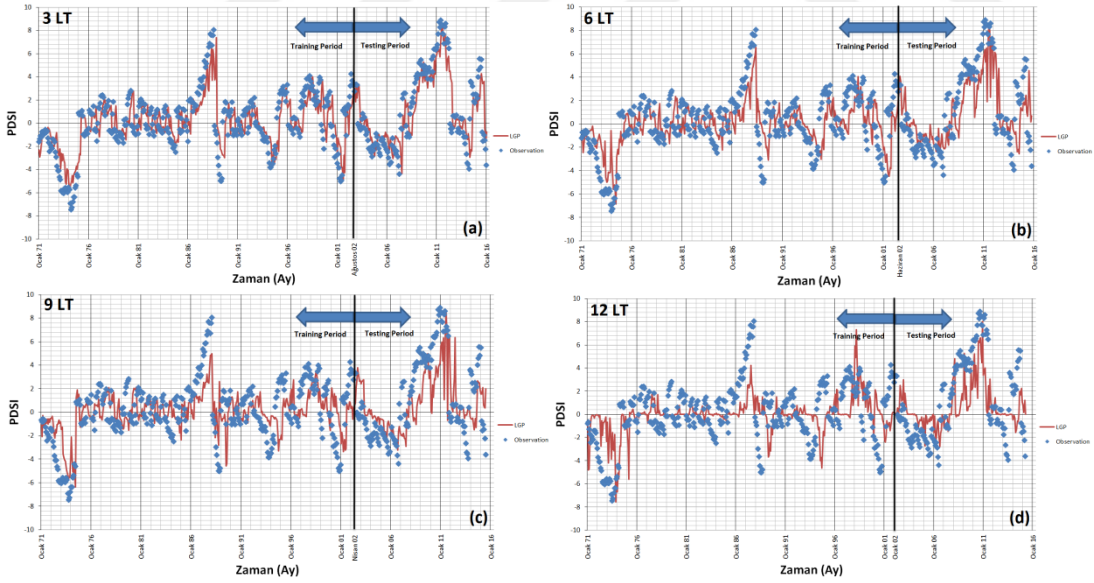


Şekil G.3: Konyaereğli İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (AOI).

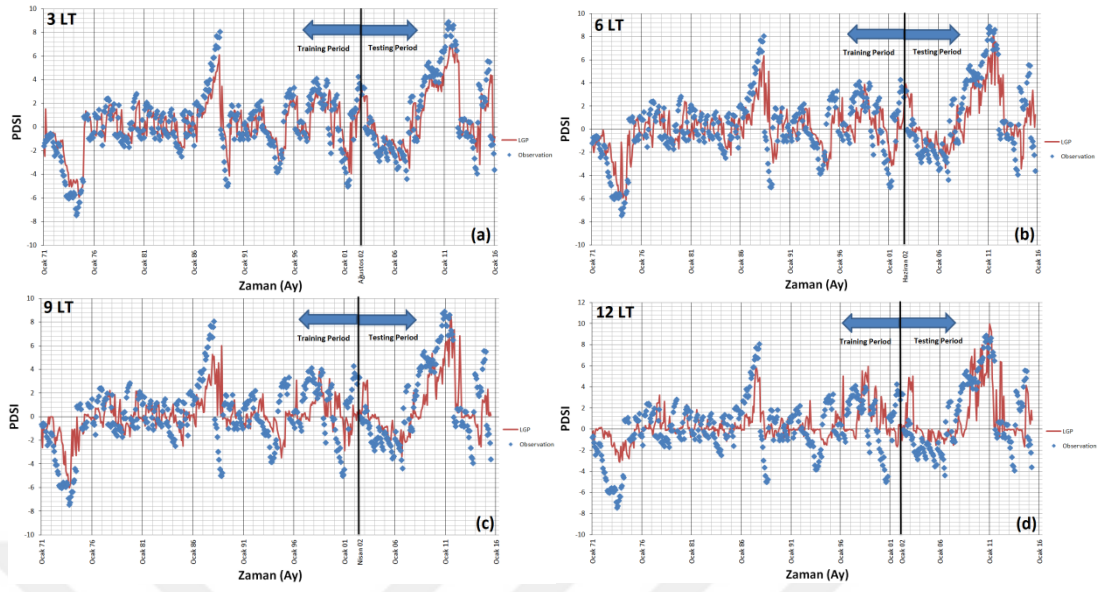
EK H



Şekil H.1: Niğde İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (NAOI).

