

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



AKDENİZ BÖLGESİ KURAKLIK DEĞERLENDİRMESİ

Dilayda SOYLU PEKPOSTALCI

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

TEMMUZ 2024

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



AKDENİZ BÖLGESİ KURAKLIK DEĞERLENDİRMESİ

Dilayda SOYLU PEKPOSTALCI

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

TEMMUZ 2024

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKDENİZ BÖLGESİ KURAKLIK DEĞERLENDİRMESİ

Dilayda SOYLU PEKPOSTALCI
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

TEMMUZ 2024

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKDENİZ BÖLGESİ KURAKLIK DEĞERLENDİRMESİ

Dilayda SOYLU PEKPOSTALCI
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

Bu tez 31/07/2024 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Rıfat TÜR (Danışman)
Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU
Doç. Dr. Halil İbrahim BURGAN
Dr. Öğr. Üyesi Alp KÜÇÜKOSMANOĞLU
Dr. Öğr. Üyesi Engin EMSEN

ÖZET

AKDENİZ BÖLGESİ KURAKLIK DEĞERLENDİRMESİ

Dilayda SOYLU PEKPOSTALCI

Doktora Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Rifat TÜR

İkinci Danışman: Doç. Dr. Ali DANANDEH MEHR

Temmuz 2024; 61 sayfa

Bu çalışmada, Akdeniz Bölgesi (Türkiye) için meteorolojik kuraklık, yenilikçi trend analizi (YTA) ve bulanık c-ortalamlar (FCM, Fuzzy C-Means) kümeleme yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Bu amaçla öncelikle çalışma bölgesinde bulunan 35 meteoroloji istasyonu uzun dönem yağış verileri kullanılarak FCM kümeleme yöntemi ile çalışma alanı bölgelere ayrılmış ve standart yağış indeksi (SPI, Standardized Precipitation Index) değerleri 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeğinde (SPI-3, SPI-6, SPI-12) hesaplanmıştır. Her istasyon ve kümede orta dereceli kuraklık, şiddetli kuraklık, aşırı kuraklık olayları ve kuraklıkların şiddetleri ve süreleri belirlenmiştir. SPI değerlerindeki mekana ve zamana bağlı değişiklikler, çalışma alanında tüm mevsimlerde çoğunlukla orta dereceli kuraklığın yaşandığını, aynı zamanda çalışma dönemi boyunca önemli sayıda şiddetli ve aşırı kuraklıkların da olduğunu göstermiştir. SPI-3 değerleri incelendiğinde Senirkent istasyonunda, SPI-6 ve SPI-12 değerleri dikkate alındığında ise Dört Yol istasyonunda en fazla sayıda kuraklık olayları yaşanmıştır. Tüm istasyonlar için standartlaştırılmış keşif kuraklık indeksi (RDI_{st} , Reconnaissance Drought Index) değerleri 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde (RDI_{st-3} , RDI_{st-6} , RDI_{st-12}) hesaplanmıştır. İki indisin zaman serileri kümeler için karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. FCM yöntemi ile çalışma alanının batı kıyı bölgesi, doğu bölgesindeki nispeten alçak rakımlar ve yıllık en az yağış alan kuzey bölgesinin yüksek rakımları olmak üzere üç kümede incelenebileceği ortaya konmuştur. Uzun süren orta dereceli, şiddetli ve aşırı kuraklıkların tümü batı kıyı kümesinde gözlemlenmiştir. SPI ile RDI_{st} trend analizi değerlendirildiğinde genellikle birbiriyle uyumlu sonuçlar vermiştir. Tüm kümeler için yenilikçi trend analizi ile orta dereceli, şiddetli ve aşırı kuraklık sayılarının 1995'ten bu yana çoğunlukla arttığı gözlemlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Akdeniz Bölgesi, Kuraklık, Standart Yağış İndeksi (SPI), Yenilikçi Trend Analizi (YTA)

JÜRİ: Doç. Dr. Rifat TÜR

Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU

Doç. Dr. Halil İbrahim BURGAN

Dr. Öğr. Üyesi Alp KÜÇÜKOSMANOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Engin EMSİN

ABSTRACT

DROUGHT ASSESSMENT IN THE MEDITERRANEAN REGION OF TÜRKİYE

Dilayda SOYLU PEKPOSTALCI

PhD Thesis in Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Rıfat TÜR

Co-supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali DANANDEH MEHR

July 2024; 61 pages

Fuzzy c-means (FCM) and innovative trend analysis (YTA, Innovative Trend Analysis) were used to investigate the meteorological drought across the Mediterranean Region of Türkiye. To this aim, the study area was clustered and the standardized precipitation index (SPI) at 3, 6, and 12 month (SPI-3, SPI-6, and SPI-12) accumulation periods were calculated using long-term observed precipitation data between 1970 and 2021 from 35 meteorological stations spread over the study area. The severity and duration of the extreme drought (AK), severe drought (SK), and moderate drought (OK) occurrences were tracked at each cluster and each station. The spatiotemporal changes in SPI indicated that OK events predominated in all seasons, however the study area has had a large number of SK and AK occurrences over the study period. SPI-3 data of Senirkent station; SPI-6 and SPI-12 data of Dörtöl station show that these stations have seen the highest number of drought occurrences. Moreover, reconnaissance drought index (RDI_{st}) at 3, 6, and 12 month accumulation periods were calculated for each station. The Mediterranean Region of Türkiye can be studied in three clusters: the high elevations in the north that receive the least amount of yearly precipitation, the eastern region at relatively low altitudes, and the western coastline region, according to the fuzzy cluster analysis. The western coastal cluster was exposed to prolonged OK, SK, and AK events compared to other clusters. Since 1995, there have been more OK, SK, and AK events, according to the YTA at all clusters. Considering SPI and RDI_{st} results, compatible results are obtained.

KEYWORDS: Drought, Innovative trend analysis (YTA), Mediterranean Region of Türkiye, Standardized Precipitation Index (SPI)

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Rıfat TÜR

Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU

Assoc. Prof. Dr. Halil İbrahim BURGAN

Ass. Prof. Dr. Alp KÜÇÜKOSMANOĞLU

Ass. Prof. Dr. Engin EMSEN

ÖNSÖZ

Bana bu konuda çalışma olanağı veren, doktora öğrenimim boyunca bilgi ve tecrübe birikimini benimle paylaşan, her türlü desteğini sağlayan danışmanım Sayın Doç. Dr. Rıfat TÜR'e saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince her türlü destek ve yardımıyla bana yol gösteren, bilgilerinden, tecrübelerinden yararlandığım ikinci danışmanım Sayın Doç. Dr. Ali DANANDEH MEHR'e teşekkürü bir borç bilirim.

T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne arşiv verilerini tezimde kullanmak üzere benimle paylaştıkları için teşekkür ederim.

Maddi manevi desteğini esirgemeyen, her türlü özveriyi ve emeği gösteren, kızları olmakla gurur duyduğum canım aileme bana hep inandıkları, güvendikleri, her zaman yanımda oldukları için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Arkadaşlarıma vermiş oldukları destek için minnetlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
AKADEMİK BEYAN	v
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	5
2.1. Kuraklık Analizi	5
2.2. Trend Analizi.....	11
2.3. Kümeleme Analizi.....	13
3. MATERYAL VE METOT.....	15
3.1. Çalışma Alanı	16
3.2. Meteoroloji Gözlem İstasyon Verileri.....	17
3.3. Standart Yağış İndeksi.....	19
3.4. Keşif Kuraklık İndeksi	21
3.5. Bulanık C-Ortalamalar Kümeleme Yöntemi.....	22
3.6. Yenilikçi Trend Analizi.....	23
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	25
4.1. İstasyonlar için SPI Değerlendirmesi	25
4.2. FCM ile Kümeleme Analizi	29
4.3. Kümelerde SPI Değerlendirmesi ve RDI _{st} Karşılaştırması	31
4.4. Kümeler için Farklı Zaman Ölçeğindeki SPI Serilerinin Trend Analizi.....	34
4.5. Akdeniz Bölgesi Meteorolojik Kuraklık Değerlendirmesi	37
5. SONUÇLAR	39
6. KAYNAKLAR	41
7. EKLER.....	48
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum “Akdeniz Bölgesi Kuraklık Değerlendirmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

31/07/2024

Dilayda Soylu Pekpostalcı

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a	: Başlangıç değeri
X_i	: Belirlenen zaman dilimi içindeki yağış
$\bar{X}$	: Belirlenen zaman dilimi içindeki yağışların ortalaması
σ_X	: Belirlenen zaman dilimi içindeki yağışların standart sapması
α	: Bulanıklaştırma parametresi
ε	: Durma kriteri
R_a	: Enleme bağlı uzay radyasyon miktarı (MJ/m ² /gün)
$G(x)$	: Gamma dağılımı için kümülatif dağılım fonksiyonunu
$g(x)$	: Gamma dağılımı için olasılık yoğunluk fonksiyonu
$\Gamma(\alpha)$	: Gamma fonksiyonunu
T_{ort}	: Günlük ortalama sıcaklık (°C)
u_{ik}	: i kümesindeki k verisinin üyelik derecesi
c_i	: i kümesinin merkezi
t	: İterasyon sayısı
Y_k	: k nesnesinin veri vektörü
$\#$	: Kuraklık olaylarının sayısı
$H(x)$	: Kümülatif olasılık
m	: Metre
mm	: Milimetre
TR (°C)	: Ortalama günlük maksimum sıcaklık ile ortalama günlük minimum sıcaklık farkı
β	: Ölçek parametresi
°C	: Santigrat derece
Z	: Standart normal değişken

α	: Şekil parametresi
n	: Toplam yağış gözlem sayısı
q	: Yağışların bulunmama olasılığı
x	: Yağış miktarı
$\bar{x}$	: Yağışların ortalama değeri
a_k	: Yıl içinde belirli bir ay (k) için başlangıç değeri
PET_j	: Yılın j ayındaki potansiyel evapotranspirasyon
P_j	: Yılın j ayındaki yağış miktarı
$\overline{a_k}$	: a_k değerlerinin ortalaması

Kısaltmalar

ADI	: Bütünleşik kuraklık indeksi (Aggregate Drought Index)
AI	: Kuraklık İndeksi (Aridity Index)
AK	: Aşırı kurak (Extreme Drought)
B	: Batı
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
D	: Doğu
DAI	: Kuraklık alan indeksi (Drought Area Index)
DEM	: Sayısal yükseklik modeli (Digital Elevation Models)
FCM	: Bulanık c-ortalamalar (Fuzzy C-Means)
GCM	: Genel dolaşım modelleri
K	: Kuzey
KS	: Kuraklık süresi
Maks.	: Maksimum
Min.	: Minimum

NASA : Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (National Aeronautics and Space Administration)

OK : Orta derecede kurak (Moderate Drought)

OMGİ : Otomatik meteoroloji gözlem istasyonları

PDSI : Palmer kuraklık şiddeti indeksi (Palmer Drought Severity Index)

PET : Potansiyel evapotranspirasyon

PNI : Normalin yüzdesi indeksi (Percent of Normal Index)

RDI : Keşif kuraklık indeksi (Reconnaissance Drought Index)

RDI_n : Normalleştirilmiş RDI

RDI_{st} : Standartlaştırılmış RDI

S : Kuraklık şiddeti

SK : Şiddetli kurak (Severe Drought)

SDI : Akım Kuraklık İndisi (Streamflow Drought Index)

SPEI : Standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indeksi (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index)

SPI : Standart yağış indeksi (Standardized Precipitation Index)

SRTM : Uzay mekiği radarı topografya görevi (Shuttle Radar Topography Mission)

TKAS : Toplam kurak ay sayısı

USGS : Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (United States Geological Survey)

WMO : Dünya meteoroloji örgütü (World Meteorological Organization)

YTA : Yenilikçi trend analizi (Innovative Trend Analysis)

Bu tezde, ondalık ayıraç olarak nokta (.) kullanılmıştır.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Çalışmanın akış şeması.....	15
Şekil 3.2. Meteoroloji gözlem istasyonlarının Akdeniz Bölgesi çalışma alanındaki dağılımları	17
Şekil 3.3. Trend tipleri (Dabanlı vd. 2016).....	24
Şekil 4.1. İstasyonlarda gözlemlenen OK olaylarının sayısı ve toplam kurak ay sayısı.....	27
Şekil 4.2. İstasyonlarda gözlemlenen SK olaylarının sayısı ve toplam kurak ay sayısı.....	28
Şekil 4.3. İstasyonlarda gözlemlenen AK olaylarının sayısı ve toplam kurak ay sayısı.....	28
Şekil 4.4. Her bir kuraklık kategorisi için SPI-3, SPI-6 ve SPI-12'nin toplam kurak ay sayısının yüzdesinin mekana bağlı dağılımı.....	29
Şekil 4.5. B, K ve D kümelerinde bulunan istasyonların çalışma alanına dağılımı.....	31
Şekil 4.6. B, K ve D kümeleri için aylık SPI-3, SPI-6 ve SPI-12 değerleri zaman serileri.....	32
Şekil 4.7. B, K ve D kümeleri için aylık RDI _{st} -3, RDI _{st} -6 ve RDI _{st} -12 değerleri.....	33
Şekil 4.8. B, K ve D kümeleri için 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeğinde RDI _{st} ve SPI zaman serileri karşılaştırması.....	34
Şekil 4.9. B, K ve D kümeleri için SPI-3, SPI-6 ve SPI-12 trend analizi.....	35
Şekil 4.10. B, K ve D kümeleri için RDI _{st} -3, RDI _{st} -6 ve RDI _{st} -12 trend analizi	36
Şekil 4.11. B, K ve D kümeleri için 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeğinde RDI _{st} ve SPI trend analizi karşılaştırması.....	37

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Meteoroloji gözlem istasyonu bilgileri.....	18
Çizelge 3.2. SPI ile kuraklık sınıflandırması	21
Çizelge 4.1. Her istasyonda gözlemlenen kuraklık olaylarının sayısı (#) ve toplam kurak ay sayısı (TKAS).....	25
Çizelge 4.2. İstasyon numaraları ve küme sembolleri	30



1. GİRİŞ

Kuraklık iklime bağı bir doğa afettir. Toplumu, turizmi, tarımsal faaliyetleri, sosyal hayatı yakından etkilemektedir. Kuraklık, Çölleşme ile Mücadele Ulusal Koordinasyon Birimi (2005) tarafından şu şekilde tanımlanmıştır:

“Yağışların normal düzeylerinden aşağıda olmaları ve/veya düzensizlikleri durumunda önemli hidrolojik dengesizliklerin oluşması ve buna bağı olarak arazi doğa üretkenliğinin olumsuz biçimde etkilendiğı doğa bir olaydır”.

Kuraklık, tarımsal faaliyetleri, turizmi, toplumu, sosyal hayatı yakından etkileyen önemli bir konudur. Kuraklık, tarımsal üretimi olumsuz yönde etkileyebilir. Su kaynaklarının azalmasıyla bitki yetiştirme zorlaşabilir, gıda üretimi düşebilir ve tarım ekonomisi olumsuz yönde etkilenebilir. Özellikle tarıma dayalı ekonomilerde kuraklık ciddi mali sıkıntılara yol açabilir. Ayrıca, su kaynaklarının azalması, doğa yaşamı da olumsuz etkileyebilir. Göller, nehirler, sulak alanlarda yaşayan bitki ve hayvan türleri zarar görebilir ve ekosistemdeki dengeler bozulabilir. Kuraklık nedeniyle tarımsal faaliyetlerin azalması, sosyal hayatı etkileyebilir, kırsal alanlardan şehir merkezlerine göçü arttırabilir. Şehirlerde altyapı ve hizmetler üzerinde ekstra baskı oluşturabilir. Kuraklık şehirlerde su kesintilerine veya su kalitesinde düşüşlere neden olabilir.

Yanlış arazi kullanımı, fosil yakıt kullanımıyla karbondioksit oranındaki artış, insan faaliyetleri sonucu küresel ortalama sıcaklık ve sera gazı emisyonlarında artış gibi etmenler küresel iklim değişikliğine neden olmaktadır. Küresel iklim değişikliği de yüksek evapotranspirasyona, su dağılımının yetersiz olmasına ve dolayısıyla da su talebinin zamanla artmasına neden olarak kuraklık riskini arttırmaktadır. İklim değişikliği kuraklık olasılığını artırabilir veya mevcut kuraklık süreçlerini şiddetlendirebilir.

İklim modeli projeksiyonlarında dünyanın birçok bölgesinde sıcaklık artışı ile yağış azalması öngörülmektedir. Ekolojik, ekonomik, sosyolojik sorunlara neden olan iklim değişikliği insan yaşamını tehdit etmektedir. İklim değişikliğiyle beraber hava olaylarının şiddeti, sıklığı, alana ve zamana bağı dağılımı da değişkenlik göstermiş; bu nedenle iklim anomalilerinin analiz edilmesi önem kazanmıştır. Kuraklık indisleri ile kuraklığın başlangıcı, şiddeti, süresi belirlenebildiğinden, bu anomalilerin oluşum sıklığı, şiddeti, coğrafi yayılımı da nicel olarak değerlendirilebilmektedir. Kuraklık, iklim değişikliğiyle mücadelenin önemli bir parçası haline gelmiştir.

Kuraklık sadece su kaynaklarının azalması değil, aynı zamanda ekonomik, ekolojik ve sosyal boyutlarıyla da büyük öneme sahiptir. Kuraklık süresinin, şiddetinin, sıklığının zamana ve mekâna bağı olarak belirlenmesiyle su kaynakları yönetimi ve planlaması yapılarak, kuraklığın neden olacağı sorunlar toplumsal olarak en az etkiyle aşılabilir. Bu nedenle kuraklık yönetimi, su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ve iklim değişikliğiyle mücadele stratejilerinin önemli bir parçası olarak ele alınmalıdır.

Birleşmiş Milletler tarafından yapılan sınıflandırmaya göre Türkiye kişi başına düşen temiz su miktarına göre su fakiri ülkeler arasındadır. Yarı kurak iklim kuşağında bulunan Türkiye’de bölgesel olarak kuraklık yaşanmış; sıcaklık artışı, yağış azlığı gibi atmosferik parametreler ve coğrafi etmenler bu kuraklığın nedeni olsa da plansız şehirleşme, nüfus artışı, yanlış arazi kullanımı gibi etmenler bölgesel kuraklığa daha da

hassas hale getirmektedir (Dabanlı 2019). İklim değişikliğinin negatif etkilerinin minimum seviyeye düşürülmesi ve sonuçlarına hazırlıklı olunabilmesi için parametrelerdeki değişikliklerin incelenmesi, gelecekteki eğilimlerinin tahmin edilmesi ve bu değişikliklerin insan ve doğal sistemlere etkisinin belirlenmesi, özetle geçmiş iklimin analiz edilmesi önem arz etmektedir.

Kuraklığın birçok çeşidi vardır; meteorolojik kuraklık, hidrolojik kuraklık, tarımsal kuraklık. Yağış eksikliği meteorolojik kuraklığa neden olmaktadır. Yüksek sıcaklıklar buharlaşmayı artırabilir ve su kaynaklarının hızlı bir şekilde azalmasına neden olabilir. Bu durum, yağış miktarının yeterli olduğu durumlarda bile su eksikliği yaratabilir. Herhangi bir zamanda yağış eksikliği ile başlayan meteorolojik kuraklığı; toprak nemindeki eksiklik ve bitkinin ihtiyaç duyduğu su miktarının toprakta bulunmamasıyla tarımsal kuraklık izlemektedir. Başka bir deyişle yerüstü, yağış ve yeraltı suyu eksikliği nedeniyle tarımsal faaliyetlerin kısıtlanmasıyla tarımsal kuraklık meydana gelmektedir. Akışın esas olduğu hidrolojik kuraklıkta ise akarsu, göl, rezervuar, yeraltı suyu seviyesi gibi yeryüzü ve yeraltı su kaynaklarında azalma meydana gelmektedir.

Literatürde kuraklık analizi ve değerlendirilmesi için birçok kuraklık indisi kullanılmaktadır: standartlaştırılmış kuraklık indeksi (SPI, Standardized Precipitation Index; McKee vd. 1993), Palmer kuraklık şiddeti indeksi (PDSI, Palmer Drought Severity Index; Palmer 1965, 1968), sc-PDSI (self-calibrated PDSI; Wells vd. 2004), standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indeksi (SPEI, Standardized Precipitation Evapotranspiration Index; Vicente-Serrano vd. 2010) , Keşif Kuraklık İndeksi (RDI, Reconnaissance Drought Index; Tsakiris ve Vangelis 2005), Kuraklık Alan İndeksi (DAI, Drought Area Index) vb. (Gümüş vd. 2018a; Dikici 2019). Literatürdeki bazı kuraklık analizi çalışmalarında, kullanılan girdi parametreleri, sabit veya değişken zaman ölçeği gibi farklı özelliklere sahip kuraklık indisleri karşılaştırılmıştır. Belirlenen bölgeler için birden fazla kuraklık indisi ile analiz yapılarak karşılaştırmalı sonuçlar ile indislerin geçerliliği, avantaj ve dezavantajları değerlendirilmiştir (Vicente-Serrano vd. 2010; Stagge vd. 2014).

Kuraklık analizi çalışmalarında kullanılan kuraklık indislerinden SPI yönteminde sadece yağış verileri kullanılarak, kısa veya uzun dönem için kuraklık analizi yapılabilir. SPI istenilen aylık veya gün sayısı kadar (1, 2, 3, 6, 9, 12, 24 ay gibi) yağışının toplanıp, bu değerlerinin aşılması olasılıklarının standart normal dağılıma dönüştürülmesiyle elde edilir (Stagge vd. 2014). SPI değişken zaman ölçeğine sahip olup sadece kuraklığı etkileyen birincil faktör olan yağış parametresine dayanır. Bu durumda sıcaklık değişimi gibi kuraklığı etkileyen diğer faktörleri kapsamaması ve yağışın sıfır olması durumunun yeterince açıklanamaması nedeniyle SPI yöntemi eleştirilebilir. RDI metodunda yağış ve potansiyel evapotranspirasyon (PET) değerleri kullanılarak SPI ile aynı yöntemle hesaplanmaktadır. Her iki indis için de kuraklık sınıflandırmasında aynı eşik değerler kullanılmaktadır.

