



**İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ALTINDA DÜŞÜK
AKIMLARIN DURAĞAN OLMAYAN FREKANS
ANALİZİ**

Muhammet YILMAZ

**Doktora Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Fatih TOSUNOĞLU**

**2023
Her hakkı saklıdır.**



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
DOKTORA TEZİ

**İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ALTINDA DÜŞÜK AKIMLARIN DURAĞAN
OLMAYAN FREKANS ANALİZİ**

Muhammet YILMAZ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Fatih TOSUNOĞLU

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Erzurum

2023

Her hakkı saklıdır

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki tüm bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

29 / 09 / 2023

Muhammet YILMAZ

ÖZET

DOKTORA TEZİ

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ALTINDA DÜŞÜK AKIMLARIN DURAĞAN OLMAYAN FREKANS ANALİZİ

Muhammet YILMAZ

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Fatih TOSUNOĞLU

Çalışma kapsamında akım gözlem istasyonlarından elde edilen düşük nehir akımlarının trendleri araştırılmış ve düşük akımlardaki değişimlere neden olabilecek iklim değişkenleri belirlenmeye çalışılmıştır. Belirlenen iklim değişkenleri açıklayıcı değişken olarak kullanılarak düşük akımlar için tarihsel ve gelecek dönemlerde durağan olmayan frekans analizi çalışmaları yapılmıştır. Bu amaca ulaşmada temel olarak 6 aşama bulunmaktadır. Birincisi, çalışma kapsamında kullanılacak akım gözlem istasyonlarının belirlenmesi ve bu istasyonlardaki eksik gözlemlerin tahmin edilmesidir. İkincisi, eksik verisi tamamlanmış verilerin 7 günlük düşük akım verilerinin elde edilmesi ve elde edilen verilerin homojenlik kontrollerinin yapılmasıdır. Çalışmanın üçüncü aşaması homojen 7 günlük düşük akım verilerinin trendlerinin araştırılmasıdır. Dördüncü aşama ise, düşük akımlardaki değişimlere sebep olan iklim faktörlerinin ayrıntılı olarak araştırılmasıdır. Düşük akım değişiklikleri üzerinde iklim değişkenlerinden sıcaklık, yağış ve büyük ölçekli iklim faktörlerinin (Kuzey Atlantik Salınımı, Güneyli Salınımı, Pasifik Decadal Salınımı ve Batı Akdeniz Salınımı'nın) olası etkilerinin değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Beşinci aşamada, her bir istasyonun düşük akımları ile yüksek korelasyona sahip iklim değişkenleri açıklayıcı değişken olarak kullanılarak durağan olmayan olasılık dağılım modelleri geliştirilmiştir. Bu amaç için Konum Ölçek ve Şekil için Genelleştirilmiş Aditif Modelleri (GAMLSS) yaklaşımı kullanılmıştır. Son aşamada ise matematiksel ifadeleri elde edilen durağan olmayan modeller kullanılarak tarihsel ve iklim senaryoları altında gelecek dönemler için (2030-2060) ve (2070-2100) 20 ve 50 yıl tekerrür periyotlarında meydana gelebilecek düşük akım tahminleri değerlendirilmiştir.

2023, 214 sayfa

Anahtar Kelimeler: Düşük akımlar, Trend analizi, Atmosferik salınımlar, Korelasyon analizi, Konum Ölçek ve Şekil için Genelleştirilmiş Aditif Modelleri (GAMLSS)

ABSTRACT

Ph.D

NONSTATIONARY FREQUENCY ANALYSIS OF LOW FLOWS UNDER CLIMATE CHANGE

Muhammet YILMAZ

Erzurum Technical University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Fatih TOSUNOĞLU

Within the scope of the study, the trends of low river flows obtained from flow observation stations were investigated and climatic variables that could cause changes in low flows were tried to be determined. By using the determined climate variables as explanatory variables, non-stationary frequency analysis studies were carried out for low flows in historical and future periods. There are basically 6 stages in achieving this goal. The first one is the determination of the flow observation stations to be used within the scope of the study and predicting the missing observations at these stations. The second is to obtain 7-day low flow data of missing data and to check the homogeneity of the obtained data. The third stage of the study is to investigate the trends of homogeneous 7-day low flow data. The fourth stage is the detailed investigation of climatic factors that cause changes in low flows. It is aimed to evaluate the possible effects of climate variables such as temperature, precipitation and large-scale climate factors (North Atlantic Oscillation, Southern Oscillation, Pacific Decadal Oscillation and Western Mediterranean Oscillation) on low flow changes. In the fifth stage, non-stationary probability distribution models were developed by using the climate variables that have a high correlation with the low flows of each station as the explanatory variable. For this purpose, the Generalized Additive Models for Location Scale and Shape (GAMLSS) approach has been used. In the last stage, low flow predictions that may occur in 20 and 50 year return periods for future periods (2030-2060) and (2070-2100) under historical and climate scenarios were evaluated by using non-stationary models whose mathematical expressions were obtained.

2023, 214 page

Keywords: Low flows, Trend analysis, Atmospheric oscillations, Correlation analysis, Generalized Additive Models for Location, Scale and Shape (GAMLSS)

TEŞEKKÜR

Doktora tezi olarak sunduğum bu çalışmada değerli vaktini,engin bilgilerini, teşvik ve yardımlarını esirgemeyerek bana her türlü desteği sağlayan danışman hocam, Sayın Doç. Dr. Fatih TOSUNOĞLU' na en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam sırasında beni teşvik eden hocalarım, Sayın Doç. Dr. Serkan ŞENOCAK'a ve Sayın Dr. Öğr. Mustafa Cansaran ERTAŞ'a, her türlü yardım ve desteklerini esirgemeyen Sayın Arş. Gör Kadir Diler ALEMDAR' teşekkür ederim. Ayrıca tez savunma sınavıma katılarak, tezimin nihai haline görüş ve yorumlarıyla katkı sağlayan Sayın Prof. Dr. Hanefi BAYRAKTAR' a, Sayın Prof. Dr. AKPINAR'a ve Sayın Doç. Dr Mehmet Cüneyd DEMİREL' e teşekkür ederim.

Çalışmada kullanılan akım verilerin temin edildiği Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğüne teşekkür ederim.

Bu uzun süreçte maddi ve manevi hiçbir yardımdan kaçınmayan, desteklerini her an arkamda hissettiğim annem Fatma YILMAZ'a ve babam Metin YILMAZ' a, hayatımın her alanında en büyük destekçim eşim Şeyma YILMAZ' a, hayatıma girmesiyle hayatımın daha da anlamlandığı sevgili oğlum Ömer Taha YILMAZ' a ve her zaman yanımda olan kardeşim Abdullah YILMAZ' a şükranlarımı sunarım.

Doktora çalışmalarım boyunca TÜBİTAK 2211-A Genel Yurt İçi Doktora Bursu ile şahsımı destekleyen TÜBİTAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Muhammet YILMAZ
Eylül 2023

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Adımları.....	5
2. KAYNAK ÖZETLERİ	8
3. MATERYAL ve YÖNTEM	13
3.1. Çalışma Alanı.....	13
3.2. Veriler	14
3.2.1. Akım verisi.....	14
3.2.2. Sıcaklık ve yağış verisi.....	14
3.2.3. Atmosferik salınımlar.....	18
3.2.3.1. Kuzey atlantik salınımı (NAO)	18
3.2.3.2. Güneyli salınım (SO)	21
3.2.3.3. Batı akdeniz salınımı (WeMO)	24
3.2.3.4. Pasifik decadal salınımı (PDO).....	27
3.2.4. CMIP6 verisi	29
3.3. Eksik Akım Verilerinin Tahmin Edilmesi	31
3.3.1. Klasik regresyon analizi.....	31
3.3.2. Yapay sinir ağları (YSA)	32
3.3.3. Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS)	33
3.3.4. Destek vektör makinesi (SVM).....	33
3.3.5. K-En yakın komşuluk (KNN)	34
3.3.6. Çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri (MARS).....	35
3.3.7. Uygunluk testleri.....	35
3.4. Homojenlik Testleri	36
3.4.1. Standart normal homojenlik testi (SNHT)	37

3.4.2. Pettitt testi	38
3.4.3. Buishand aralık testi	38
3.5. Trend Testleri	39
3.5.1. Mann Kendall testi	39
3.5.2. Modifiye edilmiş Mann Kendall test	41
3.5.3. Sen'in trend eğim testi	41
3.6. Korelasyon Analizi.....	42
3.7. Konum, Ölçek ve Şekil İçin Genelleştirilmiş Aditif Modelleri (GAMLSS)	43
3.7.1. Model seçimi ve değerlendirmesi	44
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	47
4.1. Eksik Veri Analizleri	47
4.2. Homojenlik Test Sonuçları	64
4.3 Trend Test Sonuçları	68
4.3.1. Mann Kendall test sonuçları	68
4.3.2. Sen'in trend eğim test sonuçları	71
4.4. Düşük akımlar ile Yağış, Sıcaklık ve Atmosferik Salınım İndisleri Arasındaki İlişkiler	73
4.4.1. Düşük akımlar ile yağış ve sıcaklık arasındaki ilişkiler.....	73
4.4.2. Düşük akımlar ve atmosferik salınım indisleri arasındaki ilişki.....	77
4.5. Düşük Nehir Akımlarının Durağan ve Durağan Olmayan Modelleri.....	89
4.5.1. Düşük nehir akımlarının durağan ve durağan olmayan olasılık dağılım modelleri	89
4.5.2. Düşük nehir akımlarının kombinasyonlu olasılık dağılım modelleri.....	98
4.5.3. Durağan ve durağan olmayan olasılık dağılım modellerinin karşılaştırılması ...	101
4.6. Durağan Olmayan Modellerde Tarihsel ve İklim Projeksiyon Dönemleri İçin Düşük Akımların Değerlendirilmesi.....	117
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	135
KAYNAKLAR	140
EKLER.....	149
EK-1	149
EK-2	151
EK-3.....	157
EK-4.....	166
EK-5.....	186
EK-6.....	191

EK-7	207
------------	-----



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

°	Derece
%	Yüzde

Kısaltmalar

AGİ	Akım Gözlem İstasyonu
ANFIS.	Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi
CMIP6	Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi Faz 6
DSİ	Devlet Su İşleri
GAMLSS	Konum Ölçek ve Şekil için Genelleştirilmiş Aditif Modelleri
KNN	K-En Yakın Komşuluk
MARS	Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MK	Mann Kendall test
mMK	Modifiye edilmiş Mann Kendall test
NAO	Kuzey Atlantik Salınımı
PDO	Pasifik Decadal Salınımı
SO	Güneyli Salınımı
SVM	Destek Vektör Makinesi
WeMO	Batı Akdeniz salınımı
YSA	Yapay Sinir Ağları

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Çalışmanın akış şeması.....	7
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan hücresel veri ve akım gözlem istasyonlarının gösterimi.	17
Şekil 3.2. Aylık standart NAOI indisi değerlerinin 1960-2019 yılları arası değişimi ...	19
Şekil 3.3. NAO’ nun pozitif ve negatif dönemi	20
Şekil 3.4. El Niño ve La Niña’nın ekvatorial bölgede etkileri.....	21
Şekil 3.5. El Nino süreci boyunca küresel sıcaklık ve yağış dağılımının şematik gösterimi.	22
Şekil 3.6. La Nina süreci boyunca küresel sıcaklık ve yağış dağılımının şematik gösterimi	22
Şekil 3.7. Aylık standart SOI indisi değerlerinin 1960-2019 yılları arası değişimi.....	23
Şekil 3.8. WeMOI’ nun pozitif ve negatif fazlardaki durumu	25
Şekil 3.9. Aylık standart WeMOI indisi değerlerinin 1960-2019 yılları arası değişimi.	26
Şekil 3.10. Pasifik Decadal Salınımının etkisinin şematik gösterimi	27
Şekil 3.11. Aylık standart PDOI indisi değerlerinin 1960-2019 yılları arası değişimi...	28
Şekil 3.12. Destek vektörleri.....	33
Şekil 4.1. Türkiye'nin farklı havzalarında bulunan akım ölçüm istasyonları için eksik veri oranı.	50
Şekil 4.2. Eksik veriye sahip ve komşu istasyonların gösterimi.....	51
Şekil 4.3. Eksik veri tahminin de en başarılı modele göre hesaplanan KGE değerinin büyüklük haritası.	55
Şekil 4.4. Eksik veri tahminin de en başarılı modele göre hesaplanan R^2 değerinin büyüklük haritası.	56
Şekil 4.5. Çalışmada kullanılan eksik veriye sahip istasyonlar için en iyi tahmin yönteminin gösterilmesi.	57
Şekil 4.6. Gözlemlenen istasyonların konumları	63
Şekil 4.7. Düşük nehir akımları için Mann Kendall test sonuçları	69
Şekil 4.8. Düşük nehir akımları için Sen’ in trend eğim metodu sonuçları	72
Şekil 4.9. Türkiye genelinde yıllık ve kurak dönemlerde düşük akımlar ile yağış arasındaki ilişkilerin mekânsal ve zamansal dağılımı.	74

Şekil 4.10. Türkiye genelinde yıllık ve kurak dönemlerde düşük akımlar ile sıcaklık arasındaki ilişkilerin mekânsal ve zamansal dağılımı.....	76
Şekil 4.11. Mevsimsel/yıllık NAO ve düşük akım verileri arasındaki korelasyonların Türkiye genelinde mekânsal ve zamansal dağılımı.	78
Şekil 4.12. Mevsimsel/yıllık SO ve düşük akım verileri arasındaki korelasyonların Türkiye genelinde mekânsal ve zamansal dağılımı.	80
Şekil 4.13. Mevsimsel/yıllık PDO ve düşük akım verileri arasındaki korelasyonların Türkiye genelinde mekânsal ve zamansal dağılımı.	82
Şekil 4.14. Mevsimsel/yıllık WeMO ve düşük akım verileri arasındaki korelasyonların Türkiye genelinde mekânsal ve zamansal dağılımı.	84
Şekil 4.15. Türkiye genelinde en baskın indeks ile düşük akım verileri arasındaki korelasyonların mekânsal dağılımı.	88
Şekil 4.16. Düşük nehir akım verileri için belirlenen en iyi modellerin gösterimi.....	114
Şekil 4.17. 1820 istasyonun modellenmesinde kullanılan yağış verisi ve gelecek yağış verisinin gösterimi.....	118
Şekil 4.18. SSP5-85 senaryosu altında 20 yıl geri dönüş süresi için tarihsel ve yakın gelecek dönemi (2030-2060) arasındaki yüzdelik farkların gösterimi.	124
Şekil 4.19. SSP5-85 senaryosu altında 20 yıl geri dönüş süresi için tarihsel ve uzak gelecek dönemi (2070-2100) arasındaki yüzdelik farkların gösterimi.	125
Şekil 4.20. SSP5-85 senaryosu altında 50 yıl geri dönüş süresi için tarihsel ve yakın gelecek dönemi (2030-2060) arasındaki yüzdelik farkların gösterimi.	127
Şekil 4.21. SSP5-85 senaryosu altında 50 yıl geri dönüş süresi için tarihsel ve uzak gelecek dönemi (2070-2100) arasındaki yüzdelik farkların gösterimi.	128
Şekil 4.22. SSP5-45 senaryosu altında 20 yıl geri dönüş süresi için tarihsel ve yakın gelecek dönemi (2030-2060) arasındaki yüzdelik farkların gösterimi.	130
Şekil 4.23. SSP5-45 senaryosu altında 20 yıl geri dönüş süresi için tarihsel ve uzak gelecek dönemi (2070-2100) arasındaki yüzdelik farkların gösterimi.	131
Şekil 4.24. SSP5-45 senaryosu altında 50 yıl geri dönüş süresi için tarihsel ve yakın gelecek dönemi (2030-2060) arasındaki yüzdelik farkların gösterimi.	133
Şekil 4.25. SSP5-45 senaryosu altında 50 yıl geri dönüş süresi için tarihsel ve uzak gelecek dönemi (2070-2100) arasındaki yüzdelik farkların gösterimi.	134

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Hücresel yağış ve gözlemiş veri arasındaki korelasyon değerleri.....	15
Çizelge 3.2. Hücresel ortalama sıcaklık ve gözlemiş veri arasındaki korelasyon değerleri.....	15
Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan CMIP6 iklim modelleri	31
Çizelge 3.4. Kullanılan verilerin kodlandırılması.....	43
Çizelge 3.5. Çalışmada kullanılan dağılımların bilgileri	44
Çizelge 4.1. Eksik verisi olan istasyonlara ait bilgiler.....	48
Çizelge 4.2. Test süresi için modellerin performansları	52
Çizelge 4.3. Eksik veriye sahip istasyonlar için en iyi tahmin yöntemleri	58
Çizelge 4.4. Çalışmada kullanılan istasyonlara ait özet bilgiler	59
Çizelge 4.5. Homojenlik testleri sonuçları.....	65
Çizelge 4.6. MK test sonuçları.....	70
Çizelge 4.7. Düşük akım serileri için durağan model 0' ın sonuçları	90
Çizelge 4.8. Düşük akım serileri için model 1 ' ın sonuçları	92
Çizelge 4.9. Düşük akım serileri için model 2' nin sonuçları	94
Çizelge 4.10. Düşük akım serileri için model 3 ' ün sonuçları	97
Çizelge 4.11. Düşük akım serileri için model 4 ' ün sonuçları	99
Çizelge 4.12. Düşük akım serileri için model 0, 1, 2, 3 ve 4 ' ün karşılaştırılması.....	103
Çizelge 4.13. Durağan ve durağan olmayan modeller için GAIC ve LR test p değerleri.....	106
Çizelge 4.14. Belirlenen en uygun modellerin matematiksel formülasyonları.....	107
Çizelge 4.15. Parametrelerin %95 güven aralıkları	110
Çizelge 4.16. En iyi modellerin dağılımları ve parametrelerin modellenmesi	115
Çizelge 4.17. Durağan ve durağan olmayan modeller için GAIC, LR test p ve Filliben değerleri	119

1. GİRİŞ

Su, canlıların yaşaması ve her türlü insan faaliyetinden kaynaklanan ihtiyaçlar için sürekli olarak gerek duyulan doğadaki en önemli maddelerden biridir. Suyun bu hayati öneminden dolayı geçmişte insanlar genellikle su kaynaklarına yakın yerlerde yaşamlarını sürdürmüşlerdir. Fakat günümüzde çeşitli faktörlerin etkisiyle mevcut olan su kaynakları, suya olan talebi karşılamakta yetersiz kalmaktadır.

Su kaynakları; insan kaynaklı etkiler (kentselleşme, gelişen sanayi, tarımsal faaliyetler) ve son zamanlarda etkisi oldukça belirgin olarak hissedilen iklim değişikliğinin etkisi altındadır. Sera gazlarının atmosferde kontrolsüz bir şekilde artmasından dolayı daha fazla oranda güneş ışını sera gazlarıyla tutulmaktadır ve bu olay iklimin temel elemanlarından biri olan sıcaklıklarda artışlara neden olmaktadır. Yapılan çalışmalar, 2013-2022 dönemi için 10 yıllık ortalama sıcaklık 1850-1900 sanayi öncesindeki ortalama sıcaklıktan 1,14° C fazladır (Anonymous 2022a). Küresel ısınmadaki bu artış iklim değişikliği üzerinde de önemli etkilere sahiptir (Yeh et al. 2015). Küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliği, aşırı iklimsel ve hidrolojik olayların sık meydana gelmesine yol açmış ve ekolojik sistemleri, ekonomiyi ve insan faaliyetlerini olumsuz yönde etkilemiştir (Crosbie et al. 2013). İklimde meydana gelen bu değişikliğin bir sonucu olarak gelecekte bazı bölgelerde kuvvetli yağışlara bağlı olarak taşkın gibi doğal afetlerin sıklıklarında artışlar görülebilirken, bazı bölgelerde ise uzun süreli şiddetli kuraklıklar yaşanabilir.

Hidrolojik döngünün önemli elemanlarında biri olan nehir akımlarındaki değişimlere neden olan etmenlerin belirlenmesi, su kaynaklarının planlanmasına ve yönetiminde büyük önem taşımaktadır. Dünya genelinde ve ülkemizde nehir akımları ile ilgili yapılan çalışmalar genellikle taşkın verileri üzerinedir. Bu çalışma kapsamında Türkiye’ de bulunan nehirlere ait düşük akım verileri ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Yılın kurak dönemlerinde bir nehirdeki minimum akım olan düşük akımlar, su temini, su kalitesi ve ekosistem sağlığı üzerinde doğrudan etkileri olan nehir akımı rejiminin önemli bir parçasıdır (Smakhtin 2001). Düşük nehir akımlarının analizi, arıtma

tesislerinin yerinin belirlenmesinde, baraj ve haznelerin kapasitesinin hesabında, sulama ve içme suyu temininde, akarsulardan doğal yaşama engel olmayacak şekilde çekilecek su miktarlarının belirlenmesi hakkında önemli bilgiler sağlamayı mümkün kılar. (Önöz ve Bulu 1996; Yenigün ve Gümüş 2007). Su kaynakları yönetiminde düşük akım rejimlerini anlamak ve değerlendirmek, özellikle su talebinin arttığı ülkeler için önemlidir. Düşük akımları tanımlamak için literatürde birçok indis kullanılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda, 7 günlük düşük akım indisinin literatürde ekstrem olayların analizleri için yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür (Fiala et al. 2010; Farahani ve Khalili 2013; Dudley et al. 2020). Bu çalışma kapsamında düşük nehir akımlarını tanımlamak için 7 günlük düşük akım indisi kullanılmıştır. 7 günlük düşük akım indisi, ardışık yedi gün boyunca akarsu akışının hareketli ortalamasının alınması ve ardından bu hareketli ortalamanın yıllık ölçekte minimum değerinin belirlenmesiyle elde edilir (Konapala et al. 2018).

İklim değişikliğinin hidrolojik değişkenler üzerindeki en önemli etkilerinden biri, değişkenlerin durağanlık özelliklerini bozmasıdır. Zaman serilerinin durağan olması, zaman içinde ortalamanın ve varyansın sabit kalması olarak tarif edilir. Bugün gelinen noktada, iklim değişikliği, insan müdahaleleri ve arazi kullanımı değişiklikleri, bu hidrolojik verilerin durağanlık özelliklerini etkilemektedir. Sonuç olarak, durağanlık varsayımı artık geçerli olmayabilir (Milly et al. 2008; 2015).

Düşük nehir akımların da meydana gelen değişkenliğinin sebepleri oldukça karmaşıktır; iklim, jeoloji ve atmosferin birçok parametresini içerir. Genel olarak, düşük nehir akım verileri; yağıştan (Kam and Sheffield 2016, Javadinejad et al. 2019), sıcaklıktan (Masih et al. 2011) atmosferik salınımlardan (Konapala et al. 2018; Talebmorad et al. 2021), havza özellikleri, arazi kullanımı değişiklikleri ve kentleşme gibi iklimle ilgili olmayan etmenlerden etkilenir (Nasr and Bruen 2017). Farklı araştırmacılar, Türkiye'deki hidrometeorolojik değişkenlerin yıllar arası değişkenliğinin araştırılmasında büyük ölçekli atmosferik sistemlerin (Batı Akdeniz salınımı, Güney Salınımı ve Kuzey Atlantik Salınımı gibi) etkisini vurgulamıştır (Kalaycı et al. 2004; Karabork and Kahya 2009; Düzenli et al. 2018).

Türkiye genelinde düşük akım verileri ile ilgili çalışmalar genellikle verilerdeki değişimleri araştırmayı amaçlamaktadır. Aynı zamanda düşük nehir akım verilerindeki değişimlerin nedenlerinin araştırılması su kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından oldukça önemlidir. Türkiye'de büyük ölçekli iklim endekslerinin ve iklim değişkenlerinin (sıcaklık ve yağış) düşük akım rejimleri üzerindeki etkisi kapsamlı bir şekilde araştırılmamıştır. Bu iklim değişkenleri ve düşük nehir akımları arasındaki bağlantıların daha iyi anlaşılması, daha iyi bir hidrolojik modellemeye (örneğin, iyileştirilmiş uzun vadeli düşük akış tahmini) yol açabilir ve böylece daha etkili su kaynakları planlaması ve yönetimi sağlayabilir. Çalışmamızın yeniliklerinden biri, Türkiye genelinde düşük akım verileri ile iklim değişkenleri (büyük ölçekli iklim endeksleri, sıcaklık ve yağış) arasındaki ilişkileri inceleyerek iklim değişkenlerinin düşük akım değişikliklerini nasıl etkilediğini araştırmaktır. Türkiye, jeopolitik ve tarihi öneme sahip bir bölge olan Yakın Doğu'daki birçok ülkeye su sağlayan büyük nehirlerin kaynağı olduğu için bu boşluğu doldurmak çok önemlidir. Bu nedenle, iklim ve su mevcudiyetindeki değişikliklerin nedenleriyle ilgili temel soruların araştırılması, bilinçli su yönetimi ve planlaması için esastır. Yukarıda belirtilen iklim değişkenlerinden dolayı düşük akım verileri durağan değil ise bu durumda durağan olmayan istatistikî karakteristiklerinin modellenmesi gerekmektedir.

Düşük nehir akım verilerinin frekans analizi çalışmaları su temini açısından gerekli su transferi miktarı, hidroelektrik santraller, su biriktirme yapıları ve soğutma tesislerinde minimum etek suyu bırakma hesapları için oldukça önemlidir. Son yıllarda durağan olmayan hidrolojik frekans analizi için çeşitli yeni kavramlar ve teknikler ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, bu konu ile ilgili artan ilgiye rağmen, durağan olmayan koşullar altında düşük nehir akımların sıklığı analizini gerçekleştiren çalışmalar oldukça azdır. Daha uygun ve yaygın olarak kullanılan bir yaklaşım, frekans analizi için dağılım parametrelerinin zamanın bir fonksiyonu olarak değiştiğini varsayan ve akım verilerinin durağan olmayan davranışını yeniden yapılandırmak için yararlı bir araç sağlayan zamanla değişen bir modelin kullanılmasıdır. Fakat verilerde meydana gelen değişimler iklim değişkenliği veya insan kaynaklı faaliyetler gibi faktörlerden de etkilenebileceğinden, yalnızca zamana bağlı bir modelden gelen açıklayıcı değişkenler her zaman uygun olmayabilir (Chen et al. 2021). Bazı araştırmacılar, durağan olmayan modellere iklim değişkenlerini ve antropojenik göstergeleri dahil etmeye çalışmışlardır.

Du et al. (2015) ve Hesarkazzazi et al. (2021), durağan olmayan analizde ortak değişkenler olarak yağış ve sıcaklık değişkenlerini kullanmıştır. Pasifik Dekadal Salınımı (PDO), Artık Salınımı (AO), Kuzey Atlantik Salınımı (NAO), Güney Salınım Endeksi (SOI) gibi farklı salınım endeksleri açıklayıcı değişkenler olarak durağan olmayan modellere dahil edilmiştir (Zhang et al. 2015; Gu et al. 2016). Son zamanlarda, Rigby ve Stasinopoulos (2005) tarafından önerilen Konum Ölçek ve Şekil için Genelleştirilmiş Aditif Modelleri (GAMLSS), açıklayıcı değişkenler ve fonksiyonun dağılım parametreleri arasında parametrik ve parametrik olmayan ilişkiler kurarak hidrometeorolojik değişkenlerin frekans analizi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Böylece çalışmamızın bir başka yeniliği, GAMLSS tekniğini kullanarak bir önceki aşamada belirtilen Türkiye genelinde düşük akım verileri ile iklim değişkenleri (büyük ölçekli iklim endeksleri, sıcaklık ve yağış) arasındaki ilişkiler göz önünde bulundurularak, bu değişkenler düşük akımlar için açıklayıcı değişken olarak kullanılıp düşük akımların durağan olmayan modellerini belirlemektir.

İklim değişikliği ve diğer antropojenik müdahaleler nedeniyle, düşük akımların geri dönüş seviyeleri durağanlık özelliklerini kaybetmektedir. Düşük akımların ve hidrolojik kuraklıkların geri dönüş seviyeleri, iklimin durağan olmaması dikkate alınarak daha iyi anlaşılabilir (Gurrapu et al. 2022). Bu tür durağan olmayan iklim koşullarında durağan olmayan frekans analizi, geleneksel durağan frekans analizlerine göre daha uygun olmaktadır (Milly et al. 2008; Webb and White 2010; Aziz et al. 2020; Aziz and Yucel 2021; Gurrapu et al. 2022). Düşük akımların geri dönüş seviyelerindeki değişikliklerin değerlendirilmesi, sürdürülebilir su kaynakları ve ekosistem için kritik öneme sahiptir. Sonuç olarak, yetkililer hayati bir bileşen olarak durağan olmama kavramını göz önüne almalıdırlar.

İklim değişikliğinin etkisi ile yağış ve akış mekanizması oldukça değişkenlik göstermektedir (Wang et al. 2019). Su kaynaklarının yönetimi, kuraklık tehlikesi riskinin değerlendirilmesi ve mühendislik tasarımı için iklim değişikliğini durağan olmayan analizlere dahil etmek gerekir. Çeşitli iklim senaryoları altında gelecek dönem için düşük akımların geri dönüş seviyelerinin analiz edilmesi çalışma alanı için oldukça önemli olduğu düşünülmektedir. Çalışma kapsamında durağan olmayan düşük akımların gelecek ve tarihsel 20 ve 50 yıl dönüş periyoduna karşılık gelen düşük akım tahminleri

1. GİRİŞ

değerlendirilmiştir. Çalışmanın bu aşamasında gelecek tahminler için durağan olmayan modellemede sadece yağış verisi açıklayıcı değişken olarak kullanılmıştır. Gelecek tahminleri için en güncel modeller olan Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi Faz 6 (CMIP6) küresel iklim modelleri <https://www.nasa.gov/nex/gddp> sitesinden yanlılıkları düzeltilmiş halde indirilmiştir. Karşılaştırma yapılırken tarihsel veri ile CMIP6' nın SSP2-4.5 (orta durum) ve SSP5-8.5 (en kötü durum) senaryoları için sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak çalışma kapsamında, Türkiye genelinde iklim değişikliğinin etkisinin daha belirgin olması ve bu değişimden büyük ölçüde etkilenen düşük nehir akımlarının detaylı bir şekilde araştırılması gerekliliği görülmüştür. Düşük nehir akımlarının değişiminde etkili olan iklimsel parametrelerin araştırılması ve bu iklimsel parametreler açıklayıcı değişken olarak kullanılarak durağan olmayan modellerin oluşturulması planlanmaktadır. Son olarak durağan olmayan modeller kullanılarak tarihsel ve gelecek düşük akımların 20 ve 50 yıllık tekerrür sürelerine sahip düşük akım tahminleri değerlendirilmiştir.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Adımları

Düşük akımlardaki değişimler ve bu değişimlere etki eden faktörlerin belirlenmesi su kaynaklarının yönetimi için oldukça önemlidir. Düşük akımlar için belirlenen istatistiki değerler; arıtma tesislerinin yerlerinin belirlenmesinde, kurak geçen kritik yaz aylarında yeterli su temini olasılığının hesaplanmasında; akarsudan ekosistem ve doğal yaşama zarar vermeyecek şekilde çekilecek suyun hesabı gibi çalışmalarda oldukça önemlidir (Önöz ve Bulu 1996).

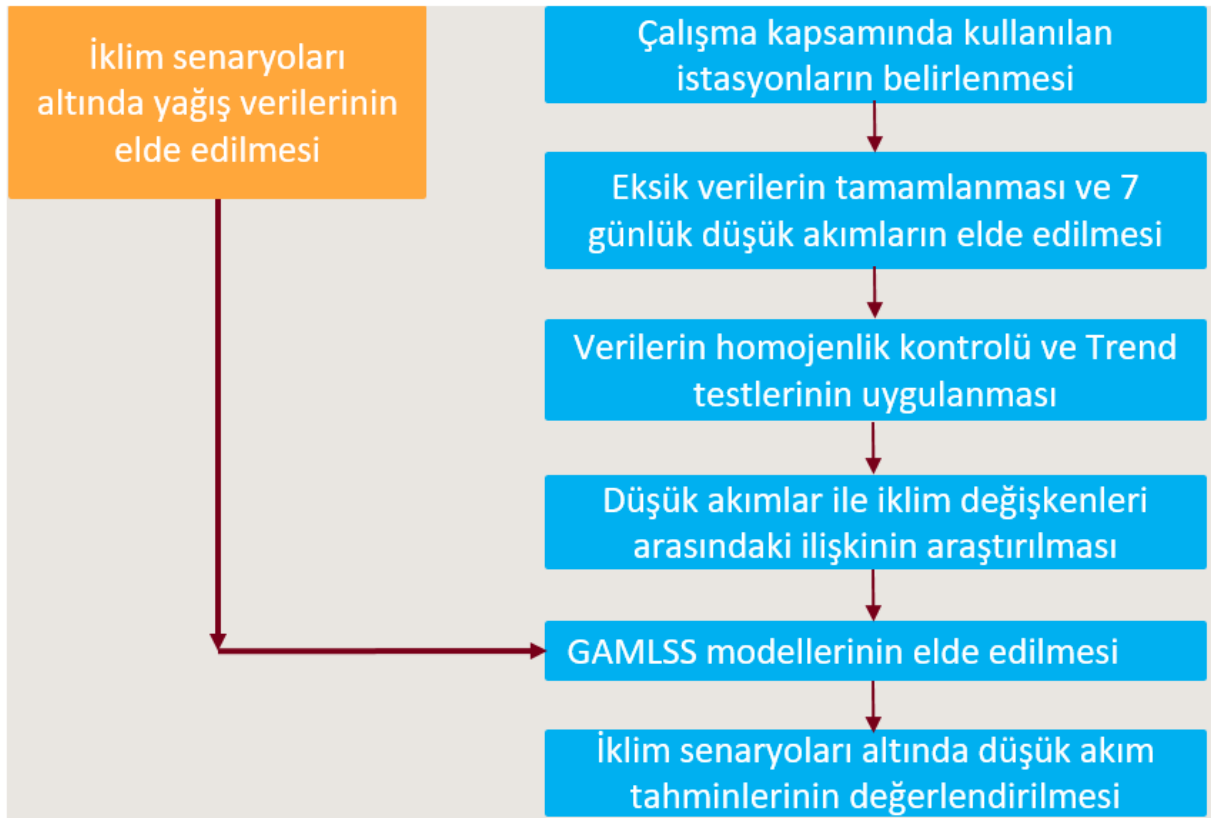
Nehir akımları için yapılan klasik frekans analizi yaklaşımında, genellikle verinin durağan olduğu düşünülür ve buna göre seriye en uygun olasılık dağılımı bulunur. İklim değişikliğinin de etkisiyle hidrolojik verilerin durağanlık özelliklerini kaybettiklerini birçok araştırmacı dile getirmiştir. Bu nedenden dolayı akım serilerinde durağan olmama durumu da göz önünde bulundurularak yeni teknikler ile modelleme yapılması daha uygun olacaktır. Böylece dağılım parametrelerinin iklimsel parametrelere bağlı tahminine izin verecek yaklaşımların kullanılması gerekmektedir. Son yıllarda iklim değişikliğinin

daha da belirgin hale gelmesi, Türkiye genelinde düşük akımlardaki değişimlere etki eden iklimsel değişkenlerin belirlenmesi ve bu değişkenler açıklayıcı değişken olarak kullanılarak durağan olmayan modellerin belirlenmesine daha da fazla önem verilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Temel olarak çalışma kapsamında 6 aşama bulunmaktadır. Birincisi, çalışma kapsamında kullanılacak akım gözlem istasyonlarının belirlenmesi ve bu istasyonlardaki eksik gözlemlerin Klasik Regresyon Analizi (LR), Yapay Sinir Ağları (YSA), Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS), Destek Vektör Makinesi (SVM), K-En Yakın Komşuluk (KNN) ve Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (MARS) yöntemleri ile tahmin edilerek kesintisiz veri setlerinin ortaya çıkarılmasıdır. İkincisi, eksik verisi tamamlanmış verilerin 7 günlük düşük akım verilerinin elde edilmesidir ve elde edilen verilerin homojenlik kontrollerinin yapılması ve çalışma kapsamında kullanılacak homojen akım veri setlerinin belirlenmesidir. Çalışmanın üçüncü aşaması homojen 7 günlük düşük akım verilerinin içsel bağımlılıkları incelenerek Mann-Kendall (MK) ve Modifiye edilmiş Mann-Kendall (mMK) testleri ile trendlerinin araştırılmasıdır. Dördüncü aşama ise, düşük akımlardaki değişimlere sebep olan iklimsel faktörlerin ayrıntılı olarak araştırılmasıdır. Düşük akım değişiklikleri üzerinde iklim değişkenlerinden sıcaklık ve yağış ile büyük ölçekli iklim faktörlerinden Kuzey Atlantik Salınımı (NAO), Güneyli Salınımı (SO), Pasifik Decadal Salınımı (PDO) ve Batı Akdeniz Salınımı' nın (WeMO) olası etkilerinin değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Düşük akımların gözlemlendiği Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ayları ve yıllık dönemde ortalama sıcaklık ve toplam yağış verisi elde edilmiştir. Atmosferik salınım indisleri ise mevsimsel ve yıllık olarak hesaplanmıştır. Düşük akımlar üzerinde yukarıda bahsedilen iklimsel faktörlerin etkilerinin değerlendirilmesi Spearman korelasyon testi kullanılarak yapılacaktır. Korelasyon sonuçları, sıcaklık ve yağış verilerinde belirtilen dört ay ve yıllık zaman için, atmosferik salınım indislerinde ise mevsimsel ve yıllık dönem için haritalandırılacaktır. Beşinci aşamada, hesaplanan korelasyon sonuçları bir ön analiz olarak düşünülüp, düşük akımlar ile yüksek korelasyona sahip iklim değişkenleri açıklayıcı değişken olarak kullanılarak durağan ve durağan olmayan modeller oluşturulacaktır. Bu amaç için son yıllarda literatürde yaygın bir şekilde kullanılan Konum, Ölçek ve Şekil için Genelleştirilmiş Aditif Modelleri (GAMLSS) yaklaşımı kullanılacaktır (Debele et al. 2017; Singh and Chinnasamy 2021; Chen et al.

1. GİRİŞ

2021). Çalışma kapsamında her bir düşük akım verisi için 5 farklı model altında yaklaşık 60 farklı denklem oluşturulmuştur. Modeller; durağan model, zamana bağlı değişen durağan olmayan model, sıcaklık ve yağış verisine bağlı değişen durağan olmayan model, atmosferik salınım indislerine bağlı değişen durağan olmayan model, hem atmosferik salınım hem de sıcaklık- yağış verisine bağlı olarak değişen durağan olmayan modellerdir. Bu modeller arasındaki en uygunu uyum iyiliği testlerine göre belirlenecektir. Son aşamada ise durağan olmayan modeller kullanılarak düşük akımların tarihsel ve iklim senaryoları altında gelecek dönemleri için (yakın gelecek (2030-2060) ve uzak gelecek (2070-2100) 20 ve 50 yıl tekerrür periyotlarında meydana gelebilecek düşük akım tahminleri değerlendirilecektir. Bu çalışmadan elde edilecek bulguların Türkiye genelinde düşük akımların değerlendirmeleri, su kaynakları planlama ve yönetimi konusundaki çalışmalar için faydalı olacağı düşünülmektedir. Çalışmaya ait akış şeması Şekil 1.1’ de sunulmuştur.



Şekil 1.1. Çalışmanın akış şeması

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Literatürde, nehir akımları ile ilgili çalışmalar genellikle maksimum akımlar üzerine yoğunlaşmıştır, düşük akımlar ile ilgili çalışmalara ise daha az yer verilmiştir. Düşük akımlar ile ilgili çalışmalar, mevcut su kaynaklarından daha iyi yararlanılması, kuraklık yönetimi ve tahminine yönelik çalışmalara yardımcı olması açısından büyük önem taşımaktadır. Düşük akımların istatistiksel özellikleri konusunda ülkemizde yapılan çalışmada Çiğizoğlu et al. (2005), Türkiye’ de 96 akım gözlem istasyonunun düşük akımlarındaki değişimleri araştırmış ve yalnızca 3 istasyonun istatistiksel olarak anlamlı artan eğilimleri gösterdiğini, buna karşın 40 istasyonun istatistiksel olarak anlamlı düşüş eğilimleri gösterdiğini belirlemiştir.

Aytekin (2012), doktora çalışmasında Türkiye de farklı bölgelerde bulunan 3 akım gözlem istasyonuna ait düşük akımların zamana bağlı olarak değişen durağan olmayan frekans analizi çalışmasını gerçekleştirmiştir. Düşük akımlara en uygun dağılımları belirlemek için 2 parametrelili Log-Normal (LN2) ve Weibull (W2) dağılımlarını kullanmıştır. Sonuçlara göre her üç istasyon içinde gelecekte düşük akımların riskli olabileceğini belirtmişlerdir.

Aksoy et al. (2018), Meriç-Ergene, Gediz, Seyhan ve Ceyhan havzaları için sırasıyla 27, 23, 16 ve 33 akım gözlem istasyonuna ait düşük akımların frekans analizi çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlarında, Düşük akımlara en uygun dağılımların genellikle 3-parametrelili Log-Normal ve 3-parametrelili Weibull dağılımı olduğunu vurgulamışlardır.

Orta (2019) tarafından yapılan çalışmada Gediz havzasına dağılmış 23 adet akım gözlem istasyonunda 2 yıl, 5 yıl, 10 yıl, 25 yıl, 50 ve 100 yıllık dönüş periyotları için düşük akım frekans analizi uygulanmıştır. Gediz Havzası'ndaki akarsuların çoğunda akım verilerinin uzun dönüş süreleri için sıfır değerine sahip olması nedeniyle kuruma tehlikesiyle karşı karşıya olduğu frekans analizinde gösterilmiştir. Türkiye de düşük akımlar ile ilgili çalışmalar oldukça kısıtlıdır.

Düşük akımlar ile ilgili yurt dışında da birçok çalışma yapılmıştır. Masih et al. (2011), İran'ın Zagros Dağları'ndaki düşük akım serilerinin eğilimlerini ve bunların sıcaklık, yağış ve büyük ölçekli iklim endeksleriyle ilişkisini incelemiştir. Sonuçlarına göre, düşük akımlardaki azalmanın Nisan ve Mayıs aylarında yağışlardaki düşüşten kaynaklandığını göstermiştir.

Assani et al. (2011), Kanada, Quebec'te 1934-2000 zaman aralığında düşük akım serileri ile iklim değişkenleri arasındaki ilişkiyi analiz etmiştir. Düşük akımlardaki eğilimlerin aslında sıcaklık, yağış ve büyük ölçekli iklim indeksi (NAO) ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir.

Ling et al. (2013) gerçekleştirdikleri çalışmalarında Tarim Nehri'nin kuzey ve güney kollarında kaydedilen hidrolojik ve meteorolojik verilere dayanarak, düşük akım indekslerinin, hava sıcaklığı ve yağışın istatistiksel özelliklerini parametrik olmayan testler kullanarak analiz etmişlerdir. 1993 yılında düşük akım yıllık indekslerinde ani değişikliklerin meydana geldiğini belirtmişlerdir. Sonuçlarında, Tarim Nehri'nin membalarındaki düşük akım indekslerinin, hava sıcaklığı ve yağışla yakından ilişkili olduğunu vurgulamışlardır.

Giuntoli et al. (2013) tarafından yapılan çalışmada Fransa' da 236 ölçüm istasyonundan elde edilen düşük akımların eğilimleri ve bunların Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) ve Atlantik Çok Yıllı Salınımı (AMO) ile olan ilişkileri mevsimsel ve yıllık olarak analiz edilmiştir. Sonuçlar, güney Fransa'da kuraklık şiddetinde bir artış olduğunu göstermektedir. Ayrıca, mevsimsel iklim endeksleri, yıllık emsallerinden düşük akım endeksleriyle daha güçlü bağlantılara sahip olduğu görünmektedir. Örneğin, yaz NAO' su ülkenin kuzey yarısındaki şiddet endeksleri ile güçlü bir bağlantı gösterdiğini vurgulamışlardır.

Kormos et al. (2016) tarafından yapılan çalışmada Pasifik Kuzeybatı dağ akarsularında 42 akım gözlem istasyonundan elde edilen düşük akımların değişkenliği ve bu değişkenliğe etki eden faktörler araştırılmıştır. Sonuçlarına göre, düşük akımlarda 1948'den 2013'e azalmalar olduğu ve bu sonucun da su kaynakları yönetimini önemli

ölçüde etkileyeceğini belirtmişlerdir. Ayrıca düşük akım değişkenliğinde yağış miktarının etkili olduğunu vurgulamışlardır.

Nasr ve Bruen (2017) tarafından yürütülen çalışmada Mann-Whitney, Mann-Kendall ve Spearman's rho testlerini kullanarak İrlanda' da 33 akım gözlem istasyonundan elde edilen 7 günlük sürekli düşük akım verilerindeki trendleri araştırmışlardır. Düşük akım serilerinde her üç testte göre de, sekiz istasyonda istatistiksel olarak anlamlı bir artış eğilimi, dört istasyonda ise istatistiksel olarak anlamlı bir azalma eğilimi tespit ettiklerini belirtmişlerdir. Artan trende sahip istasyonlar esas olarak ülkenin batı yarısında yer alırken, azalan bir trend gösteren istasyonların belirli bir mekânsal kümelenmesi olmadığını belirtmişlerdir. Sonuçlarında, düşük akım serisindeki eğilimlerin yönünün esas olarak toplam yaz yağış miktarındaki eğilimler tarafından belirlendiğini göstermişlerdir.

Konapala et al. (2018), Texas Nehri havzalarındaki düşük nehir akımlarının doğrusal eğilimlerini incelemiş, korelasyon ve dalgacık analizini kullanarak düşük akımlar ile büyük ölçekli iklim endeksleri (NINO 3.4, SOI ve PDO) arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Büyük ölçekli iklim endekslerinin düşük akım değişkenlerini önemli ölçüde etkilediğini vurgulamışlardır.

Dierauer et al. (2018) Batı Kuzey Amerika'nın dağlık bölgelerdeki havzalarda düşük akımlar üzerinde etkili olan iklimsel değişiklikleri belirlemeye çalışmışlardır. Bu bilgi boşluğunu gidermek için, 63 havzada düşük akımların, sıcaklık ve yağışa karşı olan duyarlılıklarını korelasyon analizi kullanarak araştırmışlardır. Sonuçlar, yağışın düşük akımlarının süresi ve şiddeti üzerinde baskın kontrol olduğunu göstermiştir.

Liu et al. (2019), korelasyon ve ayırık dalgacık analizi kullanarak insan faaliyetlerinin (su çekme ve toprak koruma önlemleri) ve iklim değişkenlerinin (yağış, potansiyel buharlaşma ve toprak nemi) düşük akımlar üzerindeki etkisini araştırmıştır. Sonuçlar, iklim faktörlerinin düşük akımlar üzerinde insan faaliyetlerinden daha büyük bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca düşük akım değişkenliğini modified Mann-Kendall test ile araştırmışlardır. Sonuçlarına göre düşük akımların artık durağan olmadığını vurgulamışlardır.

Sheikh et al. (2020), İran'ın Namak Gölü Havzasında 1970'den 2012'ye kadar düşük akım, sıcaklık ve yağış kayıtlarındaki eğilimleri incelemiş ve iklim değişikliğinin ve insan faaliyetlerinin düşük akımlarda aşırı azalmalara yol açtığını öne sürmüştür.

Hammond ve Fleming (2021) tarafından yapılan çalışmada Delaware nehir havzasında sıcaklıklar artmaya devam ettikçe, nüfus arttıkça ve kalkınma genişledikçe, gelecekteki akımları tahmin etmek ve planlamak için tarihsel düşük akım değişkenliğini anlamak kritik öneme sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bu amaç için 325 adet akım gözlem istasyonunun düşük akım verilerini kullanarak düşük akımların itici güçlerini ve eğilimlerini 1950–2018 ve 1980–2018 dönemleri için araştırmışlardır. Sonuçlarına göre, yağışlardaki görülen artışlarla, hem 1950–2018 hem de 1980–2018 dönemleri için 7 günlük düşük akımlar genel olarak artmıştır. Bununla birlikte, son yıllarda su kullanımı ve geçirimsiz alanların arttığı Coastal Plain ilinde 7 günlük düşük akımlar azalmış, böylece arazi ve su yönetiminin düşük akımlar üzerindeki etkisi olduğunu vurgulamışlardır.

Dünya genelinde düşük akımların durağan olmayan frekans analizi ile ilgili birkaç çalışma bulunmaktadır. Liu et al. (2014) tarafından yapılan çalışmada Three Gorges Barajı'nın 44 km aşağısındaki Yichang ölçüm istasyonundan alınan 100 yılı aşkın düşük akım verileri ile durağan olmayan frekans analizi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sonuçlarına göre Mann-Kendall testi, düşük akımların önemli bir monotonik eğilime sahip olduğunu gösterirken, 1936'da Pettitt testi ile ani bir değişim noktası tespit edilmiştir. Düşük akım verilerine, GEV, Pearson Tip III, Gumbel, Gamma, Log-Normal ve Weibull dağılımları dahil olmak üzere altı dağılım fonksiyonu en iyi uyumu bulmak için test edilmiştir. Parametreleri tahmin etmek için maksimum olabilirlik yöntemi kullanılmıştır. GEV dağılımının düşük akımlar için en uygun dağılım olduğunu vurgulamışlardır.

Du et al. (2015) tarafından yapılan çalışmada zaman, sıcaklık ve yağış verileri ile düşük akımlarda meydana gelen değişimleri açıklamaya çalışmışlardır. Düşük akımların durağan olmayan modelleri Konum, Ölçek ve Şekil için Genelleştirilmiş Aditif Modelleri (GAMLSS) kullanılmışlardır. Sonuçlarında meteorolojik değişkenler ile oluşturulan

modellerin, sadece zaman ile oluşturulan modellerden düşük akımları açıklamada daha başarılı olduğunu vurgulamışlardır.

Xiong et al. (2018) düşük akımlarda meydana gelen değişimi açıklamak için zaman, nüfus, sulama alanı, toplam yağış, yağış olaylarının ortalama sıklığı, sıcaklık, potansiyel evapotranspirasyon (EP), iklim kuraklık indeksi (AIEP) ve taban akış indeksi (BFI) değişkenleri ile genelleştirilmiş doğrusal modellerini (GLM) kullanarak durağan olmayan frekans analizi çalışması gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar, sulama, sıcaklık ve yağış ile ilgili değişkenlerin modellemede önemli bir rol oynadığını göstermektedir.

Wang et al. (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada düşük akımların durağan olmayan modelleri için GAMLSS kullanılmıştır ve açıklayıcı değişken olarak atmosferik salınım indisleri, yağış ve rezervuar indisi kullanılmıştır. Yağış değişkeninin düşük akımları açıklamada etkili olduğunu belirtmişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde çalışma alanına ait genel bir açıklama ve çalışma kapsamında kullanılan veriler hakkında bilgiler verilmiştir. Ardından eksik gözlemlerin tamamlanması için kullanılan yöntemlerden bahsedilmiştir. Sonra düşük akımların kalite kontrolünde kullanılan yöntemler ve trendlerin araştırılmasında kullanılan yöntemler açıklanmıştır. Son olarak ise durağan olmayan modellerin oluşturulmasında kullanılan yöntem açıklanmıştır.

3.1. Çalışma Alanı

Çalışma kapsamında, çalışma alanı olarak 36–42°K enlemleri ile 26–45°D boylamları arasında yer alan Türkiye seçilmiştir. Türkiye, ortalama yüksekliği 1.141 m olan ve yaklaşık 780.576 km² lik bir su toplama alanını kapsamaktadır. Çalışma alanı doğuya doğru daha düzensiz ve dağlık hale gelen, ancak batıya doğru geniş ve basamaklı bir kıyı şeridi boyunca giderek alçalan yüksek bir platodan oluşmaktadır. Dağlık bölgelerde yağış dağılımı düzensizdir. Bu nedenle, yıllık toplam yağış Türkiye'de bir bölgeden diğerine önemli ölçüde değişmektedir. Türkiye'de yıllık toplam yağış ortalaması 658,566 mm, ortalama sıcaklık 13,8 °C' dir. Türkiye, ılıman ve subtropikal bölgeleri nedeniyle dört ana iklim tipine sahip heterojen bir manzara ile karakterizedir. Genel olarak Akdeniz iklimi, kışları ılık, yağışlı ve yazları kurak geçen Akdeniz ve Ege bölgelerinde görülür. Karadeniz Bölgesi'nin iklimi, her mevsimde yüksek yağış miktarı görülür ve toprakları ağırlıklı olarak kahverengi orman toprakları ile kaplıdır. Türkiye'nin orta, doğu, güneydoğu ve orta batısı, yazları sıcak ve kurak, kışları oldukça soğuk ve karlı olan tipik karasal iklime sahiptir. Son olarak Ege Denizi ile Karadeniz'i birbirine bağlayan Marmara bölgesi, yazları tekdüze yağışlı ancak sıcak ve hafif yağışlı, Karadeniz ve Akdeniz türleri arasında geçiş iklimi yaşar (Kadioğlu 2000; Güçlü 2018).

3.2. Veriler

3.2.1. Akım verisi

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğünden 196 akım gözlem istasyonuna ait günlük akım verileri elde edilmiştir. İstasyonlara ait verilerin ayrıntılı bir şekilde incelenmesi sonucunda eksik verisi fazla olan ve fazla kuru dönemlere sahip (verisi sıfır) olan 41 istasyon çalışma dışında tutulmuştur. Çalışmanın bundan sonraki aşamasında 155 istasyona ait günlük veriler kullanılmıştır. Bu veriler 1938-2017 zaman aralığında 29-80 yıl uzunluktadır. Türkiye genelindeki akım gözlem istasyonlarının hemen hemen hepsi incelenip gözlem süresi istatistiki açıdan uygun istasyonlar seçilmeye çalışılmıştır. Bundan sonraki aşamada akım verilerinde bulunan eksik veriler tamamlanmıştır.

Düşük nehir akımlarını tanımlamak için literatür de birçok indis kullanılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda, 7 günlük düşük akım indisinin literatürde ekstrem olayların analizleri için yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür (Fiala et al. 2010; Dudley et al. 2020). 7 günlük düşük akım indisi, ardışık yedi gün boyunca akarsu akışının hareketli ortalamasının alınması ve ardından bu hareketli ortalamanın yıllık ölçekte minimum değerinin belirlenmesiyle elde edilir (Konapala et al. 2018). Bu çalışma kapsamında da düşük akımları tanımlamak için 7 günlük düşük akım indisi kullanılmıştır.

3.2.2. Sıcaklık ve yağış verisi

Çalışma kapsamında kullanılan yağış ve sıcaklık verileri İklim Araştırma Birimi (CRU) TS v4.04 (Harris et al. 2020)' den elde edilen $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ çözünürlüğe sahip (yaklaşık 55 km) 1901-2019 periyodunda bulunan aylık verilerdir. CRU TS v4.04 veri seti ulusal meteoroloji hizmetlerinden ve kapsamlı kalite kontrol önlemlerine tabi olan meteoroloji istasyonlarının arşivlerinden elde edilmektedir (Rivera and Arnould 2020). Meteoroloji istasyonu gözlem ağlarından, aylık verilerin enterpolasyonu ile veriler hesaplanmaktadır. CRU TS v4.04 veri setinin elde edilmesinde enterpolasyon işlemi için Açısız Mesafe Ağırlıklandırma (ADW) tekniği kullanılmaktadır (Harris et al. 2020). Bu veri setinin kullanılmasındaki temel nedenlerinden biri, veri aralığı olarak çok uzun bir dönemi (tüm yirminci yüzyıl) kapsamasından kaynaklanmaktadır. Diğer neden ise, CRU'

nun gözlemlenen verilerin iklim yapısını ve modelini temsil etme doğruluğu ve başarısıdır (Yıldırım ve Altınsoy 2017). Hadi ve Tombul (2017) yaptığı çalışmada Türkiye’de Seyhan havzasında bulunan 9 istasyona ait yağış ve sıcaklık verileri için CRU veri setinin doğruluğunu araştırmıştır. Sonuçlara göre CRU veri setinin Seyhan havzası için gözlenmiş veriler ile uyumlu olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca CRU veri seti dünya genelinde yapılan hidroloji ile ilgili çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Örneğin, küresel iklim modellerinin performansını değerlendirmek için (Abbasian et al. 2019, Bellprat et al. 2019, Rivera and Arnould 2020), hidrolojik modellerde girdi olarak yağış ve sıcaklık verilerini elde ederken (Sidike et al. 2016; Hajihosseini et al. 2020) yaygın bir şekilde kullanılmıştır. CRU verisinin doğruluğunu göstermek için 5 MGM istasyona ait gözlenmiş yağış ve sıcaklık verisi elde edilerek CRU verisi ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma işlemi için Spearman korelasyon katsayısı kullanılmıştır ve sonuçlar Çizelge 3.1 ve 3.2’de verilmiştir. Çizelge 3.1 ve 3.2’de görüleceği üzere korelasyon değerleri oldukça yüksektir.

Çizelge 3.1. Hücresel yağış ve gözlenmiş veri arasındaki korelasyon değerleri

İstasyon No	Korelasyon değerleri							Zaman periyodu
	Enlem	Boylam	Yıllık	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	
İğdır (17100)	39.922	44.052	0,897	0,73	0,82	0,855	0,825	1961-2019
İzmir (17220)	38.394	27.081	0,81	0,934	0,845	0,695	0,799	1961-2019
Kastamonu (17074)	41.371	33.775	0,74	0,804	0,736	0,793	0,777	1961-2019
Kayseri (17196)	38.687	35.5	0,772	0,822	0,769	0,763	0,858	1961-2019
Sivas (17090)	39.743	37.002	0,829	0,865	0,828	0,814	0,912	1961-2019

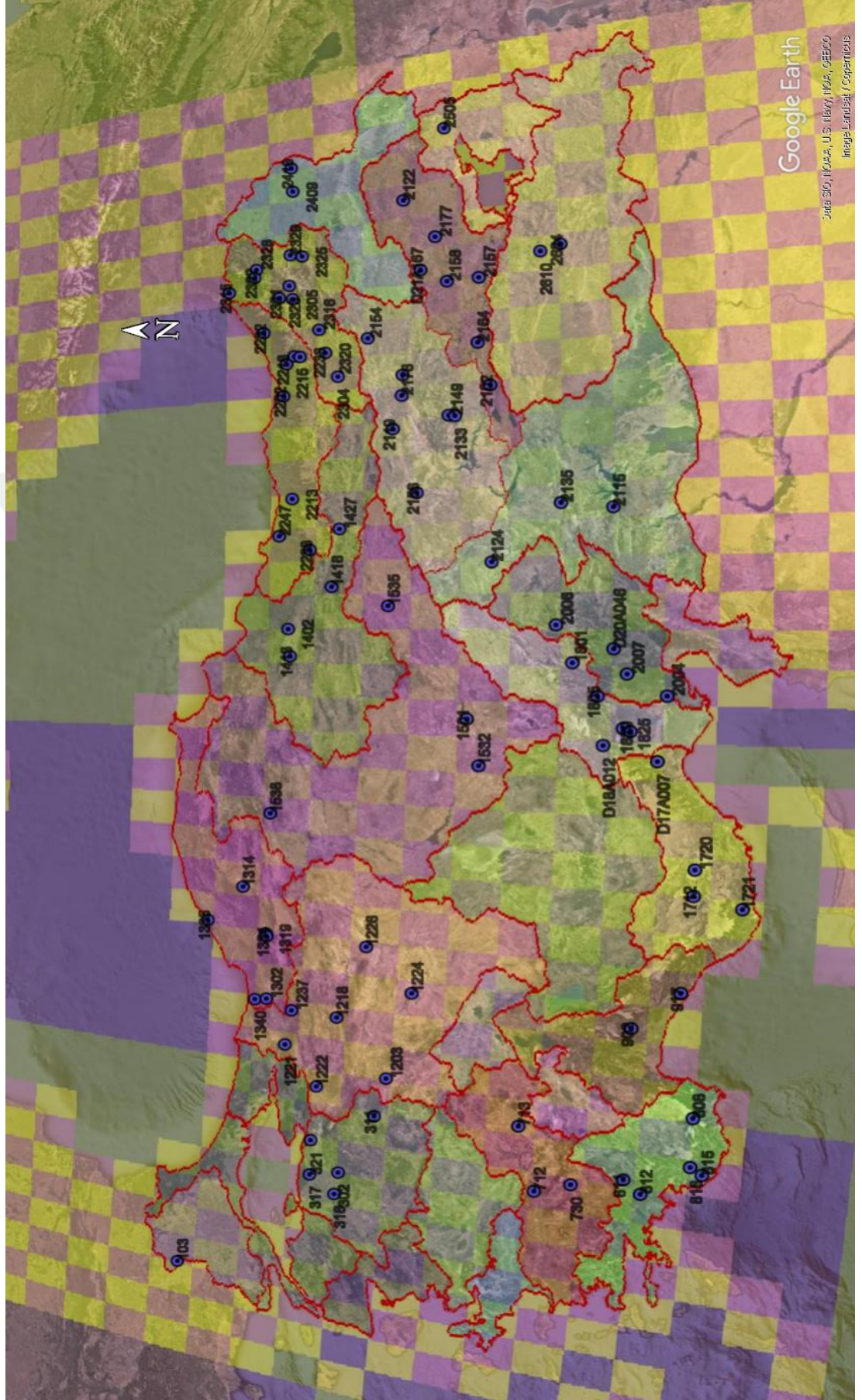
Çizelge 3.2. Hücresel ortalama sıcaklık ve gözlenmiş veri arasındaki korelasyon değerleri

İstasyon No	Korelasyon değerleri							Zaman periyodu
	Enlem	Boylam	Yıllık	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	
İğdır (17100)	39.922	44.052	0,952	0,949	0,942	0,952	0,892	1961-2019
İzmir (17220)	38.394	27.081	0,976	0,974	0,976	0,93	0,959	1961-2019
Kastamonu (17074)	41.371	33.775	0,954	0,952	0,951	0,934	0,902	1961-2019
Kayseri (17196)	38.687	35.5	0,934	0,942	0,917	0,916	0,915	1961-2018
Sivas (17090)	39.743	37.002	0,925	0,927	0,944	0,923	0,934	1961-2019

Çalışma kapsamında ilk olarak bütün akım gözlem istasyonları için istasyonun içinde bulunduğu hücresel veri ile olan korelasyonuna bakılmıştır. Karşılaştırma yapmak için, Türkiye’ de bulunan alt havzalar Google Earth programına atılmış ve meteorolojik verilerin bir de havza olarak ortalamaları alınmıştır ve bu ortalama verilerin akım verileri ile olan korelasyonuna bakılmıştır. Sonuçlara göre havzasal ortalamaların daha yüksek korelasyon değerleri verdiği görülmüştür. Bu işlemi yaparken yüz ölçümü bakımından büyük havzalar alt havzalara bölünmüştür. Büyük havzalar da iklim, havza boyunca benzer özellikleri sergileyebilir bu nedenden dolayı alt havzalara bölünerek incelenmiştir.

Düşük akımların hangi aylarda olduğunu belirlemek amacıyla bir Matlab kodu yazılmıştır. Yapılan araştırma neticesinde düşük akımların genellikle Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında olduğu görülmüştür. Bundan dolayı düşük akımlar ve meteorolojik veriler arasındaki korelasyonlar bahsedilen dört ay için ve yıllık olarak hesaplanmıştır.

Şekil 3.1’ de hücresel veri ve çalışmada kullanılan akım gözlem istasyonları sunulmuştur.



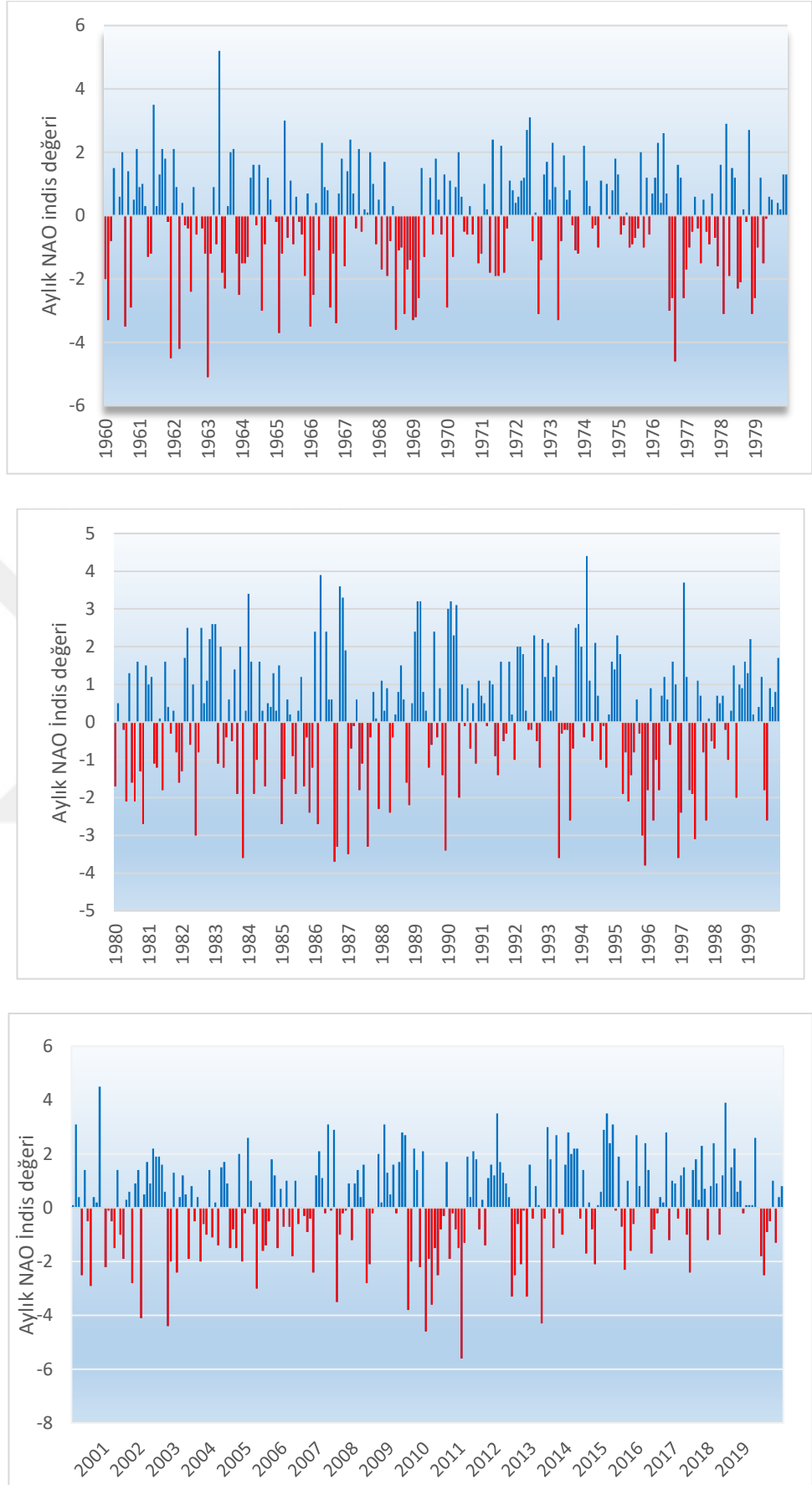
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan hücresel veri ve akım gözlem istasyonlarının gösterimi

3.2.3. Atmosferik salınımlar

3.2.3.1. Kuzey atlantik salınımı (NAO)

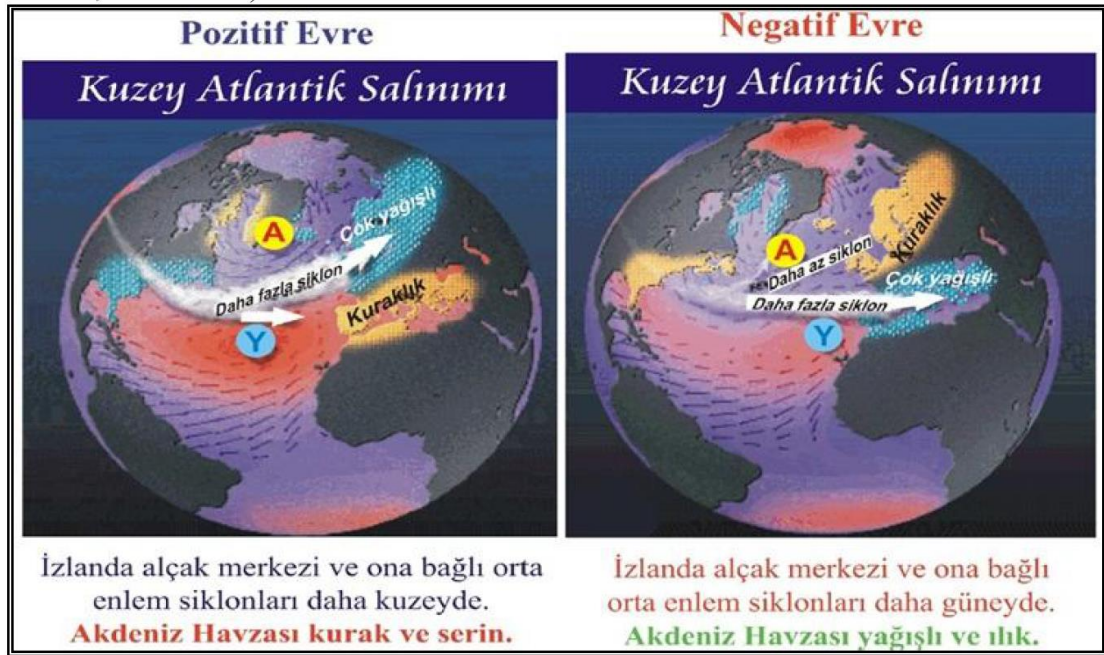
Kuzey Atlantik Salınımı (NAO), İzlanda alçak ve Azor yüksek arasındaki atmosferik basınç farkındaki dalgalanmaların Kuzey Atlantik Okyanusu üzerinde meydana getirdiği bir hava olayı olarak tanımlanmaktadır. İzlanda alçak ve Azor yükseklerinin gücündeki dalgalanmalar yoluyla, batı rüzgârlarının gücünü ve yönünü ve Kuzey Atlantik boyunca fırtına izlerinin yerini kontrol eder. Kuzey Atlantik Salınımı özellikle kış mevsimi boyunca Amerika'nın batı kıyılarından Sibiry'a ve Arktik 'ten Subtropikal Atlantik'e kadar Akdeniz havzasını da içine alan kesimde iklim olaylarını kontrol eden önemli bir etmendir (Hurrell et al. 2003). Kuzey Atlantik Salınımı, etkili olduğu alanlarda, tarımsal faaliyetler, su kaynaklarının planlanması, enerji ihtiyacı ve üretimi, balıkçılık, tür popülasyonlarını etkilemesi bakımından araştırılması gereken bir doğa olayıdır (Hurrell et al. 2003).

Kuzey Atlantik Salınım indisi (NAOI), genellikle Azor Adaları'nda ve İzlanda'da bulunan iki ayrı istasyonda ölçülen deniz seviyesi basınçlarının standardize edilmiş değerleri arasındaki fark alınarak hesaplanır. İndisler yıllık, mevsimlik veya aylık olarak hazırlanmaktadır. İndis değeri, +1'e eşit veya daha büyük ise etkisi pozitif, -1'e eşit veya daha küçük ise etkisi negatif olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3.2'de Kuzey Atlantik Salınımının aylık değişim grafiği verilmiştir.



Şekil 3.2. Aylık standart NAOI değerlerinin 1960-2019 yılları arası değişimi (Anonymous 2022b).

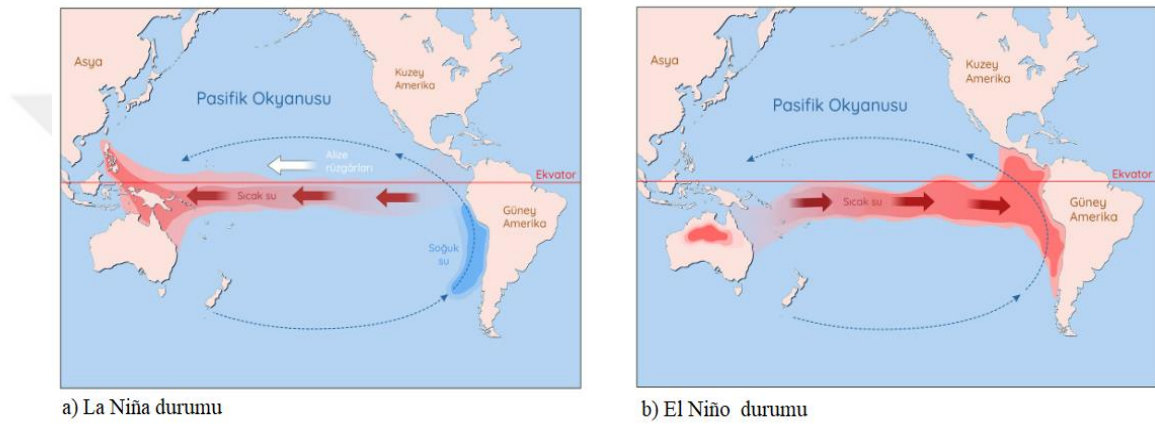
Şekil 3.3’ de Kuzey Atlantik Salınımı pozitif ve negatif fazındayken kuzey yarım kürede iki basınç merkezi arasında görülen farklılıklarını ve iklimde meydana gelen değişiklikleri ifade edilmektedir. Kuzey Atlantik Salınımının pozitif evresinde iken iki basınç merkezi arasındaki basınç farkı artmaktadır. Bu durum da Avrupa ve İskandinavya normalin üzerinde yağış alır ve güney ve orta Avrupa da normalin altında yağış alır. Kuzey Atlantik Salınımı negatif fazındayken Azor ile İzlanda arasındaki basınç farkı azalmaktadır. Azor, normal basınç değerinin altında; İzlanda ise normal basınç değerinin üstündedir. Bu durumda rüzgârların hızı düşer ve Avrupa’nın güneyine doğru ilerler. Avrupa’nın kuzeyi normalden daha az yağış alırken, güneyi ise normalden daha fazla yağış alır. NAO’ nun her iki evresi de etkili olduğu bölgede iklim üzerinde önemli etkilere sahiptir.



Şekil 3.3. NAO’ nun pozitif ve negatif dönemi (Şengün ve Kıranşan 2013)

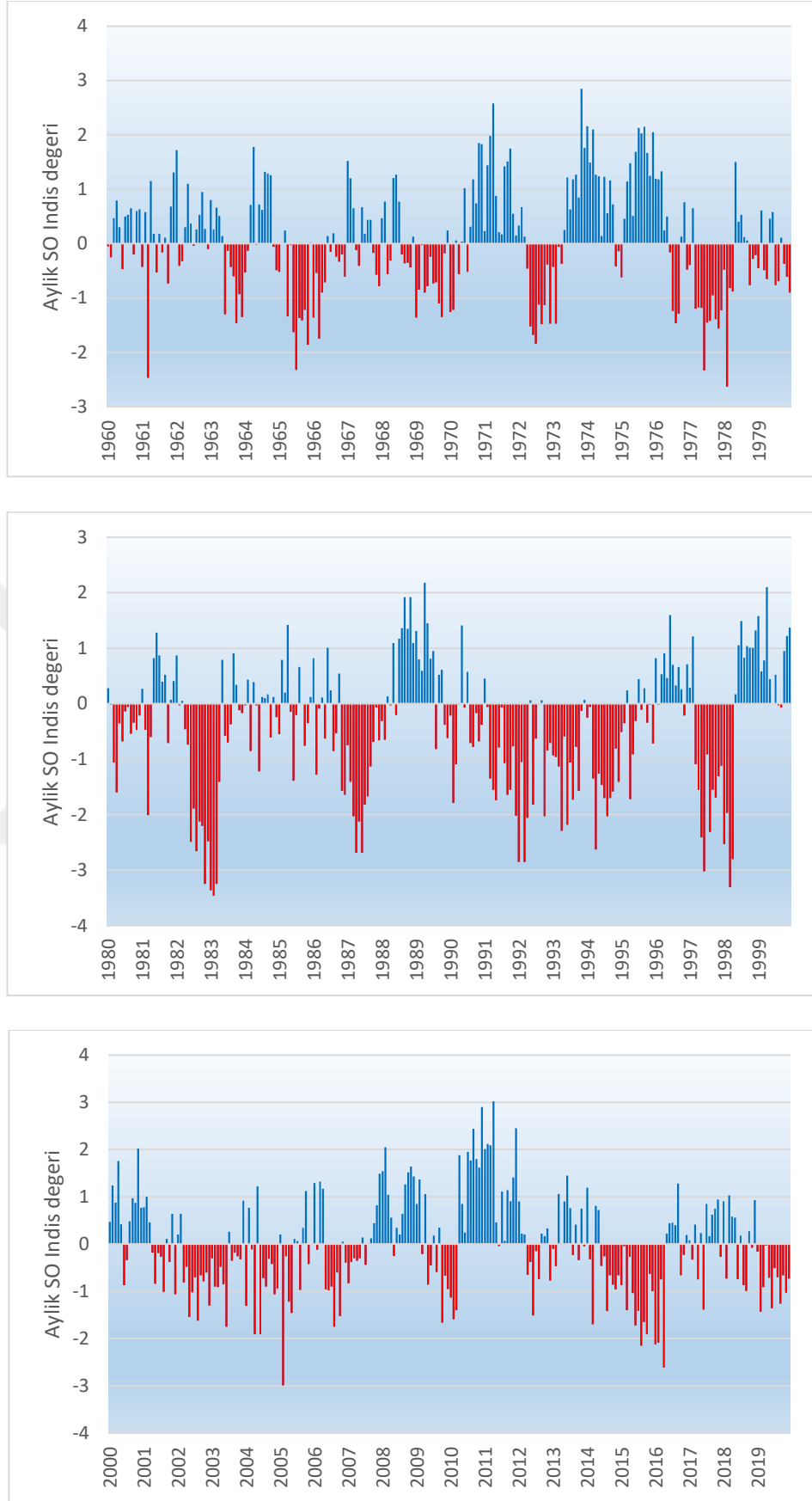
3.2.3.2. Güneyli salınım (SO)

Güneyli salınımı, Pasifik Okyanusu'nda gözlemlenen atmosferik basıncın karşılıklı değişiminden kaynaklanan büyük ölçekli bir döngüdür. El Niño ve La Niña olayları ise bu döngünün birbirine zıt parçalarını ifade eder. Bu döngü içerisinde El Niño, sıcak evre; La Niña ise soğuk evre olarak tanımlanmaktadır. El Niño ve La Niña'nın oluşum sıklığı çok düzenli olmasa da çoğunlukla 2 ila 7 yıl arasında değişen bir döngü görülmektedir. Şekil 3.4' de, El Niño ve La Niña'nın etkileri görülmektedir.



Şekil 3.4. El Niño ve La Niña'nın ekvatorial bölgede etkileri (Anonim 2023)

Ticaret rüzgarları doğudan batıya doğru eserken sıcak havayı doğudan batıya doğru götürür. Bu durum La Niña olayıdır. Bu durumda doğu pasifik kurak dönemler geçirir ve soğuk su tabakası yüzeye çıkar. Aynı zamanda balık popülasyonunda artış görülür. Batı pasifik ise taşınan sıcak su ile daha fazla yağış alır. El Niño olayı ise bunun tam tersi durumdur. Batı pasifik kurak dönemler geçirirken, doğu pasifik daha fazla yağış alır. Şekil 3.5 ve 3.6' da El Niño ve La Niña olaylarının dünya üzerindeki etkileri gösterilmiştir. El Niño olayında ekvator boyunca Kelvin dalgası hızlı bir şekilde yayılır. Bu durum güney Amerika' da taşkınlara yol açarken Avusturalya ve Endonezya' da kuraklıklara sebep olur. Ayrıca Kelvin dalgası, güney Amerika kıyılarına vurduktan sonra kuzey Amerika' ya doğru nemli havayı kıyı boyunca taşır.