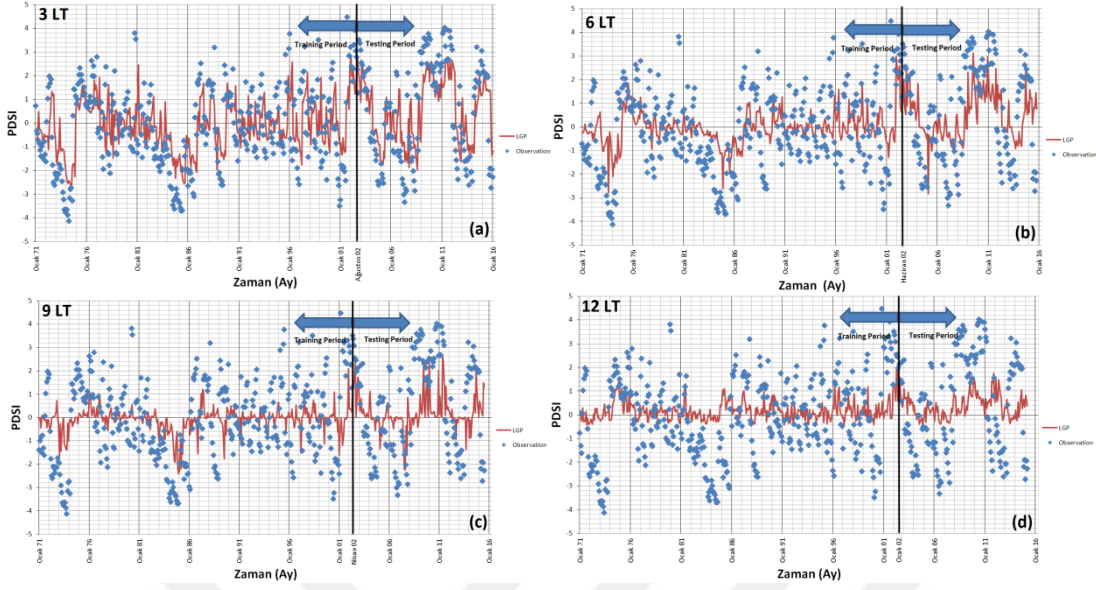


Şekil H.2: Niğde İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (SOI).

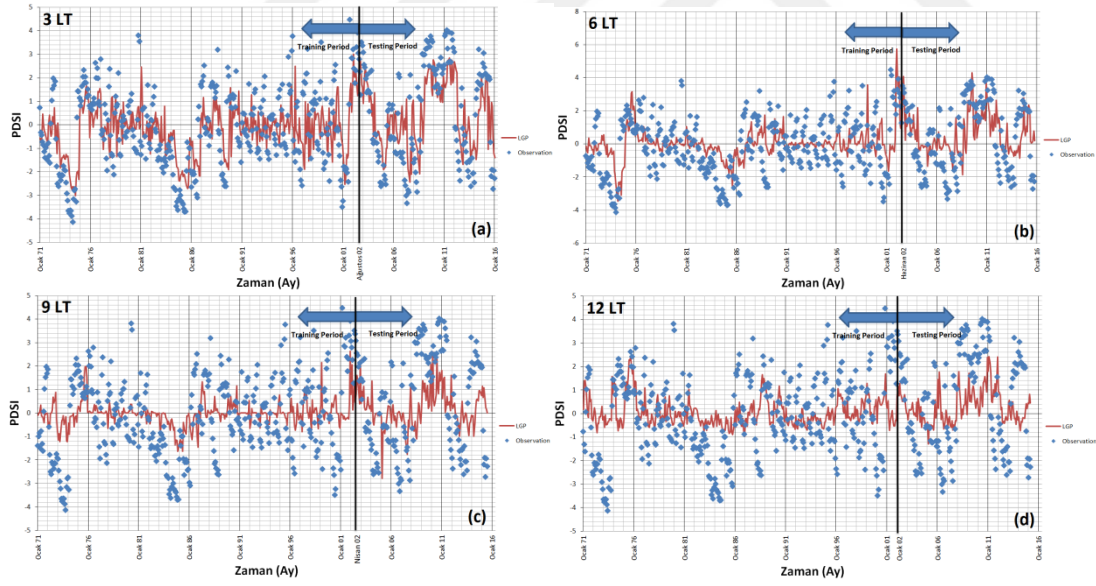


Şekil H.3: Niğde İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (AOI).