Toprak-su dengesine dayanan kuraklık indisi olan PDSI yönteminde toplam yağış, ortalama sıcaklık, faydalı su içeriği ve PET değerleri kullanılmaktadır. PDSI, yağış, buharlaşma-terleme ve toprak su tutma kapasitesini (tarla kapasitesi) girdi olarak kullanır. PDSI yağış, nem, akış, evapotranspirasyon içerir. Buharlaşma-terleme tutarı, aylık ortalama sıcaklık ve toplam yağış değerlerinden yararlanarak Thornthwaite yöntemi ile

hesaplanır. Bu yöntem toprak nemi ölçümü gerektirir. Fakat kalibrasyon zorluğu gibi dezavantajları nedeniyle sc-PDSI önerilmiştir. Farklı zaman aralıklarında kuraklığın değerlendirilmesi hidrolojik, çevresel, tarımsal gibi kuraklık çeşitliliğinin belirlenmesinde önem teşkil eder ve kullanılabilir su kaynakları yönetimi açısından önemlidir. Bu durumda kuraklık sınıflandırılması zaman ölçeğine bağlı olarak değişirken, sc-PDSI'nın sabit zaman ölçeğine sahip olması dezavantaj oluşturmaktadır (Vicente-Serrano vd. 2010). Sc-PDSI sabit zaman ölçekli olması nedeniyle kayda değer sıcaklık değişimi yok ise SPI sc-PDSI yerine kullanılır.

SPEI, SPI ile aynı şekilde hesaplanmasına karşın sadece yağış değil, evapotranspirasyon değerlerine de bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu durumda SPEI hem sadece yağış verilerine bağlı olmaması hem de farklı zaman ölçeklerine göre hesaplanabilmesiyle avantaj sağlamaktadır. SPI ve SPEI değerleri arasındaki fark evapotranspirasyonun iklimsel su dengesinde önemli rol oynadığı dönem için hesaplanırsa aralarındaki korelasyon yüksek; yağışın iklimsel su dengesini yönettiği durumda ise düşüktür (Vicente-Serrano vd. 2010; Çamalan vd. 2017; Danandeh Mehr vd. 2019). SPEI metodunda yağış ve evapotranspirasyon verileri kullanılarak yine kısa ve uzun zamanlı analizler yapılabilir. Yağış ve sıcaklık verilerinden elde edilen çok zaman ölçekli indis SPEI, Thornthwaite tarafından geliştirilmiş olan basit su dengesinin normalize edilmesine dayanır. SPEI hesabında gereken aylık PET değerleri Thornthwaite yöntemi ile hesaplanabilir. Bu yöntemde az sayıda girdi gerekmesi ve daha karmaşık PET hesap yöntemleri kullanılsa da elde edilen indiste çok az fark olması bu yöntemi öncelikli kılmıştır. Fakat donma noktası altında buharlaşmanın sıfır kabul edilmesi nedeniyle bu koşullarda PET değeri daha düşük olarak hesaplanırken; bu koşul dışında evapotranspirasyonun yüksek olduğu durumlarda uyumlu sonuç verir. Yağış ve sıcaklık verilerinin kullanılmasıyla elde edilen çok zaman ölçekli indis SPEI, Thornthwaite tarafından geliştirilmiş olan basit su dengesinin normalize edilmesine dayanır (Stagge vd. 2014).

Evapotranspirasyon değerlerinin etkisini de içeren yöntemlerde, farklı evapotranspirasyon hesaplama yöntemleri değerlendirilerek indislere etkisi araştırılmıştır. Farklı PET hesaplama yöntemlerinde kullanılan parametrelerin sonucu etkileme sıralamaları da araştırılmıştır. Ayrıca farklı kuraklık şiddeti sınıflandırmaları yani kuraklık şiddeti için farklı eşik değerleri ile kuraklık analizleri yapılmıştır. Bunlara ek olarak indislerin normalize edilmesinde kullanılan en uygun parametrik olasılık dağılımının seçilmesi önem arz etmektedir; uygun dağılım seçilmezse kuraklık abartılabilir veya minimize edilebilir (Stagge vd. 2015).

Türkiye’de çeşitli bölgeler için kuraklık analizi için yapılan çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmaların birçoğu Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO, World Meteorological Organization) tarafından kabul edilen SPI yöntemi ile yapılmıştır (Çuhadar ve Atış 2019; Kumanlıoğlu ve Fıstıkoğlu 2019; Terzi vd. 2019; Beden vd. 2020). Ülkemizde SPEI (Danandeh Mehr vd. 2019; Güner Bacanlı ve Akşan 2019; Bakanoğulları 2020) ve PDSI (Özgürel vd. 2002; Türkeş vd. 2009; Başakın vd. 2019) yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Ayrıca RDI yöntemi de birçok çalışmada kullanılmıştır (Taşolu 2023; Taylan vd. 2023; Uncu 2023; Yaman Öz vd. 2024). İklim değişikliğiyle beraber iklim modeli projeksiyonlarında dünyanın birçok bölgesinde sıcaklık artışı ile yağış azalması öngörülmektedir. Literatürde küresel iklim model senaryolarının gelecek iklim projeksiyonları ile kuraklık analiz çalışmaları çeşitli zaman ölçeklerinde yapılmıştır

(Çamalan vd. 2017; Danandeh Mehr vd. 2019).

Bulanık c-ortalamalar (FCM, Fuzzy C-Means) metodu, verileri kesin bir şekilde kümelerle ayırmak yerine, her veri noktasını birden fazla kümeye ait olma olasılığı ile değerlendirildiği bir kümeleme algoritmasıdır. Her veri kümelerle belirli bir olasılıkla ait olabilir, kümelerle üyelik dereceleri ile atanır. Üyelik derecesi 0 ile 1 arasında değer alır ve tüm kümeler için toplamı 1'dir. Oluşturulan kümelerin merkezleri, veri noktalarının kümelerle olan üyelik derecelerine göre hesaplanır. Kümelerin merkezleri her bir veri noktasının kümeye olan yakınlığı dikkate alınarak belirlenir. FCM yöntemi ile her bir veri noktası, kümelerle olan üyelik derecesine göre sınıflandırılması sağlanır.

Trend analizi ile zaman serisi verilerindeki uzun dönemli eğilimler ve değişimler belirlenebilmektedir. Hidrolojik verilerin zaman içindeki değişimlerinin ve eğilimlerinin belirlenmesi su kaynakları yönetimi ve iklim değişikliği gibi alanlarda büyük öneme sahiptir. Yenilikçi trend analizi (YTA, Innovative Trend Analysis) ile zaman serisi verisi birinci ve ikinci yarı olmak üzere iki eş alt seriye ayrılarak, bu alt serilerin birbiriyle karşılaştırılmasıyla trend sınıfları belirlenmektedir.

Bu çalışmada Akdeniz Bölgesi için meteoroloji gözlem istasyonlarından elde edilen hava sıcaklığı ve yağış meteorolojik verileri ile her istasyondaki meteorolojik kuraklık SPI ve RDI yöntemleriyle 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeğinde hesaplanmıştır. Negatif kuraklık indisleri, başka bir deyişle tüm kuraklık olayları, McKee vd. (1993) tarafından tanımlanan eşik değerlerine göre orta dereceli kuraklık (OK), şiddetli kuraklık (SK) ve aşırı kuraklık (AK) kategorilerine göre sınıflandırılmıştır. Her bir kuraklık sınıflandırmasındaki olayların sayısı, süresi ve şiddeti belirlenmiştir. Böylece istasyonlar esas alınarak kuraklık analizi yapılmış, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yöntemleriyle de mekana bağlı analiz değerlendirilmiştir. FCM kümeleme yöntemi aylık yağış verilerine uygulanarak çalışma alanındaki 35 istasyon kümelerle ayrılmıştır. Her kümedeki SPI değerlerine kümelerde bulunan istasyonların kuraklık indislerin ortalaması alınarak ulaşılmıştır. FCM metodu ile oluşturulan kümelerde bulunan istasyonların ortak özellikleri analiz edilmiştir. Her küme için tüm kuraklık olayları OK, SK ve AK kategorilerine göre sınıflandırılmış; kuraklık olaylarının sayısı, süresi ve şiddeti belirlenmiştir. Meteorolojik kuraklığın her kümedeki eğilimleri YTA metodu ile değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, Akdeniz Bölgesi'nin meteorolojik durumu analiz edilmiş, kuraklık indislerin trend analiz sonuçlarıyla iklim değişikliğinin etkisi incelenmiştir. Bu çalışma ile, çalışma alanı için meteorolojik kuraklığın trend analizi ile zamana bağlı, CBS yöntemleriyle de mekana bağlı analizi incelenmiştir. Bu çalışma su, tarım, bölgesel kalkınma, ekonomik faaliyetler, çevre gibi birçok konuda yararlı ve daha sonra yapılacak akademik çalışmalara altlık oluşturacaktır.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Kuraklık Analizi

Çamalan vd. (2017) çalışmalarında Türkiye'deki 123 meteoroloji gözlem istasyonunun aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık verileriyle 1, 3 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde SPEI değerlerini hesaplamış ve kuraklık sınıflarına göre oluşum sıklıklarını yani olasılıklarını elde etmişlerdir. HadGEM2-ES küresel iklim modelinin RCP4.5 senaryosunun 2016–2098 periyodu için bölgesel iklim projeksiyon çıktılarını kullanmış, kuraklık olasılıklarını mekana ve zamana bağlı olarak incelemişlerdir. Analizler sonucunda periyot arttıkça kuraklık süresinin arttığı, sıklığının azaldığı görülmüştür. 3 aylık periyot sonuçlarına bakıldığında mevcut gözlemlerle SPEI şiddet frekans olasılıklarının normal sınıfın hafif nemli bölümünde yoğunlaşırken; projeksiyon iklim verilerinde 2016-2040 periyodunda hafif kurak, 2041-2070 ve 2071-2098 periyodunda ise orta kurak sınıfta yoğunlaşmıştır. Sonuç olarak, 2016-2098 periyodu için sıcaklıkta artış ve yağışta azalış trendi belirten projeksiyon iklim verileri ile bir üst kuraklık sınıfına geçme eğilimi göstereceği öngörülmüştür.

Dabanlı vd. (2017) Türkiye'de homojen olarak dağılmış 250 istasyona ait 1931-2010 yılları arası 80 yıllık veriler ile kuraklığı zamana ve mekana bağlı olarak değerlendirmişlerdir. Kuraklık analizi için SPI indisini kullanmışlardır. Kuraklık indisinin mekana ve zamana bağlı modelini analiz etmek için temel bileşenler analizi yöntemini kullanarak iki gruba ayırmışlardır. Korelasyon alanı, korelasyon katsayısı, temel bileşen sayıları ve açıklanan toplam varyanslar arasındaki ilişki araştırılarak dört homojen bölge belirlenmiştir. Ayrıca kuraklığın spektral özelliklerini hızlı Fourier dönüşümü yöntemi ile araştırarak, Türkiye'nin güneydoğu ve batı kısımlarından oluşan iki bölgenin daha kararlı olduğu; merkezi bölgelerin ve kuzeyde bulunan küçük bölgelerin ise daha az kararlı bölgeler olduğu sonucuna varmışlardır.

Karabulut (2015) çalışmasında Antakya-Kahramanmaraş Grabeni için 1975-2010 döneminde yıllık, mevsimsel ve aylık zaman ölçeklerinde kuraklık koşullarını SPI ve kümülatif sapma eğrisi yöntemini kullanarak incelemiştir. Yıllık, mevsimsel ve aylık kuraklık serilerinin analizleri ile alanın yağış karakteristiğinin değiştiği, kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerinin toplam yağışlarının az oranda azaldığı sonucuna varmıştır. Kuraklık sıklığının, çalışma alanının özellikle kuzey kesiminde son on yılda arttığını analiz etmiştir. Kuraklık dönemlerini sırasıyla 1982–1985, 1999–2002 ve 2004–2008 olarak ayırarak; 1999–2002 yılları arası dönemin çalışma alanının büyük kısmında en kurak dönem olduğunu belirlemiştir.

Dabanlı (2019) kuraklık afet göstergesi ve kuraklık hassasiyet göstergesi puanlarını bulanık mantık çıkarımı yaklaşımıyla hesaplayarak Türkiye kuraklık risk haritası ve kuraklık afet ve hassasiyet haritalarını çıkarmıştır. Kuraklık afet göstergesini 81 ile homojen dağılmış olan 250 istasyona ait aylık yağış verilerinden elde edilen SPI değerlerini kullanarak; kuraklık hassasiyet göstergesini ise 2015 yılına ait nüfus, içme-kullanma suyu, toplam tarım alanı ve sulanan tarım alanı olmak üzere sosyo-ekonomik verilerini kullanarak elde etmiştir. Çalışma sonucunda Türkiye'de 5 ilin düşük, 61 ilin orta ve 14 ilin yüksek kuraklık riski taşıdığını; ayrıca sadece Konya'da çok yüksek kuraklık riskinin ortaya çıktığını belirlemiştir.

Sırdaş (2002) çalışmasında 1930-1990 yılları arasındaki 60 istasyon için yağış, sıcaklık ve bağıl nem verileri ile üçlü-değişken kuraklık yaklaşımı uygulamıştır. SPI yöntemini incelemiş ve buna ek olarak SPI yöntemine kuraklık oranı parametresi ekleyerek, yaklaşım geliştirmiştir.

Yıldız (2017) çalışmasında 81 il için 1960-2014 zaman aralığındaki aylık toplam yağış verilerinin ortalamasıyla Türkiye geneli için aylık ortalama yağış verisi elde ederek, 6 ve 12 aylık SPI kuraklık indis değerlerini hesaplamıştır. Minimum 30 yıllık kesintisiz veri seti gerektiğinden, eksik verileri komşu 3 ilin ortalamalarının alınmasıyla elde etmiştir. Türkiye ortalama ve Adana ili için SPI değerleri 1995-2004 ve 2005-2014 yılları arası olmak üzere iki ayrı dönem için karşılaştırmalı olarak incelemiştir. 12 aylık zaman periyodu incelendiğinde, birinci dönemde Türkiye’de 31 ay, Adana’da ise 55 ay; ikinci dönemde sırasıyla 47 ay ve 67 ay kurak dönem yaşandığını belirlemiştir. 6 aylık zaman periyodu göz önüne alındığında ise, Türkiye ve Adana’da sırasıyla birinci dönemde 29 ay, 54 ay; ikinci dönemle 48 ay ve 52 ay kurak dönem yaşandığı sonucuna varmıştır.

Pamuk vd. (2004) 1971-2001 yılları arası 55 yıllık aylık ortalama yağış verilerini kullanarak SPI yöntemi ile Ege Bölgesi için kuraklık analizi yapmışlardır. Kış döneminin orta derece kurak; diğer ayların normal kurak kategorisinde olduğu sonucuna varmışlardır.

Terzi vd. (2019) veri madenciliği ile modeller geliştirerek Çanakkale ili için kuraklık tahmini yapmışlardır. 1975-2010 yılları arası Çanakkale, Bozcaada ve Gökçeada istasyonları aylık toplam yağış verilerini kullanarak 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık SPI değerlerini hesaplamışlardır. Bu değerleri veri madenciliği modellerinde girdi olarak kullanmış; farklı algoritmalar ile modeller geliştirmişlerdir. Model sonuçları, hesaplanan SPI değerleri ile karşılaştırıldığında, veri madenciliği yönteminin kuraklık tahmininde iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Arsan vd. (2016) Kızılırmak havzası çevresinde bulunan 8 ilin 1973-2013 yılları arası aylık toplam yağış verileriyle 1, 3, 6, 9, 12 ve 60 aylık SPI değerlerini elde etmişlerdir. Çalışmaları sonucunda 12 ve 60 aylık periyotlar için kuraklık sürelerinin 3-7 katına çıktığını, ayrıca daha kısa periyotlarda az sayıda çok şiddetli kuraklık yaşanmasına rağmen 12 ve 60 ay için çok şiddetli kuraklık yaşanmadığını analiz etmişlerdir. Ayrıca son yıllardaki kuraklığın daha uzun sürdüğü sonucuna varmışlardır.

Kumanlıoğlu ve Fıstıkoğlu (2019) Gediz Havzası için kuraklık analizi yapmışlardır. Bölgedeki 6 istasyona ait 1960-2017 yılları arası aylık toplam yağış değerleri ile aylık, mevsimlik ve yıllık SPI değerlerini incelemişlerdir. Kuraklık süre ve şiddetinin eskiye kıyasla artışı ve kış aylarında görülen kuraklığın yıllık kuraklıkta da etkili olduğunu gözlemlemişlerdir.

Dinç vd. (2016) 1970-2014 yılları arası 8 istasyona ait aylık yağış verileri ile SPI yöntemini kullanarak 3, 6, 12 ve 24 aylık dönemlerde Antalya ili için kuraklık analizi yapmışlardır. SPI değerlerinin normale yakın kurak değerler arasında olduğunu ve mevsimsel değerlendirmede hem yaz hem de kış mevsiminde kuraklığın görülebildiğini değerlendirmişlerdir.

Özfidaner vd. (2018) Seyhan Havzası için iki istasyona ait 1967-2007 yılları arası

aylık ortalama akım değerlerinden akarsu kuraklık indisi elde ederek 3, 6, 9 ve 12 aylık periyotlar için hidrolojik kuraklık analizi yapmışlardır. 9 ve 12 aylık periyotlar için iki istasyonda da benzer akım kuraklık indisi (SDI) değerlerini elde etmiş, 3 ve 6 aylık periyotlarda elde ettikleri SDI verilerinin 2000 yılından sonra önem kazandığı sonucuna varmışlardır.

Cebeci vd. (2019) 81 il için 2000-2016 yılları arası aylık toplam yağış ortalaması ve aylık ortalama sıcaklık verileri ile Bagnouls Gaussen kuraklık indisini hesaplamış, illere göre Türkiye kuraklık haritası çıkarmış ve elde ettikleri değerleri daha önce yapılan çalışmayla kıyaslayarak son 15 yıl için değişimi incelemişlerdir. Kurak alanda %1.79 azalış, çok kurak alanda %0.56 artış ve kuzeyden güneye doğru kuraklık artışı olduğu sonucuna varmışlardır. Türkiye'nin iç bölgelerinin kurak; Ege, Akdeniz ve Doğu Anadolu Bölgelerinin bir bölümü ile Güneydoğu Anadolu Bölgesinin çok kurak özellik gösterdiğini analiz etmişlerdir.

Terzi ve Ersoy (2018) Konya ili için 1971-2014 yılları arası aylık toplam yağış verileriyle SPI yöntemini kullanarak 3, 6, 9 ve 12 aylık kuraklık analizi yapmışlardır. Kuraklık kategorilerini, yüzdelik dağılımlarını ve görülme olasılıklarını incelemişlerdir. Yapay sinir ağları metodunu kullanarak kuraklığı modellemişler; girdi parametresi olarak yağış parametrelerini, çıktı olarak SPI değerlerini kullanmışlardır. SPI için kullanılan zaman dilimleri için yapılan yapay sinir ağları modelleri karşılaştırıldığında 12 aylık periyot için en yüksek determinasyon katsayısını ve en düşük ortalama kare hata değerini elde etmişler, kuraklık tahmininde yapay sinir ağları metodunun kullanılabileceğı sonucuna varmışlardır.

Özgürel vd. (2002) Ege Bölgesi için 35 adet meteoroloji istasyonuna ait 1966 yılı ocak ile 1999 aralık ayları arası aylık ortalama yağış, aylık ortalama sıcaklık, istasyonların enlem ve boylam verilerini kullanarak PDSI değerlerini aylık olarak incelemişlerdir. Aylık belirlenen kurak dönemlerin orta kurak ve normale yakın nemli olarak sınıflandırılan kategorilerde yoğunlaştığını gözlemlemişlerdir. Haziran ayının en kurak; Temmuz, Ağustos, Eylül aylarının da diğer aylara göre daha kurak olduğu, ayrıca Afyon, Bolvadin, Emirdağ ve Tavşanlı istasyonlarının diğer istasyonlara göre kuraklığı daha yoğun yaşadıkları sonucuna varmışlardır.

Erkuş (2001) İstanbul'da 5 adet meteoroloji istasyon verileri ile 20, 50, 100 ve 500 yılda oluşabilecek farklı büyüklükteki kuraklıkların olasılıklarını belirlemiştir. En uzun kurak süre, en kurak yılda ortalamaya göre yağış eksikliği ve kurak bir süredeki en fazla toplam yağış eksiklikleri olasılıklarını ve risklerini sunmuştur. Belirlenen periyotlar için %10 riskle meydana gelebilecek en büyük toplam yağış eksikliklerini belirlemiştir.

Fidan (2011) Doğu Akdeniz Bölgesi için aylık yağış verilerini kullanarak SPI indisini ve Markov zinciri ile de kuraklık olasılıklarını belirleme konusunda çalışma yapmıştır. Çalışmasında 58 meteoroloji gözlem istasyon verilerini kullanmış, regresyon analizi ile eksik verileri tamamlamıştır. Çalışma alanının kuraklık risk olasılığının kuraklık süresi arttıkça arttığı, 48 ay süreli kuraklık riskinin maksimum Tufanbeyli istasyonunda ve %70 oranında olduğu; aylık yağışlara göre kuraklık riski değerlendirildiğinde ise Gözne ve Nizip'in en düşük riskli istasyonlar olduğu sonucuna varmıştır.

Güner Bacanlı ve Akşan (2019) SPEI'nin Akdeniz Bölgesi için kuraklık analizinde kullanıldığı ilk çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. 1970-2018 yılları arası 8 meteoroloji gözlem istasyonu sıcaklık ve yağış verileriyle 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık periyotlarda kuraklığı değerlendirmişlerdir. Akdeniz Bölgesi'nin normale yakın ve hafif kurak sınıfları arasında yer aldığı; Mersin'in her iki kuraklık sınıfında da maksimum değerleri aldığı ve Adana'nın sulak ve kurak durumlarda minimum yüzdelik değerlere sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Akdeniz Bölgesinin hafif kurak ile normale yakın kurak sınıfları arasında bulunduğunu gözlemlemişlerdir.