Şekil 3.7. Aylık standart SOI değerlerinin 1960-2019 yılları arası değişimi (Anonymous 2022c).

3.2.3.3. Batı akdeniz salınımı (WeMO)

Batı Akdeniz salınımı, İtalyan yarımadasının kuzeyindeki Po Ovası ve Azor yüksek basıncı etkisi altındaki İber Yarımadası'nın güneybatısındaki Cadiz Körfezi arasındaki basınç farkından kaynaklanmaktadır (Martín-Vide ve Lopez-Bustins 2006). Batı Akdeniz salınımı indisi (WeMOI), İtalya' nın kuzeyindeki Puada ($45^{\circ} 24'N-11^{\circ} 47' E$) ve İspanya' nın güneybatısındaki San Fernando (Cadiz) ($36^{\circ} 17'N-6^{\circ} 07'W$) istasyonları arasındaki standartlaştırılmış yüzey basıncı değerleri farkından hesaplanmaktadır.

WeMOI' nun pozitif evresinde Azor yükseği İber Yarımadasının güneybatısını çevreler ve buna karşılık Ligurya Körfezinde alçak basınç merkezi etkili olur. Böylece San Fernando istasyonunda yüksek basınç, Padua istasyonunda alçak basınç etkili olur. WeMOI' nun negatif evresinde ise merkezi Avrupa yüksek basıncı İtalya' nın kuzeyine yerleşir ve alçak basınç İber yarımadasını kuzeyinden keser. Dolayısıyla, San Fernando istasyonunda alçak, Padua istasyonunda yüksek basınç hâkim olur. Nötr evrede ise iki istasyon arasındaki basınç farkı eşitlenir (Martín-Vide and Lopez-Bustins 2006). Şekil 3.8' de WeMOI' nun pozitif ve negatif evrelerdeki durumu gösterilmiştir.

WeMOI Pozitif Faz Durumu (+)

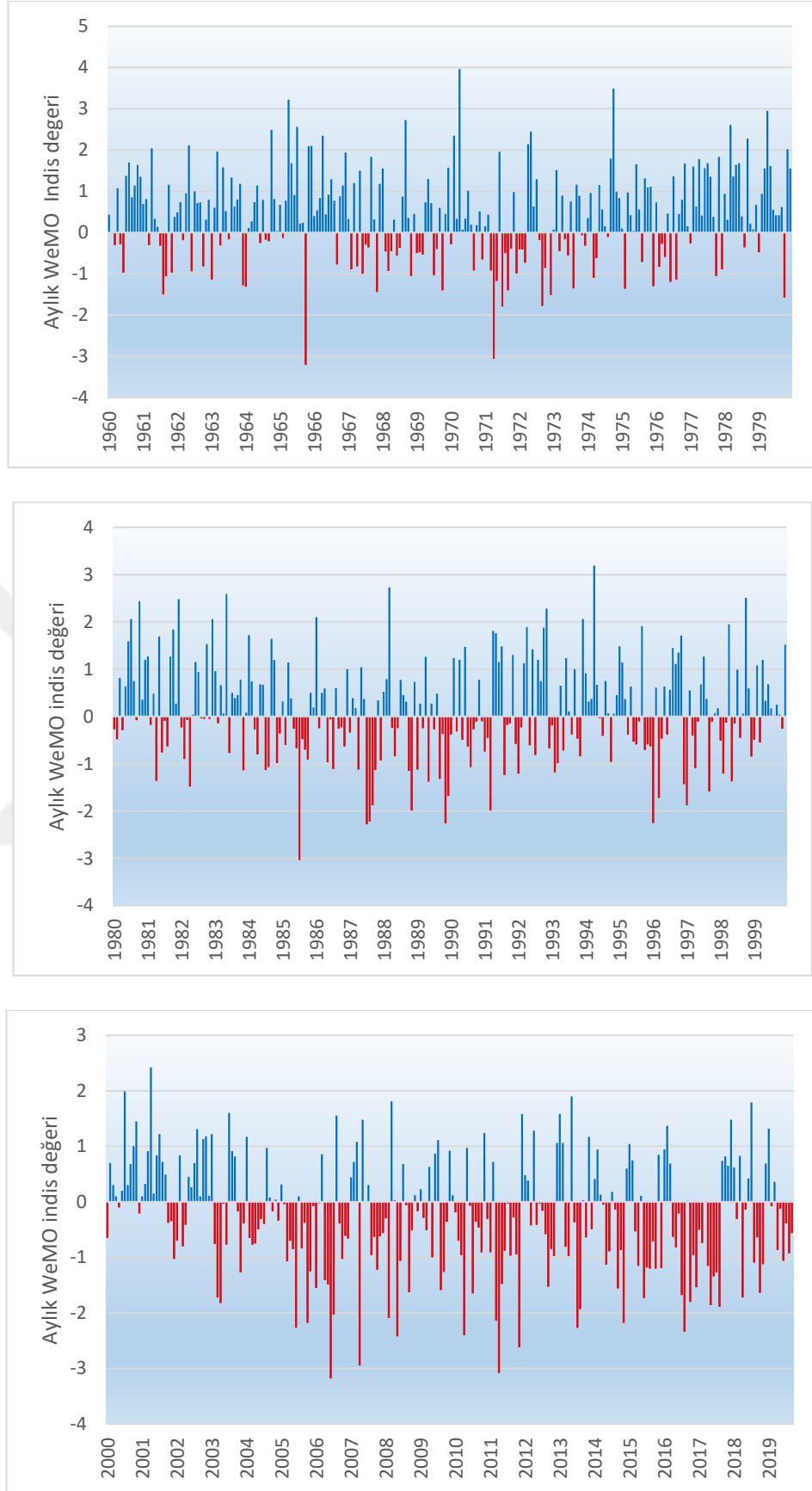


WeMOI Negatif Faz Durumu (-)



Şekil 3.8. WeMOI' nun pozitif ve negatif fazlardaki durumu (Anonymous 2022ç)

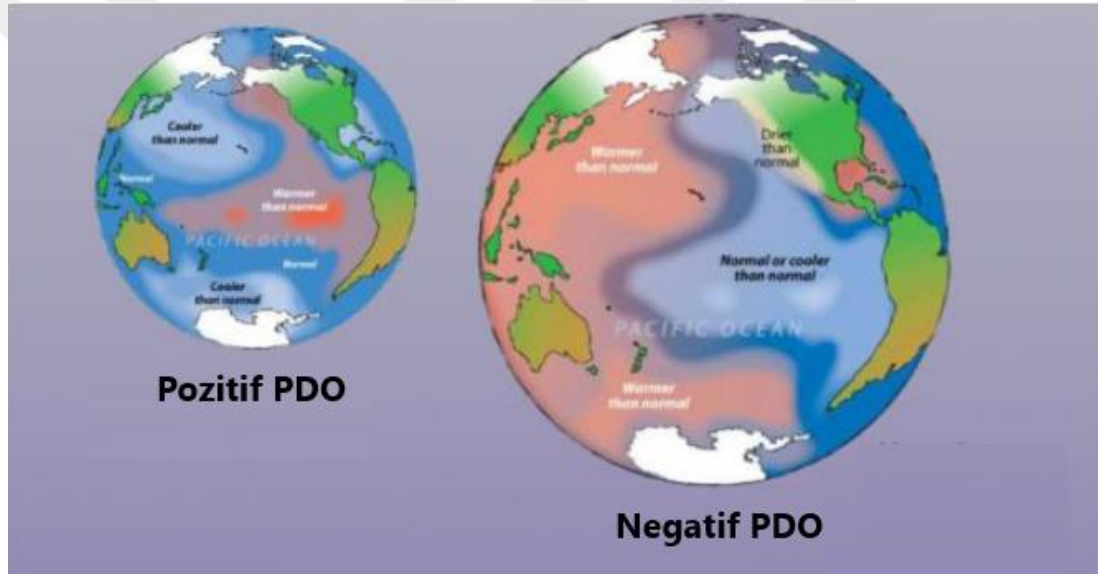
WeMOI' nun pozitif fazı, Cadiz Körfezi'ndeki antisiklonlara (yüksek basınç bölgeleri) ve Orta Avrupa'daki siklonlara (düşük basınç bölgeleri) karşılık gelir. Salınım en çok Akdeniz bölgesindeki ülkeler üzerinde etkili olduğu için Türkiye üzerindeki etkisinin kontrol edilmesi önemlidir (Duzenli et al. 2017). Şekil 3.9'da WeMOI' nun aylık değişim grafiği verilmiştir.



Şekil 3.9. Aylık standart WeMO indisi değerlerinin 1960-2019 yılları arası değişimi (Anonymous 2022c).

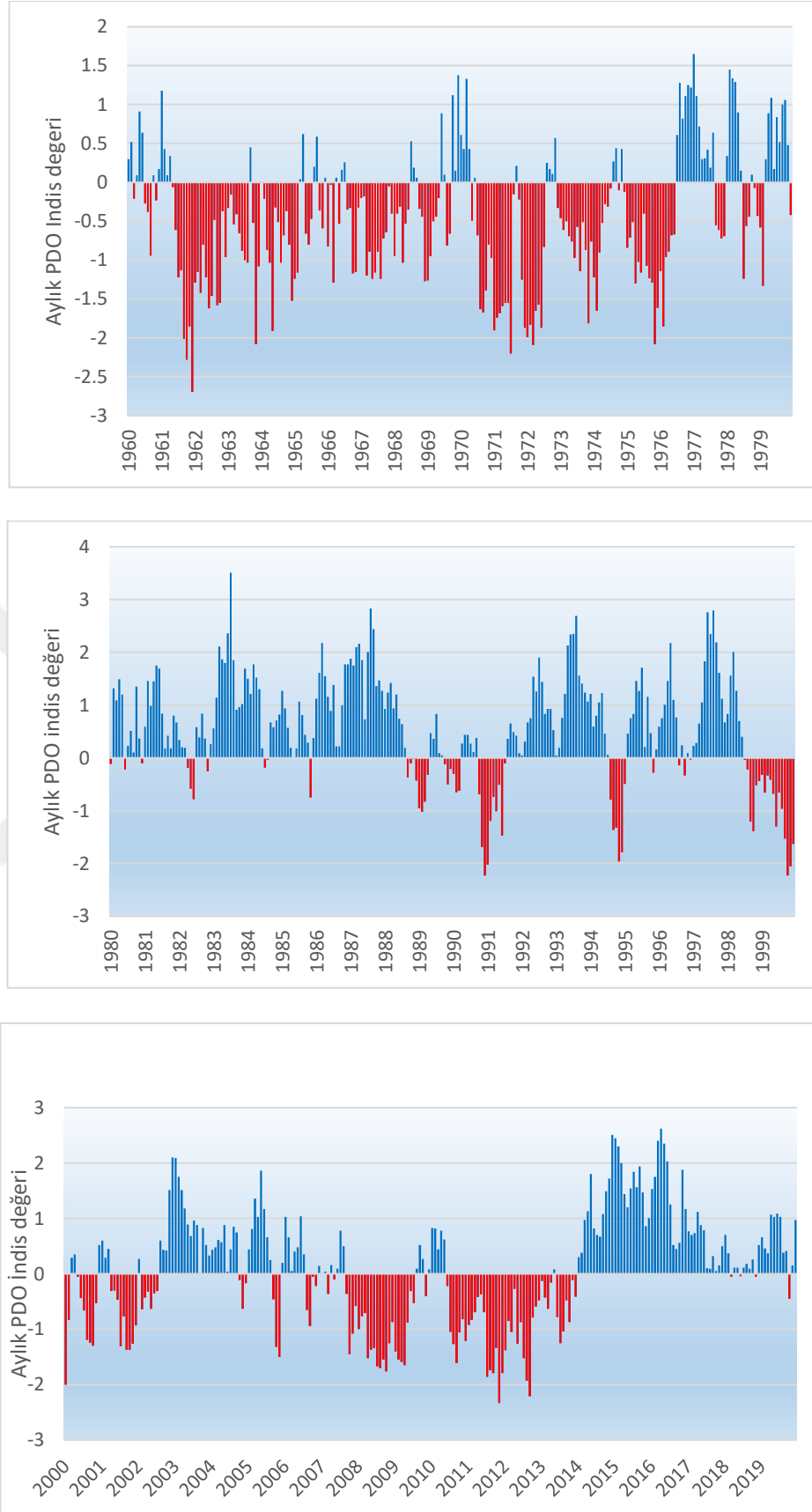
3.2.3.4. Pasifik decadal salınımı (PDO)

Aylık standartlaştırılmış Pasifik Decadal Salınımı indisi (PDOI), kuzey Pasifik Okyanusu'ndaki (20° N) deniz yüzeyi sıcaklıklarından türetilmiştir. Pasifik Decadal Salınımı, Pasifik iklim değişkenliğinin uzun ömürlü El Nino benzeri bir modelidir. Aralarındaki en büyük fark, PDO' nun daha uzun süre etkisinin devam etmesidir (Mantua et al. 1997). Şekil 3.10' da gösterildiği gibi PDO' da sıcak ve soğuk bir aşamadan oluşur. "Sıcak" veya "pozitif" bir evre sırasında, batı Pasifik soğur ve doğu okyanusunun bir kısmı ısınır; "cool" veya "negatif" bir aşamada, tam tersi bir model oluşur.



Şekil 3.10. Pasifik Decadal Salınımının etkisinin şematik gösterimi (Anonymous 2022d)

PDOI' nın pozitif evresinin, Türkiye iklimi üzerinde etkileri bulunmaktadır (Pu and Ginoux 2016). Bu nedenden dolayı etkisinin araştırılması önemlidir. Şekil 3.11'de PDOI' nın aylık değişim grafiği verilmiştir.



Şekil 3.11. Aylık standart PDOI değerlerinin 1960-2019 yılları arası değişimi (Anonymous 2022e).

Batı Akdeniz salınımı ve Pasifik Decadal Salınımı indislerinin, Türkiye akım değerleri ile olan ilişkileri bugüne kadar yeterince araştırılmamıştır. Böylece bu çalışma kapsamında yapılacak analizlerle WeMO ve PDO' nun Türkiye düşük akımları üzerindeki etkisi ayrıntılı bir şekilde ortaya konularak gelecekteki ilgili su kaynakları çalışmalarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

3.2.4. CMIP6 verisi

İnsan kaynaklı müdahaleler sonucunda atmosferde karbondioksit ve metan gibi sera gazlarının miktarlarında artışlar meydana gelmektedir. Bu artış yeryüzüne gelen ışınların gereğinden fazla emilmesine yol açmıştır ve böylece yeryüzünün ısınması artmaktadır.

Küresel ısınma ve bunun etkisi olarak iklim değişikliği nedeniyle meteorolojik değişkenlerde (sıcaklık ve yağış vb.) meydana gelen değişimler nehir akımlarını etkileyerek mevcut su potansiyeli ile ilgili sorunların ortaya çıkmasına yol açmıştır. Böylece değişen iklim koşulları altında gelecekte sıcaklık ve yağışların saptanabilmesi oldukça önemli bir durum olmuştur. Dünya genelinde araştırmacılar iklimin geçmişte ve gelecekte nasıl değişebileceğini belirlemek için iklim modellerini kullanmışlardır. Bu modeller, Hükümetler arası İklim Değişikliği Panelinin hazırlamış olduğu emisyon senaryoları altında, dünya genelinde Atmosferik parametreleri (yağış ve sıcaklık gibi) tahmin edebilmektedir (Anonymous 2023).

Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi (CMIP), dünya genelinde iklim modelleme gruplarının çalışmalarını tek çatı altında toplayan ve koordine eden işbirlikçi bir çerçevedir. En güncel modeller olan Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi Faz 6 (CMIP6), Eyring et al. (2016) tarafından yayınlanmıştır. Küresel iklim modelleri ile ilgili çalışmalar, CMIP6 modellerinin CMIP5 ile karşılaştırıldığında daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur (Eyring et al. 2016; O'Neill et al. 2016). Bu gelişmelerin arkasındaki neden, doğal veya insan kaynaklı ışınsal zorlamanın miktarının tespit edilmesi, aerosolün dahil edilmesi ve arazi kullanım etkileri olarak sıralanabilmektedir (Eyring et al. 2016; Stouffer et al. 2017; Liu et al. 2020; Wyser et al. 2020; Bağcaci et al. 2021). Çalışma kapsamında gelecek tahminler için CMIP6 küresel iklim modelleri

kullanılmıştır. Mevcut CMIP6 modellerinde, 2100 yılına kadar CO₂ konsantrasyonları, en düşük SSP1-1.9 senaryosu ve en yüksek SSP5-8.5 emisyon senaryosu için sırasıyla 393 ila 1.135 ppm aralığındadır (Meinshausen et al. 2020). CMIP6 modellerinde, 21. yüzyılın sonuna kadar küresel ortalama sıcaklıkların SSP5-8.5 için 2,40 ila 5,57 °C, SSP3-7.0 için 1,95-4,38 °C, SSP2-4.5 için 1,27-3,00 °C, SSP1-2.6 için 0,40- 2,05 °C ve SSP1-1.9 altında 0,13-1,25 °C arasında artacağı tahmin edilmektedir (Tebaldi et al. 2021).

Bilindiği üzere küresel modellerin çözünürlükleri oldukça düşüktür ve direk bu modellerden alınan bilgiler tutarsız olabilir. Bu nedenden dolayı çalışma kapsamında, Thrasher et al. (2022) tarafından hazırlanan ve istatistiksel ölçek küçültme ile 0,25° x 0,25°'ye alansal çözünürlüğe ölçeği getirilen yanlılıkları düzeltilmiş CMIP6 verileri kullanılmıştır.

Çalışmanın son aşamasında düşük akım verileri için durağan olmayan modeller elde edilip dönüş periyodu 20 ve 50 yıl için debi değerleri elde edilmiştir. Ayrıca elde edilen durağan olmayan modeller için parametrelerin denklemlerinde CMIP6' dan elde edilen meteorolojik değişkenler konularak gelecek dönemde (yakın gelecek (2030-2060) ve uzak gelecek (2070-2100)) 20 ve 50 yıl dönüş periyoduna karşılık gelen debi değerleri elde edilmiştir. Sonuç itibarıyla tarihsel ve gelecek dönem için Q20 ve Q50 değerleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılırken tarihsel veri ile CMIP6' nın SSP2-4.5 (orta durum) ve SSP5-8.5 (en kötü durum) senaryoları için sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

CMIP6 için oldukça fazla model verisi bulunmaktadır. Bağcaci et al. (2021) tarafından yapılan çalışma göz önünde bulundurularak Türkiye için sonuçları başarılı modeller seçilmiştir. Çizelge 3.3' de çalışmada kullanılan CMIP6 modelleri listelenmiştir.

Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan CMIP6 iklim modelleri

No	Model	Modelin Geliştirildiği Merkez
1	ACCESS-CM2	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, ARC Centre of Excellence for Climate System Science (CSIRO-ARCCSS)
2	GFDL-ESM4	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (NOAA-GFDL)
3	HadGEM3-GC31-LL	Met Office Hadley Centre (MOHC)
4	MIROC6	Japan Agency for Marine-Earth Science
5	EC-Earth3	EC-Earth-Consortium
6	EC-Earth3-Veg-LR	EC-Earth-Consortium
7	MPI-ESM1-2-HR	Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M)
8	MRI-ESM2-0	Meteorological Research Institute (MRI)

3.3. Eksik akım verilerinin tahmin edilmesi

Uzun süreli ve eksiksiz akım gözlem veri setleri, havzalardaki su temini taleplerini karşılamak için su bütçelerinin güvenilir bir şekilde belirlenmesine önemli ölçüde katkıda bulunur. Nehir akışı gözlemleri genellikle uzun dönemleri kapsamaz ve mevcut veri serilerinde çeşitli nedenlerden dolayı boşluklar olabilmektedir. Bu eksiklikler tarım, hidroloji ve su kaynakları alanlarındaki bilimsel ve idari çalışmaları olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle eksik gözlemler uygun yöntemler kullanılarak tahmin edilmeli ve komşu istasyonların gözlemlenen değerleri ile eksik veri setleri tamamlanmalıdır. Eksik akım verilerinin tahmin edilmesinde literatürde kullanılan birçok yöntem vardır. Bu tez çalışması kapsamında; Klasik Regresyon Analizi (LR), Yapay Sinir Ağları (YSA), Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS), Destek Vektör Makinesi (SVM), K-En Yakın Komşuluk (KNN) ve Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (MARS) kullanılmıştır ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. En başarılı modele göre eksik veriler tahmin edilmiştir.

3.3.1. Klasik regresyon analizi

Regresyon analizi, bir rastgele değişkenin değerini bir veya daha fazla sayıda rastgele değişkenlerin değerlerine bağlı olarak tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Bu çalışma kapsamında basit regresyon analizi kullanılmıştır. Hamburg (1970)' a göre basit regresyon denklemi aşağıdaki gibidir:

$$Y = a + bX \quad (3.1)$$

Burada;

X: Bağımsız değişken

Y: Bağımlı değişken

a: Doğrunun y eksenini kestiği noktanın ordinatı

b: Regresyon katsayısı

Denklemden belirtilen a ve b katsayıların hesaplanması aşağıda verilmiştir:

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}), SS_x = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, SS_y = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (3.2)$$

$$b = \frac{S_{xy}}{SS_x} = r \sqrt{\frac{SS_y}{SS_x}}, \quad a = \bar{y} - b_1 \bar{x} \quad (3.3)$$

Burada r, X ve Y değişkenleri arasındaki korelasyon katsayısıdır.

3.3.2. Yapay sinir ağları (YSA)

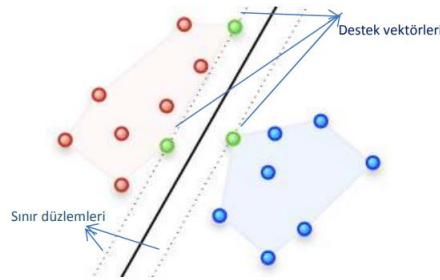
YSA, girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki herhangi bir ön bilgiye gereksinim duymadan doğrusal ve doğrusal olmayan modellemeyi sağlayabilmektedir. Bu işlemi problemin çözümü sırasında kullandığı aktivasyon fonksiyonu aracılığı ile gerçekleştirir. YSA üç tabakadan oluşur. Bunlar girdi, gizli ve çıktı tabakasıdır. Burada önemli olan gizli tabakadaki nöron sayısının belirlenmesidir. Bu da en yaygın yöntem olan deneme – yanılma ile belirlenir (Adamowski and Sun 2010).

3.3.3. Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS)

Jang (1993) tarafından yapay sinir ağları ve bulanık mantık sistemlerinin birleştirilmesiyle üretilmiş bir yöntemdir. Yapay sinir ağlarının öğrenme yeteneğini kullanarak, eğitim veri kümesinden bulanık küme ve kuralları belirlemekte ve kural tabanlı bir modelleme geliştirmektedir. Bu şekilde sayısal verilerin değerlendirilmesinde hızlı sonuçlar elde edilmektedir.

3.3.4. Destek vektör makinesi (SVM)

Destek vektör makineleri, yapısal risklerin minimum hale getirilmesi kuralı ile çalışan optimizasyon temelli makine öğrenmesi yöntemidir. Destek vektör makinaları sınıflandırma ve regresyon problemlerinin çözümü için oldukça elverişlidir (Cortes ve Vapnik 1995). Temel hedef, verilerin sınıflandırılması sırasında doğru şekilde ayrılabilmesini sağlamaktır. Bu ayırma işleminde doğrusal bir sınır çizgisi kullanır ve sonsuz sayıda çizgi çizebilme olanağı sağlar. En iyi ayırmayı sağlayan çizgi için marjin adı verilen aralık kullanır. Marjin aralığı çizilirken en geniş aralığın bulunması amaçlanır. Şekilde görüldüğü gibi sınır düzlemleri arasındaki boşluk marjin aralığıdır.



Şekil 3.12. Destek vektörleri

Doğrusal ayrılabilir marj, mühendislikte karşılaşılan problemlerin çoğu için uygun çözümü üretmekte yetersiz kalabilir. Bu durumu ortadan kaldırmak için yumuşak marj adı verilen hataya müsaade eden bir sistem üretilmiştir. Marj içerisindeki tüm veriler, ister ayırıcı doğrunun yanlış tarafında isterse doğru tarafında olsun ihmal edilerek, hatayla iş birliği yapmak mümkündür. Yumuşak marjlar, hatayı minimize ederek ayrılamayan sınıfları çözmeye olanak sağlamaktadır. Verilerin doğrusal olarak

ayrılmadığı durumlarda sınıflandırma işlemi, çekirdek fonksiyonları kullanılarak verilerin yüksek boyutlu bir uzaya taşınması ile gerçekleşir. En çok kullanılan çekirdek fonksiyonları; doğrusal çekirdek fonksiyonu, polinom çekirdek fonksiyonu, sigmoid çekirdek fonksiyonu ve radyal tabanlı çekirdek fonksiyonudur. Verinin eğitim aşamasında marjın aralığı belirlendikten sonra yeni gelen örneğin hangi sınıfa düştüğü belirlenerek tahmin işlemi gerçekleştirilir.

3.3.5. K-En yakın komşuluk (KNN)

K-En Yakın Komşuluk tahmin yöntemi parametrik olmayan sınıflandırma ve regresyon algoritmasıdır. Bir vakanın sonucu kendisine en yakın komşu vakalarının sonucu ile aynı olur fikrini temel alır. K, bilinmeyen noktanın en yakın komşularının miktarını temsil eder. Bilinmeyen noktanın değeri ona en yakın komşularının ortalamasına eşittir. Genellikle, en yakın gözlemler, göz önünde bulundurulmuş veri noktasına en küçük Öklid mesafesine sahip olan noktalar olarak tanımlanır.

$$\text{Öklid mesafesi} = \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - y_i)^2} \quad (3.4)$$

Burada belirlenmesi gereken önemli bir husus K' nın hangi değeri alacağıdır. Literatürde yapılan çalışmalarda genellikle K deneme yanılma yolu ile belirlenmektedir. Bu çalışmada bir yenilik olarak K' nın değeri global bir optimizasyon yöntemi olan Differential Evolution optimization (DEoptim) algoritması kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır.

Differential Evolution (DEoptim) Storn and Price (1997) tarafından sunulan bir sezgisel arama algoritmasıdır. Karmaşık optimizasyon problemlerine güvenilir çözümler sağlamak için global bir optimizasyon algoritması olarak üretilmiştir (Storn and Price 1997). DEoptim, R istatistik yazılımında DEoptim paketi olarak bulunmaktadır.

Tez çalışması kapsamında, DEoptim fonksiyonu eksik verilerin tahmin işleminde hataları en aza indirmek için kullanılmıştır. Bu işlem için amaç fonksiyonu olarak NSE etkinlik kriteri kullanılmıştır. Bilindiği üzere NSE' nin değeri 1'e ne kadar yakınsa

modelin doğruluğu da o kadar yüksek olur. Fakat DEoptim algoritması ise NSE değerini 0 yaklaşmasında iyi bir model elde edileceğini gösterir. Bu yüzden NSE fonksiyonunu aşağıdaki denklemdeki gibi revize edilmiştir.

$$NSE_{mutlak} = \left| \frac{\sum_{i=1}^n (q_g - q_s)^2}{\sum_{i=1}^n (q_g - \bar{q}_g)^2} \right| \quad (3.5)$$

Burada, q_g ve q_s , sırasıyla gözlenen ve tahmin edilen verileri temsil etmektedir. Sezgisel arama algoritması, amaç işlevinin optimum değerini belirlemek için her modelde 1.000 kez çalıştırılmıştır.

3.3.6. Çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri (MARS)

MARS bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki fonksiyonel ilişkiye dair varsayımlarda bulunmayan ve parametrik olmayan bir regresyon yöntemidir. Bunun yerine regresyon verisinden kendisinin çıkardığı temel fonksiyonlara dayanarak kendisi bir ilişki oluşturmaktadır. Bağımsız değişkenlerin farklı aralıklarına karşılık gelen temel fonksiyonları kullanarak esnek bir regresyon modeli kurar (Toprak 2011).

3.3.7. Uygunluk testleri

Yukarıda bahsedilen yöntemlerin performansını değerlendirmek için bazı istatistiksel parametreler hesaplanmıştır. Bunlar; ortalama hata karesi (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE), determinasyon katsayısı (R^2) ve Kling–Gupta etkinlik katsayısı (KGE) dir. Bu kriterler aşağıdaki denklemlerde verildiği gibi hesaplanmıştır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (q_g - q_s)^2} \quad (3.6)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |q_g - q_s| \quad (3.7)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (q_g - q_s)^2}{\sum_{i=1}^n (q_g - \bar{q}_g)^2} \quad (3.8)$$

Burada, q_g orijinal zaman serisi ve q_s ise tahmin değerleridir.

$$KGE = 1 - \sqrt{(r - 1)^2 + \left(\frac{\sigma_s}{\sigma_g} - 1\right)^2 + \left(\frac{\mu_s}{\mu_g} - 1\right)^2} \quad (3.9)$$

Bu denklemde, r gözlem ve tahmin değerleri arasındaki lineer korelasyon değeridir. σ_g ve σ_s sırasıyla gözlem ve tahminlerin standart sapma değeridir. μ_g ve μ_s sırasıyla gözlem ve tahminlerin ortalama değeridir.

3.4. Homojenlik Testleri

Uzun dönem hidrolojik ve meteorolojik veriler birçok iklimsel olmayan insan kaynaklı müdahaleden etkilenmekte ve bu sebeple ölçüm değerleri iklimsel değişiklikleri yansıtmada uzak bir noktada kalabilmektedir. Görsel araştırma ya da istatistiksel incelemeler ile iklimsel kayıt serilerinde bazı sistematik değişiklikler tespit edilebilir ki bu durum ölçüm değerlerinin homojen olmadığı anlamına gelmektedir. Örnek olarak, bir zaman serisinde aritmetik ortalama bazında görülen önemli değişimler o istasyonun verilerinin homojen olmadığı anlamına gelebilir. İklimsel zaman serilerinin homojen olmayışlarının çeşitli nedenleri vardır. Bu nedenleri insan faktörlü olup olmamasına göre iki ana kümede toplamak mümkündür. İnsan kaynaklı faktörler; ölçüm istasyonun konumunun değiştirilmesi, ölçüm tekniklerinde meydana gelen değişiklikler, istasyonun bulunduğu bölgede yapılan su yapıları olarak düşünülebilir. Verilerin istatistiksel analizlerini yapmadan önce bu tür homojen olmayan verilerin belirlenerek homojen hale getirilmesi veya çalışmadan çıkarılması gerekmektedir. Sonuç olarak iklimsel verinin doğal olmayan etkilere maruz kalması homojen olmadığını gösterir. O halde, homojen serilerde ölçümlerde meydana gelen değişikliklerin nedenleri sadece hava olayları ve iklim olmalıdır.

Bu çalışma kapsamında bir ön analiz olarak istasyonların homojenliklerinin kontrolünde literatürde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT), Pettitt Testi ve Buishand Testi kullanılmıştır. Belirtilen testlere göre homojen olmayan istasyonlar belirlendikten sonra akım yıllıkları kitaplarından o istasyon için rapor edilmiş bir yer değişikliği, gözlem tekniği değişikliğinin ya da istasyonun etrafında inşa edilen herhangi bir su yapısının olup olmadığı incelemek suretiyle kayıtların homojenliği hakkında doğrudan bir değerlendirme yapılmıştır.

3.4.1. Standart normal homojenlik testi (SNHT)

Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT) testi (Alexandersson 1986) genellikle gözlemleri ortalama bir değerle karşılaştıran esnek ve basit bir yöntemdir. “ T_t ” istatistiği bulunurken zaman serisi ilk t yılına kadar ikiye ayrılır. Daha sonra bu iki serinin ortalamaları aşağıdaki matematiksel ifade kullanılarak karşılaştırılır:

$$T_t = tz_1^2 + (n - t)z_2^2 \quad (3.10)$$

Burada n zaman serisinin uzunluğudur. z_1 ve z_2 aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$z_1 = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t \frac{(x_i - \bar{x})}{\sigma x} \quad (3.11)$$

$$z_2 = \frac{1}{(n - t)} \sum_{i=t+1}^n \frac{(x_i - \bar{x})}{\sigma x} \quad (3.12)$$

Burada $\bar{x}$ ve σx serinin ortalaması ve standart sapmasıdır. T_t değerinin maksimum değere ulaştığı bir kırılma sırasında t yılı bir değişim noktası olarak kabul edilebilir. Gözlemlerin benzer bir dağılımdan geldiği şeklindeki sıfır hipotezi, hesaplanan p değerinin belirlenen limit değerinden küçük kalması halinde reddedilir ve zaman serisinin homojen olmadığı sonucuna varılır. Ayrıca SNHT ölçülen değerlerin başlangıç veya bitiş tarihlerine yakın yıllarda meydana gelen kırılmalara karşı hassastır.

3.4.2. Pettitt testi

Pettitt testi, herhangi bir zaman serisinin ortasındaki ani değişiklikleri belirlemek için güçlü bir parametrik olmayan testtir (Winingaard et al. 2003). Bu testte değerler yerine bunlara karşılık gelen rankları (r_i) ile test istatistikleri hesaplanır. T_k istatistiği aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$T_k = 2 \sum_{i=1}^k r_i - k(n+1) \quad k = 1, \dots, n \quad (3.13)$$

Grafiksel olarak T_k değerleri incelendiğinde, T_k 'nın mutlak maksimum değeri değişim noktasını belirtir.

$$K = \text{Max}|T_k| \quad (3.14)$$

Örnek uzunluğu n için, test istatistiği K ve ilgili güven düzeyi (p) şu şekilde tanımlanabilir:

$$p = \exp\left(\frac{-K}{n^2 + n^3}\right) \quad (3.15)$$

Hesaplanan p değerinin belirlenen limit değerinden küçük kalması halinde H_0 reddedilir ve zaman serisinin homojen olmadığı sonucu çıkarılır.

3.4.3. Buishand aralık testi

Parametrik olmayan homojenlik testlerinde bir diğeri olan Buishand testinin test istatistiği B_t aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$B_t = \sum_{i=1}^t (x_i - \bar{x}) \quad (3.16)$$

Zaman serisi homojen olduğu zaman B_t değeri 0 olacaktır, çünkü x_t 'nin sistematik sapması olmayacaktır. Hesaplanan p değerinin belirlenen limit değerinden küçük kalması halinde H_0 reddedilir ve zaman serisinin homojen olmadığı sonucuna varılır.

Çalışma kapsamında, homojenlik veya heterojenlik tespiti için üç farklı testi kullandıktan sonra, %5 anlamlı düzeyinde tüm homojenlik testlerine veya en az 2 teste göre homojen olan istasyonlar homojen kabul edilmiş, en az iki homojenlik testine göre homojen olmayan istasyonlar ayrıntılı olarak incelenmiştir.

3.5. Trend Testleri

Trend, bir zaman serisinin değerlerinde uzun dönemdeki eğilim olarak tanımlanmaktadır. Çalışma kapsamında Türkiye' de, 7 günlük düşük akım değerlerinin istatistiksel olarak anlamlı trendlerini belirlemek için Mann Kendall testi kullanılmıştır ayrıca içsel bağımlılığın belirlendiği istasyonlara modifiye edilmiş Mann Kendall testide uygulanmıştır. Çalışmada uygulanan testler aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

3.5.1. Mann Kendall testi

Mann Kendall (MK) test, Mann (1945) ve Kendall (1975) tarafından geliştirilen hidrometeorolojik değişkenlerin analizinde monotonik bir trend bulmak için kullanılan, zaman serisinin dağılımından bağımsız, parametrik olmayan bir testtir. H_0 hipotezine göre serinin verileri benzer ve bağımsız dağılmış değişkenlerdir. H_1 hipotezine göre ise zamana göre sıralanmış ardışık verilerin dağılımı benzer değildir ve zaman serisinde trend vardır. Yöntemin uygulanışı aşağıda tanımlandığı gibidir.

İlk olarak $i = 1, 2, \dots, n-1$ 'e kadar x_i ve $j = i+1, \dots, n$ 'e kadar sıralanmış x_j serileri oluşturulur. Referans olarak kullanılan x_i serisi ile diğer sıralanmış x_j serisi, denklem (3.17)' de ki signum fonksiyonu kullanılarak denklem (3.18)' de ki MK test istatistiği (S) hesaplanır. MK test istatistiği değeri denklem (3.18) sonucu elde edilen negatif ve pozitif değerlerin toplamıdır.

$$\text{sgn}(x_i - x_j) = \begin{cases} 1; \text{Eğer } x_j > x_i \\ 0; \text{Eğer } x_j = x_i \\ -1; \text{Eğer } x_j < x_i \end{cases} \quad (3.17)$$

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (3.18)$$

Zaman serisindeki veri uzunluğu $n > 10$ olursa verilerin normal dağıldığı varsayılır ve denklem (3.19)'da ki gibi varyans hesabı yapılır.

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^k t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (3.19)$$

Denklem (3.19)'da n : serinin veri uzunluğu, k : serinin bağlı gruplarının sayısı, t_i değeri ise incelenen alt kümelerdeki sayısal değeri eşit olan eleman sayısıdır. Denklem (3.18)'de MK test istatistiğinin değerine göre z değeri hesaplanır. Bulunan z değeri belirli bir anlam seviyesinde normal dağılım tablosundan okunan z değeri ile karşılaştırılır.

$$z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; \text{Eğer } S > 0 \\ 0; \text{Eğer } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; \text{Eğer } S < 0 \end{cases} \quad (3.20)$$

Denklem (3.20) sonucu hesaplanan z değerinin mutlak değeri, α anlam seviyesinde belirlenen z değerinden büyük ise H_0 hipotezi reddedilir, yani zaman serisinde anlamlı bir trend vardır. Eğer küçük ise H_0 hipotezi kabul edilir yani zaman serisinde anlamlı bir trend yoktur. Eğer MK test istatistik değeri (S) pozitif ise artan, negatif ise azalan bir trendin olduğu belirlenir (Yu et al. 1993).

3.5.2. Modifiye edilmiş Mann Kendall test

Eğer bir zaman serisinde içsel bağımlılık varsa trendi belirlemek için literatür de kullanılan bir diğer yöntem Hamed and Rao (1998) tarafından geliştirilen modifiye edilmiş Mann Kendall (mMK) testtir. mMK testinin varyansı denklem (3.21)'de ki gibi hesaplanır.

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \left[1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)((n-i-2)r_i) \right] \quad (3.21)$$

Bölüm 3.4.1'de anlatılan MK testinde olduğu gibi MK test istatistiği hesaplanır ve test istatistiğinin sınırlarına göre z değeri hesaplanır, hesaplanan z değeri normal dağılım tablosundaki z değeri ile kıyaslanarak zaman serisindeki anlamlı trendlerin varlığı belirlenir.

3.5.3. Sen'in trend eğim testi

Sen (1968) tarafından önerilen Sen'in eğim yöntemi, zaman serilerindeki trendin büyüklüğünü tahmin etmek için kullanılır. Tahmin aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\beta = \text{median} \left(\frac{x_j - x_k}{j - k} \right) \quad (3.22)$$

Burada, x_j ve x_k , sırasıyla j ve k zamanlarında serilerin ardışık veri değerlerini gösterir. β , tüm veri kümesi için eğiminin büyüklüğünü temsil eder. Negatif β değeri azalan bir trendi, pozitif β değeri ise artan bir trendi ifade eder.

3.6. Korelasyon Analizi

Düşük akımlardaki eğilimlerin iklim değişikliğine/değişkenliğine bağlanıp bağlanamayacağını belirlemek için basit korelasyon analizi kullanılmıştır (Degefu ve Bewket 2017). Spearman testi verilerin normal dağılıma uymasını gerektirmediğinden bu çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Hesaplanan korelasyonlar, %10 düzeyinde istatistiksel anlamlılık açısından test edilmiştir.

Çalışmanın bundan sonraki aşamasında düşük akım verileri ile Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ayları sıcaklık ve yağış değerleri (çalışmanın bu aşamasından sonra bu dört ay kurak periyotlar olarak adlandırılacaktır) ve ayrıca yukarıda bahsedilen atmosferik salınım indislerinin yıllık ve mevsimsel değerleri ile düşük akımların korelasyonları araştırılmıştır. Yapılan incelemeye göre düşük akımlar genellikle Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında meydana gelmektedir. Korelasyon değerlerini belirleme aşaması durağan olmayan modelleri oluşturmak için bir ön aşama olarak görülmüştür. Yüksek korelasyona sahip atmosferik salınım indisleri ve meteorolojik veriler belirlenerek durağan olmayan modellerde açıklayıcı değişken olarak kullanılacaktır. Ayrıca mevsimsel atmosferik salınım indislerinin düşük akımlar ile olan ilişkilerinin araştırılması düşük akım tahmini için oldukça önemlidir. Örneğin; kış mevsimi için Kuzey Atlantik Salınımı' nın, düşük akımlar ile bir ilişkisinin belirlenmesi akımların tahmini için bir ipucu sağlayabilir. Böylece, mevsimsel iklim endeksleri düşük akım tahmini için potansiyel adaylar olabilir.

Çalışma kapsamında düşük akımlar ile korelasyonları araştırılan değişkenler Çizelge 3.4 de ki gibi kodlanmıştır.

Çizelge 3.4. Kullanılan verilerin kodlandırılması

Veri	Kod	Veri	Kod	Veri	Kod
Yıllık toplam yağış	Pre_y	Yıllık NAO	Nao_y	Yıllık SO	So_y
Haziran ayı toplam yağış	Pre_h	Kış NAO	Nao_k	Kış SO	So_k
Temmuz ayı toplam yağış	Pre_t	İlkbahar NAO	Nao_i	İlkbahar SO	So_i
Ağustos ayı toplam yağış	Pre_a	Yaz NAO	Nao_yaz	Yaz SO	So_yaz
Eylül ayı toplam yağış	Pre_e	Sonbahar NAO	Nao_s	Sonbahar SO	So_s
Yıllık ortalama sıcaklık	Temp_y	Yıllık PDO	Pdo_y	Yıllık WMO	Wmo_y
Haziran ayı ortalama sıcaklık	Temp_h	Kış PDO	Pdo_k	Kış WMO	Wmo_k
Temmuz ayı ortalama sıcaklık	Temp_t	İlkbahar PDO	Pdo_i	İlkbahar WMO	Wmo_i
Ağustos ayı ortalama sıcaklık	Temp_a	Yaz PDO	Pdo_yaz	Yaz WMO	Wmo_yaz
Eylül ayı ortalama sıcaklık	Temp_e	Sonbahar PDO	Pdo_s	Sonbahar WMO	Wmo_s

3.7. Konum, Ölçek ve Şekil İçin Genelleştirilmiş Aditif Modelleri (GAMLSS)

Durağan olmayan bir varsayım altında, seçilen frekans dağılımı için istatistiksel parametrelerdeki zamansal değişiklikleri tanımlamak için açıklayıcı değişkenler dahil edilerek düşük akım verileri modellenmesi planlanmıştır. Parametrik ve parametrik olmayan regresyon modelleri için Rigby and Stasinopoulos (2005) tarafından geliştirilen GAMLSS yaklaşımı kullanılmıştır.

Son yıllarda GAMLSS tekniği, hidrolojik serilerin durağan olmayan frekans analizlerinde başarıyla kullanılmıştır. GAMLSS yaklaşımı, açıklayıcı değişkenlerin lineer (parametrik) fonksiyonlar veya lineer olmayan (parametrik olmayan) yumuşatma fonksiyonları olarak tüm dağılım parametrelerinin modellenmesine izin verir. Parametre sayısı dört ile sınırlıdır ve çoğu uygulamada dağıtımların yeterli esnekliğini garanti eder.

$$Y \sim D(\mu, \sigma)$$

$$g_1(\mu) = X_1\beta_1 + s_{11}(x_{11}) + \dots s_{1J_1}(x_{1J_1})$$

$$g_2(\sigma) = X_2\beta_2 + s_{21}(x_{21}) + \dots s_{2J_2}(x_{2J_2}) \quad (3.23)$$

Denklem 3.23' de D ifadesi iki parametrelili bir dağılımı temsil etmektedir. $X\beta$ açıklayıcı değişkenin lineer ifadelerini temsil eder. $s(x)$ ise açıklayıcı değişkenin

yumuşatma fonksiyonları ile ilgilidir. Açıklayıcı değişken ve dağılım parametresi arasındaki bağımlılık, doğrusal (parametrik) veya doğrusal olmayan (parametrik olmayan) yumuşatma terimleriyle olabilir.

Çalışma kapsamında Weibull, Inverse Gamma, Log-Normal, Gamma, Inverse Gaussian ve Generalized Gamma dağılımları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan dağılımlara ait özellikler Çizelge 3.5’ de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Çalışmada kullanılan dağılımların bilgileri

Kısaltma	İsim	Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
WEI	Weibull	$f_y(y \mu, \sigma) = \frac{\sigma y^{\sigma-1}}{\mu^\sigma} \exp\left\{-\left(\frac{y}{\mu}\right)^\sigma\right\}$ $y > 0, \mu > 0, \sigma > 0$
IGAMMA	Inverse Gamma	$f_y(y \mu, \sigma) = \frac{[\mu(\sigma + 1)]^\sigma}{\Gamma(\sigma)} y^{-(\sigma+1)} \exp\left\{\frac{\mu(\sigma + 1)}{y}\right\}$ $y > 0, \mu > 0, \sigma > 0$
LOGNO	Log-Normal	$f_y(y \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \frac{1}{y} \exp\left\{-\frac{[\log(y) - \mu]^2}{2\sigma^2}\right\}$ $y > 0, \mu > 0, \sigma > 0$
GA	Gamma	$f_y(y \mu, \sigma) = \frac{1}{(\sigma^2\mu)^{1/\sigma^2}} \frac{y^{\frac{1}{\sigma^2}-1} e^{-y/(\sigma^2\mu)}}{\Gamma(1/\sigma^2)}$ $y > 0, \mu > 0, \sigma > 0$
IG	Inverse Gaussian	$f_y(y \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2 y^3}} \exp\left\{-\frac{1}{2\mu^2\sigma^2 y} (y - \mu)^2\right\}$ $y > 0, \mu > 0, \sigma > 0$
GG	Generalized Gamma	$f_y(y \mu, \sigma, \nu) = \frac{ \mu y^{\mu\nu-1}}{\Gamma(\nu)\sigma^{\mu\nu}} \exp\{-(y/\sigma)^\mu\}$ $y > 0, -\infty < \mu < +\infty, \sigma > 0, \nu > 0$

3.7.1. Model seçimi ve değerlendirmesi

Model seçimi, geliştirilmiş Akaike bilgi kriterine (GAIC; Akaike, 1974) dayanmaktadır. Bu, uygun küresel sapmaya (GDEV) modelde kullanılan her etkin serbestlik derecesi için bir k cezası eklenerek elde edilir, yani $GAIC(k) = GDEV + (k \times$

df), burada df toplam etkin serbestlik derecesini temsil eder. Akaike bilgi kriteri (AIC) ve Bayes bilgi kriteri (BIC) yaygın olarak kullanılan iki seçim kriteridir. Yukarıdaki denklemde $k = 2$, AIC' ye $k = \ln(n)$ BIC değerlerine denk gelmektedir. Uygulamada, genellikle AIC' nin aşırı uydurmaya yol açtığı, BIC' nin ise eksik uydurmaya yol açtığı görülmektedir. (Stasinopoulos et al. 2017). Model seçiminin çeşitli k değerlerine duyarlılığı test edildikten sonra, düşük akım verileri için $k = 3$ değeri uygulanmıştır. En düşük GAIC değerine ($k = 3$) sahip model, en iyi performansı gösterdiği düşünülmüştür.

En iyi modelleri GAIC değerine göre belirledikten sonra modellerin değerlendirilmesi aşamasına geçilmiştir. İlk olarak GAIC değerinin iyileşmesinin anlamlı olup olmadığı kontrol edilmiştir. Bazı modellerde çok parametreden dolayı GAIC değeri oldukça küçük çıkmaktadır, fakat GAIC değeri daha büyük ve daha az parametrelili model daha uygun olabilir. GAIC tabanlı sonuçların anlamlılığını kontrol etmek için çalışma kapsamında likelihood oran (LR) testi kullanılmıştır (Coles 2001). Test sonucu $\alpha = 0,05$ anlamlılık seviyesinde değerlendirilmiştir. Test sonucuna göre hesaplanan p değeri 0,05 değerinden büyük ise kompleks model seçilmemiştir.

Optimal modellerin uyum iyiliğini değerlendirmek için, artıkların bağımsızlığı ve normalliği, worm grafikleriyle birlikte Filliben katsayısı (Filliben 1975) hesaplanarak kontrol edilmiştir (Van and Fredriks 2010). Modelin 0.95' den büyük Filliben katsayısına sahip olması kabul edilebilir bir model olduğunu gösterir (Gu et al. 2016). Ayrıca belirlenen optimal modellerde, aşağıda örneği verilen parametre denklemlerinde ki katsayıların ($\beta_0, \beta_1, \beta_2$ vs.) güven aralıklarını belirlemek için bootstrap yöntemi kullanılmıştır.

$$\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y + \beta_2 * Temp_y \quad (3.24)$$

Efron [1979] tarafından geliştirilen Bootstrap yöntemi, orijinal verilerin yeniden örneklendiği ve istatistiksel çıkarımların türetildiği istatistiksel bir yöntemdir. Bootstrap yöntemi, dağılım parametrelerindeki belirsizliklerin tahmini için hidroloji alanında yaygın olarak kullanılmaktadır (Kysely 2008; Rahman 2014). Çalışma kapsamında yukarıda belirtilen katsayıların güven aralıklarını belirlemek için her bir dağılım parametresi için yöntem 1.000 kez çalıştırılmıştır ve %95 anlam seviyesinde güven

aralıkları belirlenmiştir. Belirlenen güven aralığında katsayıların işaretinin (artıdan eksiye veya tam tersi) değişip değişmediği kontrol edilmiştir.

Çalışma kapsamında her bir istasyon için beş farklı model düşünülmüştür. Bunlardan biri durağan model diğer dört model ise durağan olmayan modellerdir. Durağan olmayan modellerde açıklayıcı değişken olarak 30 farklı veri seti kullanılmıştır. Ve bu veri setlerinin de kombinasyonları kullanılarak her bir istasyon için durağan olmayan yaklaşık 60 model oluşturulmuştur.

Çalışmada;

model 0, durağan modeli

model 1, zaman kullanılarak elde edilen durağan olmayan model

model 2 sıcaklık ve yağış verileri kullanılarak elde edilen durağan olmayan modeli

model 3 atmosferik salınım indisleri kullanılarak elde edilen durağan olmayan modeli

model 4 ise model 2 ve model 3' ün kombinasyonunu temsil etmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Eksik Veri Analizleri

Çalışmanın bu aşamasında ilk olarak Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğünden 196 akım gözlem istasyonuna ait günlük akım verileri elde edilmiştir. Bu istasyonlara ait verilerin tek tek incelenmesi sonucunda eksik verisi fazla olan ve fazla kuru dönemlere sahip olan 41 istasyon çalışma dışında tutulmuştur. Bundan sonraki aşamada ilk olarak geriye kalan 155 istasyondan eksik verisi olan istasyonlar tespit edilmiş ve bu istasyonlardaki eksik verilerin tahmini Klasik Regresyon Analizi (LR), Yapay Sinir Ağları (YSA), Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS), Destek Vektör Makinesi (SVM), K-En Yakın Komşuluk (KNN) ve Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (MARS) modelleri ile yapılmıştır.

Çalışma kapsamında eksik verisi olan 54 istasyon Çizelge 4.1'de verilmiştir. Eksik veriye sahip her bir istasyon için kurulan modellerde girdi olarak, eksik verisi olan istasyon ile aynı kolda olan en yakın istasyon kullanılmıştır. Kullanılan altı tahmin yönteminin performansı; RMSE, MAE, R^2 ve KGE kriterleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Eksik veriye sahip istasyonlar için kurulan alternatif modeller içerisinde en iyi modelinin belirlenmesi aşamasında R^2 ve KGE değerleri en büyük, RMSE ve MAE değerleri en küçük olan model en uygun model olarak seçilmiştir.

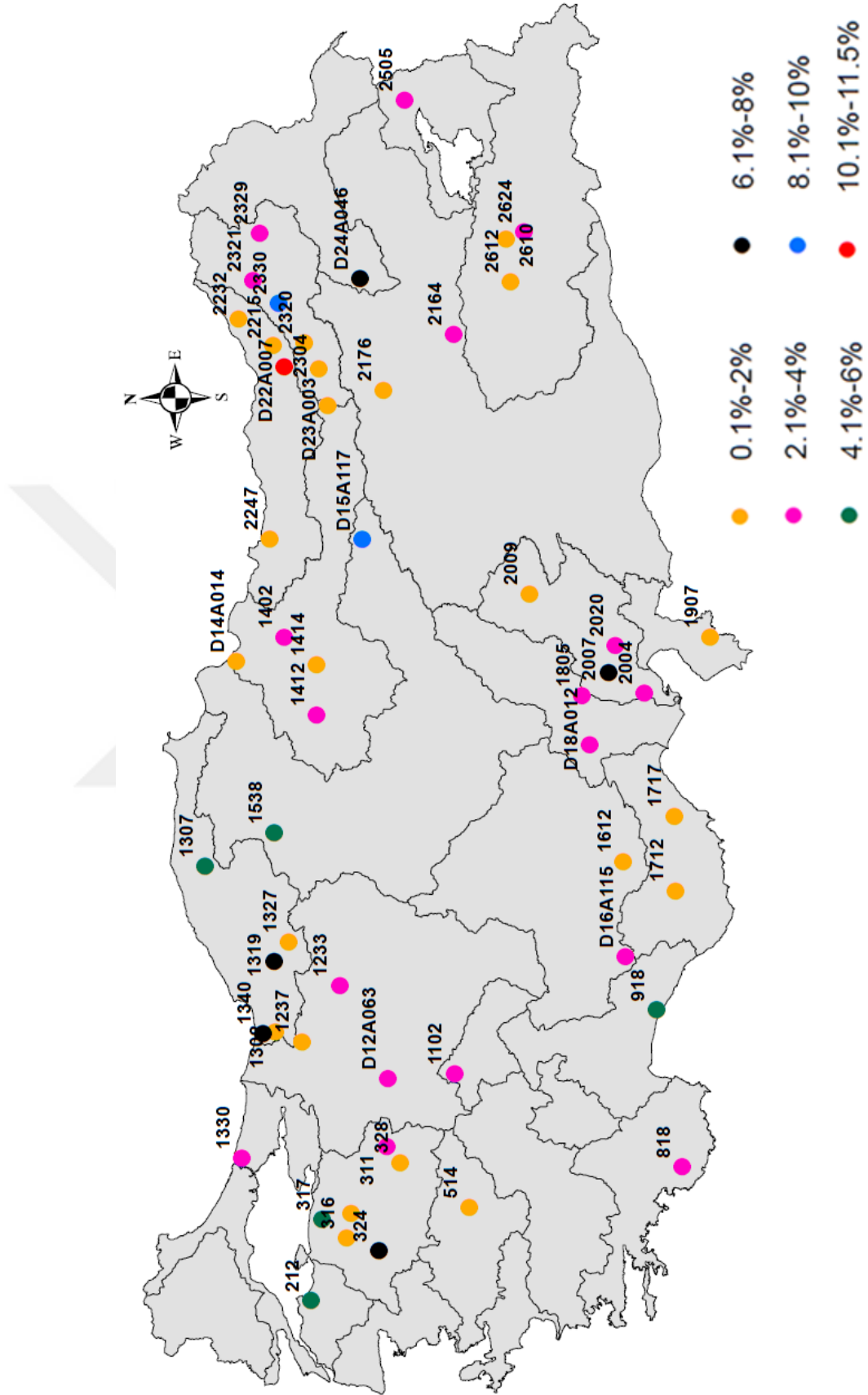
İstasyonlar gözlem süresi boyunca yaklaşık %0,17 ila %11,5 arasında bir veri boşluğu göstermiştir (Şekil 4.1). Eksik verisi olan her istasyon için bir komşu istasyon ile tek giriş bir çıkış modelleri geliştirilmiştir. Eksik veriye sahip istasyonun verisini tamamlamak için kullanılan komşu istasyonlar Şekil 4.2' de gösterilmiştir. Bu çalışmada, gözlemlerin %70'i modelleri eğitmek için kullanılmış, kalan %30'u ise doğrulama veri seti olarak kabul edilmiştir. Eksik verilere sahip istasyon için en yakın istasyon ve eğitim-test süresi bilgileri EK-1' de verilmiştir.

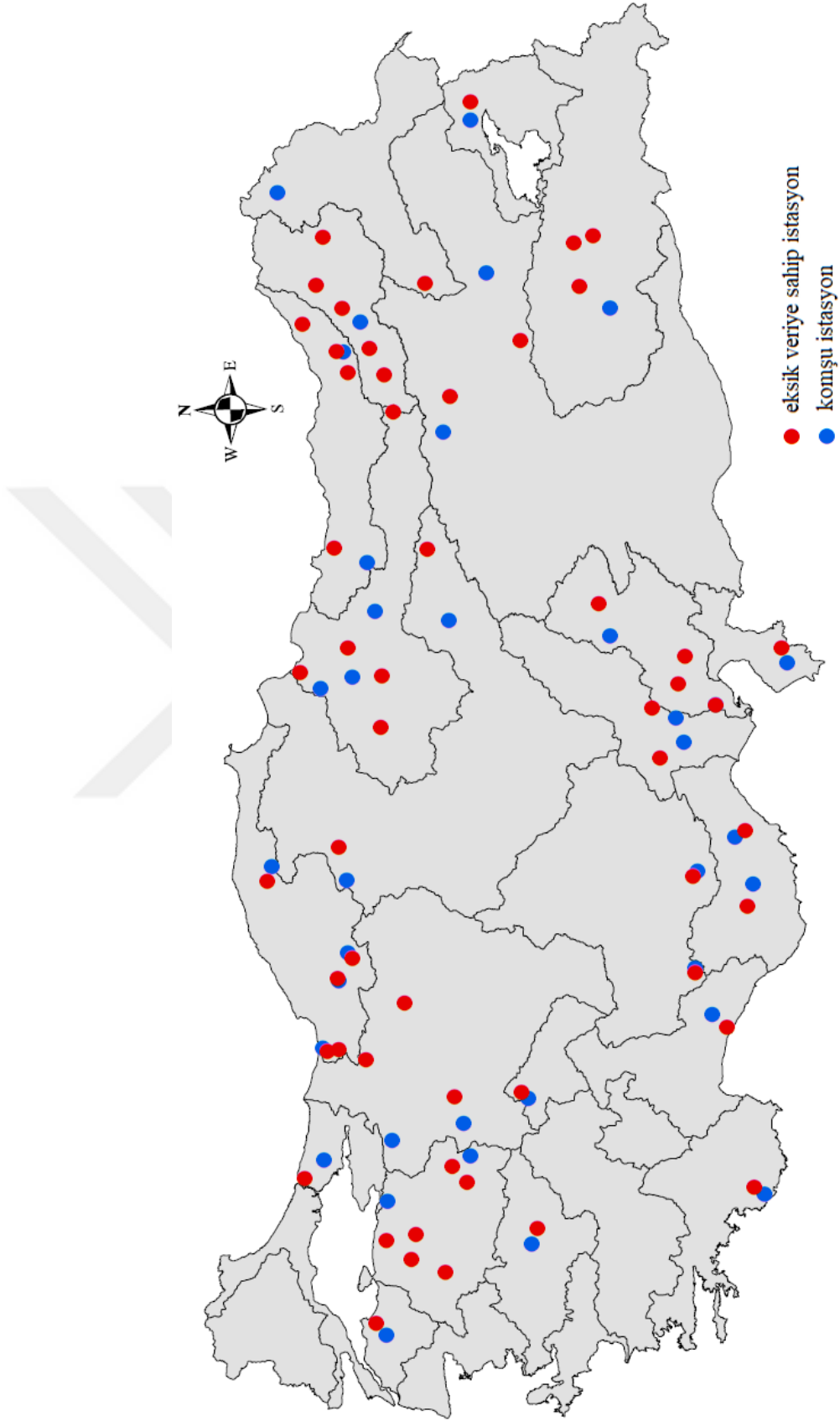
Çizelge 4.1. Eksik verisi olan istasyonlara ait bilgiler

İstasyon no	İstasyon adı	Gözlem aralığı	Toplam eksik ay sayısı
212	Çınarköprü	1965-2017	26
302	Döllük	1939-2017	12
311	Küçükkilet	1945-2017	24
316	Yahyaköy	1953-2017	14
317	Akçasusurluk	1953-2017	39
324	Balıkli	1954-2017	52
328	Dereli	1967-2016	12
514	Dereköy	1964-2017	12
818	Kayadibi	1978-2017	12
918	Şelale	1972-2017	24
1102	Gazlıgöl	1965-2017	24
1233	Karaköy	1963-2017	24
1237	Dokurcun	1957-2014	12
D12A063	Uluçayır	1965-2017	24
1302	Yakabaşı	1960-2017	12
1307	Azdavay	1963-2017	33
1319	Gökçesu	1965-2017	48
1327	Afatlar	1968-2017	12
1330	M.şevket paşa	1967-2017	24
1340	Beyler	1981-2011	24
1402	Kale	1939-2017	36
1412	Şeyhoğlu köp.	1954-2017	24
1414	Sütlüce	1956-2017	12
D14A014	Ahullu	1964-2017	12
1538	Çeltikçibaşı	1971-2017	24
D15A117	Ahmethacı	1968-2017	50
1612	Denircik	1962-2011	12
D16A115	Sorkun	1978-2017	12
1712	Bucakkışla	1962-2014	7
1717	Kızılgeçit	1967-2017	12
1805	Gökdere	1940-2011	24
D18A012	Kamışlı	1971-2017	12
1907	Demir köp	1954-2017	14
2004	Misis	1971-2017	12
2007	Çukurköprü	1971-2017	36
2009	Poskoflu	1954-2012	12
2020	Aslantaş	1966-2011	12
2164	Çayağzı	1969-2016	12
2176	Mutu Boğazı	1984-2019	4
2215	Dereköy	1965-2017	12
2232	Topluca	1964-2015	2
2247	Gocalı köp.	1968-2017	12
D22A007	Şerah	1966-2017	72
2304	Bayburt	1962-2017	12
2320	Laleli	1971-2019	12
2321	Dutdere	1972-2017	19
2329	Çoşkunlar	1982-2019	15
2330	Çamlıkaya	1983-2019	37

Çizelge 4.1.(devam)

İstasyon no	İstasyon adı	Gözlem aralığı	Toplam eksik ay sayısı
D23A003	Erikdibi	1970-2017	1
D24A046	Hasanağa	1976-2019	38
2505	Göndürme	1972-2011	12
2610	Baykan	1955-2017	12
2612	Malabadi köp.	1965-2017	12
2624	Pınarca	1972-2017	12





Şekil 4.2. Eksik veriye sahip ve komşu istasyonların gösterimi

YSA modellerinin kurulum aşamasında, alternatifler arasından en başarılı YSA model yapısını bulmak için sırasıyla gizli katman ve çıkış katmanında tanjant sigmoid ve doğrusal transfer fonksiyonları kullanılmıştır. Ağ eğitim sürecinde Bayesian regularization backpropagation algoritması kullanılmıştır. Kisi (2008) tarafından önerilen deneme yanılma tekniği kullanılarak, bu çalışma için gizli katmanda üç nöron seçilmiştir. ANFIS modelleri, ANN modelleri ile aynı girdi veri setleri kullanılarak üretilmiştir. ANFIS modelleri için, Sugeno kural tabanlı model benimsenmiş ve bulanık üyelik parametreleri bir geri yayılım algoritması ile optimize edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan diğer yöntemler için 3. bölümde belirtilen prosedürler uygulandıktan sonra en başarılı modellerin RMSE, R^2 , MAE ve KGE performans parametreleri hesaplanmış ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Altı yöntemin karşılaştırma sonuçlarının detaylı değerlendirmesine örnek olarak Doğu Karadeniz havzası için test süresi boyunca dört model performans istatistiği hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.2’ de listelenmiştir. (Diğer istasyonlar ile ilgili sonuçlar EK-2’ de verilmiştir.)

Çizelge 4.2. Test süresi için modellerin performansları

Eksik veriye sahip ve komşu istasyonlar	Model Adı						
	Kriterler	LR	YSA	ANFIS	MARS	SVM	KNN
2215 (Eksik veriye sahip istasyon), 2233 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	3,958	3,766	3,766	3,749	3,771	3,800
	R^2	0,929	0,936	0,936	0,936	0,930	0,935
	MAE(m ³ /sn)	2,236	2,217	2,222	2,203	2,218	2,236
	KGE	0,898	0,935	0,935	0,937	0,920	0,936
2232 (Eksik veriye sahip istasyon), 2233 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	11,346	10,974	10,974	10,973	11,182	11,059
	R^2	0,803	0,815	0,815	0,816	0,808	0,813
	MAE(m ³ /sn)	7,298	7,441	7,447	7,463	7,315	7,498
	KGE	0,809	0,843	0,842	0,844	0,811	0,841
2247 (Eksik veriye sahip istasyon), 2238 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	15,014	13,626	13,820	13,691	14,486	13,786
	R^2	0,754	0,797	0,791	0,795	0,771	0,792
	MAE(m ³ /sn)	7,494	7,843	8,021	7,915	7,746	7,931
	KGE	0,696	0,783	0,778	0,776	0,704	0,783
D22A007 (Eksik veriye sahip istasyon), 2233 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	1,545	1,413	1,409	1,412	1,388	1,425
	R^2	0,880	0,899	0,900	0,899	0,903	0,897
	MAE(m ³ /sn)	0,829	0,826	0,831	0,828	0,790	0,835
	KGE	0,838	0,898	0,897	0,901	0,863	0,897

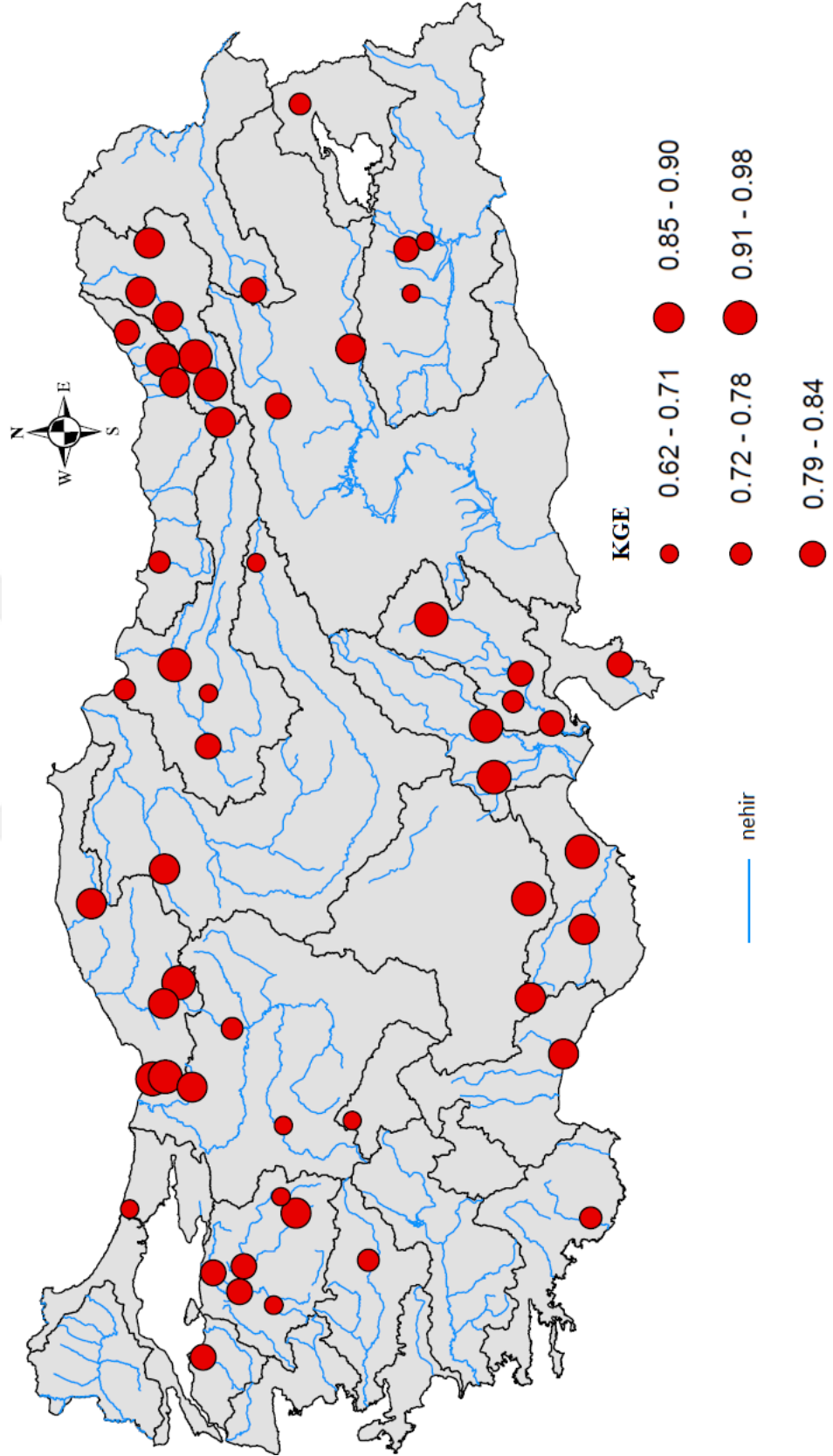
Kalın değerler, altı tahmin tekniğine dayalı en iyi sonuçlar için dört model performans testinin değerlerini gösterir. Çizelge 4.2'den 2215 istasyonu için MARS modelinin daha yüksek R^2 (0,937) ve KGE (0,937) ve daha düşük RMSE (3,749) ve MAE (2,203) değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Çizelge 4.2, MARS modelinin RMSE, KGE, MAE ve R^2 açısından diğer modellerden daha iyi bir performansa sahip olduğunu göstermektedir. 2232 istasyonun da MARS modelinin daha yüksek R^2 (0,816) ve KGE (0,844) ve RMSE (10,973) değerlerine sahip olduğu görülmektedir. MAE performans kriteri açısından ise LR yöntemi daha başarılıdır. Fakat 2232 istasyonunda, MARS yöntemi daha fazla kriter tarafından desteklendiği için en başarılı yöntem olarak seçilmiştir. İstasyon 2247 için test periyodundaki altı modelin performans istatistikleri Çizelge 4.2'de sunulmaktadır. Tablodan görülebileceği gibi, R^2 (0,797) ve RMSE (13,626) olan YSA modeli eksik verileri tahmin etmede diğer modeller arasında en yüksek performansı göstermektedir. Ancak performans indeksleri olarak MAE ve KGE dikkate alındığında LR ve KNN modelinin sırasıyla MAE ve KGE açısından diğer modellere göre daha iyi olduğu görülmüştür. Sonuç olarak YSA daha fazla kriterle desteklendiğinden diğer modellere göre daha başarılıdır. Çizelge 4.2, istasyon D22A007 için altı modelin performans istatistikleri sonuçlarını vermektedir. SVM modeli için diğer modellerle karşılaştırıldığında düşük RMSE ve MAE değerleri (sırasıyla 1,388 ve 0,790) ve yüksek R^2 (0,903) değerinin elde edildiği görülmektedir. MARS tahmin yönteminin maksimum KGE (0,901) ile en başarılı tahmini verdiği görülebilir. Ancak, daha fazla kriter tarafından desteklendiğinden, istasyon D22a007'nin eksik verilerini tahmin etmek için SVM yöntemi seçilmiştir.

Eksik veri bulunan istasyonlar için en başarılı modele göre hesaplanan KGE değerleri ve R^2 değerleri sırasıyla Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 'de verilmiştir. Şekil 4.3 'den KGE değerlerinin yaklaşık 0,62 ile 0,98 arasında değiştiği ve en yüksek değerinin 1340 ve 2320 istasyonlarında gözlendiği görülmektedir. Şekil 4.4 'de görüldüğü gibi R^2 değerlerinin büyüklüğü 0,54 ile 0,99 arasında değişmektedir. En yüksek R^2 değeri, akım tahmini için istasyon 1340 ve 2320'de bulunmuştur.

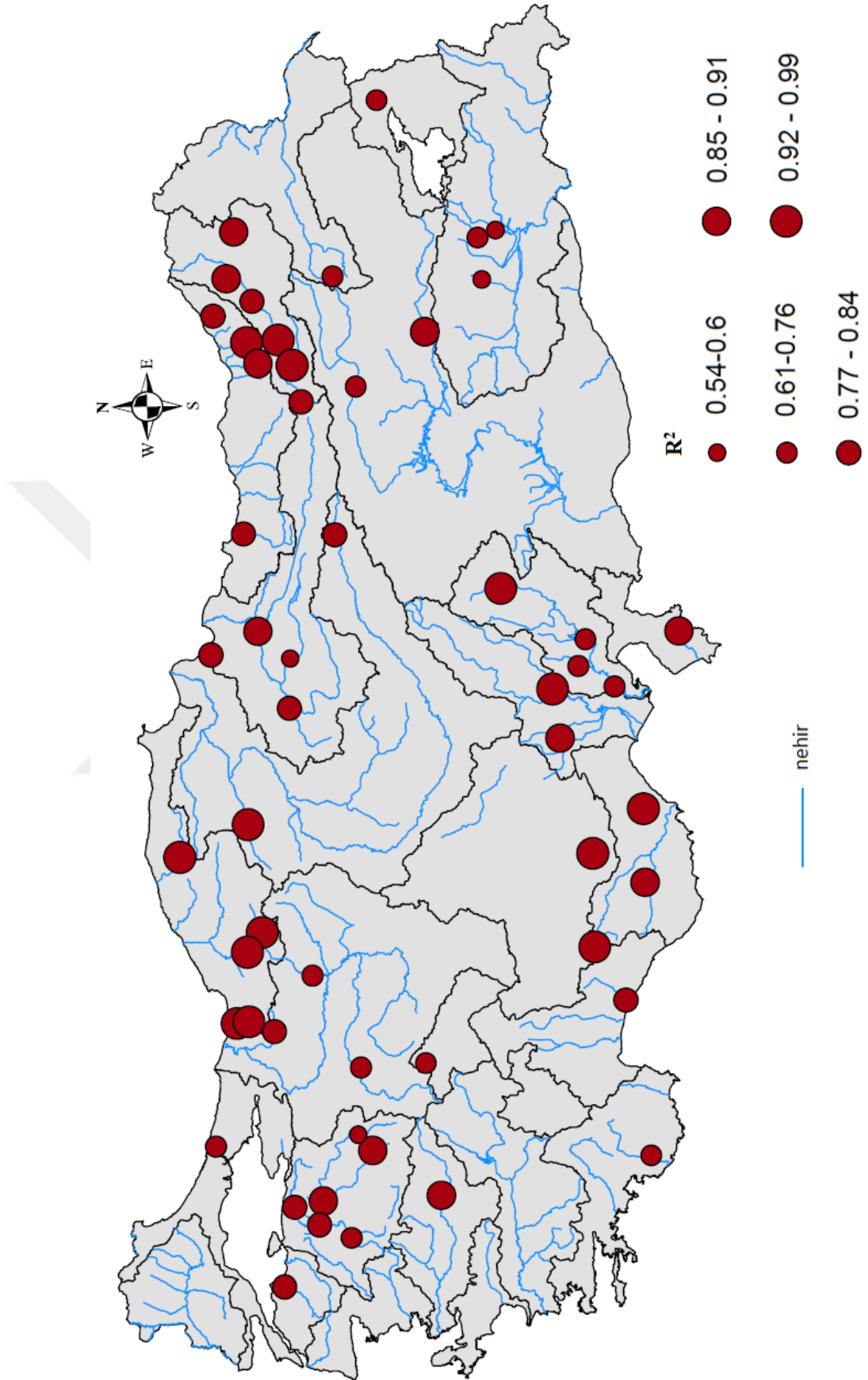
Eksik veri bulunan istasyonlar için seçilen en uygun tahmin yöntemleri Şekil 4.5' de verilmiştir. Uygulanan testlerin çoğunda en iyi sonucu veren yöntem dikkate alınarak en uygun model belirlenmiştir. Şekil 4.5' de tüm ölçüm istasyonları için en iyi yöntem

olarak tek bir yöntemin sonuç vermediği ortaya çıkmıştır. Şekilde görüldüğü gibi LR, YSA, ANFIS, SVM, MARS ve KNN sırasıyla 1, 12, 8, 15, 17 ve 1 istasyon da eksik verileri tahmin için en iyi modeller olarak bulunmuştur. Ayrıca, Şekil 4.5'in tablolastırılmış hali Çizelge 4.3' de verilmiştir.

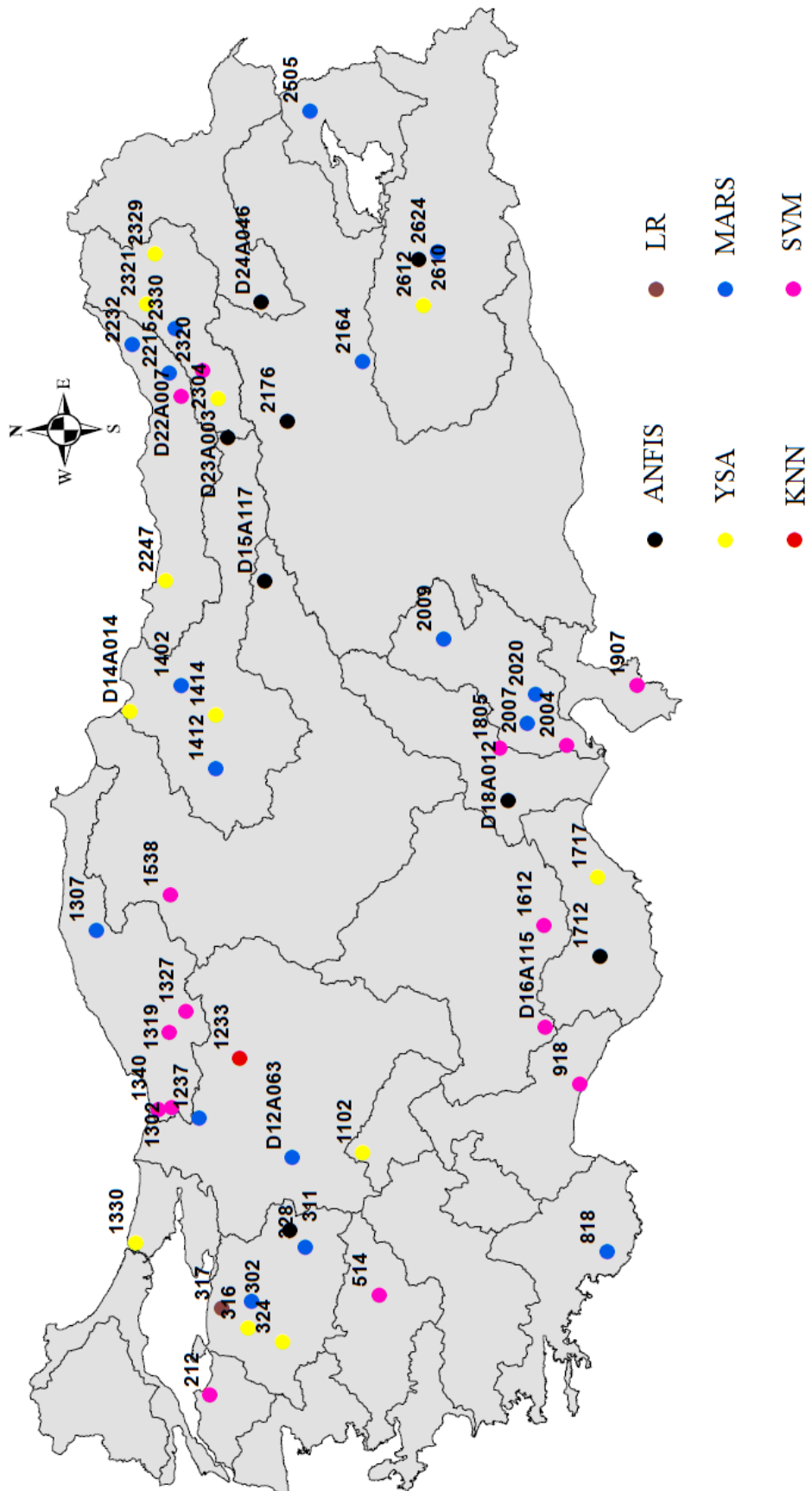




Şekil 4.3. Eksik veri tahminin de en başarılı modele göre hesaplanan KGE değerinin büyüklük haritası.