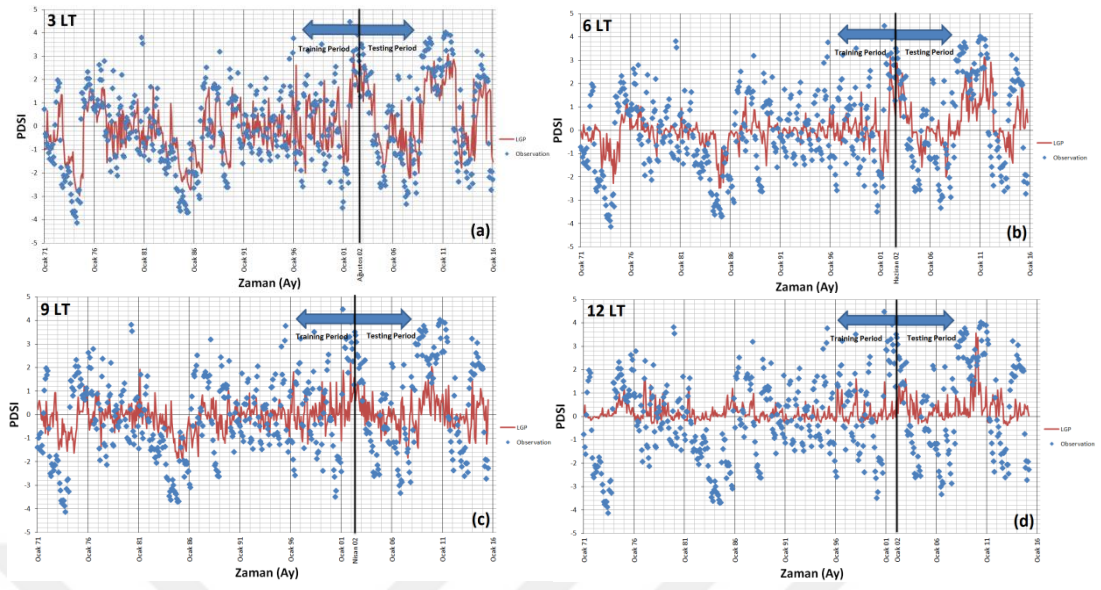
EK I



Şekil I.1: Seydişehir İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (NAOI).

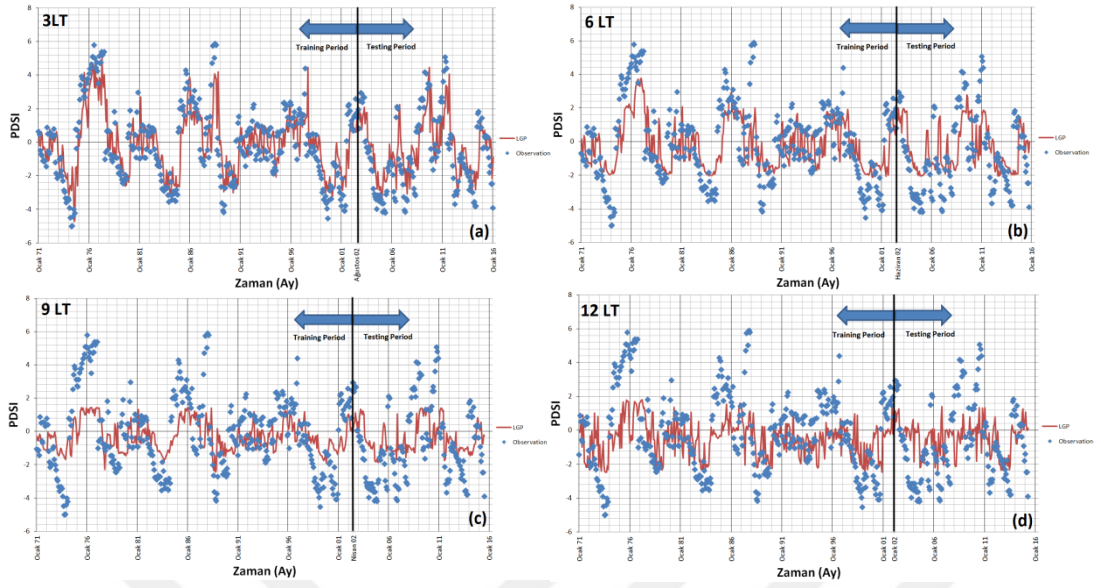


Şekil I.2: Seydişehir İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (SOI).