Bakanoğulları (2020) İstanbul'da bulunan Damlıca dere havzası için 1982-2006 yılları arası aylık ortalama yağış verilerini kullanarak aylık, mevsimlik, 6 aylık ve yıllık SPI ve SPEI ile meteorolojik ve tarımsal kuraklık analizlerini incelemiştir. Yıllık SPEI ve SPI indislerinin regresyon analizini incelediğinde determinasyon katsayısını 0,977 olarak belirleyerek istatistiksel olarak anlamlı sonuç elde ettiğini; fakat aylık, mevsimlik ve 6 aylık değerlendirmelerde ise indisler arasında farklılık olduğunu saptamıştır. Yıllık zaman ölçeğinde, yağış, sıcaklık, evapotranspirasyon verilerinin de kullanıldığı SPEI metoduyla 4 yıl orta, 7 yıl hafif kurak; SPI metoduyla ise 2 yıl şiddetli, 32 yıl orta, 2 yıl hafif kurak dönem tespit etmiştir.

Çelik ve Gülersoy (2018) çalışmalarında 40 yıldan fazla dönemdeki günlük ve aylık toplam yağış ve ortalama sıcaklık; ayrıca günlük maksimum ve minimum yağış ve sıcaklık verilerini kullanarak Mersin için 1965-2014 yılları arası SPI, normalin yüzdesi indeksi (PNI) ve Erinç Kuraklık indisi ile aylık, mevsimlik ve yıllık kuraklık analizi yapmışlardır. PNI, Erinç ve SPI modelleriyle elde ettikleri analizlerin uyumlu olduğu sonucuna varmışlardır.

Başakın vd. (2019) Kayseri ili için 116 yıllık PDSI değerlerini makine öğrenmesi yöntemleri ile modelleyerek bir, üç ve altı ay sonraki kuraklık değerlerini tahmin etmişlerdir. İstatistiksel olarak değerlendirilen makine öğrenmesi yönteminin kuraklığın belirlenmesinde etkin olarak kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Çelik vd. (2018) Doğu Anadolu Bölgesi'nde 14 il için 1967-2017 yılları arası dönem için meteorolojik verileri kullanarak SPI indisi ile mevsimsel kuraklık analizi yapmışlardır. Bölgedeki illerin meteoroloji istasyonlarının yıllık ortalama maksimum, yıllık ortalama minimum, yıllık ortalama sıcaklıklar ile yıllık ortalama toplam yağışlı gün sayısı ve yıllık toplam ortalama yağış verilerini kullanarak, her ilin Erinç, De Martonne, Aydeniz ve Thornthwaite'e göre iklim tiplerini belirlemişlerdir. Bingöl, Bitlis, Hakkâri ve Iğdır'da nemlilik; Malatya, Elazığ, Tunceli, Van ve Kars'ta kuraklık eğilimi olduğu; ayrıca bölgede kış aylarında da kuraklık gözlemlenebileceği sonucuna varmışlardır.

Gümüş vd. (2018b) hidrolojik kuraklığın belirlenmesinde 1968-2011 yılları arası Murat Nehri (Palu) akım gözlem istasyonu akım verileri ile 1, 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde SDI yöntemini kullanmışlardır. Şubat, Mart ve Kasım en yüksek kurak, Mayıs ise en düşük kurak dönemin yaşandığı ay olarak belirlenmiştir. 3 aylık SDI verilerini incelendiklerinde en yüksek ve en düşük kurak dönemlerin sırasıyla Ocak ve Temmuz ayında gerçekleştiği sonucuna varmışlardır.

Şorman vd. (2018) SPEI indisi ile meteorolojik kuraklığı; bitki örtüsü durum indeksi ile tarımsal kuraklığı Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesi için incelemiştir.

Çalışma 1982 yılı Ocak ayı ile 2015 yılı Aralık ayına kadar olan dönemi kapsamaktadır. Aylık ve mevsimsel olarak indisler arasındaki ilişkiyi bölgesel ve il ölçeğinde araştırmışlardır. Trend analizi ile SPEI ve bitki örtüsü durum indeksi değerlerinde belirgin bir artış eğilimi saptamışlardır.

Wang vd. (2015) çalışmalarında 1961-2012 yılları arasında kuraklık şiddetini SPI ve SPEI yöntemleriyle incelemişlerdir. SPEI hesabında gereken potansiyel evapotranspirasyonu Penman Monteith denklemi kullanarak tahmin etmişlerdir. Ülke çapında değerlendirildiğinde kuraklık şiddetinde artış olduğuna dair bir kanıtın olmadığını, aksine her iki indis ile değerlendirme sonucunda son 52 yıl için aşırı kurak ve kurak bölgelerde daha sulak dönemleri gözlemlemişlerdir.

Li vd. (2020) çalışmalarında SPI ve SPEI indisleri ile Çin için kuraklık analizi yapmışlardır. Potansiyel evapotranspirasyondaki artış nedeniyle SPEI ile kuraklık değerlendirildiğinde 1998-2015 yılları arası dönemde 1980-1997 yılları arası döneme göre kuraklık sıklığında, şiddetinde ve alanında artış olduğu sonucuna varırken, SPI ile değerlendirme yapıldığında önemli bir değişim olmadığı sonucuna varmışlardır. SPEI ile, SPI'ya göre daha düşük kuraklık sıklığı fakat daha geniş kuraklık alanı belirlemişlerdir. Ayrıca SPEI ile daha fazla sayıda şiddetli kuraklık ve daha az sayıda hafif kuraklık olayı tanımlamışlardır. Genel olarak SPEI'in SPI ile belirlenen kuraklık şiddetinden daha şiddetli kuraklık olayı tespit ettiği sonucuna varmışlardır. Potansiyel evapotranspirasyon artışı göz önüne alındığında kuraklık analizinde SPEI'in daha uygun olduğunu önermişlerdir.

Ahmadali pour vd. (2017) çalışmalarında Willamette Nehir Havzası için kuraklığın mekana ve zamana bağlı olarak gelecekteki değişimini incelemişlerdir. 1970-1999 yılları arası geçmiş dönem ve 2010-2099 yılları arası 90 yıllık gelecek dönem projeksiyonu için RCP4.5 ve RCP8.5 gelecek senaryolarından elde edilen 10 modelden oluşan CMIP5 küresel iklim modellerinin ölçeği küçültülmüş iki alt kümesini kullanarak kuraklık analizi yapmışlardır. SPI, SPEI ve SDI ile meteorolojik ve hidrolojik kuraklığı incelemişlerdir. Yıllık yağış artışı tahminine rağmen hidrolojik kuraklığın süresinin ve yoğunluğunun artacağını öngörmüşlerdir. Buna karşılık çoğu durumda meteorolojik kuraklık yoğunluğunun şiddetlenme göstermeyeceğini belirtmişlerdir.

Topçu vd. (2022) Doğu Akdeniz, Seyhan, Ceyhan ve Asi Havzaları için meteorolojik kuraklık analizi yapmışlardır. Bölgede bulunan 35 meteoroloji istasyon verilerinden faydalanarak bütünleşik kuraklık indeksini (ADI, Aggregate Drought Index) hesaplamış, çalışma alanı genelinde şiddetli kuraklık görülmemekle birlikte, aşırı sulama suyu talebi nedeniyle bazı istasyonlarda zaman zaman yerel olarak aşırı kuraklık yaşandığı sonucuna varmışlardır.

Gümüş (2023) çalışmasında 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde SPI ve SPEI indisleri ile Türkiye genelinde kuraklık analizi yaparak, Türkiye'deki farklı iklim ve coğrafi şartlarda kuraklığın belirlenmesinde kullanılan iki yöntemin karşılaştırılmasını amaçlamıştır. Bu kuraklık indeksleri arasındaki korelasyon katsayısının bölgeye ve zaman ölçeğine bağlı olarak 0,81 ile 0,93 arasında değişerek, genel olarak yüksek olduğu; kuraklık indeksi (AI) değerinin düşük olduğu bölgelerde ise özellikle 3 aylık zaman ölçeği için daha düşük olduğu sonucuna varmıştır.

Gümüş ve Şeker (2024) çalışmalarında Türkiye'nin Akdeniz bölgesindeki SSP2-4.5 ve SSP5-8.5 olmak üzere gelecek iklim senaryoları kapsamında kuraklık projeksiyonlarını, SPI ve SPEI kullanarak incelemişlerdir. Yapay sinir ağı tabanlı istatistiksel ölçek küçültme kullanarak gözlemlenen yağış ve sıcaklık değerlerini en iyi tahmin eden Genel Dolaşım Modelleri (GCM) ile oluşturulan model çıktılarını, 1979-2020 dönemiyle karşılaştırarak 2021-2060 ve 2061-2100 kuraklık indekslerindeki değişiklikleri değerlendirmişlerdir. SPEI ile hesaplanan gelecekteki kuraklıkların, SPI ile hesaplanana göre daha şiddetli olduğunu ve kuraklık izlemede potansiyel evapotranspirasyonun önemini vurgulamışlardır. Özellikle çalışma alanının kıyı bölgelerinde potansiyel evapotranspirasyon değerlerinde kayda değer bir artış olduğu ve SSP5-8.5 'e göre yüzyılın sonuna kadar 120 mm/yıl'a çıkacağı, ayrıca sıcaklık artışları nedeniyle kuraklığın şiddet ve sıklığında beklenen artışın dağlık bölgelerde daha belirgin olacağı sonucuna varmışlardır.

Anlı (2014) çalışmasında Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi için Penman-Monteith metoduyla referans bitki su tüketimini ve meteorolojik kuraklık analizini RDI yöntemi ile araştırmıştır. Bitki su tüketimini bir yılı dört döneme ayırarak zamana bağlı olarak incelemiştir. Bitki su tüketiminde artan eğilimlerin olduğu, çalışma alanında fazla sayıda orta ve şiddetli kuraklık yaşansa da genelde hafif kuraklığın hakim olduğu sonucuna varmıştır.

Uncu (2023) çalışmasında Aras ve Çoruh Havzalarında 1969-2020 yılları arası 52 yıllık 12 meteoroloji istasyon verilerini kullanarak 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde SPI ve RDI yöntemleriyle meteorolojik kuraklık analizi yapmıştır. Yenilikçi trend analizi yöntemiyle her istasyon için her kuraklık sınıfı için eğilimi belirlemiştir. SPI ve RDI sonuçlarıyla kurak ve nemli dönem yüzdeleri, kuraklık sınıflarının meydana gelme yüzdeleri, en uzun ve şiddetli kuraklığın başlangıç ve sürelerini belirlemiştir.

Yaman Öz vd. (2024) Türkiye genelinde 1991-2022 yılları arasındaki 219 meteorolojik istasyon verilerini kullanarak SPI, SPEI ve RDI indisleri ile kuraklık analizi yapmışlardır. Türkiye'nin topoğrafik koşullarının, özellikle de Akdeniz havzasındaki konumunun kuraklık olaylarını önemli ölçüde etkilediğini; Türkiye'nin son 20 yılda daha kurak koşullara doğru bir eğilim gösterdiğini, artan sıcaklıkların da bu eğilimi güçlendirdiğini belirtmişlerdir.

Taşkolu (2023) çalışmasında Güneydoğu Anadolu Bölgesi için 18 istasyon verisiyle SPI ve RDI yöntemleriyle kuraklık analizi yapmıştır. Kuraklık şiddeti ve kuraklık sınıflarını belirleyerek, en kurak ve en nemli ayları belirlemiştir. Yenilikçi Şen yöntemi ile %95 güven aralığında yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama sıcaklık verilerinin trendini araştırmıştır. Bütün istasyonların sıcaklık verilerinde artan trend, yağış verilerinde ise istasyonların 4'ünde artan, 13'ünde azalan eğilim olduğu ve 1'inde trend olmadığını analiz etmiştir.

Kermen (2019) çalışmasında Küçük Menderes Havzası'nda 11 meteoroloji gözlem istasyonu aylık toplam yağış, aylık ortalama sıcaklık verileri ile meteorolojik; 8 akım gözlem istasyonu aylık toplam akım verileri ile hidrolojik kuraklık analizi yapmıştır. Meteorolojik kuraklık analizinde SPI, SPEI, RDI; hidrolojik kuraklık analizinde ise SDI, sc-PHDI ve standartlaştırılmış akım indisi yöntemlerini kullanmıştır. Hidrolojik kuraklığın meteorolojik kuraklığa göre daha şiddetli ve daha uzun süreli olduğu sonucuna

varmıştır.

2.2. Trend Analizi

Beden vd. (2020) 1960-2015 yılları arası Samsun bölge istasyonuna ait aylık toplam yağış değerlerini kullanarak SPI ve PNI değerlerini elde etmiş ve Mann-Kendall yöntemi ile trend analizi yapmışlardır. SPI ve PNI yöntemlerinde kuraklığı 1, 3 ve 12 aylık periyotlarda incelemişlerdir. Her iki yöntemle de normal ve normale yakın kuraklık değerlerini elde etmişlerdir.

Dikici (2019) çalışmasında Asi Havzasının kuraklık eğilimini Mann-Kendall yöntemiyle 1970-2016 yılları arası yağış, sıcaklık, buharlaşma, akış ve yeraltı suyu verileri ile incelemiştir. Asi Havzasında yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama sıcaklıkta artış eğilimi olduğunu analiz etmiştir.

Taylan ve Aydın (2018) çalışmalarında Göller Bölgesi için aylık yağış verilerini incelemişlerdir. İlk olarak verilere homojenlik testi uygulamış, daha sonra bölgedeki 9 meteoroloji istasyonu için trend analizi yapmışlardır. 3, 6, 9 ve 12 aylık SPI verilerini kullanarak kuraklık serilerinin trend analizlerini de Mann Kendall testi, Şen testi ve lineer regresyon yöntemiyle incelemiş, istasyonların çoğunda azalan bir eğilim gözlemlemişlerdir.

Kıymaz vd. (2011) Seyfe Gölü için kuraklığı 1975-1991 ve 1992-2008 olmak üzere iki dönemde incelemişlerdir. Kuraklık analizinde SPI yöntemini kullanmış, 3, 6, 12 ve 24 aylık SPI değerlerini incelemişlerdir. Belirledikleri iki ayrı dönemi kıyaslamış, 1992-2008 arası olan ikinci dönemin kuraklık değerinin ilk döneme göre arttığı; nem şiddetinin ise diğer döneme göre azaldığını gözlemlemişlerdir.

Ercan ve Yüce (2018) 1975-2016 yılları arası Kilis merkezinde bulunan istasyonun aylık maksimum, aylık ortalama sıcaklık verileri ve aylık toplam yağış verilerini Mann-Kendall trend analizini kullanarak incelemişlerdir. Nisan, Mayıs, Temmuz ve Ağustos aylarında ortalama aylık sıcaklıklarda artan eğilim olduğu sonucuna varmışlardır.

Güner Bacanlı ve Kargı (2019) Bursa için 1969-2015 yılları arası 5 istasyona ait verileri kullanarak SPI yöntemi ile 1, 3, 6, 9, 12, 24 ve 48 aylık periyotlar için kuraklık analizi yapmışlardır. Aylık ve yıllık yağış verilerinde belirgin trend saptanmazken; 3 ve 6 aylık periyotlarda normal ve hafif kuraklık; 12, 24 ve 48 aylık periyotlarda ise şiddetli ve çok şiddetli kuraklık gözlemlemişlerdir.

Partal ve Yavuz (2020) Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesindeki 12 istasyona ait 1960-2015 yılları arası aylık ortalama sıcaklık ve yıllık toplam yağışların ortalaması verilerini kullanarak SPI ve De Martonne - Gottmann indislerini hesaplamışlardır. Mann-Kendall metoduyla trend analizi yapmışlar, özellikle Mart, Eylül ve Ekim aylarında yağış verilerinde önemli artış trendleri gözlemlemişlerdir.

Türkeş vd. (2009) İç Anadolu Bölgesi Konya bölümü için PDSI kullanarak kuraklık analizi yapmışlardır. PDSI hesaplamasında aylık ortalama sıcaklık ve toplam yağış değerlerinden Thornthwaite yöntemi ile elde ettikleri buharlaşma-terleme, yağış ve

toprak su tutma kapasitesi verilerini kullanmışlardır. Orta kurak periyotlarda yağışta %30-%80 arasında değişen azalmanın gerçekleştiği ve daha kurak kategoriye doğru eğilim olduğu, kış ve sonbahar mevsimlerinde yağışta belirgin azalmalar olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca 1972-1974 ve 1999-2001 yılları arasında yaşanan kuraklık olaylarının oldukça şiddetli olduğunu analiz etmişlerdir.

Gümüş (2017) 1954-2005 yılları arası aylık akım verilerini kullanarak SDI yöntemi ile Asi Havzası'nın hidrolojik kuraklık analizini yapmıştır. 3, 6 ve 12 aylık değerlerini hesaplamış, istasyonların ortalama SDI değerlerine göre 1954-1979 ve 1980-2005 yılları arasındaki dönemleri kıyaslamıştır. İkinci dönemde yaşanan kurak yıl sayısının ilk dönem ile kıyaslandığında çok fazla olduğu, ayrıca 2000 ve 2001 yıllarının havza genelinde aşırı kurak geçtiği sonucuna varmışlardır.

Gümüş vd. (2018a) ileri beslemeli geri yayınlı yapay sinir ağı yöntemi ile geçmiş yağış ve kuraklık indis değerlerini kullanarak 1, 3, 6 ve 12 aylık SPI değerlerini tahmin etmişlerdir. Eğitim verisi olarak 1973-1990 yılları arasındaki veriler kullanılırken; test verisinde 1991-2014 yılları arasındaki veriler kullanılmış, SPI indisi tahmininde her bir zaman ölçeği için 16 model oluşturmuş; sonucunda 6 ve 12 aylık SPI tahmininde Şanlıurfa istasyonu için yapay sinir ağıları kullanılarak tahmin yapılmasının kullanılabilir olduğu sonucuna varmışlardır. 1 aylık SPI tahmininde ve yağışın girdi olarak kullanıldığı 3, 6, 12 aylık SPI tahmininde modellerin yetersiz olduğu; buna karşı geçmiş zamanlı kuraklık indislerinin girdi olarak kullanıldığı modellerin daha başarılı sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir.

Gümüş vd. (2016) 1937- 2014 yılları arası Şanlıurfa istasyonu yağış verileri ile SPI yöntemini kullanarak kuraklık analizi yapmışlardır. 1, 3, 6 ve 12 aylık SPI değerlerini 1937-1985 ve 1986-2014 yılları olmak üzere iki dönem için incelemişlerdir. İkinci dönemdeki aşırı kurak ay sayısının ilk dönemde yaşanan aşırı kurak ay sayısına göre daha fazla olduğunu, son 30 yılda kuraklık yaşanma frekansının arttığını ve 1972-1973 yılları arasında en kurak dönemin yaşandığını analiz etmişlerdir.

Falzo vd. (2019) İtalya'nın 2 farklı iklimsel özelliğe sahip bölgesi için hidrolojik kuraklık analizini yapmışlardır. Her bölge için alana homojen dağılmış toplam 13 meteoroloji istasyon verilerini 1981-2017 yılları arası dönemdeki SPI ve SPEI hesaplamaları için kullanmışlardır. Her iki bölge için de istasyonlar için SPI indisinde artış trendi, SPEI değerlerinde azalış trendi gözlemlemişlerdir.

Dahamsheh (2003) Ürdün için 16 meteorolojik istasyonun verilerini kullanarak SPI metoduyla kuraklık analizi yapmıştır. 3, 6, 12 ve 24 aylık dönemler için yağış trendini Mann-Kendall trend analizi ile incelemiştir. Yağış verileri için çalışma alanındaki iki istasyon dışında belirgin trend olmadığı sonucuna varmıştır. Kuraklık analizi için yeni bir yaklaşım geliştirmiş ve yağış-ay metodu ile meteoroloji istasyonlarının bazılarında artış bazılarında azalma olduğunu analiz etmiştir.

Khorrami ve Gündüz (2019) çalışmalarında İran'ın kuzeybatısında bulunan Marand Ovası için iklimsel ve yeraltı suyu verileri için trend analizini ve bu iki veri arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Aylık ve yıllık dönemlerde yeraltı suyu seviyesinde azalış eğilimi olduğu sonucuna varmışlardır. SPI ile kuraklık analizi yaparak Mayıs ve Ekim ayları arasındaki periyodun kurak olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca aylık

kuraklığın genellikle yeraltı suyu değişimiyle bağlantılı olduğu; fakat yeraltı suyundaki yıllık değişimin kuraklıkla doğrudan ilişkili olmadığı sonucuna varmışlardır.

Keskiner ve Şimşek (2024) Türkiye'nin Akdeniz Bölgesi için 28 meteoroloji istasyon verilerini kullanarak farklı uzunluktaki veri setlerinin meteorolojik kuraklığa etkisini incelemişlerdir. 1978-1998 yılları arası 21 yıllık, 1978-2008 yılları arası 31 yıllık ve 1978-2018 yılları arası 41 yıllık periyotlar için Mann-Kendall ve Şen eğilimi yöntemleriyle trend analizi yapmışlardır. Çalışma alanında hafif nemli ve hafif kurak sınıfların baskın olduğu, orta Akdeniz Havzasının en yüksek kuraklık riski taşıdığı sonucuna varmışlardır.

Taylan vd. (2023) Manavgat Nehri, Köprüçay ve Dim Çayı havzalarında 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde meteorolojik kuraklığı SPI ve RDI ile, hidrolojik kuraklığı SDI ile incelemişlerdir. Ayrıca Mann-Kendall yöntemi ile yağış, sıcaklık ve akım verilerinin trendini araştırmışlardır. 12 aylık zaman ölçeğinde kuraklık indislerine uyguladıkları trend analizlerini inceleyerek, SPI metodunda tüm istasyonlarda artan trend, RDI yönteminde ise Alanya ve Manavgat istasyonlarında azalan trend ve SDI değerlerinde ise tüm istasyonlarda azalan trend olduğu sonucuna varmışlardır.