Şekil 4.4.Eksik veri tahminin de en başarılı modele göre hesaplanan R^2 değerinin büyüklük haritası.



Şekil 4.5. Çalışmada kullanılan eksik veriye sahip istasyonlar için en iyi tahmin yönteminin gösterilmesi.

Çizelge 4.3. Eksik veriye sahip istasyonlar için en iyi tahmin yöntemleri

İstasyon numarası	En iyi yöntem	İstasyon numarası	En iyi yöntem	İstasyon numarası	En iyi yöntem
212	SVM	1330	YSA	2020	MARS
302	MARS	1340	SVM	2164	MARS
311	ANFIS	1402	MARS	2176	ANFIS
316	YSA	1412	MARS	2215	MARS
317	LR	1414	YSA	2232	MARS
324	YSA	D14A014	YSA	2247	YSA
328	MARS	1538	SVM	D22A007	SVM
514	SVM	D15A117	ANFIS	2304	YSA
818	MARS	1612	SVM	2320	SVM
918	SVM	D16A115	SVM	2321	YSA
1102	YSA	1712	ANFIS	2329	YSA
1233	KNN	1717	YSA	2330	MARS
1237	MARS	1805	SVM	D23A003	ANFIS
D12A063	MARS	D18A012	ANFIS	D24A046	ANFIS
1302	SVM	1907	SVM	2505	MARS
1307	MARS	2004	SVM	2610	ANFIS
1319	SVM	2007	MARS	2612	YSA
1327	SVM	2009	MARS	2624	MARS

Eksik veriler tamamlandıktan sonra çalışmada kullanılacak akım gözlem istasyonları belirlenmiş ve bu istasyonlara ait özet bilgiler Çizelge 4.4’de ve bu istasyonların Türkiye haritasındaki dağılımı da Şekil 4.6’da verilmiştir.

Çalışma kapsamında eksik veriler tamamlandıktan sonra, günlük akım verilerinden 7 günlük düşük akım verileri elde edilmiştir.

Çizelge 4.4. Çalışmada kullanılan istasyonlara ait özet bilgiler

Havza adı	İstasyon no	İstasyon adı	Gözlem aralığı	Veri sayısı (yıl)
Meriç	103	Meriç köprüsü	1969-2011	43
Marmara	212	Çınarköprü	1965-2017	53
	215	Dereköy	1981-2009	29
Susurluk	302	Döllük	1939-2017	79
	311	Küçükkilet	1945-2017	73
	316	Yahyaköy	1953-2017	65
	317	Akçasusurluk	1953-2017	65
	321	Geçitköy	1954-2006	53
	324	Balıkli	1954-2017	64
	328	Dereli	1967-2016	50
Ege Suları	410	Yağcılı	1981-2012	32
Gediz	514	Dereköy	1964-2017	54
	518	Manisa	1963-2011	49
	523	Acısu	1970-2012	43
Büyük Menderes	701	Kyırılı	1938-2017	80
	704	Amasya	1970-2017	48
	706	Aydın köprüsü	1951-2017	67
	712	Burhaniye	1951-2017	67
	713	Çıtak köprüsü	1952-2013	62
	730	Çlıköy	1981-2010	30
	732	Değirmenalanı	1981-2012	32
	733	Göktepe	1981-2017	37
Batı Akdeniz Suları	808	Çatallar	1963-2017	55
	809	Kavaklıdere	1957-2017	61
	811	Suçatı	1962-2017	56
	812	Akköprü	1964-2010	47
	815	Kınık	1972-2017	46
	818	Kayadibi	1978-2017	40
Orta Akdeniz Suları	902	Beşkonak	1941-2017	77
	912	Sinanhoca	1964-2017	54
	917	Alarahan	1970-2017	48
	918	Şelale	1972-2017	46
	D09A002	Zindan Boğazı	1961-2017	57
Afyon	1102	Gazlıgöl	1965-2017	53
Sakarya	1203	Beşdeğirmen	1941-2011	71
	1218	Yenice	1966-2003	38
	1219	Yğbasan	1971-2011	41
	1221	Doğançay	1953-2011	59
	1222	Rüstümköy	1953-2014	62
	1224	Aktaş	1963-2011	49
	1226	Meşecik	1963-2011	49
	1233	Karaköy	1963-2017	55
	1237	Dokurcun	1957-2014	58
	1250	Kınık	1981-2017	37
	D12A063	Uluçayır	1965-2017	53

Çizelge 4.4. (devam)

Havza adı	İstasyon no	İstasyon adı	Gözlem aralığı	Veri sayısı (yıl)
Batı Karadeniz Suları	1302	Yakabaşı	1960-2017	58
	1307	Azdavay	1963-2017	55
	1314	Karabük	1963-2011	49
	1319	Gökçesu	1965-2017	53
	1327	Afatlar	1968-2017	50
	1330	M.şevket paşa	1967-2017	51
	1331	Bartın	1970-2003	34
	1332	Hacılar köp.	1969-2017	49
	1334	Beşdeğirmenler	1967-2011	45
	1335	Derecikviran	1964-2009	46
	1338	Ortaköy	1981-2011	31
	1339	Çiftekeşse	1981-2011	31
Yeşilırmak	1340	Beyler	1981-2011	31
	1401	Fatlı	1939-2011	73
	1402	Kale	1939-2017	79
	1412	Şeyhoğlu köp.	1954-2017	64
	1413	Duracasu	1955-2012	58
	1414	Sütlüce	1956-2017	62
	1418	Gömeleönü	1964-2016	53
	1422	Çiçekbükü	1969-2017	49
	1424	Çırdak Köp.	1969-2017	49
	1427	Yemişli Köp.	1981-2017	37
	D14A014	Ahullu	1964-2017	54
	D14A080	Kızıllı	1970-2017	48
Kızılırmak	1501	Yamula	1939-2017	79
	1532	Gülşehir	1961-1998	38
	1535	Söğütlühan	1963-2017	55
	1538	Çeltikçiabaşı	1971-2017	47
	1539	Bulakbaşı	1972-2017	46
	D15A117	Ahmethacı	1968-2017	50
Orta Anadolu	1611	Bozkır	1962-2011	50
	1612	Denircik	1962-2011	50
	D16A115	Sorkun	1978-2017	40
Doğu Akdeniz Suları	1712	Bucakkışla	1962-2014	53
	1714	Karahacılı	1961-2017	57
	1717	Kızılgeçit	1967-2017	51
	1719	Kırkkavak	1966-2010	45
	1720	Hamam	1966-2017	52
	1721	Alaköprü	1969-2017	49
	D17A007	Keşbükü	1972-2017	46
Seyhan	1801	Himmetli	1937-2011	75
	1805	Gökdere	1940-2011	72
	1818	Üçtepe	1966-2010	45
	1820	Hacılıköp.	1970-2017	48
	1822	Fraktin köp.	1970-2017	48
	1825	Eğribük	1988-2017	30
	1827	Değirmenocağı	1988-2017	30
	D18A012	Kamışlı	1971-2017	47
Hatay	1907	Demir köp	1954-2017	64

Çizelge 4.4. (devam)

Havza adı	İstasyon no	İstasyon adı	Gözlem aralığı	Veri sayısı (yıl)
Ceyhan	2004	Misis	1971-2017	47
	2006	Karaahmet	1954-2017	64
	2007	Çukurköprü	1971-2017	47
	2008	Kadirli	1970-2017	48
	2009	Poskoflu	1954-2012	59
	2020	Aslantaş	1966-2011	46
	2022	Hanköy	1973-2017	45
	D20A046	Sarıdanışmanlı	1980-2017	38
Fırat	2102	Palu	1968-2011	44
	2115	Malpınar	1968-2009	42
	2119	Kemah Boğazı	1954-2017	64
	2122	Tutak	1969-2011	43
	2124	Yazıköy	1963-2017	55
	2131	Kılayık	1957-2017	61
	2133	Melekbahçe	1968-2009	42
	2135	Fatopaşa	1967-2017	51
	2145	Hisarcık	1963-2011	49
	2149	Miskisağ	1963-2011	49
	2151	Demirkapı	1964-2019	56
	2154	Aşağıkağdırcı	1969-2010	42
	2156	Bağıtaş	1969-2011	43
	2157	Karaköprü	1969-2007	39
	2158	Abdurrahmanpaşa	1969-2017	49
	2164	Çayağzı	1969-2016	48
	2166	Loğmar	1970-2011	42
	2176	Mutu Boğazı	1984-2019	36
	2177	Adıvar	1986-2015	30
	D21A001	Kırkgöze	1962-2019	58
	D21A167	Necmettin Ağa Komu	1979-2019	41
Doğu Karadeniz	2202	Değirmencik	1967-2017	51
	2213	Dereli	1962-2004	43
	2215	Dereköy	1965-2017	53
	2218	Şimşirli	1955-2009	55
	2232	Topluca	1964-2015	52
	2233	Tozköy	1965-2017	53
	2238	Arıcılar	1965-2015	51
	2245	Gökçeli köp.	1969-2017	49
	2247	Gocalı köp.	1968-2017	50
	D22A007	Şerah	1966-2017	52

Çizelge 4.4. (devam)

Havza adı	İstasyon no	İstasyon adı	Gözlem aralığı	Veri sayısı
Çoruh	2304	Bayburt	1962-2017	56
	2305	Peterek	1963-2011	49
	2315	Karşıköy	1965-2001	37
	2316	İspir köp.	1965-2019	55
	2320	Laleli	1971-2019	49
	2321	Dutdere	1972-2017	46
	2322	Altınsu	1972-2000	29
	2323	İşhan köp.	1965-2011	47
	2325	Aşağıkumlu	1974-2011	38
	D23A003	Erikdibi	1970-2017	38
	2328	Ferhatlı	1982-2010	29
	2329	Çoşkunlar	1982-2019	38
	2330	Çamlıkaya	1983-2019	37
Aras	2409	Güvercinkaya	1961-2010	50
	2415	Ur köp.	1970-2017	48
	2418	Şahnalar	1970-2011	42
	D24A018	Çayağzı	1969-2017	49
	D24A046	Hasanağa	1976-2019	44
Van Gölü	2505	Göndürme	1972-2011	40
Dicle	2610	Baykan	1955-2017	63
	2612	Malabadi köp.	1965-2017	53
	2624	Pınarca	1972-2017	46

4.2. Homojenlik Test Sonuçları

Çalışma kapsamında 155 akım gözlem istasyonunun 7 günlük düşük akımları elde edildikten sonra 51 istasyonun kuru dönemlerinin fazla olmasından dolayı çalışma dışında bırakılmıştır. Geriye kalan 104 adet istasyondaki 7 günlük düşük akım değerleri Standart Normal Homojenlik (SNHT), Pettitt ve Buishand testlerine tabi tutulmuştur. Belirtilen testler bir ön analiz olarak düşünülmüştür. En az 2 homojenlik testine göre homojen olmayan istasyonların verileri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu istasyonlar akım yıllıkları kitaplarından tek tek incelenmiş ve hidrograflarına bakılmıştır. Eğer insan kaynaklı bir etki var ise o istasyon çalışma dışında bırakılmıştır. Sonuç olarak nihai karara, akım yıllıkları kitapları ve hidrograflara bakılarak varılmıştır.

SNHT testine göre 104 istasyonun 71 tanesi homojen olmayan kayıtlar içermektedir. Pettitt testine göre 63 istasyondaki kayıtlar homojen değildir. Buishand testine göre ise 72 adet istasyondaki kayıtlar homojen değildir. 60 istasyon ise her üç teste göre de homojen olmayan istasyonlardır. 104 istasyon için hesaplanan test istatistikleri, p anlamlılık değerleri ve kırılma yılları Çizelge 4.5 de verilmiştir. Çalışma kapsamında sadece 1 teste göre homojen olan istasyonlar ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu istasyonların tarihçesi akım gözlem yıllıkları kitaplarından ayrıntılı olarak araştırılmıştır.

Çizelge 4.5. Homojenlik testleri sonuçları

İstasyon No	Pettitt Test		SNHT		Buishand's test	
	Test İstatistiği (Kırılma Yılı)	p değeri	Test İstatistiği (Kırılma Yılı)	p değeri	Test İstatistiği (Kırılma Yılı)	p değeri
103	216(2002)	0,064	11,352(2003)	0,010	2,322(2002)	0,000
302	1313(1984)	0,000	34,101(1984)	0,000	2,910(1984)	0,000
311	945(1984)	0,000	26,041(1984)	0,000	2,540(1984)	0,000
316	334(1970)	0,181	4,766(1970)	0,368	1,671(1970)	0,030
317	682(1984)	0,000	15,929(1984)	0,000	2,699(1984)	0,000
321	618(1986)	0,000	33,044(1986)	0,000	2,818(1986)	0,000
518*	576(1988)	0,000	24,295(1985)	0,000	2,460(1985)	0,000
706*	906(1985)	0,000	27,096(1985)	0,000	2,863(1985)	0,000
712	771(1985)	0,000	20,321(1985)	0,000	2,531(1985)	0,000
713	701(1986)	0,000	22,233(1986)	0,000	2,583(1986)	0,000
808	738(1987)	0,000	35,088(1985)	0,000	2,931(1986)	0,000
811	428(1985)	0,004	15,148(1971)	0,001	2,170(1984)	0,000
812	404(1988)	0,000	17,199(1985)	0,000	2,162(1985)	0,000
815	300(1985)	0,009	14,484(1985)	0,001	2,390(1985)	0,000
818	288(1988)	0,001	20,5(1988)	0,000	2,022(1988)	0,000
902	414(1946)	0,216	16,63(1946)	0,001	1,695(1946)	0,026
917	197(1990)	0,254	4,321(1990)	0,410	1,473(1990)	0,083
918*	283(1982)	0,016	14,463(1982)	0,001	1,665(1982)	0,021
1203	953(1985)	0,000	28,996(1985)	0,000	2,597(1984)	0,000
1218	247(1982)	0,003	11,682(1981)	0,007	1,688(1981)	0,015
1221	544(1984)	0,000	16,187(1984)	0,000	2,530(1984)	0,000
1222	282(1984)	0,279	5,229(2010)	0,290	1,005(1984)	0,635
1224	588(1986)	0,000	31,977(1986)	0,000	2,827(1986)	0,000
1226	496(1986)	0,000	23,238(1986)	0,000	2,410(1986)	0,000
1237	584(1984)	0,000	21,965(1984)	0,000	2,707(1984)	0,000
1302	337(1983)	0,065	10,447(1961)	0,019	1,710(1983)	0,019
1314	418(1984)	0,000	17,072(1984)	0,000	2,055(1984)	0,001
1319	328(2000)	0,098	8,459(2000)	0,058	1,402(2000)	0,132
1334	260(1984)	0,026	18,914(2007)	0,000	1,584(2001)	0,039
1335	227(2000)	0,089	8,220(2000)	0,060	1,137(2000)	0,405
1340	120(1993)	0,120	4,886(1993)	0,281	1,091(1993)	0,431
1401*	788(1968)	0,000	9,620(1960)	0,037	1,603(1968)	0,045
1402	1072(1979)	0,000	25,430(1979)	0,000	2,646(1979)	0,000
1413	490(1966)	0,001	17,864(1966)	0,000	2,503(1966)	0,000
1414*	495(1966)	0,005	14,976(1966)	0,001	2,676(1967)	0,000
1418	421(1999)	0,002	20,631(2013)	0,000	1,906(1999)	0,004
1427	178(1997)	0,052	8,964(2000)	0,031	1,492(2000)	0,061
1501	349(1953)	0,463	5,815(1944)	0,242	1,435(1972)	0,128

Çizelge 4.5. (devam)

İstasyon No	Pettitt Test		SNHT		Buishand's test	
	Test İstatistiği (Kırılma Yılı)	p değeri	Test İstatistiği (Kırılma Yılı)	p değeri	Test İstatistiği (Kırılma Yılı)	p değeri
1532	77(1965)	0,800	2,167(1964)	0,834	1,132(1972)	0,398
1535	198(2005)	0,499	4,193(1969)	0,446	1,405(2005)	0,131
1712	550(1982)	0,000	40,897(2009)	0,000	1,955(2005)	0,002
1714*	796(1990)	0,000	42,274(1990)	0,000	3,264(1990)	0,000
1717*	566(1990)	0,000	26,522(1990)	0,000	2,570(1990)	0,000
1719*	500(1989)	0,000	40,775(1991)	0,000	3,154(1991)	0,000
1720	653(1989)	0,000	33,878(1989)	0,000	2,902(1989)	0,000
1721	230(1989)	0,142	8,477(1970)	0,051	1,198(1989)	0,325
D17A007	368(2003)	0,001	19,026(2003)	0,000	2,442(2003)	0,000
1801	916(1960)	0,000	22,010(1960)	0,000	2,520(1960)	0,000
1805	617(1984)	0,005	17,544(1994)	0,000	1,800(1993)	0,013
1818*	263(1999)	0,023	11,916(2000)	0,006	1,505(1999)	0,065
1820	469(2000)	0,000	23,901(2000)	0,000	2,338(2000)	0,000
1822*	368(1999)	0,001	16,295(2000)	0,001	1,931(2000)	0,002
1825	165(2003)	0,006	12,116(2003)	0,003	1,737(2003)	0,006
1827*	209(2000)	0,000	19,006(2000)	0,000	2,160(2000)	0,000
D18A012	357(1988)	0,001	17,433(1988)	0,000	2,120(1988)	0,000
2004	228(1991)	0,106	5,373(1987)	0,249	1,369(1991)	0,150
2006	587(1984)	0,001	15,387(1984)	0,001	2,051(1984)	0,001
2007	254(1994)	0,052	14,204(1975)	0,001	1,403(1994)	0,127
2008*	534(1999)	0,000	35,260(1999)	0,000	2,875(1999)	0,000
2020*	452(1983)	0,000	27,161(1982)	0,000	2,516(1982)	0,000
D20A046	233(1996)	0,006	23,803(1984)	0,000	1,707(1996)	0,012
2102	294(1995)	0,005	11,605(1995)	0,009	1,639(1995)	0,026
2115	359(1988)	0,000	18,030(1988)	0,000	2,123(1988)	0,000
2119	331(1991)	0,169	4,685(2002)	0,374	1,409(1992)	0,137
2122	150(2002)	0,381	7,165(1969)	0,098	1,335(2002)	0,167
2124	624(2000)	0,000	43,684(2002)	0,000	2,944(2002)	0,000
2133	131(1988)	0,515	12,384(1969)	0,005	1,098(1988)	0,464
2135	518(1999)	0,000	24,249(1999)	0,000	2,353(1999)	0,000
2145	452(1984)	0,000	19,653(1998)	0,000	2,197(1984)	0,000
2149	168(1982)	0,488	5,544(1970)	0,237	1,284(1982)	0,228
2151	516(1994)	0,000	18,024(1994)	0,000	2,362(1994)	0,000
2154	275(2001)	0,005	24,053(2002)	0,000	1,929(2001)	0,002
2156	214(1995)	0,068	6,582(1995)	0,133	1,605(1995)	0,031
2157	116(1998)	0,531	4,255(2005)	0,404	1,131(1996)	0,402
2158	310(1998)	0,016	8,962(1988)	0,042	1,517(1988)	0,067
2164	312(1982)	0,011	12,205(1982)	0,006	1,617(1982)	0,033

Çizelge 4.5. (devam)

İstasyon No	Pettitt Test		SNHT		Buishand's test	
	Test İstatistiği (Kırılma Yılı)	p değeri	Test İstatistiği (Kırılma Yılı)	p değeri	Test İstatistiği (Kırılma Yılı)	p değeri
2166*	304(1997)	0,001	14,560(1997)	0,001	1,818(1997)	0,006
2177	94(2007)	0,299	6,909(2011)	0,098	1,124(1997)	0,374
2202	130(1975)	0,945	3,454(1969)	0,575	1,020(1995)	0,593
2213	128(1999)	0,597	5,707(2000)	0,208	1,150(1999)	0,380
2215	154(2007)	0,783	3,290(2007)	0,626	1,411(2007)	0,126
2218	162(1958)	0,789	10,084(1956)	0,025	1,262(1958)	0,261
2232	248(2003)	0,152	8,112(2003)	0,068	1,687(2003)	0,019
2233	309(2004)	0,046	9,352(2004)	0,035	1,642(2004)	0,027
2238	334(1999)	0,014	13,389(2012)	0,003	2,074(1999)	0,000
2247	426(1999)	0,000	15,443(1999)	0,001	1,968(1999)	0,002
2304	302(1979)	0,094	7,964(1965)	0,077	1,625(1979)	0,034
2305	247(1970)	0,095	14,032(1969)	0,001	2,011(1970)	0,001
2315	58(1999)	1,000	2,384(1999)	0,789	0,879(1993)	0,786
2316	400(1988)	0,007	18,450(1969)	0,000	1,745(1988)	0,014
2320	199(1993)	0,276	4,480(1993)	0,390	1,589(1993)	0,041
2321	181(2010)	0,277	9,870(2012)	0,022	1,495(2010)	0,070
2322	90(1993)	0,291	4,991(1997)	0,259	0,897(1993)	0,740
2323	218(2003)	0,136	8,261(2003)	0,061	1,57(2003)	0,042
2325	126(2001)	0,369	2,982(2001)	0,656	1,000(2001)	0,596
2328	106(2000)	0,138	5,954(2000)	0,157	1,504(2000)	0,043
2329	90(2001)	0,844	2,089(1983)	0,850	1,014(1998)	0,580
2409	217(2001)	0,218	6,441(2001)	0,156	1,374(2001)	0,148
2415*	417(2002)	0,000	26,115(2005)	0,000	2,267(2002)	0,000
2418	228(1988)	0,515	5,032(2004)	0,289	1,595(2004)	0,033
2505	117(1988)	0,572	9,986(2010)	0,020	1,107(1988)	0,439
2610	222(1998)	0,624	6,367(2015)	0,176	1,033(1998)	0,594
2612*	468(1998)	0,000	20,231(1998)	0,000	2,157(1998)	0,000
2624	290(1997)	0,013	9,651(1997)	0,026	1,743(1997)	0,012

p değeri < 0,05 olması, düşük akım veri serisinin homojen olmadığını gösterir. * işareti çalışmanın dışında bırakılan istasyonları gösterir.

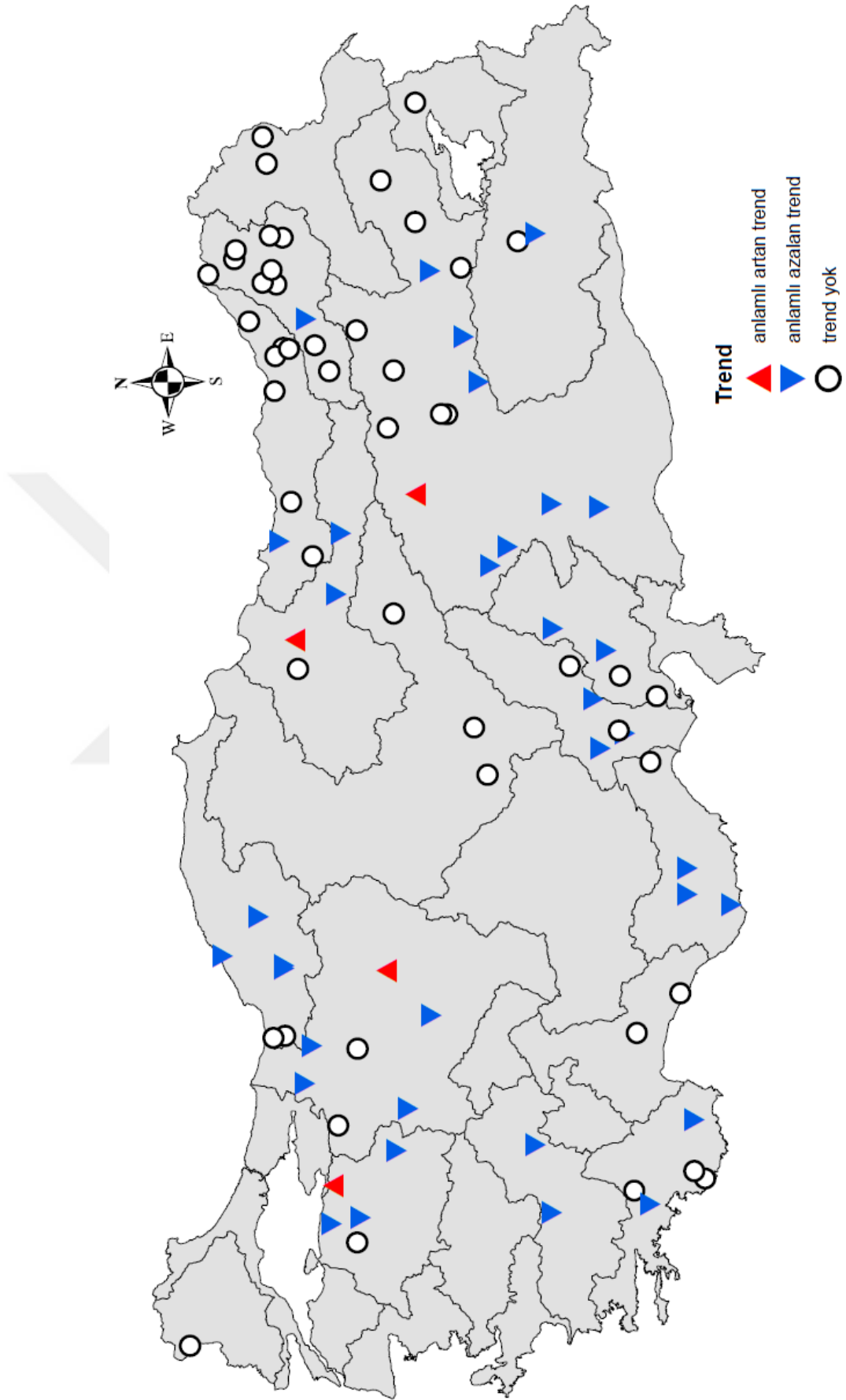
Çalışma kapsamında homojenlik test sonuçları bir ön analiz olarak düşünülmüştür. Çünkü eğer veride iklimden kaynaklı bir trend var ise, homojenlik testleri o istasyonları da homojen değil olarak değerlendirebilir. Bu nedenden dolayı en az 2 homojenlik testine göre homojen olmayan istasyonların tarihçesi ayrıntılı olarak araştırılmış ve bu istasyonların hidrografları ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir ve nihai karara bu araştırmaların sonucunda varılmıştır. Akım yıllıkları kitaplarına göre 518, 706, 918, 1401, 1414, 1714, 1717, 1719, 1818, 1822, 1827, 2008, 2020, 2166, 2415 ve 2612

istasyonların akımlarında insan kaynaklı etkiler olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenden dolayı bu 16 istasyon çalışma dışında tutulmuştur. Geriye kalan homojen olmayan istasyonların ise iklimden kaynaklı etkilerden dolayı homojen olmadığı sonucuna varılmıştır. Çalışmanın bu aşamasından sonra 1939-2019 zaman periyodunda veri aralığı değişen 88 istasyon ile devam edilmiştir.

4.3 Trend Test Sonuçları

4.3.1. Mann Kendall test sonuçları

Çalışma kapsamında kullanılan akım gözlem istasyonunun 7 günlük düşük akım verilerine Mann Kendall testi uygulanmıştır. EK-3’ de verilerin otokorelasyon grafikleri verilmiştir. Eğer veride içsel bağımlılık belirlenmiş ise modifiye edilmiş Mann Kendall test uygulanmıştır. Şekil 4.7’ de $\alpha=0,05$ anlam seviyesinde 88 istasyona uygulanan trend test sonuçları verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi test sonuçlarına göre, 4 istasyonda istatistiksel olarak anlamlı artan trend, 35 istasyonda anlamlı azalan trend ve 49 istasyonda ise anlamlı trendler bulunamamıştır. Mann Kendall z, p ve S sonuçları Çizelge 4.6’ da verilmiştir.



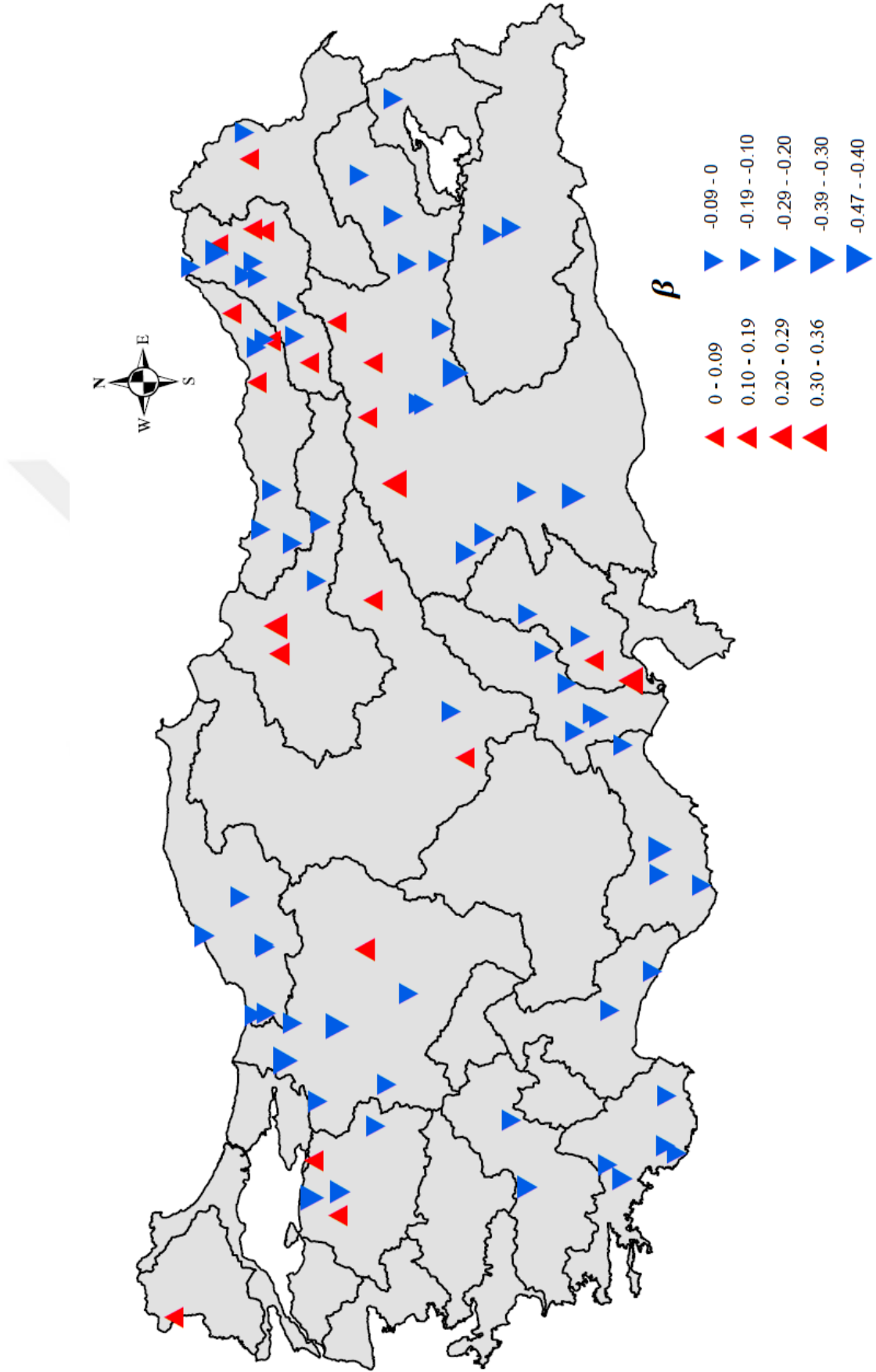
Şekil 4.7. Düşük nehir akımları için Mann Kendall test sonuçları

Çizelge 4.6. MK test sonuçları

İstasyon numarası	z	p	S	İstasyon numarası	z	p	S
103	0,269	0,78	41	2004	1,412	0,1579	155
302	-7,540	0,00004	-1609	2006	-2,768	0,00563	-550
311	-2,340	0,019	-889	2007	1,628	0,1033	250
316	0,890	0,37	201	D20A046	-2,933	0,00334	-301
317	-2,866	0,0041	-434	2102	-2,473	0,0133	-385
321	4,140	0,0003	615	2115	-3,407	0,0006	-469
712	-3,610	0,0002	-592	2119	1,618	0,105	270
713	-2,675	0,007	-512	2122	-0,010	0,9916	-2
808	-3,160	0,0015	-782	2124	-2,780	0,0053	-746
811	-1,584	0,113	-334	2133	-0,780	0,4308	-99
812	-4,135	0,00003	-452	2135	-4,154	3,26E-05	-690
815	-0,395	0,69	-83	2145	-3,780	1,50E-04	-517
818	-1,245	0,212	-191	2149	-0,741	0,4586	-102
902	-0,389	0,697	-162	2151	1,788	0,07371	369
917	-1,626	0,1038	-184	2154	1,300	0,1911	205
1203	-2,040	0,04	-821	2156	2,150	0,0309	214
1218	-1,647	0,0995	-117	2157	-0,710	0,4754	-60
1221	-2,262	0,023	-495	2158	-2,698	0,007	-314
1222	-1,336	0,1815	-221	2164	-2,195	0,0281	-248
1224	-5,588	0,00004	-735	2177	-1,605	0,1083	-91
1226	4,789	0,00004	708	2202	0,519	0,6032	65
1237	-2,416	0,015	-565	2213	-0,554	0,5791	-54
1302	-1,195	0,232	-273	2215	-0,130	0,8962	-18
1314	-4,120	0,00004	-479	2218	-0,486	0,6267	-68
1319	-2,493	0,0127	-326	2232	0,331	0,7403	43
1334	-2,779	0,0054	-324	2233	1,833	0,0668	240
1335	-2,499	0,0124	-265	2238	-1,712	0,0868	-257
1340	-1,903	0,057	-113	2247	-3,950	7,60E-05	-474
1402	2,867	0,0041	879	2304	1,335	0,1816	190
1413	0,856	0,391	245	2305	-0,413	0,679	-62
1418	-3,889	1,01E-04	-508	2315	-0,353	0,724	-28
1427	-2,628	0,0086	-202	2316	-3,673	0,0002	-507
1501	-1,500	0,1335	-415	2320	-0,689	0,4905	-81
1532	0,100	0,9199	9	2321	-0,236	0,8129	-26
1535	0,280	0,7771	40	2322	-1,200	0,2299	-65
1712	-4,210	2,54E-05	-726	2323	-0,568	0,5696	-63
1720	-7,150	0,00004	-993	2325	0,628	0,5296	51
1721	-2,590	0,0095	-244	2328	1,181	0,2373	64
D17A007	-0,580	0,56057	-125	2329	0,528	0,5975	43
1801	-0,280	7,71E-01	-957	2409	0,562	0,5736	84
1805	-2,534	0,011	-679	2418	-0,303	0,761	-29
1820	-4,500	6,69E-06	-553	2505	-0,640	0,5216	-56
1825	-1,810	0,0688	-140	2610	-1,215	0,224	-206
D18A012	-3,100	0,00187	-340	2624	-2,499	0,0124	-265

4.3.2. Sen'in trend eğim test sonuçları

Bölüm 3.4.3' de anlatıldığı gibi istasyonlara ait verilerin trend eğiliminin büyüklüğünü araştırmak için Sen' in trend eğim metodu kullanılmıştır. Denklem (3.22)' de bulunan β değeri, serinin trend büyüklüğüdür. Şekil 4.8' de testten çıkan sonuçlar haritalandırılmıştır. Şekil 4.8' de görüldüğü gibi trend eğiliminin büyüklüğü -0,47 ile 0,36 arasında değişmektedir. Maksimum azalma ve artma sırasıyla 2102 (-0,47 m³/sn) ile 2004 (0,36 m³/sn) nolu istasyonlarda gözlemlenmiştir.



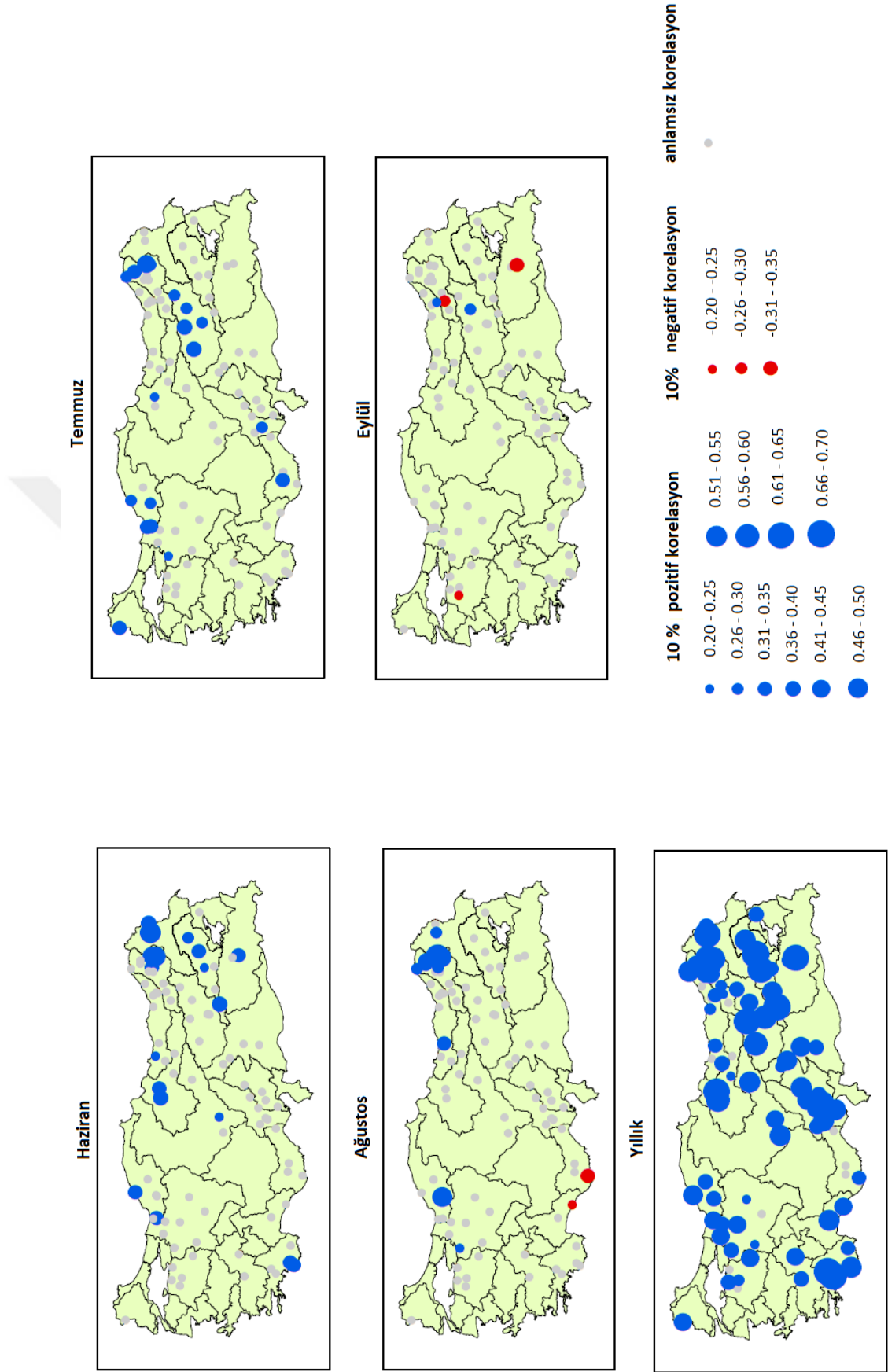
Şekil 4.8. Düşük nehir akımları için Sen' in trend eğim metodu sonuçları

4.4. Düşük Akımlar ile Yağış, Sıcaklık ve Atmosferik Salınım İndisleri Arasındaki İlişkiler

4.4.1. Düşük akımlar ile yağış ve sıcaklık arasındaki ilişkiler

Düşük akımlardaki önemli eğilimlerin potansiyel nedenlerini iklim değişikliği perspektifinden belirlemek için, düşük akımlar ile bu iklim değişkenleri (yıllık ölçekte ve kurak periyotlar için) arasındaki ilişkiler Spearman korelasyon katsayısı kullanılarak araştırılmıştır. Şekil 4.9, Türkiye genelinde yıllık ve kurak dönemlerde düşük akımlar ile yağış değişkeni arasındaki hesaplanan katsayıları gösteren korelasyon haritalarını sunmaktadır. Ağustos ve Eylül aylarındaki birkaç istasyon dışında, düşük akım veri serisinin genel olarak yağış ile pozitif korelasyon gösterdiği şekilden açıkça görülmektedir. Dolayısıyla, Türkiye’ de ki düşük akımların azalmasında azalan yağışların da bir etkisi olduğu sonucuna varılabilir. Yıllık/kuru dönem yağışları ile düşük akım verileri arasındaki korelasyon katsayıları -0,30 ile 0,7 arasında değişmiş ve en yüksek değerine 811 nolu istasyonda (Batı Akdeniz Suları havzasında) ulaşmıştır. Bu istasyon için, düşük akım verilerinin varyansının yaklaşık %49'unun yağışla açıklanabileceği anlamına gelir. Ayrıca negatif korelasyon değerleri sadece Ağustos ve Eylül ayı yağış değerleri ile düşük akımlar arasında çok az istasyonda görülmüştür. Negatif korelasyon çıkan istasyon sayısı göz ardı edilecek kadar azdır.

Özellikle Ağustos ve Eylül olmak üzere kurak dönemler için düşük akım verileri ile aylık yağış arasındaki korelasyonlar, düşük akımların tamamen bu aylardaki yağışa bağlı olmayabileceğini göstermektedir. Ayrıca, yıllık ölçekte yağış değişkeni ile düşük akım serisi arasındaki Spearman korelasyon katsayıları, kurak dönemlerdekilere göre çok daha güçlü olma eğilimindedir. Bu durum çalışma alanındaki düşük akımların yıllık yağıştan daha fazla etkilendiğini göstermektedir.

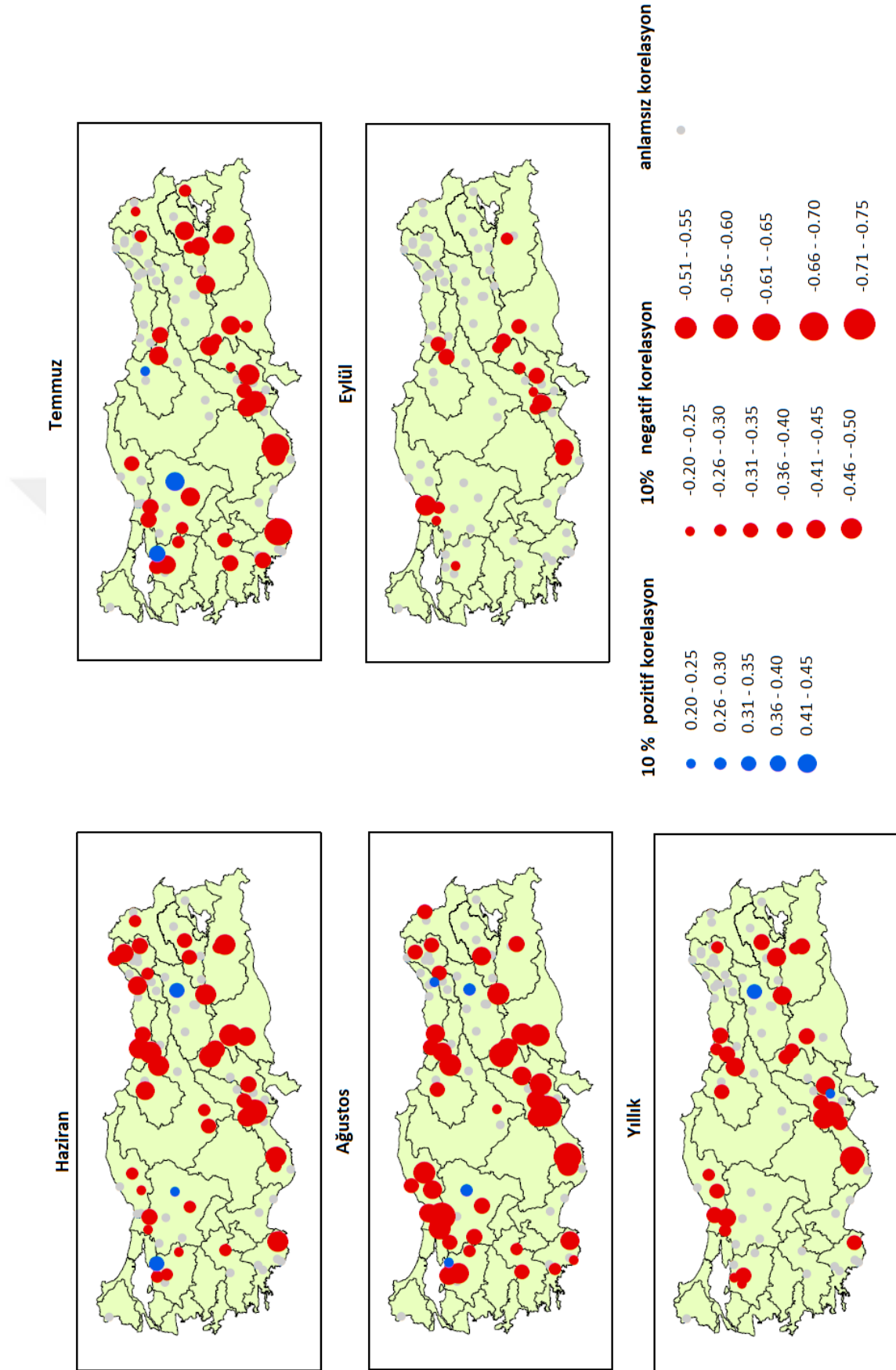


Şekil 4.9. Türkiye genelinde yıllık ve kurak dönemlerde düşük akımlar ile yağış arasındaki ilişkilerin mekânsal ve zamansal dağılımı.

Sıcaklık ve akım arasındaki ilişkiyi anlamak, yağış ve akım arasındaki ilişkiye kıyasla daha zordur. Yani yağış, nehir akışını doğrudan etkileyebilir. Öte yandan sıcaklık, evapotranspirasyon, kar erimesi ve yağış süreci üzerindeki etkisiyle nehir akışlarını etkiler (Li et al. 2014).

Alan ortalamalı sıcaklık ile düşük nehir akım veri serileri arasındaki korelasyon katsayılarının zamansal ve mekânsal değişkenliği, yıllık ve kurak dönemler için Şekil 4.10'da gösterilmektedir. Sonuçlar, korelasyonların çoğunlukla negatif olduğunu ve artan sıcaklıkların azalan düşük akımların itici güçlerinden biri olabileceğini göstermektedir. Yıllık/kuru dönem sıcaklık ve düşük akım verileri arasındaki korelasyon katsayıları -0,72 ile 0,36 arasında değişmektedir. Mutlak değeri Seyhan nehri havzası boyunca yer alan istasyonlarda daha büyük olma eğilimindedir ve en yüksek değerine (0,72) Ağustos ayında 1820 nolu istasyonda ulaşmaktadır. Bu, 1820 nolu istasyonda düşük nehir akım verilerinin varyansının yaklaşık %51'inin Ağustos sıcaklığı ile açıklandığı anlamına gelir.

Yağışların aksine, kurak dönemler için düşük akım verileri ile aylık sıcaklık arasındaki korelasyonlar daha belirgindir. Ayrıca, Ağustos ayındaki sıcaklık değişkeni ile düşük akım serisi arasındaki Sperman korelasyon katsayıları, yıllık ölçektekilerden çok daha güçlü olma eğilimindedir (Şekil 4.10).

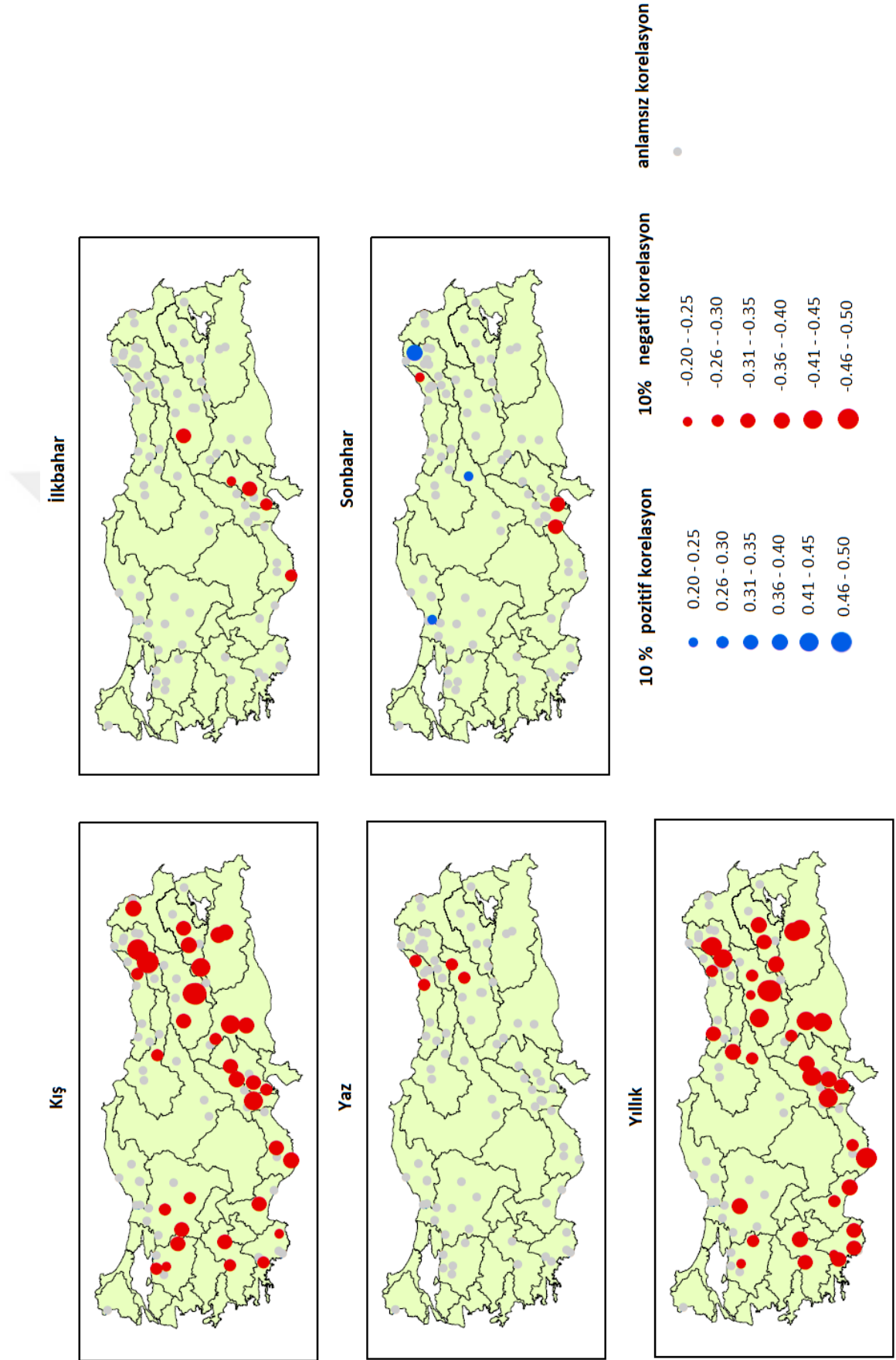


Şekil 4.10. Türkiye genelinde yıllık ve kurak dönemlerde düşük akımlar ile sıcaklık arasındaki ilişkilerin mekânsal ve zamansal dağılımı.

4.4.2. Düşük akımlar ve atmosferik salınım indisleri arasındaki ilişki

Çalışmanın bu bölümünde, düşük akım indeksleri ile mevsimsel/yıllık iklim indeksleri arasındaki korelasyonlar hesaplanmıştır. Korelasyonları mevsimsel olarak incelemek, gecikmeli korelasyonlara odaklanmaya izin vermektedir (örneğin, yaz kuraklıkları ile yüksek korelasyona sahip bir kış iklim indeksi). Böyle bir korelasyon, mevsimsel tahmin uygulamaları için faydalı olabilir.

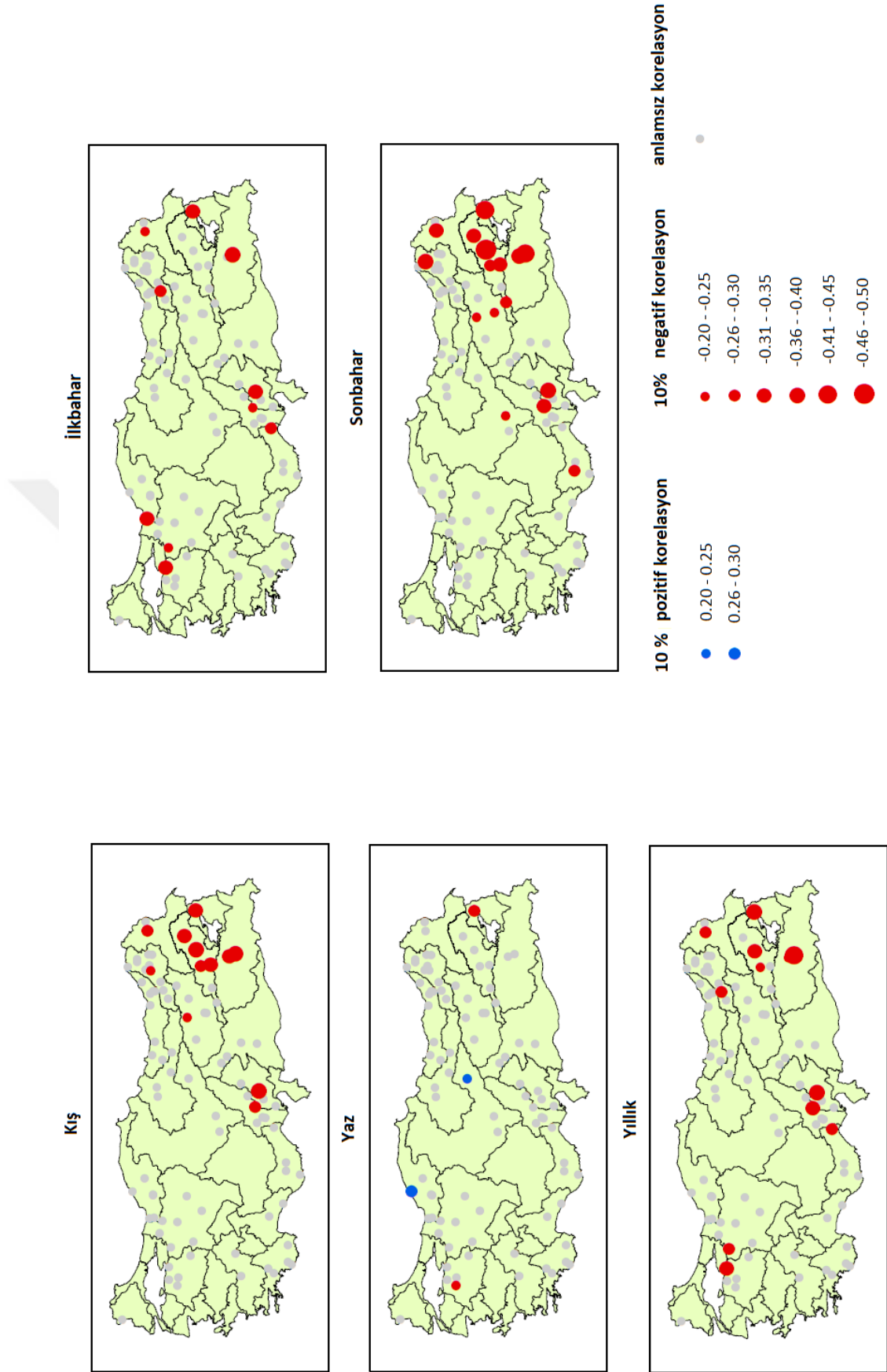
Her istasyonda mevsimsel/yıllık Kuzey Atlantik Salınım indisi (NAOI) ve düşük akımlar arasında hesaplanan Spearman korelasyonlarının mekânsal ve zamansal değişkenliği Şekil 4.11' de gösterilmektedir. Çalışmadaki önemli negatif ve pozitif korelasyonlar haritalarda kırmızı ve mavi daire noktaları olarak sunulmuştur. Şekil 4.11' de kış mevsimi için Kuzey Atlantik Salınımı, bölgedeki düşük akımların değişkenliğini yönlendirmede diğer mevsimlere göre daha etkili olduğu kolayca görülebilir. 88 akım gözlem istasyonuna ait düşük akım verilerinin 34'ü kış NAOI ile negatif anlamlı bir korelasyona sahiptir (Şekil 4.11) ve çoğunlukla batı ve doğu Anadolu bölgelerinde görülmektedir. Bu belirgin bağlantı, mevsimsel tahminler için yeni ve ilginç bakış açıları sağlayabilir. Kış NAO' sun da gözlemlenenin aksine, Türkiye'deki düşük akım rejimlerinin ilkbahar, yaz ve sonbahar NAO' dan çok az etkilendiği görülmektedir. Buna karşın yıllık NAO' nun düşük akımlar üzerinde etkisi gözlenmektedir.



Şekil 4.11. Mevsimsel/yıllık NAO ve düşük akım verileri arasındaki korelasyonların Türkiye genelinde mekânsal ve zamansal dağılımı.

Her istasyon için mevsimsel/yıllık Güneyli salınımı indisi (SOI) ve düşük akım veri serileri arasındaki Spearman korelasyon katsayıları hesaplanmış ve elde edilen mekânsal ve zamansal dağılımlar Şekil 4.12'de gösterilmektedir. Spearman korelasyonları, bazı istasyonlar için korelasyon katsayısı güçlü bir ilişkiyi gösteren -0,50 gibi dikkate değer yüksek bir değere sahiptir. Çoğunlukla batı ve güneydoğu Anadolu bölgelerinde yer alan istasyonlarda önemli negatif korelasyonlar tespit edilmiştir. Daha spesifik olarak, kış, sonbahar, yıllık SOI ve düşük akım verileri arasındaki negatif korelasyonlar daha belirgin, yaz ve ilkbahar SOI ile düşük akımların korelasyonları daha az belirgindir.

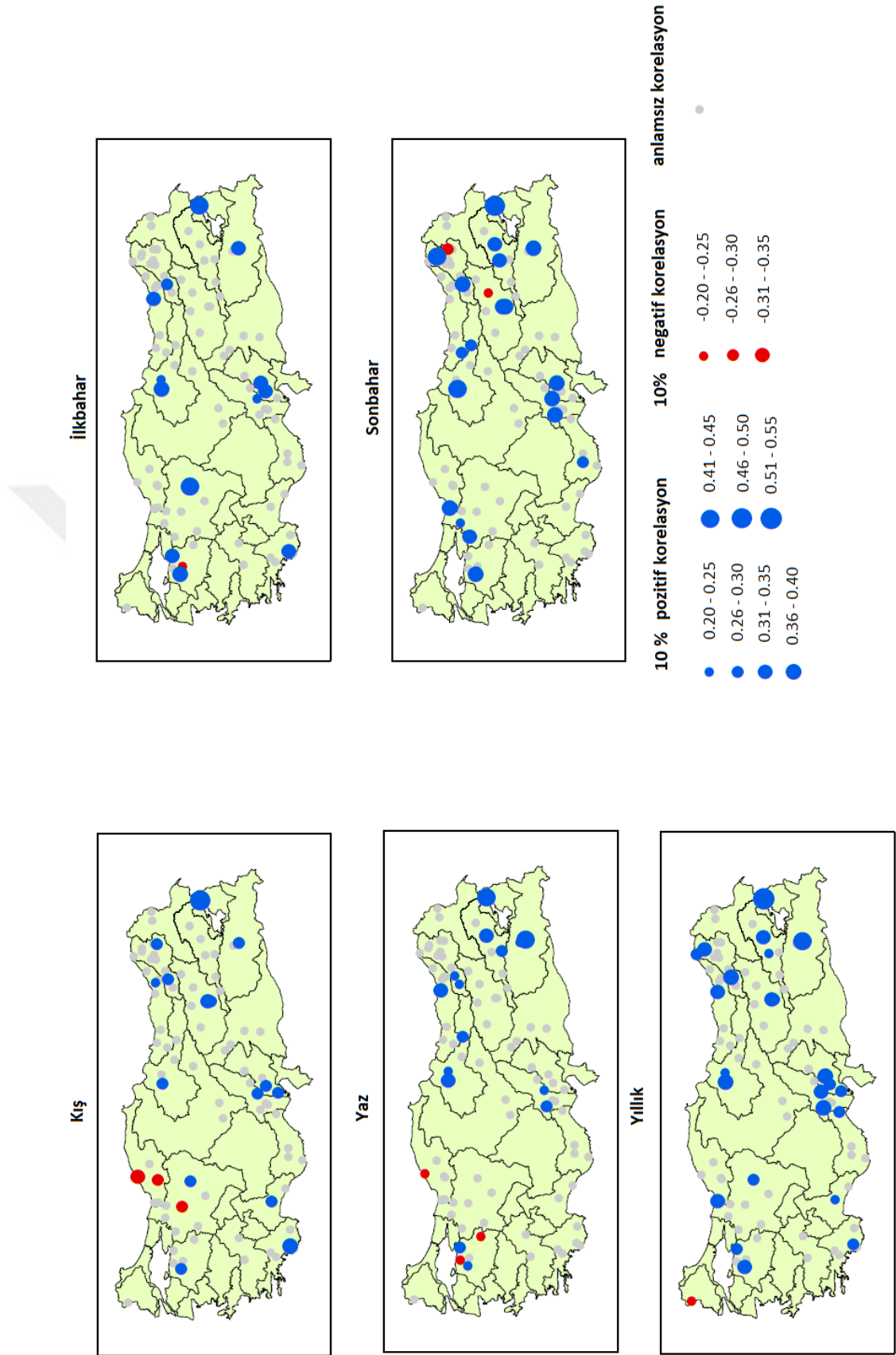




Şekil 4.12. Mevsimsel/yıllık SO ve düşük akım verileri arasındaki korelasyonların Türkiye genelinde mekânsal ve zamansal dağılımı.

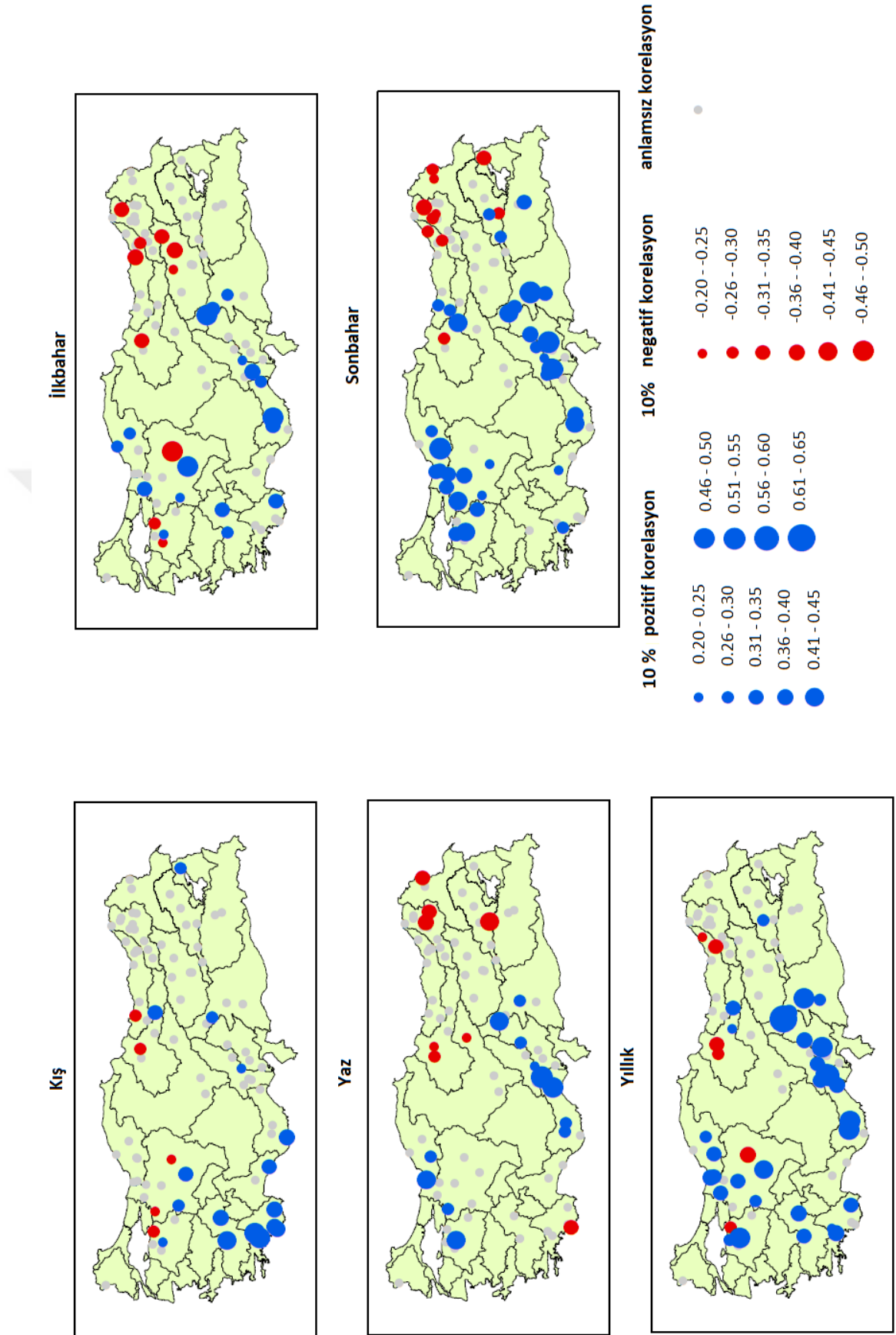
Şekil 4.13, mevsimsel/yıllık Pasifik Decadal Salınımı indisi (PDOI) ve düşük nehir akım veri serileri arasındaki mekânsal ve zamansal dağılımı göstermektedir. Bazı istasyonlar dışında tüm mevsimler için PDOI ve düşük nehir akım veri değerleri arasında belirgin bir pozitif ilişki dağılımı vardır. Korelasyon analizi, yıllık PDO' nun düşük akım değişkenleri ile mevsimsel endekslerden daha güçlü pozitif korelasyona sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca Türkiye'nin doğusunda ve güneydoğusunda yer alan istasyonlar için korelasyon katsayılarının büyüklüğünün 0,55 gibi dikkat çekici bir değer aldığını belirtmekte fayda vardır. Bu sonuç, bu bölgelerdeki düşük akım verilerinin varyansının yaklaşık %31'inin PDO tarafından açıklandığı anlamına gelir.





Şekil 4.13. Mevsimsel/yıllık PDO ve düşük akım verileri arasındaki korelasyonların Türkiye genelinde mekânsal ve zamansal dağılımı.

Batı Akdeniz salınımı indisi (WeMOI) en çok Akdeniz havzasındaki ülkeler üzerinde etkili olmaktadır ve Türkiye'deki hidrometeorolojik değişkenler üzerindeki etkisini keşfetmek oldukça önemlidir. Her istasyon için mevsimsel/yıllık WeMOI ile düşük nehir akım veri serisi arasındaki korelasyon değerleri Şekil 4.14' de gösterilmiştir. Şekil 4.14' den Batı Akdeniz salınımının, Türkiye nehirlerinin düşük akım serilerini etkileyen önemli bir model olabileceğini görebiliriz. Özellikle yıllık ölçekte ve sonbaharda Batı Akdeniz salınımının rolü diğer mevsimlere göre daha belirgindir. Genel olarak, Türkiye'nin güney ve batı bölgelerinde anlamlı pozitif korelasyonlar hesaplanırken, ülkenin kuzeydoğu bölgelerinde anlamlı negatif korelasyonlar tespit edilmiştir. Yıllık/mevsimlik Batı Akdeniz salınımı ve düşük nehir akım verileri arasındaki anlamlı korelasyonların mutlak değeri 0,20 ile 0,65 arasında değişmektedir ve bu düşük akım modellerindeki varyansın yaklaşık %4 - 43'ünün Batı Akdeniz salınımından kaynaklandığını gösteriyor.



Şekil 4.14. Mevsimsel/yıllık WeMO ve düşük akım verileri arasındaki korelasyonların Türkiye genelinde mekânsal ve zamansal dağılımı.

Düşük nehir akımları, iklim değişkenleri (yıllık ölçek ve kurak dönemler boyunca) ve büyük ölçekli atmosferik sirkülasyonlar arasındaki ilişkiler, Türkiye'deki düşük akım değişikliklerinin ana itici güçlerini belirlemek için Spearman korelasyon katsayısı kullanılarak incelenmiştir. Düşük akımlar ve yağış değişkeni arasında genellikle önemli ölçüde pozitif korelasyonlar bulunurken, düşük akımlar sıcaklıkla negatif korelasyon göstermiştir. Düşük akımlar ile yağış/sıcaklık arasında güçlü bir ilişkinin varlığı Kahya ve Kalaycı'nın (2004) çalışmasıyla tutarlıdır. Çalışmalarında, Türkiye'nin akarsu akışı verilerindeki eğilimlerin yağışta gözlemlenen düşüşler ve bir dereceye kadar sıcaklıktaki artışlarla ilgili olabileceğini belirlemişlerdir. Yağış serisinin yıllık toplam değerleri ve aylık ortalama (özellikle Ağustos ayı) sıcaklık değerlerinin düşük akımlar üzerinde oldukça etkili olduğu bulunmuştur. Çalışma alanı genelinde, yıllık toplam yağışın etkisinin doğu, güneydoğu ve kuzeydoğu bölgelerinde daha baskın olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç, yağışın çalışma alanındaki düşük akımların ana itici güçlerinden biri olduğunu ve azalan düşük akımların büyük ölçüde azalan yıllık yağış toplamlarından kaynaklanabileceğini göstermiştir. Bu sonuç, Kormos et al. (2016) çalışması ile desteklenmektedir. Onlar, düşük nehir akımları üzerinde baskın iklim kontrollerini (yağış ve sıcaklık) belirleyip ve yağışın düşük akım değişkenliğinin birincil itici gücü olduğunu bulmuşlardır.

Mevsimsel indeksler kullanılarak elde edilen bulgular, su kaynaklarının yönetimi ve planlaması için oldukça değerli olup mevsimsel tahminler açısından önemli sonuçlar ortaya koymaktadır. Örneğin, kış NAO' sunun Türkiye genelinde güçlü bağlantıları vardır. Kış NAO' su tahmin edilirse, aynı yıl için düşük akım büyüklüklerinin çıkarılabileceği anlamına gelir. Kuzey Atlantik Salınımı indisi ve düşük akımlar arasındaki korelasyonların sonuçları Karabörk et al. (2005) tarafından bulunanlarla tutarlıdır. Onlar, NAO' nun batı ve güney Anadolu bölgelerindeki akarsu akım verileriyle negatif bir korelasyon gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

Bu çalışmada, Güneyli salınımı indisi ve düşük akım verileri arasındaki korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Sonuçlar, Güneyli salınımı indisinin Türkiye'nin güneydoğusunda ve doğusunda bulunan istasyonlarda daha baskın olduğunu göstermiştir. Yıllık, kış ve sonbahar Güneyli salınımı indisi değerleri ile düşük debi değerleri arasında anlamlı negatif korelasyonlar oldukça yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu çalışmanın

sonuçları, Türkiye'de Güneyli salınımı indisinin iklim değişkenleri üzerindeki etkilerine odaklanan önceki çalışmaların sonuçlarını doğrulamıştır. Tosunoğlu et al. (2018), meteorolojik kuraklık değerlerinin Güneyli salınımı indisi ile negatif anlamlı bir korelasyon gösterdiği ve çoğunlukla Türkiye'nin güneydoğusunda yer aldığı sonucuna varmıştır.

Pasifik Decadal Salınımı indisi ve düşük akım verileri arasındaki mevsimsel/yıllık korelasyon haritası, iki değişken arasındaki ilişkilerin çoğunlukla pozitif olma eğiliminde olduğunu göstermiştir. Genel olarak, bu çalışmadan elde edilen Pasifik Decadal Salınımı indisi ve düşük akım verileri arasındaki korelasyon sonuçları, Türkiye'de, Pasifik Decadal Salınımının yağış gibi iklim değişkenleri üzerindeki etkisini araştıran önceki çalışmalarla uyumludur. Örneğin, Pu and Ginoux (2016), Pasifik Decadal Salınımının Türkiye'nin çoğu bölgesinde pozitif bir korelasyon ile ilişkili olduğunu göstermiştir.

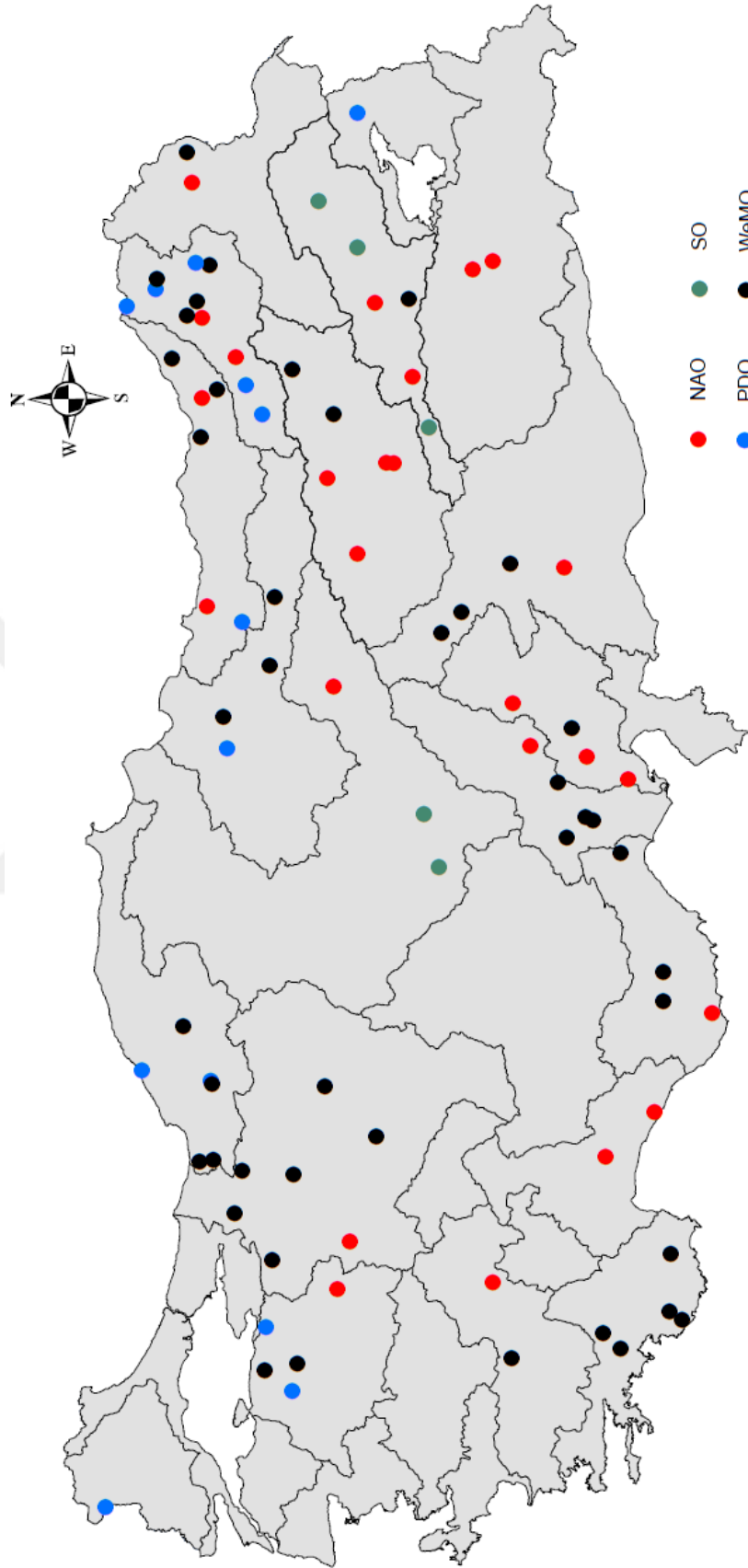
Korelasyon analizinin sonuçlarına göre, Batı Akdeniz salınımı indisinin Türkiye düşük akım modelleri üzerindeki etkileri dikkat çekicidir. Korelasyon analizinin temel bulgusu, Batı Akdeniz salınımının Türkiye'nin güney ve batı bölgelerinde güçlü bir pozitif etkiye sahipken, kuzeydoğu bölgesinde negatif bir ilişki göstermesidir. Bu sonuca benzer şekilde Mathbout et al. (2016), Batı Akdeniz salınımının Türkiye üzerindeki kış yağışları ile güçlü bir pozitif ilişkisi olduğunu bildirmiştir.

Düşük akım indeksleri ile mevsimsel/yıllık iklim indeksleri arasında belirlenen korelasyon sonuçlarına göre mutlak değeri en yüksek olan indeksler Şekil 4.15'de gösterilmiştir. Genel olarak Kuzey Atlantik Salınımı ve Batı Akdeniz Salınımının hâkimiyeti Türkiye'nin güney ve batı bölgelerinde görülmektedir. Bir sonraki dikkate değer sonuç, ülkenin güneydoğu bölgeleri için tespit edilen Kuzey Atlantik Salınımı, Güneyli salınımı ve düşük akım endeksleri arasındaki bağlantıdır. Ülkenin kuzeydoğu ve kuzeybatı kesimleri için PDO ile düşük akımlar arasında güçlü ilişkiler olduğu görülmektedir. Şekil 4.15' deki bir diğer dikkate değer sonuç, WeMO' nun düşük akımlarla olan güçlü korelasyonudur. Sonuçlara göre çalışmada kullanılan istasyonların neredeyse yarısının düşük akım verileri, diğer endekslere kıyasla WeMO ile daha güçlü ilişkiler göstermiştir. Önceki çalışmalar, NAO' nun Türkiye'deki hidrometeorolojik

değişkenlerin değişkenliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu vurgulamaktadır. Bu çalışmanın sonuçları, NAO' nun yanı sıra WeMO' nun hidrometeorolojik değişkenler üzerindeki etkisinin araştırılması gerektiğini göstermektedir.

Bu şekil ile elde edilen sonuçlar, düşük akımların modellenmesi açısından ilginç bakış açıları sunmaktadır. Özet olarak, bu araştırmanın sonuçları Türkiye'nin nehir havzasında su kaynakları yönetim planları ve iklim değişikliğine uyum uygulamaları için önemli bulgulara sahiptir.





Şekil 4.15. Türkiye genelinde en baskın salınım indeksi ile düşük akım verileri arasındaki korelasyonların mekânsal dağılımı.

4.5. Düşük Nehir Akımlarının Durağan ve Durağan Olmayan Modelleri

Çalışma kapsamında düşük akımlar 5 farklı model ile modellenmiştir. Modeller;

model 0, durağan modeli

model 1, zaman kullanılarak elde edilen durağan olmayan model

model 2 sıcaklık ve yağış verileri kullanılarak elde edilen durağan olmayan modeli

model 3 atmosferik salınım indisleri kullanılarak elde edilen durağan olmayan modeli

model 4 ise model 2 ve model 3' ün kombinasyonunu temsil etmektedir.