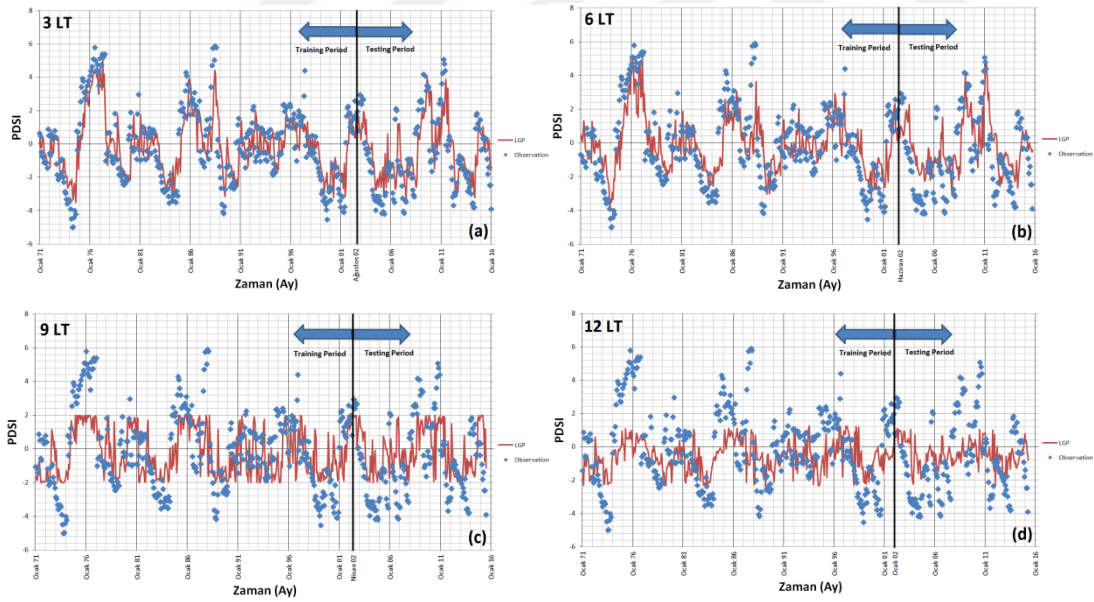


Şekil I.3: Karapınar İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (NAOI).

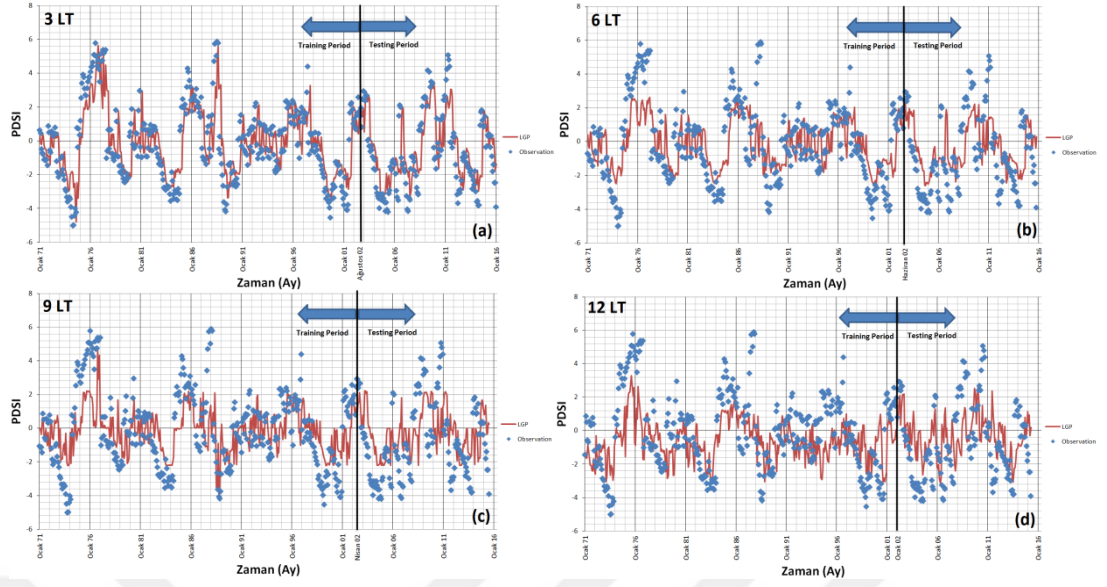
EK J



Şekil J.1: Karapınar İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (NAOI).



Şekil J.2: Karapınar İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (SOI).