Kesgin vd. (2024) çalışmalarında 1972-2020 yılları arası Türkiye'nin Akdeniz kıyı bölgesindeki 11 meteorolojik gözlem istasyonu için 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde SPI, RDI ve SPEI kuraklık indeksleri belirlemişlerdir. YTA yöntemi ile tüm zaman ölçeklerinde artan eğilim saptamışlardır. Özellikle aşırı kurak ve aşırı nemli kuraklık sınıflandırmalarında aylık zaman ölçeklerinin 3 aydan 12 aya doğru belirgin olarak trendlerin arttığını veya azaldığını gözlemlemişlerdir.

Yılmaz (2023) Kırklareli ili için 1960-2021 yılları arası meteoroloji istasyon verilerini kullanarak 1, 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde SPI ve RDI değerlerini hesaplamış, Mann-Kendall ve modifiye Mann-Kendall testleri ile eğilimi, Şen'in eğimi yöntemiyle eğilimlerin büyüklüklerini ve Pettitt testi ile serilerin değişim noktasını belirlemiştir. SPI ile RDI arasında yüksek korelasyon olduğu, iki indisin de en şiddetli ve en uzun kurak dönemleri aynı tespit ettiğini, ayrıca aşırı ve şiddetli kuraklık olaylarında RDI'nın daha hassas sonuç verdiğini analiz etmiştir.

2.3. Kümeleme Analizi

Dikbaş vd. (2012) yağış serilerini sınıflandırmak ve hidrolojik olarak homojen grupları belirlemek için FCM yöntemini kullanmışlardır. Türkiye genelinde 188 istasyonun 1967-1998 yılları arası yıllık yağış verilerini kullanarak FCM yönteminin k-ortalamalar yönteminden daha iyi performans gösterdiği ve FCM yönteminin yağış serilerinin sınıflandırılmasında başarıyla uygulanabileceği sonucuna varmışlardır.

Zeybekoğlu ve Ülke Keskin (2020) çalışmalarında Türkiye'de bulunan 95 istasyonun yıllık maksimum yağış yoğunlukları, boylam, enlem ve yükseklik verilerini normalize ederek FCM yöntemi ile kümeleme analizi yapmışlardır. Farklı coğrafi bölgelerde bulunan istasyonların aynı kümede bulunabileceği, yani farklı iklim bölgelerinde benzer şiddette yağış olaylarının meydana gelebileceği sonucuna varmışlardır.

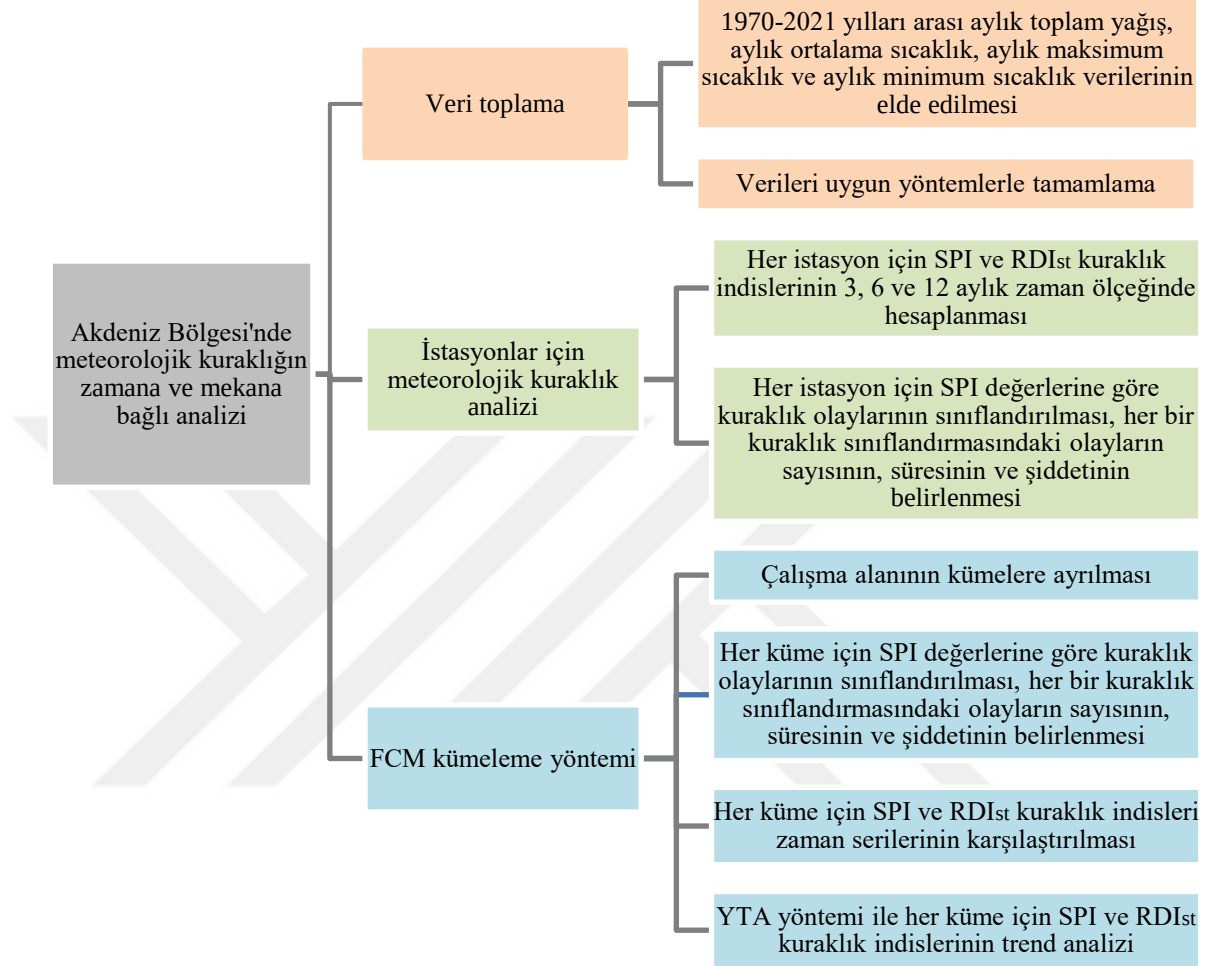
Karahan (2019) Ege Bölgesi'nde bulunan 32 meteoroloji istasyon verilerini kullanarak bulanık c-ortalamlar yöntemi ile çalışma alanını 6 homojen bölgeye ayırmıştır. Alt bölgeler göz önüne alındığında analiz sonuçlarının güvenilir olduğu, coğrafi konumundan kaynaklandığını düşündüğü Marmaris istasyonu yağış özelliklerinin diğer istasyonlardan farklı olduğu sonucuna varmıştır.

Goyal ve Sharma (2016) Hindistan'da bulunan 81 istasyonun 1901-2002 yılları arası aylık yağış verilerini kullanarak bulanık c-ortalamlar yöntemi ile homojen kümeler ayırmışlardır. Meteorolojik kuraklığı 1, 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde incelemiş, sırasıyla optimum küme sayısını 4, 5, 3 ve 4 olarak belirlemişlerdir.

Fırat vd. (2012) Türkiye'de 188 meteoroloji istasyon için yıllık yağış, enlem, boylam ve yükselti verileri ile k-ortalamlar yöntemini kullanarak homojen bölgeleri belirlemişlerdir. Çalışma alanını 7 homojen bölgeye ayırmış, kullanılan yöntemin yıllık toplam yağışların sınıflandırılmasında kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

3. MATERYAL VE METOT

Tez kapsamında yapılan çalışmalar Şekil 3.1’de başlıklar halinde sunulmuştur.



Şekil 3.1. Çalışmanın akış şeması

Ayrıca çalışmanın detayları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Akdeniz Bölgesi’nin meteorolojik durum analizi
 - Akdeniz Bölgesi için meteoroloji gözlem istasyonlarından elde edilen hava sıcaklığı ve yağış meteorolojik verileri ile her istasyondaki meteorolojik kuraklık SPI ve standart keşif kuraklık indeksi (RDI_{st}) ile 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeğinde hesaplanmıştır.
 - Tüm kuraklık olayları, SPI değerlerine göre, McKee vd. (1993) tarafından tanımlanan eşik değerlerine göre OK, SK ve AK kategorilerine göre sınıflandırılmıştır.
 - Her bir kuraklık sınıflandırmasındaki olayların sayısı, süresi ve şiddeti belirlenmiştir. Böylece istasyonlar esas alınarak kuraklık analizi yapılmış, CBS yöntemleriyle de mekana bağlı analiz değerlendirilmiştir.

- Bulanık c-ortalamalar yöntemi ile kümeleme analizi
 - Aylık yağış verilerine FCM uygulanarak çalışma alanındaki 35 istasyon kümelerine ayrılmıştır.
 - FCM metodu ile oluşturulan kümelerde bulunan istasyonların ortak özellikleri analiz edilmiştir.
 - Her kümedeki SPI değerlerine kümelerde bulunan istasyonların kuraklık indislerin ortalaması alınarak ulaşılmıştır.
 - Her küme için tüm kuraklık olayları OK, SK ve AK kategorilerine göre sınıflandırılmış; kuraklık olaylarının sayısı, süresi ve şiddeti belirlenmiştir.
 - Her küme için SPI ve RDI_{st} zaman serileri sunulmuştur.
- Yenilikçi trend analizi metodu
 - Meteorolojik kuraklığın her kümedeki eğilimleri SPI ve RDI_{st} için YTA ile değerlendirilmiştir. Kuraklık indislerin trend analiz sonuçlarıyla iklim değişikliğinin etkisi görülebilecektir. Böylelikle, çalışma alanı için meteorolojik kuraklığın trend analizi ile zamana bağlı, CBS yöntemleriyle de mekana bağlı analizi değerlendirilmiştir.

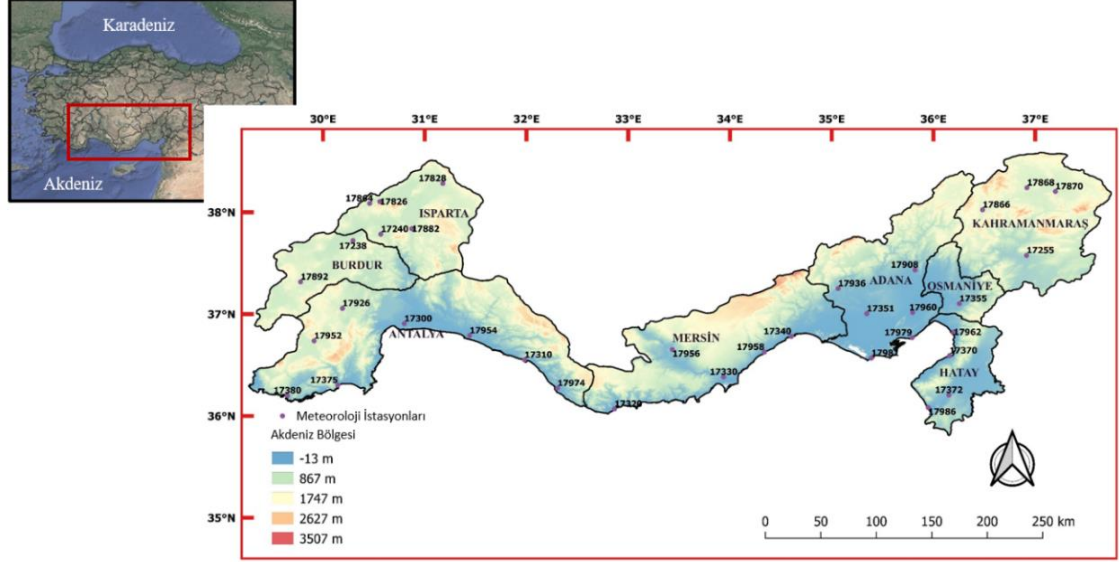
3.1. Çalışma Alanı

Akdeniz Bölgesi; Adana, Antalya, Burdur, Hatay, Isparta, Kahramanmaraş, Mersin ve Osmaniye illerini kapsayan, Türkiye'nin güneyinde yer alan yedi ana coğrafi bölgeden biridir. Akdeniz Bölgesi CBS kullanılarak QGIS programı ile haritalandırılmıştır (QGIS.org, 2020). NASA (Amerika Birleşik Devletleri ulusal havacılık ve uzay dairesi, National Aeronautics and Space Administration) tarafından yaklaşık $\pm 60^\circ$ enlemleri arasındaki tüm kara parçalarının sayısal yükseklik modelini elde etmeyi amaçlayan proje SRTM (Uzay Mekiği Radarı Topografya Görevi, Shuttle Radar Topography Mission) sayesinde, Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS, United States Geological Survey) aracılığıyla 30 metre (1 yay-saniye, arc-second) çözünürlükteki verilere dayalı sayısal yükseklik modeli (DEM, Digital Elevation Models) verileri elde edilmektedir (Bildirici vd. 2007). Bu veriler yardımıyla Akdeniz Bölgesi topoğrafya haritası oluşturulmuştur.

Meteoroloji 4. Bölge Müdürlüğü'nden 1970 ile 2021 yılları arası Akdeniz bölgesine ait aylık toplam yağış, aylık ortalama sıcaklık, aylık ortalama maksimum sıcaklık, aylık ortalama minimum sıcaklık verileri temin edilmiştir. Yağış ve sıcaklık istasyonları hem otomatik meteoroloji gözlem istasyonlarından (OMGİ) hem de manuel ölçümlerin yapıldığı istasyonlardan oluşmaktadır. Bu nedenle istasyon verileri oluşturulurken OMGİ ve manuel ölçüm yapılan istasyonların verileri eş zamanlı olarak karşılaştırılmalıdır (Yılmaz ve Darendel 2021). Çalışmada bu karşılaştırma yapılarak iki veri setinin birleştirilmesi uygun görülmüş, böylelikle istasyonlar için eksik veriler belirlenmiştir. Kuraklık analizi için gereken minimum 30 yıllık veri ihtiyacı doğrultusunda 35 istasyonunun kullanıma uygun olduğu analiz edilmiştir.

Akdeniz Bölgesi için QGIS programı ve SRTM verileri ile oluşturulan topoğrafya haritası üzerinde tez çalışması için kullanılacak olan meteorolojik gözlem istasyonları

konumlandırılarak Şekil 3.2 sunulmuştur. Şekil 3.2’de Akdeniz bölgesi meteoroloji gözlem istasyonlarının dağılımı ve istasyon numaraları sunulmuştur. Bu harita sayesinde hem istasyonlar arasındaki uzaklık hem istasyonların bulunduğu rakım göz önünde bulundurularak, her istasyon için eksik veri tahminlerinde kullanılacak olan en uygun istasyon belirlenmiştir.



Şekil 3.2. Meteoroloji gözlem istasyonlarının Akdeniz Bölgesi çalışma alanındaki dağılımları

3.2. Meteoroloji Gözlem İstasyon Verileri

1970 Ocak ile 2021 Ocak tarihleri arasındaki döneme ait aylık toplam yağış (mm), aylık ortalama maksimum sıcaklık (°C), aylık ortalama minimum sıcaklık (°C), aylık ortalama sıcaklık (°C) veri setlerinde bulunan veri eksiklikleri analiz edilerek eksik veri sayıları ve bu verilerin hangi aylarda olduğu tespit edilmiştir. EK-1’de aylık toplam yağış verilerinin, EK-2’de aylık ortalama sıcaklık verilerinin, EK-3’te aylık ortalama maksimum sıcaklık verilerinin, EK-4’te ise aylık ortalama minimum sıcaklık verilerinin eksik olan dönemleri her istasyon için sunulmuştur. Eksik verilerin tamamlanabilmesi için istasyonların enlem, boylam ve rakım değerleri önem arz etmektedir. Bu nedenle istasyonlara ait bu bilgiler ve ortalama yıllık toplam yağış (mm) değerleri tablo halinde Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Basit doğrusal regresyon modeli bağımsız ve bağımlı değişken arasında lineer ilişki varlığında kullanılmaktadır. Bağımlı değişken basit doğrusal regresyon ile bağımsız değişken yardımıyla açıklanabilmektedir (Erkuş 2001; Montgomery vd. 2021). Çalışma alanındaki tüm istasyonlar için verilerde bulunan eksik aylardaki değerlerin elde edilebilmesi için Şekil 3.2’de verilen topoğrafya haritasından ve Çizelge 3.1’de sunulan enlem, boylam, rakım verilerinden yararlanılarak aylık değerler arasında en yüksek korelasyon katsayısı elde edilen istasyon belirlenmiştir. Eksik değerleri olan istasyon ile en yüksek korelasyon katsayısını veren istasyonun verileri arasında regresyon bağıntısı elde edilmiş, basit doğrusal regresyon metodu ile eksik aylık veri tamamlanmıştır. İstasyonlar için verilerde bulunan eksik aylardaki değerler regresyon yöntemi ile uygun

bulunan istasyon verilerinden elde edilmiştir. İstasyonların aylık toplam yağış değerlerindeki eksikliklerin tamamlanmasıyla her istasyon için elde edilen maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri EK-5’te verilmiştir.

Çizelge 3.1. Meteoroloji gözlem istasyonu bilgileri

İstasyon Numarası	İstasyon Adı	İl	Enlem	Boylam	Rakım	Ortalama Yıllık Yağış (mm)
17238	Burdur	Burdur	37.722	30.294	957	417.00
17240	Isparta	Isparta	37.785	30.568	997	512.83
17255	Kahramanmaraş	Kahramanmaraş	37.576	36.915	572	720.21
17300	Antalya Havalimanı	Antalya	36.906	30.799	64	1040.96
17310	Alanya	Antalya	36.551	31.980	6	1106.86
17320	Anamur	Mersin	36.069	32.865	2	923.67
17330	Silifke	Mersin	36.382	33.937	10	571.73
17340	Mersin	Mersin	36.781	34.603	7	602.28
17351	Adana Bölge	Adana	37.004	35.344	23	665.79
17355	Osmaniye	Osmaniye	37.102	36.254	94	830.73
17370	İskenderun	Hatay	36.592	36.158	4	744.44
17372	Antakya	Hatay	36.205	36.151	104	1111.79
17375	Finike	Antalya	36.302	30.146	2	936.07
17380	Kaş	Antalya	36.200	29.650	153	794.08
17826	Senirkent	Isparta	38.105	30.558	959	666.56
17828	Yalvaç	Isparta	38.283	31.178	1096	515.99
17864	Uluborlu	Isparta	38.086	30.458	1025	603.00
17866	Göksun	Kahramanmaraş	38.024	36.482	1344	582.20
17868	Afşin	Kahramanmaraş	38.241	36.919	1230	417.94
17870	Elbistan	Kahramanmaraş	38.204	37.198	1137	387.99
17882	Eğirdir	Isparta	37.838	30.872	920	807.64
17892	Tefenni	Burdur	37.316	29.779	1142	465.16
17908	Kozan	Adana	37.434	35.819	112	827.86
17926	Korkuteli	Antalya	37.057	30.191	1017	382.12
17936	Karaisalı	Adana	37.251	35.063	240	886.14
17952	Elmalı	Antalya	36.737	29.912	1095	478.88
17954	Manavgat	Antalya	36.790	31.441	38	1113.69
17956	Mut	Mersin	36.651	33.434	340	387.19
17958	Erdemli	Mersin	36.627	34.338	7	571.91
17960	Ceyhan	Adana	37.015	35.796	30	715.15
17962	Dörtyol	Hatay	36.824	36.198	29	945.18
17974	Gazipaşa	Antalya	36.272	32.305	21	846.24
17979	Yumurtalık	Adana	36.769	35.790	34	799.62
17981	Karataş	Adana	36.568	35.389	22	777.36
17986	Samandağ	Hatay	36.081	35.949	4	915.86

3.3. Standart Yağış İndeksi

McKee vd. (1993) WMO tarafından meteorolojik kuraklığın izlenebilmesi için önerilen SPI metodunu geliştirmişlerdir. SPI ile yağış verileri kullanılarak farklı zaman ölçeklerinde kuraklığın yağış eksikliğinin hesaplanarak tanımlanabilmesini ve izlenebilmesini sağlamışlardır. Kısa veya uzun dönem kuraklık analizinde kullanılan SPI yönteminde sadece yağış verileri kullanılmaktadır. Kuraklık indisinin yalnızca yağış verileri kullanılarak hesaplanmasıyla basitliği ve farklı zaman ölçeklerinde değerlendirilebilmesi nedeniyle literatürde bulunan önceki çalışmalarda yaygın olarak kullanılmıştır (Wang vd. 2015). SPI değerleri belirlenen zaman dilimi içindeki toplam yağış (X_i) ile yağışların ortalamasından ($\bar{X}$) olan farkının standart sapmaya (σ_X) bölünmesiyle Denklem (3.1) ile elde edilir (McKee vd. 1993).

$$SPI = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma_X} \quad (3.1)$$

SPI hesaplamasında öncelikle belirli zaman ölçeğinde uzun dönem yağış verileri için uygun olasılık yoğunluk fonksiyonu belirlenir. Gamma dağılımı yağış zaman serisine iyi uyduğu için kümülatif olasılık dağılımında yaygın olarak kullanılmaktadır (Thom 1958; Şen 2015; Tigkas vd. 2015). Gamma dağılımı Denklem (3.2)'de verilen dağılım frekansı $g(x)$ veya olasılık yoğunluk fonksiyonu ile tanımlanır (Panigrahi ve Vidyarthi 2024).

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}, \quad x > 0 \quad (3.2)$$

Burada α şekil parametresini, β ölçek parametresini, x yağış miktarını ve $\Gamma(\alpha)$ Gamma fonksiyonunu ifade etmektedir. Gamma fonksiyonu Denklem (3.3) ile ifade edilir. Ayrıca şekil ve ölçek parametreleri sırasıyla Denklem (3.4) ve Denklem (3.5) ile hesaplanır.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (3.3)$$

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (3.4)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (3.5)$$

A Denklem (3.6) ile hesaplanmaktadır.