Veriler ilk olarak model 0, 1, 2 ve 3 ile bireysel olarak modellenmiştir, sonra model 4' de ki gibi kombinasyonlu modellenerek sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Ayrıca modelleme işlemlerine geçmeden önce verilerin trend analizi sonuçları tekrar incelenmiştir. 302, 321 1224, 1226 ve 1720 istasyonlarında ekstrem olayların olduğu sonuçlardan gözükmemektedir. Akım yıllıkları kitaplarından tekrar bu istasyonların verileri araştırılmıştır. Fakat herhangi bir insan müdahalesi gözükmemektedir. Bu istasyonlarda iklim değişikliğinin etkisinin yanında insan müdahalesi olma ihtimaline karşılık modelleme aşamasında çalışma dışında tutulmuştur. Ayrıca 712, 713 ve 1427 nolu istasyonların da hidrografları yıl yıl incelenmiştir. İnsan müdahalesi olma ihtimaline karşılık modelleme aşamasında çalışma dışında tutulmuştur.

4.5.1. Düşük nehir akımlarının durağan ve durağan olmayan olasılık dağılım modelleri

İstasyonlara ait düşük akım verileri, hem durağan hem de durağan olmayan modeller kullanılarak analiz edilmiştir. Çizelge 3.4' de listelendiği gibi 30 farklı değişken ile durağan olmayan modellerde, her bir düşük akım serisi için en önemli etken hakkında bilgi elde etmek maksadıyla değişkenler ayrı ayrı ele alınmıştır. İlk olarak Çizelge 3.5' de verilen 6 dağılım durağan durum göz önünde bulundurularak tüm istasyon verilerine uygulanmıştır ve GAIC değerine göre en uygun dağılım seçilmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.7' de verilmiştir. Sonuçlara göre WEI, GA, IG, IGAMMA ve LOGNO dağılımları sırasıyla 32, 29, 11, 6 ve 2 istasyonda en iyi dağılım olarak seçilmiştir.

Çizelge 4.7. Düşük akım serileri için durağan model 0' ın sonuçları

İstasyon	Dağılım	İstasyon	Dağılım
103	WEI	2102	WEI
311	WEI	2115	GA
316	WEI	2119	GA
317	WEI	2122	GA
808	WEI	2124	GA
811	WEI	2133	GA
812	GA	2135	WEI
815	IG	2145	GA
818	IG	2149	IGAMMA
902	WEI	2151	GA
917	GA	2154	IG
1203	IG	2156	IG
1218	IG	2157	WEI
1221	GA	2158	GA
1222	WEI	2164	WEI
1237	WEI	2177	GA
1302	IG	2202	IGAMMA
1314	WEI	2213	GA
1319	GA	2215	IG
1334	WEI	2218	WEI
1335	GA	2232	GA
1340	WEI	2233	GA
1402	GA	2238	WEI
1413	WEI	2247	IGAMMA
1418	WEI	2304	GA
1501	WEI	2305	LOGNO
1532	GA	2315	IGAMMA
1535	GA	2316	GA
1712	IGAMMA	2320	WEI
1721	GA	2321	GA
D17A007	GA	2322	IG
1801	GA	2323	WEI
1805	WEI	2325	WEI
1820	WEI	2328	IGAMMA
1825	GA	2329	IG
D18A012	LOGNO	2409	WEI
2004	WEI	2418	WEI
2006	GA	2505	WEI
2007	WEI	2610	GA
D20A046	IG	2624	WEI

Düşük nehir akımlarının durağan olmayan modelleri için zaman açıklayıcı değişken olarak kullanılmıştır ve model 1' e ait sonuçlar Çizelge 4.8' de verilmiştir. Sonuçlara göre, WEI, GA, IG, LOGNO, GG ve IGAMMA dağılımları sırasıyla 33, 25, 14, 5, 2 ve 1 istasyonda en iyi dağılım olarak seçilmiştir. Çizelgede “t” simgesi parametrenin zamana bağlı olduğunu, “sbt” ifadesi parametrenin sabit olduğunu ifade etmektedir. Çizelge 4.8' de görüleceği üzere genellikle “ σ ” parametresi sabit tutulunca daha başarılı sonuçlar elde edilmektedir.



Çizelge 4.8. Düşük akım serileri için model 1' in sonuçları

İstasyon	Dağılım	μ	σ	İstasyon	Dağılım	μ	σ
103	WEI	t	sbt	2102	LOGNO	t	t
311	WEI	t	sbt	2115	WEI	t	sbt
316	WEI	t	sbt	2119	GA	t	sbt
317	IG	t	t	2122	GA	t	sbt
808	GA	t	sbt	2124	GA	t	sbt
811	WEI	t	sbt	2133	IG	t	sbt
812	GA	t	sbt	2135	WEI	t	t
815	IG	t	sbt	2145	LOGNO	t	sbt
818	WEI	t	sbt	2149	IG	t	t
902	WEI	t	sbt	2151	WEI	t	sbt
917	GA	t	sbt	2154	WEI	t	t
1203	IG	t	sbt	2156	LOGNO	t	sbt
1218	GA	t	sbt	2157	GA	t	sbt
1221	GA	t	t	2158	WEI	t	sbt
1222	WEI	t	sbt	2164	WEI	t	sbt
1237	WEI	t	sbt	2177	GA	t	sbt
1302	LOGNO	t	sbt	2202	IG	t	sbt
1314	IG	t	t	2213	GA	t	sbt
1319	GA	t	sbt	2215	IG	t	sbt
1334	WEI	t	t	2218	WEI	t	t
1335	IG	t	t	2232	GA	t	sbt
1340	WEI	t	sbt	2233	GA	t	sbt
1402	GA	t	t	2238	WEI	t	sbt
1413	WEI	t	t	2247	IGAMMA	t	sbt
1418	GG	t	t	2304	WEI	t	t
1501	WEI	t	sbt	2305	GA	t	sbt
1532	GA	t	sbt	2315	IG	t	t
1535	GA	t	sbt	2316	GA	t	sbt
1712	IG	t	sbt	2320	WEI	t	sbt
1721	GA	t	sbt	2321	IG	t	t
D17A007	IG	t	t	2322	GA	t	t
1801	IG	t	sbt	2323	WEI	t	sbt
1805	WEI	t	sbt	2325	WEI	t	sbt
1820	WEI	t	sbt	2328	LOGNO	t	sbt
1825	WEI	t	sbt	2329	GA	t	sbt
D18A012	WEI	t	sbt	2409	WEI	t	sbt
2004	WEI	t	sbt	2418	WEI	t	t
2006	GA	t	sbt	2505	GG	t	t
2007	GA	t	sbt	2610	GA	t	sbt
D20A046	WEI	t	sbt	2624	WEI	t	t

Çalışmanın bu kısmında düşük nehir akım verilerinde açıklayıcı değişken olarak yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak durağan olmayan frekans analizi çalışmaları yapılmıştır. Sıcaklık ve yağış verisi, düşük akımların meydana geldiği Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları ve ayrıca yıllık ölçekte elde edilmiştir. Model 2' nin uygulamasında Çizelge 3.4' de kodlaması verilen 10 farklı değişken ve 6 farklı olasılık dağılımı kullanarak gerçekleştirilmiştir ve GAIC değerine göre en iyi performans gösteren modeller Çizelge 4.9' da verilmiştir. Çizelge 3.4' de aşağıdaki çizelgede kullanılan verilerin kodlaması açıklanmıştır. Çizelge 4.9' da “sbt” terimi parametrenin sabit olduğunu ifade eder. WEI, GA, IG, IGAMMA, LOGNO ve GG dağılımları sırasıyla 34, 21, 11, 6 ve 5 ve 3 istasyonda en iyi dağılım olarak seçilmiştir.

Bölüm 4.4.1' de elde edilen sonuçlara göre yıllık toplam yağışların düşük akım verileri ile olan korelasyonları oldukça yüksektir. Çizelge 4.9 bu sonucu desteklemiştir. Çizelgeye göre 63 istasyonda yıllık toplam yağış verileri açıklayıcı değişken olarak kullanılmıştır. Ayrıca Bölüm 4.4.1' de belirtildiği gibi ağustos ayı sıcaklıklarının da düşük akımlar üzerinde etkileri vardır. Çizelge 4.9 bu sonuç ile uyumludur. 25 istasyonda ağustos ayı sıcaklık verileri açıklayıcı değişken olarak kullanılmıştır. Elde edilen bu bulgu Akdeniz Bölgesin' de bulunan havzalara ait istasyonlarda daha belirgindir. Ayrıca, Çizelge 4.9' da görüleceği üzere genellikle “ σ ” parametresi sabit tutulunca daha başarılı sonuçlar elde edilmektedir.

Çizelge 4.9. Düşük akım serileri için model 2' nin sonuçları

İstasyon	Dağılım	μ	σ	İstasyon	Dağılım	μ	σ
103	WEI	Pre_y	sbt	2102	WEI	Pre_y+Temp_a	sbt
311	WEI	Pre_y+Temp_a	sbt	2115	GA	Pre_y+Temp_a	sbt
316	GG	Pre_y+Temp_y	sbt	2119	WEI	Pre_y+Temp_t	sbt
317	WEI	Pre_y+Temp_a	sbt	2122	GA	Temp_t	sbt
808	WEI	Temp_t	sbt	2124	GA	Pre_y	sbt
811	WEI	Pre_y	sbt	2133	GA	Pre_y	sbt
812	WEI	Pre_y	sbt	2135	WEI	Pre_y+Temp_h	Temp_h
815	WEI	Pre_y	sbt	2145	GA	Pre_y+Temp_a	sbt
818	LOGNO	Pre_h	sbt	2149	IG	Pre_y	sbt
902	WEI	Pre_y	sbt	2151	GA	Pre_y	sbt
917	GA	Pre_y	sbt	2154	IG	Pre_y+Temp_e	sbt
1203	IG	Pre_y+Temp_a	sbt	2156	IG	Pre_y+Temp_y	sbt
1218	WEI	Pre_y+Temp_h	Temp_h	2157	WEI	Pre_y+Temp_t	sbt
1221	GA	Pre_y + Temp_a	sbt	2158	WEI	Pre_y+Temp_a	sbt
1222	WEI	Temp_a	sbt	2164	WEI	Temp_h	sbt
1237	WEI	Pre_y+Temp_t	sbt	2177	WEI	Pre_y+Temp_t	sbt
1302	IG	Pre_y+Temp_a	sbt	2202	IG	Pre_y+Temp_e	Pre_y+Temp_e
1314	WEI	Pre_y+Temp_a	sbt	2213	GA	Temp_a	sbt
1319	GA	Temp_a	sbt	2215	IG	Pre_y	sbt
1334	WEI	Pre_a+Temp_a	Pre_a+Temp_a	2218	WEI	Temp_h	sbt
1335	WEI	Pre_y+Temp_a	Pre_y	2232	GA	Pre_h	sbt
1340	WEI	Temp_e	sbt	2233	WEI	Pre_y+Temp_a	sbt
1402	GA	Pre_y	sbt	2238	WEI	Pre_y+Temp_h	sbt
1413	WEI	Pre_y+Temp_h	sbt	2247	IGAMMA	Temp_h	Temp_h
1418	WEI	Pre_y+Temp_a	Temp_a	2304	GA	Pre_e	sbt

Çizelge 4.9. (Devam)

İstasyon	Dağılım	μ	σ	İstasyon	Dağılım	μ	σ
1501	GA	Pre_y+Temp_h	Temp_h	2305	IGAMMA	Pre_y	Pre_y
1532	GA	Pre_y+Temp_h	Pre_y	2315	IGAMMA	Pre_y	sbt
1535	WEI	Pre_y	sbt	2316	LOGNO	Pre_y+Temp_a	Temp_a
1712	IGAMMA	Temp_a	sbt	2320	WEI	Pre_y+Temp_a	sbt
1721	GA	Pre_y	Pre_y	2321	GA	Pre_y	Pre_y
D17A007	IG	Temp_y	Temp_y	2322	IG	Pre_y+Temp_h	sbt
1801	LOGNO	Pre_y+Temp_e	sbt	2323	GA	Pre_y+Temp_h	sbt
1805	WEI	Temp_a	sbt	2325	LOGNO	Pre_y	Pre_y
1820	WEI	Pre_y+Temp_a	sbt	2328	IGAMMA	Pre_a	sbt
1825	IG	Pre_y+Temp_h	Temp_h	2329	IGAMMA	Pre_y	sbt
D18A012	LOGNO	Pre_y+Temp_a	sbt	2409	IG	Pre_y	sbt
2004	GA	Pre_y	sbt	2418	WEI	Pre_y+Temp_a	Temp_a
2006	GA	Pre_y+Temp_a	sbt	2505	GG	Pre_y	sbt
2007	GA	Pre_y	sbt	2610	WEI	Pre_y	sbt
D20A046	WEI	Pre_y+Temp_a	sbt	2624	GG	Pre_y+Temp_h	sbt

Bu bölümde düşük nehir akım verilerinde açıklayıcı değişken olarak atmosferik salınım indisleri kullanılarak durağan olmayan frekans analizi çalışmaları yapılmıştır. Atmosferik salınım indisleri mevsimsel ve yıllık olarak elde edilmiştir. Mevsimsel atmosferik salınım indislerinin düşük akımlar ile olan ilişkilerinin araştırılması düşük akım tahmini için oldukça önemlidir. Örneğin; kış mevsimi için Kuzey Atlantik Salınımı'nın, düşük akımlar ile bir ilişkisinin belirlenmesi akımların tahmini için bir ipucu sağlayabilir. Böylece, mevsimsel iklim endeksleri düşük akım tahmini için potansiyel adaylar olabilir.

Model 3' ün uygulamasında Çizelge 3.4' de görüleceği üzere NAO, SO, PDO ve WeMO salınımlarına ait 20 farklı değişken ve 6 farklı olasılık dağılımı kullanarak gerçekleştirilmiştir ve GAIC değerine göre en iyi performans gösteren modeller Çizelge 4.10' da verilmiştir. Çizelge 3.4' de aşağıdaki çizelgede kullanılan verilerin kodlaması açıklanmıştır. Çizelge 4.10' da “sbt” terimi parametrenin sabit olduğunu ifade eder. GA, WEI, IGAMMA, IG, GG ve LOGNO dağılımları sırasıyla 36, 31, 7, 4, 1 ve 1 istasyonda en iyi dağılım olarak seçilmiştir.

Çizelgeye göre NAO, SO, PDO ve WeMO indisleri (mevsimsel veya yıllık) sırasıyla 35, 7, 21 ve 40 istasyonda açıklayıcı değişken olarak kullanılmıştır. Bölüm 4.4.2' de de elde edilen sonuçlara göre WeMO ve NAO indislerinin düşük akım verileri ile olan korelasyonları oldukça yüksektir. Çizelge 4.10, bu sonucu desteklemiştir. Özellikle yıllık ve sonbahar WeMO indisi ile yıllık ve kış NAO indislerinin düşük nehir akımları için açıklayıcı değişken olarak kullanınca daha başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Elde edilen bu bulgu Akdeniz ve Ege Bölgeler' inde bulunan havzalara ait istasyonlarda daha belirgindir. Ayrıca, Çizelge 4.10' da görüleceği üzere genellikle “ σ ” parametresi sabit tutulunca daha başarılı sonuçlar elde edilmektedir.

4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.10. Düşük akım serileri için model 3 ' ün sonuçları

İstasyon	Dağılım	μ	σ	İstasyon	Dağılım	μ	σ
103	WEI	Pdo_y	Pdo_y	2102	GA	So_s	sbt
311	WEI	Wemo_s+Nao_k	sbt	2115	WEI	Nao_y	sbt
316	WEI	Pdo_i	Pdo_i	2119	GA	Nao_y	sbt
317	WEI	Wemo_s+Nao_k	sbt	2122	LOGNO	So_k	sbt
808	GA	Nao_y+Wemo_k	sbt	2124	GA	Wemo_y	sbt
811	GA	Wemo_k	sbt	2133	IGAMMA	Nao_k+Pdo_s	sbt
812	WEI	Nao_y+Wemo_k	sbt	2135	WEI	Nao_y+Wemo_s	sbt
815	GA	Wemo_k	Wemo_k	2145	GA	Nao_y+Wemo_y	sbt
818	GA	Nao_y+Wemo_k	Wemo_k	2149	IGAMMA	Nao_k	sbt
902	GA	Nao_k	Nao_k	2151	WEI	Nao_yaz+Wemo_i	sbt
917	GA	Nao_y	sbt	2154	GA	Nao_yaz	sbt
1203	IG	Nao_k+Wemo_y	sbt	2156	GA	Nao_y	sbt
1218	GA	Nao_y	sbt	2157	GA	Wemo_yaz	sbt
1221	GA	Wemo_y	Wemo_y	2158	WEI	Nao_k+Pdo_s	sbt
1222	WEI	Wemo_s	sbt	2164	WEI	Nao_k	sbt
1237	WEI	Wemo_s	sbt	2177	WEI	So_s	sbt
1302	GA	Wemo_y	sbt	2202	IGAMMA	Pdo_y+Wemo_i	sbt
1314	WEI	Wemo_y	sbt	2213	GA	Nao_yaz	sbt
1319	GA	Pdo_k	sbt	2215	IG	Pdo_i	sbt
1334	WEI	Wemo_s	Wemo_s	2218	WEI	Nao_y	sbt
1335	GA	Pdo_k	sbt	2232	GA	Nao_yaz+Wemo_s	sbt
1340	GA	Wemo_yaz	sbt	2233	WEI	Wemo_y	sbt
1402	GA	Pdo_i+Wemo_y	sbt	2238	WEI	Pdo_s	sbt
1413	IG	Wemo_y	sbt	2247	GA	Nao_y	sbt
1418	GG	Wemo_s	Wemo_s	2304	GA	Pdo_yaz	sbt
1501	WEI	So_s	sbt	2305	GA	Nao_k	sbt
1532	GA	So_k	sbt	2315	IGAMMA	Pdo_y	Pdo_y
1535	GA	Nao_y	sbt	2316	WEI	Nao_k	sbt
1712	IGAMMA	Wemo_y	sbt	2320	WEI	Pdo_y	sbt
1721	IGAMMA	Nao_k+Wemo_k	sbt	2321	IG	Wemo_s	sbt
D17A007	GA	So_i+Wemo_yaz	sbt	2322	GA	Pdo_s	sbt
1801	IGAMMA	Nao_k	sbt	2323	WEI	Wemo_yaz	sbt
1805	WEI	Pdo_s+Wemo_y	sbt	2325	WEI	Wemo_yaz	Wemo_yaz
1820	WEI	Wemo_y	sbt	2328	GA	Wemo_s	sbt
1825	WEI	Nao_y+Wemo_yaz	sbt	2329	GA	Pdo_s	sbt
D18A012	WEI	Pdo_y+Wemo_y	sbt	2409	GA	Nao_k	sbt
2004	WEI	Nao_k	sbt	2418	WEI	Wemo_yaz	Wemo_yaz
2006	WEI	Nao_y+Wemo_s	sbt	2505	GA	Pdo_y	Pdo_y
2007	GA	Pdo_i	sbt	2610	GA	Nao_y+So_k	sbt
D20A046	WEI	Pdo_y+Wemo_s	sbt	2624	GA	Nao_y+Pdo_y	Nao_y

4.5.2. Düşük nehir akımlarının kombinasyonlu olasılık dağılım modelleri

Bir önceki bölümde, düşük nehir akım serilerinin model 0, 1, 2 ve 3 ile bireysel olarak modellenmesini ele almıştır. Bu bölümde, durağan olmamanın bazı değişken kombinasyonlarından kaynaklandığı varsayımı test edilmektedir. Bir önceki bölümdeki sonuçların ışığında her istasyon için dağılım parametreleri sıcaklık, yağış ve atmosferik salınım indislerinin kombinasyonu ile tekrardan modellenmiştir. Sonuçları elde ederken Çizelge 4.9 ve 4.10’ dan yararlanılmıştır. İlk olarak her iki çizelgeye göre de en başarılı sonuçların kombinasyonları düşünülmüştür. Sonra farklı kombinasyonlarda düşünülerek GAIC tabanlı seçim prosedürü uygulanmıştır. GAIC değerine göre en iyi performans gösteren modeller Çizelge 4.11’ de sunulmuştur. Çizelge 4.11’ de “sbt” terimi parametrenin sabit olduğunu ifade eder.

GA, WEI, IG, IGAMMA ve LOGNO dağılımları sırasıyla 31, 30, 9, 5 ve 5 istasyonda en iyi dağılım olarak seçilmiştir. GG dağılımı hiçbir istasyonda en iyi dağılım olarak seçilmemiştir. Sonuçlardan yıllık yağış, ağustos ayı sıcaklıkları, yıllık ve sonbahar WeMO indisi ile yıllık ve kış NAO indislerinin kombinasyonlarının düşük nehir akımları için açıklayıcı değişken olarak kullanınca daha başarılı sonuçlar elde edildiği belirlenmiştir.

Çizelge 4.11. Düşük akım serileri için model 4' ün sonuçları

İstasyon	Dağılım	μ	σ	İstasyon	Dağılım	μ	σ
103	WEI	Pre_y+Pdo_y	Pdo_y	2102	WEI	Pre_y+Temp_a+So_s	Pre_y
311	WEI	Nao_k+Pre_y+Temp_a	sbt	2115	GA	Temp_a+Nao_y	sbt
316	WEI	Pdo_i+Temp_y	Pdo_i	2119	GA	Pre_y+Temp_t+Nao_y	Pre_y
317	WEI	Nao_k+Pre_y+Temp_a	sbt	2122	GA	Temp_t+So_k	So_k
808	IG	Temp_t+Wmo_k	sbt	2124	GA	Pre_y+Temp_a+Wmo_y	sbt
811	IG	Pre_y+Wmo_k	sbt	2133	GA	Pre_y+Nao_k	sbt
812	GA	Temp_t+Wmo_k	Temp_t+Wmo_k	2135	WEI	Pre_y+Temp_h	Temp_h
815	IG	Pre_y+Temp_a+Wmo_k	sbt	2145	WEI	Pre_y+Temp_a+Nao_y+Wmo_y	sbt
818	WEI	Temp_h+Nao_y+Wmo_k	sbt	2149	IGAMMA	Pre_y+Nao_k	sbt
902	WEI	Pre_y+Nao_k	Pre_y+Nao_k	2151	GA	Pre_y+Nao_yaz	sbt
917	WEI	Pre_y+Temp_a	Pre_y+Nao_y	2154	IG	Pre_y+Temp_e+Nao_yaz	sbt
1203	IG	Pre_y+Temp_a+Wmo_y	sbt	2156	GA	Pre_y+Temp_y+Nao_y	Pre_y
1218	GA	Pre_y+Pdo_k	sbt	2157	GA	Temp_t+Wmo_yaz	sbt
1221	GA	Pre_y+Temp_a+Wmo_y	Temp_a+Wmo_y	2158	GA	Pre_y+Temp_a+Nao_k	sbt
1222	WEI	Temp_a+Wmo_s	sbt	2164	WEI	Temp_h+Nao_k	sbt
1237	WEI	Pre_y+Temp_t+Wmo_s	Pre_y	2177	GA	Temp_t+Nao_y	sbt
1302	IG	Pre_y+Wmo_y	Pre_y+Wmo_y	2202	GA	Pre_y+Temp_e+Pdo_y	Pre_y
1314	GA	Pre_y+Temp_a+Wmo_y	Wmo_y	2213	GA	Temp_a+Nao_yaz	sbt
1319	LOGNO	Temp_a+Pdo_k	sbt	2215	WEI	Pre_y+Pdo_i	Pre_y
1334	GA	Pre_a+Wmo_s	Temp_a	2218	WEI	Pre_a+Temp_h+Nao_y	Pre_a
1335	GA	Pre_y+Wmo_i	sbt	2232	WEI	Pre_h+Wmo_s	Pre_h
1340	GA	Temp_e+Wmo_yaz	sbt	2233	WEI	Pre_y+Wmo_y	Pre_y
1402	GA	Pre_y+Wmo_y	sbt	2238	GA	Pre_y+Temp_h+Pdo_s	Pre_y+Temp_h
1413	GA	Pre_y+Temp_h+Wmo_y	sbt	2247	IGAMMA	Temp_h+Nao_y	Temp_h

Çizelge 4.11. (devam)

İstasyon	Dağılım	μ	σ	İstasyon	Dağılım	μ	σ
1418	WEI	Pre_y+Temp_a+Wmo_s	Temp_a	2304	GA	Pdo_yaz	Pre_e
1501	IG	Pre_y+Temp_h+So_s	Temp_h	2305	LOGNO	Pre_y+Nao_k	sbt
1532	GA	Pre_y+Temp_h+So_k	Pre_y	2315	IGAMMA	Pre_y+Pdo_y	Pdo_y
1535	WEI	Pre_y+Nao_y	Pre_y	2316	WEI	Pre_y+Nao_k	sbt
1712	IGAMMA	Temp_a+Wmo_y	Wmo_y	2320	WEI	Temp_a+Pdo_y	sbt
1721	IGAMMA	Nao_k+Wmo_k	Pre_y	2321	WEI	Pre_y+Nao_y	sbt
D17A007	GA	So_i+Wmo_yaz	Temp_y	2322	GA	Pre_y+Pdo_s	sbt
1801	GA	Pre_y+Temp_e+Nao_k	sbt	2323	LOGNO	Pre_y+Wmo_yaz	sbt
1805	WEI	Pre_y+Temp_a+Wmo_y	sbt	2325	LOGNO	Pre_y+Wmo_yaz	Pre_y
1820	WEI	Pre_y+Temp_a+Wmo_y	sbt	2328	GA	Pre_a+Wmo_s	sbt
1825	WEI	Pre_y+Temp_h+Wmo_yaz	sbt	2329	IG	Pre_y+Pdo_s	Pre_y
D18A012	LOGNO	Pre_y+Temp_a+Pdo_y	sbt	2409	IG	Pre_y+Nao_k	sbt
2004	WEI	Pre_y+Nao_k	sbt	2418	GA	Pre_y+Temp_a+Wmo_yaz	Temp_a
2006	GA	Pre_y+Temp_a+Nao_y	sbt	2505	WEI	Pre_y	Pdo_y
2007	GA	Pre_y+Pdo_i	sbt	2610	WEI	Pre_y+Nao_y	sbt
D20A046	WEI	Temp_a+Pdo_y+Wmo_s	sbt	2624	WEI	Pre_y+Temp_h	Nao_y

4.5.3. Durağan ve durağan olmayan olasılık dağılım modellerinin karşılaştırılması

Çizelge 4.12, 80 istasyon için Çizelge 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 ve 4.11’ de GAIC kriterine göre belirlenen en başarılı modellerin Filliben katsayılarını ve GAIC değerlerini vermektedir. Her istasyon için en düşük GAIC değerine sahip en uygun dağılım seçilmiştir. Seçilen dağılımların uygunlukları worm grafikleri ve Filliben katsayıları ile kontrol edilmiştir. Durağan olmayan modellerin GAIC değerleri, durağan modelin GAIC değerinden daha küçük ise koyu renkle gösterilmiştir. Yıldızlı rakamlar ise beş model arasından en küçük GAIC değerine sahip olanı yani en başarılı modeli temsil eder.

Çizelgeden görüleceği üzere sadece 7 istasyonda (2007, 2122, 2304, 2321,2323,2328 ve 2409 istasyonları) durağan model en başarılı model seçilmiştir. Geriye kalan 73 istasyonda durağan olmayan modeller daha iyi performans sergilemiştir. Değişen iklim koşullarıyla beraber Türkiye’ de düşük akım serilerinin durağan olmadığı açıktır. Durağan olmayan modeller incelendiği zaman 3 istasyonda model 1, 38 istasyonda model 2, 4 istasyonda model 3 ve 28 istasyonda model 4 en başarılı model seçilmiştir. Çizelge de en başarılı modellerin Filliben katsayıları sadece 2007 istasyonu hariç 0,95’ den büyüktür. Bu sonuç seçilen modellerin uygun olduğunu ifade eder (Gu et al. 2016). Ayrıca, EK-4’ de istasyonlar için belirlenen en iyi dağılımlara göre worm grafikleri çizilmiştir. EK-4’ de görüleceği üzere, bütün modellerin standart artıkları %95 güven sınırları içerisinde kalmıştır ve bu modellerin kabul edilebilir olduğunu göstermektedir.

Durağan olmayan modeller arasında bir karşılaştırma yapıldığında, dağılım parametrelerindeki değişkenliği modellemede zamanın açıklayıcı değişken olarak kullanıldığı durağan olmayan model sayısı sadece 3 (311, 1203 ve 1712 istasyonları)’ dır. 70 istasyonda ise fiziksel tabanlı modeller daha iyi sonuç vermiştir. Mevcut araştırmaların çoğu, açıklayıcı değişken olarak zamanı kullanarak durağan olmamanın tespitine odaklanmıştır. Fakat, zamana dayalı durağan olmayan modeller yalnızca tanımlayıcıdır ve yani temeldeki durağan olmama durumu için bir açıklama sağlamaz. Bununla birlikte, yalnızca zamana bağlı bir modelden elde edilen açıklayıcı değişkenler her zaman uygun olmayabilir, çünkü gözlemlenen eğilimler iklim değişkenliği veya antropojenik faaliyetler gibi faktörlerden de etkilenebilir. Çalışmanın bulguları, Türkiye’

de düşük nehir akım serilerinin durağan olmayan olasılık dağılım modellerinde açıklayıcı değişken olarak iklimsel değişkenlerin kullanılması gerekliliğini vurgulanmaktadır.

Ayrıca çalışmadan çıkarılabilecek önemli diğer bir sonuç; fiziksel anlamlılığı olan olasılık dağılım modelleri için çoklu ortak model kullanımının da önemli olduğudur. 28 istasyonda sıcaklık, yağış ve atmosferik salınım indislerinin kombinasyonlu modelleri en başarılı sonuçları vermiştir.

Çizelge 4.12’de görüleceği üzere, 1418, 1501 ve 2158 istasyonlarda GAIC değeri en küçük olan model en iyi model olarak seçilmemiştir. Bu istasyonlarda fazla açıklayıcı değişken kullanarak modelleme yapılmıştır. Fakat GAIC değerinde aşırı bir iyileşme görülmemiştir. Bu durumda likelihood oran (LR) testi kullanılarak GAIC değerinde önemli bir iyileşmenin olup olmadığı araştırılmıştır. LR testinde p değeri üç istasyonda da 0,05’den büyük bulunmuştur. Bu durumda daha az karmaşık olan modeller en iyi model olarak seçilmiştir.

Çizelge 4.12. Düşük akım serileri için model 0, 1, 2, 3 ve 4 ' ün karşılaştırılması

İstasyon No	Model 0		Model 1		Model 2		Model 3		Model 4	
	GAIC	Filliben	GAIC	Filliben	GAIC	Filliben	GAIC	Filliben	GAIC	Filliben
103	370,1	0,99	372,7	0,99	366,4*	0,99	370,5	0,99	367,4	0,98
311	158,4	0,99	143,1*	0,99	150,5	0,99	155,1	0,99	149,9	0,99
316	280,9	0,99	283,5	0,98	275,5	0,99	276,7	0,99	272,8*	0,99
317	417,1	0,99	400,8	0,99	402,9	0,99	411,4	0,99	399,6*	0,99
808	152,8	0,98	117,8	0,99	115,7*	0,97	142,1	0,99	127,8	0,95
811	152,6	0,98	152,8	0,98	118,1*	0,99	140,9	0,99	134,4	0,97
812	243,6	0,98	227,8	0,99	217,1*	0,99	222,5	0,99	224,5	0,99
815	285,9	0,99	287,7	0,99	273,9*	0,99	280,7	0,99	273,9	0,98
818	178,5	0,98	173,9	0,98	177,7	0,99	168,5	0,99	167,6*	0,99
902	470,0	0,99	468,6	0,99	448,1*	0,99	465,2	0,99	448,2	0,99
917	141,3	0,99	141,5	0,99	136,4*	0,98	140,0	0,99	136,6	0,99
1203	202,1	0,98	180,7*	0,99	185,2	0,99	192,2	0,99	184,2	0,99
1218	256,6	0,98	254,6	0,99	252,4*	0,99	256,1	0,97	253,4	0,98
1221	496,9	0,99	483,2	0,99	472,6*	0,99	491,3	0,99	473,8	0,99
1222	137,8	0,99	138,9	0,99	131,7*	0,99	132,4	0,99	131,8	0,99
1237	115,8	0,99	103,9	0,99	90,5*	0,99	114,1	0,99	92,5	0,99
1302	227,7	0,99	227,6	0,99	215,9*	0,99	226,9	0,99	216,2	0,98
1314	186,4	0,99	168,3	0,99	166,3*	0,99	185,8	0,99	168,5	0,99
1319	23,5	0,99	20,4	0,99	18,82*	0,98	22,6	0,98	19,8	0,98
1334	75,1	0,96	59,6	0,99	49,93*	0,98	72,9	0,95	50,7	0,98
1335	271,5	0,99	262,6	0,99	257,1*	1,00	269,3	0,99	259,1	0,97
1340	131,4	0,99	130,0	0,99	125,5*	0,97	127,6	0,99	128,9	0,98
1402	641,4	0,99	623,5	0,99	614,6	0,99	633,3	0,99	612,3*	0,99
1413	394,3	0,99	392,3	0,98	367,2*	1,00	381,6	0,99	370,2	0,99
1418(lr)	94,1	0,99	84,8	0,98	78,5*	0,99	91,2	0,98	78,3	0,99
1501(lr)	355,1	0,99	356,8	0,99	335,4*	0,99	355,1	0,99	334,6	0,99
1532	230,3	0,99	233,2	0,99	218,3*	0,97	232,2	0,98	221,3	0,97
1535	179,7	0,99	182,6	0,99	162,3*	0,99	177,2	0,99	162,5	0,99
1712	99,0	0,99	79,1*	0,99	92,1	0,99	94,7	0,99	93,3	0,99
1721	133,1	0,99	130,8	0,99	123,4	0,98	115,1	0,99	114,7*	0,99
D17A007	91,5	0,99	90,5	0,98	90,2	0,99	87,3	0,99	82,1*	0,98
1801	202,4	0,99	205,2	0,99	187,9	0,98	198,4	0,99	187,4*	0,98
1805	398,3	0,96	399,9	0,95	389,3	0,95	386,7	0,95	378,1*	0,94
1820	164,1	0,99	140,7	0,99	132,1	0,99	156,9	0,99	127,9*	0,99
1825	29,3	0,99	25,6	0,99	21,3	0,99	20,5	0,98	10,4*	0,98
D18A012	89,6	0,99	78,6	0,99	73,9	0,98	83,5	0,99	71,1*	0,99
2004	425,2	0,99	426,1	0,99	417,5	0,98	423,5	0,99	415,2*	0,99
2006	180,3	0,99	171,1	1,00	152,6	0,99	169,1	0,99	146,8*	0,99
2007	153,9*	0,93	160,7	0,88	157,4	0,89	161,2	0,88	156,1	0,87
D20A046	83,7	0,99	65,5	0,99	72,7	0,99	69,2	0,98	64,1*	0,98

Çizelge 4.12 (devam)

İstasyon No	Model 0		Model 1		Model 2		Model 3		Model 4	
	GAIC	Filliben	GAIC	Filliben	GAIC	Filliben	GAIC	Filliben	GAIC	Filliben
2102	300,1	0,99	291,6	0,99	273,3*	0,99	301,2	0,99	277,4	0,99
2115	200,9	0,99	187,5	0,99	191,9	0,99	191,7	0,99	186,8*	0,99
2119	406,8	0,99	408,7	0,99	380,5*	0,99	403,9	0,99	384,9	0,99
2122	204,3*	0,99	207,4	0,99	204,7	0,99	204,6	0,99	207,1	0,99
2124	126,3	0,99	124,9	0,99	122,3	0,99	126,9	0,99	120,5*	0,99
2133	273,9	0,99	274,8	0,99	263,5	0,98	256,2	0,99	255,8*	0,99
2135	70,6	0,99	41,9	0,99	46,1	0,99	58,1	0,99	39,4*	0,98
2145	255,4	0,99	229,3	0,99	235,3	0,99	243,9	0,98	222,7*	0,99
2149	266,9	0,99	268,6	0,97	250,7	0,99	255,2	0,99	246,2*	0,99
2151	326,3	0,99	319,6	0,99	318,5	0,99	317,5	0,99	316,6*	0,99
2154	137,8	0,99	135,8	0,99	133,3*	0,99	137,2	0,98	133,4	0,99
2156	331,9	0,99	330,7	0,98	311,1*	0,99	325,5	0,99	314,9	0,99
2157	100,6	0,98	103,4	0,98	89,6*	0,99	97,7	0,98	89,9	0,98
2158(lr)	82,4	0,99	74,3	0,99	54,2*	0,99	75,4	0,98	53,5	0,99
2164	93,9	0,99	89,6	0,99	95,1	0,99	87,8*	0,99	89,7	0,99
2177	131,2	0,99	129,9	0,99	118,5*	0,99	125,8	0,98	118,7	0,99
2202	77,7	0,99	80,9	0,99	76,3	0,99	72,3*	0,99	72,4	0,98
2213	100,6	0,99	103,3	0,99	97,2*	0,98	103,1	0,99	99,9	0,98
2215	108,2	0,99	111,2	0,99	106,1*	0,99	108,8	0,99	107,8	0,99
2218	223,2	0,99	223,4	0,99	216,8*	0,99	224,5	0,99	219,5	0,99
2232	210,3	0,99	212,9	0,99	211,8	0,99	205,9*	0,99	212,5	0,99
2233	22,5	0,99	22,5	0,99	14,3*	0,99	20,3	0,99	18,4	0,99
2238	37,2	0,99	33,9	0,99	24,1*	0,99	33,7	0,99	31,1	0,97
2247	121,2	0,99	116,5	0,99	115,5*	0,99	121,4	0,99	115,9	0,99
2304	164,2*	0,99	165,5	0,99	166,1	0,99	164,6	0,99	164,8	0,99
2305	264,3	0,99	266,3	0,99	258,6	0,99	250,6	0,99	249,6*	0,99
2315	273,2	0,97	278,1	0,98	263,7*	0,98	273,3	0,98	263,9	0,99
2316	243,5	0,98	230,2	0,99	239,7	0,99	227,9	0,99	225,6*	0,99
2320	187,1	0,99	186,1	0,99	183,7	0,99	182,5	0,99	181,4*	0,99
2321	111,4*	0,99	112,2	0,99	111,8	0,99	111,9	0,99	112,9	0,98
2322	204,8	0,99	205,7	0,99	195,9*	0,99	200,7	0,98	197,5	0,99
2323	250,3*	0,98	252,4	0,99	251,7	0,97	250,4	0,98	253,7	0,97
2325	80,5	0,99	83,1	0,99	67,9*	0,99	81,1	0,99	70,1	0,99
2328	13,6*	0,99	15,4	0,98	14,5	0,99	14,2	0,98	16,1	0,97
2329	135,4	0,99	138,3	0,99	117,2	0,99	133,9	0,99	107,1*	0,98
2409	97,5*	0,99	99,9	0,99	100,9	0,94	101,4	0,98	99,6	0,94
2418	166,7	0,99	170,9	0,99	161,1*	0,99	165,6	0,99	163,8	0,99
2505	126,2	0,97	127,1	0,99	121,2	0,99	110,9	0,99	104,6*	0,99
2610	92,6	0,990	93,5	0,99	79,5	0,99	86,2	0,98	78,1*	0,99
2624	124,5	0,95	124,3	0,95	92,4	0,98	110,2	0,97	86,2*	0,99

Çalışma kapsamında en başarılı model belirlerken GAIC değeri göz önünde bulundurulmuştur. İlk olarak GAIC değerinin iyileşmesinin anlamlı olup olmadığı kontrol edilmiştir. Modelleme çalışmalarında yeni eklenen bir parametrenin modelin GAIC değerinde değişime yol açması her zaman istatistiki açıdan anlamlı olmayabilir, bu nedenle eklenen yeni parametrenin söz konusu modelin GAIC değerindeki etkinin anlamlılığının analiz edilmesi gerekmektedir. Çalışma kapsamında, GAIC tabanlı sonuçların anlamlılığını kontrol etmek için likelihood oran (LR) testi kullanılmıştır. Çizelge 4.12’ de LR testi sadece model 0, 1, 2, 3 ve 4’ü karşılaştırmak için uygulanmıştır. 1418, 1501 ve 2158 istasyonlarında bu durum belirlenmiştir. Çizelge 4.13’ de ise durağan ve durağan olmayan modeller için GAIC değerleri ve en uygun modeli belirleyene kadar her bir değişken modele eklenince hesaplanan LR test sonuçları verilmiştir (örnek olması açısından sadece birkaç istasyonun sonuçları verilmiştir. Diğer istasyonlar için sonuçlar EK-5 de verilmiştir.). Böylece en uygun model belirlenirken modelin değişken sayısı açısından karmaşık olmasının önüne geçilmiştir. Sonuçlara göre, LR testi sonuçlarından, p değerlerinin 0,05’ten küçük olması nedeniyle, fiziksel tabanlı ortak değişkenlerin kullanılmasının genellikle durağan modellere göre önemli ölçüde iyileşme sağladığı görülmektedir. Dört istasyon için (917, 1319, 1418, 1535), modele daha fazla iklim değişkeni eklemek, GAIC değerleri arasında genellikle küçük bir fark olmasına rağmen, önceki modele göre önemli bir fark oluşturmamıştır.

Çizelge 4.13. Durağan ve durağan olmayan modeller için GAIC ve LR test p değerleri

İstasyon No	Model	LR test (p değeri)	GAIC
103	$Q \sim WEI[\mu, \sigma]$		370,08
	$Q \sim WEI[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y), \sigma]$	0,0102	366,50
808	$Q \sim WEI[\mu, \sigma]$		152,87
	$Q \sim WEI[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Temp_t), \sigma]$	1,26E-10	114,51
811	$Q \sim WEI[\mu, \sigma]$		152,60
	$Q \sim WEI[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y), \sigma]$	8,59E-10	118,01
812	$Q \sim GA[\mu, \sigma]$		243,59
	$Q \sim WEI[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y), \sigma]$	5,48E-08	217,05
815	$Q \sim IG[\mu, \sigma]$		285,92
	$Q \sim WEI[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y), \sigma]$	0,000107	273,92
818	$Q \sim IG[\mu, \sigma]$		178,50
	$Q \sim IG[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Wmo_k), \sigma]$	0,003398	172,94
	$Q \sim IG[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Wmo_k + \beta_2 * Nao_y), \sigma]$	0,004074	167,69
902	$Q \sim WEI[\mu, \sigma]$		469,96
	$Q \sim WEI[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y), \sigma]$	6,23E-07	448,12
917	$Q \sim GA[\mu, \sigma]$		141,32
	$Q \sim GA[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y), \sigma]$	0,005121	136,48
	$Q \sim GA[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y + \beta_2 * Temp_a), \sigma]$	0,072	136,26
1319	$Q \sim GA[\mu, \sigma]$		23,45
	$Q \sim GA[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Temp_a), \sigma]$	0,0057	18,83
	$Q \sim GA[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Temp_a + \beta_2 * Prep_t), \sigma]$	0,0702	18,55
1418	$Q \sim WEI[\mu, \sigma]$		98,71
	$Q \sim WEI[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y), \sigma]$	0,01	95,19
	$Q \sim WEI[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y + \beta_2 * Temp_a), \sigma]$	0,0012	87,83
	$Q \sim WEI[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y + \beta_2 * Temp_a), \sigma = \sigma_0 + \sigma_1 * Temp_a]$	0,0004	78,50
	$Q \sim WEI[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y + \beta_2 * Temp_a + \beta_3 * Wmo_s), \sigma = \sigma_0 + \sigma_1 * Temp_a]$	0,07	78,20
1535	$Q \sim GA[\mu, \sigma]$		179,60
	$Q \sim GA[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y), \sigma]$	6,64E-06	162,36
	$Q \sim WEI[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y), \sigma = \sigma_0 + \sigma_1 * Pre_y]$	0,082	162,35

Çalışma kapsamında kullanılan 80 akım gözlem istasyonuna ait düşük nehir akımları için belirlenen optimal modellerin parametrelerinin matematiksel formülasyonu Çizelge 4.14’ de verilmiştir.

Çizelge 4.14. Belirlenen en uygun modellerin matematiksel formülasyonları

İstasyon No	$\log (\mu) =$	$\log (\sigma) =$
103	$2,3+0,002*Pre_y$	0,82
311	$17,92-0,008*t$	1,27
316	$3,794-0,167*Temp_y+0,109*Pdo_i$	$0,99+0,34*Pdo_i$
317	$5,8+0,001*Pre_y-0,17*Temp_a-0,12*Nao_k$	0,98
808	$12,936-0,452*Temp_t$	0,65
811	$-1,66+0,003*Pre_y$	0,87
812	$1,775+0,001*Pre_y$	1,88
815	$1,98+0,001*Pre_y$	1,45
818	$2,242+0,214*Wmo_k-0,2*Nao_y$	-2,81
902	$3,06+0,0006*Pre_y$	2,19
917	$0,77+0,0009*Pre_y$	-1,46
1203	$28,26-0,013*t$	-1,34
1218	$-0,57+0,004*Pre_y$	-1,52
1221	$7,77+0,001*Pre_y-0,24*Temp_a$	-0,83
1222	$4,17-0,17*Temp_a$	0,54
1237	$3,03-0,14*Temp_t+0,001*Pre_y$	1,41
1302	$1,76+0,001*Pre_y-0,064*Temp_a$	-2,02
1314	$3,16+0,002*Pre_y-0,18*Temp_a$	1,03
1319	$1,65-0,086*Temp_a$	-1,19
1334	$0,49+0,003*Prep_a$	$10,5-0,4*Temp_a$
1335	$2,67+0,002*Pre_y-0,07*Temp_a$	$3,6-0,002*Pre_y$
1340	$4,14-0,137*Temp_e$	1,38
1402	$1,43+0,004*Pre_y-0,2006*Wmo_y$	-0,99
1413	$2,911+0,006*Pre_y-0,195*Temp_h$	0,86
1418	$1,727+0,001*Pre_y-0,066*Temp_a$	$8,2-0,3*Temp_a$
1501	$3,88+0,002*Pre_y-0,143*Temp_h$	$-7,1+0,3*Temp_h$
1532	$3,69+0,003*Pre_y-0,134*Temp_h$	$-4,7+0,007*Pre_y$
1535	$0,281+0,003*Pre_y$	-1,45
1712	$9,57-0,004*t$	-3,72
1721	$1,45+0,16*Wmo_k-0,07*Nao_k$	$-2,7+0,002*Pre_y$
D17A007	$0,75+0,11*Wmo_yaz-0,083*So_i$	$-7,3+0,4*Temp_y$
1801	$2,66+0,0007*Pre_y-0,035*Temp_e-0,02*Nao_k$	-2,15
1805	$3,83-0,06*Temp_a+0,0007*Pre_y+0,081*Wmo_y$	1,92
1820	$5,01-0,22*Temp_a+0,002*Pre_y+0,23*Wmo_y$	1,40
1825	$1,54-0,08*Temp_h+0,001*Pre_y+0,14*Wmo_yaz$	-2,02
D18A012	$3,71-0,23*Temp_a+0,002*Pre_y+0,18*Pdo_y$	-0,8
2004	$2,51+0,002*Pre_y-0,06*Nao_k$	0,99
2006	$4,007-0,17*Temp_a+0,001*Pre_y-0,26*Nao_y$	-1,12
2007	1,1601	0,93
D20A046	$4,80-0,18*Temp_a+0,33*Wmo_s+0,18*Pdo_y$	1,05
2102	$4,93-0,11*Temp_a+0,002*Pre_y$	1,67
2115	$6,39-0,13*Temp_a-0,33*Nao_y$	-1,55

Çizelge 4.14. (devam)

2119	$1,035+0,048*Pre_y+0,002*Temp_t$	1,81
2122	1,87	-0,92
2124	$2,87+0,0006*Pre_y-0,05*Temp_a+0,13*Wmo_y$	-1,84
2133	$2,88+0,0008*Pre_y-0,075*Nao_k$	-1,89
2135	$4,25-0,15*Temp_h-0,29*Nao_y$	$11,5-0,4*Temp_h$
2145	$4,97-0,10*Temp_a+0,0007*Pre_y-0,2*Nao_y+0,2*Wmo_y$	1,88
2149	$2,340+0,0008*Pre_y-0,049*Nao_k$	-1,93
2151	$1,58+0,002*Pre_y-0,106*Nao_k$	-1,27
2154	$-2,985+0,002*Pre_y+0,15*Temp_e$	-1,65
2156	$2,88+0,001*Pre_y+0,074*Temp_y$	-4,31
2157	$2,917+0,001*Pre_y-0,13*Temp_t$	1,28
2158	$1,13+0,001*Pre_y-0,054*Temp_a$	-1,83
2164	$0,87-0,072*Nao_k$	1,49
2177	$3,29+0,002*Pre_y-0,134*Temp_t$	1,39
2202	$0,51+0,11*Pdo_y-0,08*Wmo_mam$	-1,44
2213	$2,83-0,102*Temp_a$	-1,31
2215	$0,58+0,0009*Pre_y$	-2,31
2218	$3,42-0,07*Temp_h$	1,83
2232	$2,11-0,085*Wmo_s-0,081*Nao_yaz$	-1,67
2233	$-1,18+0,045*Temp_a+0,001*Pre_y$	1,87
2238	$1,254-0,120*Temp_h+0,001*Pre_y$	1,62
2247	$4,12-0,20*Temp_h$	$-5,7+0,3*Temp_h$
2304	1,4046	-1,38
2305	$2,189+0,0008*Pre_y-0,075*Nao_k$	-1,75
2315	$2,90+0,0015*Pre_y$	-1,92
2316	$1,65+0,0009*Pre_y-0,112*Nao_k$	1,77
2320	$2,68-0,044*Temp_a+0,091*Pdo_y$	1,72
2321	0,995	-1,23
2322	$3,583-0,074*Temp_h+0,002*Pre_y$	-3,82
2323	2,367	1,15
2325	$-7,52+0,01*Pre_y$	$4,2-0,006*Pre_y$
2328	-0,18351	-1,24
2329	$-1,44+0,003*Pre_y-0,231*Pdo_son$	$3,57-0,007*Pre_y$
2409	0,861	1,39
2418	$1,133+0,001*Pre_y$	1,52
2505	$1,3075+0,0005*Pre_y$	$1,66+0,89*Pdo_y$
2610	$0,67+0,0005*Pre_y-0,07*Nao_y$	2,002
2624	$1,79-0,067*Temp_h+0,0009*Pre_y$	$1,77-1,17*Nao_y$

Çizelge 4.14’ de konum ve ölçek parametreleri için matematiksel formülasyonlar çıkarılmıştır. Formüller de örnek olarak konum parametresi aşağıdaki gibi bir denkleme sahip olsun;

$$\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y + \beta_2 * Temp_y \quad (4.1)$$

Bu aşamada β_0 , β_1 ve β_2 parametrelerinin %95 güven aralığında alt ve üst sınırları belirlenip, parametrenin işaret değiştirip değiştirmediği belirlenmiştir. Bu işlem için parametrik olmayan bootstrap yöntemi her bir parametre için 1.000 kez çalıştırılmıştır. Çizelge 4.15’ de parametreler için belirlenen %95 güven aralığında alt ve üst sınırlar verilmiştir. Sonuçlardan görüldüğü üzere parametrelerinin işareti alt ve üst sınırlar içerisinde değişmemektedir.

Çizelge 4.15. Parametrelerin %95 güven aralıkları

İstasyon No	Intercept	μ (95% güven aralıkları)			σ (95% güven aralıkları)		
		β_0	β_1	β_2	β_3	Intercept	σ_0
103	(0,65, 3,4)	(0,0004, 0,005)	—	—	—	(0,61, 0,99)	—
311	(12,86, 24,36)	(-0,0119, -0,006)	—	—	—	(1,05, 1,434)	—
316	(1,83, 6,03)	(-0,342, -0,0162)	(0,014, 0,19)	—	—	(0,71, 1,17)	(0,08, 0,59)
317	(4,07, 7,64)	(0,0003, 0,002)	(-0,25, -0,087)	(-0,24, -0,039)	—	(0,72, 1,2)	—
808	(10,09, 16,29)	(-0,5771, -0,349)	—	—	—	(0,44, 0,82)	—
811	(-2,29, -1,15)	(0,0024, 0,004)	—	—	—	(0,69, 1,04)	—
812	(1,57, 1,95)	(0,0009, 0,0015)	—	—	—	(1,67, 2,06)	—
815	(1,62, 2,38)	(0,0008, 0,0018)	—	—	—	(1,27, 1,63)	—
818	(2,19, 2,3)	(0,0719, 0,3287)	(-0,352, -0,084)	—	—	(-2,98, -2,55)	—
902	(2,92, 3,22)	(0,0004, 0,0009)	—	—	—	(1,99, 2,37)	—
917	(0,34, 1,16)	(0,0004, 0,0017)	—	—	—	(-1,64, -1,21)	—
1203	(20,11, 37,29)	(-0,0184, -0,0098)	—	—	—	(-1,48, -1,17)	—
1218	(-2,91, -0,09)	(0,0009, 0,0086)	—	—	—	(-1,75, -1,25)	—
1221	(5,99, 9,96)	(0,0005, 0,0023)	(-0,335, -0,177)	—	—	(-0,95, -0,67)	—
1222	(1,88, 6,32)	(-0,2741, -0,0701)	—	—	—	(0,30, 0,74)	—
1237	(1,34, 4,74)	(-0,2121, -0,078)	(0,0006, 0,002)	—	—	(1,16, 1,59)	—
1302	(0,57, 3,50)	(0,0007, 0,0024)	(-0,13, -0,018)	—	—	(-2,178, -1,71)	—
1314	(0,52, 5,89)	(0,0007, 0,0035)	(-0,3007, -0,085)	—	—	(-1,083, -0,7)	—
1319	(0,44, 2,97)	(-0,1541, -0,026)	—	—	—	(-1,36, -0,97)	—
1334	(0,31, 0,63)	(0,0002, 0,006)	—	—	—	(7,88, 12,65)	(-0,60, -0,2)
1335	(1,98, 3,6)	(0,0014, 0,003)	(0,05, 0,11)	—	—	(3,16, 4,69)	(-0,001, -0,004)
1340	(3,056, 5,44)	(-0,2145, -0,0718)	—	—	—	(1,06, 1,69)	—
1402	(0,78, 2,23)	(0,0026, 0,0054)	(-0,34, -0,049)	—	—	(-1,15, -0,756)	—
1413	(0,69, 4,79)	(0,0040, 0,0079)	(-0,307, -0,095)	—	—	(0,62, 1,04)	—
1418	(0,96, 2,53)	(0,0004, 0,0021)	(-0,105, -0,023)	—	—	(2,6, 13,9)	(-0,64, -0,05)

Çizelge 4.15. (devam)

1501	(1,75, 5,90)	(0,0008, 0,0043)	(-0,24, -0,02)	—	—	(-11,1, -2,4)	(0,05, 0,57)
1532	(1,62, 5,54)	(0,0022, 0,0048)	(-0,23, -0,02)	—	—	(-7,79, -2,27)	(0,002, 0,016)
1535	(0,1,0,80)	(0,0015, 0,0039)	—	—	—	(-1,63, -1,23)	—
1712	(6,32, 12,39)	(-0,0052, -0,0022)	—	—	—	(-3,87, -3,55)	—
1721	(1,40, 1,50)	(0,0881, 0,239)	(-0,11, -0,04)	—	—	(-3,8, -1,04)	(0,0007, 0,004)
D17A007	(0,67, 0,84)	(0,0098, 0,227)	(-0,16, -0,01)	—	—	(-11,1, -3,9)	(0,215, 0,75)
1801	(1,78, 3,44)	(0,0005, 0,0012)	(-0,607, -0,094)	(-0,04, -0,0135)	—	(-3,45, -1,18)	—
1805	(3,12, 4,8)	(-0,1055, -0,033)	(0,0003, 0,001)	(0,004, 0,151)	—	(1,51, 2,16)	—
1820	(3,75, 7,84)	(-0,3490, -0,174)	(0,001, 0,003)	(0,08, 0,42)	—	(0,8, 1,75)	—
1825	(0,19, 3,11)	(-0,1666, -0,014)	(0,0005, 0,002)	(0,06, 0,205)	—	(-2,21, -1,77)	—
D18A012	(1,32, 5,82)	(-0,3280, -0,134)	(0,0007, 0,004)	(0,04, 0,37)	—	(-0,99, -0,54)	—
2004	(1,43, 2,91)	(0,0015, 0,0037)	(-0,09, -0,027)	—	—	(0,69, 1,177)	—
2006	(2,13, 6,24)	(-0,256, -0,103)	(0,0008, 0,002)	(-0,43, -0,07)	—	(-1,25, -0,97)	—
2007	(1,04, 1,28)	—	—	—	—	(0,47, 1,29)	—
D20A046	(2,14, 6,3)	(-0,26, -0,11)	(0,2, 0,6)	(0,08, 0,31)	—	(0,59, 1,36)	—
2102	(3,5, 7,3)	(-0,21, -0,06)	(0,0008, 0,003)	—	—	(0,69, 2,36)	—
2115	(4,42, 8,98)	(-0,233, -0,063)	(-0,49, -0,177)	—	—	(-1,78, -1,27)	—
2119	(0,19, 2,11)	(0,001, 0,003)	(0,02, 0,088)	—	—	(0,89, 2,76)	—
2122	(1,74, 1,98)	—	—	—	—	(-1,10, -0,7)	—
2124	(1,32, 4,37)	(0,0001, 0,0012)	(-0,108, -0,001)	(0,008, 0,26)	—	(-1,9, -1,63)	—
2133	(2,55, 3,26)	(0,0002, 0,0015)	(-0,1180, -0,034)	—	—	(-2,05, -1,63)	—
2135	(2,70, 5,49)	(-0,2121, -0,092)	(-0,429, -0,177)	—	—	(4,2, 19,77)	(-0,75, -0,10)
2145	(4,2, 6,5)	(-0,26, -0,07)	(0,0004, 0,001)	(-0,23, -0,07)	(0,1, 1,2)	(1,2, 2,4)	—
2149	(2,04, 2,65)	(0,0003, 0,001)	(-0,08, -0,017)	—	—	(-2,10, -1,72)	—
2151	(0,83, 2,15)	(0,0008, 0,003)	(-0,198, -0,02)	—	—	(-1,42, -1,07)	—
2154	(-5,44, -0,15)	(0,0006, 0,004)	(0,0292, 0,27)	—	—	(-1,79, -1,43)	—
2156	(2,34, 3,22)	(0,0008, 0,002)	(0,034, 0,123)	—	—	(-4,46, -4,109)	—

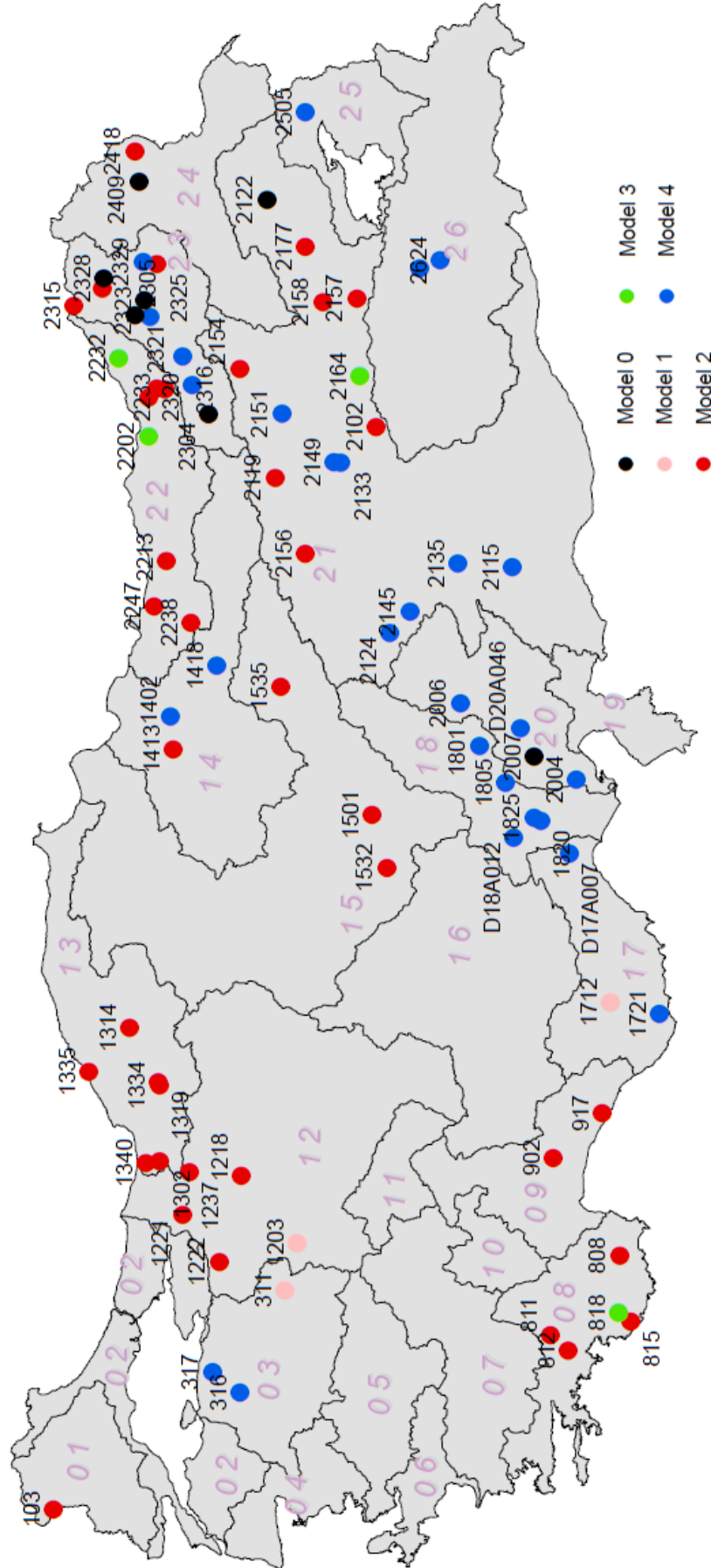
Çizelge 4.15. (devam)

2157	(0,80, 6,13)	(0,0001, 0,002)	(-0,27, -0,049)	—	—	(-1,40, -0,81)	—
2158	(0,21, 2,13)	(0,001, 0,002)	(-0,09, -0,017)	—	—	(-1,98, -1,65)	—
2164	(0,80, 0,93)	(-0,1296, -0,013)	—	—	—	(1,19, 1,7)	—
2177	(2,31, 4,55)	0,0015, 0,035)	(-0,23, -0,09)	—	—	(1,15, 1,89)	—
2202	(0,44, 0,56)	(0,0372, 0,1931)	(-0,17, -0,01)	—	—	(-1,55, -1,2)	—
2213	(1,57, 4,49)	(-0,1940, -0,0347)	—	—	—	(-1,48, -0,95)	—
2215	(0,038, 1,15)	(0,0001, 0,0017)	—	—	—	(-2,45, -2,11)	—
2218	(2,55, 4,48)	(-0,1494, -0,023)	—	—	—	(1,56, 2,01)	—
2232	(2,05, 2,18)	(-0,1443, -0,03)	(-0,147, -0,007)	—	—	(-1,83, -1,46)	—
2233	(-1,86, -0,51)	(0,0098, 0,08)	(0,0004, 0,002)	—	—	(1,62, 2,04)	—
2238	(0,26, 2,32)	(-0,1638, -0,081)	(0,0003, 0,002)	—	—	(1,36, 1,84)	—
2247	(2,59, 5,37)	(-0,2920, -0,108)	—	—	—	(-9,32, -1,68)	(0,03, 0,52)
2304	(1,34, 1,47)	—	—	—	—	(-1,56, -1,17)	—
2305	(1,60, 2,82)	(0,0001, 0,0017)	(-0,12, -0,03)	—	—	(-1,92, -1,51)	—
2315	(2,45, 3,41)	(0,0007, 0,002)	—	—	—	(-2,14, -1,56)	—
2316	(1,06, 2,29)	(0,0001, 0,002)	(-0,16, -0,069)	—	—	(1,51, 1,93)	—
2320	(1,99, 3,42)	(-0,0879, -0,004)	(0,04, 0,152)	—	—	(1,40, 1,93)	—
2321	(0,91, 1,08)	—	—	—	—	(-1,40, -1,06)	—
2322	(2,61, 4,65)	(-0,153, -0,019)	(0,0008, 0,003)	—	—	(-3,99, -3,6)	—
2323	(2,27, 2,46)	—	—	—	—	(0,86, 1,41)	—
2325	(-10,55, -4,89)	(0,007, 0,015)	—	—	—	(1,47, 7,43)	(-0,01, -0,003)
2328	(-0,29, -0,09)	—	—	—	—	(-1,45, -1,02)	—
2329	(-1,96, -0,81)	(0,0019, 0,0054)	(-0,36, -0,169)	—	—	(2,61, 5,04)	(-0,12, -0,003)
2409	(0,79, 0,9292)	—	—	—	—	(1,12, 1,6)	—
2418	(0,58, 1,62)	(0,0004, 0,0023)	—	—	—	(1,26, 1,75)	—
2505	(0,68, 1,72)	(0,0003, 0,0008)	—	—	—	(132, 1,98)	(0,78, 0,92)
2610	(0,52, 0,93)	(0,0001, 0,0007)	(-0,169, -0,012)	—	—	(1,73, 2,2)	—
2624	(0,82, 2,94)	(-0,114, -0,021)	(0,0006, 0,002)	—	—	(1,25, 2,2)	(-1,65, -0,01)

Beş farklı modelin karşılaştırılması sonucunda istasyonlar için belirlenen en iyi modeller şekil 4.16’ da verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi genellikle Model 2 Türkiye’ nin doğusu ve kuzey-güney batısında, Model 4 ise Türkiye’ nin güney batısı ve doğu bölgelerinde ki düşük akımların durağan olmayan modelleri için daha uygundur.

Sonuç olarak en iyi modellerin, dağılımları ve parametrelerin hangi değişkenler ile modellendiği Çizelge 4.16’ da verilmiştir. WEI, GA, IG, IGAMMA ve LOGNO dağılımları sırasıyla 39, 23, 10, 5 ve 3 istasyonda en iyi dağılım olarak seçilmiştir. GG dağılımı hiç bir istasyonda en iyi dağılım olarak seçilmemiştir. Türkiye düşük nehir akım verileri için en uygun dağılımların WEI ve GA dağılımları olduğu sonucu çıkarılabilir.





Şekil 4.16. Düşük nehir akım verileri için belirlenen en iyi modellerin gösterimi

Çizelge 4.16. En iyi modellerin dağılımları ve parametrelerin modellenmesi

İstasyon	Dağılım	μ	σ
103	WEI	Pre_y	sbt
311	WEI	t	sbt
316	WEI	Temp_y+Pdo_i	Pdo_i
317	WEI	Pre_y+Temp_a+Nao_k	sbt
808	WEI	Temp_t	sbt
811	WEI	Pre_y	sbt
812	WEI	Pre_y	sbt
815	WEI	Pre_y	sbt
818	IG	Nao_y+Wmo_k	sbt
902	WEI	Pre_y	sbt
917	GA	Pre_y	sbt
1203	IG	t	sbt
1218	IG	Pre_y	sbt
1221	GA	Pre_y+Temp_a	sbt
1222	WEI	Temp_a	sbt
1237	WEI	Pre_y + Temp_t	Pre_y
1302	IG	Pre_y+Temp_a	sbt
1314	WEI	Pre_y+Temp_a	sbt
1319	GA	Temp_a	sbt
1334	WEI	Pre_a	x ₉
1335	WEI	Pre_y+Temp_a	x ₁
1340	WEI	Temp_e	sbt
1402	GA	Pre_y+Wmo_y	sbt
1413	WEI	Pre_y + Temp_h	sbt
1418	WEI	Pre_y+Temp_a	Temp_a
1501	GA	Pre_y + Temp_h	Temp_h
1532	GA	Pre_y + Temp_h	Pre_y
1535	GA	Pre_y	sbt
1712	IG	t	sbt
1721	GA	Nao_k + Wmo_k	Pre_y
D17A007	GA	So_i + Wmo_yaz	Temp_y
1801	GA	Pre_y+ Temp_e+Nao_k	sbt
1805	WEI	Pre_y+Temp_a+Wmo_y	sbt
1820	WEI	Pre_y+Temp_a+Wmo_y	sbt
1825	GA	Pre_y + Temp_h+Wmo_yaz	sbt
D18A012	LOGNO	Pre_y+Temp_a+ Pdo_y	sbt
2004	WEI	Pre_y+Nao_k	sbt
2006	GA	Pre_y+Temp_a+Nao_y	sbt
2007	WEI	sbt	sbt
D20A046	WEI	Temp_a+ Pdo_y + Wmo_s	sbt

Çizelge 4.16. (devam)

İstasyon	Dağılım	μ	σ
2102	WEI	Pre_y+Temp_a	sbt
2115	GA	Temp_a+Nao_y	sbt
2119	WEI	Pre_y + Temp_t	sbt
2122	GA	sbt	sbt
2124	GA	Pre_y+Temp_a+Wmo_y	sbt
2133	GA	Pre_y + Nao_k	sbt
2135	WEI	Temp_h+Nao_y	Temp_h
2145	WEI	Pre_y+Temp_a+Nao_y+Wmo_y	sbt
2149	IGAMMA	Pre_y+Nao_k	sbt
2151	GA	Pre_y+Nao_yaz	sbt
2154	IG	Pre_y + Temp_e	sbt
2156	IG	Pre_y + Temp_y	sbt
2157	WEI	Pre_y+Temp_t	sbt
2158	GA	Pre_y+Temp_a	sbt
2164	WEI	Nao_k	sbt
2177	GA	Pre_y+Temp_t	sbt
2202	IGAMMA	Pdo_y + Wmo_i	sbt
2213	GA	Temp_a	sbt
2215	IG	Pre_y	sbt
2218	WEI	Temp_h	sbt
2232	GA	Nao_yaz + Wmo_s	sbt
2233	WEI	Pre_y+Temp_a	sbt
2238	WEI	Pre_y + Temp_h	sbt
2247	IGAMMA	Temp_h	Temp_h
2304	GA	sbt	sbt
2305	LOGNO	Pre_y+Nao_k	sbt
2315	IGAMMA	Pre_y	sbt
2316	WEI	Pre_y+Nao_k	sbt
2320	WEI	Temp_a+ Pdo_y	sbt
2321	GA	sbt	sbt
2322	IG	Pre_y + Temp_h	sbt
2323	WEI	sbt	sbt
2325	LOGNO	Pre_y	Pre_y
2328	IGAMMA	sbt	sbt
2329	IG	Pre_y+Pdo_s	Pre_y
2409	WEI	sbt	sbt
2418	WEI	Pre_y	sbt
2505	WEI	Pre_y	x ₁₆
2610	WEI	Pre_y + Nao_y	sbt
2624	WEI	Pre_y + Temp_h	Nao_y

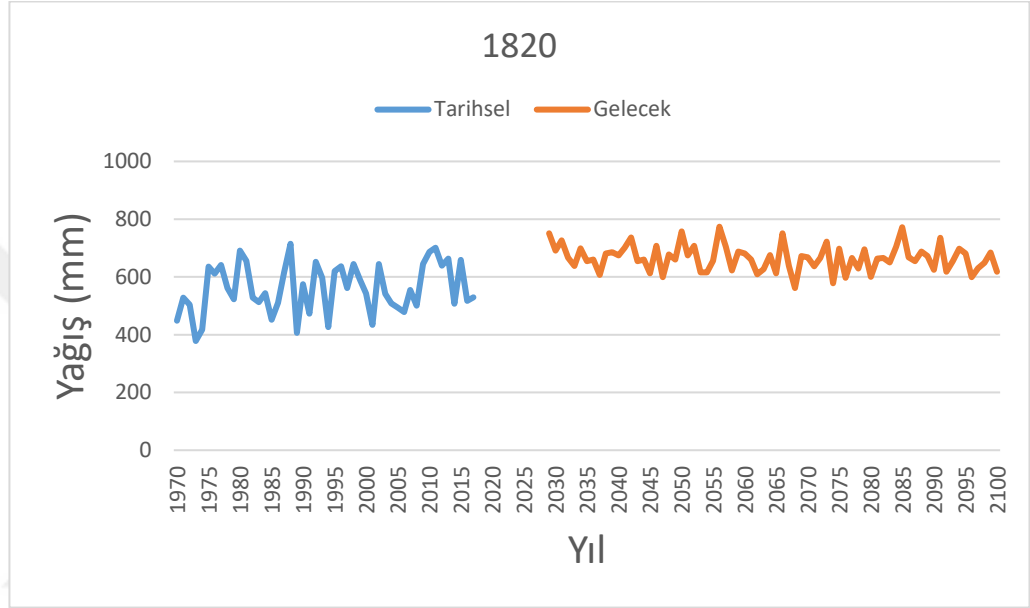
4.6. Durağan Olmayan Modellerde Tarihsel ve İklim Projeksiyon Dönemleri İçin Düşük Akımların Değerlendirilmesi

Çalışmanın bu bölümünde durağan olmayan düşük akımların gelecek (yakın gelecek (2030-2060), uzak gelecek (2070-2100)) ve tarihsel dönemlere ait 20 ve 50 yıl dönüş periyoduna karşılık gelen düşük akım tahminleri değerlendirilmiştir. Durağan olmayan modellemede düşük akım verileri sadece yağış verisi açıklayıcı değişken olarak kullanılarak GAMLSS ile yeniden modellenmiştir. CMIP6 yağış verisi ise GAMLSS modellerinde yerine konularak 20 ve 50 yıl tekerrür periyoduna karşılık gelen düşük akım verileri tahmin edilmiştir. Böylece tarihsel Q20 ve Q50 ile gelecek SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 senaryoları için Q20 ve Q50 sonuçları değerlendirilmiştir. Sadece yağış verisi ile modellemenin nedeni, sonuçlardan görüleceği üzere düşük akımların değişiminde yağışların oldukça etkili olmasıdır. Çalışmanın bu aşamasında durağan olmayan modeller oluşturulurken 1805, 2315, 2505 ve 2624 istasyonları modelleme aşamasında başarısız sonuçlar verdiği için çalışma dışında tutulmuştur. Ayrıca, bazı istasyonların (D18A012, D20A046 ve 2325) düşük akım değerleri küçüktür ve dolayısıyla Q20 ile Q50 değerleri de oldukça küçük çıkmaktadır. Bu nedenden dolayı bu istasyonlarda çalışma dışında tutulmuştur.

Her ne kadar SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 verileri yanlışlığı düzeltilmiş halde indirilmiş ise de akım gözlem istasyonlarının durağan olmayan modellerinde kullanılan yağış verisi ile senaryolardan elde edilen yağış verileri karşılaştırılmıştır. Şekil 4.17’ de örneği verildiği gibi 1820 istasyonunda yanlışlık olduğu açıktır. Gelecek senaryo ile tarihsel dönem yağış verisi arasında oldukça fazla fark vardır. Bu nedenlerden dolayı 11 istasyonda bu aşamada çalışma dışında tutulmuştur. Dolayısıyla çalışmanın bu kısmında 62 akım gözlem istasyonunun düşük akım verisi ile gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak düşük akım verileri Çizelge 4.17’ de görüldüğü gibi yağış değişkeni açıklayıcı değişken olarak kullanılarak yeniden modellenmiştir. 18 istasyonda durağan model daha iyi sonuçlar verirken, 44 istasyonda durağan olmayan modeller daha başarılı sonuçlar sergilemiştir. Çizelgeden görüleceği üzere 1 istasyon haricinde (2007) Filliben katsayısı kabul edilir seviye olan 0,95’ nin üzerindedir. Ek-6 da sadece yağış verisi kullanılarak oluşturulan modellerin worm grafikleri verilmiştir. Grafiklerden görüleceği

üzere 2007 istasyonu haricinde modellerin standart artıkları %95 güven sınırları içerisinde kalmıştır ve bu modellerin kabul edilebilir olduğunu göstermektedir. 2007 istasyonu bu nedenlerden dolayı bu aşamada çalışma dışına tutulmuştur. Ayrıca durağan modele yağış değişkeni eklenince GAIC değerlerinin değişimindeki anlamlılık LR testi ile kontrol edilmiştir. 316 ve 808 istasyonunda LR test p değeri 0,05’ den büyük olduğu için o istasyonlarda durağan modeller seçilmiştir.



Şekil 4.17. 1820 istasyonun modellenmesinde kullanılan yağış verisi ve gelecek yağış verisinin gösterimi.

Çizelge 4.17. Durağan ve durağan olmayan modeller için GAIC, LR test p ve Filliben değerleri.