Şekil J.3: Karapınar İstasyonu'na ait 3,6,9,12 ay öteleme süreleri için LGP kuraklık tahmin modeli sonuçları (AOI).



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Buğrayhan BİÇKİCİ ARIKAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 07.01.1985/ ERZURUM
E-posta : bugrayhan.bickici@medeniyet.edu.tr
bugrayhanbickici@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2006, Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
- **Lisans** : 2007, Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2011, Gazi Üniversitesi, Hidrolik Anabilim Dalı, Hidrolik

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Araştırma Görevlisi, İstanbul Medeniyet Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü (2012- Devam ediyor).
- Araştırma Görevlisi, Bozok Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü (2007 – 2012).

BURS VE DESTEKLER:

- TÜBİTAK 2211-C Öncelikli Alanlara Yönelik Doktora Tezlerini Destekleme Bursu
- İTÜ-Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP), Doktora Tezlerini Destekleme Projesi

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

Makaleler

- **Biçkici Arikan B.**, Kahya E. 2018. Homogeneity Revisited: Analysis of Updated Precipitation Series in Turkey, *Theoretical and Applied Climatology*. (DOI:10.1007/s00704-018-2368-x)
- Beyaztas U., **Biçkici Arikan B.**, Beyaztas B.H., Kahya E. 2018. Construction of Prediction Intervals for Palmer Drought Severity Index Using Bootstrap, *Journal of Hydrology*, 559, 461-470. (DOI: 10.1016/j.jhydrol.2018.02.021)
- **Biçkici Arikan B.**, Kahya E. 2018. PDSI Drought Forecasting Using Linear Genetic Programming. *Theoretical and Applied Climatology*. (In Submission)

Bildiriler

- **Biçkici Arikan B.** 2017. Drought Forecasting Using Genetic Programming in Association with Southern Oscillation Indices, *8th Atmospheric Sciences Symposium (ATMOS 2017)*, November 1-4, 2017 Istanbul, Turkey.
- Beyaztaş U. , **Biçkici Arikan B.**, Beyaztaş B.H., Kahya E. 2017. Construction of Prediction Intervals for Palmer Drought Severity Index Using Bootstrap, *8th Atmospheric Sciences Symposium (ATMOS 2017)*, November 1-4, 2017 Istanbul, Turkey.
- **Biçkici Arikan B.**, Kahya E. 2016. Long-term PDSI drought forecasting using genetic programming: a case study in Konya Province, Turkey. *Soft Computing Methods in Water Resources Engineering-SCMWRE 2016*, November 29, 2016 Nicosia, Turkish Republic of Northern Cyprus.
- Kahya E., **Biçkici Arikan B.**, Akdeniz E. 2016. Homogeneity Analysis Precipitation Series in Turkey. *ACE 2016, 12 th International Congress on Advances in Civil Engineering*, September 21-23, 2016 Istanbul, Turkey.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

Makaleler

- Kocabaş F., Ünal B., **Biçkici B.**, Vardar M. , Kizil Y. 2009. Yapay Sinir Ağı Ve Lineer Model İle Köprü Ayaklarında Oyulma Derinliğinin Tahmini, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2, 147-157.

Bildiriler

- **Biçkici Arikan B.** 2015. İstanbul'un Tarihi Su Kemerleri ve Suyun İletimi, *5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu*, 1-2 Ekim 2015, vol.1, pp.275-286, Erzurum, Türkiye.
- **Biçkici Arikan B.**, Aras F. 2014. Osmanlı Medeniyetinde Su Yapıları (İstanbul Örneği), *Uluslararası Medeniyet Kongresi*, 17-19 Ocak 2014, İstanbul, Türkiye.
- **Biçkici Arikan B.**, Aras F. 2013. Historical Aqueducts Of Istanbul And Dynamic Analysis Of Paşa Kemerli Aqueduct, *SE-50EEE-International Conference on Earthquake Engineering*, 29-31 Mayıs 2013 Skopye, Macedonia.

- **Biçkici B.**, Balas L. 2010. Kıyı Lagünleri Hidrodinamiği, *Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları VII.Ulusal Kongresi*, Mayıs 2010, 1267-1277, Trabzon, Türkiye.
- Kocabaş F., Ünal B., **Biçkici B.**, Vardar M. , Kizil Y. 2008. Köprü Ayaklarında Oyulma Derinliğinin Tahmininde Lineer Model Uygulaması, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi 30.Yıl Sempozyumu*, 16-17 Ekim 2008, 296-303, Adana, Türkiye.