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (3.6)$$

Burada n toplam yağış gözlem sayısı, $\bar{x}$ ise yağış ortalama değeridir.

Elde edilen parametreler Denklem (3.7) ile verilen ay ve zaman ölçeğinde gözlenen bir yağış olayının kümülatif dağılım fonksiyonunu bulmak için kullanılır.

$$G(x) = \int_0^x g(x)dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad (3.7)$$

Gama fonksiyonu yağışın olmadığı durum ($x=0$) için tanımsız olduğundan ve bir yağış dağılımı sıfır değerlerini içerebileceğinden, kümülatif olasılık Denklem (3.8)'ye dönüşür.

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (3.8)$$

Burada, q yağışların bulunmama olasılığıdır. Kümülatif olasılık değeri H(x), ortalama değeri sıfır (0) ve varyans değeri bir (1) olan standart normal değişkene (Z) dönüştürülür.

SPI istenilen zaman periyodu (1, 2, 3, 6, 9, 12, 24 ay gibi) boyunca yağışın toplanarak, bu değerlerin aşılma olasılıklarının standart normal dağılıma dönüştürülmesiyle elde edilir (Stagge vd. 2014). Gamma olasılık dağılımındaki yüzdelik değer daha sonra standart normal dağılımdaki karşılık gelen değere dönüştürülür (Edwards ve McKee 1997). Sonuç olarak, kümülatif olasılık veya yağışın herhangi bir yağış miktarından az veya ona eşit olma olasılığı, her iki dağılım için de aynı olacaktır. Dağılım modelinden herhangi bir yüzdelik değer, Gauss dağılım fonksiyonundaki yüzdelik değerle aynı kabul edilir ve buna karşılık gelen Z skoru, SPI değeri olarak belirlenir. SPI değerini elde etmek için ortalaması 0, standart sapması 1 olan standart normal dağılıma dönüştürülür. Kurak ve nemli dönemler SPI değerlerinin sırasıyla negatif ve pozitif değerleri olarak tanımlanır. Elde edilen değerler kuraklık olaylarının sıklığı, süresi ve şiddetini belirlemek için kullanılabilir.

Akdeniz Bölgesinde bulunan 35 istasyonun aylık toplam yağış verileri kullanılarak SPI 3, 6 ve 12 aylık zaman dilimleri (SPI-3, SPI-6, SPI-12) için hesaplanmıştır. Her istasyon için 1970 Aralık ile 2020 Eylül tarihleri arasında SPI-3 değerleri, 1971 Mart ile 2020 Eylül tarihleri arasında SPI-6 değerleri ve 1971 Eylül ile 2020 Eylül tarihleri arasında SPI-12 değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca her istasyon için 1971-2020 yılları arasında meydana gelen kuraklık süreleri (KS) ve şiddetleri (S) belirlenmiştir.

SPI ile kuraklık sınıflandırması Çizelge 3.2'de verilmiştir (McKee vd. 1993; Lloyd-Hughes ve Saunders 2002; Danandeh Mehr vd. 2019). Bu sınıflandırma göz

önünde bulundurularak belirli bir aya ait SPI değerleri ile çalışma alanı için kuraklık haritası oluşturulabilmektedir.

Çizelge 3.2. SPI ile kuraklık sınıflandırması

Sınıflandırma	SPI indis değerleri
Aşırı nemli	$2.0 \leq SPI$
Çok nemli	$1.99 \geq SPI \geq 1.5$
Orta şiddetli nemli	$1.49 \geq SPI \geq 1.0$
Normale yakın	$-1.0 < SPI < 1.0$
Orta derecede kuraklık (OK)	$-1.49 \leq SPI \leq -1.0$
Şiddetli kuraklık (SK)	$-1.99 \leq SPI \leq -1.5$
Aşırı kuraklık (AK)	$SPI \leq -2.0$

3.4. Keşif Kuraklık İndeksi

Tsakiris ve Vangelis (2005) tarafından önerilen RDI hesabında kullanılan başlangıç değeri (a) toplam yağışın toplam potansiyel evapotranspirasyona oranıdır. Başlangıç değeri, bir yıl içinde belirli bir ay (k) için Denklem (3.9) ile hesaplanır.

$$a_k = \frac{\sum_{j=1}^{j=k} P_j}{\sum_{j=1}^{j=k} PET_j} \quad (3.9)$$

Burada P_j ve PET_j sırasıyla yılın j ayındaki yağış ve potansiyel buharlaşma miktarlarını ifade etmektedir. Su yılı Ekim ayı ile başladığından k değerinin 1 olduğu ay Ekim ayıdır.

RDI, normalleştirilmiş RDI (RDI_n) ve standartlaştırılmış RDI (RDI_{st}) olmak üzere iki şekilde ifade edilir (Yılmaz 2023). RDI_n Denklem (3.10) ile hesaplanmaktadır.

$$RDI_n = \frac{a_k}{\overline{a_k}} - 1 \quad (3.10)$$

Burada $\overline{a_k}$, a_k değerlerinin ortalamasıdır.

a_k değerlerine lognormal dağılım uygulandığı varsayıldığında, RDI_{st} hesaplanması için Denklem (3.11) kullanılır (Tsakiris ve Vangelis 2005).

$$RDI_{st} = \frac{y_k - \overline{y_k}}{\sigma_{y_k}} \quad (3.11)$$

Burada y_k , $\ln(a_k)$, $\overline{y_k}$ aritmetik ortalama ve σ_{y_k} standart sapmadır.

Tsakiris vd. (2007) farklı konum ve zaman ölçeklerinde yapılan birçok çalışmada a_k değerlerinin lognormal ve gamma dağılımlarının ikisine de uygun olduğunu, çoğu durumda gama dağılımının daha başarılı olduğunu belirtmiştir. Ancak Yılmaz (2023) çalışmasında literatürde yapılan çalışmalarda (Tsakiris ve Vangelis 2005; Tabrizi vd. 2010; Asadi Zarch vd. 2011; Vangelis vd. 2013) çoğu durumda gamma dağılımının daha başarılı bulunduğunu belirtmiştir. Bu nedenle SPI hesabında olduğu gibi a_k değerlerinin gamma dağılımına uydurulmasıyla RDI_{st} hesaplanmıştır. Değerler Gama dağılımına uygunsa SPI hesaplanmasında anlatılan prosedür uygulanır, Denklem (3.11) kullanılamaz. RDI_{st} formülasyonu başlangıç değerinin doğal logaritmasından oluştuğu için toplam yağış sıfır ise RDI_{st} hesaplanamaz. Bu durum için farklı prosedürler önerilmiştir (Tigkas vd. 2017). Gamma dağılımı ile aylık yağışın sıfır olabileceği durumda oluşacak sorun da çözülmüş olmaktadır. Ayrıca seçilen PET hesaplama yönteminin indis hesaplanırken önemli bir etkiye sahip olmadığı Vangelis vd. (2013) tarafından araştırılmıştır. Bu çalışmada PET hesabı için Hargreaves yöntemi kullanılmıştır. Denklem (3.12) ile PET (mm/gün) Hargreaves (1985) yöntemi ile elde edilmiştir (Vangelis vd. 2013).

$$PET = 0.0023 \times R_a \times (T_{ort} + 17.8) \times TR^{0.50} \quad (3.12)$$

Burada, TR ($^{\circ}C$) ortalama günlük maksimum sıcaklık ile ortalama günlük minimum sıcaklık farkı yani günlük sıcaklık aralığı; R_a enleme bağlı uzay radyasyon miktarı ($MJ/m^2/gün$); T_{ort} günlük ortalama sıcaklık ($^{\circ}C$)'tır.

RDI_{st} , SPI ile aynı yöntemle üretilir, dolayısıyla sınıflandırma için eşik değerleri her iki indis için de aynıdır (Tsakiris vd. 2007). Her istasyon için hesaplanmış olan SPI verileriyle karşılaştırmak için RDI_{st} değerleri hesaplanmıştır.

3.5. Bulanık C-Ortalamalar Kümeleme Yöntemi

Pek çok farklı disiplinde uygulamaları olan ve basit çözümler sunan FCM yaklaşımı, literatürde sık kullanılan yumuşak kümeleme yöntemlerinden biridir (Nayak vd. 2015). FCM kümeleme algoritması ilk olarak Dunn (1973) tarafından önerilmiş ve Bezdek (1981) tarafından geliştirilmiştir. K-ortalamalar kümeleme yöntemi gibi katı kümeleme yöntemlerinde her bir veri yalnızca bir kümeye aitken veya herhangi bir kümeye ait değilken, FCM kümeleme yöntemi gibi yumuşak kümeleme yöntemleri, verilerin kümelere ait olma derecesini belirleyen üyelik fonksiyonlarını hesaplamak ve veri kümesindeki örtüşen kümeleri tespit etmek için kullanılır. FCM yönteminde küme merkezi ile veri noktası arasındaki mesafe ile ters orantılı olarak kümelere kendi üyelik derecesine göre her verinin birden fazla kümede bulunma olasılığı vardır (De Oliveira ve Pedrycz 2007; Goyal ve Sharma 2016). Ayrıca, iyi ayrılmış ve kompakt kümeler elde etmek için küme sayısı için en uygun değerin belirlenmesi önemlidir (Sun vd. 2004; Goyal ve Gupta 2014).

FCM kümeleme algoritması, amaç fonksiyonunun optimizasyonuna dayanmaktadır. M nesne sayısı, c küme sayısı ve Y_k k nesnesinin veri vektörü ($k= 1, 2,$

3, ... , M) olmak üzere amaç fonksiyonu Denklem (3.13)'de verilmiştir.

$$J(U, C) = \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^M u_{ik}^\alpha \|Y_k - c_i\|^2 \quad (3.13)$$

Burada u_{ik} , i kümesindeki k verisinin üyelik derecesi; c_i , i kümesinin merkezi; $\|Y_k - c_i\|$, k verisi ile c_i arasındaki Öklid mesafesi ve α 1'den büyük herhangi bir değere sahip olabilen bulanıklaştırma parametresi olarak adlandırılır (Pal ve Bezdek 1995).

Öncelikle küme sayısı ve küme merkez vektörü rastgele atanır ve üyelik matrisi Denklem (3.14) kullanılarak hesaplanır.

$$u_{ik} = \left[\sum_{j=1}^c \left[\frac{\|y_k - c_j\|}{\|y_k - c_i\|} \right]^{\frac{2}{\alpha-1}} \right]^{-1} \quad (3.14)$$

Burada $i= 1, 2, \dots, c$ ve $k= 1, 2, \dots, M$.

Denklem (3.14)'ten elde edilen üyelik dereceleri ile Denklem (3.13) kullanılarak, yeni küme merkezleri Denklem (3.15) ile hesaplanır.

$$c_i = \frac{\sum_{k=1}^M u_{ik}^\alpha y_k}{\sum_{k=1}^M u_{ik}^\alpha} \quad (3.15)$$

Üyelik matrisi, yeni küme merkezleri kullanılarak güncellendikten sonra, Denklem (3.16)'da verilen durma kriterine (ε) göre iterasyonun durdurulup durdurulamayacağı değerlendirilir (Bezdek vd. 1984). Burada t iterasyon sayısıdır. İterasyon durmazsa, Denklem (3.14)'e dönmek gerekir.

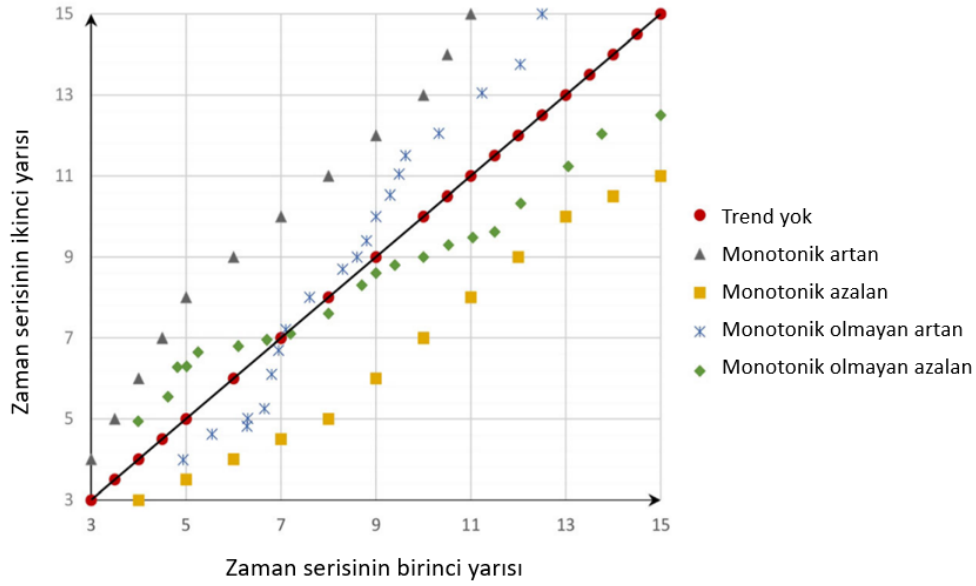
$$\left\| \left[u_{ik}^{(t+1)} \right] - \left[u_{ik}^{(t)} \right] \right\| \leq \varepsilon \quad (3.16)$$

Her istasyon için SPI-3, SPI-6 ve SPI-12 değerleri hesaplandıktan sonra, aylık toplam yağış verileri kullanılarak FCM algoritması ile kümele analizi yapılmış, çalışma alanı üç bölgeye ayrılmıştır. Böylece benzer özellik gösteren istasyonlar belirlenerek, çalışma alanı bölgelere ayrılmıştır.

3.6. Yenilikçi Trend Analizi

SPI zaman serileri trend analizi için Şen (2012, 2014) tarafından önerilen YTA yöntemi kullanılmıştır. Literatürde birçok çalışmada hidrolojik zaman serilerinin trend

analizi için YTA kullanılmıştır (Ay ve Kisi 2015; Kişi vd. 2018; Nourani vd. 2018; Danandeh Mehr ve Vaheddoost 2020; Danandeh Mehr vd. 2021; Gümüş vd. 2022). Bu yöntemde zaman serisi verisi birinci ve ikinci yarı olmak üzere iki eş alt seriye bölünür. Alt seriler artan düzende sıralandıktan sonra, zaman serisinin birinci ve ikinci yarısı bir kartezyen koordinat sisteminin sırasıyla x ve y eksenlerine yerleştirilir. Zaman serisindeki trend, veri noktalarının “trend yok” durumunu ifade eden 45° 1:1 köşegen çizgisi esas alınarak göreceli konumuna göre değerlendirilir. Veri noktaları bu çizginin üzerinde yer alıyorsa zaman serisinde artan bir trend söz konusudur. Aksi durumda, veri noktaları bu doğrunun altında ise zaman serisinde azalan trend söz konusudur. Şekil 3.3’te trend sınıfları sunulmuştur.



Şekil 3.3. Trend tipleri (Dabanlı vd. 2016)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. İstasyonlar için SPI Değerlendirmesi

SPI değerleri göz önüne alınarak -1.0 ile -1.49 arasında orta derecede kurak (OK), -1.5 ile -1.99 arasında şiddetli kurak (SK) ve -2.0 ve daha küçük değerler için aşırı kurak (AK) sınıflandırılması yapılmıştır (Lloyd-Hughes ve Saunders 2002; Danandeh Mehr vd. 2019). Her istasyon için 1970 ile 2021 yılları arası aylık toplam yağış verileri ile SPI-3, SPI-6 ve SPI-12 değerleri göz önüne alınarak OK, SK ve AK kuraklık olaylarının gözlemlendiği yıl, ay, kuraklık süresi (KS) ve şiddeti (S) analiz edilmiştir. 17240 nolu istasyon için SPI-3, SPI-6 ve SPI-12 değerleri göz önüne alınarak 1970-2020 yılları arasında yaşanan OK kuraklık olayları detayları EK-6'da örnek olarak sunulmuştur.

Çalışma alanında bulunan her istasyon için 3, 6 ve 12 aylık SPI değerleriyle gözlemlenmiş olan kuraklık sınıflandırmasına göre ayrılmış kuraklık olaylarının toplam sayısı (#) ve toplam kurak ay sayısı (TKAS) Çizelge 4.1'de verilmiştir. Her sütunun maksimum değeri kalın yazı tipiyle gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Her istasyonda gözlemlenen kuraklık olaylarının sayısı (#) ve toplam kurak ay sayısı (TKAS)

İstasyon Numarası	SPI-3						SPI-6						SPI-12					
	OK		SK		AK		OK		SK		AK		OK		SK		AK	
	#	TKAS	#	TKAS	#	TKAS	#	TKAS	#	TKAS	#	TKAS	#	TKAS	#	TKAS	#	TKAS
17238	47	60	16	17	16	19	36	53	20	28	8	11	33	65	17	25	2	5
17240	39	53	20	22	14	21	40	53	19	30	8	11	31	67	16	30	4	9
17255	41	54	18	22	12	20	35	49	18	24	13	22	18	64	10	19	3	20
17300	44	63	17	20	9	9	46	63	23	32	5	7	20	78	10	37	3	4
17310	47	57	20	25	11	13	33	57	18	23	9	16	24	66	14	24	6	16
17320	51	63	23	28	9	11	40	57	18	21	9	20	18	32	8	9	6	33
17330	49	63	19	27	6	10	34	53	18	28	8	17	19	42	9	21	4	19
17340	49	65	23	26	9	12	35	50	20	23	6	12	25	53	12	27	1	11
17351	45	55	20	27	14	15	40	59	19	25	10	17	32	67	11	38	4	7
17355	37	49	18	23	11	19	31	40	13	16	8	23	24	39	16	29	7	19
17370	51	66	23	27	12	17	40	52	21	28	9	18	29	51	13	26	5	12
17372	36	48	18	20	10	17	31	49	16	20	6	20	25	50	12	27	4	16
17375	44	60	20	24	12	16	34	62	12	22	10	15	24	74	9	24	3	10
17380	45	59	25	29	8	8	36	55	22	30	8	11	27	60	10	37	3	6

Devamı Arkada

Çizelge 4.1'in devamı

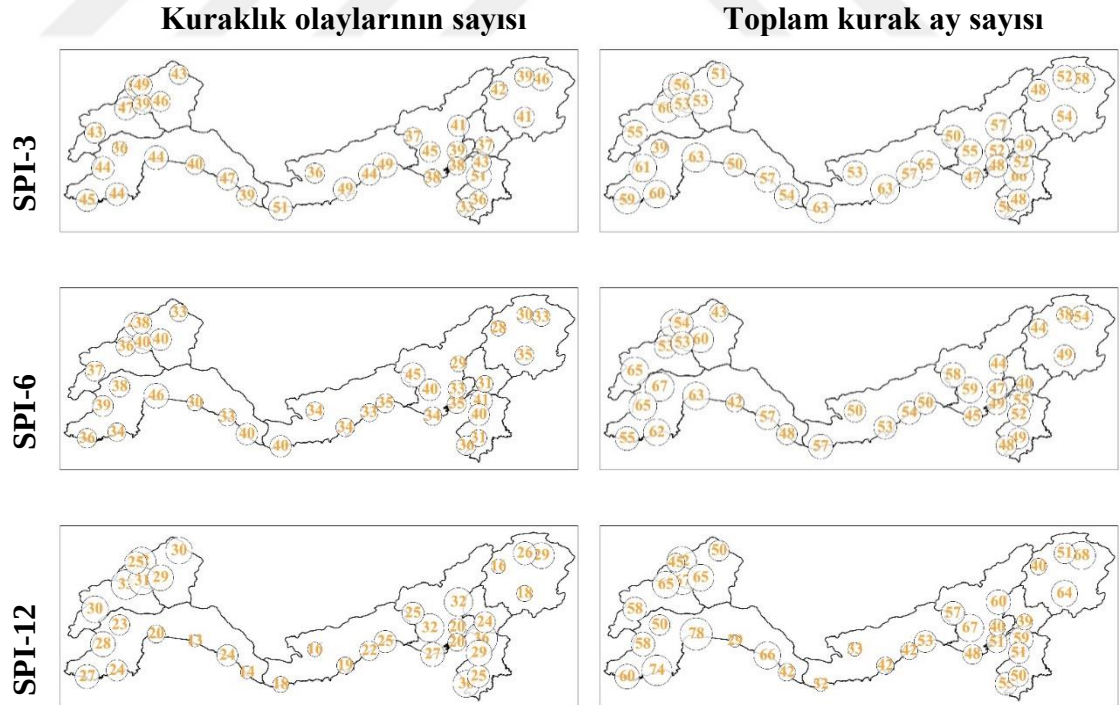
İstasyon Numarası	SPI-3						SPI-6						SPI-12					
	OK		SK		AK		OK		SK		AK		OK		SK		AK	
	#	TKAS	#	TKAS	#	TKAS	#	TKAS	#	TKAS	#	TKAS	#	TKAS	#	TKAS	#	TKAS
17826	49	56	26	27	12	15	38	54	24	30	8	11	32	72	16	38	4	4
17828	43	51	22	24	16	20	33	43	17	23	13	23	30	50	17	40	7	14
17864	50	57	26	29	10	12	44	70	22	28	7	11	25	45	22	42	8	14
17866	42	48	21	24	9	18	28	44	12	12	6	26	16	40	3	7	2	29
17868	39	52	20	24	10	15	30	38	15	22	7	16	26	51	12	26	5	19
17870	46	58	14	14	16	19	33	54	17	25	8	13	29	68	13	22	6	17
17882	46	53	28	31	12	15	40	60	24	30	7	11	29	65	13	28	5	9
17892	43	55	23	25	11	16	37	65	18	25	6	10	30	58	13	24	4	14
17908	41	57	20	22	13	22	29	44	18	25	8	18	32	60	17	32	6	10
17926	36	39	25	32	11	14	38	67	14	17	6	13	23	50	14	31	6	14
17936	37	50	21	27	11	13	45	58	22	34	7	10	25	57	13	25	6	16
17952	44	61	20	27	8	9	39	65	21	30	6	10	28	58	14	30	6	11
17954	40	50	29	39	7	10	30	42	20	31	8	18	13	29	12	33	5	22
17956	36	53	19	24	12	18	34	50	14	17	8	22	16	33	8	17	4	25
17958	44	57	23	28	13	17	33	54	23	27	7	18	22	42	10	20	2	22
17960	39	52	16	21	17	24	33	47	16	20	11	24	20	40	12	23	5	26
17962	43	52	25	29	13	20	41	55	20	22	14	27	36	59	22	33	9	17
17974	39	54	28	34	10	15	40	48	23	34	9	20	14	42	13	34	8	19
17979	38	48	20	25	11	20	35	49	14	16	7	21	20	51	12	20	4	20
17981	38	47	26	31	10	14	34	45	19	24	12	25	27	48	13	33	9	22
17986	33	50	23	28	10	16	36	48	16	19	11	22	30	55	17	29	7	14