İstasyon	Model	LR test (p değeri)	GAIC	Filliben
103	Q~WEI[μ, σ]		370,08	0,98
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	0,0102	366,50	0,99
311	Q~WEI[μ, σ]		158,41	0,99
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	9,00E-04	150,51	0,99
316	Q~WEI[μ, σ]		280,92	0,99
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	0,06	280,61	0,99
317	Q~WEI[μ, σ]		417,12	0,99
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	0,008	413,18	0,99
808	Q~WEI[μ, σ]		152,87	0,98
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	3,00E-03	147,17	0,99
811	Q~WEI[μ, σ]		152,60	0,98
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	8,59E-10	118,01	0,99
815	Q~IG[μ, σ]		285,92	0,99
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	0,0001	273,92	0,99
818	Q~IG[μ, σ]		178,50	0,99
	Q~LOGNO[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_h$), σ]	0,051	177,60	0,99
902	Q~WEI[μ, σ]		469,96	0,99
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	6,23E-07	448,12	0,99
1203	Q~IG[μ, σ]		202,04	0,98
	Q~IG[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	1,00E-04	191,17	0,99
1218	Q~IG[μ, σ]		256,64	0,98
	Q~IG[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	0,001	252,49	0,99
1221	Q~GA[μ, σ]		496,92	0,99
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	0,0035	491,41	0,99
1222	Q~WEI[μ, σ]		137,79	0,99
1237	Q~WEI[μ, σ]		115,80	0,99
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	7,00E-03	111,70	0,99
1302	Q~IG[μ, σ]		227,70	0,99
	Q~IG[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	0,00026	217,43	0,99
1319	Q~GA[μ, σ]		23,45	0,99
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_t$), σ]	0,023	21,30	0,98
1334	Q~WEI[μ, σ]		75,01	0,96
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Prep}_a$), $\sigma = \sigma_0 + \sigma_1 * \text{Prep}_a$]	3,00E-04	65,35	0,97
1335	Q~GA[μ, σ]		271,47	0,99
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	7,02E-05	258,67	0,98
1340	Q~WEI[μ, σ]		131,37	0,99
1413	Q~WEI[μ, σ]		394,26	0,99
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	5,64E-07	372,23	0,99

Çizelge 4.17. (devam)

1501	Q~WEI[μ, σ]		355,00	0,99
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	9,69E-05	342,80	0,99
1532	Q~GA[μ, σ]		230,30	0,98
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	0,0031	224,50	0,98
1712	Q~IG[μ, σ]		99,48	0,98
1721	Q~GA[μ, σ]		133,10	0,99
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	0,0005	124,20	0,98
D17A007	Q~GA[μ, σ]		92,88	0,99
1801	Q~IG[μ, σ]		202,43	0,99
	Q~IG[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	2,36E-05	187,50	0,99
2006	Q~GA[μ, σ]		180,30	0,99
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	9,47E-06	163,60	0,99
2007	Q~WEI[μ, σ]		153,99	0,92
2102	Q~WEI[μ, σ]		300,04	0,99
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	1,93E-06	280,38	0,99
2115	Q~GA[μ, σ]		200,94	0,99
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	0,002	194,90	0,99
2119	Q~GA[μ, σ]		404,80	0,99
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	1,49E-07	382,21	0,99
2122	Q~GA[μ, σ]		204,38	0,99
2124	Q~GA[μ, σ]		126,35	0,99
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	0,008	122,30	0,99
2133	Q~IG[μ, σ]		273,80	0,99
	Q~IG[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	0,0002	263,60	0,98
2135	Q~WEI[μ, σ]		70,63	0,99
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	1,58E-05	54,90	0,99
2145	Q~GA[μ, σ]		255,38	0,99
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	0,0001	243,50	0,99
2149	Q~IGAMMA[μ, σ]		266,80	0,98
	Q~IG[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	1,16E-05	250,60	0,99
2151	Q~GA[μ, σ]		327,70	0,98
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	0,0004	318,40	0,99
2154	Q~IG[μ, σ]		137,78	0,99
	Q~IG[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	0,03	136,14	0,99
2156	Q~IG[μ, σ]		331,90	0,99
	Q~IG[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	2,82E-05	317,36	0,99
2157	Q~WEI[μ, σ]		100,50	0,98
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	0,0002	91,13	0,98
2158	Q~WEI[μ, σ]		82,30	0,99
	Q~IGAMMA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	1,54E-07	57,80	0,99
2164	Q~WEI[μ, σ]		93,91	0,99
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre}_y$), σ]	0,0003	84,25	0,99

Çizelge 4.17. (devam)

2177	Q~GA[μ, σ]		131,16	0,99
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y$), σ]	0,0001	120,06	0,98
2202	Q~IGAMMA[μ, σ]		77,69	0,99
2213	Q~GA[μ, σ]		100,56	0,99
2215	Q~IG[μ, σ]		108,21	0,99
	Q~IG[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y$), σ]	0,024	106,13	0,99
2218	Q~WEI[μ, σ]		223,18	0,99
2232	Q~GA[μ, σ]		210,20	0,99
2233	Q~GA[μ, σ]		22,45	0,99
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y$), σ]	0,01	19,14	0,98
2238	Q~WEI[μ, σ]		37,23	0,99
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y$), σ]	0,01	34,55	0,99
2247	Q~GA[μ, σ]		121,15	0,99
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_h$), σ]	0,01	118,30	0,99
2304	Q~GA[μ, σ]		164,27	0,99
2305	Q~IGAMMA[μ, σ]		264,96	0,99
	Q~IGAMMA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y$), $\sigma = \sigma_0 + \sigma_1 * Pre_y$]	0,002	258,60	0,99
2316	Q~GA[μ, σ]		243,50	0,98
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y$), σ]	0,04	242,30	0,98
2320	Q~WEI[μ, σ]		187,10	0,99
2321	Q~GA[μ, σ]		111,43	0,99
2323	Q~WEI[μ, σ]		250,34	0,98
2328	Q~IGAMMA[μ, σ]		13,64	0,99
2329	Q~GA[μ, σ]		135,4	0,99
	Q~IGAMMA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y$), σ]	0,0004	117,2	0,99
2409	Q~WEI[μ, σ]		97,55	0,99
2418	Q~WEI[μ, σ]		166,74	0,99
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y$), σ]	0,004	161,49	0,99

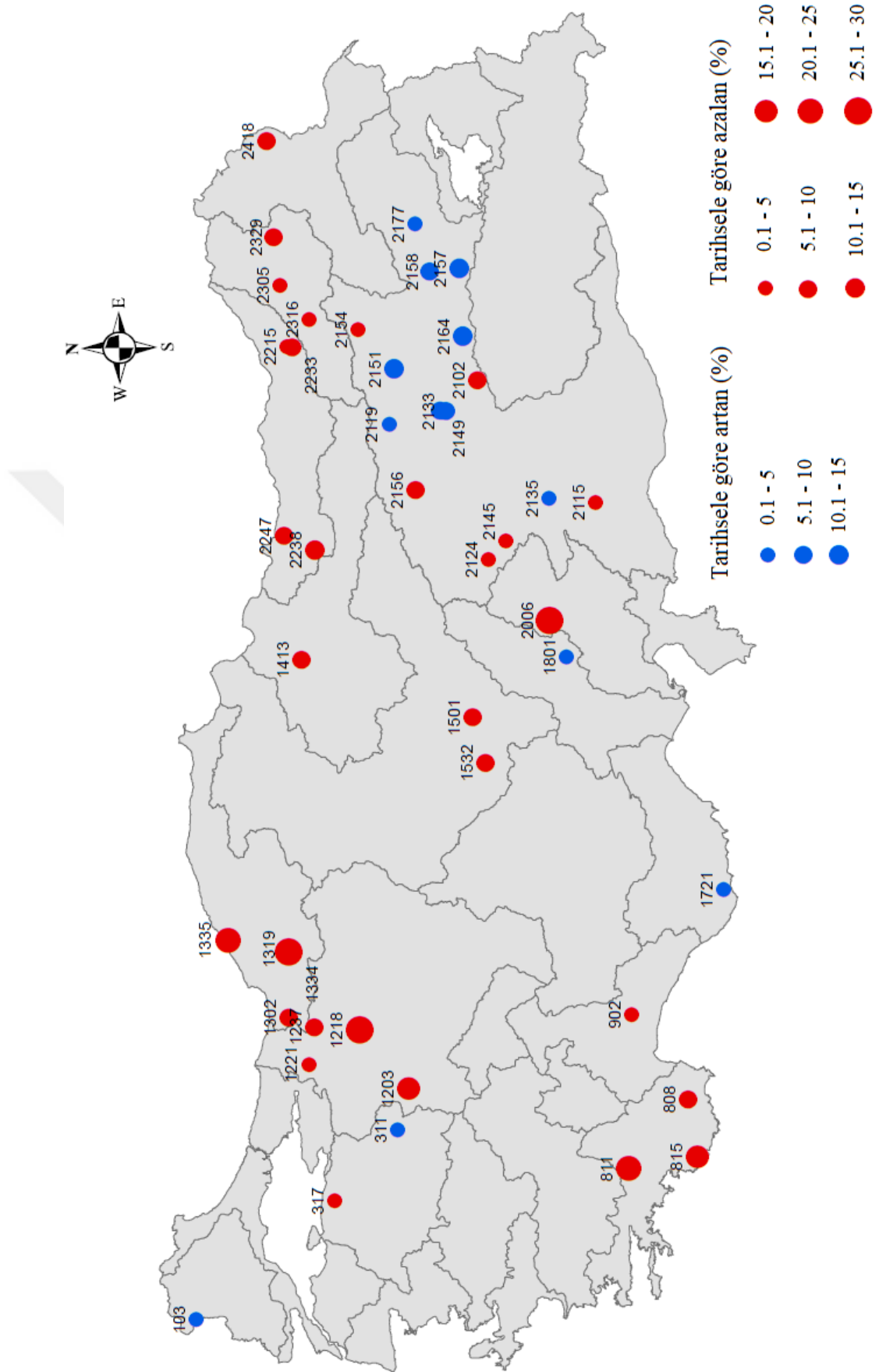
Durağan olmayan şartlar altında modellenen 44 istasyonun GAMLSS modellerine, Çizelge 3.3’ de Bağcaci et al. (2021) tarafından Türkiye için uygun olan 8 (ACCESS-CM2, GFDL-ESM4, HadGEM3-GC31-LL, MIROC6, EC-Earth3, EC-Earth3-Veg-LR, MPI-ESM1-2-HR, MRI-ESM2-0) CMIP6 modelinin yağış verisinin ortalaması alınarak dahil edilmiştir. Ortalama alınarak her hangi bir modelde yanlışlık var ise bu durumun önüne geçilmeye çalışılmıştır. Böylece GAMLSS modellerinden gelecek için Q20 ve Q50 değerleri elde edilmiştir. Ayrıca tarihsel dönem için de durağan olmayan modellerden Q20 ve Q50 değerleri elde edilerek tarihsel ve gelecek dönemler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar hem SSP5-85 hem de SSP2-4.5 için sunulmuştur. Herhangi bir dönem için hesaplanan Q20 ve Q50 değerlerinin ortalaması alınarak gelecek ve tarihsel dönem için yüzde farkının sonuçları haritalar ile verilmiştir. EK-7’ de örnek olması açısından bazı istasyonların tarihsel ve gelecek dönemlerinde SSP5-85 ve SSP2-4.5 durumu için Q20 ve Q50 grafikleri sunulmuştur.

Şekil 4.18 ve 4.19’ da yakın ve uzak gelecek durumunda Q20 için SSP5-85 sonuçları verilmiştir. Şekil 4.18’ de görüleceği üzere, yakın gelecek durumunda 13 istasyonda tarihsel döneme kıyasla düşük akımlarda artışlar görülürken, 31 istasyonda azalışlar görülmüştür. 2157 (%13,53) istasyonunda maksimum artış ve 103 (%0,04) istasyonunda minimum artış farkı gözlenmiştir. Diğer taraftan 1334 (%29,73) istasyonunda maksimum azalış ve 2154 (0,6) istasyonunda minimum azalış farkı gözlenmiştir. Uzak gelecek durumunda, 5 istasyonda tarihsel döneme kıyasla düşük akımlarda artışlar görülürken, 39 istasyonda azalışlar görülmüştür. 2151 (%6,27) istasyonunda maksimum artış ve 2149 (%1,75) istasyonunda minimum artış farkı gözlenmiştir. Diğer taraftan 811 (%40,95) istasyonunda maksimum azalış ve 2158 (0,09) istasyonunda minimum azalış farkı gözlenmiştir (Şekil 4.19).

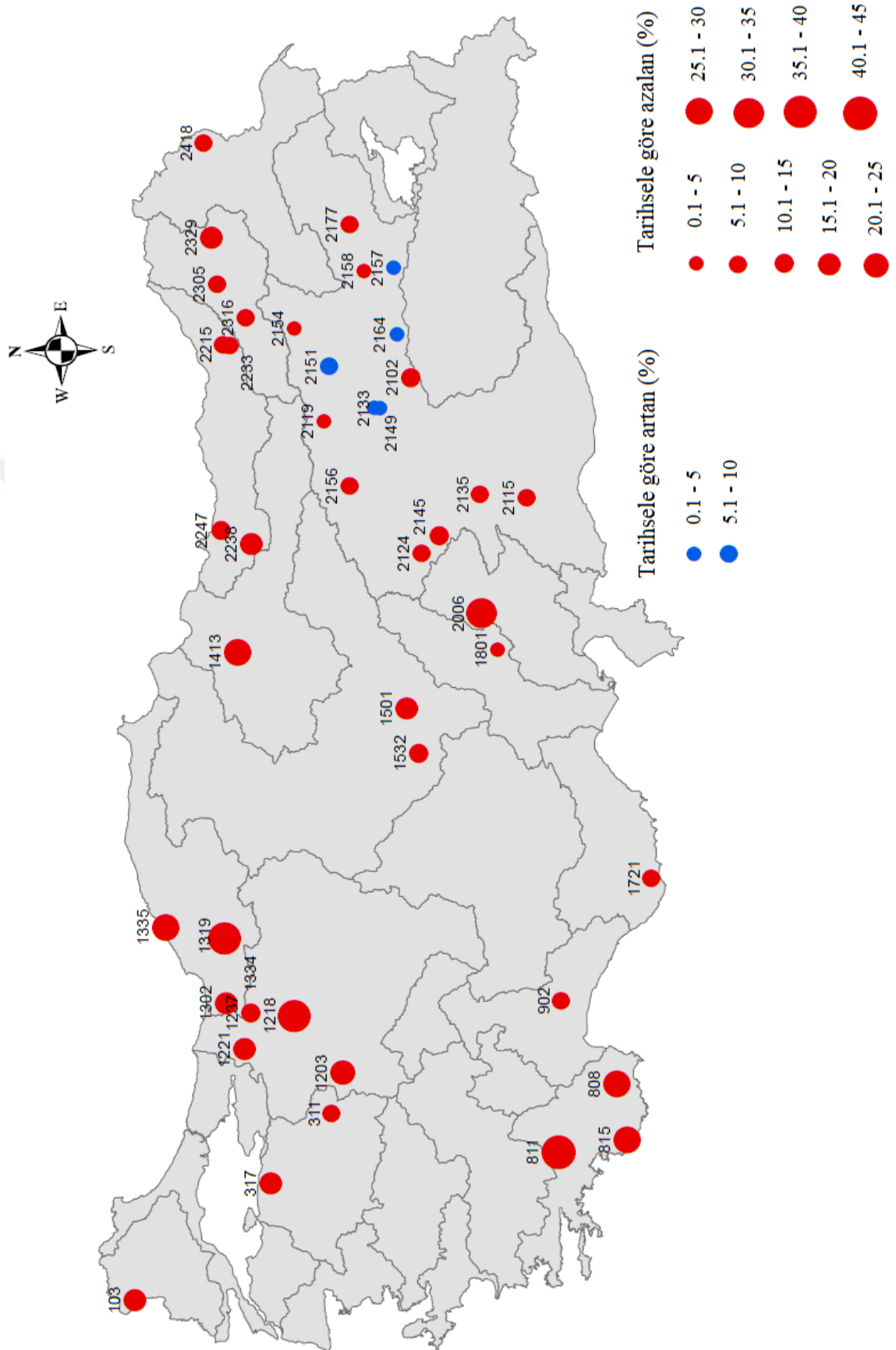
Sonuçlara göre, SSP5-85 senaryosu altında 20 yıl dönüş aralıklarına karşılık gelen düşük akım değerlerinin, yakın ve uzak gelecek durumunda sırasıyla 13 ve 5 istasyon haricinde azalma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Özellikle ülkenin kuzey batı bölümünde düşük akımlardaki azalma eğilimi daha belirgindir. Sonuçlar, bu bölgelerde gelecekte kuraklık şartlarının yaşanabileceğini göstermektedir. Tam tersi durum olarak özellikle yukarı Fırat havzasında 20 yıl dönüş aralıklarına karşılık gelen düşük akım

değerlerinin artacağı görülmektedir. Bu bölgede kuraklık olaylarının sıklığının az olması n görülmektedir.





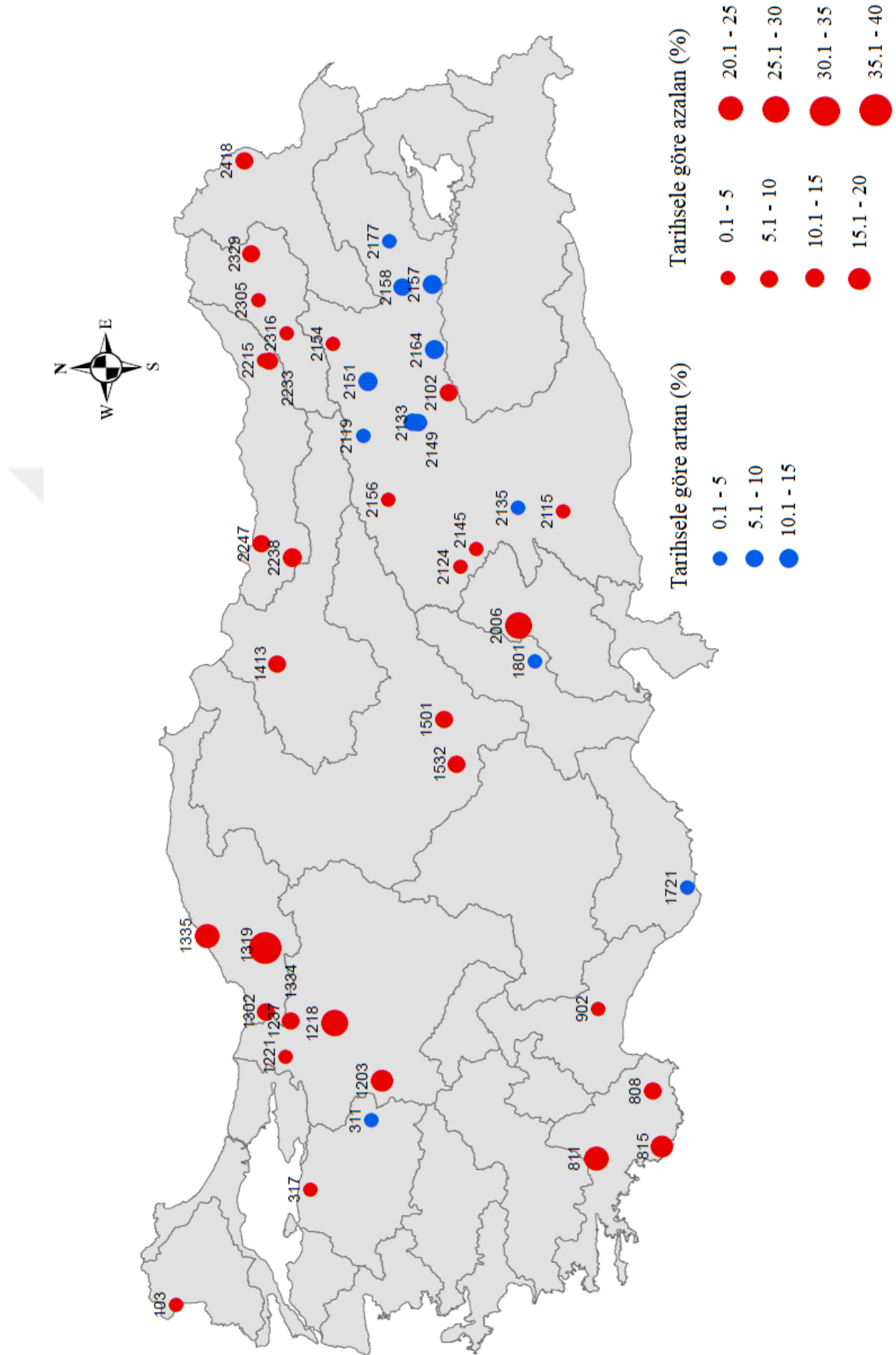
Şekil 4.18. SSP5-85 senaryosu altında 20 yıl geri dönüş süresi için tarihsel ve yakın gelecek dönemi (2030-2060) arasındaki yüzdelik farkların gösterimi.



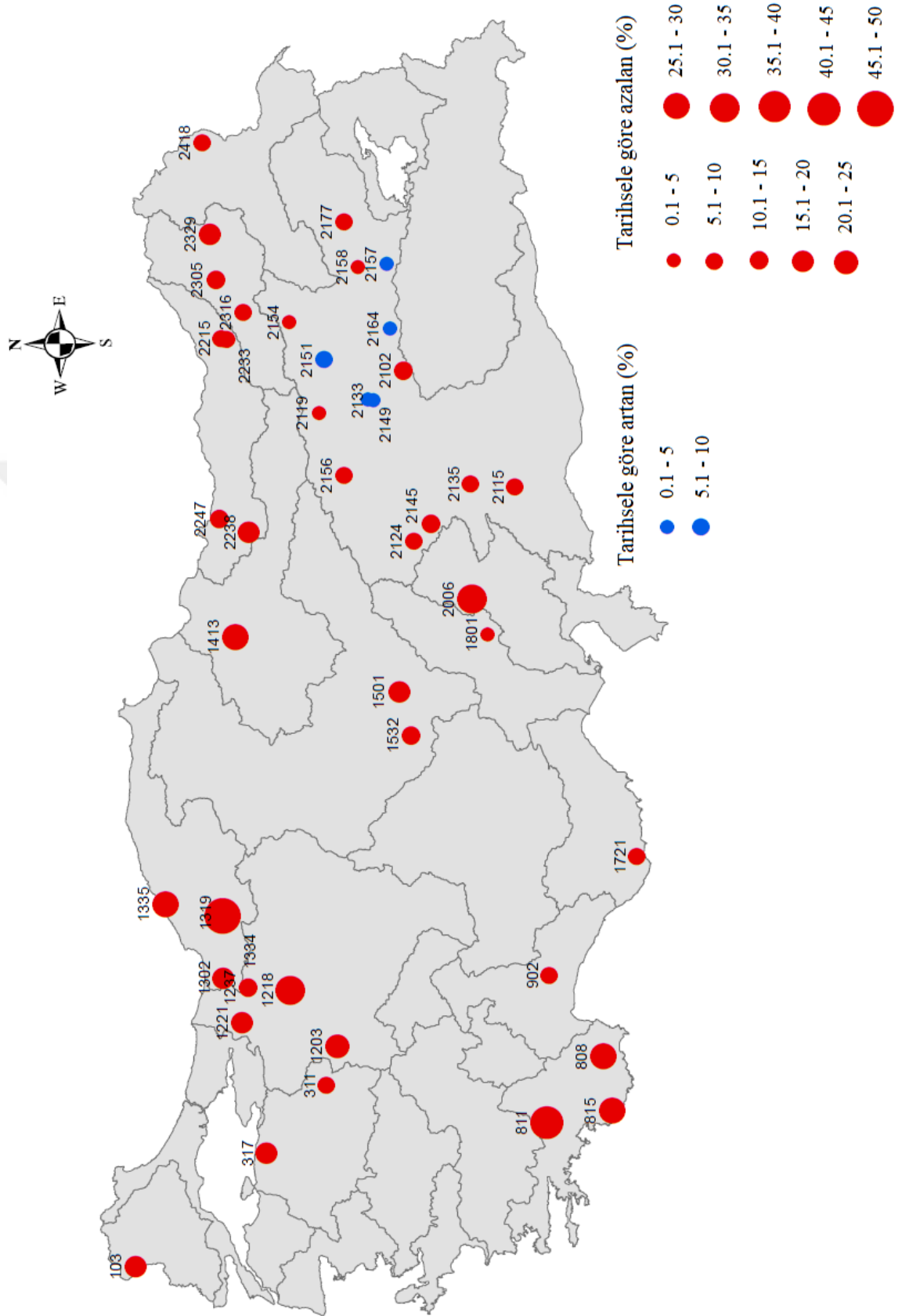
Şekil 4.19. SSP5-85 senaryosu altında 20 yıl geri dönüş süresi için tarihsel ve uzak gelecek dönemi (2070-2100) arasındaki yüzdelik farkların gösterimi.

Şekil 4.20 ve 4.21’ de yakın ve uzak gelecek durumunda Q50 için SSP5-85 sonuçları verilmiştir. Şekil 4.20’ de görüleceği üzere, yakın gelecek durumunda 12 istasyonda tarihsel döneme kıyasla düşük akımlarda artışlar görülürken, 32 istasyonda azalışlar görülmüştür. 2157 (% 13,62) istasyonunda maksimum artış ve 1721 (% 0,27) istasyonunda minimum artış farkı gözlenmiştir. Diğer taraftan 1334 (% 35,87) istasyonunda maksimum azalış ve 103 (0,03) istasyonunda minimum azalış farkı gözlenmiştir. Uzak gelecek durumunda, 5 istasyonda tarihsel döneme kıyasla düşük akımlarda artışlar görülürken, 39 istasyonda azalışlar görülmüştür. 2151 (% 6,16) istasyonunda maksimum artış ve 2149 (% 1,68) istasyonunda minimum artış farkı gözlenmiştir. Diğer taraftan 1334 (% 47,07) istasyonunda maksimum azalış ve 2158 (0,11) istasyonunda minimum azalış farkı gözlenmiştir (Şekil 4.21).

Sonuçlara göre, SSP5-85 senaryosu altında 50 yıl dönüş aralıklarına karşılık gelen düşük akım değerlerinin, yakın ve uzak gelecek durumunda sırasıyla 12 ve 5 istasyon haricinde azalma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Q20 durumunda olduğu gibi özellikle ülkenin kuzey batı bölümünde düşük akımlardaki azalma eğilimi daha belirgindir. Sonuçlar bu bölgelerde gelecekte kuraklık şartlarının yaşanabileceğini göstermektedir. Tam tersi durum olarak özellikle yukarı Fırat havzasında 50 yıl dönüş aralıklarına karşılık gelen düşük akım değerlerinin artacağı görülmektedir. Bu bölgede kuraklık olaylarının sıklığının az olması ön görülmektedir.



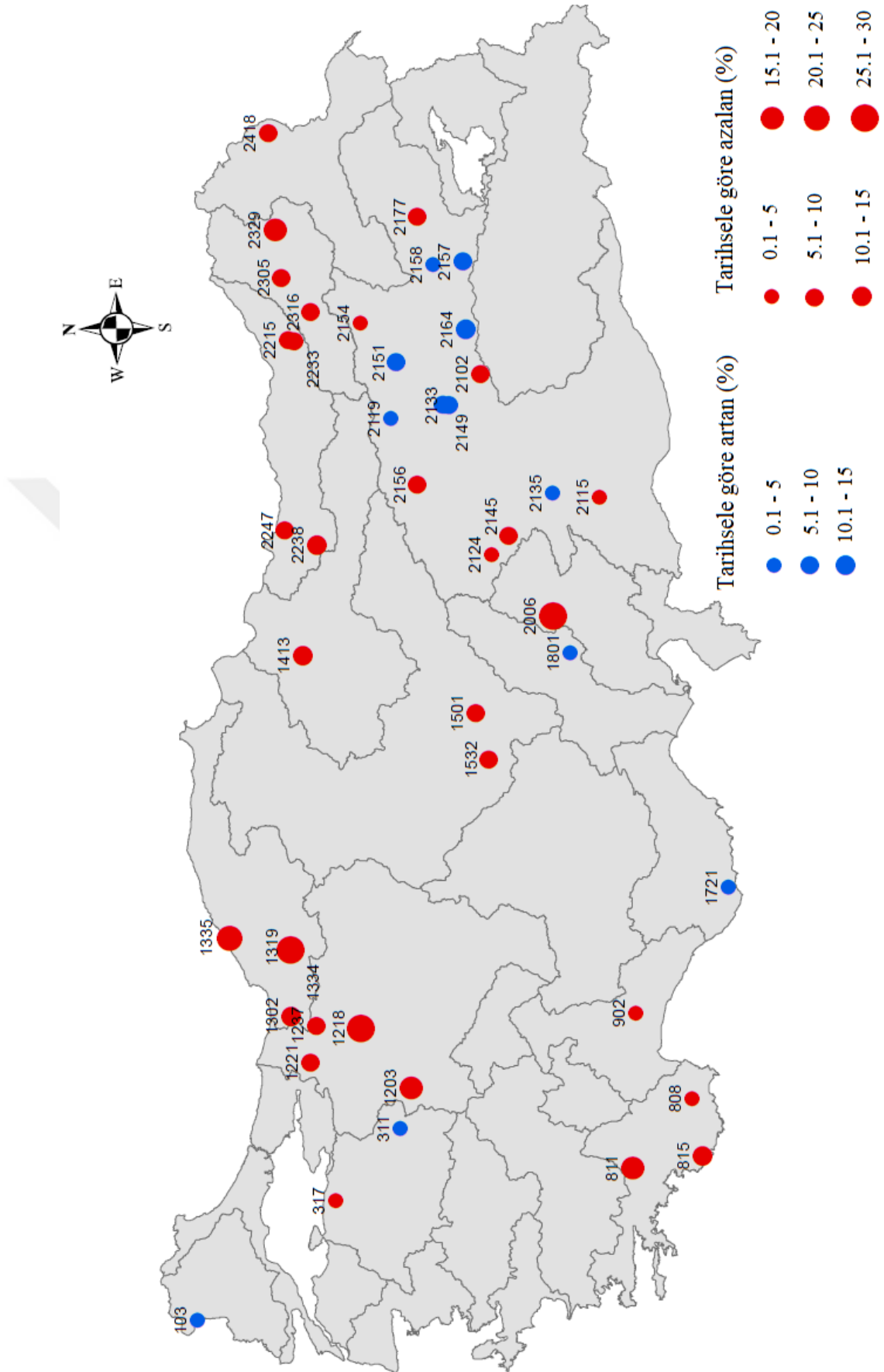
Şekil 4.20. SSP5-85 senaryosu altında 50 yıl geri dönüş süresi için tarihsel ve yakın gelecek dönemi (2030-2060) arasındaki yüzdelik farkların gösterimi.



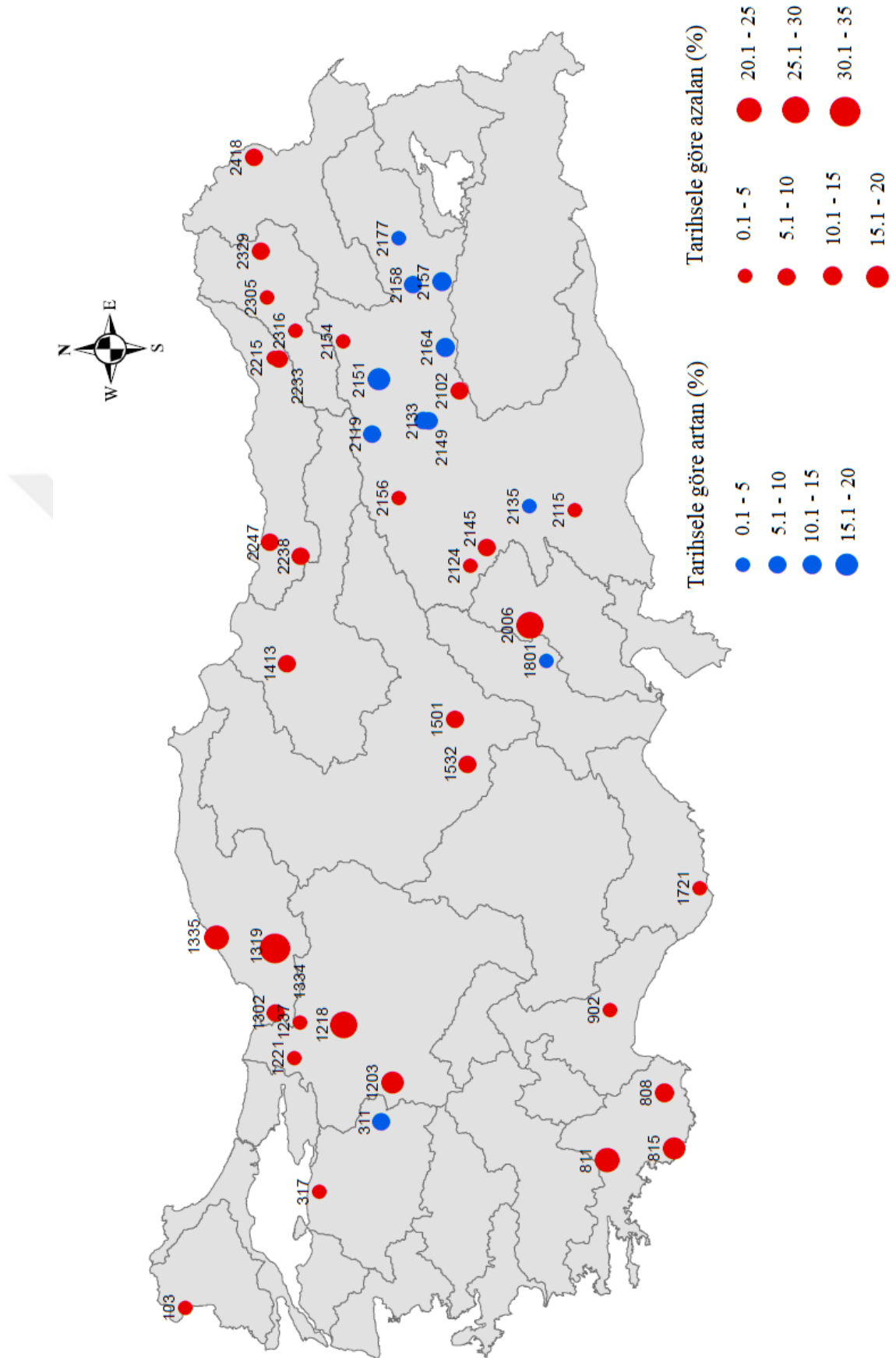
Şekil 4.21. SSP5-85 senaryosu altında 50 yıl geri dönüş süresi için tarihsel ve uzak gelecek dönemi (2070-2100) arasındaki yüzdelik farkların gösterimi.

Şekil 4.22 ve 4.23’ de yakın ve uzak gelecek durumunda Q20 için SSP5-45 sonuçları verilmiştir. Şekil 4.22’ de görüleceği üzere, yakın gelecek durumunda 12 istasyonda tarihsel döneme kıyasla düşük akımlarda artışlar görülürken, 32 istasyonda azalışlar görülmüştür. 2164 (% 10,44) istasyonunda maksimum artış ve 2119 (% 0,83) istasyonunda minimum artış farkı gözlenmiştir. Diğer taraftan 1218 (%29,10) istasyonunda maksimum azalış ve 808 (2,55) istasyonunda minimum azalış farkı gözlenmiştir. Uzak gelecek durumunda, 11 istasyonda tarihsel döneme kıyasla düşük akımlarda artışlar görülürken, 33 istasyonda azalışlar görülmüştür. 2151 (% 15,18) istasyonunda maksimum artış ve 2177 (% 1,19) istasyonunda minimum artış farkı gözlenmiştir. Diğer taraftan 1334 (% 32,57) istasyonunda maksimum azalış ve 2154 (0.03) istasyonunda minimum azalış farkı gözlenmiştir (Şekil 4.23).

Sonuçlara göre, SSP5-45 senaryosu altında 20 yıl dönüş aralıklarına karşılık gelen düşük akım değerlerinin, yakın ve uzak gelecek durumunda sırasıyla 12 ve 11 istasyon haricinde azalma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Özellikle ülkenin kuzey batı bölümünde düşük akımlardaki azalma eğilimi daha belirgindir. Sonuçlar bu bölgelerde gelecekte kuraklık şartlarının yaşanabileceğini göstermektedir. Tam tersi durum olarak özellikle yukarı Fırat havzasında 20 yıl dönüş aralıklarına karşılık gelen düşük akım değerlerinin artacağı görülmektedir. Bu bölgede kuraklık olaylarının sıklığının az olması ön görülmektedir.



Şekil 4.22. SSP5-45 senaryosu altında 20 yıl geri dönüş süresi için tarihsel ve yakın gelecek dönemi (2030-2060) arasındaki yüzdelik farkların gösterimi.

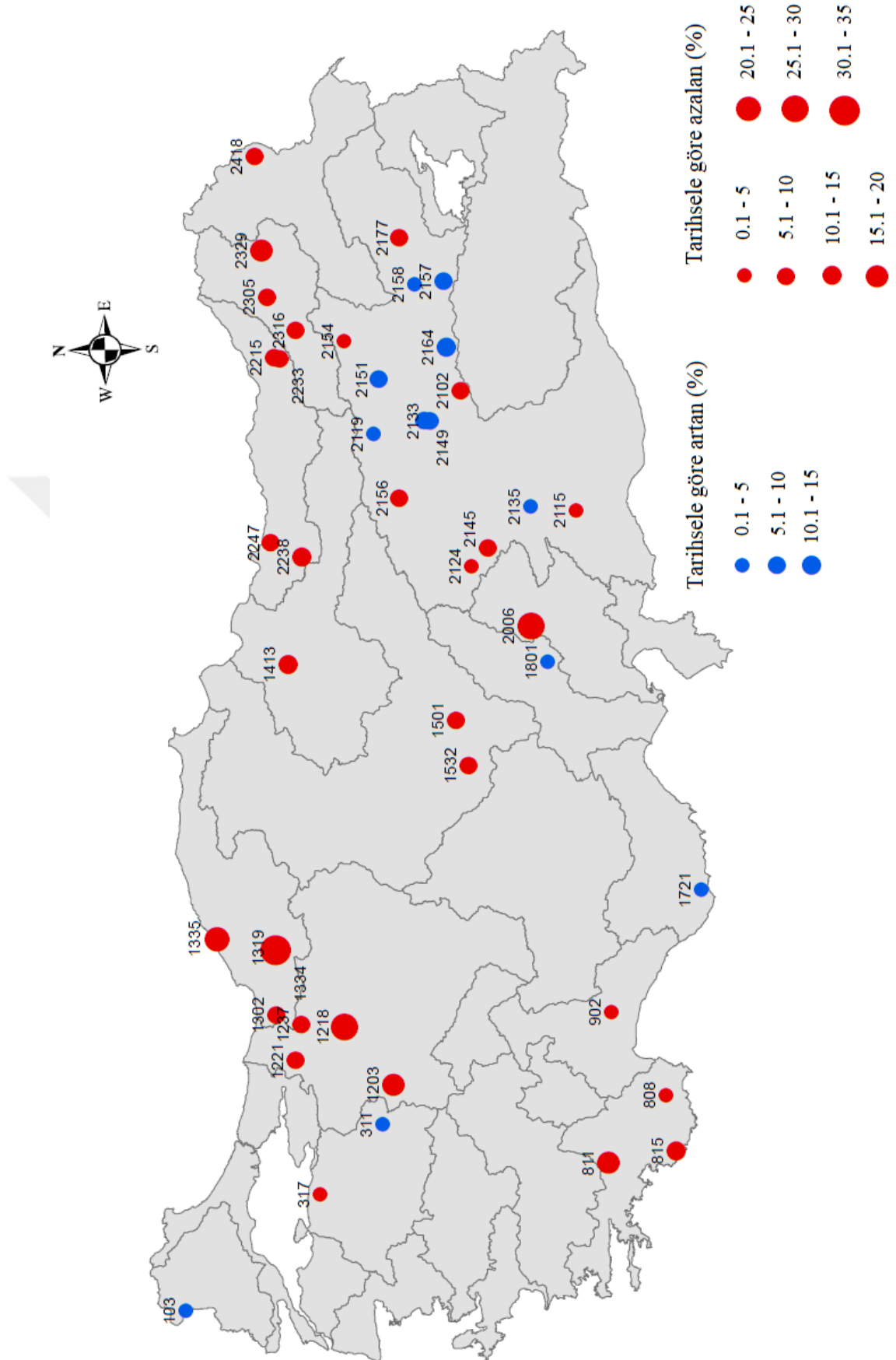


Şekil 4.23. SSP5-45 senaryosu altında 20 yıl geri dönüş süresi için tarihsel ve uzak gelecek dönemi (2070-2100) arasındaki yüzdelik farkların gösterimi.

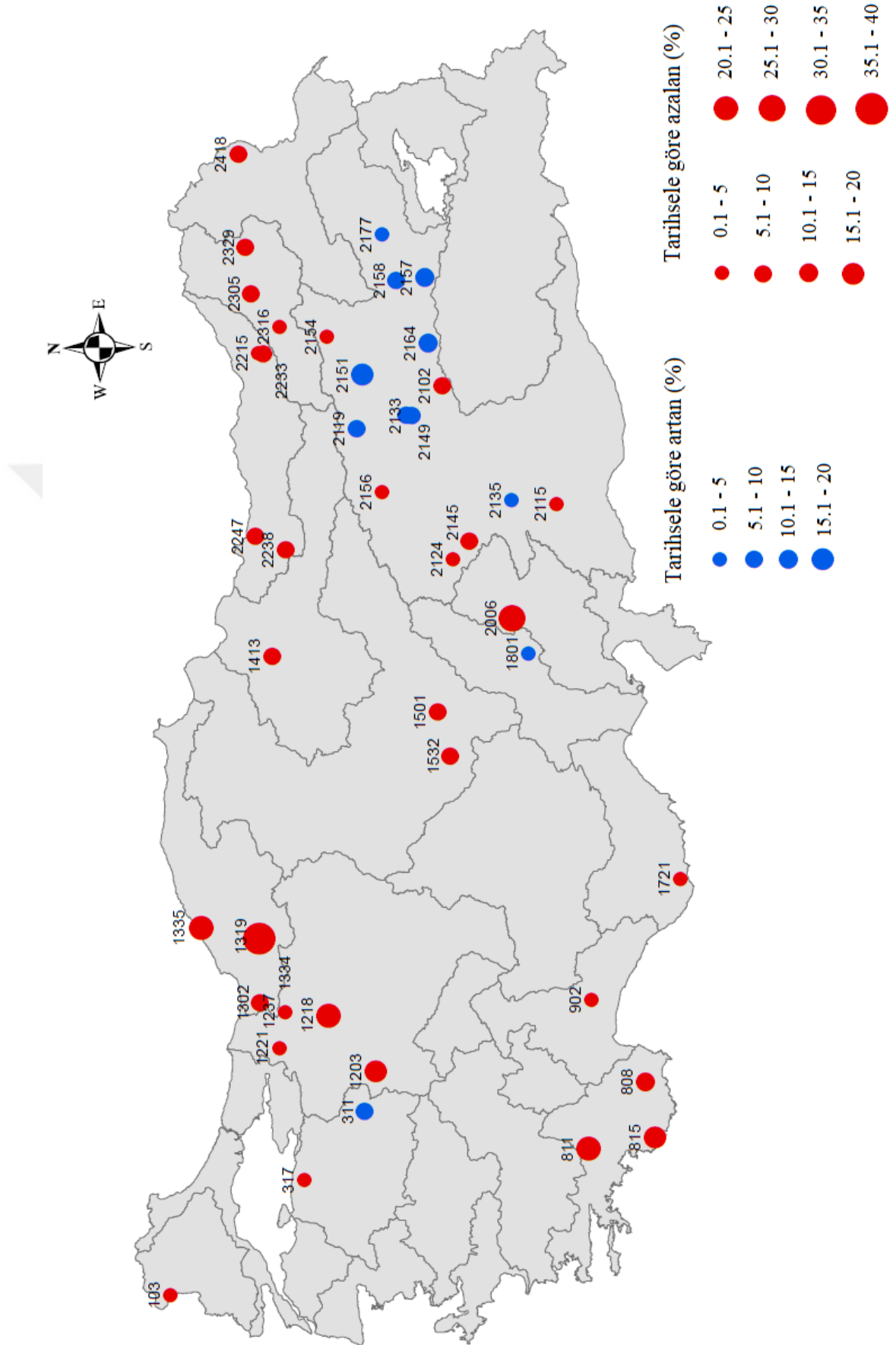
Şekil 4.24 ve 4.25’ de yakın ve uzak gelecek durumunda Q50 için SSP5-45 sonuçları verilmiştir. Şekil 4.24’ de görüleceği üzere, yakın gelecek durumunda 12 istasyonda tarihsel döneme kıyasla düşük akımlarda artışlar görülürken, 32 istasyonda azalışlar görülmüştür. 2164 (%10,43) istasyonunda maksimum artış ve 2119 (%0,81) istasyonunda minimum artış farkı gözlenmiştir. Diğer taraftan 1334 (%34,05) istasyonunda maksimum azalış ve 808 (2,34) istasyonunda minimum azalış farkı gözlenmiştir. Uzak gelecek durumunda, 11 istasyonda tarihsel döneme kıyasla düşük akımlarda artışlar görülürken, 33 istasyonda azalışlar görülmüştür. 2151 (%15,14) istasyonunda maksimum artış ve 2177 (%1,17) istasyonunda minimum artış farkı gözlenmiştir. Diğer taraftan 1334 (%39,09) istasyonunda maksimum azalış ve 2154 (0,24) istasyonunda minimum azalış farkı gözlenmiştir (Şekil 4.25).

Sonuçlara göre, SSP5-45 senaryosu altında 50 yıl dönüş aralıklarına karşılık gelen düşük akım değerlerinin, yakın ve uzak gelecek durumunda sırasıyla 12 ve 11 istasyon haricinde azalma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Özellikle ülkenin kuzey batı bölümünde düşük akımlardaki azalma eğilimi daha belirgindir. Sonuçlar bu bölgelerde gelecekte kuraklık şartlarının yaşanabileceğini göstermektedir. Tam tersi durum olarak özellikle yukarı Fırat havzasında 50 yıl dönüş aralıklarına karşılık gelen düşük akım değerlerinin artacağı görülmektedir. Bu bölgede kuraklık olaylarının sıklığının az olması ön görülmektedir.

8 farklı haritanın sonuçlarından görüleceği üzere yukarı Fırat havzasındaki istasyonlarda düşük akımlarda artışlar beklenmektedir. Çalışmanın bulguları, Aziz ve Yücel (2023) tarafından yapılan çalışmanın sonuçları ile benzerdir. Çalışmalarında yukarı Fırat havzasında hidrolojik model kullanarak senaryolar altında gelecek dönem için akım verilerini tahmin etmişlerdir. Tarihsel ve gelecek dönem için Q100 değerlerini karşılaştırmışlardır. Sonuçları yukarı Fırat havzasında bulunan istasyonların düşük akımlarında gelecek dönemde artış olacağını göstermektedir.



Şekil 4.24. SSP5-45 senaryosu altında 50 yıl geri dönüş süresi için tarihsel ve yakın gelecek dönemi (2030-2060) arasındaki yüzdelik farkların gösterimi.



Şekil 4.25. SSP5-45 senaryosu altında 50 yıl geri dönüş süresi için tarihsel ve uzak gelecek dönemi (2070-2100) arasındaki yüzdelik farkların gösterimi.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yılın kurak dönemlerinde bir nehirdeki minimum akım olarak tanımlanan düşük akımlar, su temini, su kalitesi, su yapılarının projelendirilmesi ve ekosistem üzerinde doğrudan etkileri olan nehir akışı rejiminin önemli bir parçasıdır. Düşük nehir akım verilerindeki değişimlerin nedenlerinin araştırılması ve frekans analizi çalışmaları su kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından oldukça önemlidir. Bu nedenlerden dolayı çalışma kapsamında düşük akımlardaki değişimler, bu değişimlere neden olan başlıca iklimsel faktörler ve iklim senaryoları altında gelecekte düşük akımların tarihsel döneme göre olan değişimleri ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Bu amaç için çalışma kapsamında 6 aşama gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, çalışmada kullanılacak akım istasyonları veri tabanlarının oluşturulması amaçlanmıştır ve bu istasyonlardaki eksik gözlemlerin Klasik Regresyon Analizi (LR), Yapay Sinir Ağları (YSA), Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS), Destek Vektör Makinesi (SVM), K-En Yakın Komşuluk (KNN) ve Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (MARS) yöntemleri ile tahmin edilerek kesintisiz veri setleri ortaya çıkarılmıştır. Eksik veri analizinde 6 farklı yöntem ve 4 farklı (RMSE, KGE, MAE ve R^2) seçim kriteri kullanılmıştır. Sonuçlar, Türkiye nehir havzalarında eksik verileri tamamlamak için en uygun yöntem olarak tek bir yöntemin belirlenemeyeceğini göstermektedir. Bununla birlikte, MARS ve SVM yöntemleri daha tutarlı sonuçlar verirken, LR ve KNN en az seçilen yöntemler olarak belirlenmiştir. KGE ve R^2 seçim kriterleri açısından en başarılı model sonuçlarına bakıldığında sonuçlar genel olarak başarılıdır. Özellikle Türkiye'nin kuzey ve güneyinde eksik akım tahmininde oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bunun nedeni dağlık bölgelerdeki topoğrafya ve havzada birbirine yakın istasyon sayısının fazla olması olabilir.

Çalışmada gerçekleştirilen ikinci aşama ise eksik verisi tamamlanmış verilerin 7 günlük düşük akım verilerinin elde edilmesi ve elde edilen verilerin homojenlik kontrollerinin yapılmasıdır. Çalışma da 155 akım gözlem istasyonunun 7 günlük düşük akımları elde edildikten sonra 51 istasyonunun kuru dönemlerinin fazla olmasından dolayı çalışma dışında bırakılmıştır. Geriye kalan 104 adet istasyondaki 7 günlük düşük akım değerleri Standart Normal Homojenlik (SNHT), Pettitt ve Buishand testlerine tabi tutulmuştur. Belirtilen testler bir ön analiz olarak düşünülmüştür. En az iki teste göre

homojen olmayan istasyonların verileri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu istasyonlar akım yıllıkları kitaplarından tek tek incelenmiş ve hidrograflarına bakılmıştır. Eğer insan kaynaklı bir etki var ise o istasyon çalışma dışında bırakılmıştır. Sonuç olarak nihai karara akım yıllıkları kitapları ve hidrograflara bakılarak verilmiştir. SNHT testine göre 104 istasyonun 71 tanesi homojen olmayan kayıtlar içermektedir. Pettitt testine göre 63 istasyondaki kayıtlar homojen değildir. Buishand testine göre ise 72 adet istasyondaki kayıtlar homojen değildir. 60 istasyon ise her üç teste göre de homojen olmayan istasyonlardır. İstatistiki yöntemler, akım gözlem kitaplarındaki araştırmalar ve hidrografların incelenmesi neticesinde 16 istasyonun homojen olmadığı sonucuna varılmıştır.

Çalışmanın üçüncü aşaması, homojen 7 günlük düşük akım verilerinin içsel bağımlılıkları incelenerek Mann-Kendall (MK) veya Modifiye edilmiş Mann-Kendall (mMK) testleri ile trendlerinin araştırılmasıdır. Sonuçlara göre, $\alpha=0,05$ anlam seviyesinde, 4 istasyonda istatistiksel olarak anlamlı artan trend, 35 istasyonda anlamlı azalan trend ve 49 istasyonda ise anlamlı trendler bulunamamıştır. Ayrıca, trend eğiliminin büyüklüğünü araştırmak için Sen' in trend eğim metodu kullanılmıştır ve sonuçlara göre trend eğiliminin büyüklüğü -0,47 ile 0,36 arasında değişmektedir. Sonuç itibariyle düşük akımların trenlerinde azalma eğilimi gözlenmiştir.

Çalışmada gerçekleştirilen dördüncü aşaması ise düşük akımlardaki değişimlere sebep olan iklimsel faktörlerin ayrıntılı olarak araştırılmasıdır. Düşük akım değişiklikleri üzerinde iklim değişkenlerinden sıcaklık ve yağış ile büyük ölçekli iklim faktörlerinden Kuzey Atlantik Salınımı (NAO), Güneyli Salınımı (SO), Pasifik Decadal Salınımı (PDO) ve Batı Akdeniz Salınımı' nın (WeMO) olası etkilerinin değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Düşük akımların gözlemlendiği Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ayları ve yıllık dönemde ortalama sıcaklık ve toplam yağış verisi hesaplanmıştır. Atmosferik salınım indisleri ise mevsimsel ve yıllık olarak elde edilmiştir. Düşük akımlar üzerinde yukarıda bahsedilen iklimsel faktörlerin etkilerinin değerlendirilmesi Spearman testi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Korelasyon sonuçları, sıcaklık ve yağış verilerinde belirtilen dört ay ve yıllık zaman için, atmosferik salınım indislerinde ise mevsimsel ve yıllık dönem için haritalandırılmıştır. Sonuçlara göre, düşük akımlar genellikle yağışla önemli ölçüde pozitif korelasyonlar gösterirken, sıcaklık ile arasında genellikle negatif korelasyonlar

sergilemiştir. Genel olarak, NAOI ve SOI serileri, Türkiye'deki düşük akımlar ile negatif korelasyon gösterirken, PDO ve WeMO, düşük akım serileri ile pozitif korelasyonlar göstermiştir. Düşük akımların iklim faktörleri ile korelasyon analizi sonuçları, düşük akımlar ile yağış arasında çok daha belirgin ilişkiler olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, düşük akımlardaki değişikliklerin, sıcaklık ve büyük ölçekli iklim modellerinden ziyade yağış değişiklikleriyle daha güçlü bir şekilde ilişkili olduğunu göstermektedir.

Beşinci aşamada ise hesaplanan korelasyon sonuçları bir ön analiz olarak düşünülüp, düşük akımlar ile yüksek korelasyona sahip iklim değişkenleri açıklayıcı değişken olarak kullanılarak her bir AGİ' nin düşük akım serileri için durağan olmayan (dinamik) olasılık dağılım modelleri geliştirilmiştir. Bu amaç için Konum, Ölçek ve Şekil parametreleri için Genelleştirilmiş Aditif Modelleri (GAMLSS) yaklaşımı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında her bir düşük akım verisi için 5 farklı model altında yaklaşık 60 farklı model kombinasyonu oluşturulmuştur. Modeller; durağan model (Model 0), zamana bağlı değişen durağan olmayan model (Model 1), sıcaklık ve yağış verisine bağlı değişen durağan olmayan model (Model 2), atmosferik salınım indislerine bağlı değişen durağan olmayan model (Model 3), hem atmosferik salınım hem de sıcaklık- yağış verisine bağlı olarak değişen durağan olmayan (Model 4) modellerdir. Bu modeller arasındaki en uygunu genelleştirilmiş Akaike bilgi kriterine (GAIC) kriterine göre belirlenmiştir. En iyi modelleri GAIC değerine göre belirledikten sonra modellerin değerlendirilmesi aşamasına geçilmiştir. İlk olarak likelihood oran (LR) testi ile GAIC değerinin iyileşmesinin anlamlı olup olmadığı kontrol edilmiştir. Sonra, optimal modellerin uyum iyiliğini değerlendirmek için, artıkların bağımsızlığı ve normalliği, worm grafikleriyle birlikte Filliben katsayısı hesaplanarak kontrol edilmiştir. Bir durağan ve dört durağan olmayan model sonuçlarına göre, WEI, GA, IG, IGAMMA ve LOGNO dağılımları sırasıyla 39, 23, 10, 5 ve 3 istasyonda en iyi dağılım olarak seçilmiştir. GG dağılımı hiçbir istasyonda en iyi dağılım olarak seçilmemiştir. 7 istasyonda durağan model, 3 istasyonda zamana bağlı durağan olmayan model, 38 istasyonda sıcaklık ve yağışa bağlı durağan olmayan model, 4 istasyonda atmosferik salınım indislerine bağlı durağan olmayan model ve 28 istasyonda kombinasyonlu durağan model en başarılı sonuçları vermiştir. Yapılan değerlendirmeler ışığında, Model 2'nin Türkiye' nin doğusu

ve kuzey-güney batısında, Model 4'ün ise Türkiye' nin güney batısı ve doğu bölgelerinde ki düşük akımları modellemede daha uygun model tipleri oldukları gözlenmiştir.

Çalışmanın son aşamasında ise durağan olmayan olasılık dağılım modellerinin parametrelerindeki değişkenliği açıklamada en etkili açıklayıcı değişken olan yağış değişkeni kullanılarak CMIP6 iklim modellerinin (ACCESS-CM2, GFDL-ESM4, HadGEM3-GC31-LL, MIROC6, EC-Earth3, EC-Earth3-Veg-LR, MPI-ESM1-2-HR, MRI-ESM2-0) farklı senaryoları altında (SSP5-45 ve SSP5-85) gelecek dönemler için (yakın gelecek (2030-2060) ve uzak gelecek (2070-2100)) farklı dönüş periyotlarında (20 ve 50 yıl) meydana gelebilecek düşük akım tahminleri yapılmıştır. Ayrıca, bu tahminler tarihi zaman sonuçları ile karşılaştırılarak düşük akım kuantillerindeki değişkenlikler detaylı incelenmiştir.

Her bir AGİ' nin düşük akımları için hesaplanan Q20 ve Q50 değerlerinin ortalaması alınarak gelecek ve tarihsel dönem için yüzde farkının sonuçları haritalar ile sunulmuştur. Sonuçlara göre, 17 istasyonda durağan modeller, açıklayıcı değişken olarak yağış kullanılan modellerden daha başarılı sonuçlar sergilemiştir. SSP5-85 senaryosu altında Q20 için yakın gelecek durumunda 13 istasyonda tarihsel döneme kıyasla düşük akımlarda artışlar görülürken, 31 istasyonda azalışlar görülmüştür. 2157 (%13,53) istasyonunda maksimum artış ve 103 (%0,04) istasyonunda minimum artış farkı gözlenmiştir. Diğer taraftan 1334 (%29,73) istasyonunda maksimum azalış ve 2154 (0,6) istasyonunda minimum azalış farkı gözlenmiştir. Uzak gelecek durumunda Q20 için, 5 istasyonda tarihsel döneme kıyasla düşük akımlarda artışlar görülürken, 39 istasyonda azalışlar görülmüştür. 2151 (%6,27) istasyonunda maksimum artış ve 2149 (%1,75) istasyonunda minimum artış farkı gözlenmiştir. Diğer taraftan 811 (%40,95) istasyonunda maksimum azalış ve 2158 (0,09) istasyonunda minimum azalış farkı gözlenmiştir. SSP5-85 senaryosu altında Q50 için yakın gelecek durumunda 12 istasyonda tarihsel döneme kıyasla düşük akımlarda artışlar görülürken, 32 istasyonda azalışlar görülmüştür. 2157 (%13,62) istasyonunda maksimum artış ve 1721 (%0,27) istasyonunda minimum artış farkı gözlenmiştir. Diğer taraftan 1334 (%35,87) istasyonunda maksimum azalış ve 103 (0,03) istasyonunda minimum azalış farkı gözlenmiştir. Uzak gelecek durumunda Q50 için, 5 istasyonda tarihsel döneme kıyasla düşük akımlarda artışlar görülürken, 39 istasyonda azalışlar görülmüştür. 2151 (%6,16)

istasyonunda maksimum artış ve 2149 (%1,68) istasyonunda minimum artış farkı gözlenmiştir. Diğer taraftan 1334 (%470,7) istasyonunda maksimum azalış ve 2158 (0,11) istasyonunda minimum azalış farkı gözlenmiştir. SSP5-45 senaryosu altında Q20 için yakın gelecek durumunda 12 istasyonda tarihsel döneme kıyasla düşük akımlarda artışlar görülürken, 32 istasyonda azalışlar görülmüştür. 2164 (%10,44) istasyonunda maksimum artış ve 2119 (%0,83) istasyonunda minimum artış farkı gözlenmiştir. Diğer taraftan 1218 (%29,10) istasyonunda maksimum azalış ve 808 (2,55) istasyonunda minimum azalış farkı gözlenmiştir. Uzak gelecek durumunda Q20 için, 11 istasyonda tarihsel döneme kıyasla düşük akımlarda artışlar görülürken, 33 istasyonda azalışlar görülmüştür. 2151 (%15,18) istasyonunda maksimum artış ve 2177 (%1,19) istasyonunda minimum artış farkı gözlenmiştir. Diğer taraftan 1334 (%32,57) istasyonunda maksimum azalış ve 2154 (0,03) istasyonunda minimum azalış farkı gözlenmiştir. SSP5-45 senaryosu altında Q50 için yakın gelecek durumunda 12 istasyonda tarihsel döneme kıyasla düşük akımlarda artışlar görülürken, 32 istasyonda azalışlar görülmüştür. 2164 (%10,43) istasyonunda maksimum artış ve 2119 (% 0,81) istasyonunda minimum artış farkı gözlenmiştir. Diğer taraftan 1334 (%34,05) istasyonunda maksimum azalış ve 808 (2,34) istasyonunda minimum azalış farkı gözlenmiştir. Uzak gelecek durumunda Q50 için, 11 istasyonda tarihsel döneme kıyasla düşük akımlarda artışlar görülürken, 33 istasyonda azalışlar görülmüştür. 2151 (%15,14) istasyonunda maksimum artış ve 2177 (%1,17) istasyonunda minimum artış farkı gözlenmiştir. Diğer taraftan 1334 (%39,09) istasyonunda maksimum azalış ve 2154 (0,24) istasyonunda minimum azalış farkı gözlenmiştir. Sonuçlara göre, ülkenin kuzey batı bölümünde düşük akımlardaki azalma eğilimi daha belirgindir ve bu bölgelerde gelecekte kuraklık şartlarının yaşanabileceğini görülmektedir. Tam tersi durum olarak özellikle yukarı Fırat havzasında 20 ve 50 yıl dönüş aralıklarına karşılık gelen düşük akım değerleri artacağı tespit edilmiştir. Bu bölgede kuraklık olaylarının sıklığının az olması ön görülmektedir.

Elde edilen sonuçlar, Türkiye genelinde düşük akımlar ile ilgili ayrıntılı bilgiler sağlamaktadır. Çalışmanın, iklim değişikliği altında su kaynakları yönetimi ve sürdürülebilirliği açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abbasian, M., Moghim, S., Abrishamchi, A. 2019. Performance of the general circulation models in simulating temperature and precipitation over Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 135, 1465–1483. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2456-y>.
- Adamowski, J., Sun, K. 2010. Development of a coupled wavelet transform and neural network method for flow forecasting of non-perennial rivers in semi-arid watersheds. *Journal of Hydrology*, 390, 85–91. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.06.033>.
- Aksoy, H., Eriş, E., Önöz, B., Çetin, M., Yüce, M.İ., Selek, B., Aksu, H., Burgan, H.İ., Eşit, M., Yıdırım, I., Karakuş, E.Ü. 2018. Düşük akımların frekans analizi ve çevresel akış ile ilişkisi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 9(1), 503-514.
- Al Mamoon, A., Rahman, A. 2014. Uncertainty in design rainfall estimation: A review. *Journal of Hydrology and Environment Research*, 2(1), 65–75.
- Alexandersson, H. 1986. A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology*, 6(6), 661-675. <https://doi.org/10.1002/joc.3370060607>.
- Anonim, 2023. Web Sitesi: <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/hava-olaylarinin-ardindaki-gizemli-ikili-el-nino-ve-la-nina>, Erişim Tarihi: 27.04.2023.
- Anonymous, 2022a. Web Sitesi: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>, Erişim Tarihi: 22.10.2022.
- Anonymous, 2022b. Web Sitesi: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-pc-based>, Erişim Tarihi: 22.08.2022.
- Anonymous, 2022c. Web Sitesi: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/>, Erişim Tarihi: 22.09.2022.
- Anonymous, 2022ç. Web Sitesi: <http://www.ub.edu/gc/wemo/>, Erişim Tarihi: 22.08.2022.
- Anonymous, 2022d. Web Sitesi: <https://www.studyiq.com/articles/pacific-decadal-oscillation-pdo/>, Erişim Tarihi: 15.09.2022.
- Anonymous, 2022e. Web Sitesi: <https://psl.noaa.gov/>, Erişim Tarihi: 20.08.2022.
- Anonymous, 2023. Web Sitesi: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>, Erişim Tarihi: 22.03.2023.
- Assani, A.A., Chalifour, A., Légaré G., Manouane, CS., Leroux, D. 2011. Temporal regionalization of 7-day low flows in the St. Lawrence watershed in Quebec (Canada). *Water Resour Management*, 25, 3559–3574, <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9870-6>.

- Aytekin, A.B. 2012. İklim değişikliğinde düşük akımların istatistik analizi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Hidrolik Ana Bilim Dalı, 152, İstanbul.
- Aziz, R., Yucel, I. 2021. Assessing nonstationarity impacts for historical and projected extreme precipitation in Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 143(3), 1213–1226. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03503-x>.
- Aziz, R., Yucel, I., Yozgatlıgil, C. 2020. Nonstationarity impacts on frequency analysis of yearly and seasonal extreme temperature in Turkey. *Atmospheric Research*, 238, 104875. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104875>.
- Aziz, R., Yucel, I. 2023. Assessment of changes in return levels of historical and projected high and low flows of upper Euphrates basin in Turkey using nonstationary models. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195, 576. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11136-6>
- Bağçacı, S.Ç., Yucel, I., Duzenli, E., Yilmaz, M.T. 2021. Intercomparison of the expected change in the temperature and the precipitation retrieved from CMIP6 and CMIP5 climate projections: a mediterranean hot spot case, Turkey. *Atmospheric Research*, 256, 105576. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105576>.
- Bellprat, O., Guemas, V., Doblas-Reyes, F., Donat, M.G. 2019. Towards reliable extreme weather and climate event attribution. *Nature Communication*, 10, 1732. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09729-2>.
- Chen, M., Papadakis, K., Jun, C. 2021. An investigation on the non-stationarity of flood frequency across the UK. *Journal of Hydrology*, 597, 126309. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126309>.
- Coles, S. 2001. An Introduction to statistical modeling of extreme values. Springer, 209, London.
- Ciğizoğlu, H.K., Bayazıt, M., Önöz, B. 2005. Trends in the maximum, mean, and low flows of Turkish rivers. *Journal of Hydrometeorology*, 6, 280–290. <https://doi.org/10.1175/JHM412.1>.
- Cortes, C., Vapnik, V. 1995. Support-Vector networks. *Machine Learning*, 20(3), 273–297.
- Crosbie, R.S., Scanlon, B.R., Mpelasoka, F.S., Reedy, R.C., Gates, J.B., Zhang, L. 2013. Potential climate change effects on groundwater recharge in the high plains aquifer, USA. *Water Resources Research*, 49, 3936–3951. <https://doi.org/10.1002/wrcr.20292>.
- Debele, S.E., Strupczewski, W.G., Bogdanowicz, E. 2017. A comparison of three approaches to non-stationary flood frequency analysis. *Acta Geophys*, 65(4), 863–883. <https://doi.org/10.1007/s11600-017-0071-4>.

- Dierauer, J.R., Whitfield, P.H., Allen, D.M. 2018. Climate controls on runoff and low flows in mountain catchments of western north America. *Water Resources Research*, 54, 7495–7510. <https://doi.org/10.1029/2018WR023087>
- Du, T., Xiong, L., Xu, C.Y., Gippel, C.J., Guo, S., Liu, P. 2015. Return period and risk analysis of nonstationary low-flow series under climate change. *Journal of Hydrology*, 527, 234–250. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.04.041>.
- Dudley, R.W., Hirsch, R.M., Archfield, S.A., Blum, A.G., Renard, B. 2020. Low streamflow trends at human-impacted and reference basins in the United States. *Journal of Hydrology*, 580, 124254. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124254>.
- Duzenli, E., Tabari, H., Willems, P., Yilmaz, M.T. 2017. Decadal variability analysis of extreme precipitation in Turkey and its relationship with teleconnection patterns. *Hydrological Processes*, 32, 3513–3528. <https://doi.org/10.1002/hyp.13275>.
- Efron, B. 1979. Bootstrap methods: another look at the jackknife, *The Annals of Statistics*, 7, 1-26. <http://www.jstor.org/stable/2958830>.
- Eyring, V., Bony, S., Meehl, G.A., Senior, C.A., Stevens, B., Stouffer, R.J., Taylor, K. E. 2016. Overview of the coupled model intercomparison project phase 6 (CMIP6) experimental design and organization, *Geoscientific Model Development*, 9, 1937–1958. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>, 2016.
- Farahani, M.A., Khalili, D. 2013. Seasonality characteristics and spatio-temporal trends of 7-day low flows in a large, semi-arid watershed. *Water Resources Management*, 27, 4897–4911. <https://doi.org/10.1007/s11269-013-0445-6>.
- Fiala, T., Ouarda, T., Hladny', J. 2010. Evolution of low flows in the Czech Republic. *Journal of Hydrology*, 393, 206–218. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.08.018>.
- Giuntoli, I., Renard, B., Vidal, V.P., Bard, A. 2013. Low flows in France and their relationship to large-scale climate indices. *Journal of Hydrology*, 482, 105–118. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.038>.
- Güçlü, Y.S. 2018. Multiple Şen-innovative trend analyses and partial Mann-Kendall test. *Journal of Hydrology*, 566, 685–704. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.09.034>.
- Gu, X., Zhang, Q., Singh, V.P., Chen, X., Liu, L. 2016. Nonstationarity in the occurrence rate of floods in the Tarim River basin, China, and related impacts of climate indices. *Global and Planetary Change*, 142, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.04.004>.
- Gurrapu, S., Sauchyn, D. J., Hodder, K.R. 2022. Assessment of the hydrological drought risk in Calgary, Canada using weekly river flows of the past millennium. *Journal of Water and Climate Change*, 13(4), 1920–1935. <https://doi.org/10.2166/wcc.2022.348>.

- Hadi, S.J., Tombul, M. 2017. Conversion of CruTS 3.23 data and evaluation of precipitation and temperature variables in a local scale, In Proceedings of the International Conference on Advances in Sustainable Construction Materials and Civil Engineering Systems, 18–20 April, Book, 120, 1-11, Sharjah, United Arab Emirates.
- Hamed, K.H., Rao, A.R. 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*, 204(1–4), 182–196. doi:10.1016/S0022-1694(97)00125-X.
- Hamburg, M. 1970. Statistical analysis for decision making. Harcourt, Brace World, Inc, 817, San Diego.
- Hajihosseini, M., Hajihosseini, H., Morid S, Delavar, M., Booij, M.J. 2020. Impacts of land use changes and climate variability on transboundary Hirmand River using SWAT. *Journal of Water and Climate Change*, 11(4), 1695–1711.
- Hammond, J.C., Fleming, B.J. 2021. Evaluating low flow patterns, drivers and trends in the delaware river basin. *Journal of Hydrology*, 598, 126246. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126246>.
- Harris, I., Osborn, T.J., Jones, P., Lister, D. 2020. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Scientific Data*, 7, 109.
- Hurrell, J. W., Kushnir, Y., Ottersen, G., Visbeck, M. 2003. An overview of the north atlantic oscillation, In: *The North Atlantic Oscillation: climatic significance and environmental impact*. Hurrell, J.W., Kushnir, Y., Ottersen, G., Visbeck, M. (eds), Geophysical Monograph Series, 1-36, Washington.
- Jang, J.S.R. 1993. ANFIS: Adaptive-Network-Based fuzzy inference system. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23(3), 665-685.
- Kadioğlu, M. 2000. Regional variability of seasonal precipitation over Turkey. *International Journal of Climatology*, 20, 1743–1760. [https://doi.org/10.1002/1097-0088\(20001130\)20:14<1743::AID-JOC584>3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/1097-0088(20001130)20:14<1743::AID-JOC584>3.0.CO;2-G).
- Kahya, E., Kalayci, S. 2004. Trend analysis of streamflow in Turkey. *Journal of Hydrology*, 289, 128–144. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.11.006>.
- Kalayci, S., Karabörk, M.C., Kahya, E. 2004. Analysis of El Nino signals on Turkish streamflow and precipitation patterns using spectral analysis. *Fresenius Environmental Bulletin*, 13(8), 719–725.
- Kam, J., Sheffield, J. 2016. Changes in the low flow regime over the eastern United States (1962–2011): variability, trends, and attributions. *Climate Change*, 135, 639–653. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1574-0>.

- Karabörk, M.Ç., Kahya, E., Karaca, M. 2005. The influences of the southern and north atlantic oscillations on climatic surface variables in Turkey. *Hydrological Process*, 19, 1185–1211. <https://doi.org/10.1002/hyp.5560>.
- Karabörk, M.C., Kahya, E. 2009. The links between the categorised Southern Oscillation indicators and climate and hydrologic variables in Turkey. *Hydrological Processes*, 23(13), 1927–1936. <https://doi.org/10.1002/hyp.7331>.
- Kendall, M.G. 1975. Rank correlation methods. Charles Griffffin, 260, London.
- Keserci, F. 2019. İklim değişikliğine neden olan doğal etmen ve süreçler. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İklim Değişikliği Ana Bilim Dalı, 144, İstanbul.
- Konapala, G., Veettil, A.V, Mishra, A.K. 2018. Teleconnection between low flows and large-scale climate indices in Texas river basins. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 32, 2337–2350. <https://doi.org/10.1007/s00477-017-1460-6>.
- Kormos, P.R., Luce, C.H., Wenger, S.J., Berghuijs, W.R. 2016. Trends and sensitivities of low streamflow extremes to discharge timing and magnitude in pacific northwest mountain streams. *Water Resources Research*, 52(7), 4990–5007. <https://doi.org/10.1002/2015WR018125>.
- Kyselı, J. 2008. A cautionary note on the use of nonparametric bootstrap for estimating uncertainties in extreme-value models. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47(12), 3236– 3332. <https://doi.org/10.1175/2008JAMC1763.1>.
- Ling, H., Xu, H., Fu, J. 2013. High- and low-flow variations in annual runoff and their response to climate change in the headstreams of the tarim river, xinjiang, China. *Hydrological Process*, 27, 975–988. <https://doi.org/10.1002/hyp.9274>.
- Liu, D., Guo, S., Lian, Y., Xiong, L., Chen, X. 2014. Climate-informed low-flow frequency analysis using nonstationary modelling. *Hydrological Process*, 29, 2112–2124. DOI: 10.1002/hyp.10360.
- Liu, S., Huang, S., Xie, Y., Huang, Q., Wang, H., Leng, G. 2019. Assessing the non-stationarity of low flows and their scale-dependent relationships with climate and human forcing. *Science of the Total Environment*, 687, 244–256. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.025>.
- Liu, X., Li, C., Zhao, T., Han, L. 2020. Future changes of global potential evapotranspiration simulated from CMIP5 to CMIP6 models. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 13, 568 - 575. doi: 10.1080/16742834.2020.1824983.
- Mann, H. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13(3), 245-259.
- Mantua, N.J., Hare S.R., Zhang, Y., Wallace, J.M., Francis, R.C. 1997. A pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(6), 1069–1079, doi: 10.1175/1520-

0477(1997)078<1069:APICOW>2.0.CO;2.

Martín-Vide, J., Lopez-Bustins, J.A. 2006. The Western mediterranean oscillation and rainfall in the iberian peninsula. *International Journal of Climatology*, 26(11), 1455-1475. <https://doi.org/10.1002/joc.1388>.

Masih, I., Uhlenbrook, S., Maskey, S., Smakhtin, V. 2011. Streamflow trends and climate linkages in the zagros mountains, Iran. *Climate Change*, 104, 317–338. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9793-x>.

Mathbout, S., López-Bustins, J.A., Vide, J.M., Rodrigo, F.S., Rustullet, J.B. 2016. On the relationship between atmospheric circulation indices and precipitation in the Eastern Mediterranean, EGU General Assembly Conference, 17–22 April, Book of Abstracts, 18, 7224, Vienna, Austria.

Meinshausen, M., Nicholls, Z., Lewis, J., Gidden, M., Vogel, E., Freund, M., Beyerle, U., Gessner, C., Nauels, A., Bauer, N., Canadell, J., Daniel, J., John, A., Krummel, P., Luderer, G., Meinshausen, N., Montzka, S., Rayner, P., Reimann, S., Wang, Ray. 2020. The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500. *Geoscientific Model Development*, 13, 3571-3605.

Milly, P.C.D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R.M., Kundzewicz, Z.W., Lettenmaier, D.P., Stouffer, R.J. 2008. Stationarity is dead: Whither water management?. *Science*, 319, 573-574.

Milly, P.C.D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R.M., Kundzewicz, Z.W., Lettenmaier, D.P., Stouffer, R.J., Dettinger, M.D., Krysanova, V. 2015. On critiques of “Stationarity is dead: Whither water management?”. *Water Resources Research*, 51(9), 7785–7789. <https://doi.org/10.1002/2015WR017408>.

Nasr, A., Bruen, M. 2017. Detection of trends in the 7-day sustained low-flow time series of Irish rivers. *Hydrological Science Journal*, 62, 947–959. <https://doi.org/10.1080/02626667.2016.1266361>.

Orta, S. 2019. Low flow duration frequency curves and trend analysis. Yüksek lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hidrolik Ana Bilim Dalı, 126, İstanbul.

O'Neill, B.C., Tebaldi, C., Vuuren, D.P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G.C., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, J., Lowe, J.A., Meehl, G.A., Moss, R.H., Riahi, K., Sanderson, B.M. 2016. The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9, 3461-3482.

Önöz, B., Bulu, A. 1996. Trakya bölgesinde büyük akımların frekans analizi. *İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi*, 93, 1243-1254.

Pu, B., Ginoux, P. 2016. The impact of the pacific decadal oscillation on springtime dust activity in Syria. *Atmospheric Chemistry Physics*, 16, 13431–13448. <https://doi.org/10.5194/acp-16-13431-2016>.

- Rivera, J.A., Arnould, G. 2020. Evaluation of the ability of CMIP6 models to simulate precipitation over southwestern south america: climatic features and long-term trends (1901–2014). *Atmospheric Research*, 241, 104953. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104953>.
- Sen, P.K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379– 1389. doi:10.1080/01621459.1968.10480934.
- Sheikh, Z., Yazdani, M.R., Moghaddam, Nia, A. 2020. Spatiotemporal changes of 7-day low flow in Iran's namak lake basin: impacts of climatic and human factors. *Theoretical Applied Climatology*, 139, 57–73. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02959-w>.
- Sidike, A., Chen, X., Liu, T., Durdiev, K., Huang, Y. 2016. Investigating alternative climate data sources for hydrological simulations in the upstream of the amu darya river. *Water*, 8, 44. doi:10.3390/w8100441.
- Singh, N., Chinnasamy, P. 2021. Non-stationary flood frequency analysis and attribution of streamflow series: a case study of periyar river, India, *Hydrological Sciences Journal*, 66, 13, 1866-1881. <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1968406>.
- Smakhtin, V.U. 2001. Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*, 240, 147–186. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00340-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00340-1).
- Storn, R., Price, K. 1997. Differential evolution - A simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of Global Optimization*, 11(4), 341-359. <https://doi.org/10.1023/A:1008202821328>.
- Stouffer, R.J., Eyring, V., Meehl, G.A., Bony, S., Senior, C.A., Stevens, B., Taylor, K.E. 2017. CMIP5 scientific gaps and recommendations for CMIP6. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98, 95-105. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00013.1>.
- Şengün, M.T., Kırışan, K. 2013. Sahra çölü tozlarının akdeniz havzasına etkisi, 3. International Geography Symposium, 10-13 June, Book, 605-622, Antalya, Turkey.
- Talebmorad, H., Koupai, J.A, Eslamian, S., Mousavi, S.F, Akhavan, S., Askari, K.O.A, Singh, V.P. 2021. Evaluation of the impact of climate change on reference crop evapotranspiration in hamedan-bahar plain, *International Journal of Hydrology Science and Technology*, 11(3), 333-347. <https://doi.org/10.15-04/IJHST.2021.114554>.
- Tebaldi, C., Debeire, K., Eyring, V., Fischer, E., Fyfe, J., Friedlingstein, P., Knutti, R., Lowe, J., O'Neill, B., Sanderson, B., van Vuuren, D., Riahi, K., Meinshausen, M., Nicholls, Z., Tokarska, K. B., Hurtt, G., Kriegl, E., Lamarque, J.-F., Meehl, G., Moss, R., Bauer, S. E., Boucher, O., Brovkin, V., Byun, Y.-H., Dix, M., Gualdi, S., Guo, H., John, J. G., Kharin, S., Kim, Y., Koshiro, T., Ma, L., Olivié, D., Panickal, S., Qiao, F., Rong, X., Rosenbloom, N., Schupfner, M., Séférián, R.,

- Sellar, A., Semmler, T., Shi, X., Song, Z., Steger, C., Stouffer, R., Swart, N., Tachiiri, K., Tang, Q., Tatebe, H., Voldoire, A., Volodin, E., Wyser, K., Xin, X., Yang, S., Yu, Y., and Ziehn, T. 2021. Climate model projections from the scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) of CMIP6, *Earth System Dynamics*, 12, 253–293. <https://doi.org/10.5194/esd-12-253-2021>.
- Thrasher, B., Wang, W., Michaelis, A., Melton, F., Lee, T., Nemani, R. 2022. NASA global daily downscaled projections, CMIP6. *Scientific Data*, 9, 262. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01393-4>.
- Toprak, S. 2011. Çok değişkenli uyarlamalı regresyon eğrileri ve konik programlama ile zaman serilerinin modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik Ana Bilim Dalı, 120, Diyarbakır.
- Tosunoglu, F., Can, I., Kahya, E. 2018. Evaluation of spatial and temporal relationships between large-scale atmospheric oscillations and meteorological drought indexes in Turkey. *International Journal of Climatology*, 38, 4579–4596. <https://doi.org/10.1002/joc.5698>.
- Wang, M., Jiang, S., Ren, L., Xu, C.Y., Shi, P., Yuan, S., Liu, Y., Fang, X. 2022. Nonstationary flood and low flow frequency analysis in the upper reaches of huaihe river basin, China, using climatic variables and reservoir index as covariates. *Journal of Hydrology*, 612, 128266. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128266>.
- Webb, J., White, K. 2010. Nonstationarity in water management: USACE perspective. workshop on nonstationarity, hydrologic frequency analysis, and water management in boulder colorado. Colorado Water Institute Information Series, 109, 16–19.
- Winingaard, J.B., Kleink, T., A.M.G., Konnen, G.P. 2003. Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. *International Journal of Climatology*, 23, 679–692. <https://doi.org/10.1002/joc.906>.
- Wyser, K., Kjellström, E., Königk, T., Martins, H., Doescher, R. 2020. Warmer climate projections in EC-Earth3-Veg: the role of changes in the greenhouse gas concentrations from CMIP5 to CMIP6. *Environmental Research Letters*, 15, 054020. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab81c2>.
- Xiong, B., Xiong, L., Chen, J., Xu, C.Y., Li, L. 2018. Multiple causes of nonstationarity in the Weiheannual low-flow series. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22, 1525–1542. <https://doi.org/10.5194/hess-22-1525-2018>.
- Yeh, C., Wang, J., Yeh, H., Lee, C. 2015. Spatial and temporal streamflow trends in Northern Taiwan. *Water*, 7, 634–651. <https://doi.org/10.3390/w7020634>.
- Yenigün, K., Gümüş, V. 2007. Fırat havzası akımlarında görülen trendlerin nedenlerinin araştırılması, 5. Ulusal Hidroloji Kongresi, 5–7 Eylül, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Tam Metin Kitabı, 239-248, Ankara.