Çizelge 4.1 incelendiğinde, SPI-3 dikkate alındığında en fazla OK olayı 51 adet ile Anamur (17320) ve İskenderun (17370) istasyonlarında meydana gelmiştir. Maksimum SK ve AK sayısı sırasıyla Manavgat (17954) ve Ceyhan (17960) istasyonunda gözlenmiştir. SPI-6'ya göre Antalya Havaalanı (17300) istasyonu maksimum sayıda OK; Eğirdir (17882) ve Senirkent (17826) istasyonları 24 adet SK ve en fazla AK olayı 14 adet olmak üzere Dörtöl (17962) istasyonunda gerçekleşmiştir. SPI-12 dikkate alındığında en fazla OK olayının Dörtöl (17962) istasyonunda gerçekleştiği görülmüştür. Uluborlu (17864) ve Dörtöl (17962) istasyonlarında en fazla SK olayı (22) görülürken, Karataş (17981) ve Dörtöl (17962) istasyonlarında en fazla

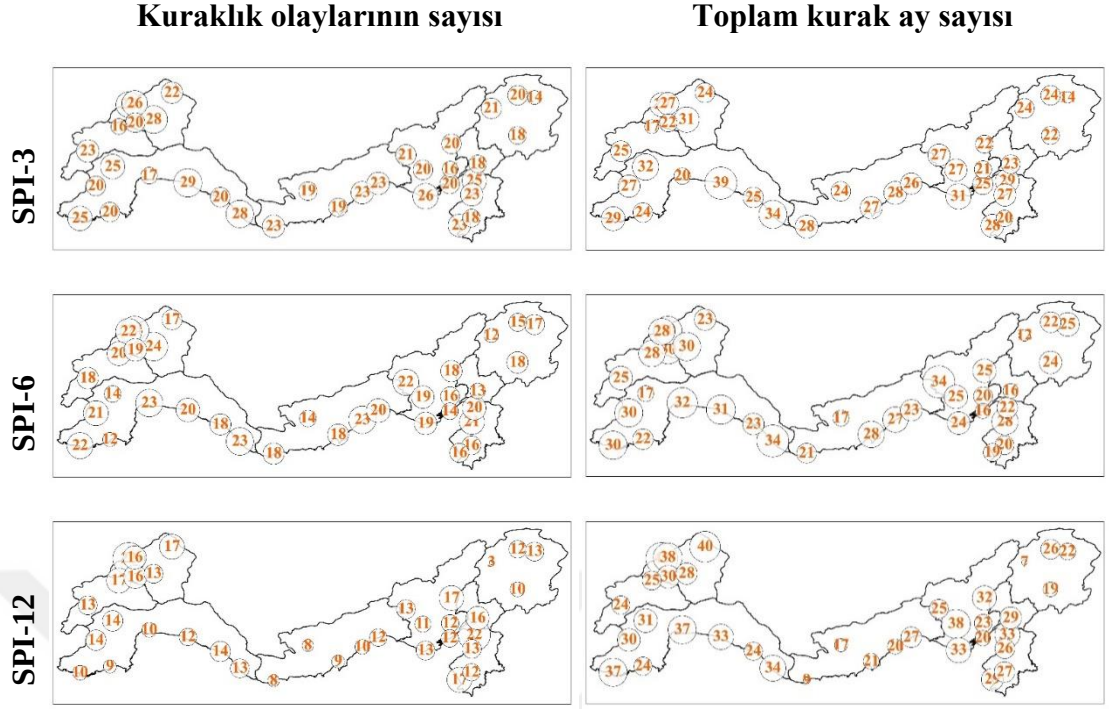
AK olayı (9) yaşanmıştır. Genel olarak SPI-3'e göre en fazla Senirkent (17826) istasyonunda, SPI-6 ve SPI-12'ye göre ise en fazla Dörtöl (17962) istasyonunda kuraklık yaşanmıştır.

SPI-3'e göre Afşin (17868) istasyonu 5 ay (Eylül 2012'den Ocak 2013'e kadar) süren en şiddetli kuraklığı yaşamıştır. SPI-6'ya göre bu istasyon aynı zamanda 7 ay süren en şiddetli kuraklığı ($S=-3.89$) ve Mart 2012'den Haziran 2013'e kadar 16 ay süren AK yaşamıştır. SPI-12'ye göre Yalvaç (17828) ve Mut (17956) istasyonları sırasıyla 1 ay (Aralık 2008) ve 11 ay (Ocak-Kasım 2016) süren en şiddetli kuraklığı ($S=-2.97$) yaşamıştır. SPI-3'e göre Osmaniye (17355) istasyonu -2,93 SPI değeri ile 6 ay süren en uzun kuraklık süresini yaşamıştır. SPI-6'ya göre Mut (17956) -2.83 ve SPI-12'ye göre Göksun (17866) -2.95 S değeri ile sırasıyla 9 ve 21 ay süren en uzun kuraklık sürelerini yaşamışlardır.

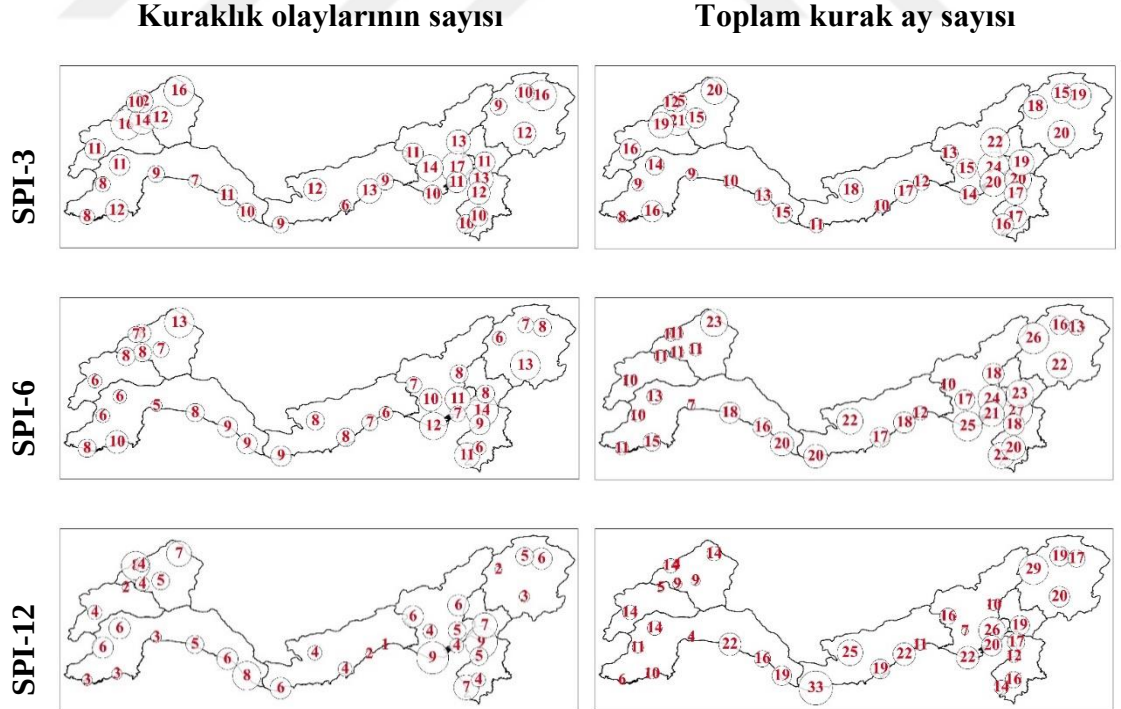
Çizelge 4.1 aynı zamanda tüm kuraklık sınıfları için toplam kurak ay sayısını da göstermektedir. Genel olarak, her istasyonda zaman ölçeği 3, 6 ve 12 olmak üzere arttıkça toplam kurak olay sayısının azaldığı görülmektedir. SPI-3 ve OK olayları dikkate alındığında son 50 yılda en uzun toplam kurak ay sayısı 66 ay ile İskenderun (17370) istasyonunda gözlenmiştir. SK ve AK olayları dikkate alındığında Manavgat (17954) ve Ceyhan (17960) istasyonları sırasıyla toplam 39 ve 24 ay ile en uzun toplam kurak ay sayısına tanık olmuştur. Çizelge 4.1'deki verilerin çalışma alanındaki mekana bağlı dağılımı veri takibini kolaylaştıracığından, tüm kuraklık sınıfları için kuraklık olaylarının sayısı ve toplam kurak ay sayısı Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 4.1. İstasyonlarda gözlemlenen OK olaylarının sayısı ve toplam kurak ay sayısı

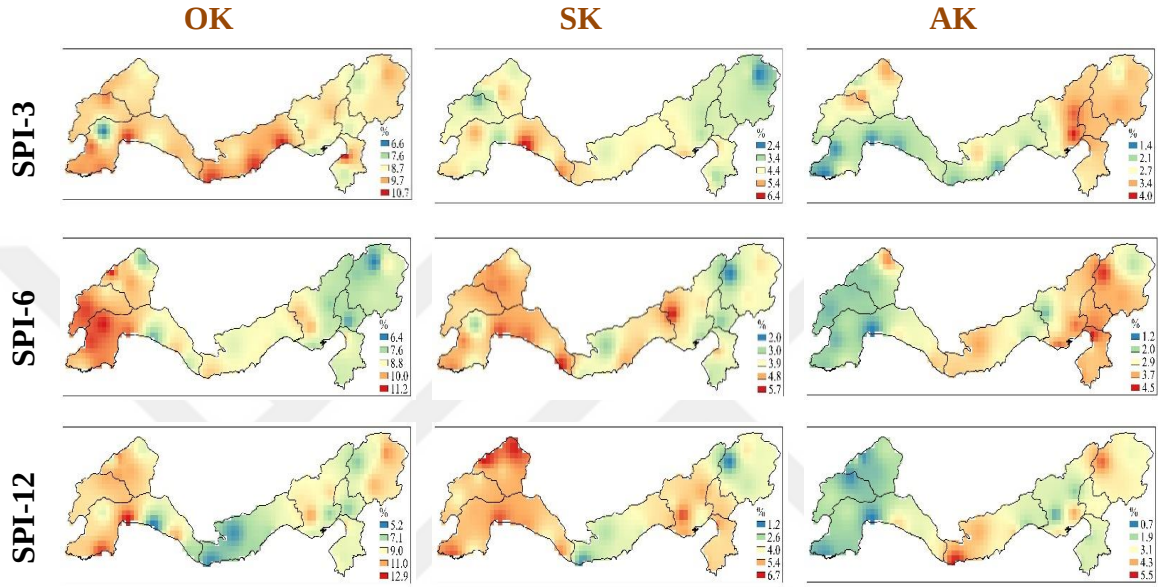


Şekil 4.2. İstasyonlarda gözlemlenen SK olaylarının sayısı ve toplam kurak ay sayısı



Şekil 4.3. İstasyonlarda gözlemlenen AK olaylarının sayısı ve toplam kurak ay sayısı

Ayrıca Şekil 4.4; SPI-3, SPI-6 ve SPI-12 için tüm kuraklık sınıflarındaki toplam kurak ay sayısının yüzdesinin mekana bağlı dağılımını göstermektedir. Toplam kurak ayların yüzdesinin mekana bağlı dağılımı sayesinde her bir SPI değeri ve her bir kuraklık sınıflandırması için farklılıklar açıkça görülmektedir. Toplam kurak ayların yüzdesi, toplam kurak ay sayısının toplam ay sayısına bölünmesiyle elde edilmiştir. Şekillerin sağ alt kısmında her bir şekil için verilen yüzdelere incelendiğinde; orta şiddetli kuraklıktan aşırı kuraklığa doğru her bir SPI değeri için yüzdelerin düştüğü görülmektedir.



Şekil 4.4. Her bir kuraklık kategorisi için SPI-3, SPI-6 ve SPI-12'nin toplam kurak ay sayısının yüzdesinin mekana bağlı dağılımı

4.2. FCM ile Kümeleme Analizi

Bu çalışmada 35 meteoroloji gözlem istasyonu aylık toplam yağış verileri kullanılarak bulanık c-ortalamalar algoritması ile çalışma alanı üç kümeye ayrılmış ve homojen istasyonlar belirlenmiştir. Küme sayısı deneme yanılma yöntemiyle 3 olarak belirlenmiştir. Maksimum küme sayısı istasyon sayısının (35) karekökünden az olmalı ve küme sayısı en az 2 olmalıdır (Zhang vd. 2008; Karahan, 2019). Verilerin üyelik derecesi ve küme merkezlerinin konumu dikkate alınarak 2'den 6'ya kadar olan değerler küme sayısı olarak denenmiştir. Küme merkezleri birbirine yakın olduğunda, her veri noktası tüm kümelerde kabaca aynı üyelik derecesine sahiptir. Farklı küme sayıları için kümeleme analizi tekrarlanarak, her veri noktasının aynı üyelik derecesine sahip olmaması ve kümelerin merkezlerinin çakışmaması için küme sayısı 3 olarak belirlenmiş; bu sayının coğrafi ve iklim özellikleri dikkate alındığında çalışma alanı için uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Kümeler arasındaki bulanık örtüşme miktarını kontrol eden bulanıklaştırma parametresi 1.0'dan büyük bir değer olabilir ve genellikle 1.5 ile 2.5 arasında belirlenmektedir (Goyal ve Sharma 2016). Bulanıklaştırma parametresi değeri arttıkça küme merkezleri daha büyük bir örtüşme derecesine sahip olduğundan, kümeleme sonuçlarını iyileştirmek için bulanıklaştırma parametresi azaltılabilir. Kümelerdeki istasyon dağılımlarında bulanıklaştırma parametresi için 2, 1.8 ve 1.5

değerleri test edilmiş ve istasyonların küme dağılımlarının aynı olduğu görülmüştür. Sonuç olarak küme sayısı, bulanıklaştırma parametresi ve durma kriteri sırasıyla 3, 2 ve 10^{-5} olarak belirlenmiştir.

FCM metodu ile çalışma alanı için Doğu (D), Batı (B) ve Kuzey (K) olmak üzere hidrolojik olarak homojen üç küme elde edilmiştir. Çizelge 4.2’de kümelerde bulunan istasyonların istasyon numaraları, ayrıca her kümede bulunan istasyonların yağış verilerinin maksimum, ortalama ve standart sapma değerlerinin, maksimum ve minimum değerleri verilmiştir.

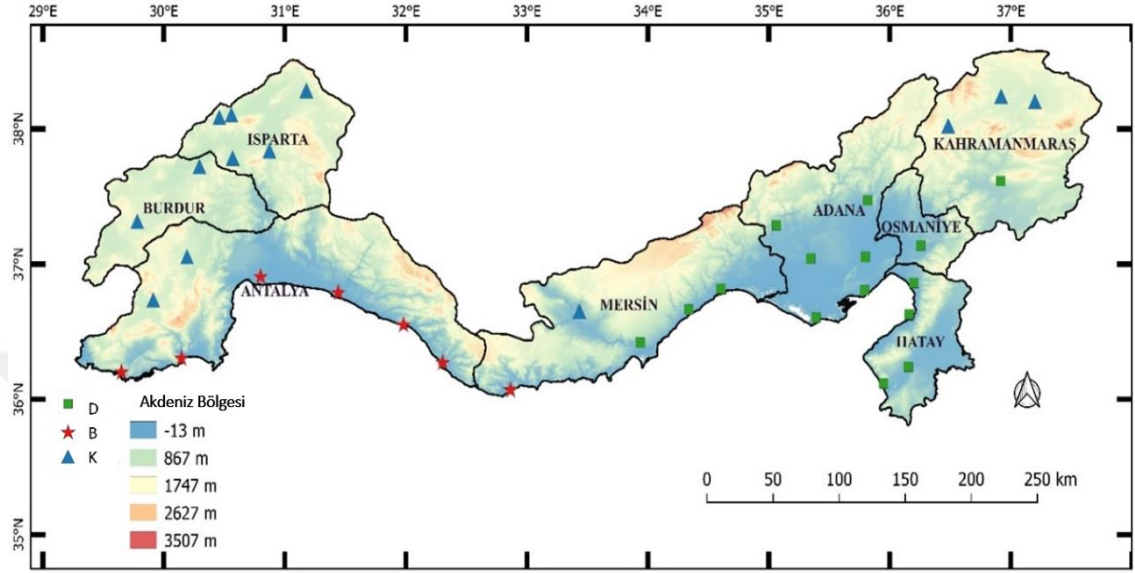
Çizelge 4.2. İstasyon numaraları ve küme sembolleri

Küme Adı	Küme Sembolü	İstasyonlar	Maksimum (mm)		Ortalama (mm)		Standart Sapma	
			Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.
D		17255, 17330, 17340, 17351, 17355, 17370, 17372, 17908, 17936, 17958, 17960, 17962, 17979, 17981, 17986	677.4	283.0	92.8	48.3	96.3	55.9
B		17300, 17310, 17320, 17375, 17380, 17954, 17974	907.2	499.8	92.9	66.9	124.1	83.4
K		17238, 17240, 17826, 17828, 17864, 17866, 17868, 17870, 17882, 17892, 17926, 17952, 17956	560.7	146.6	67.7	32.5	73.4	35.3

K kümesinin diğer kümelere kıyasla aylık yağış verilerinin maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri incelendiğinde düşük değerlere sahip istasyonları, B kümesinin ise en yüksek değerlere sahip istasyonları kapsadığı görülmektedir. Şekil 4.5’te görüldüğü üzere, en düşük yıllık yağışı alan yüksek rakımları kapsayan kuzey bölgesi K, doğu bölgesi D ve batı kıyı bölgesi B olmak üzere Akdeniz Bölgesi üç kümeye ayrılmıştır.

B kümesi çalışma alanının batısındaki kıyı istasyonlarını temsil ederken, D kümesi doğuda yer alan ve nispeten düşük rakımlı istasyonlardan oluşmaktadır. K kümesi, Mut istasyonu (17956) hariç, yüksek rakımda bulunan meteoroloji istasyonlarını kapsamaktadır. Mut istasyonu da dâhil olmak üzere bu kümedeki tüm istasyonlar düşük toplam aylık yağışa sahiptir. Mut istasyonunda, uzun vadeli ortalama ve aylık maksimum toplam yağış değerleri, sırasıyla B ve D kümelerinde bulunan yakınındaki Anamur (17320) ve Silifke (17330) istasyonlarından önemli ölçüde farklıdır. Mut istasyonu, çevredeki araziden daha düşük rakımda bulunan bir istasyon olması nedeniyle, aylık

toplam yağışın ortalama, maksimum ve standart sapması diğer kümelerle göre daha küçük olan K kümesine aittir. Her istasyondaki aylık ortalama yağış miktarını gösteren Çizelge 3.1'e bakıldığında, K kümesindeki istasyonlardan uzak olan Mut istasyonunun en düşük rakımda olduğu, ancak bu kümedeki istasyonlar gibi düşük toplam aylık yağışa sahip olduğu saptanmıştır.

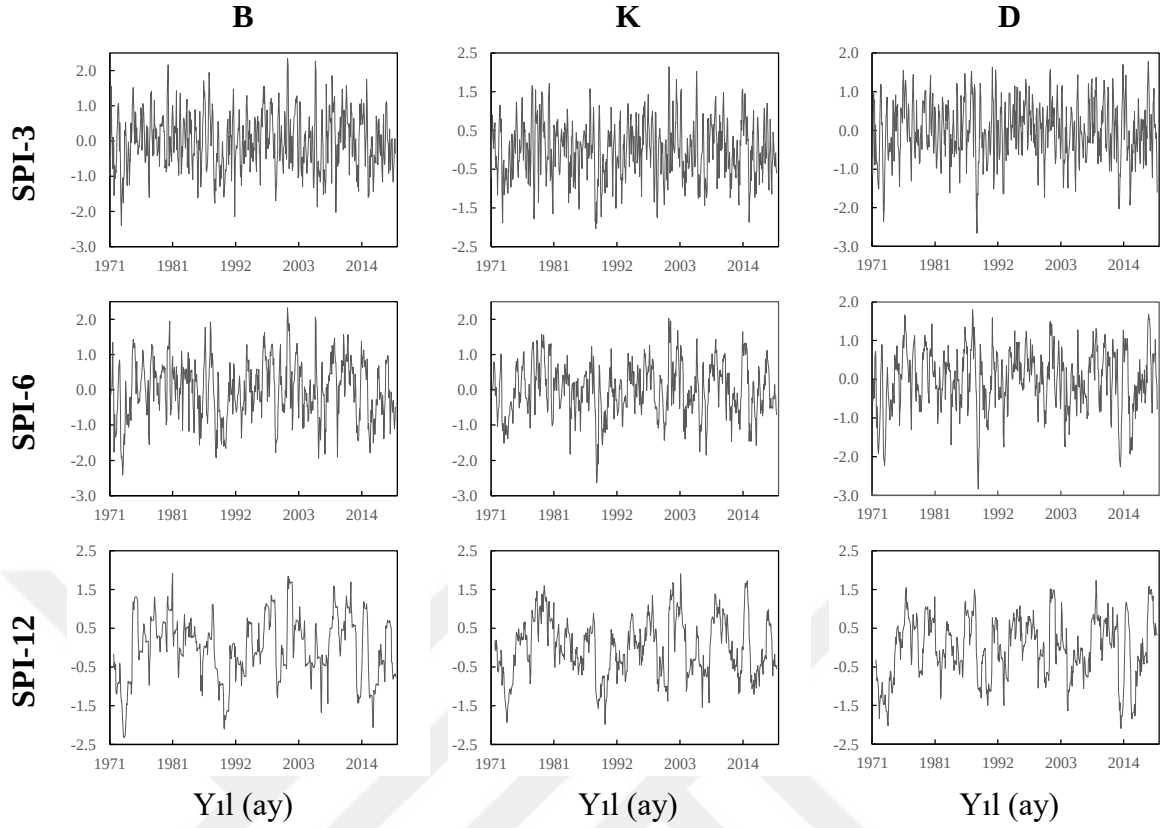


Şekil 4.5. B, K ve D kümelerinde bulunan istasyonların çalışma alanına dağılımı

4.3. Kümelerde SPI Değerlendirmesi ve RDI_{st} Karşılaştırması

Her küme için kuraklık analizi yapılmıştır. Her kümeye ait kuraklık indisi değerleri, o kümeye ait istasyonların kuraklık indislerinin ortalaması ile elde edilmiştir. B, K ve D olmak üzere üç bölge için elde edilen SPI-3, SPI-6 ve SPI-12 değerlerinin zaman serileri Şekil 4.6'da sunulmuştur. Her kümede kurak ve nemli dönemlerin aynı aylarda meydana gelmediği ve kuraklık sıklığının da aynı olmadığı görülmektedir.