Yildirim, H.A., Altinsoy, H. 2017. Chaos and trend analysis of monthly precipitation over arabian peninsula and eastern mediterranean. *Arabian Journal of Geosciences*, 10, <https://doi.org/10.1007/s12517-016-2784-0>.



EKLER

EK-1

Eksik veriler için en yakın istasyonlar ve eğitim - test süresi bilgileri.

İstasyon Adı (Numarası)	Komşu İstasyon	Veri Periyodu	
		Eğitim	Test
Çınarköprü (212)	D02A69	01/10/1990 - 30/09/2004	01/10/2004 - 30/09/2012
Döllük (302)	316	01/10/1952 - 30/09/1994	01/10/1994 - 30/09/2012
Küçükilet (311)	D03A020	01/10/1944 - 30/09/1991	01/10/1991 - 30/09/2011
Yahyaköy (316)	302	01/10/1952 - 30/09/1994	01/10/1994 - 30/09/2012
Akçasusurluk (317)	321	01/10/1953 - 31/12/1972	01/01/1973 - 30/09/1979
Balıkli (324)	316	01/10/1953 - 30/09/1994	01/10/1994 - 30/09/2011
Dereli (328)	302	01/10/1991 - 30/09/2008	01/10/2008 - 30/09/2016
Dereköy (514)	522	01/10/1980 - 30/09/2001	01/10/2001 - 30/09/2010
Kayadibi (818)	815	01/10/1977 - 30/09/2004	01/10/2004 - 30/09/2017
Şelale (918)	912	01/10/1971 - 30/09/2003	01/10/2003 - 30/09/2016
Gazlıgöl (1102)	1108	01/10/1991 - 30/09/2005	01/10/2005 - 30/09/2011
Karaköy (1233)	1222	01/10/1982 - 30/09/2001	01/10/2001 - 30/09/2010
Dokurcun (1237)	1222	01/10/1980 - 30/09/2003	01/10/2003 - 30/09/2014
Uluçayır (D12A063)	1203	01/10/1964 - 30/09/1994	01/10/1994 - 30/09/2008
Yakabaşı (1302)	D13A059	01/10/1996 - 30/09/2011	01/10/2011 - 30/09/2017
Azdavay (1307)	D13A015	01/10/1975 - 30/09/2006	01/10/2006 - 30/09/2017
Gökçesu (1319)	1334	01/10/1966 - 30/09/1992	01/10/1992 - 30/09/2004
Afatlar (1327)	D13A040	01/10/1988 - 30/09/2003	01/10/2003 - 30/09/2013
M.şevket paşa (1330)	D02A067	01/10/1990 - 30/09/2010	01/10/2010 - 30/09/2017
Beyler (1340)	D13A059	01/10/1996 - 30/09/2007	01/10/2007 - 30/09/2011
Kale (1402)	1401	01/10/1940 - 30/09/1972	01/10/1972 - 30/09/1983
Şeyhoğlu (1412)	1413	01/10/1968 - 30/09/1999	01/10/1999 - 30/09/2012
Sütlüce (1414)	1402	01/10/1961 - 30/09/1996	01/10/1996 - 30/09/2012
Ahullu (D14A014)	D14A081	01/10/1989 - 30/09/2008	01/10/2008 - 30/09/2017
Çeltikçibaşı (1538)	D15A093	01/10/1988 - 30/09/2007	01/10/2007 - 30/09/2017
Ahmethacı (D15A117)	1535	01/10/1967 - 30/09/2002	01/10/2002 - 30/09/2017
Denircik (1612)	D16a028	01/10/1988 - 30/09/2005	01/10/2005 - 30/09/2011
Sorkun (D16A115)	1611	01/10/1977 - 30/09/2000	01/10/2000 - 30/09/2011
Bucakkışla (1712)	1719	01/10/1965 - 30/09/1982	01/10/1982 - 30/09/1991
Kızılgeçit (1717)	D17A012	01/10/1991 - 30/09/2008	01/10/2008 - 30/09/2017
Gökdere (1805)	1818	01/10/1965 - 30/09/1997	01/10/1997 - 30/09/2010
Kamışlı (D18A012)	1820	01/10/1970 - 30/09/2003	01/10/2003 - 30/09/2017
Demir (1907)	1908	01/10/1971 - 30/09/1999	01/10/1999 - 30/09/2011
Misis (2004)	2020	01/10/1970 - 30/09/1999	01/10/1999 - 30/09/2011
Çukurköprü (2007)	2004	01/10/1970 - 30/09/1987	01/10/1987 - 30/09/1999
Poskoflu (2009)	2006	01/10/1965 - 30/09/1998	01/10/1998 - 30/09/2012

İstasyon Adı (Numarası)	Komşu İstasyon	Veri Periyodu	
		Eğitim	Test
Aslantaş (2020)	2004	01/10/1970 - 30/09/1999	01/10/1999 - 30/09/2011
Çayağzı (2164)	2158	01/10/1968 - 30/09/1998	01/10/1998 - 30/09/2011
Mutu Boğazı (2176)	2119	01/10/1983 - 30/09/2006	01/10/2006 - 30/09/2017
Dereköy (2215)	2233	01/10/1964 - 30/09/2001	01/10/2001 - 30/09/2017
Topluca (2232)	2233	01/10/1964 - 30/09/1999	01/10/1999 - 30/09/2014
Gocalı (2247)	2238	01/10/1967 - 30/09/1997	01/10/1997 - 30/09/2010
Şerah (D22A007)	2233	01/10/1965 - 30/09/2001	01/10/2001 - 30/09/2017
Bayburt (2304)	2316	01/10/1964 - 30/09/1996	01/10/1996 - 30/09/2011
Laleli (2320)	2316	01/10/1970 - 30/09/1998	01/10/1998 - 30/09/2011
Dutdere (2321)	2316	01/10/1971 - 30/09/1999	01/10/1999 - 30/09/2011
Çoşkunlar (2329)	2316	01/10/1984 - 30/09/2002	01/10/2002 - 30/09/2011
Çamlıkaya (2330)	2316	01/10/1982 - 30/09/2002	01/10/2002 - 30/09/2011
Erikdibi (D23A003)	2316	01/10/1969 - 30/09/1999	01/10/1999 - 30/09/2012
Hasan Ağa (D24A046)	D24A018	01/10/1975 - 30/09/1992	01/10/1992 - 30/09/2002
Göndürme (2505)	D25A013	01/10/1991 - 30/09/2005	01/10/2005 - 30/09/2011
Baykan (2610)	D26A012	01/10/1996 - 30/09/2010	01/10/2010 - 30/09/2017
Malabadi (2612)	D26A012	01/10/1997 -30/09/2010	01/10/2010 -30/09/2017
Pınarca (2624)	D26A012	01/10/1996 - 30/09/2010	01/10/2010 -30/09/2017

EK-2

Test süresi için modellerin performansları.

Eksik veriye sahip ve komşu istasyonlar	Model Adı						
	Kriterler	LR	YSA	ANFIS	MARS	SVM	KNN
212 (Eksik veriye sahip istasyon), D02A69 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	18,732	14,172	14,388	14,389	13,762	14,174
	R ²	0,645	0,797	0,790	0,790	0,808	0,797
	MAE(m ³ /sn)	7,642	7,018	7,098	7,117	6,406	6,942
	KGE	0,592	0,815	0,805	0,800	0,794	0,807
302 (Eksik veriye sahip istasyon), 316 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	24,958	19,802	19,884	19,727	20,621	20,147
	R ²	0,766	0,853	0,851	0,854	0,840	0,847
	MAE(m ³ /sn)	10,321	10,238	10,366	10,190	10,048	10,403
	KGE	0,662	0,809	0,808	0,811	0,753	0,803
311 (Eksik veriye sahip istasyon), 302 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	2,985	2,722	2,717	2,728	2,860	2,762
	R ²	0,517	0,599	0,600	0,597	0,557	0,587
	MAE(m ³ /sn)	1,447	1,497	1,507	1,499	1,507	1,512
	KGE	0,454	0,636	0,636	0,634	0,553	0,628
316 (Eksik veriye sahip istasyon), 302 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	28,897	24,567	24,778	24,595	25,440	24,722
	R ²	0,773	0,836	0,833	0,836	0,824	0,834
	MAE(m ³ /sn)	12,186	12,443	12,730	12,443	12,089	12,544
	KGE	0,628	0,788	0,788	0,782	0,736	0,780
317 (Eksik veriye sahip istasyon), 321 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	56,297	57,287	58,377	57,473	58,956	57,669
	R ²	0,792	0,784	0,776	0,783	0,771	0,781
	MAE(m ³ /sn)	29,630	30,769	31,204	30,711	31,059	31,208
	KGE	0,820	0,874	0,873	0,876	0,878	0,874
324 (Eksik veriye sahip istasyon), 316 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	11,915	8,769	8,825	8,833	9,217	8,920
	R ²	0,457	0,706	0,702	0,701	0,675	0,696
	MAE(m ³ /sn)	3,657	3,697	3,710	3,710	3,446	3,746
	KGE	0,302	0,666	0,657	0,657	0,563	0,656
328 (Eksik veriye sahip istasyon), 302 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	5,953	2,516	2,517	2,512	2,559	2,528
	R ²	0,143	0,847	0,847	0,847	0,842	0,845
	MAE(m ³ /sn)	2,226	1,533	1,537	1,533	1,523	1,534
	KGE	0,597	0,864	0,861	0,861	0,832	0,861

514 (Eksik veriye sahip istasyon), 522 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	2,307	1,550	1,582	1,556	1,538	1,591
	R ²	0,687	0,858	0,853	0,857	0,861	0,851
	MAE(m ³ /sn)	0,790	0,715	0,743	0,726	0,691	0,729
	KGE	0,474	0,801	0,797	0,797	0,751	0,787
818 (Eksik veriye sahip istasyon), 815 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	4,727	4,705	4,662	4,591	4,887	4,713
	R ²	0,715	0,718	0,723	0,732	0,696	0,717
	MAE(m ³ /sn)	2,383	2,530	2,518	2,530	2,557	2,538
	KGE	0,695	0,756	0,762	0,779	0,727	0,755
918 (Eksik veriye sahip istasyon), 912 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	49,270	41,782	41,743	41,902	41,580	42,016
	R ²	0,746	0,817	0,818	0,816	0,819	0,815
	MAE(m ³ /sn)	32,287	29,807	29,841	29,854	29,740	30,069
	KGE	0,724	0,853	0,854	0,856	0,856	0,849
1102 (Eksik veriye sahip istasyon), 1108 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	0,329	0,290	0,297	0,293	0,324	0,295
	R ²	0,640	0,719	0,705	0,714	0,650	0,709
	MAE(m ³ /sn)	0,132	0,140	0,143	0,141	0,139	0,142
	KGE	0,501	0,680	0,668	0,679	0,509	0,679
1233 (Eksik veriye sahip istasyon), 1222 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	11,542	9,816	9,866	9,879	10,353	9,803
	R ²	0,668	0,760	0,757	0,757	0,733	0,760
	MAE(m ³ /sn)	4,640	4,778	4,822	4,801	4,596	4,755
	KGE	0,594	0,768	0,767	0,763	0,644	0,771
1237 (Eksik veriye sahip istasyon), 1222 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	2,659	2,533	2,905	2,525	2,571	2,557
	R ²	0,812	0,829	0,775	0,830	0,824	0,826
	MAE(m ³ /sn)	1,520	1,552	1,611	1,550	1,550	1,572
	KGE	0,786	0,868	0,859	0,868	0,829	0,866
D12A063 (Eksik veriye sahip istasyon), 1203 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	1,266	0,858	0,856	0,848	0,868	0,851
	R ²	0,303	0,680	0,682	0,687	0,672	0,685
	MAE(m ³ /sn)	0,309	0,302	0,301	0,301	0,291	0,302
	KGE	0,210	0,688	0,682	0,687	0,649	0,683
1302 (Eksik veriye sahip istasyon), D13A059 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	5,849	5,103	5,148	5,118	4,933	5,082
	R ²	0,958	0,968	0,968	0,968	0,970	0,969
	MAE(m ³ /sn)	3,664	3,432	3,465	3,448	3,279	3,414
	KGE	0,908	0,947	0,944	0,944	0,957	0,946
1307 (Eksik veriye sahip istasyon), D13A015 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	2,796	2,313	2,293	2,247	2,288	2,290
	R ²	0,870	0,911	0,913	0,916	0,913	0,913
	MAE(m ³ /sn)	1,395	1,400	1,399	1,367	1,316	1,396
	KGE	0,765	0,877	0,875	0,886	0,832	0,879

1319 (Eksik veriye sahip istasyon), 1334 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	3,330	2,272	2,279	2,288	2,184	2,315
	R ²	0,802	0,908	0,907	0,906	0,915	0,904
	MAE(m ³ /sn)	1,321	1,273	1,259	1,278	1,235	1,293
	KGE	0,679	0,861	0,853	0,857	0,849	0,857
1327 (Eksik veriye sahip istasyon), D13A040 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	2,973	2,243	2,272	2,228	2,128	2,167
	R ²	0,898	0,942	0,941	0,943	0,948	0,946
	MAE(m ³ /sn)	1,271	1,127	1,139	1,131	1,019	1,093
	KGE	0,776	0,918	0,914	0,912	0,944	0,930
1330 (Eksik veriye sahip istasyon), D02A067 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	0,457	0,299	0,300	0,302	0,319	0,307
	R ²	0,321	0,709	0,708	0,704	0,670	0,694
	MAE(m ³ /sn)	0,111	0,111	0,112	0,113	0,101	0,113
	KGE	0,146	0,632	0,629	0,624	0,504	0,618
1340 (Eksik veriye sahip istasyon), D13A059 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	4,074	3,781	3,800	3,845	3,314	3,908
	R ²	0,988	0,990	0,990	0,990	0,992	0,989
	MAE(m ³ /sn)	2,440	2,482	2,497	2,537	2,061	2,583
	KGE	0,959	0,970	0,969	0,967	0,985	0,970
1402 (Eksik veriye sahip istasyon), 1401 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	46,490	45,158	45,189	45,073	45,620	45,526
	R ²	0,884	0,890	0,890	0,891	0,888	0,888
	MAE(m ³ /sn)	29,304	29,489	29,624	29,587	29,243	29,717
	KGE	0,871	0,914	0,914	0,916	0,878	0,913
1412 (Eksik veriye sahip istasyon), 1413 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	2,540	2,169	2,200	2,164	2,232	2,184
	R ²	0,719	0,795	0,789	0,796	0,783	0,792
	MAE(m ³ /sn)	1,202	1,162	1,186	1,153	1,169	1,175
	KGE	0,771	0,816	0,822	0,816	0,765	0,813
1414 (Eksik veriye sahip istasyon), 1402 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	7,171	6,896	7,516	6,930	7,017	6,937
	R ²	0,535	0,570	0,489	0,566	0,555	0,565
	MAE(m ³ /sn)	3,992	4,285	4,496	4,307	4,185	4,293
	KGE	0,500	0,628	0,643	0,630	0,575	0,625
D14A014 (Eksik veriye sahip istasyon), D14A081 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	1,326	0,976	1,014	0,983	0,994	0,990
	R ²	0,597	0,782	0,764	0,779	0,773	0,775
	MAE(m ³ /sn)	0,500	0,514	0,525	0,518	0,508	0,523
	KGE	0,511	0,763	0,752	0,756	0,719	0,757
1538 (Eksik veriye sahip istasyon), D15A093 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	3,329	2,021	2,045	2,017	1,957	2,026
	R ²	0,813	0,931	0,929	0,931	0,935	0,931
	MAE(m ³ /sn)	1,503	1,331	1,340	1,341	1,270	1,328
	KGE	0,708	0,880	0,876	0,885	0,883	0,885

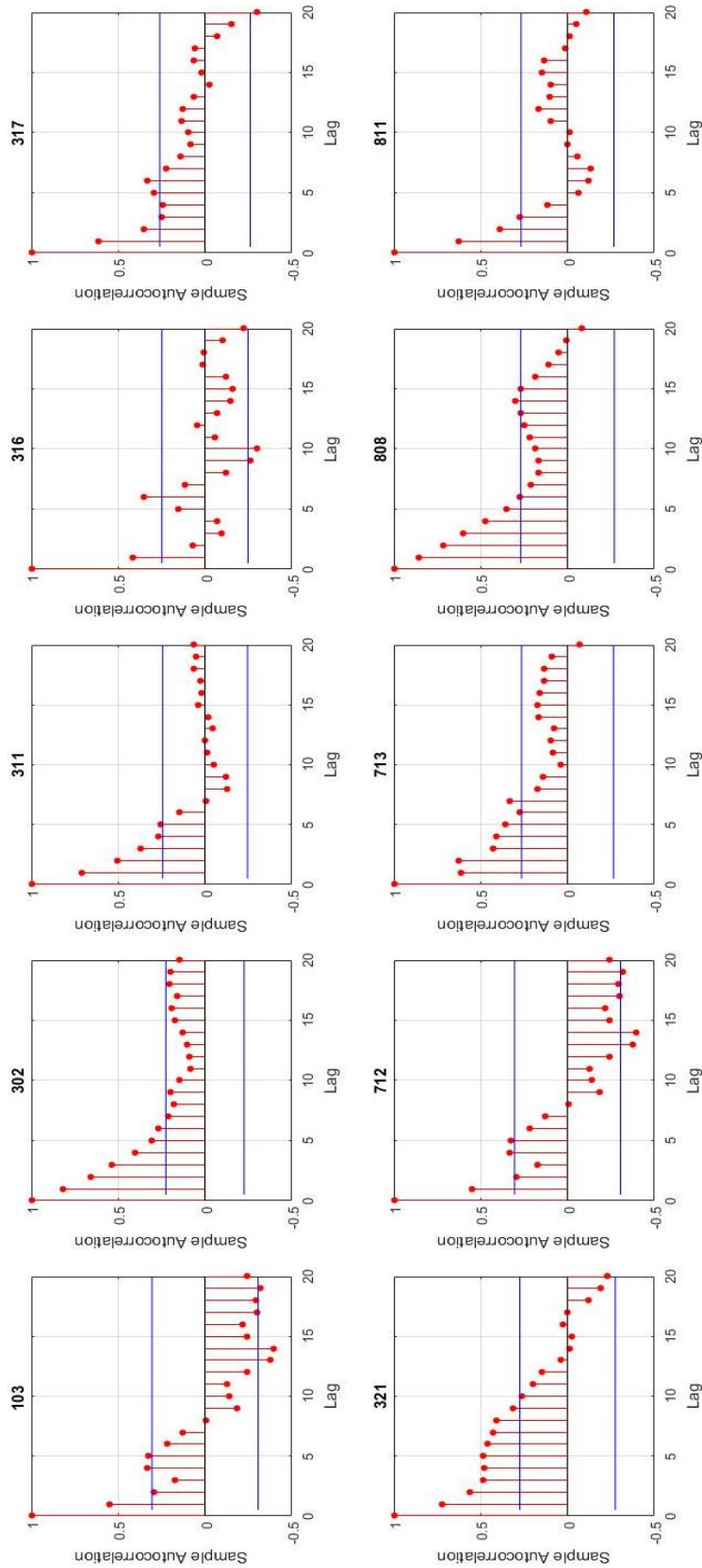
D15A117 (Eksik veriye sahip istasyon), 1535 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	5,445	4,456	4,335	4,354	4,507	4,486
	R ²	0,675	0,783	0,794	0,792	0,778	0,780
	MAE(m ³ /sn)	2,911	3,035	2,896	2,931	2,799	3,011
	KGE	0,510	0,699	0,705	0,706	0,650	0,696
1612 (Eksik veriye sahip istasyon), D16A028 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	0,360	0,255	0,256	0,259	0,255	0,263
	R ²	0,914	0,957	0,956	0,955	0,957	0,954
	MAE(m ³ /sn)	0,150	0,141	0,142	0,145	0,141	0,148
	KGE	0,881	0,954	0,957	0,950	0,945	0,941
D16A115 (Eksik veriye sahip istasyon), 1611 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	0,692	0,682	0,668	0,665	0,650	0,673
	R ²	0,907	0,909	0,913	0,914	0,918	0,912
	MAE(m ³ /sn)	0,343	0,357	0,360	0,349	0,341	0,351
	KGE	0,846	0,897	0,897	0,901	0,897	0,899
1712 (Eksik veriye sahip istasyon), 1719 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	9,679	9,291	9,012	9,035	9,125	9,337
	R ²	0,873	0,883	0,890	0,890	0,887	0,882
	MAE(m ³ /sn)	4,687	5,268	5,075	5,144	4,896	5,285
	KGE	0,825	0,875	0,879	0,878	0,856	0,872
1717 (Eksik veriye sahip istasyon), D17A012 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	0,992	0,752	0,754	0,754	0,758	0,763
	R ²	0,920	0,954	0,954	0,954	0,953	0,953
	MAE(m ³ /sn)	0,496	0,467	0,469	0,470	0,476	0,473
	KGE	0,857	0,954	0,951	0,951	0,974	0,953
1805 (Eksik veriye sahip istasyon), 1818 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	18,633	15,881	15,920	15,818	15,397	16,811
	R ²	0,960	0,971	0,971	0,971	0,973	0,968
	MAE(m ³ /sn)	9,532	9,775	9,872	9,767	9,493	10,061
	KGE	0,900	0,937	0,937	0,939	0,940	0,930
D18A012 (Eksik veriye sahip istasyon), 1820 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	1,233	1,174	1,160	1,175	1,166	1,181
	R ²	0,904	0,913	0,915	0,913	0,914	0,912
	MAE(m ³ /sn)	0,746	0,745	0,735	0,743	0,739	0,750
	KGE	0,868	0,917	0,918	0,913	0,908	0,917
1907 (Eksik veriye sahip istasyon), 1908 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	33,588	21,807	21,654	21,892	21,352	21,799
	R ²	0,715	0,880	0,881	0,879	0,885	0,880
	MAE(m ³ /sn)	12,740	10,907	10,841	10,894	10,523	10,945
	KGE	0,576	0,870	0,871	0,868	0,820	0,869
2004 (Eksik veriye sahip istasyon), 2020 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	74,519	62,373	63,733	63,367	61,815	62,551
	R ²	0,547	0,683	0,669	0,673	0,689	0,681
	MAE(m ³ /sn)	45,274	39,903	40,577	40,230	38,881	40,020
	KGE	0,535	0,786	0,777	0,783	0,798	0,787

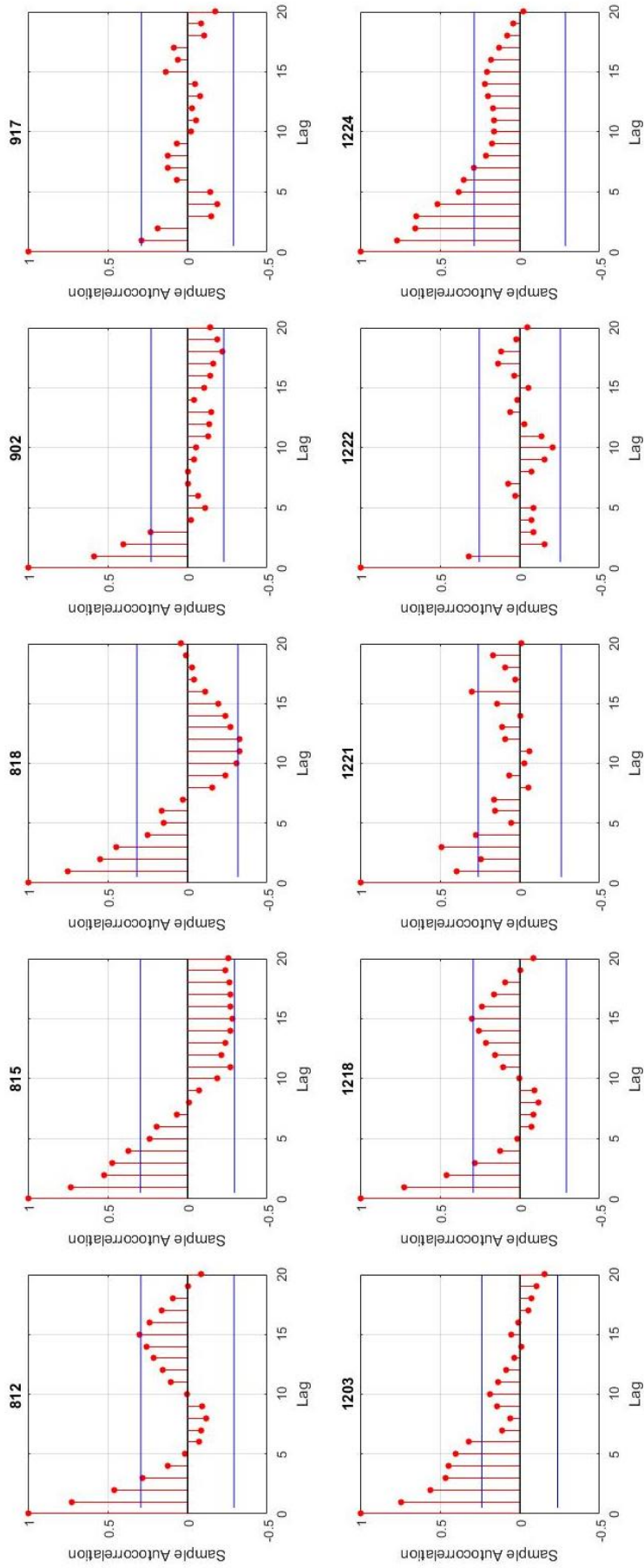
2007 (Eksik veriye sahip istasyon), 2004 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	5,079	4,779	4,794	4,764	4,822	4,768
	R ²	0,676	0,713	0,711	0,715	0,708	0,714
	MAE(m ³ /sn)	3,433	3,420	3,434	3,385	3,414	3,411
	KGE	0,733	0,775	0,771	0,775	0,808	0,776
2009 (Eksik veriye sahip istasyon), 2006 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	2,260	2,136	2,127	2,122	2,158	2,183
	R ²	0,957	0,962	0,962	0,962	0,961	0,960
	MAE(m ³ /sn)	1,155	1,131	1,118	1,119	1,124	1,158
	KGE	0,948	0,968	0,967	0,965	0,957	0,966
2020 (Eksik veriye sahip istasyon), 2004 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	57,550	47,567	48,079	47,550	47,696	47,877
	R ²	0,680	0,729	0,723	0,729	0,728	0,726
	MAE(m ³ /sn)	45,000	33,176	33,194	33,160	33,296	33,255
	KGE	0,720	0,797	0,794	0,799	0,794	0,793
2164 (Eksik veriye sahip istasyon), 2158 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	19,282	17,644	17,672	17,566	17,946	17,692
	R ²	0,857	0,880	0,880	0,881	0,876	0,880
	MAE(m ³ /sn)	7,996	8,111	8,086	8,106	7,988	8,156
	KGE	0,800	0,890	0,892	0,892	0,858	0,888
2176 (Eksik veriye sahip istasyon), 2119 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	0,868	0,860	0,860	0,862	0,863	0,863
	R ²	0,728	0,733	0,733	0,732	0,731	0,731
	MAE(m ³ /sn)	0,461	0,484	0,483	0,484	0,470	0,485
	KGE	0,739	0,804	0,803	0,803	0,765	0,802
2304 (Eksik veriye sahip istasyon), 2316 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	5,782	5,137	5,154	5,158	5,235	5,216
	R ²	0,911	0,929	0,929	0,929	0,927	0,927
	MAE(m ³ /sn)	2,595	2,524	2,515	2,519	2,543	2,575
	KGE	0,852	0,919	0,916	0,919	0,902	0,919
2320 (Eksik veriye sahip istasyon), 2316 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	4,707	4,272	4,241	4,246	4,146	4,428
	R ²	0,984	0,986	0,987	0,987	0,987	0,985
	MAE(m ³ /sn)	2,587	2,535	2,523	2,521	2,463	2,622
	KGE	0,939	0,969	0,969	0,970	0,972	0,969
2321 (Eksik veriye sahip istasyon), 2316 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	5,456	5,288	5,296	5,307	5,302	5,304
	R ²	0,862	0,871	0,870	0,870	0,870	0,870
	MAE(m ³ /sn)	3,272	3,299	3,301	3,309	3,238	3,308
	KGE	0,867	0,904	0,903	0,902	0,883	0,905
2329 (Eksik veriye sahip istasyon), 2316 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	10,999	9,918	9,950	9,988	10,139	9,991
	R ²	0,819	0,853	0,852	0,850	0,846	0,850
	MAE(m ³ /sn)	5,005	5,029	5,064	5,070	4,830	5,065
	KGE	0,763	0,856	0,853	0,855	0,800	0,855

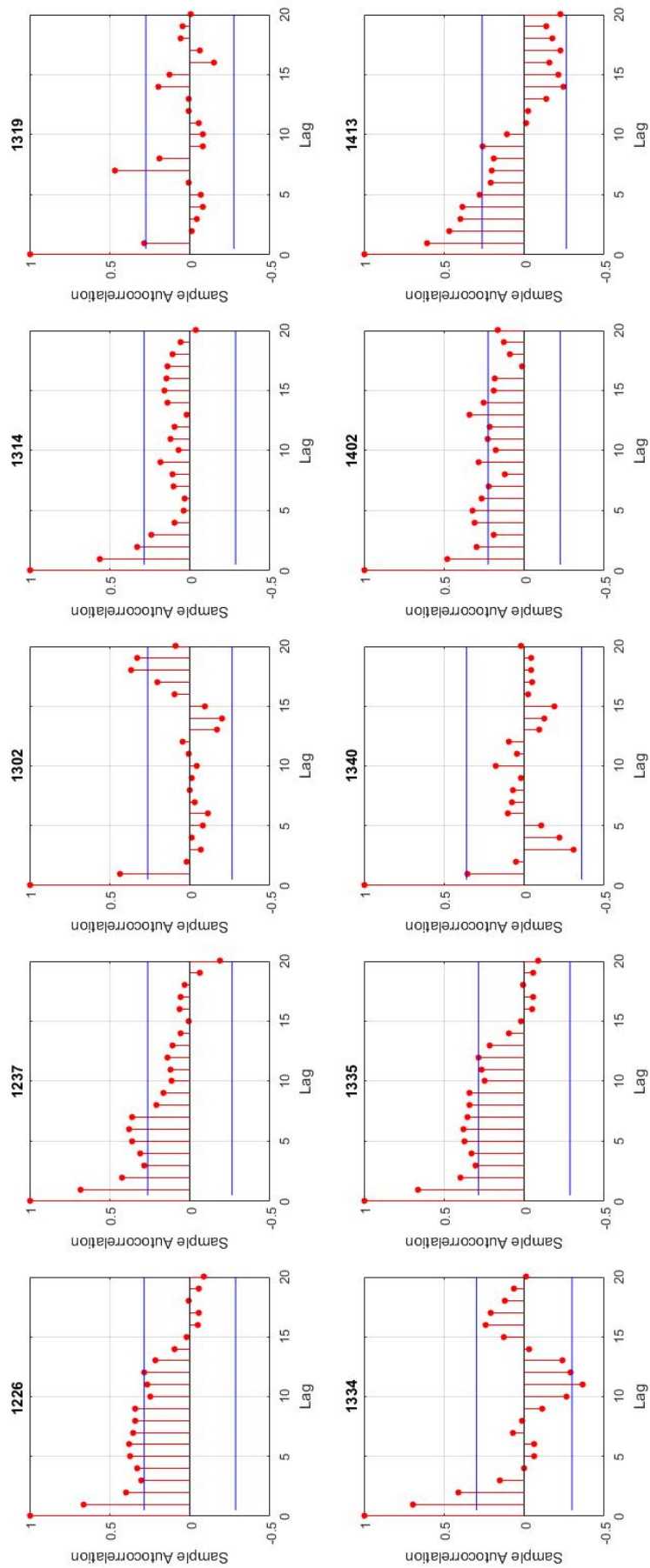
2330 (Eksik veriye sahip istasyon), 2316 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	1,256	1,255	1,256	1,255	1,271	1,260
	R ²	0,816	0,816	0,816	0,816	0,812	0,815
	MAE(m ³ /sn)	0,671	0,672	0,670	0,645	0,654	0,672
	KGE	0,817	0,862	0,862	0,862	0,836	0,861
D23A003 (Eksik veriye sahip istasyon), 2316 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	1,504	1,373	1,362	1,363	1,400	1,372
	R ²	0,806	0,838	0,841	0,840	0,832	0,838
	MAE(m ³ /sn)	0,704	0,710	0,706	0,705	0,696	0,710
	KGE	0,768	0,857	0,858	0,857	0,808	0,857
D24A046 (Eksik veriye sahip istasyon), D24A018 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	2,022	1,891	1,868	1,894	1,914	1,901
	R ²	0,723	0,758	0,764	0,757	0,752	0,755
	MAE(m ³ /sn)	0,924	0,934	0,939	0,946	0,901	0,933
	KGE	0,679	0,810	0,821	0,813	0,737	0,805
2505 (Eksik veriye sahip istasyon), 321 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	6,324	6,020	6,068	5,977	6,244	6,047
	R ²	0,635	0,669	0,664	0,674	0,644	0,666
	MAE(m ³ /sn)	2,984	2,965	2,966	2,954	3,060	2,955
	KGE	0,608	0,744	0,735	0,750	0,687	0,740
2610 (Eksik veriye sahip istasyon), D26A012 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	12,941	12,928	12,821	12,844	13,105	13,022
	R ²	0,730	0,731	0,735	0,734	0,723	0,727
	MAE(m ³ /sn)	5,525	6,056	5,944	5,956	5,946	6,102
	KGE	0,724	0,803	0,801	0,802	0,759	0,806
2612 (Eksik veriye sahip istasyon), D26A012 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	102,088	84,082	84,960	84,289	87,521	84,951
	R ²	0,324	0,542	0,532	0,539	0,503	0,532
	MAE(m ³ /sn)	52,089	51,342	52,141	51,377	49,002	51,921
	KGE	0,225	0,621	0,602	0,613	0,506	0,615
2624 (Eksik veriye sahip istasyon), D26A012 (komşu istasyon)	RMSE(m ³ /sn)	18,460	16,644	16,544	16,534	16,952	16,620
	R ²	0,450	0,579	0,584	0,585	0,564	0,581
	MAE(m ³ /sn)	9,260	8,763	8,760	8,802	8,667	8,780
	KGE	0,550	0,716	0,713	0,714	0,686	0,716

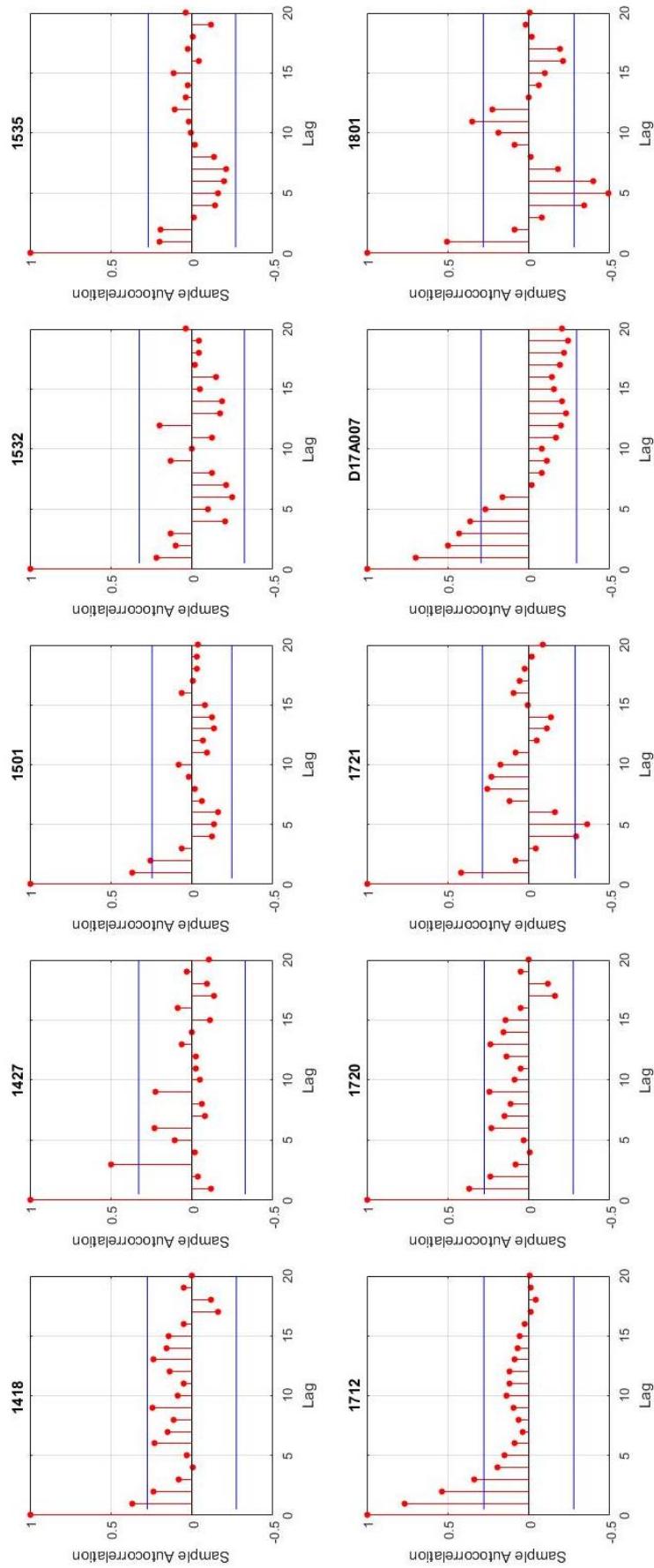
EK-3

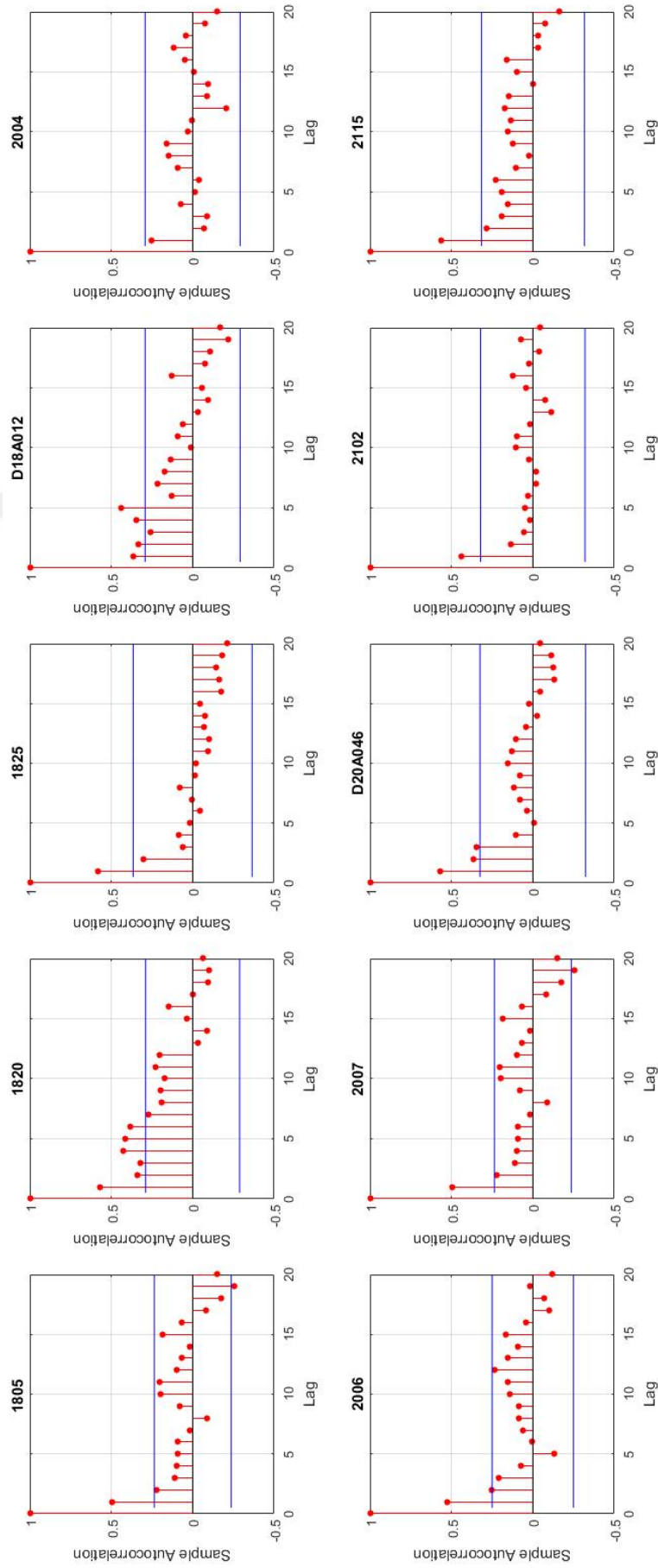
Düşük akım verilerinin otokorelasyon grafikleri.

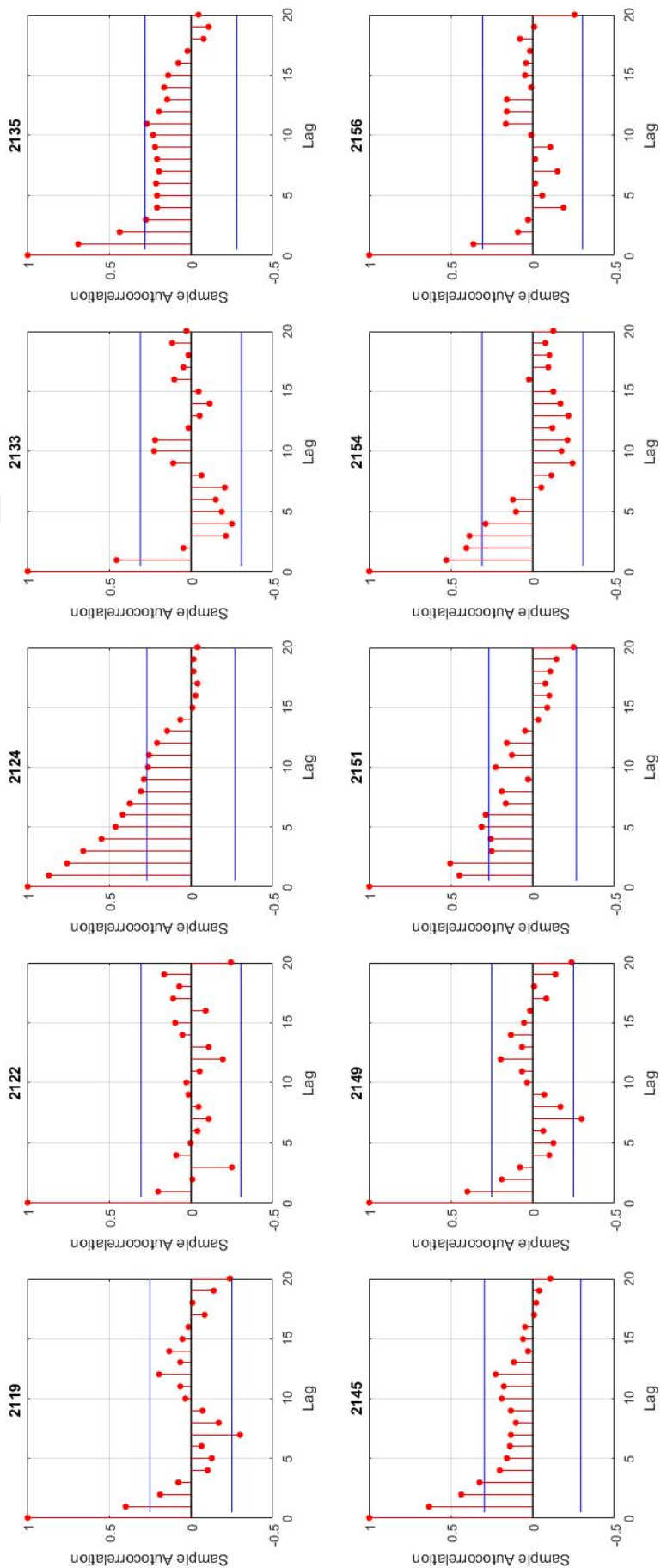


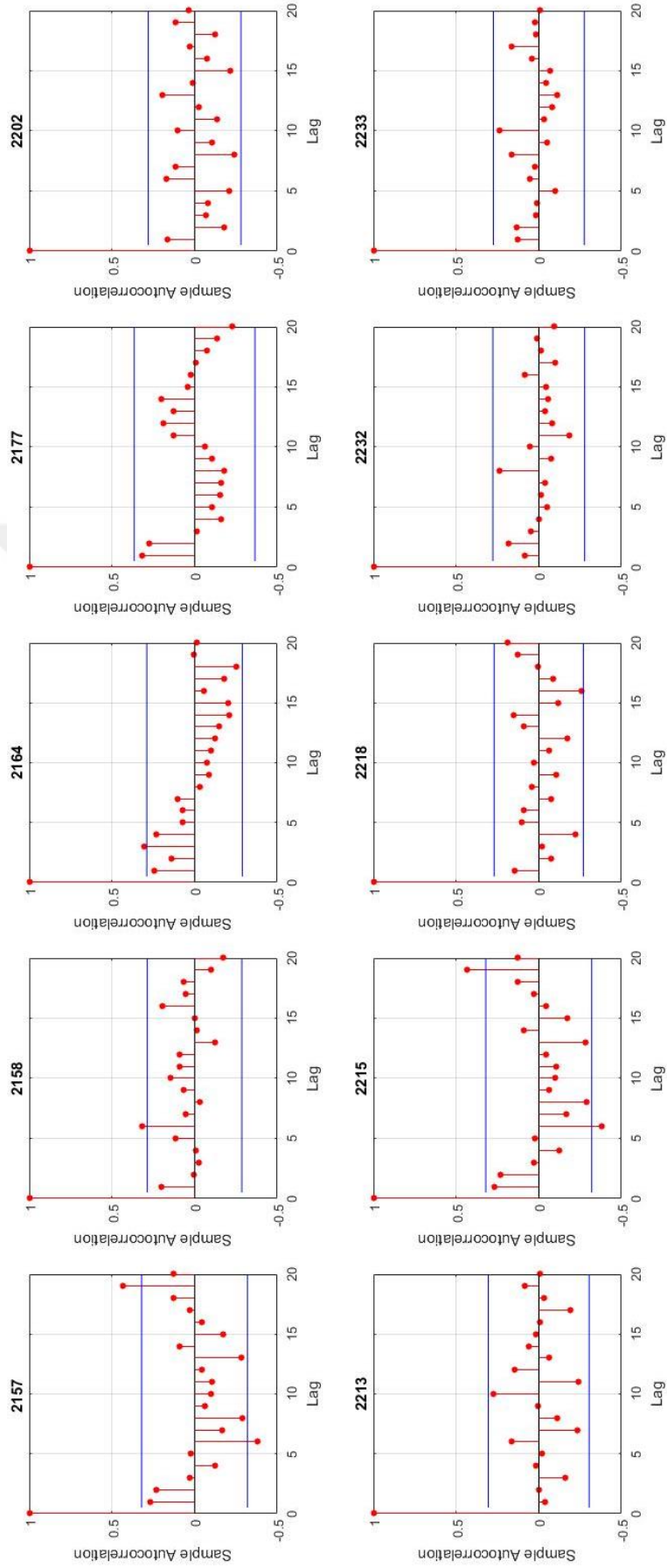


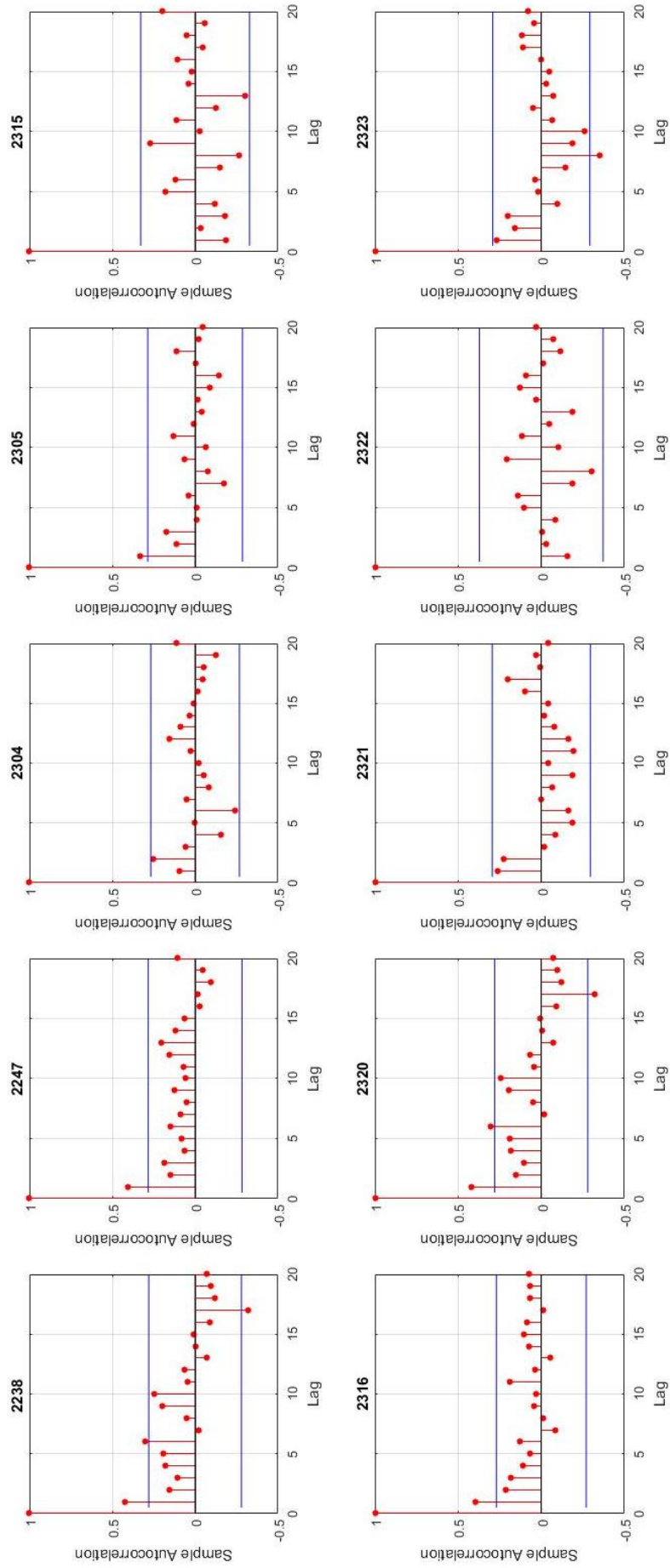


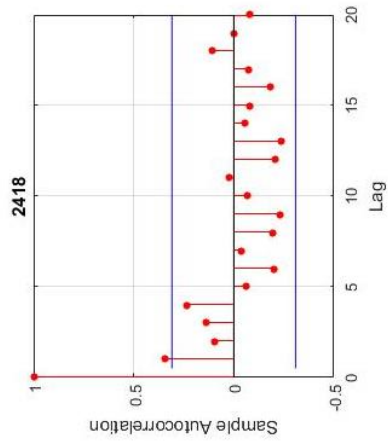
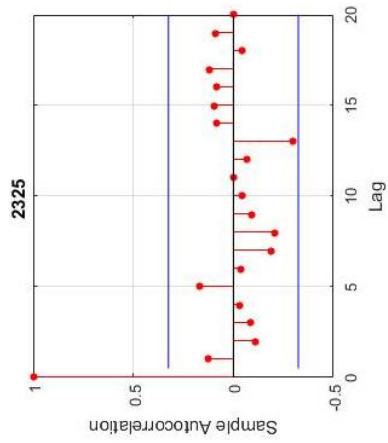
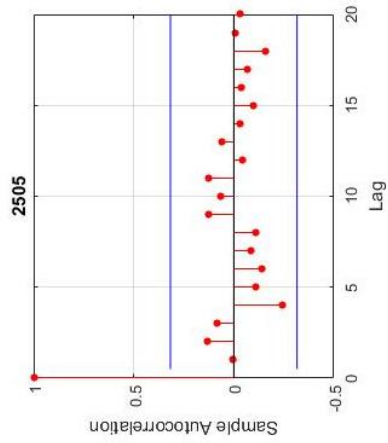
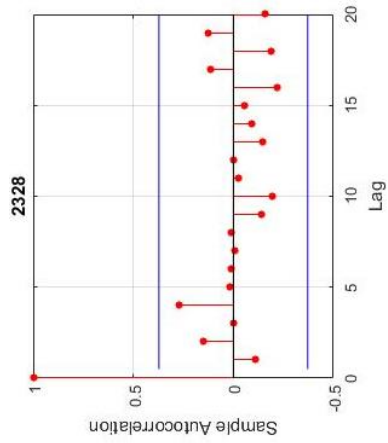
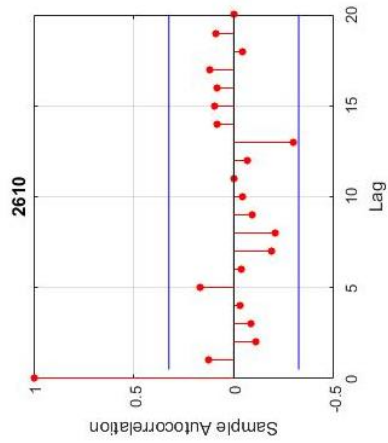
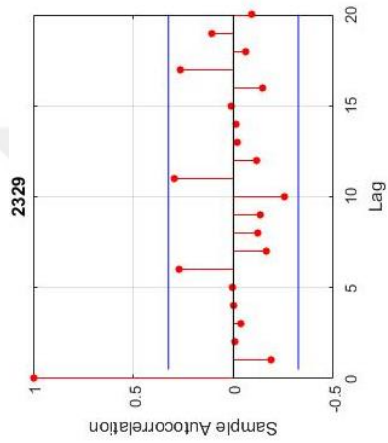
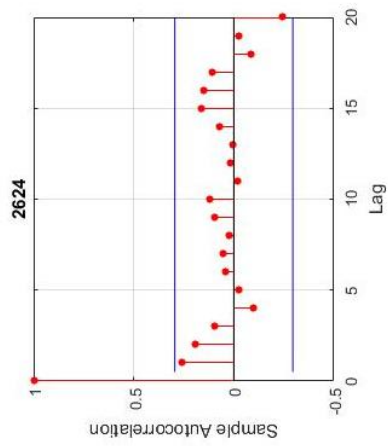
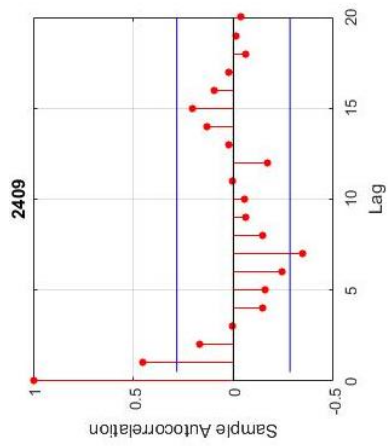






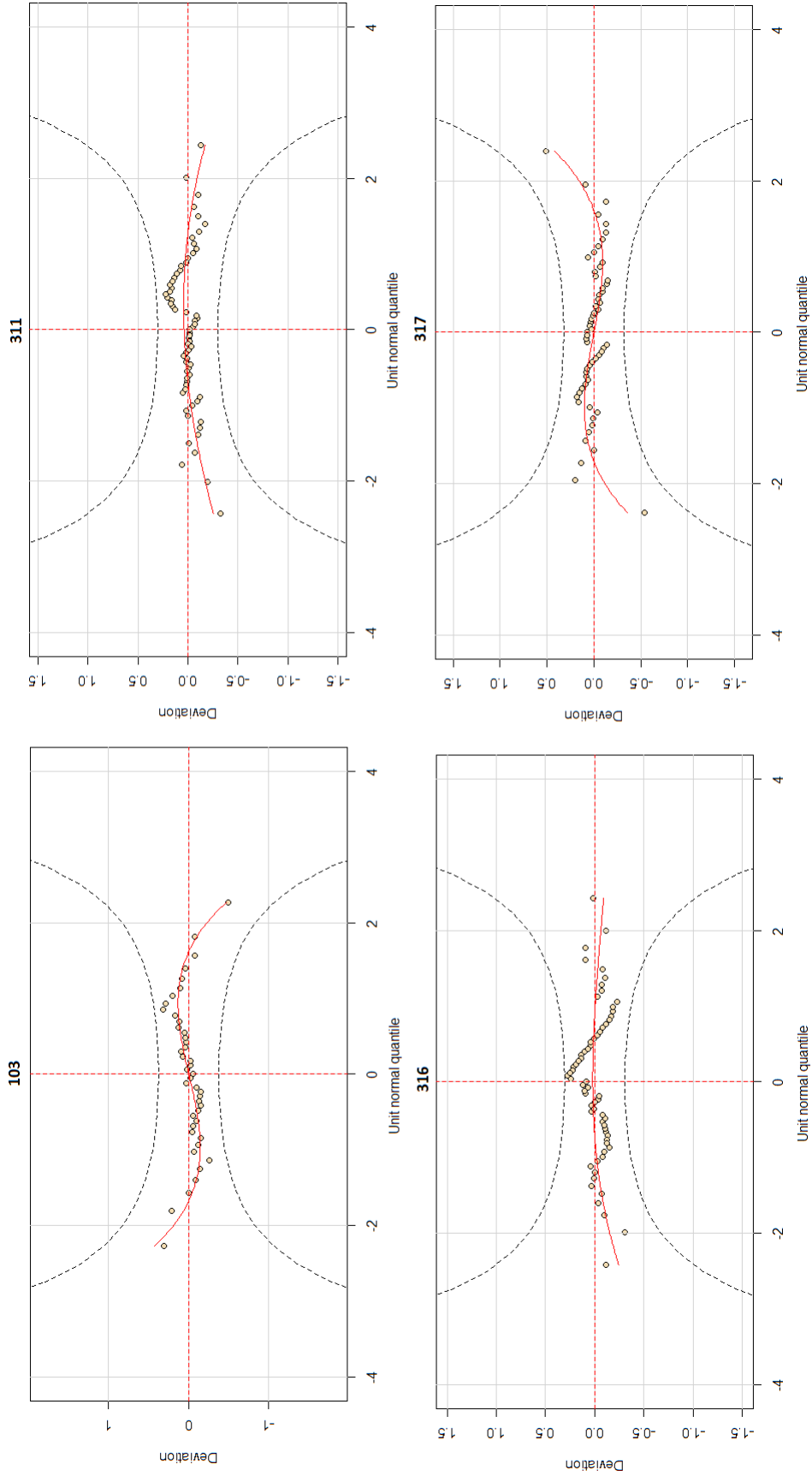


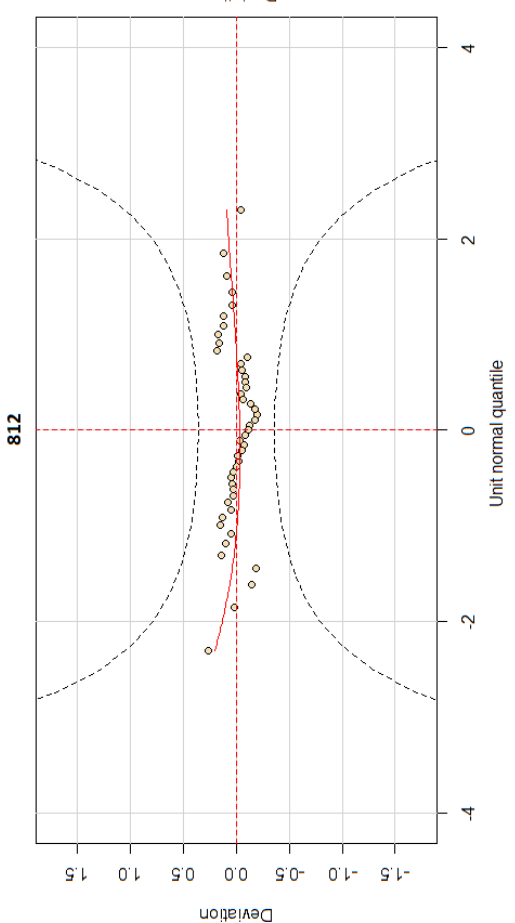
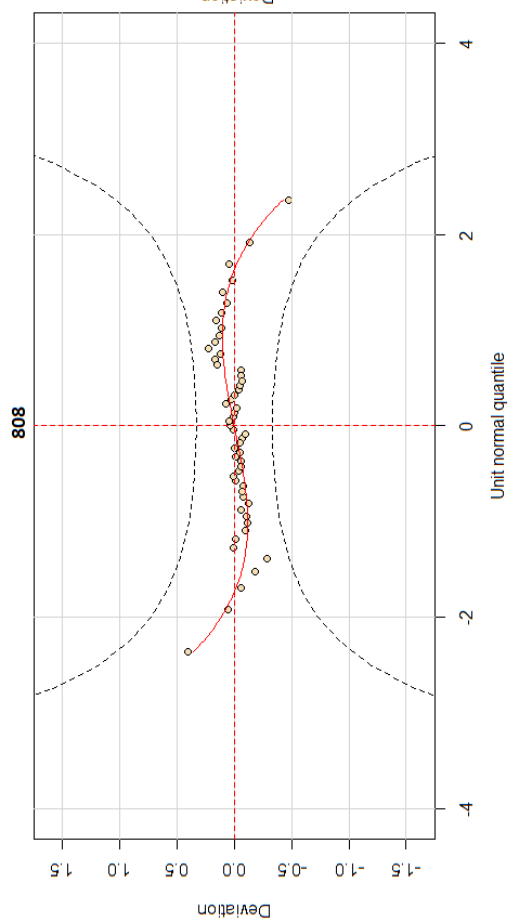
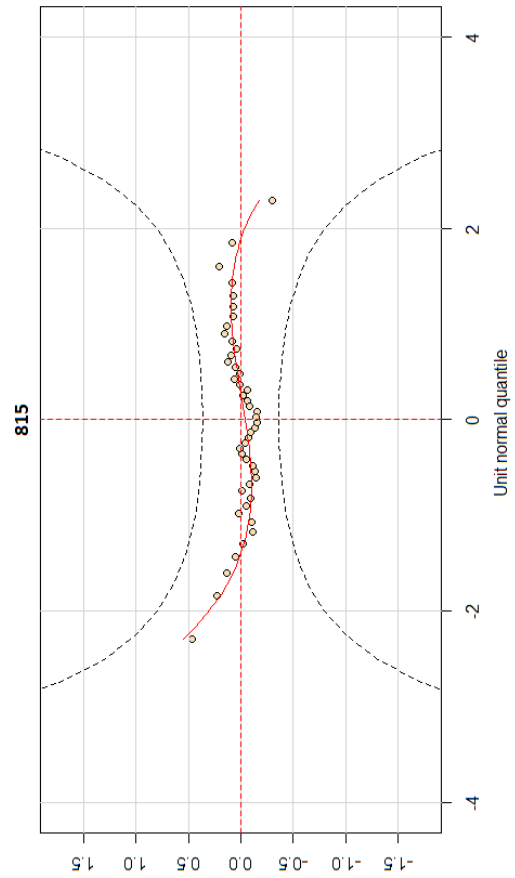
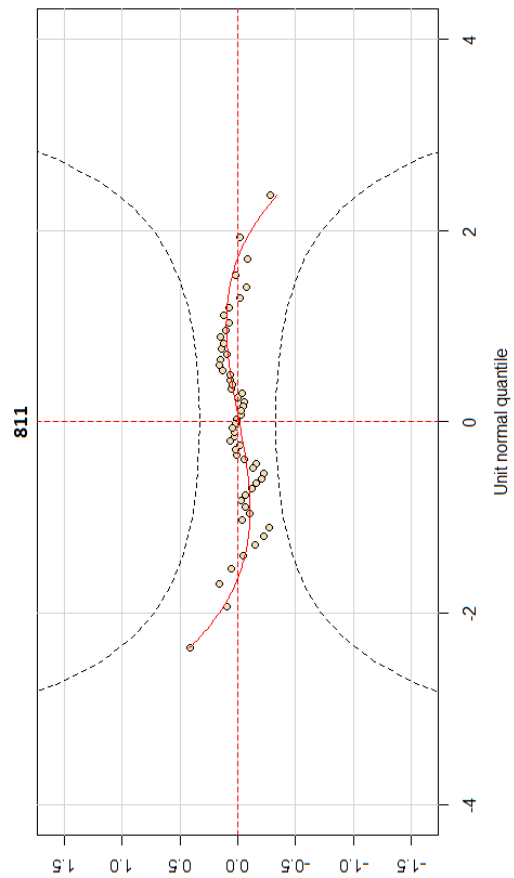


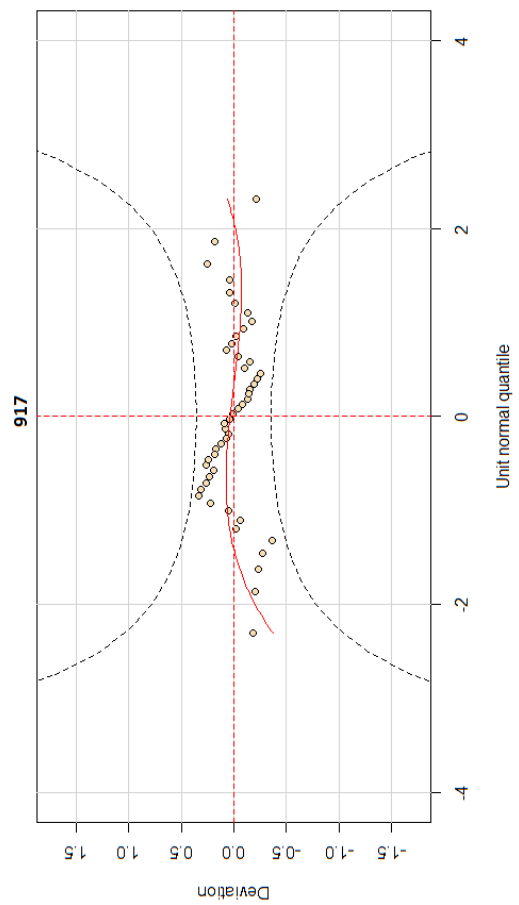
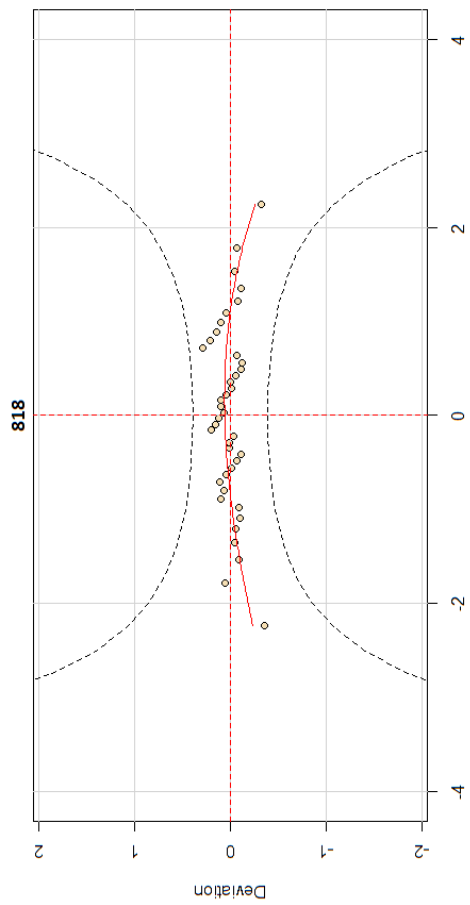
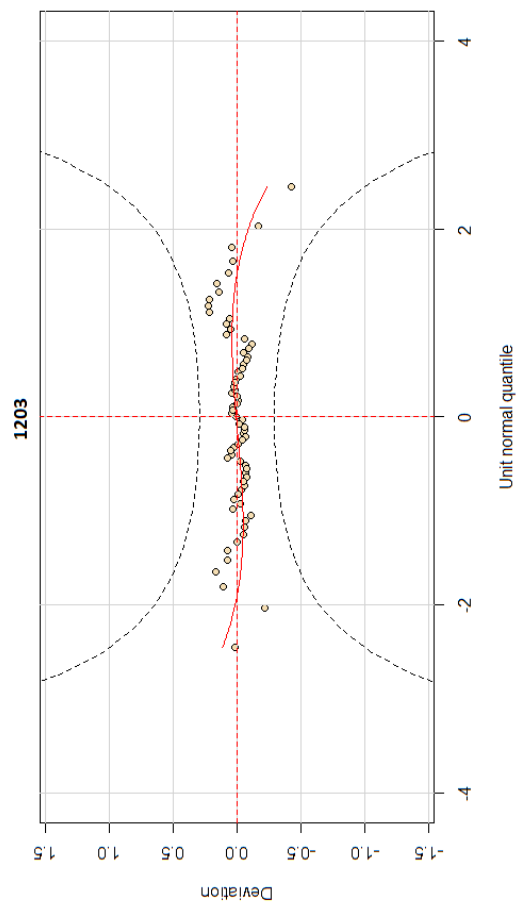
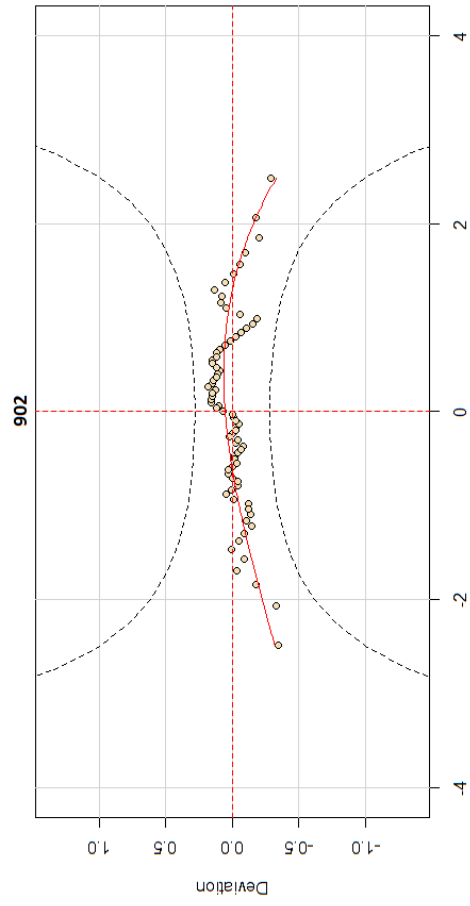


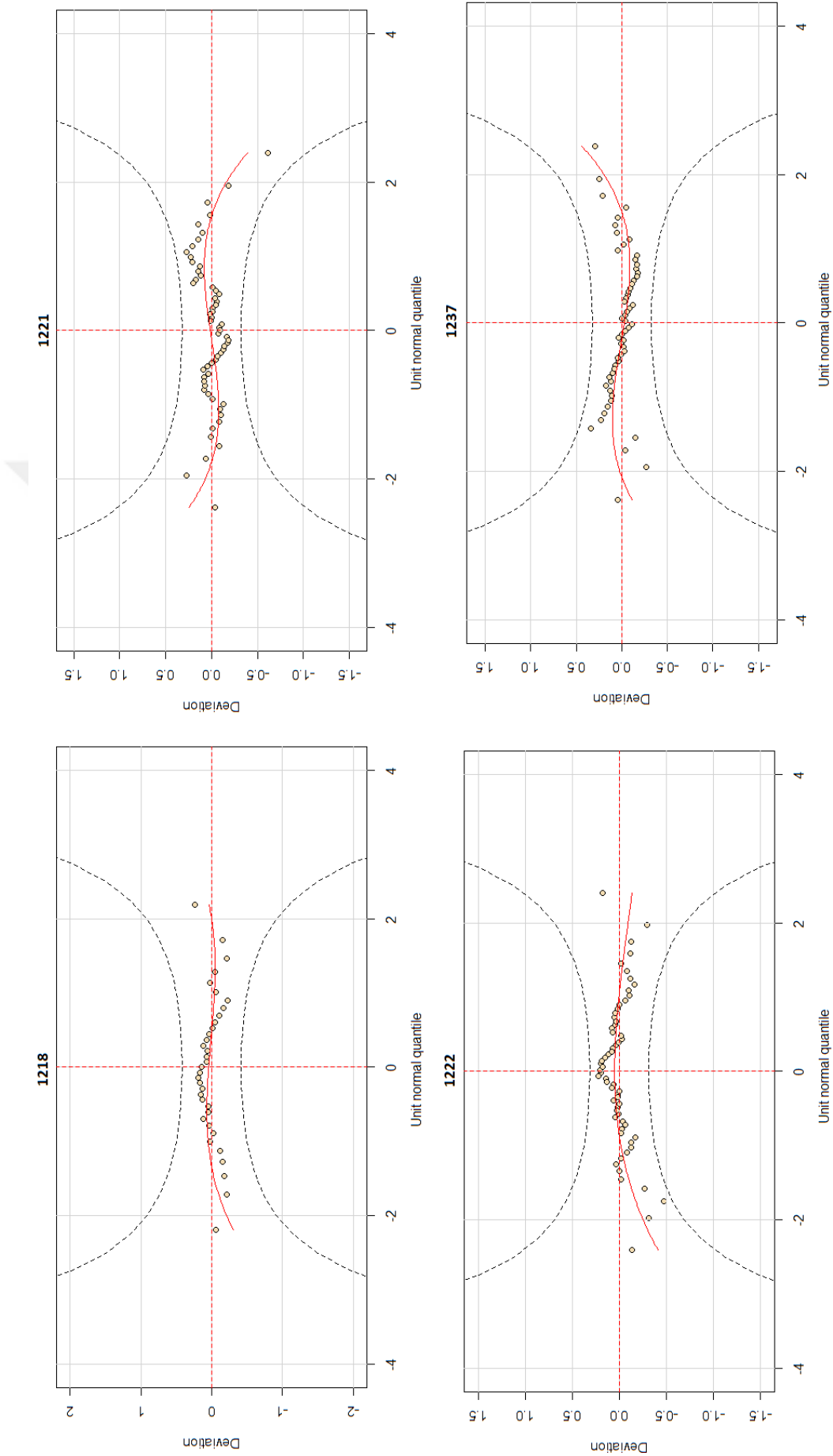
EK-4

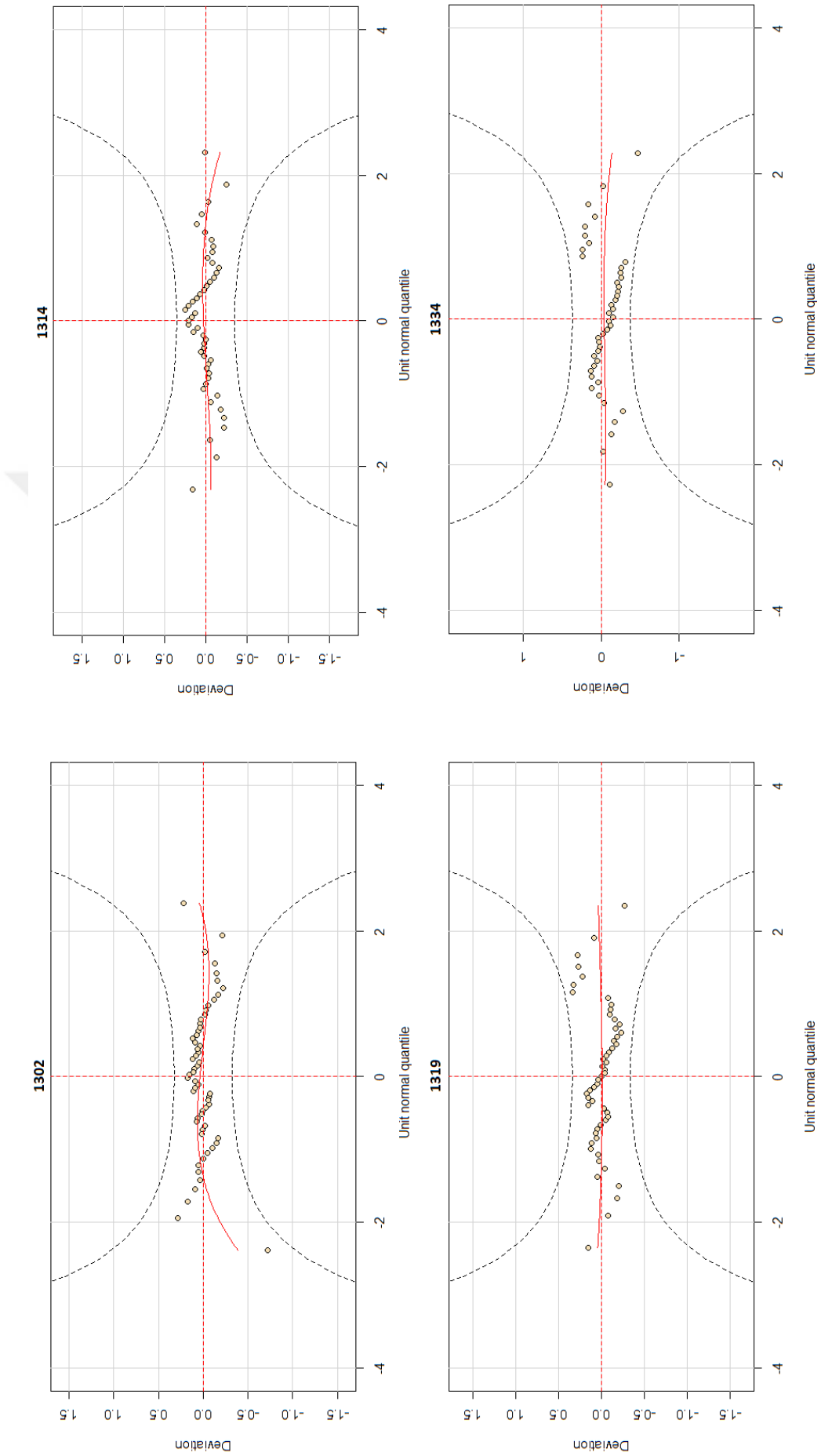
(En uygun modeller için Worm grafikleri)