Her küme için elde edilen SPI-3, SPI-6 ve SPI-12 değerlerinden bölgede gözlemlenen kuraklık olaylarının KS ve S değerleri belirlenmiştir. EK-7'de SPI-3, SPI-6 ve SPI-12 değerlerine göre üç bölge için elde edilen KS ve S değerlerine ek olarak kuraklığın yaşandığı yıl ve ay verilmiştir. Ayrıca her kuraklık için ortalama sıcaklık değerleri tabloda verilmiştir. SPI-3 dikkate alındığında B, K ve D kümelerinde sırasıyla 33, 36 ve 26 OK olayının meydana geldiği gözlemlenmiştir. K kümesinde 10, D ve B kümelerinde 12 SK olayı yaşanmıştır. SPI-6'ya göre B kümesinde 32 OK ve 16 SK; K kümesinde 26 OK ve D kümesinde 25 OK, 11 SK olayı meydana gelmiştir. SPI-12 değerleri incelendiğinde, B, K ve D kümelerinde sırasıyla 15, 12 ve 21 OK olayı meydana gelmiştir. Son olarak D kümesinde 11 SK olayı gözlemlenmiştir.



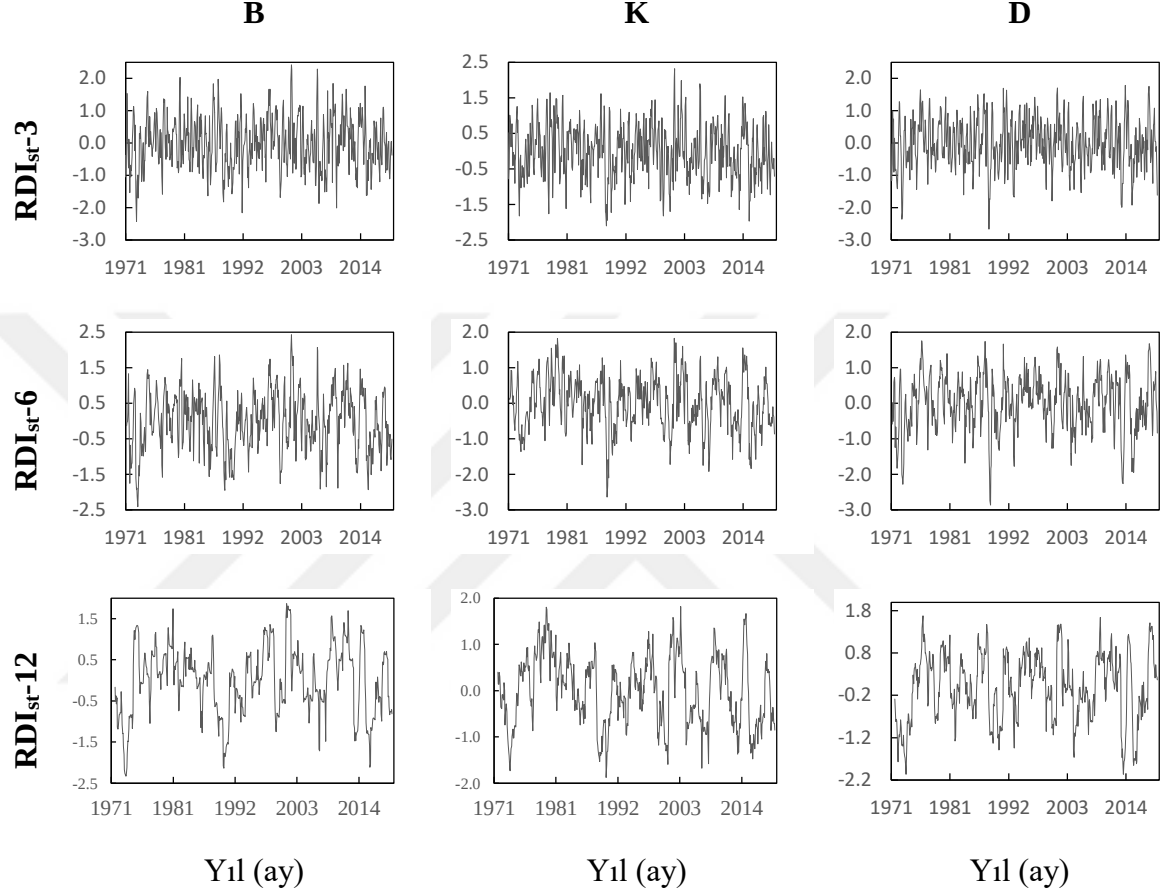
Şekil 4.6. B, K ve D kümeleri için aylık SPI-3, SPI-6 ve SPI-12 değerleri zaman serileri

Kümeler arasında zamana bağlı kayma da gözlemlenmiştir. SPI-3 değerleri incelendiğinde, B ve D kümelerindeki ilk AK olayı Ocak 1973'te başlamış, ancak kümelerdeki kuraklık sırasıyla 1 ve 2 ay sürmüştür. Ayrıca D kümesindeki ikinci AK olayı Mart'tan Nisan 1989'a kadar iki ay sürmüştür; ancak K kümesindeki tek AK olayı Nisan 1989'da meydana gelmiştir. SPI-6 değerleri incelendiğinde, B kümesindeki -2,21 büyüklüğündeki tek AK olayı Mart 1973'te başlayıp Mayıs 1973'te; D kümesindeki -2,13 şiddetindeki ilk AK olayı Ocak 1973'te başlayıp Mart 1973'te sona ermiştir. Her iki kuraklık olayı da 3 ay sürmüştür. Ayrıca, K kümesindeki -2,43 şiddetindeki ilk AK olayı Mayıs 1989'da başlamış 3 ay sürmüştür, D kümesindeki 2 ay uzunluğundaki -2,76 şiddetindeki ikinci AK olayı Haziran 1989'da başlamış ve her iki AK olayı da Temmuz 1989'da sona ermiştir. SPI-12 ile ilgili olarak, B ve D kümelerindeki ilk AK olayları aynı yıl (1973) aynı ayda (Ekim) meydana gelmiş sırasıyla, 6 ay ve 1 ay sürmüştür. Sırasıyla 10, 9 ve 6 ay süren en uzun OK, SK ve AK olayları B kümesinde gözlemlenmiştir.

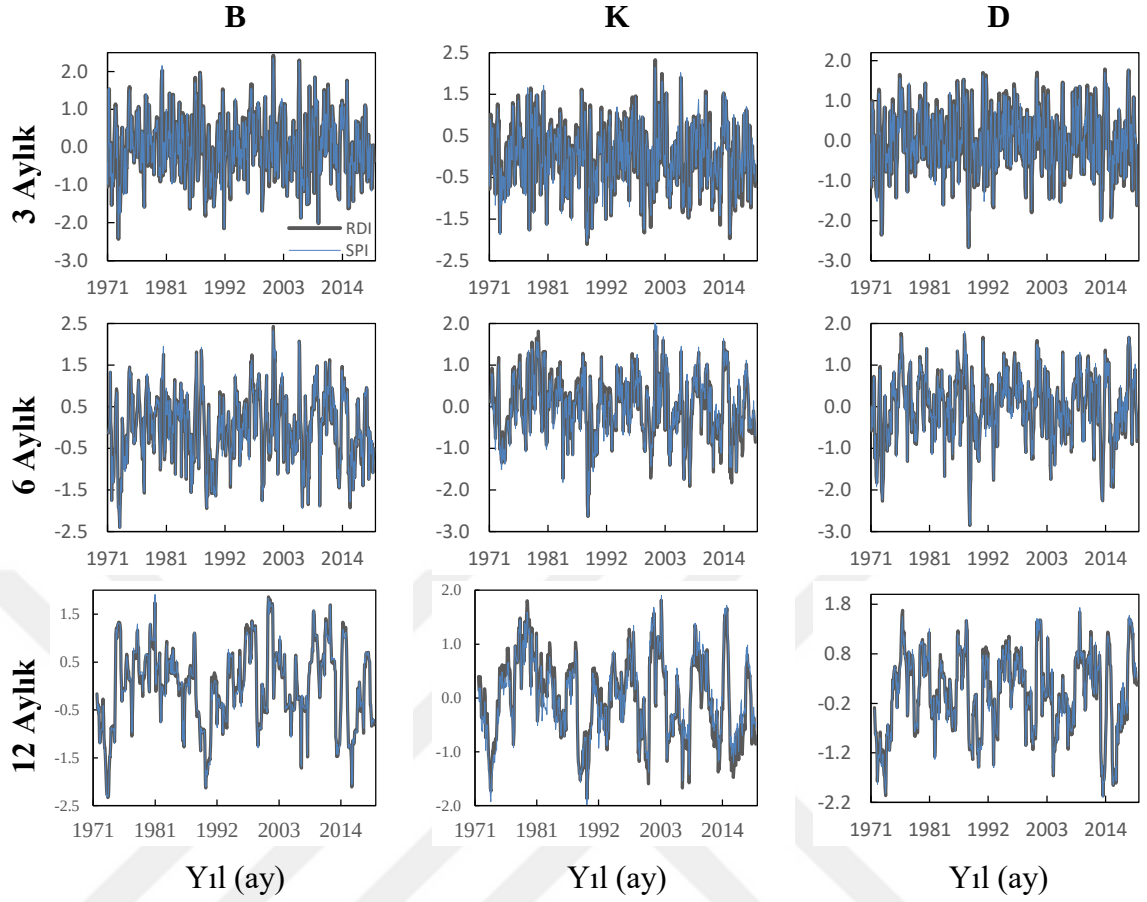
Çalışma dönemi boyunca, ortalama hava sıcaklıkları B, K ve D kümeleri için sırasıyla yaklaşık 19.24°C, 12.29°C ve 18.92°C olarak hesaplanmıştır. EK-7'de listelenen tüm kuraklık olaylarının maksimum ve minimum sıcaklıkları sırasıyla 30.21°C ve -2.12°C'dir. Sonuçlar, en şiddetli kuraklığın ortaya çıkmasının aşırı sıcaklıklardan bağımsız olduğunu ortaya koymaktadır. Bunun nedeni sadece yağış verilerine dayanan SPI hesaplamasıyla ilişkilendirilebilir.

Aylık ortalama maksimum sıcaklık ve aylık ortalama minimum sıcaklık verilerindeki eksiklikler tamamlanarak her istasyon için RDI_{st} değerleri hesaplanmıştır.

FCM ile kümeleme işlemi yapıldıktan sonra, her küme için RDI_{st} değerleri, kümede bulunan istasyonların RDI_{st} değerlerinin ortalamaları alınarak elde edilmiştir. Elde edilen RDI_{st} değerlerinin zaman serileri Şekil 4.7'de sunulmuştur. Her kümede kurak ve nemli dönemlerin aynı aylarda meydana gelmediği ve kuraklık sıklığının da aynı olmadığı görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.8'de her küme için 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeğinde RDI_{st} ve SPI değerleri zaman serileri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.



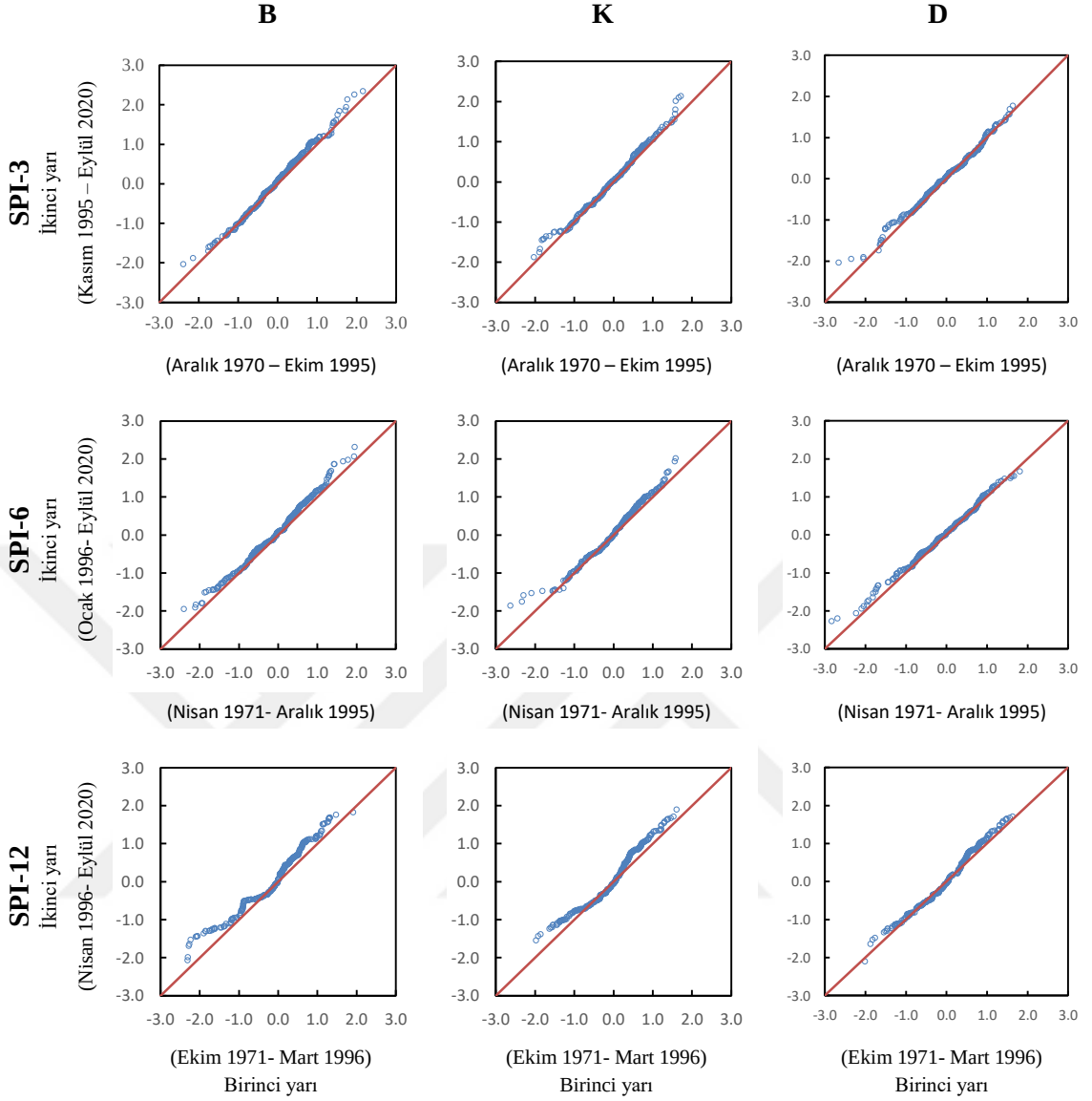
Şekil 4.7. B, K ve D kümeleri için aylık RDI_{st-3} , RDI_{st-6} ve RDI_{st-12} değerleri



Şekil 4.8. B, K ve D kümeleri için 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeğinde RDI_{st} ve SPI zaman serileri karşılaştırması

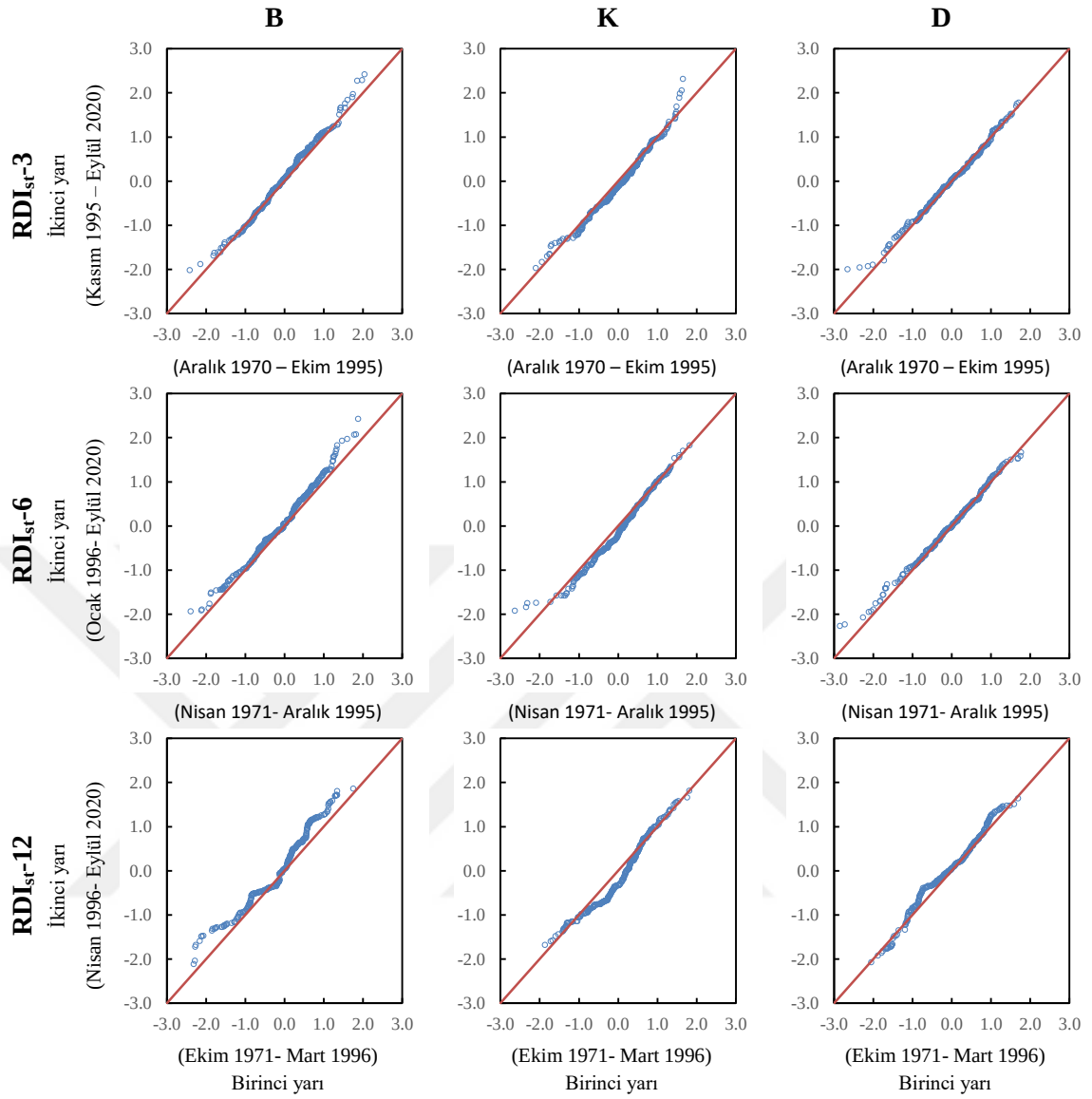
4.4. Kümeler için Farklı Zaman Ölçeğindeki SPI Serilerinin Trend Analizi

Şekil 4.9’da görüldüğü üzere, SPI-3, SPI-6 ve SPI-12 değerlerinin trend analizi her bölge için Şen (2012, 2014) tarafından önerilen YTA yöntemi ile yapılmıştır. Elde edilen SPI serisinin birinci ve ikinci yarısı sırasıyla x ve y eksenine yerleştirilmiştir. Genel olarak, tüm kümelerde tüm SPI serileri için normale yakın durumda ($-1,0 < SPI < 1,0$) trend yoktur. Ancak tüm kümelerde (B, K, D) tüm kuraklık sınıflarında (OK, SK ve AK) çoğunlukla artış eğilimi görülmektedir. Nemli dönemler açısından genellikle günümüz (1995-2020) ile geçmiş (1970-1995) dönemleri arasında önemli bir değişiklik görülmemektedir. Kuraklık sınıflarındaki artış eğilimi, havzadaki mevcut su kaynaklarının yakın gelecekte daha hassas hale gelebileceği gerçeğini ortaya koymaktadır.