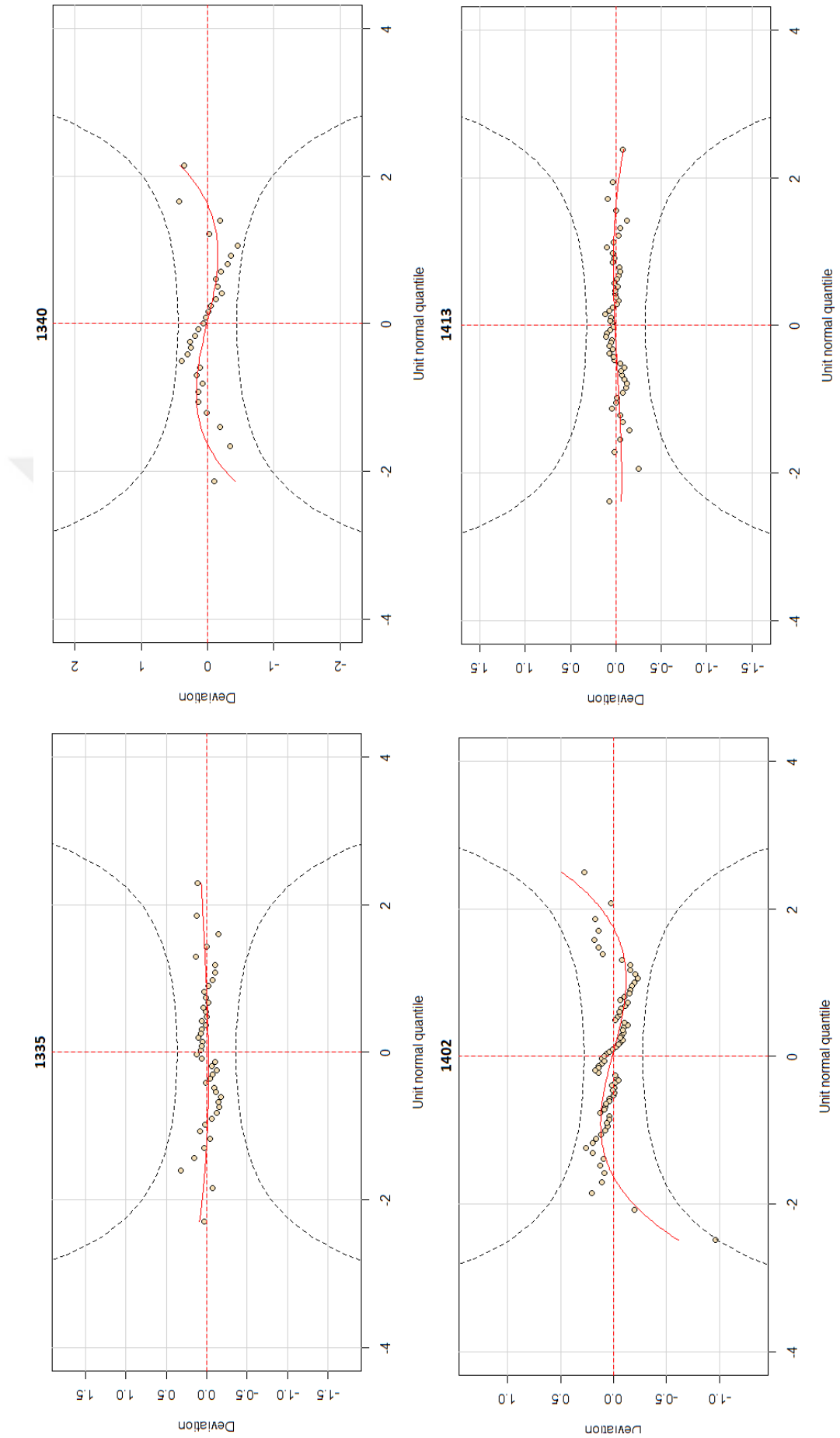


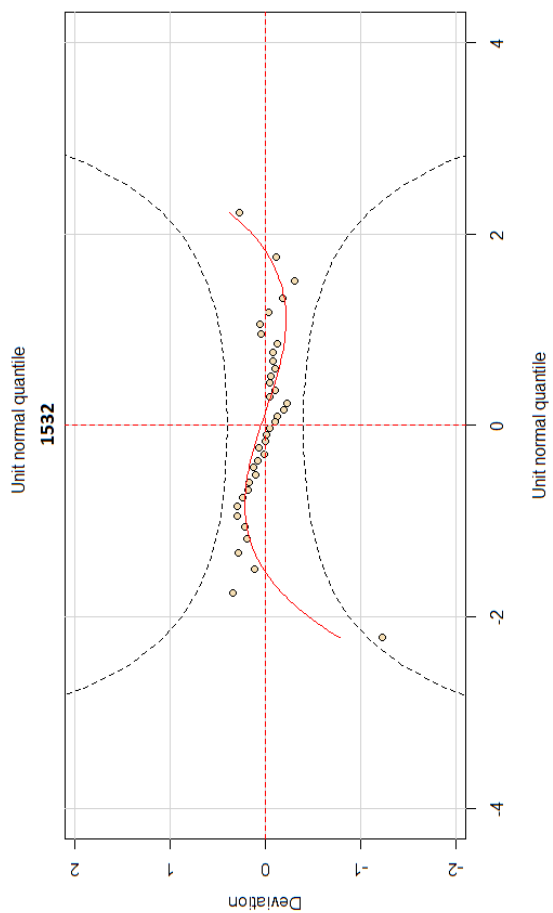
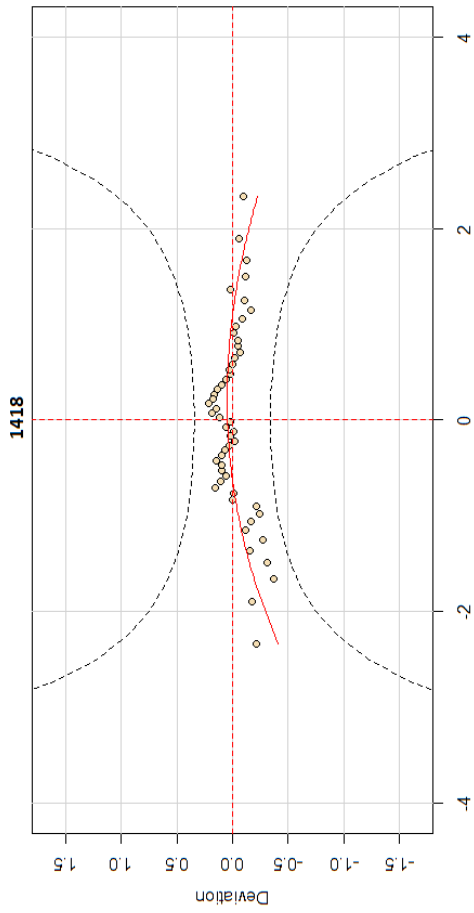
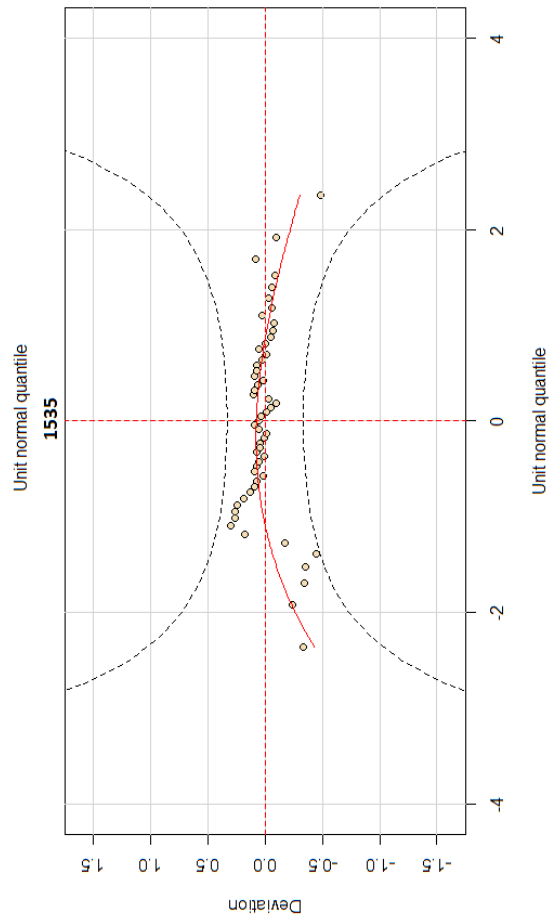
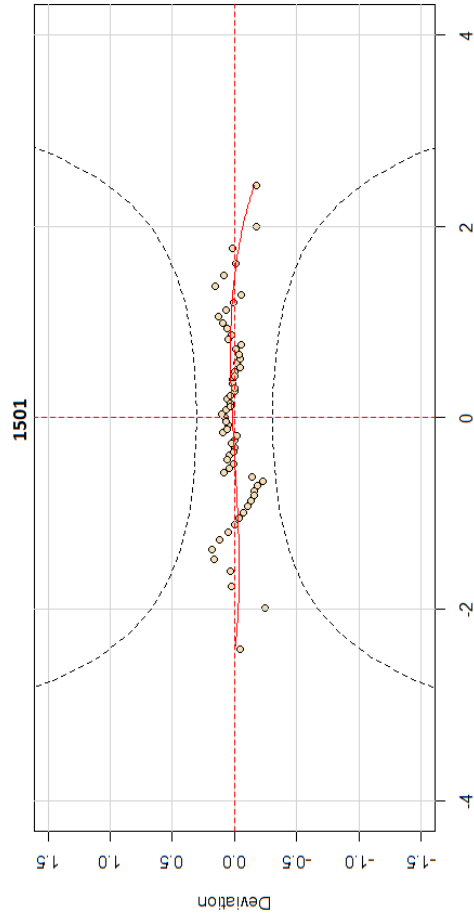


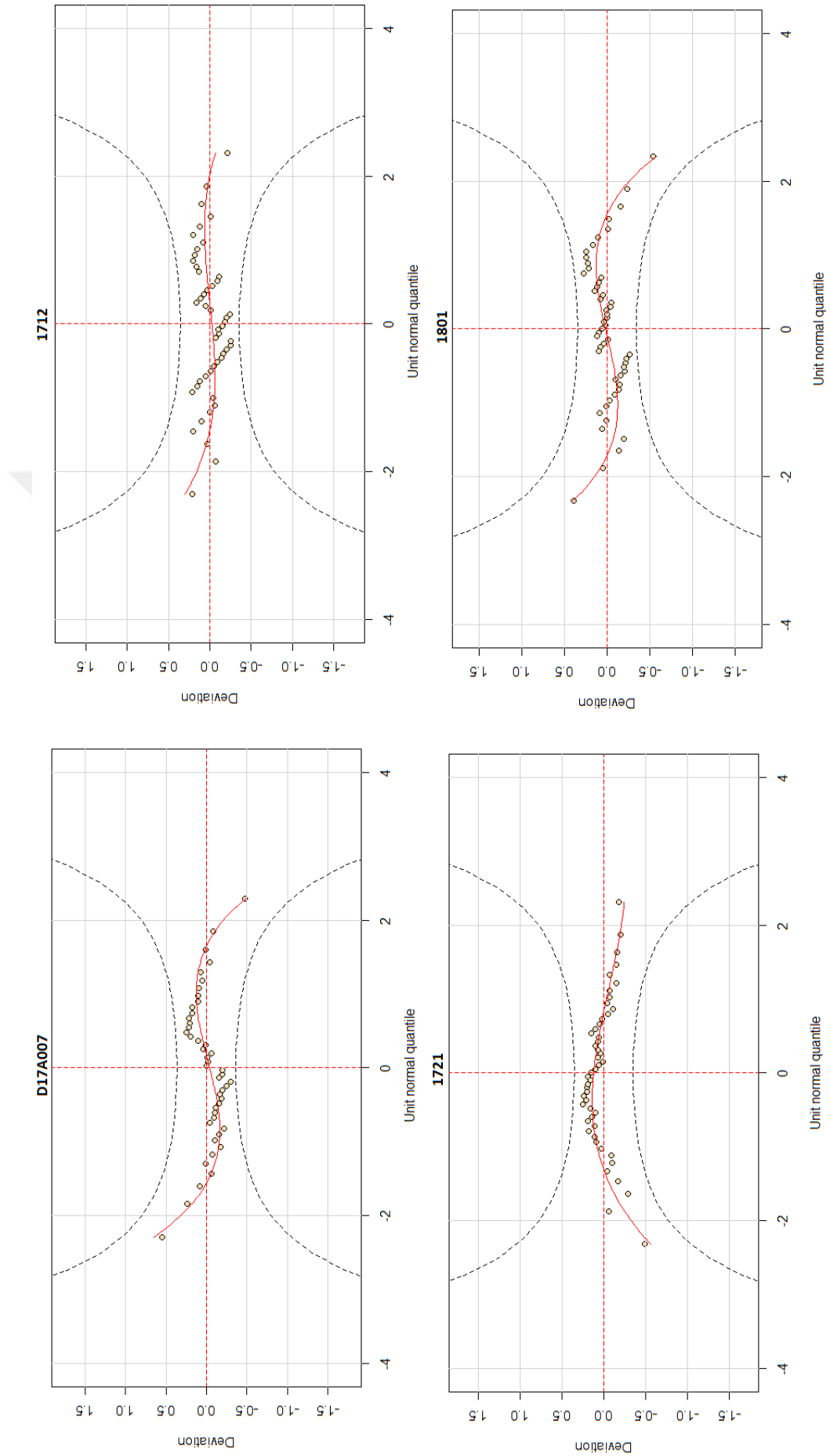


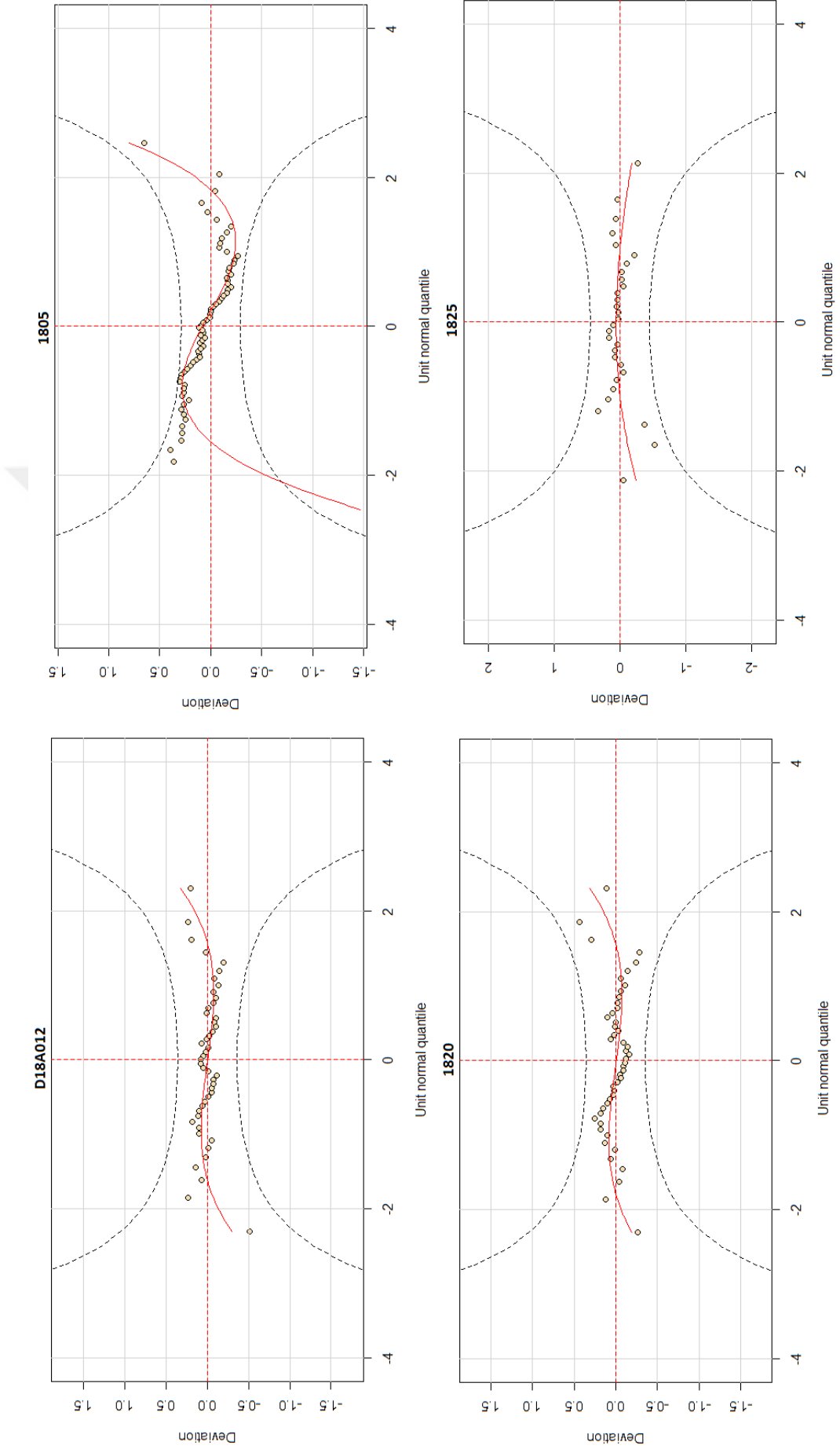


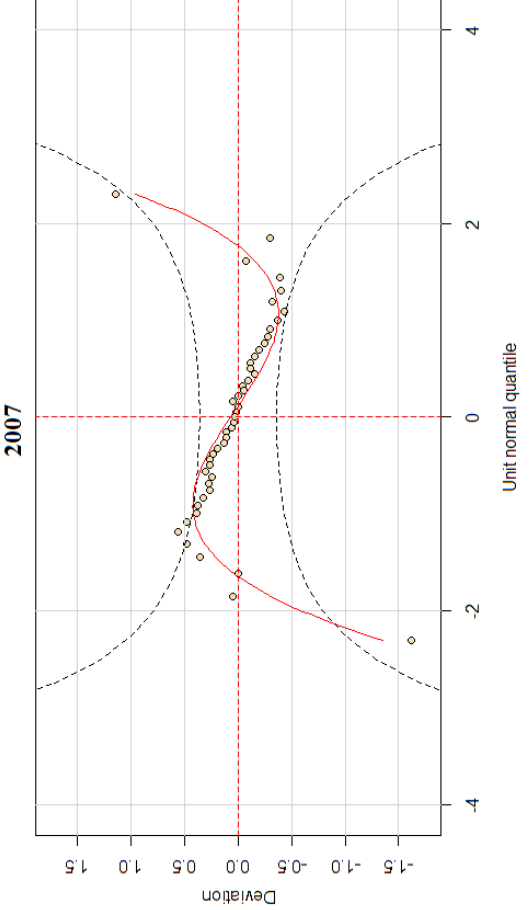
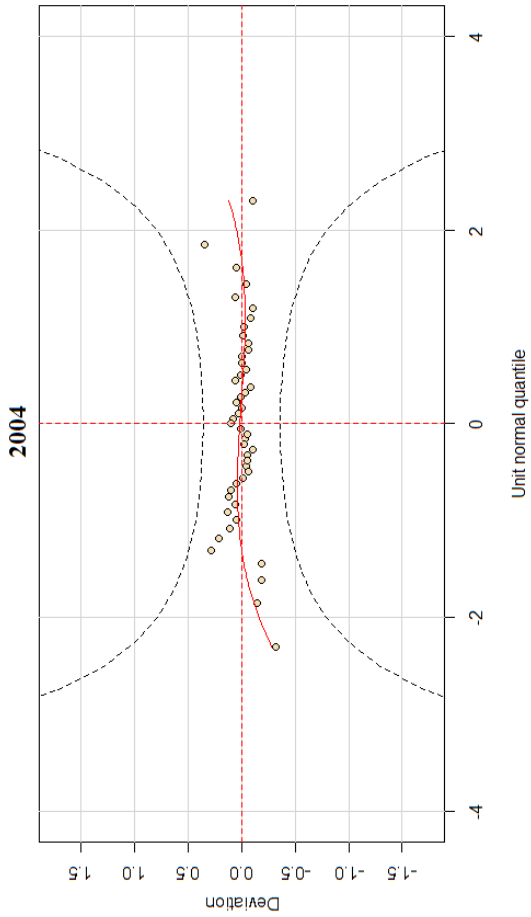
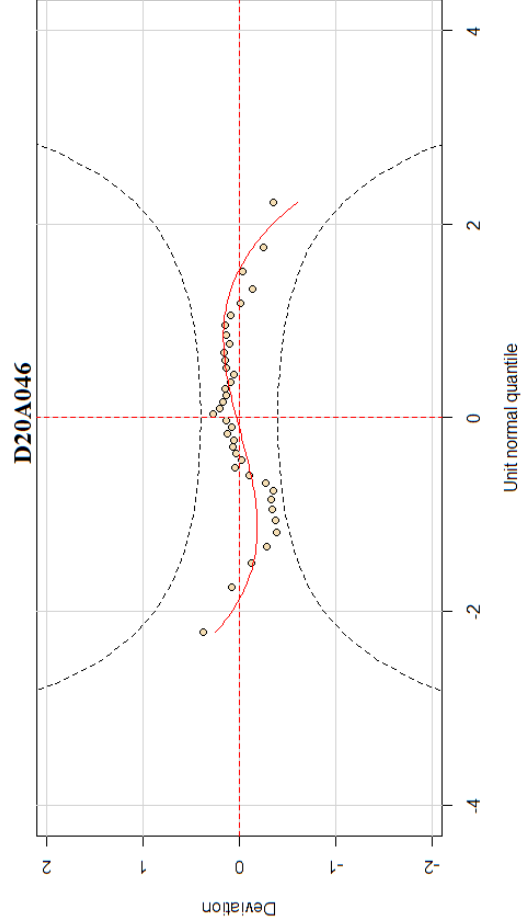
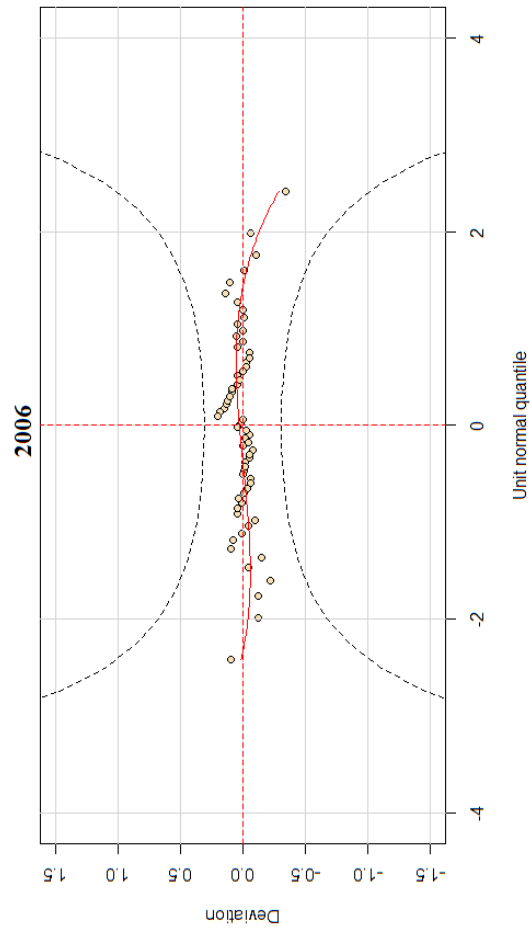


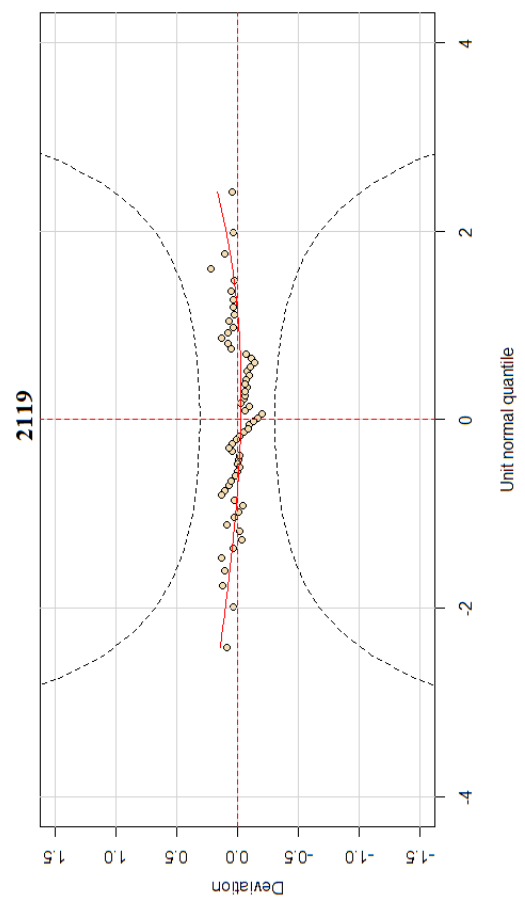
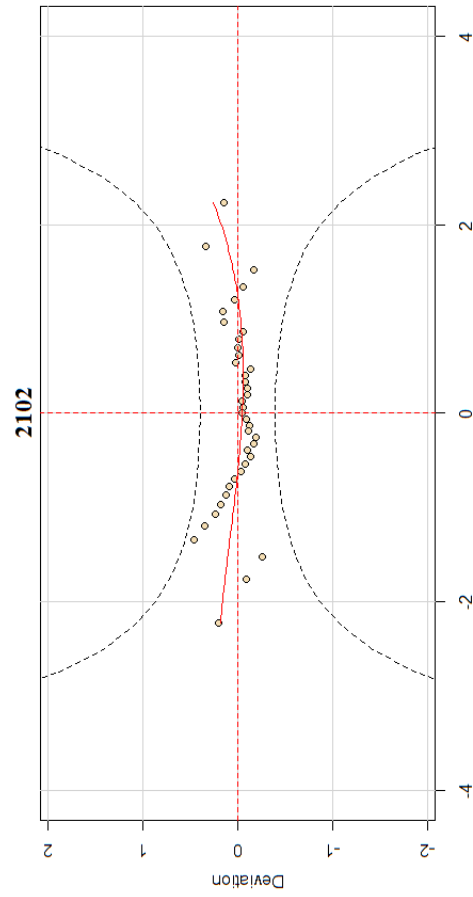
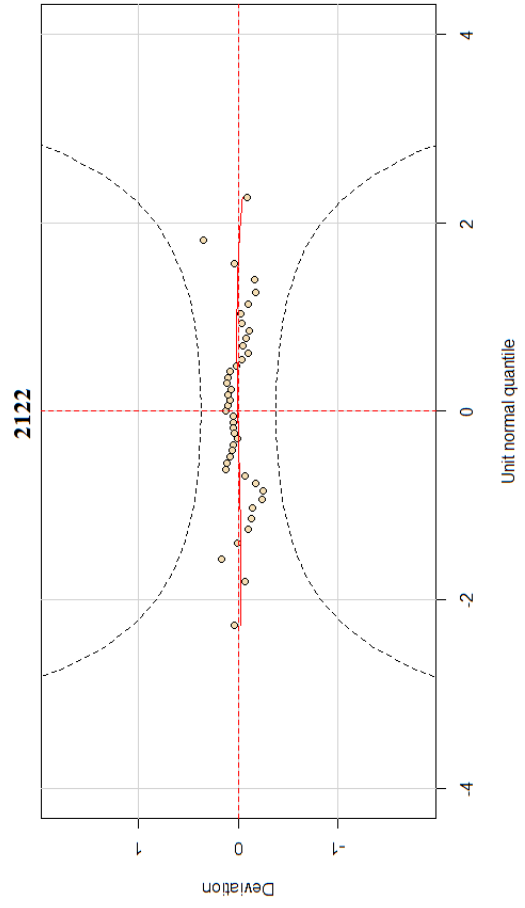
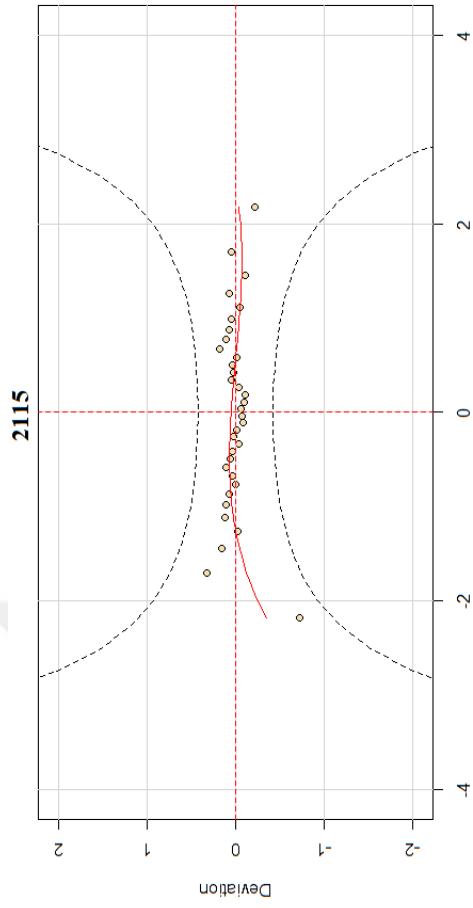


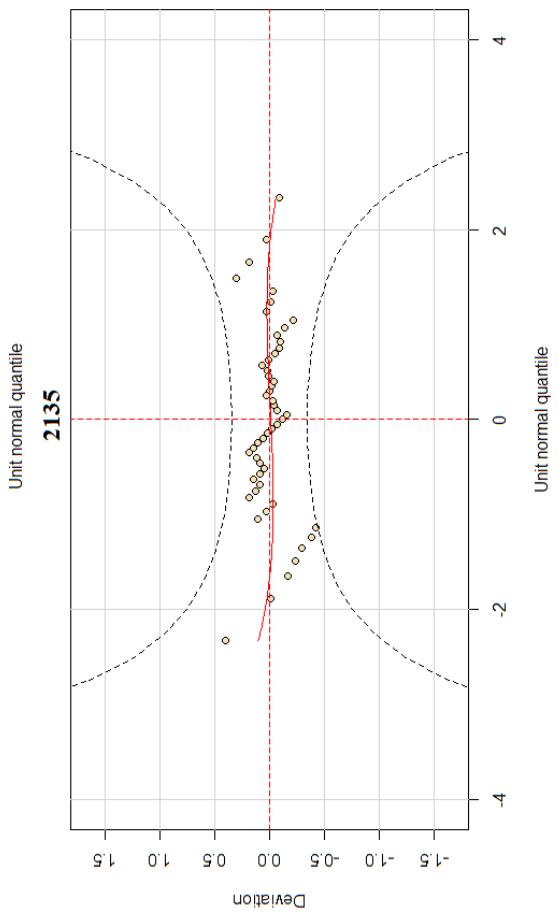
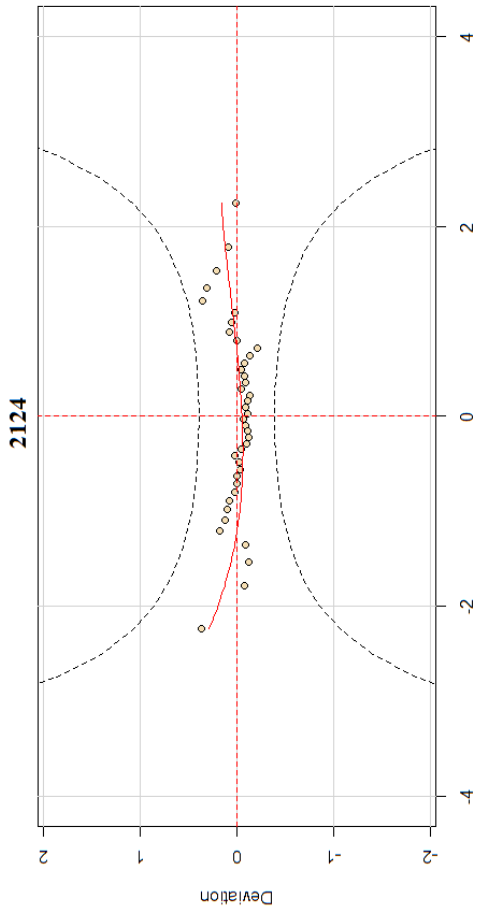
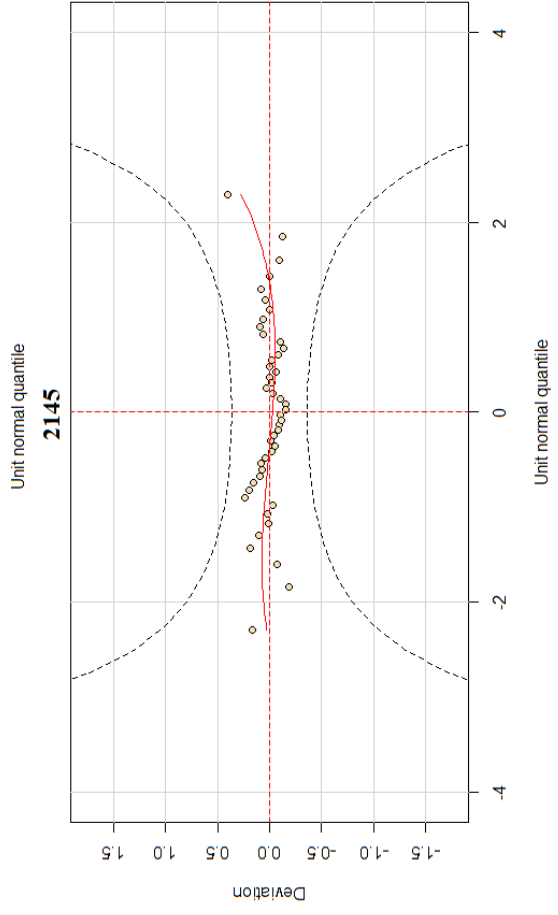
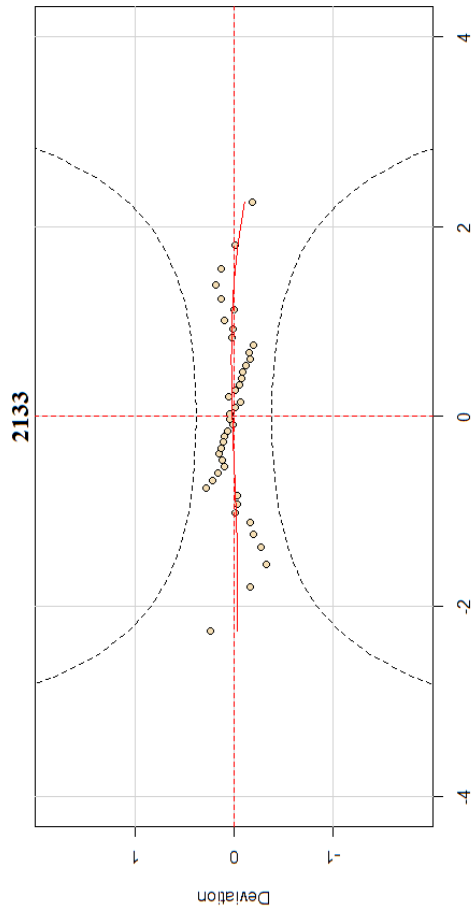


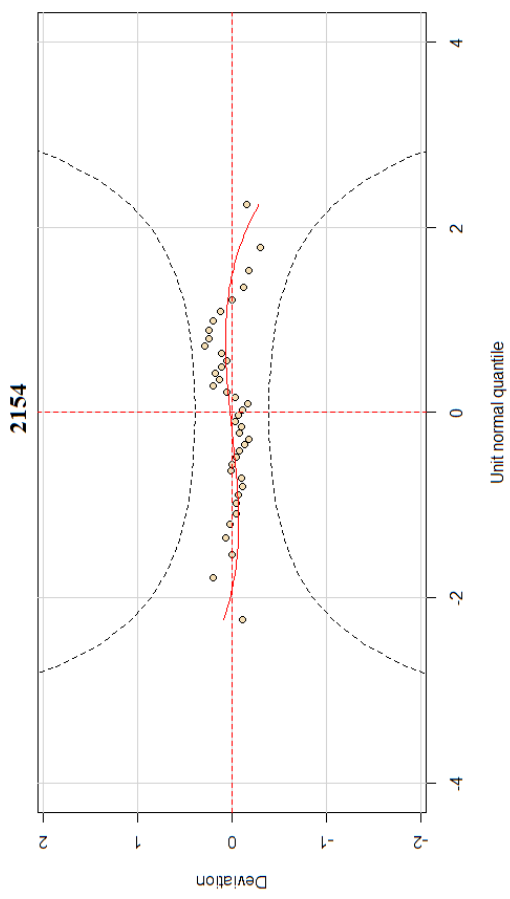
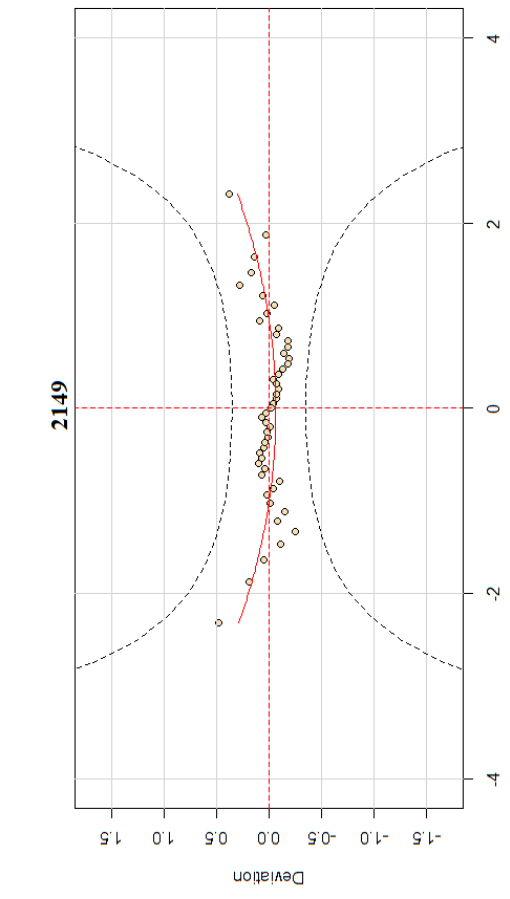
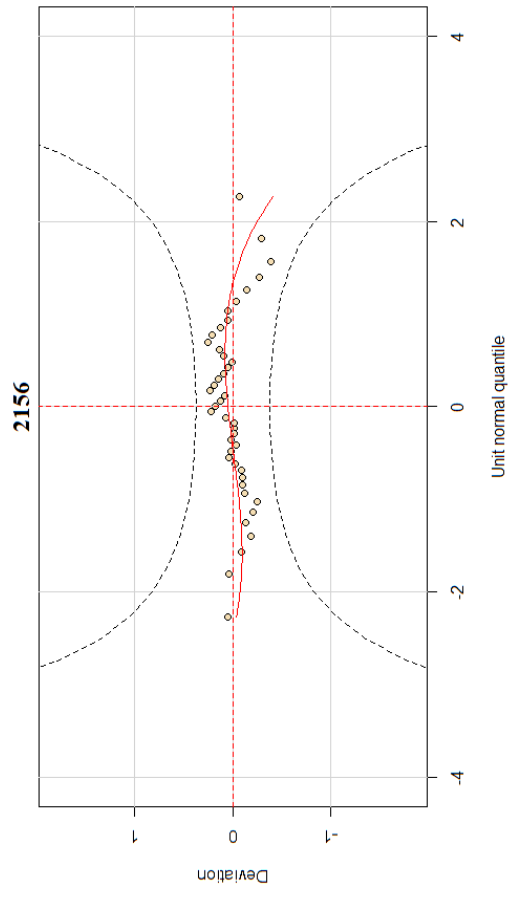
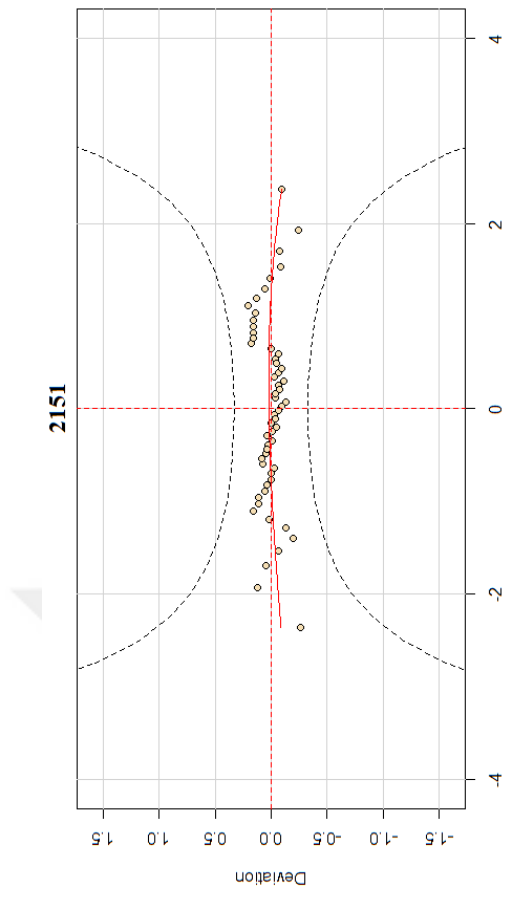


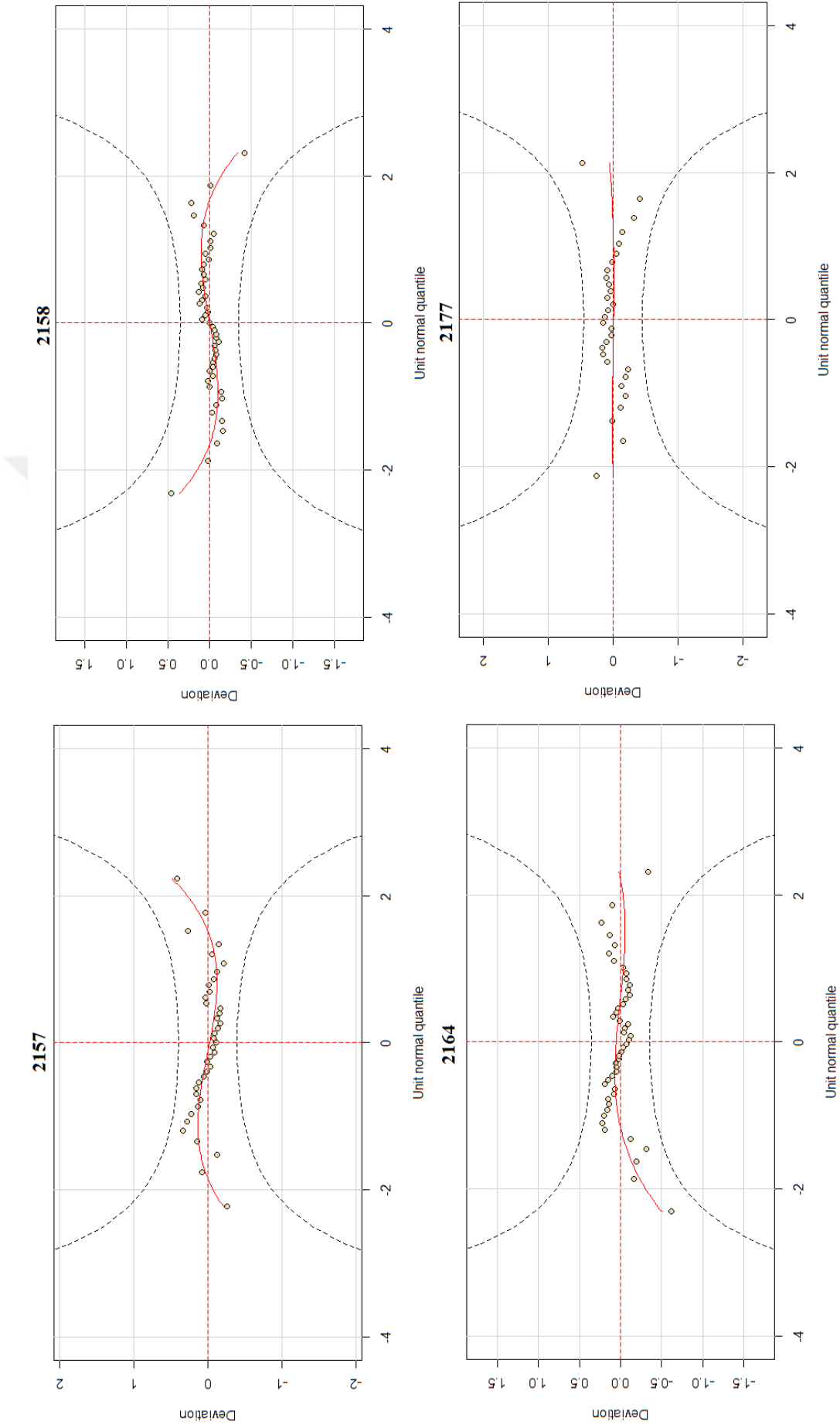


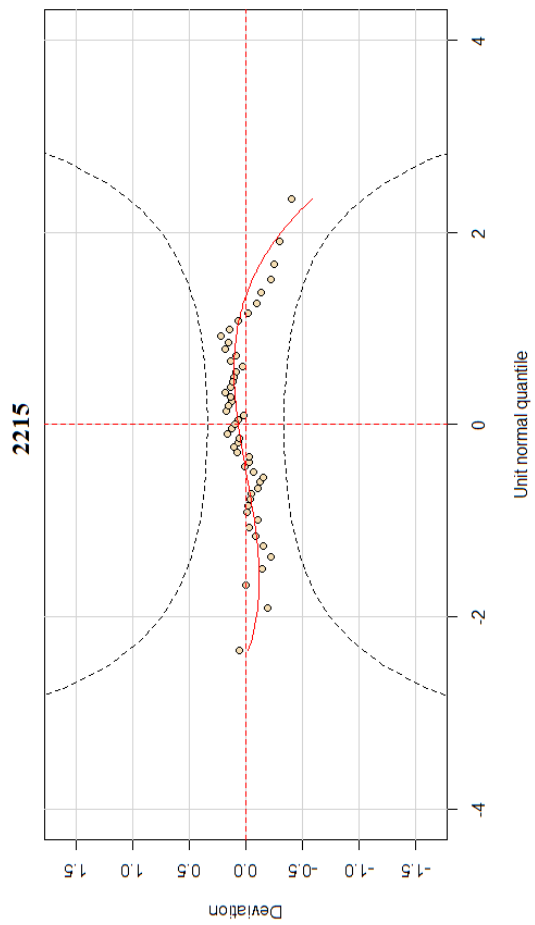
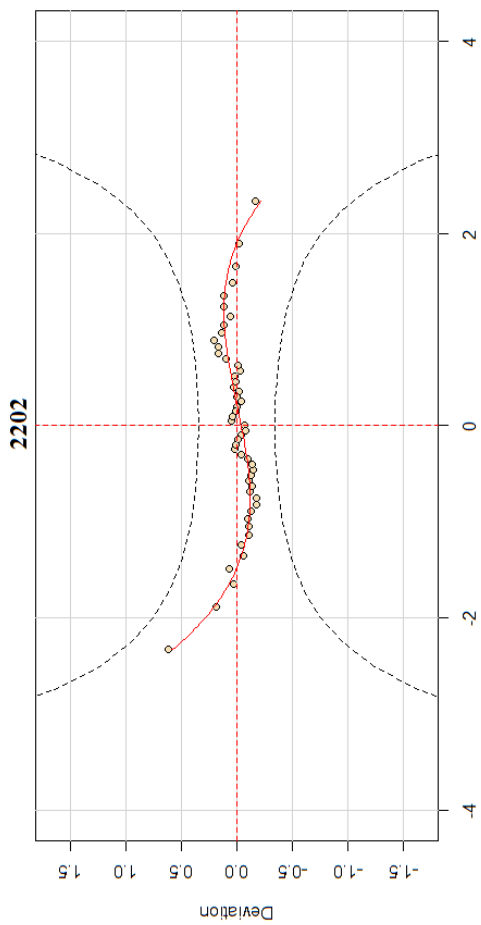
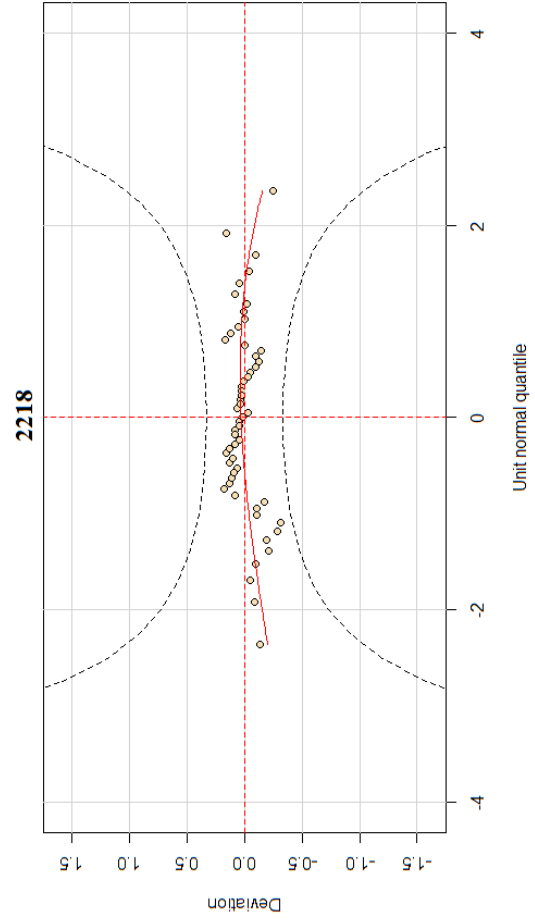
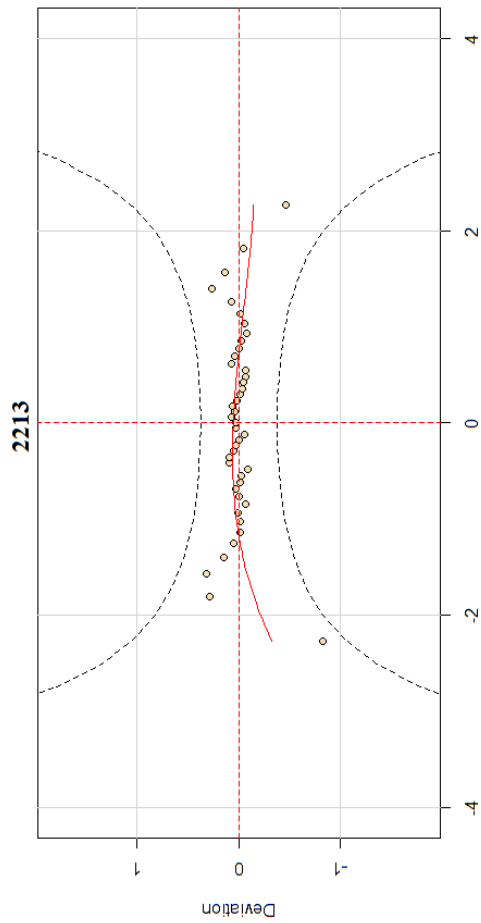






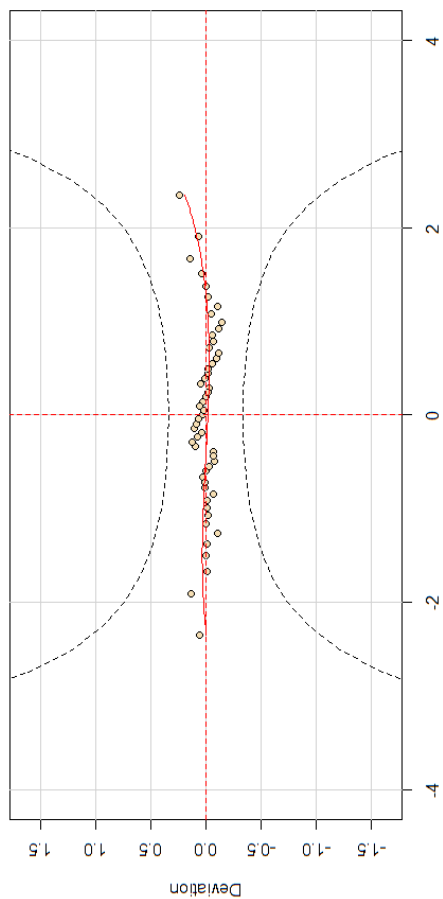




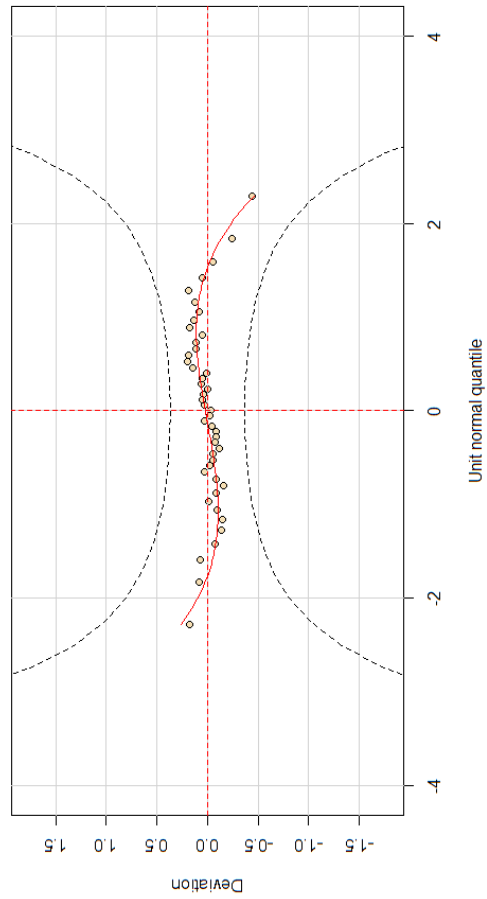




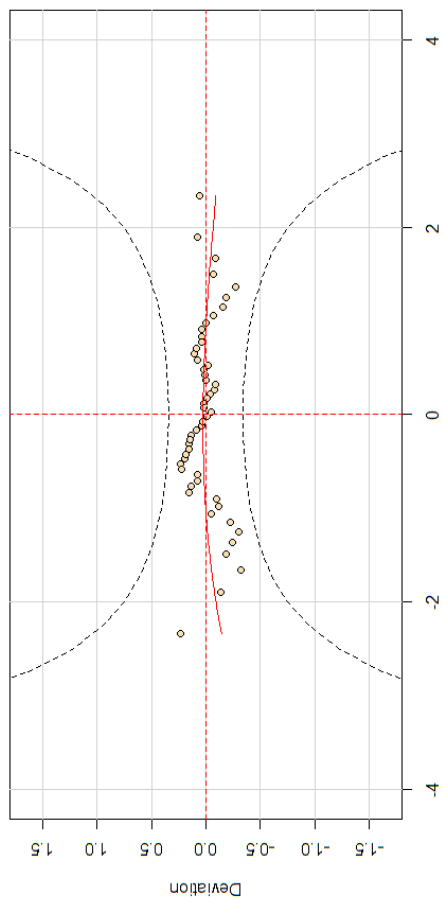
2233



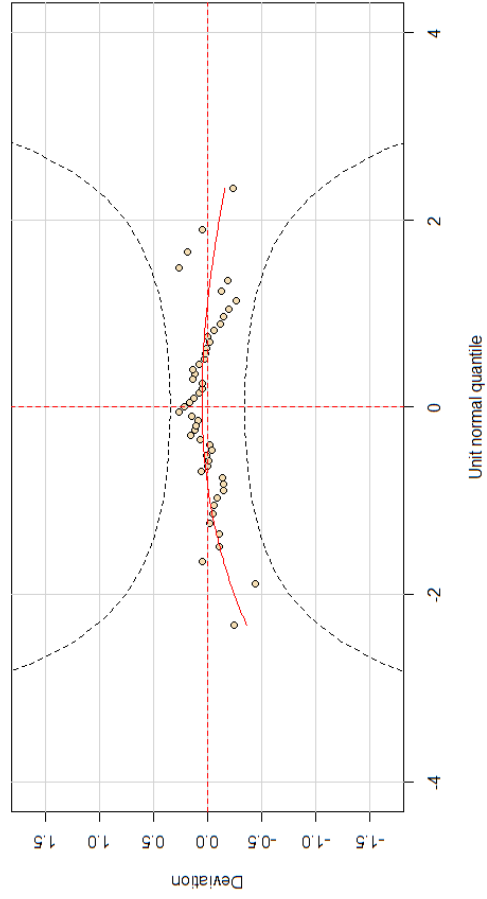
2247

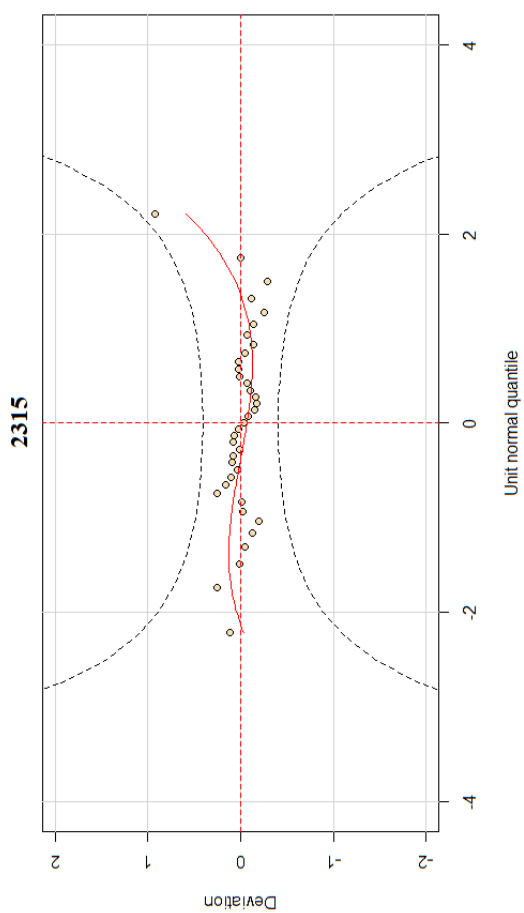
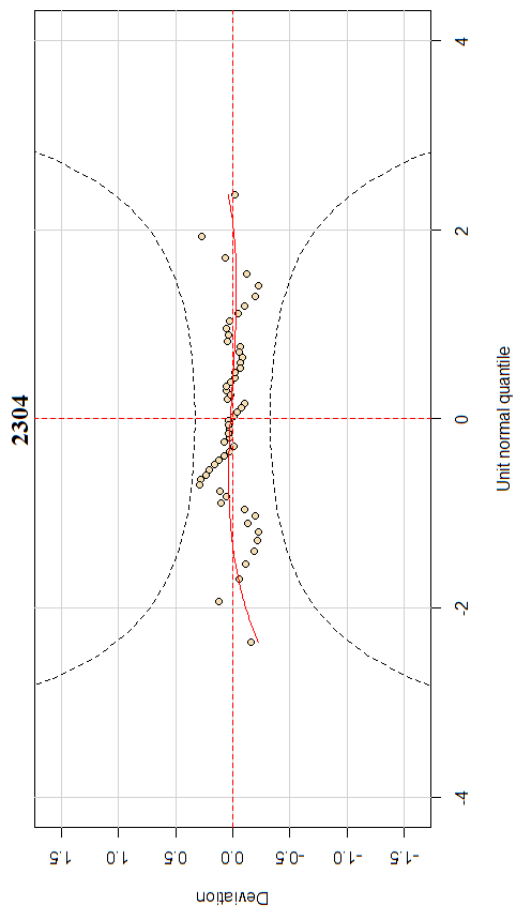
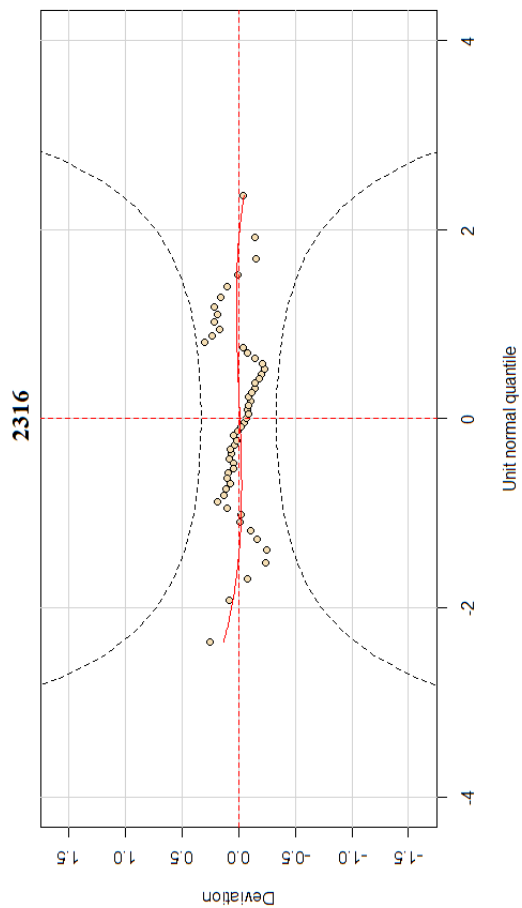
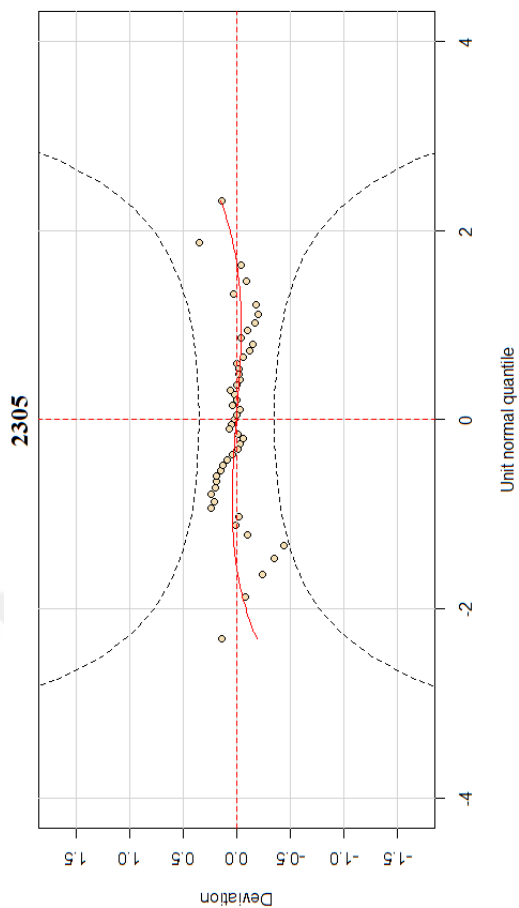


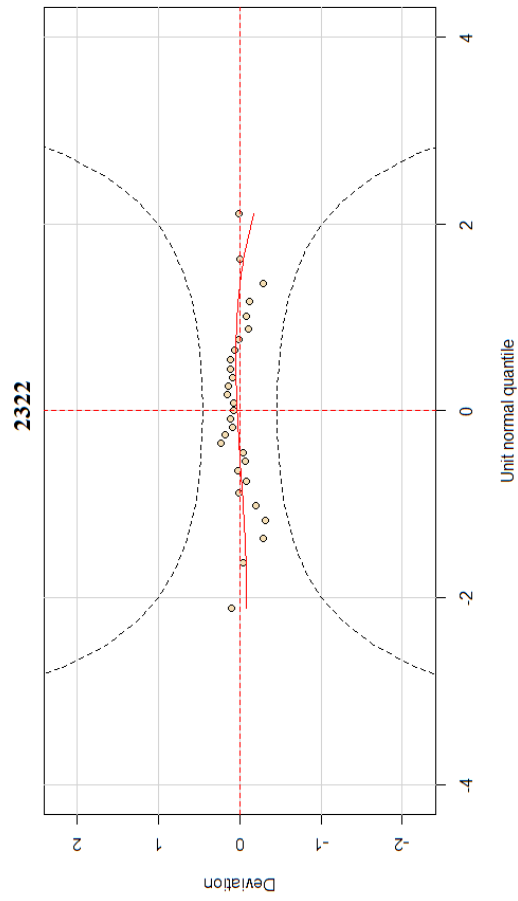
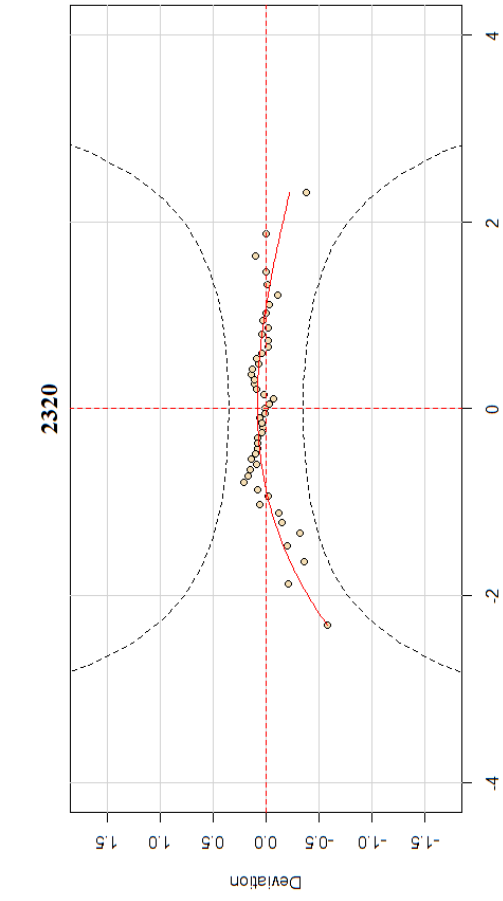
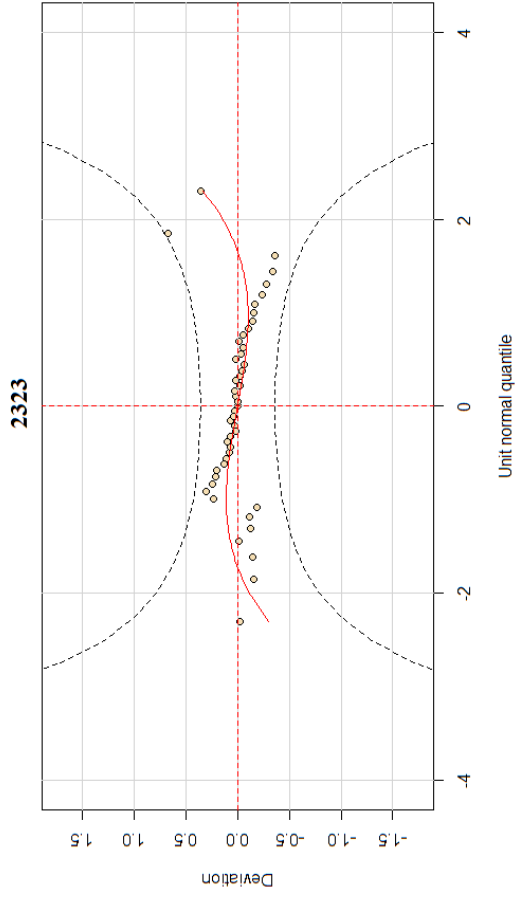
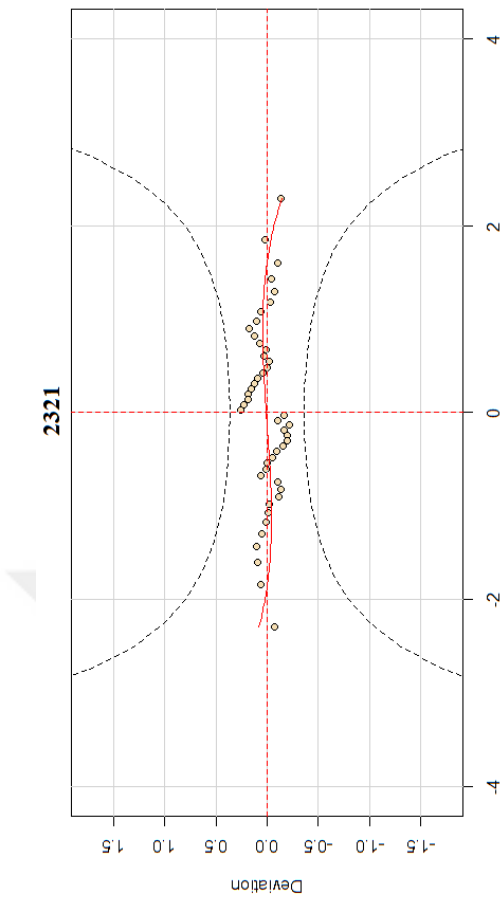
2232

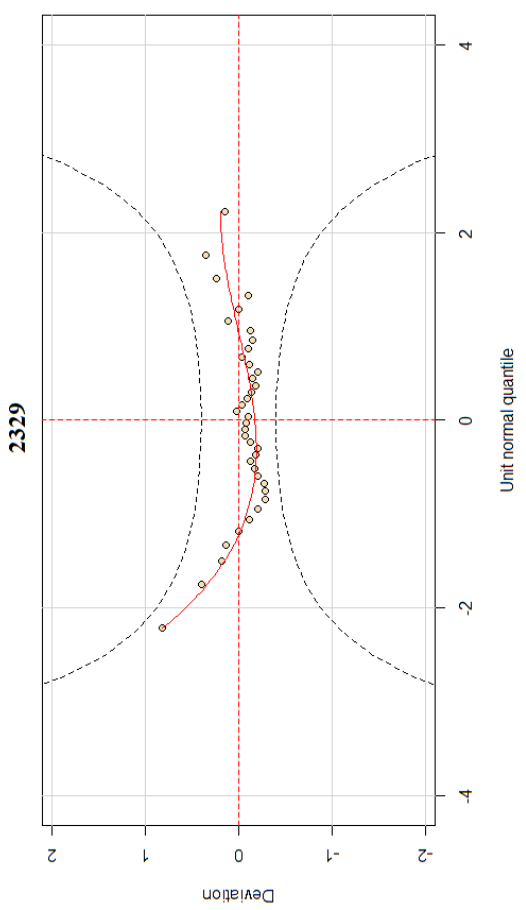
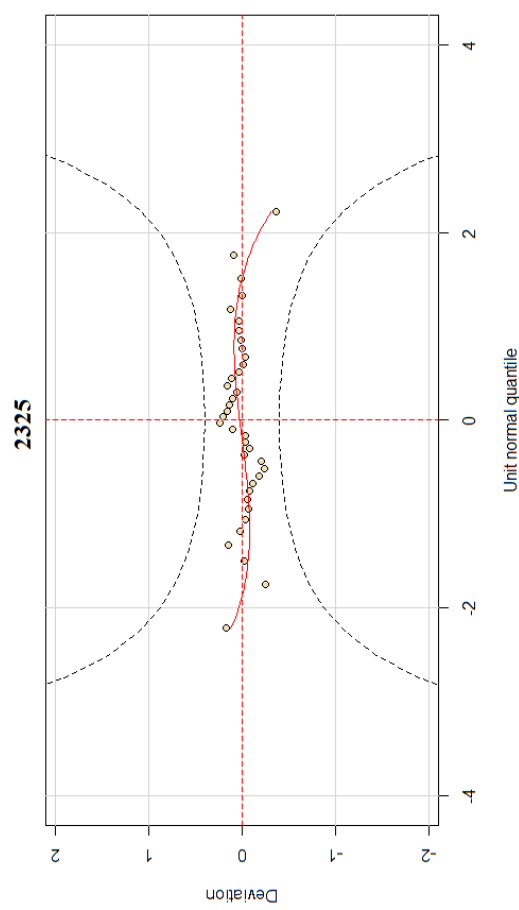
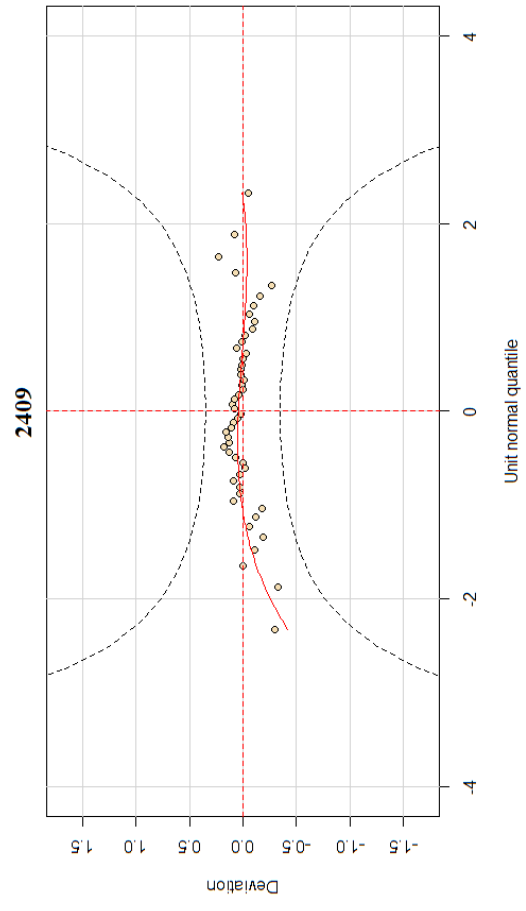
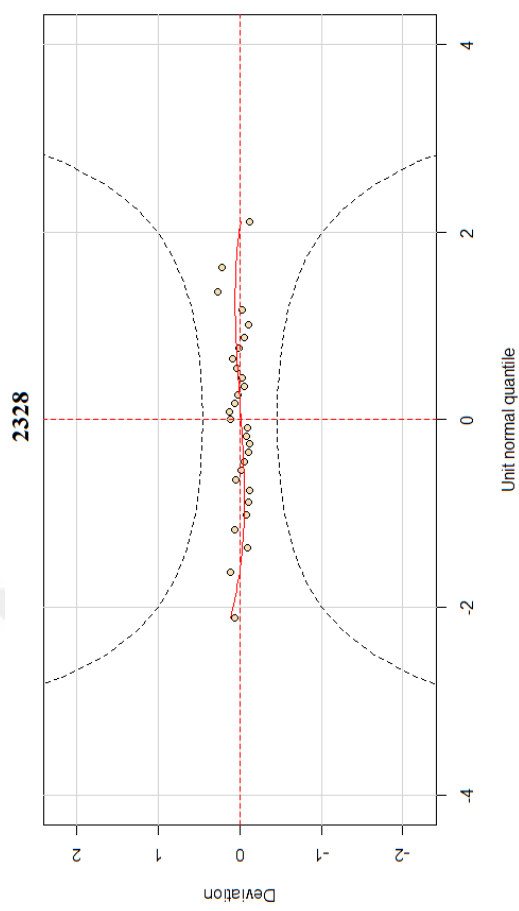


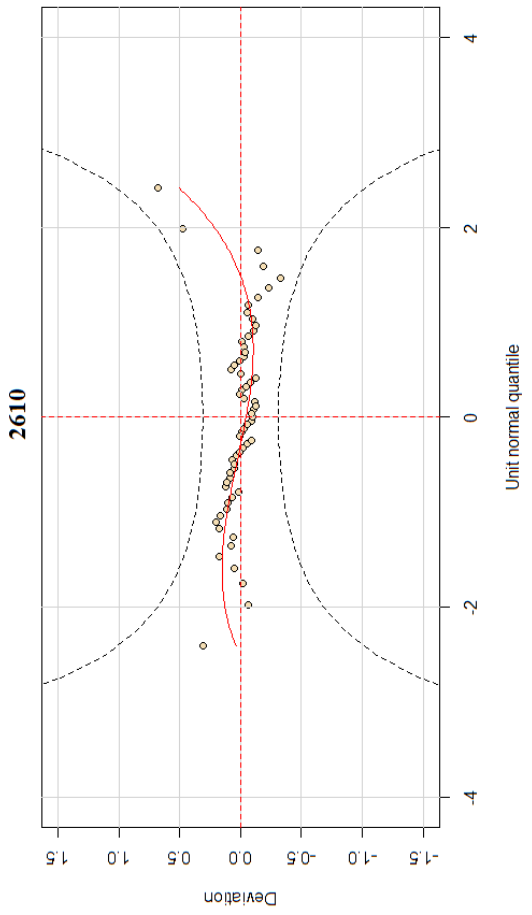
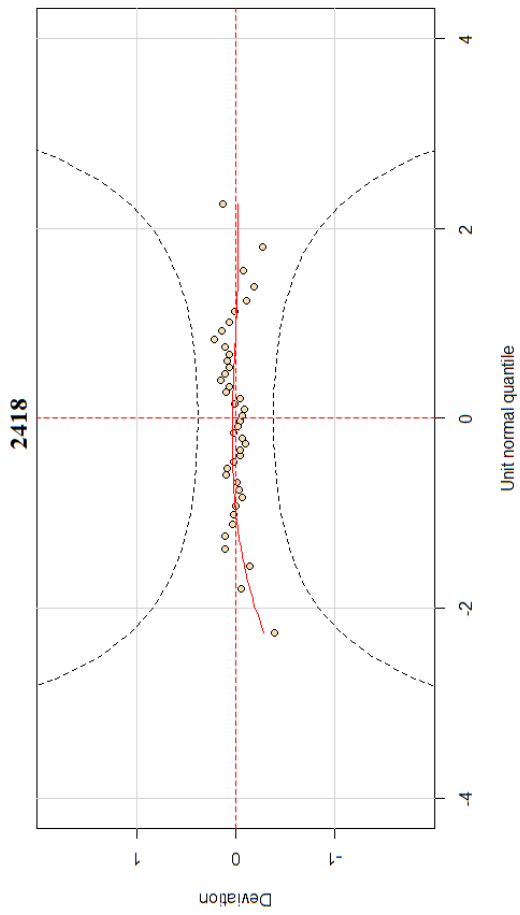
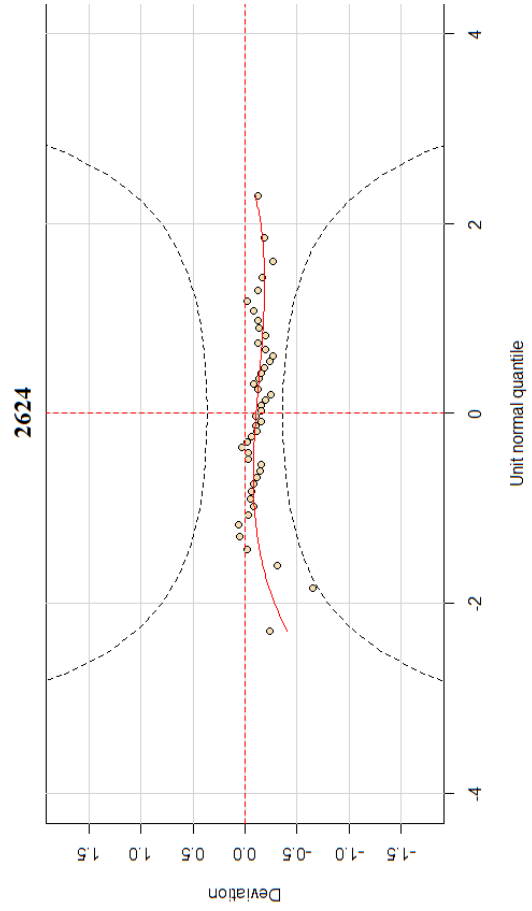
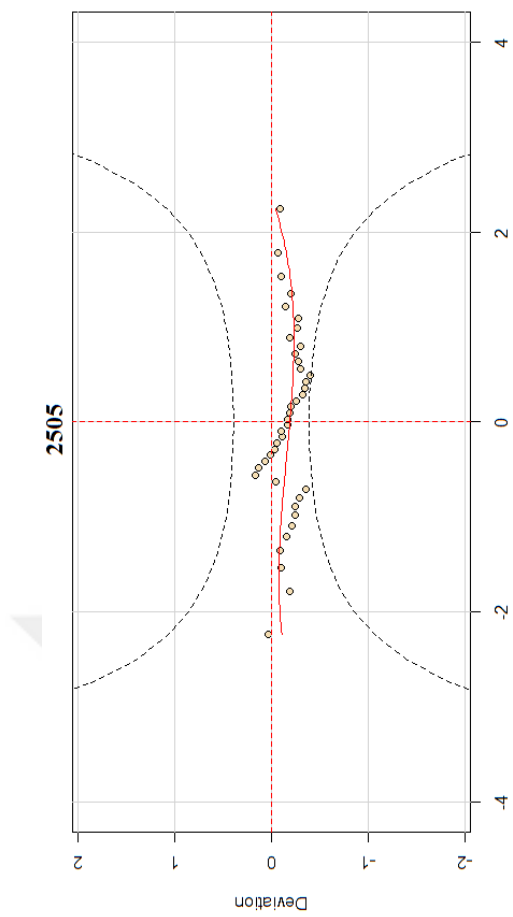
2238











EK-5

Durağan ve durağan olmayan modeller için GAIC ve LR test p değeri

İstasyon No	Model	LR test (p değeri)	GAIC
311	$Q \sim WEI[\mu, \sigma]$		158,41
	$Q \sim WEI[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * t), \sigma]$	1,84E-05	143,06
316	$Q \sim WEI[\mu, \sigma]$		280,92
	$Q \sim WEI[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Temp_y), \sigma]$	0,04	279,84
	$Q \sim WEI[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Temp_y + \beta_2 * Pdo_i), \sigma]$	0,025	277,85
	$Q \sim WEI[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Temp_y + \beta_2 * Pdo_i), \sigma = \sigma_0 + \sigma_1 * Pdo_i]$	0,004	272,87
317	$Q \sim WEI[\mu, \sigma]$		417,12
	$Q \sim WEI[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y), \sigma]$	0,0015	410,06
	$Q \sim WEI[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y + \beta_2 * Temp_a), \sigma]$	0,0032	404,41
	$Q \sim WEI[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y + \beta_2 * Temp_a + \beta_3 * Nao_k), \sigma]$	0,0051	399,60
1203	$Q \sim IG[\mu, \sigma]$		202,04
	$Q \sim IG[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * t), \sigma]$	8,37E-07	180,77
1218	$Q \sim IG[\mu, \sigma]$		256,64
	$Q \sim IG[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y), \sigma]$	0,001	252,49
1221	$Q \sim GA[\mu, \sigma]$		496,92
	$Q \sim GA[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y), \sigma]$	0,0035	491,41
	$Q \sim GA[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y + \beta_2 * Temp_a), \sigma]$	3,02E-06	472,61
1222	$Q \sim WEI[\mu, \sigma]$		137,79
	$Q \sim WEI[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Temp_a), \sigma]$	0,002	131,77
1237	$Q \sim WEI[\mu, \sigma]$		115,80
	$Q \sim WEI[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Temp_t), \sigma]$	6,41E-05	102,82
	$Q \sim WEI[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Temp_t + \beta_2 * Pre_y), \sigma]$	0,0001	90,97
1302	$Q \sim IG[\mu, \sigma]$		227,70
	$Q \sim IG[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y), \sigma]$	0,00026	217,43
	$Q \sim IG[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y + \beta_2 * Temp_a), \sigma]$	0,034	215,94
1314	$Q \sim WEI[\mu, \sigma]$		186,42
	$Q \sim WEI[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y), \sigma]$	0,0054	181,70
	$Q \sim WEI[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y + \beta_2 * Temp_a), \sigma]$	2,25E-05	166,73
1334	$Q \sim WEI[\mu, \sigma]$		75,01
	$Q \sim WEI[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Prep_a), \sigma]$	0,04	73,95
	$Q \sim WEI[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Prep_a), \sigma = \sigma_0 + \sigma_1 * Temp_a]$	2,00E-07	49,93
1335	$Q \sim GA[\mu, \sigma]$		271,47
	$Q \sim WEI[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y), \sigma]$	7,02E-05	258,67
	$Q \sim WEI[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y + \beta_2 * Temp_a), \sigma = \sigma_0 + \sigma_1 * Pre_y]$	0,023	257,17
1340	$Q \sim WEI[\mu, \sigma]$		131,37
	$Q \sim WEI[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Temp_e), \sigma]$	0,0029	125,53
1402	$Q \sim GA[\mu, \sigma]$		641,39
	$Q \sim GA[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y), \sigma]$	4,73E-08	614,56
	$Q \sim GA[(\mu = \beta_0 + \beta_1 * Pre_y + \beta_2 * Wmo_y), \sigma]$	0,0229	612,39

1413	Q~WEI[μ, σ]		394,26
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y}$), σ]	5,64E-07	372,23
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y} + \beta_2 * \text{Temp_h}$), σ]	0,00481	367,29
1501	Q~WEI[μ, σ]		355,00
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y}$), σ]	0,0006	346,27
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y} + \beta_2 * \text{Temp_h}$), σ]	0,007	342,08
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y} + \beta_2 * \text{Temp_h}$), $\sigma = \sigma_0 + \sigma_1 * \text{Temp_h}$]	0,001	335,43
1532	Q~GA[μ, σ]		230,30
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y}$), σ]	0,0031	224,50
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y} + \beta_2 * \text{Temp_h}$), σ]	0,04	223,70
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y} + \beta_2 * \text{Temp_h}$), $\sigma = \sigma_0 + \sigma_1 * \text{Pre_y}$]	0,003	218,30
1712	Q~IG[μ, σ]		99,48
	Q~IG[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * t$), σ]	1,28E-06	79,02
1721	Q~GA[μ, σ]		133,10
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Wmo_k}$), σ]	0,012	129,86
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Wmo_k} + \beta_2 * \text{Nao_k}$), $\sigma = \sigma_0 + \sigma_1 * \text{Pre_y}$]	2,85E-05	114,93
D17A007	Q~GA[μ, σ]		92,88
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Wmo_yaz}$), σ]	0,005	88,24
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Wmo_yaz} + \beta_2 * \text{So_i}$), σ]	0,04	87,26
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Wmo_yaz} + \beta_2 * \text{So_i}$), $\sigma = \sigma_0 + \sigma_1 * \text{Temp_y}$]	0,004	82,12
1801	Q~GA[μ, σ]		202,43
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y}$), σ]	2,06E-05	187,55
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y} + \beta_2 * \text{Temp_e} + \beta_3 * \text{Nao_k}$), σ]	4,00E-02	187,48
1805	Q~WEI[μ, σ]		398,27
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_a}$), σ]	0,0005	389,30
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_a} + \beta_2 * \text{Pre_y}$), σ]	0,0003	379,48
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_a} + \beta_2 * \text{Pre_y} + \beta_3 * \text{Wmo_y}$)]	0,035	378,07
1820	Q~WEI[μ, σ]		164,06
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_a}$), σ]	1,20E-06	143,48
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_a} + \beta_2 * \text{Pre_y}$), σ]	0,0001	132,06
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_a} + \beta_2 * \text{Pre_y} + \beta_3 * \text{Wmo_y}$)]	0,007	127,93
1825	Q~GA[μ, σ]		30,69
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_h}$), σ]	0,0044	25,61
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_h} + \beta_2 * \text{Pre_y}$), σ]	0,01	22,57
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_h} + \beta_2 * \text{Pre_y} + \beta_3 * \text{Wmo_yaz}$), σ]	0,0001	10,49

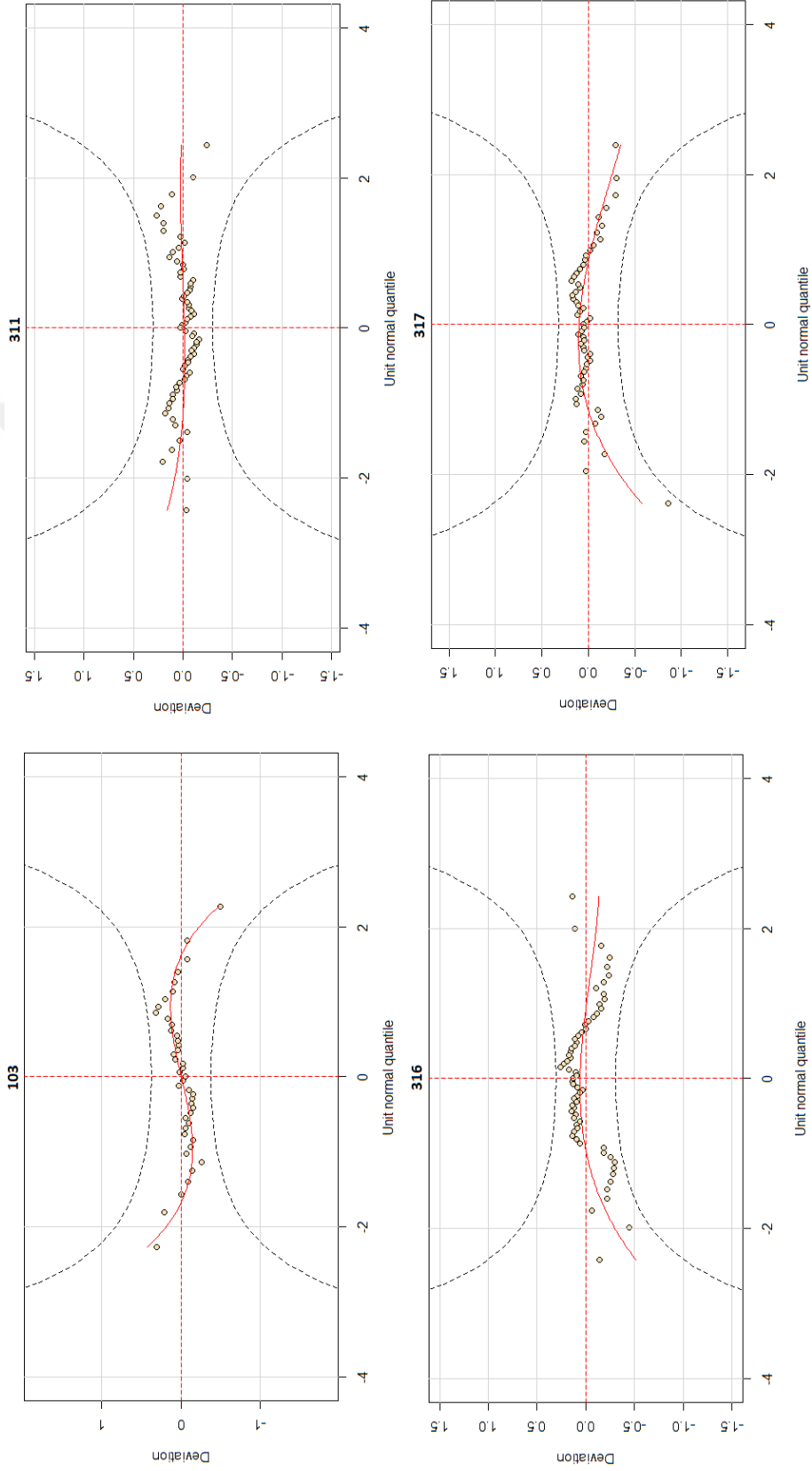
D18A012	Q~LOGNO[μ, σ]		90,43
	Q~LOGNO[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_a}$), σ]	0,0004	80,90
	Q~LOGNO[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_a} + \beta_2 * \text{Pre_y}$), σ]	0,0015	73,92
	Q~LOGNO[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_a} + \beta_2 * \text{Pre_y} + \beta_3 * \text{Pdo_y}$)]	0,015	71,10
2004	Q~WEI[μ, σ]		425,18
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y} + \text{Nao_k}$), σ]	0,0003	415,25
2006	Q~GA[μ, σ]		180,30
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_a}$), σ]	0,0005	171,20
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_a} + \beta_2 * \text{Pre_y}$), σ]	3,12E-06	152,50
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_a} + \beta_2 * \text{Pre_y} + \beta_3 * \text{Nao_y}$), σ]	0,0031	146,80
2007	Q~WEI[μ, σ]		153,99
D20A046	Q~IG[μ, σ]		83,79
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_a}$), σ]	0,0003	73,89
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_a} + \beta_2 * \text{Wmo_s}$), σ]	0,0026	67,83
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_a} + \beta_2 * \text{Wmo_s} + \beta_3 * \text{Pdo_y}$), σ]	0,0092	64,06
2102	Q~WEI[μ, σ]		300,04
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_a}$), σ]	0,004	295,12
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_a} + \beta_2 * \text{Pre_y}$), σ]	6,46E-07	273,35
2115	Q~GA[μ, σ]		200,94
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_a}$), σ]	0,01	197,50
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_a} + \beta_2 * \text{Nao_y}$), σ]	0,0002	186,83
2119	Q~GA[μ, σ]		404,80
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y}$), σ]	1,49E-07	379,20
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y} + \beta_2 * \text{Temp_t}$), σ]	0,03	376,50
2122	Q~GA[μ, σ]		204,38
2124	Q~GA[μ, σ]		126,35
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y}$), σ]	0,007	122,30
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y} + \beta_2 * \text{Temp_a} + \beta_3 * \text{Wmo_y}$), σ]	0,02	120,59
2133	Q~GA[μ, σ]		274,30
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y}$), σ]	0,0002	263,51
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y} + \beta_2 * \text{Nao_k}$), σ]	0,001	255,80
2135	Q~WEI[μ, σ]		70,63
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_h}$), σ]	0,002	64,20
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_h} + \beta_2 * \text{Nao_y}$), σ]	6,83E-06	46,96
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_h} + \beta_2 * \text{Nao_y}$), $\sigma = \sigma_0 + \sigma_1 * \text{Temp_h}$]	0,0011	39,46
2145	Q~GA[μ, σ]		255,30
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_a}$), σ]	0,01	252,70
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_a} + \beta_2 * \text{Pre_y}$), σ]	5,15E-05	239,30
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_a} + \beta_2 * \text{Pre_y} + \beta_3 * \text{Nao_y}$), σ]	0,006	234,80
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_a} + \beta_2 * \text{Pre_y} + \beta_3 * \text{Nao_y} + \beta_4 * \text{Wmo_y}$), σ]	0,0001	222,70
2149	Q~IGAMMA[μ, σ]		266,80
	Q~IGAMMA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y}$), σ]	1,52E-05	251,10
	Q~IGAMMA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y} + \beta_2 * \text{Nao_k}$), σ]	0,004	246,27

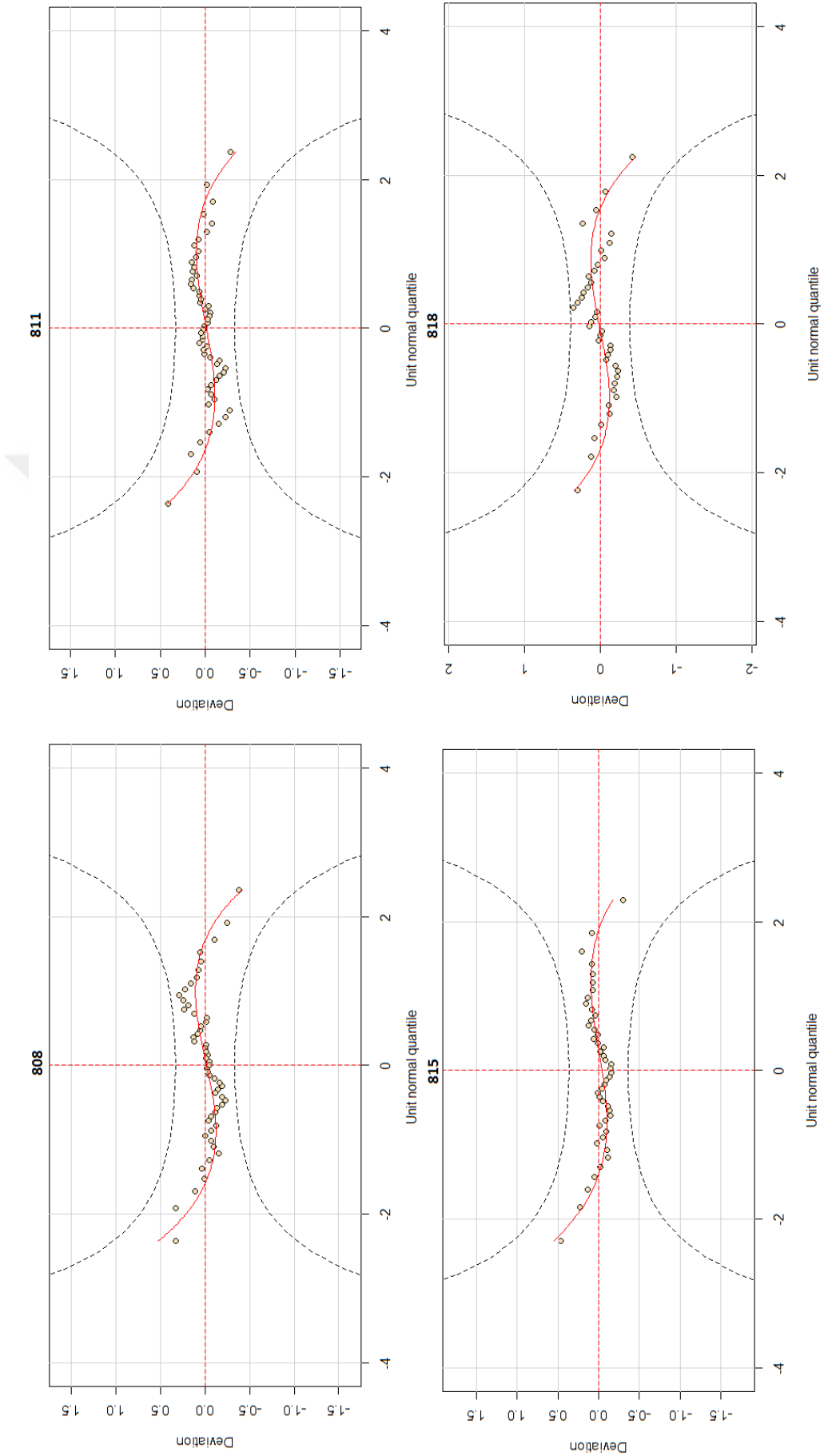
2151	Q~GA[μ, σ]		327,70
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y}$), σ]	0,0004	318,40
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y} + \beta_2 * \text{Nao_yaz}$), σ]	0,027	316,60
2154	Q~IG[μ, σ]		137,78
	Q~IG[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y}$), σ]	0,03	136,14
	Q~IG[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y} + \beta_2 * \text{Temp_e}$), σ]	0,016	133,38
2156	Q~IG[μ, σ]		331,90
	Q~IG[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y}$), σ]	2,82E-05	317,36
	Q~IG[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y} + \beta_2 * \text{Temp_y}$), σ]	0,0024	311,15
2157	Q~WEI[μ, σ]		100,50
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y}$), σ]	0,0002	91,13
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y} + \beta_2 * \text{Temp_t}$), σ]	0,03	89,61
2158	Q~GA[μ, σ]		83,57
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y}$), σ]	1,03E-07	58,24
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y} + \beta_2 * \text{Temp_a}$), σ]	0,008	54,26
2164	Q~WEI[μ, σ]		93,91
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Nao_k}$), σ]	0,0025	87,83
2177	Q~GA[μ, σ]		131,16
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y}$), σ]	0,00014	119,70
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y} + \beta_2 * \text{Temp_t}$), σ]	0,042	118,59
2202	Q~IGAMMA[μ, σ]		77,69
	Q~IGAMMA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pdo_y}$), σ]	0,0077	73,61
	Q~IGAMMA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pdo_y} + \beta_2 * \text{Wmo_i}$), σ]	0,03	72,36
2213	Q~GA[μ, σ]		100,56
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_a}$), σ]	0,012	97,28
2215	Q~IG[μ, σ]		108,21
	Q~IG[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y}$), σ]	0,024	106,13
2218	Q~WEI[μ, σ]		223,18
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_h}$), σ]	0,0022	216,85
2232	Q~GA[μ, σ]		210,20
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Wmo_s}$), σ]	0,025	208,31
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Wmo_s} + \beta_2 * \text{Nao_yaz}$), σ]	0,02	205,94
2233	Q~GA[μ, σ]		22,45
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_a}$), σ]	0,036	21,08
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_a} + \beta_2 * \text{Pre_y}$), σ]	0,00183	14,37
2238	Q~WEI[μ, σ]		37,23
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_h}$), σ]	0,00019	26,36
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_h} + \beta_2 * \text{Pre_y}$), σ]	0,02	24,18
2247	Q~IGAMMA[μ, σ]		122,66
	Q~IGAMMA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_h}$), σ]	0,0065	118,27
	Q~IGAMMA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_h}$), $\sigma = \sigma_0 + \sigma_1 * \text{Temp_h}$]	0,016	115,57
2304	Q~GA[μ, σ]		164,27

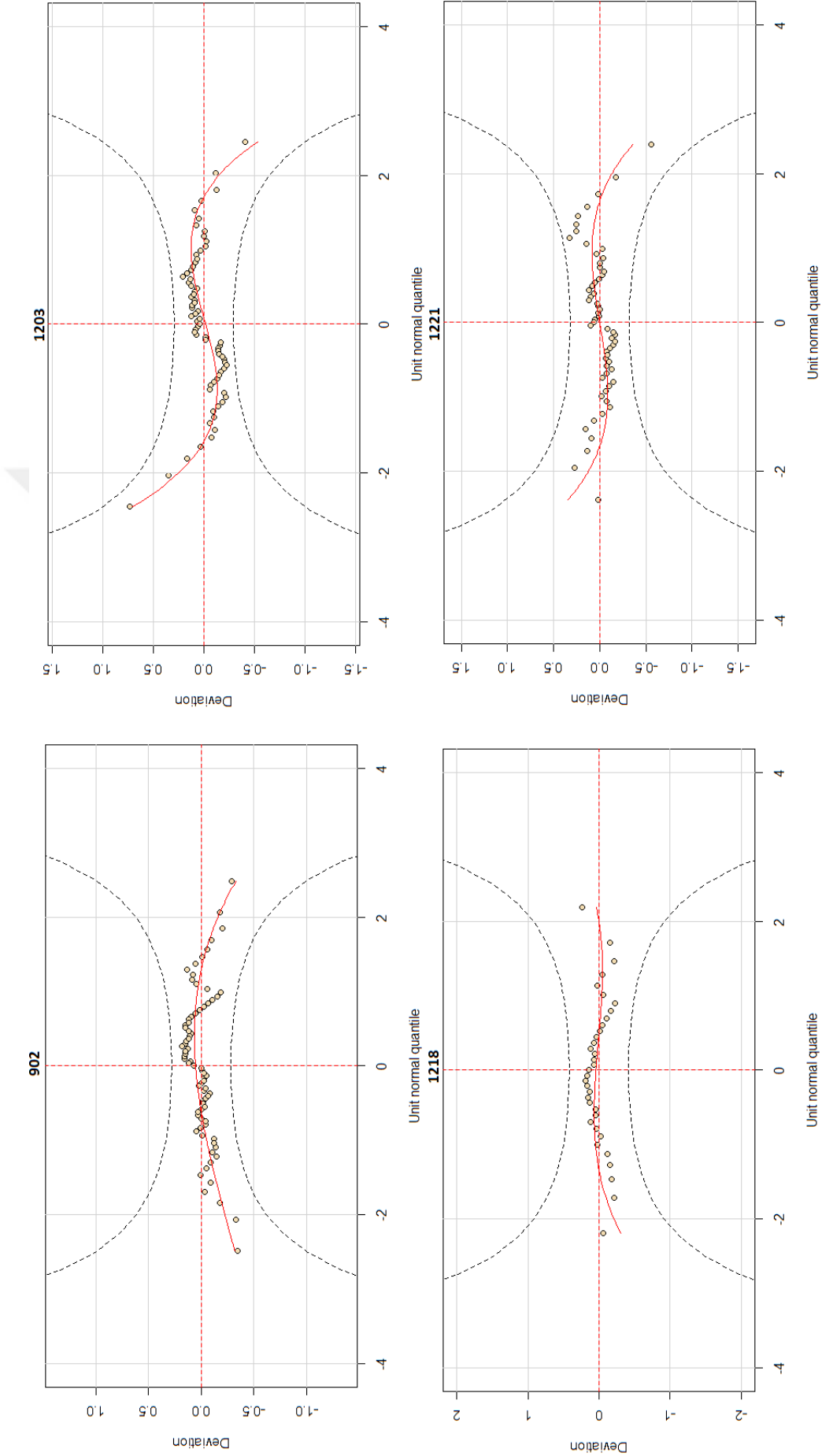
2305	Q~LOGNO[μ, σ]		264,33
	Q~LOGNO[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y}$), σ]	0,005	259,71
	Q~LOGNO[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y} + \beta_2 * \text{Nao_k}$), σ]	0,0003	249,66
2315	Q~IGAMMA[μ, σ]		273,15
	Q~IGAMMA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y}$), σ]	0,0004	263,74
2316	Q~GA[μ, σ]		243,50
	Q~GA[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y}$), σ]	0,04	242,30
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y} + \beta_2 * \text{Nao_k}$), σ]	9,07E-06	225,60
2320	Q~WEI[μ, σ]		187,10
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_a}$), σ]	0,025	185,13
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_a} + \beta_2 * \text{Pdo_y}$), σ]	0,0095	181,41
2321	Q~GA[μ, σ]		111,43
2322	Q~IG[μ, σ]		205,17
	Q~IG[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_h}$), σ]	0,015	202,35
	Q~IG[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_h} + \beta_2 * \text{Pre_y}$), σ]	0,002	195,93
2323	Q~WEI[μ, σ]		250,34
2325	Q~WEI[μ, σ]		80,45
	Q~LOGNO[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y}$), σ]	0,0017	73,70
	Q~LOGNO[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y}$), $\sigma = \sigma_0 + \sigma_1 * \text{Pre_y}$]	0,0031	67,97
2328	Q~IGAMMA[μ, σ]		13,64
2329	Q~IG[μ, σ]		135,51
	Q~IG[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y}$), σ]	0,0003	125,84
	Q~IG[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y} + \beta_2 * \text{Pdo_s}$), σ]	0,0009	117,95
	Q~IG[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y} + \beta_2 * \text{Pdo_s}$), $\sigma = \sigma_0 + \sigma_1 * \text{Pre_y}$]	0,0002	107,16
2409	Q~WEI[μ, σ]		97,55
2418	Q~WEI[μ, σ]		166,74
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y}$), σ]	0,004	161,49
2505	Q~WEI[μ, σ]		126,21
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y}$), σ]	0,01	122,65
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y}$), $\sigma = \sigma_0 + \sigma_1 * \text{Pdo_y}$]	4,54E-06	104,63
2610	Q~GA[μ, σ]		92,60
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y}$), σ]	5,95E-05	79,48
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Pre_y} + \beta_2 * \text{Nao_y}$), σ]	0,03	78,11
2624	Q~WEI[μ, σ]		124,47
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_h}$), σ]	0,0017	117,69
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_h} + \beta_2 * \text{Pre_y}$), σ]	9,85E-07	96,73
	Q~WEI[($\mu = \beta_0 + \beta_1 * \text{Temp_h} + \beta_2 * \text{Pre_y}$), $\sigma = \sigma_0 + \sigma_1 * \text{Nao_y}$]	0,00024	86,29

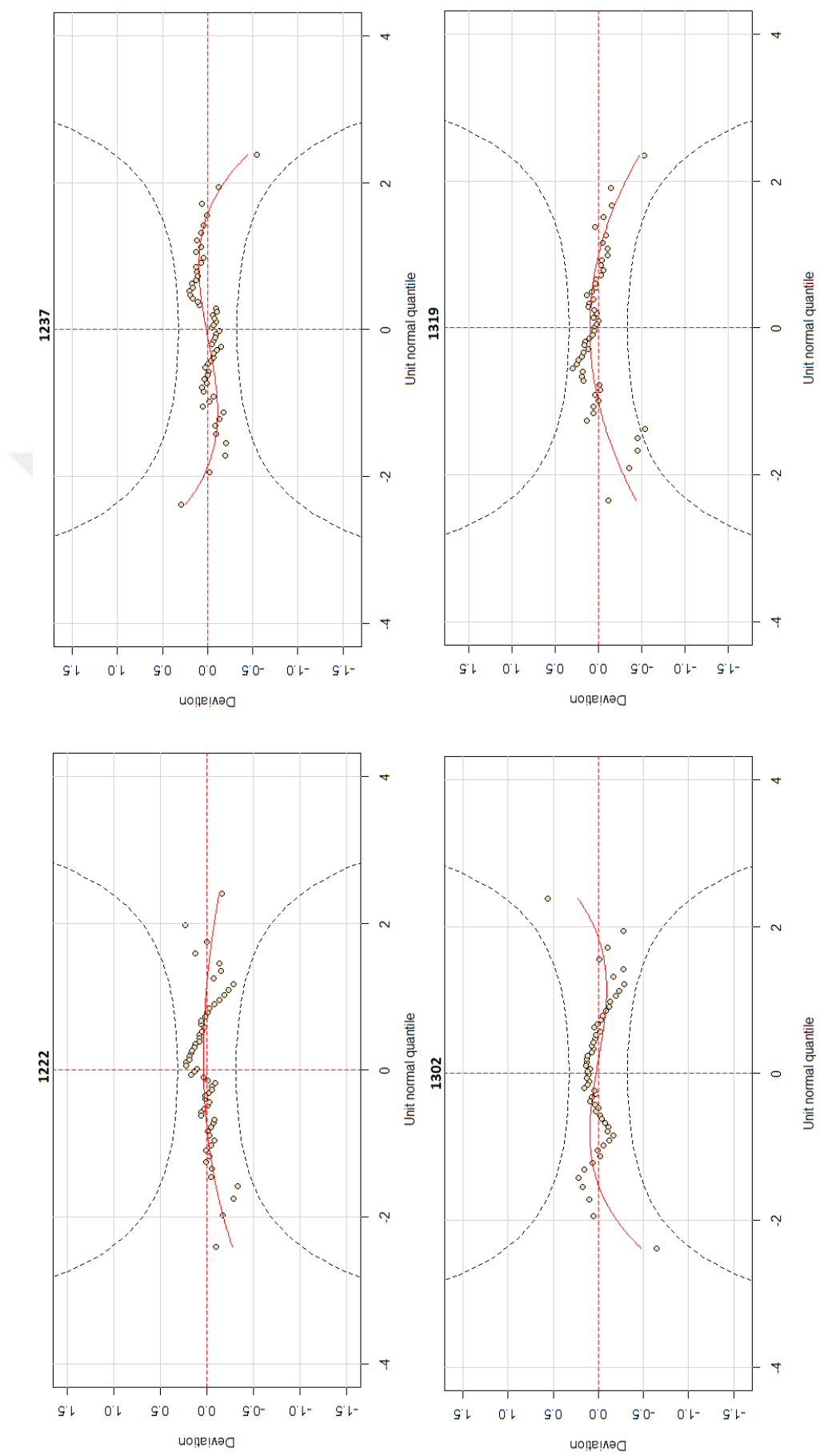
EK-6

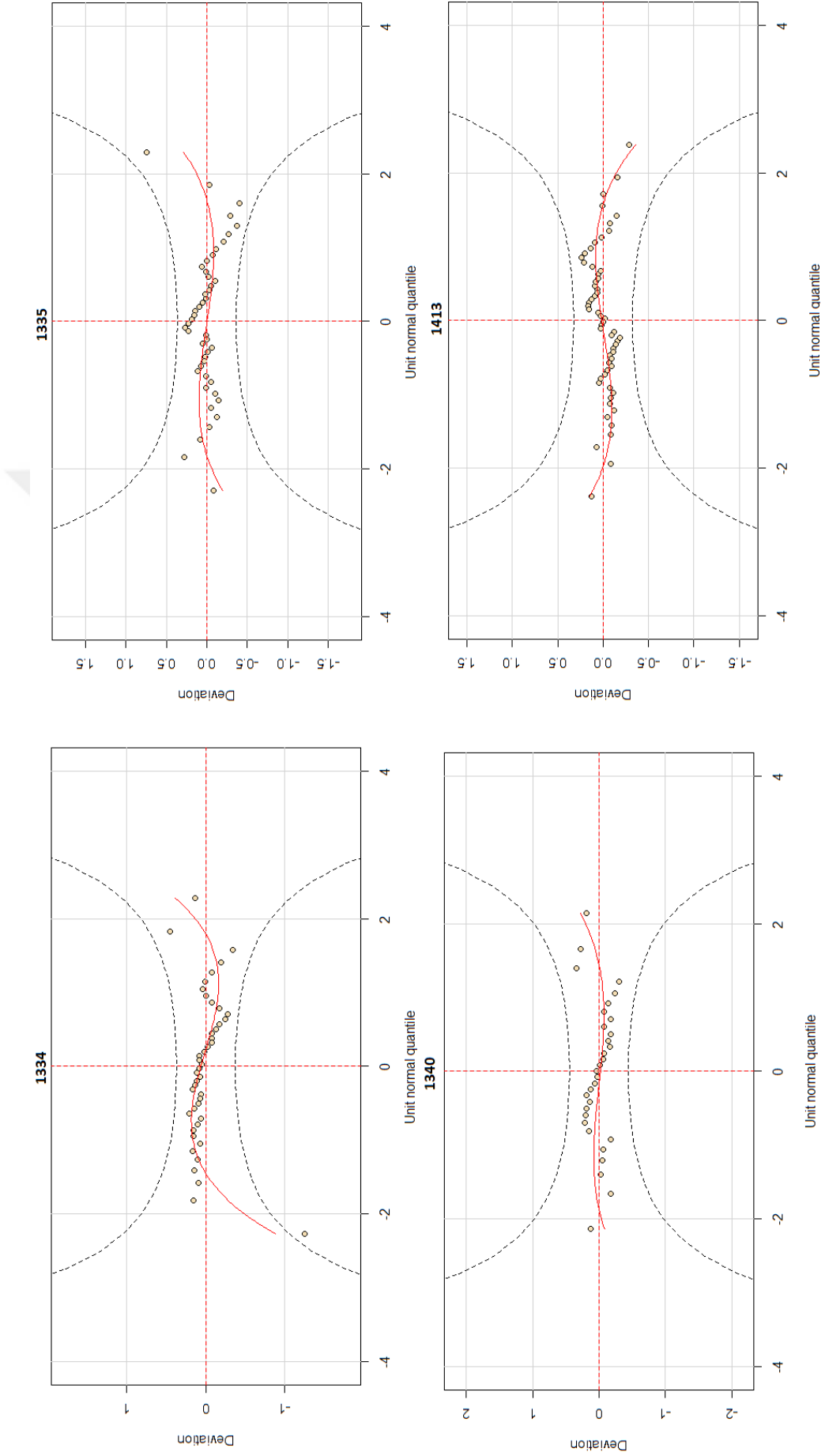
Sadece yağış verisi kullanılarak oluşturulan modellerin worm grafikleri

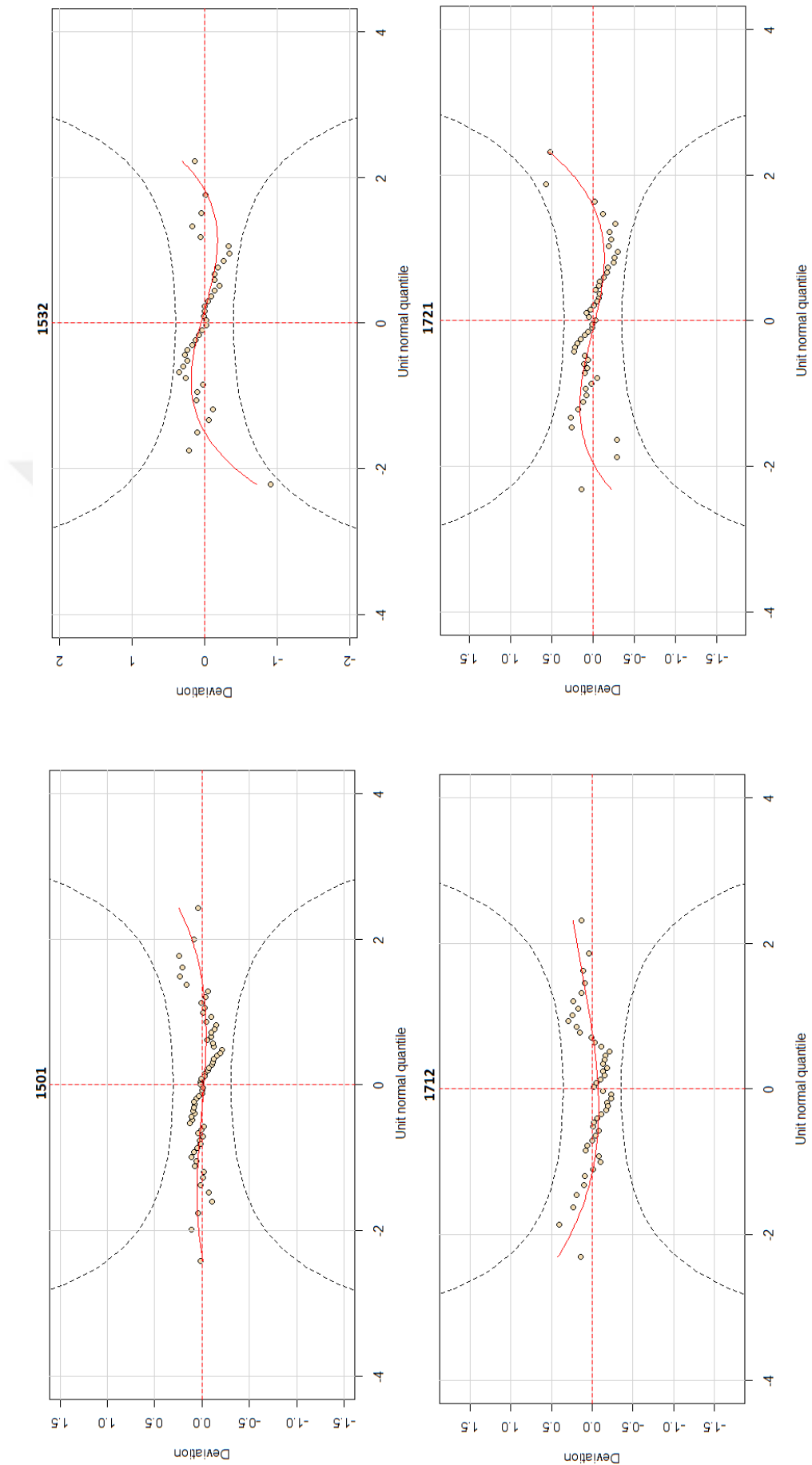


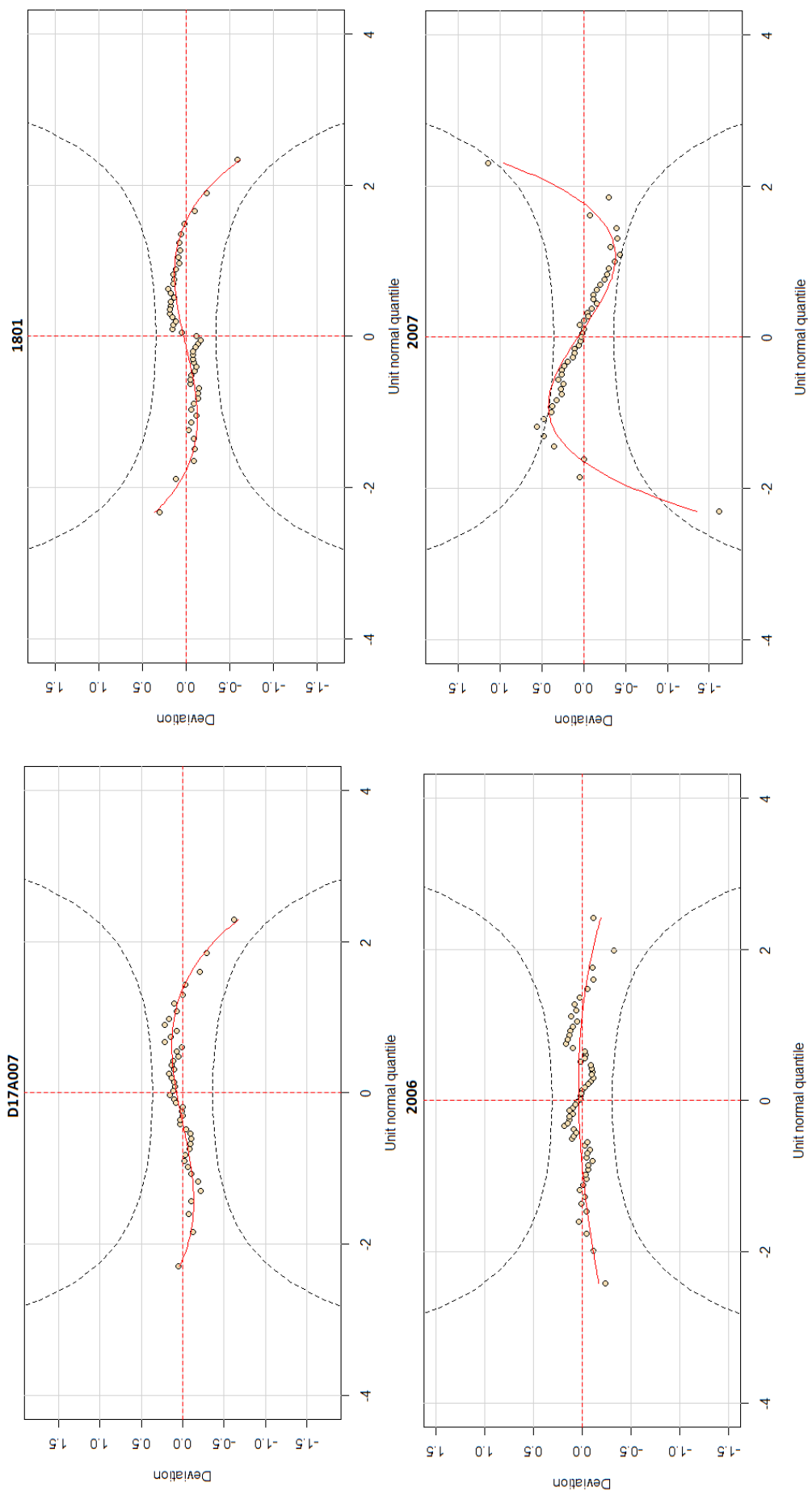


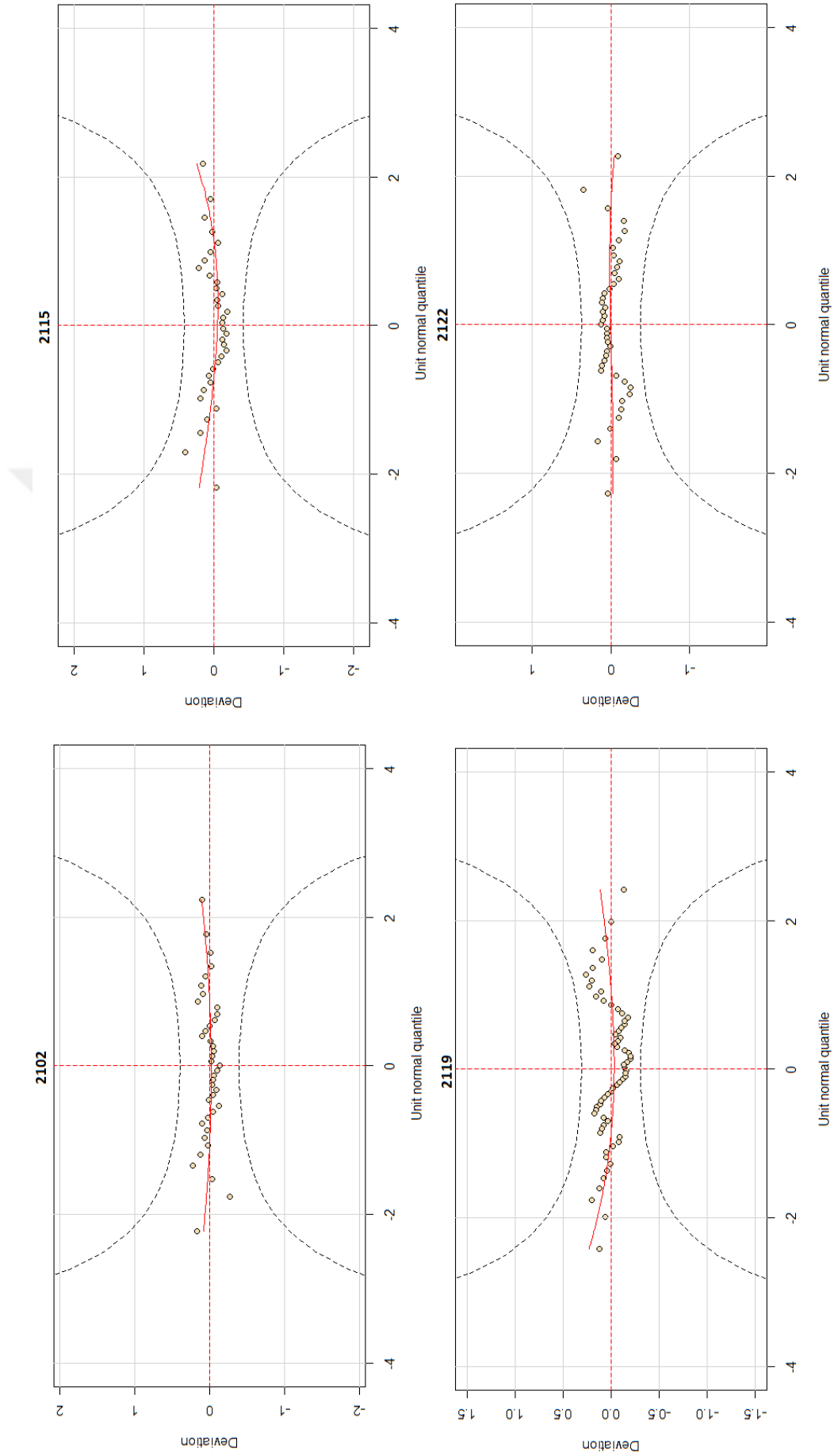


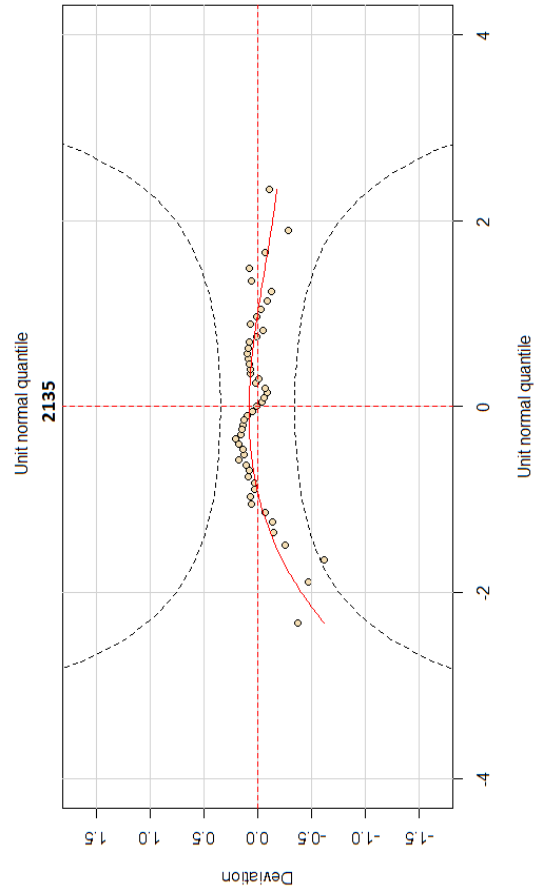
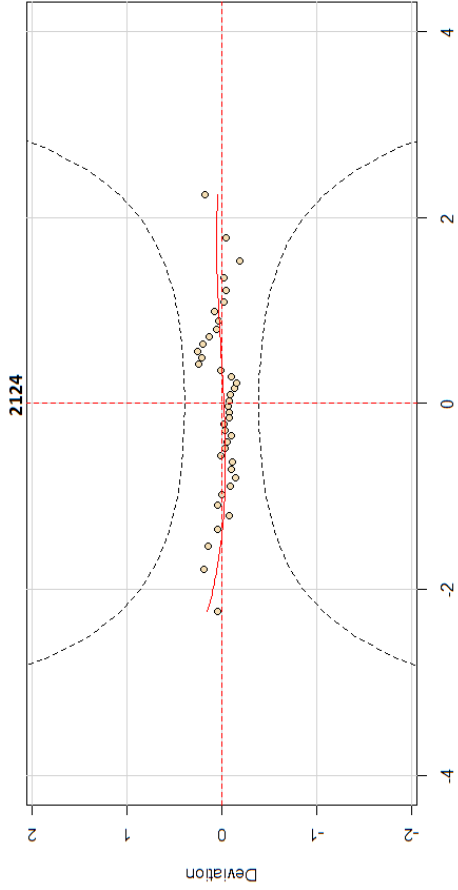
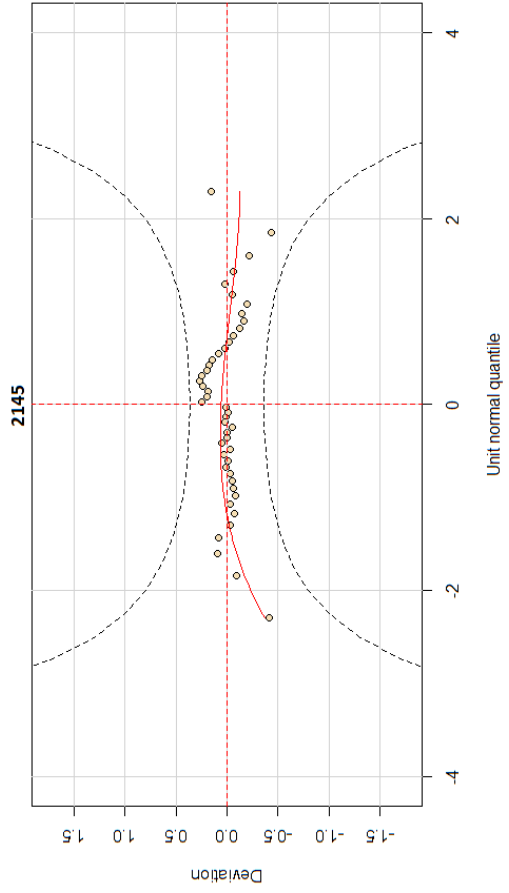
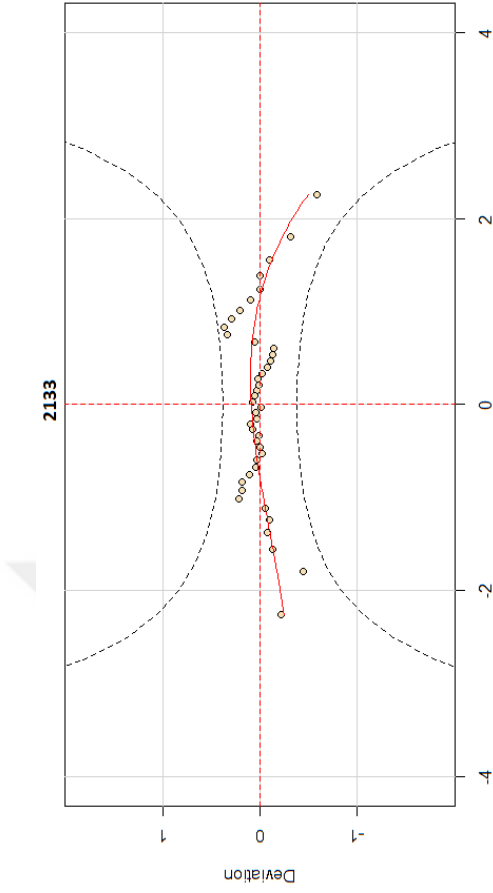


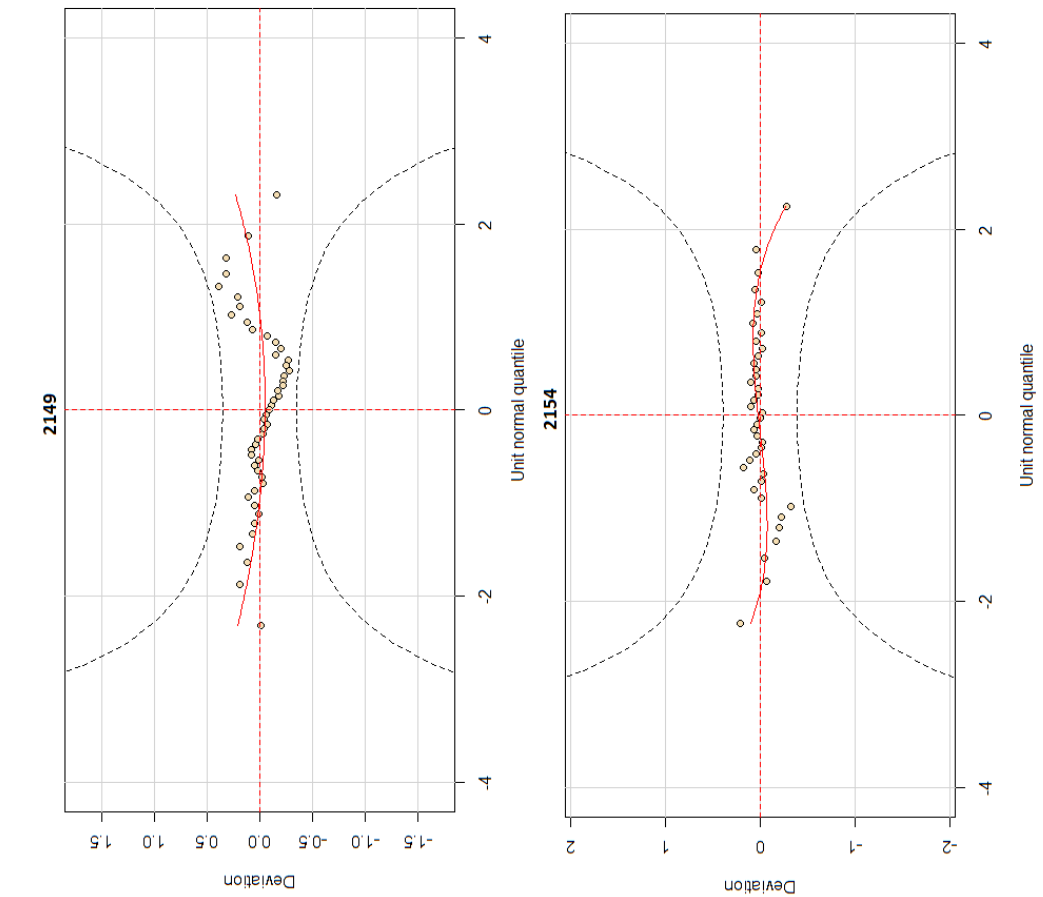
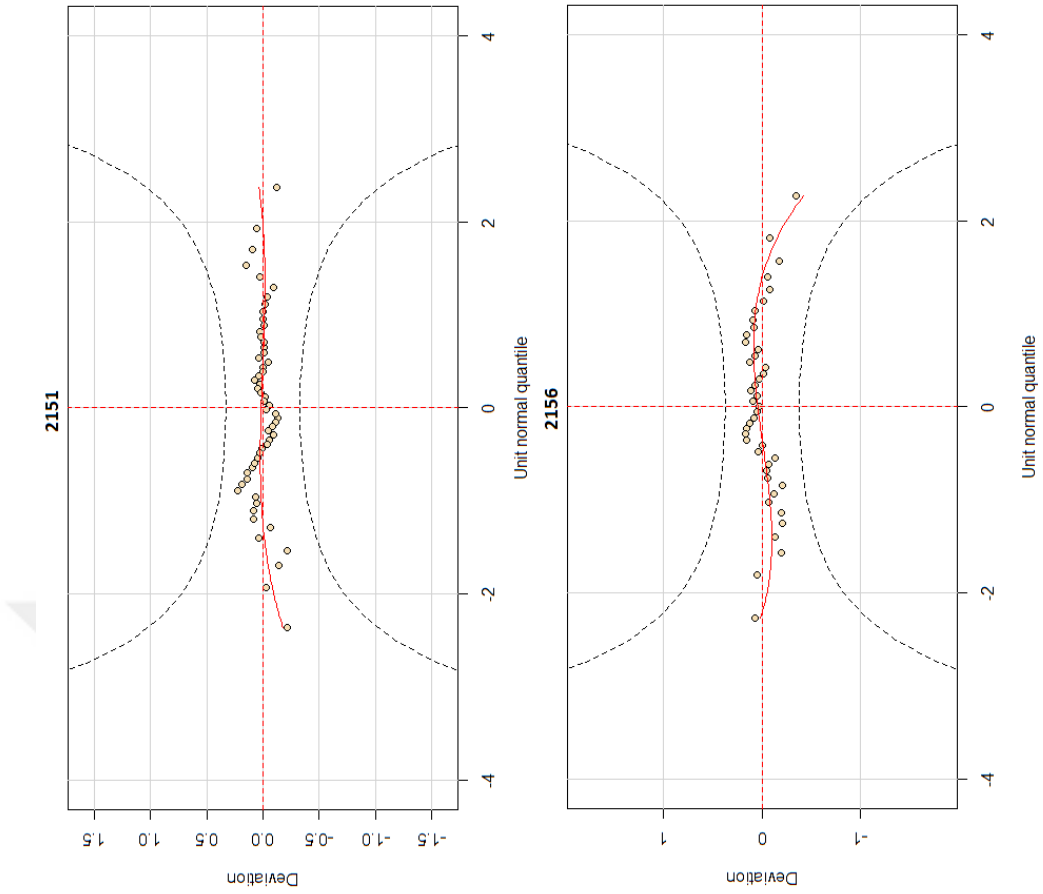


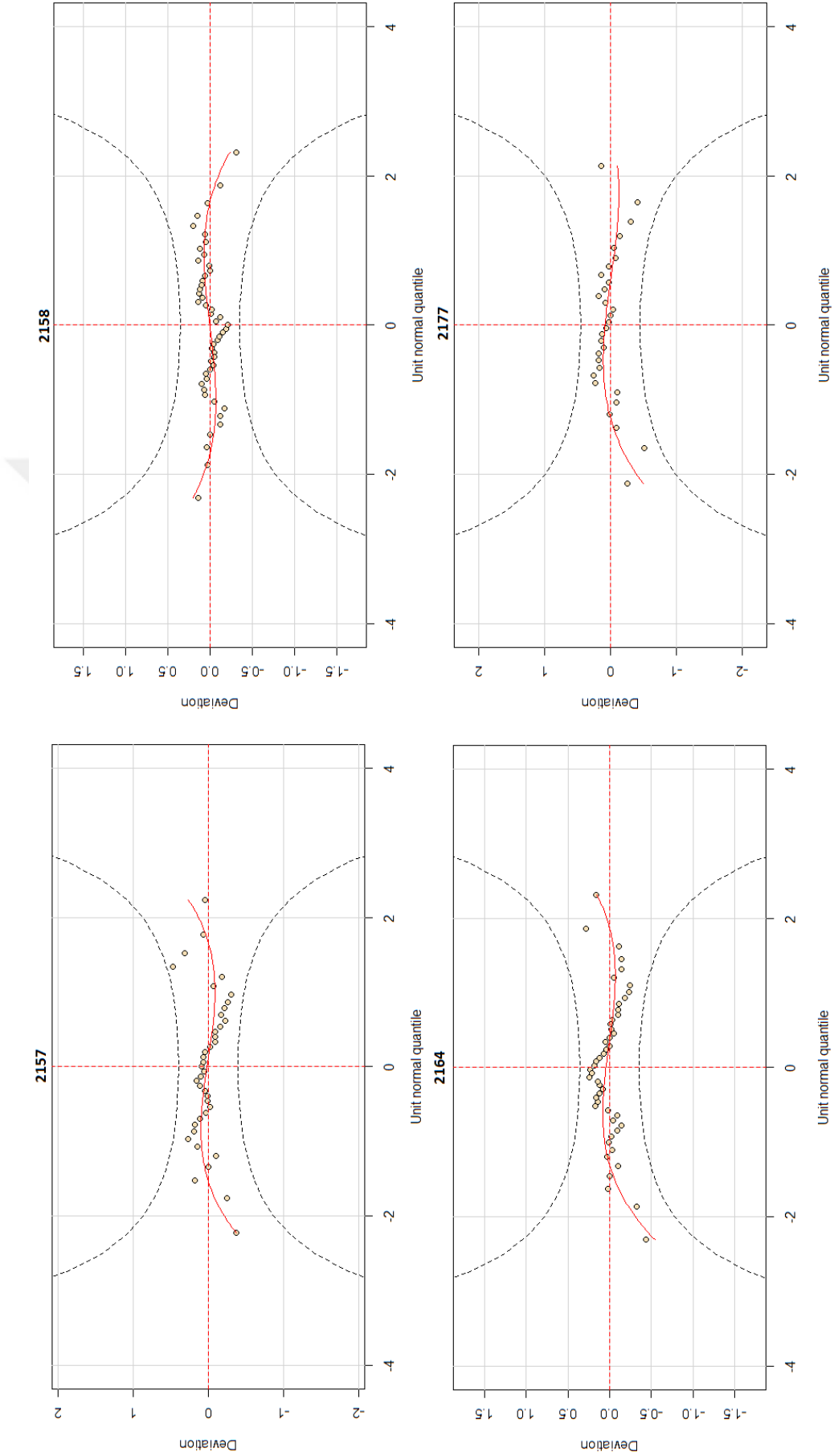


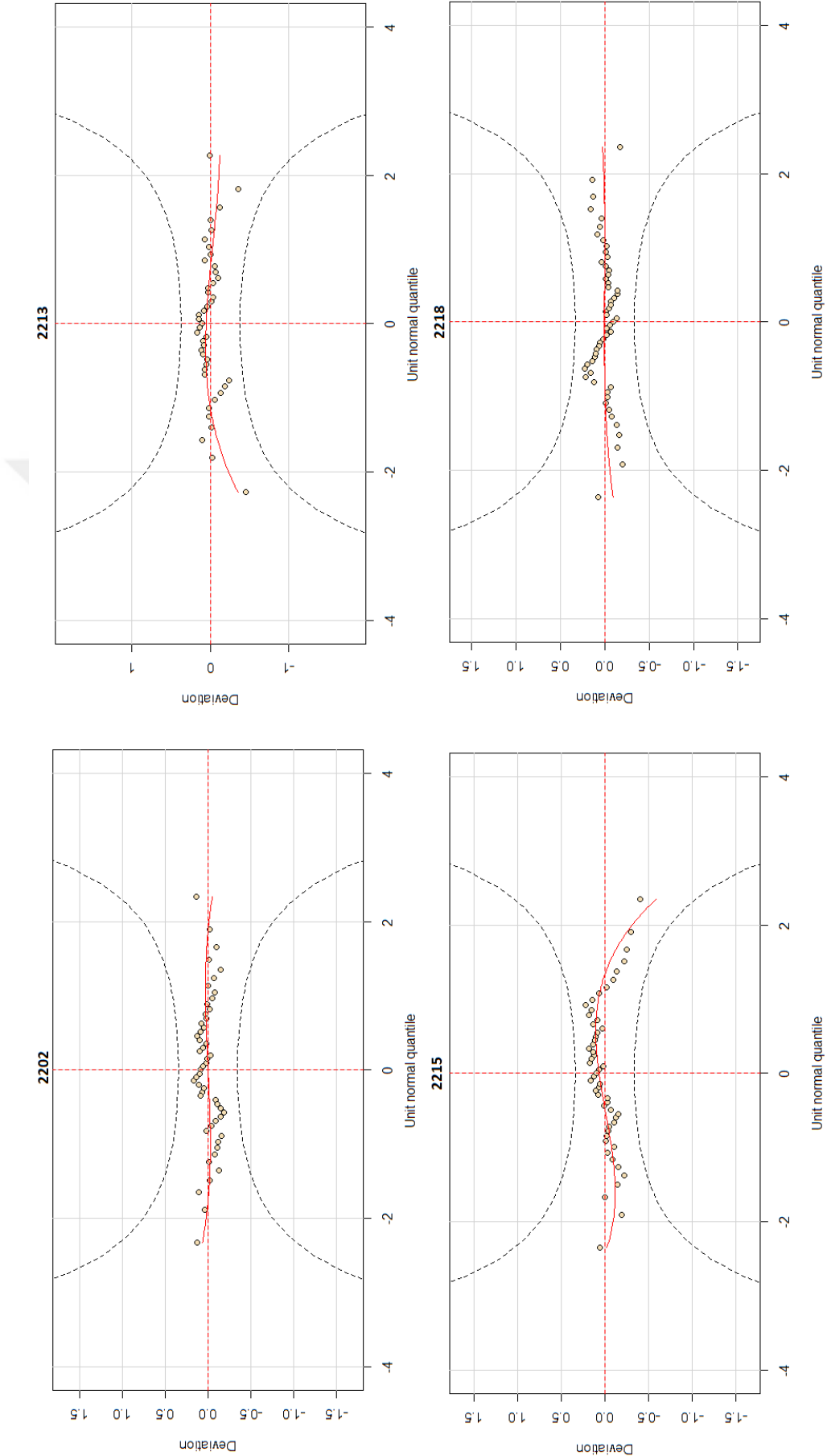


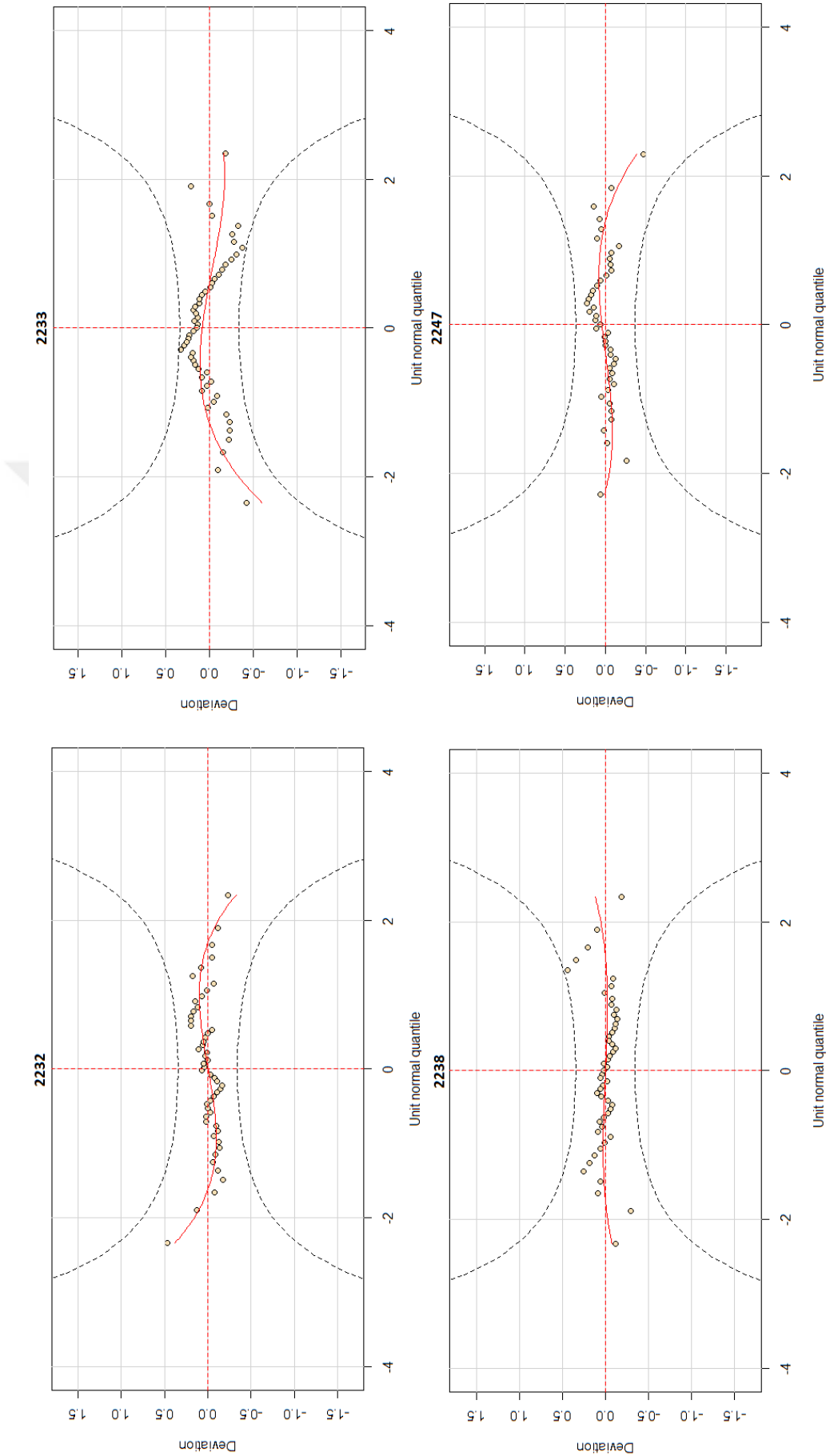


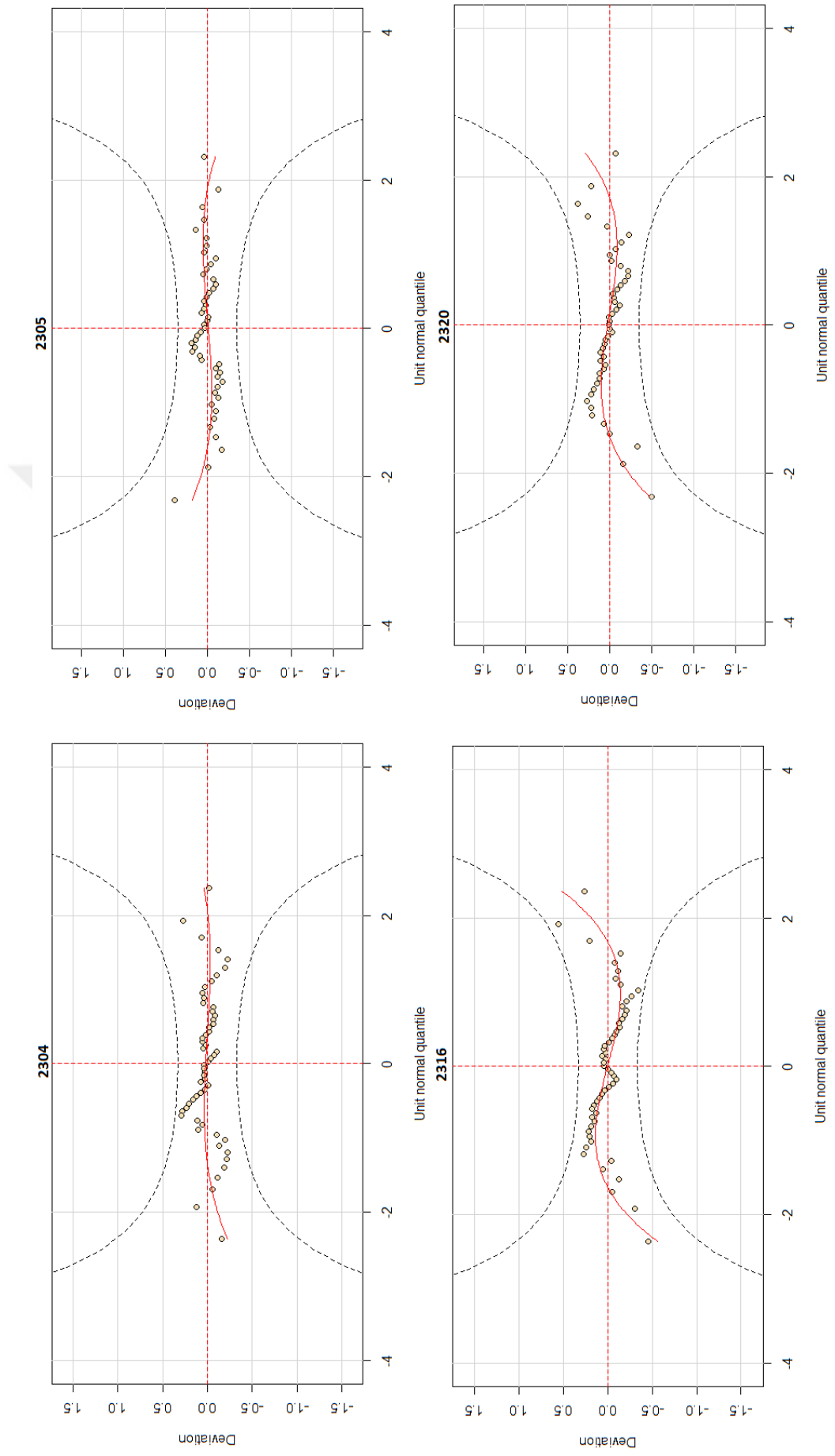


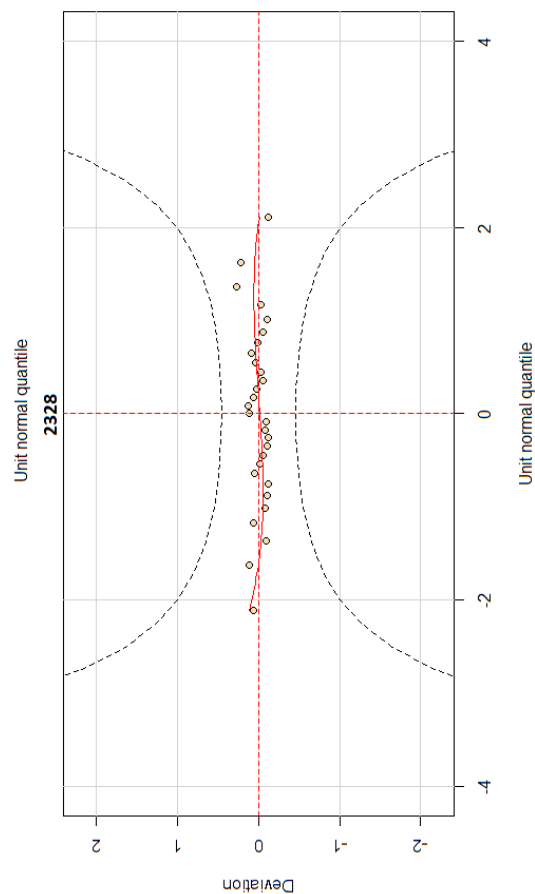
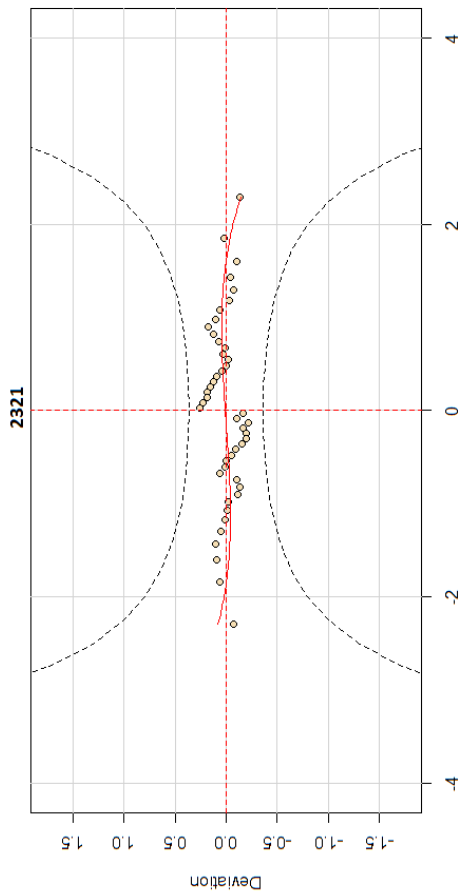
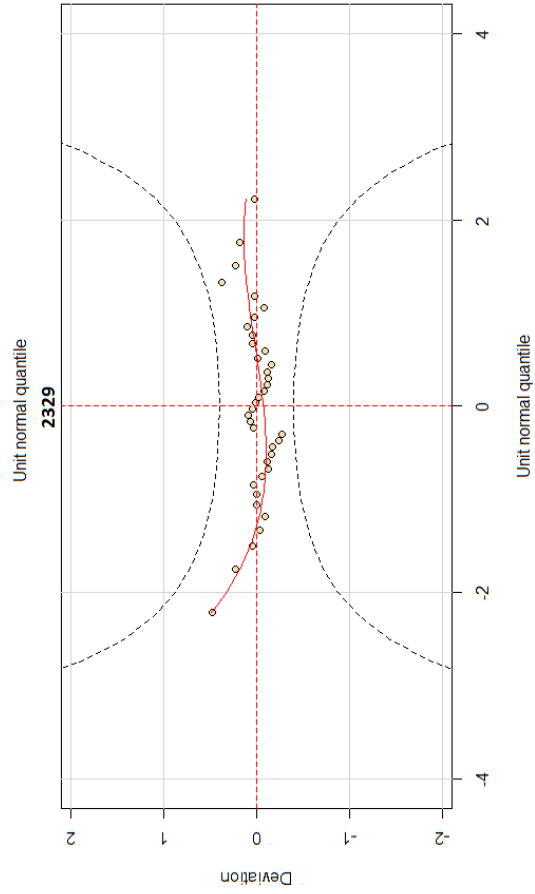
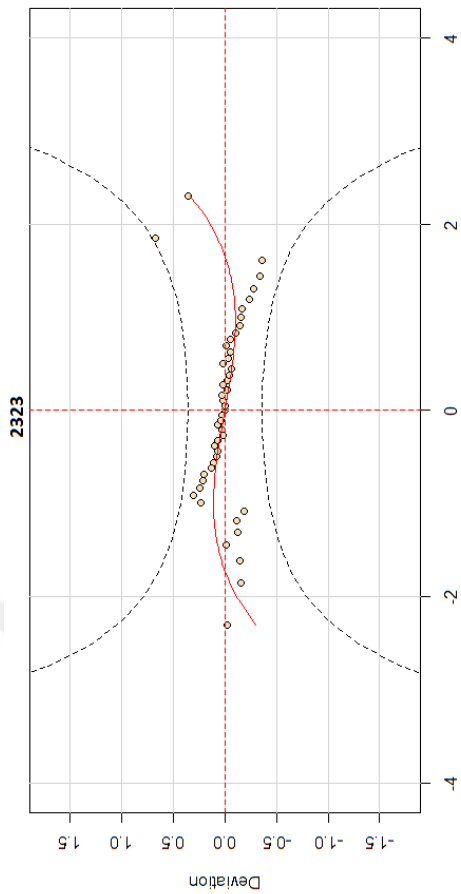


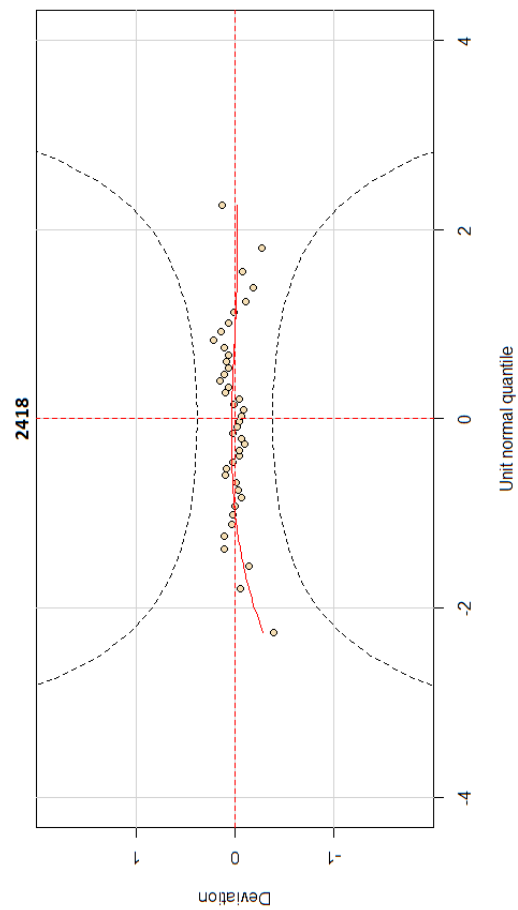
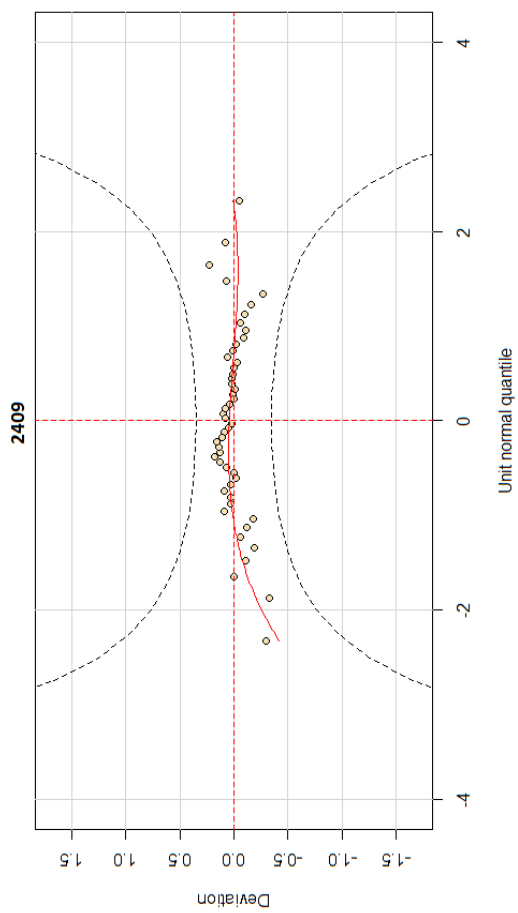












Tarihsel ve gelecek dönemlerinde SSP5-45 ve SSP5-85 senaryoları için Q20 ve Q50 grafikleri