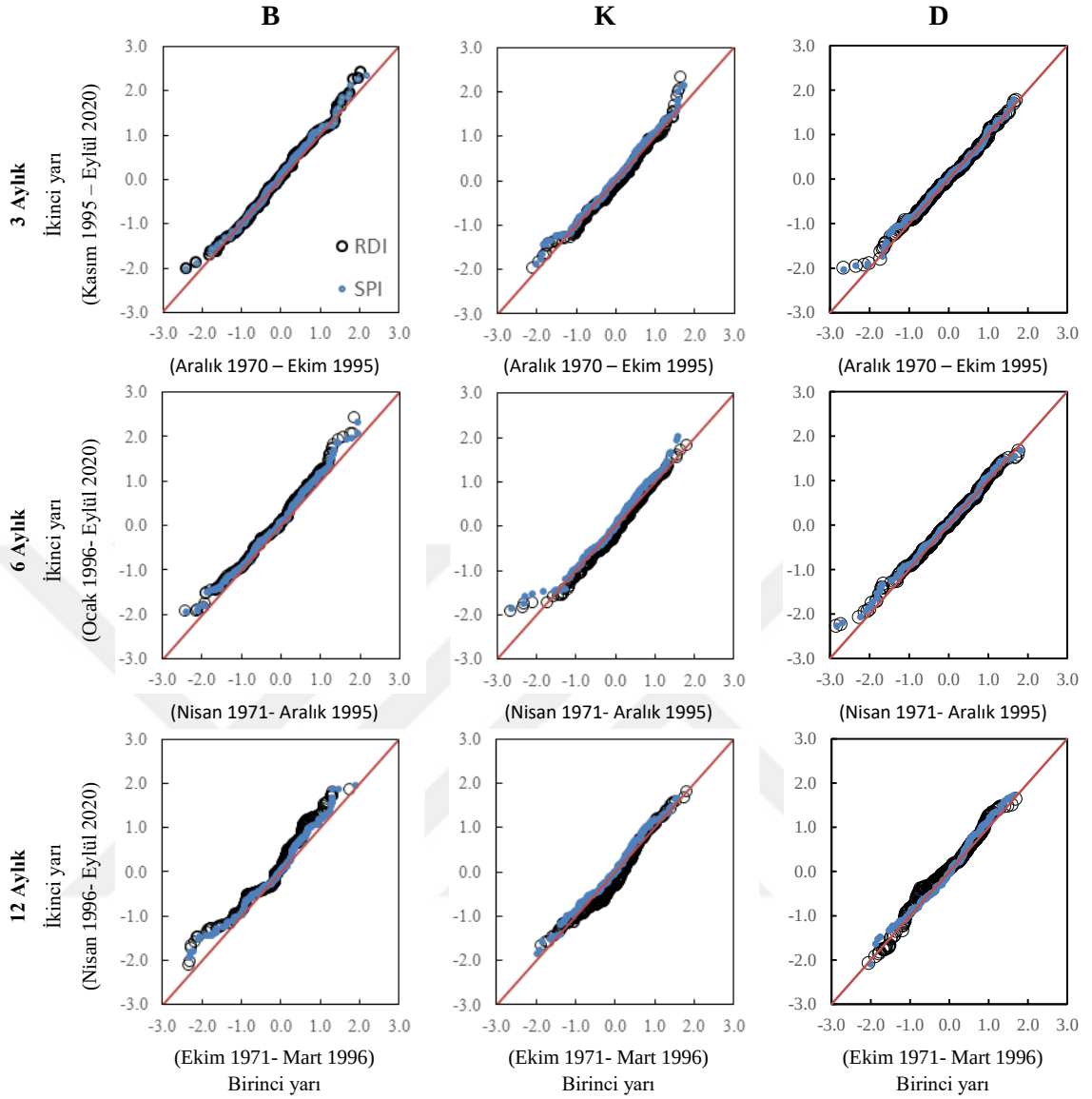


Şekil 4.9. B, K ve D kümeleri için SPI-3, SPI-6 ve SPI-12 trend analizi

Şekil 4.10’da görüldüğü üzere RDI_{st-3} , RDI_{st-6} ve RDI_{st-12} değerlerinin trend analizi her bölge için YTA yöntemi ile yapılmıştır. Ayrıca her küme için 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeğinde RDI_{st} ve SPI trend analizi karşılaştırması Şekil 4.11’de sunulmuştur. SPI ve RDI_{st} değerleri, ayrıca trend analizleri incelendiğinde, sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu ve çalışma bölgesi için meteorolojik kuraklığı etkileyen başlıca parametrenin yağış değerleri olduğu gözlemlenmiştir.



şekil 4.10. B, K ve D kümeleri için RDI_{st-3} , RDI_{st-6} ve RDI_{st-12} trend analizi



Şekil 4.11. B, K ve D kümeleri için 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeğinde RDI_{st} ve SPI trend analizi karşılaştırması

4.5. Akdeniz Bölgesi Meteorolojik Kuraklık Değerlendirmesi

Bu çalışmada Akdeniz Bölgesi'nde bulunan 35 meteoroloji istasyonundan elde edilen uzun süreli yağış verileri SPI-3, SPI-6 ve SPI-12'yi elde etmek için kullanılmıştır. Homojen istasyonların belirlenmesi için kümeleme analizinde FCM algoritması kullanılmıştır. İstasyonların üç kümeye dağılımı ve bu kümelerin özellikleri hakkında detaylar verilmiştir. Her istasyon ve her küme için OK, SK ve AK olaylarının şiddeti ve süresi sunulmuştur. Her bir kuraklık sınıfı için her istasyonda gözlemlenen kuraklık olaylarının sayıları ve toplam kurak ay sayıları sunulmuştur. Ayrıca, her bir kuraklık kategorisi için SPI-3, SPI-6 ve SPI-12 için toplam kurak ay sayısının yüzdesinin mekana bağlı dağılımları verilmiştir. Tüm kümelerdeki 3, 6 ve 12 aylık SPI zaman serileri YTA yöntemi ile analiz edilmiştir.

Güner Bacanlı ve Akşan (2019), Akdeniz bölgesi için 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık SPEI serilerini hesaplamış ve 1970-2018 yılları arasındaki dönemde bölgede hafif, şiddetli ve aşırı düzeyde kuraklık yaşandığını sunmuşlardır. Bulguları 8 meteoroloji istasyonuna dayanmasına (Bu çalışmada 35 istasyon verisi kullanılmıştır.) ve değişen sıcaklığı çalışmalarına dâhil etmelerine rağmen küme analizi sonuçlarımız bu çalışma ile tutarlıdır. Benzer şekilde, her iki çalışma da hem kurak hem de nemli dönemlerin süresinin artması konusunda tutarlıdır.

Bulgularımız aynı zamanda Doğu Akdeniz Bölgesi'nde (Ceyhan Havzası) 2002-2017 döneminde kuraklık olaylarında artış eğilimi olduğu sonucuna varan Çuhadar ve Atış'ın (2019) bulgularıyla da örtüşmektedir. Ayrıca Çuhadar ve Atış (2019) Afşın ve Elbistan istasyonlarının Ceyhan Havzası'ndaki en kurak noktalar olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu durum, SPI-3 ve SPI-6 dikkate alındığında 1971-2021 yılları arasında Afşın (17868) istasyonunun en şiddetli kuraklık olaylarını yaşadığı yönündeki bulgumuzu desteklemektedir.

Dinç vd. (2016) yaptıkları çalışmada Antalya ilinde yaz aylarında olduğu gibi kış aylarında da kuraklık olaylarının görülebileceği sonucuna varmışlardır. Her ne kadar Dinç vd. (2016), 1970-2014 yılları arasında Antalya ili genelinde kuraklık olaylarında önemli bir değişiklik olmadığını belirtse de, bu çalışmada 1995-2022 dönemi için kuraklık olaylarında artış eğilimi YTA yöntemi ile tespit edilmiştir. Bu durum son on yılda gözlemlenen OK olaylarından kaynaklanmaktadır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Akdeniz Bölgesi için meteorolojik kuraklığın trend analizi ile zamana bağlı, CBS yöntemleriyle de mekana bağlı analizi yapılmıştır. Akdeniz Bölgesi'nde bulunan 35 meteoroloji istasyonundan elde edilen uzun süreli aylık toplam yağış, aylık ortalama sıcaklık, aylık ortalama maksimum sıcaklık, aylık ortalama minimum sıcaklık verileri ile her istasyondaki meteorolojik kuraklık SPI ve RDI_{st} kuraklık indisleri ile 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeğinde hesaplanmıştır. İstasyonlar esas alınarak yapılan kuraklık analizinde SPI değerleri orta dereceli kurak (OK), şiddetli kurak (SK), aşırı kurak (AK) olarak sınıflandırılıp, kuraklık süreleri ve şiddetleri belirlenmiştir. CBS ile SPI değerleri göz önüne alınarak, istasyonların kuraklık olaylarının toplam sayısı, toplam kurak ay sayıları ve toplam kurak ay sayısı yüzdeleri verilerek, mekana bağlı analizi yapılmıştır. Sonuç olarak, Akdeniz Bölgesi'nin meteorolojik durumu analiz edilmiştir. Aylık toplam yağış verilerine uygulanan FCM algoritması ile homojen istasyonlar belirlenmiş, 35 meteoroloji gözlem istasyonu kümeleme analizi ile 3 kümeye ayrılmıştır. Her küme için SPI-3, SPI-6 ve SPI-12 değerleri hesaplanmış, tüm kuraklık olayları OK, SK ve AK kategorilerine göre sınıflandırılmış; kuraklıkların süresi ve şiddeti belirlenmiştir. Her küme için 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeğinde SPI ve RDI_{st} zaman serileri incelenmiştir. Her kümede kurak ve nemli dönemlerin aynı aylarda meydana gelmediği ve kuraklık sıklığının da aynı olmadığı incelenmiştir. Kümeler arasında zamana bağlı kayma da gözlemlenmiştir. Tüm kümelerdeki 3, 6 ve 12 aylık SPI zaman serileri YTA yöntemi ile analiz edilerek, genellikle tüm kümelerde tüm kuraklık sınıfları için artış eğilimi olduğu değerlendirilmiştir. RDI_{st} zaman serileri trend analizlerinin de çoğunlukla SPI ile uyumlu sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, Akdeniz Bölgesi genelindeki 35 meteoroloji istasyonu ve kümeleme analiziyle oluşturulan her kümedeki kuraklık olaylarının farklı özellikleri elde edilmiş, daha sonra bunların mekana ve zamana bağlı değişimi araştırılmıştır. Başlıca sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Akdeniz Bölgesi'nde OK olayları çoğunlukla tüm mevsimlerde ve tüm istasyonlarda meydana gelmiştir. OK olaylarının sayısının, toplam kuraklık sayısının yarısından fazla sayıda olduğu gözlemlenmiştir.
- Akdeniz Bölgesi'nde tüm istasyonlardaki SK ve AK olaylarının toplam sayısının, gözlemlenen toplam kurak dönem sayısının sırasıyla yaklaşık dörtte biri ve sekizde biri kadar olduğu sonucuna varılmıştır.
- Son 50 yılda SPI-3'e göre OK, SK ve AK olaylarının toplamı olarak en fazla kuraklık sayısı Senirkent (17826) istasyonunda görülürken, SPI-6 ve SPI-12 dikkate alındığında en fazla kuraklık sayısı Dört Yol (17962) istasyonunda gözlemlenmiştir.
- Çalışma dönemi boyunca (1971-2020) kurak ayların sayıları toplandığında sırasıyla Antalya Havalimanı (17300), Uluborlu (17864) ve Anamur (17320) istasyonlarında en uzun OK, SK ve AK dönemleri yaşanmıştır.
- Akdeniz Bölgesi temel olarak B, K ve D olmak üzere üç kümeye ayrılmıştır.

- Tüm kümelerde 1973, 1989 ve 2014 yıllarında 14 AK olayı yaşandığından, bu yıllar ekstrem yıllar olarak belirlenmiştir. Ayrıca kümeler arasında zamana bağlı kayma gözlemlenmiştir.
- Tüm kümeler için genellikle, normale yakın kuraklık koşulunda herhangi bir trend gözlemlenmezken, kuraklık olaylarında artan bir eğilim gözlemlenmiştir.



6. KAYNAKLAR

- Ahmadalipour, A., Moradkhani, H., Demirel, M. C. 2017. A comparative assessment of projected meteorological and hydrological droughts: elucidating the role of temperature. *Journal of Hydrology*, 553: 785-797. doi:10.1016/j.jhydrol.2017.08.047.
- Anlı, A.S. 2014. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde referans bitki su tüketiminin (ET₀) zamansal değişimi ve RDI (Keşif Kuraklık İndeksi) yöntemiyle meteorolojik kuraklık analizi. *Journal of Agricultural Sciences*, 20(3): 248-260. doi: 10.1501/Tarimbil_0000001284.
- Arslan, O., Bilgil, A., Veske, O. 2016. Standart yağış indisi yöntemi ile Kızılırmak Havzası'nın meteorolojik kuraklık analizi. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(2): 188-194.
- Asadi Zarch, M.A., Malekinezhad, H., Mobin, M.H., Dastorani, M.T., Kousari, M.R. 2011. Drought monitoring by reconnaissance drought index (RDI) in Iran. *Water resources management*, 25: 3485-3504. doi: 10.1007/s11269-011-9867-1.
- Ay, M., Kisi, O. 2015. Investigation of trend analysis of monthly total precipitation by an innovative method. *Theoretical and Applied Climatology*, 120(3): 617-629. doi:10.1007/s00704-014-1198-8.
- Bakanoğulları, F. 2020. SPEI ve SPI İndisleri Kullanılarak İstanbul-Damlıca Deresi Havzasında Kuraklık Şiddetlerinin Analizi. *Toprak Su Dergisi*, 9(1): 1-10.
- Başakın, E.E., Ekmekcioğlu, Ö., Özger, M. 2019. Makine öğrenmesi yöntemleri ile kuraklık analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(8): 985-991.
- Beden, N., Demir, V., Ülke Keskin, A. 2020. Samsun ilinde SPI ve PNI kuraklık indekslerinin eğilim analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi*, 22(64): 107-116.
- Bezdek, J.C. 1981. Objective function clustering. In: Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms. Springer, New York, pp. 43-93.
- Bezdek, J.C., Ehrlich, R., Full, W. 1984. FCM: The fuzzy c-means clustering algorithm. *Computers & Geosciences*, 10(2-3): 191-203. doi: 10.1016/0098-3004(84)90020-7.
- Bildirici, İ.Ö., Üstün, A., Uluğtekin, N., Selvi, H.Z., Abbak, A., Buğdaycı, İ., Doğru, Ö. 2007. SRTM verilerine dayalı ülke bazında 3"× 3" çözünürlüklü sayısal yükseklik modelinin oluşturulması. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği IV. Sempozyumu, 5-7 Haziran, İstanbul.
- Cebeci, İ., Demirkıran, O., Doğan, O., Karagöz Sezer, K., Öztürk, Ö., Elbaşı, F. 2019. Türkiye'nin iller bazında kuraklık değerlendirmesi. *Toprak Su Dergisi*: 169-176.
- Çamalan, G., Akgündüz, A.S., Ayvaci, H., Çetin, S., Arabacı, H., Çoşkun, M. 2017. SPEI indisine göre Türkiye geneli kuraklık değişim ve eğilim projeksiyonları. IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, 5-7 Temmuz, İstanbul.
- Çelik, M.A., Gülersoy, A. E. 2018. Climate classification and drought analysis of Mersin. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 16(1). doi:

10.18026/cbayarsos.411475

- Çelik, M.A., Kopar, İ., Bayram, H. 2018. Doğu Anadolu Bölgesi'nin mevsimlik kuraklık analizi. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 22(3): 1741-1761.
- Çölleşme İle Mücadele Ulusal Koordinasyon Birimi. 2005. Çölleşme ile mücadele ulusal eylem programı. Çevre ve Orman Bakanlığı Yayınları: 250, Ankara.
- Çuhadar, M., Atış, E. 2019. Drought analysis in Ceyhan basin using standardized precipitation index. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(4): 2303-2312. doi:10.21597/jist.544432.
- Dabanlı, İ. 2019. Kuraklık riskinin bulanık mantık yardımıyla Türkiye genelinde değerlendirilmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 10(1): 359-372. doi:10.24012/dumf.499660.
- Dabanlı, İ., Mishra, A.K., Şen, Z. 2017. Long-term spatiotemporal drought variability in Turkey. *Journal of Hydrology*, 552: 779–792. doi:10.1016/j.jhydrol.2017.07.038.
- Dabanlı, İ., Şen, Z., Yeleğen, M.Ö., Şişman, E., Selek, B., Güçlü, Y.S. 2016. Trend assessment by the innovative-Şen method. *Water resources management*, 30: 5193-5203. doi: 10.1007/s11269-016-1478-4.
- Dahamsheh, A. 2003. Monitoring meteorological drought in Jordan. Master's Thesis, İstanbul Technical University, İstanbul.
- Danandeh Mehr, A., Vaheddoost, B. 2020. Identification of the trends associated with the SPI and SPEI indices across Ankara, Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 139: 1531-1542. doi:10.1007/s00704-019-03071-9.
- Danandeh Mehr, A., Hrnjica, B., Bonacci, O., Torabi Haghighi, A. 2021. Innovative and successive average trend analysis of temperature and precipitation in Osijek, Croatia. *Theoretical and Applied Climatology*, 145(3): 875-890. doi:10.1007/s00704-021-03672-3.
- Danandeh Mehr, A., Sorman, A.U., Kahya, E., Hesami Afshar, M. 2019. Climate change impacts on meteorological drought using SPI and SPEI: Case study of Ankara, Turkey. *Hydrological Sciences Journal*, 65(2): 254-268. doi:10.1080/02626667.2019.1691218.
- De Oliveira, J.V., Pedrycz, W. 2007. Advances in fuzzy clustering and its applications. John Wiley & Sons.
- Dikbas, F., Firat, M., Koc, A.C., Gungor, M. 2012. Classification of precipitation series using fuzzy cluster method. *International Journal of Climatology*, 32(10): 1596-1603. doi: 10.1002/joc.2350.
- Dikici, M. 2019. Asi Havzası'nda (Türkiye) kuraklık analizi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(1): 22-40. doi:10.213247/dacd.357384.
- Dinç, N., Aydinşakir, K., Işık, M., Büyüктаş, D. 2016. Standartlaştırılmış yağış indeksi (SPI) yöntemi ile Antalya ili kuraklık analizi. *Derim*: 33(2): 279-298. doi:10.16882/derim.2016.267912.
- Dunn, J.C. 1973. A fuzzy relative of the ISODATA process and its use in detecting compact well-separated clusters. *Journal of Cybernetics*, 3(3): 32-57. doi:

10.1080/01969727308546046.

- Edwards, D.C., McKee, T.B. 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Climatology Report No. 97-2, Colorado State University, Ft. Collins, CO.
- Ercan, B., Yüce, M.İ. 2018. Kilis ili aylık sıcaklık ve yağış verileri trend analizi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 9(2): 947-953.
- Erkuş, M.K. 2001. İstanbul yıllık yağışlarının kuraklık analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Falzo, S., Acquafredda, F., Pulina, M.A., Fratianni, S. 2019. hydrological drought analysis in continental temperate and Mediterranean environment during the period 1981-2017. *Italian Journal of Agrometeorology*, 3: 13-23. doi:10.13128/ijam-798.
- Fırat, M., Dikbaş, F., Koç, A.C., Güngör, M. 2012. K-ortalamlar yöntemi ile yıllık yağışların sınıflandırılması ve homojen bölgelerin belirlenmesi. *İMO Teknik Dergi*, 23(113): 6037-6050.
- Fidan, İ.H. 2011. Doğu Akdeniz Bölgesinde standardize yağış indeksi (SYİ) ile kuraklık analizi ve Markov zinciri yöntemini kullanarak kurak olma olasılıklarının belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Goyal, M.K., Gupta, V. 2014. Identification of homogeneous rainfall regimes in Northeast Region of India using fuzzy cluster analysis. *Water Resources Management*, 28(13): 4491-4511. doi: 10.1007/s11269-014-0699-7.
- Goyal, M.K., Sharma, A. 2016. A fuzzy c-means approach regionalization for analysis of meteorological drought homogeneous regions in western India. *Natural Hazards*, 84(3): 1831-1847. doi:10.1007/s11069-016-2520-9.
- Gumus, V., Avsaroglu, Y., Simsek, O. 2022. Streamflow trends in the Tigris river basin using Mann-Kendall and innovative trend analysis methods. *Journal of Earth System Science*, 131, 34. doi:10.1007/s12040-021-01770-4.
- Gumus, V. 2023. Evaluating the effect of the SPI and SPEI methods on drought monitoring over Turkey. *Journal of Hydrology*, 626, 130386. doi: 10.1016/j.jhydrol.2023.130386.
- Gumus, V., Seker, M. 2024. Projection of meteorological drought in Türkiye's Mediterranean region based on multi-model ensemble from CMIP6. *Hydrological Sciences Journal*, 69(9): 1228-1243. doi: 10.1080/02626667.2024.2364712.
- Gümüş, V. 2017. Akım kuraklık indeksi ile asi havzasının hidrolojik kuraklık analizi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Part C: Tasarım Ve Teknoloji*, 5(1): 65-73.
- Gümüş, V., Başak, A., Oruç, N. 2016. Standartlaştırılmış yağış indeksi (SYİ) yöntemi ile Şanlıurfa istasyonunun kuraklık analizi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 1(1): 36-44.
- Gümüş, V., Başak, A., Yenigün, K. 2018a. Yapay sinir ağları ile Şanlıurfa istasyonunun kuraklığının tahmini. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım Ve Teknoloji*, 6(3): 621-633. doi: 10.29109/gujsc.393154
- Gümüş, V., Yıldız, M.S., Şimşek, O. 2018b. Hidrolojik kuraklık değerlendirmesi: Murat

- Nehri-Palu örneği. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3(3): 297-301.
- Güner Bacanlı, Ü., Akşan, G.N. 2019. Drought analysis in Mediteranean region. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 25(6): 665-671.
- Güner Bacanlı, Ü., Kargı, P.G. 2019. Uzun ve kısa süreli periyotlarda kuraklık analizi: Bursa örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(1): 166-174.
- Hargreaves, G.H., Samani, Z.A. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2): 96-99. doi: 10.13031/2013.26773.
- Karabulut, M. 2015. Drought analysis in Antakya-Kahramanmaraş Graben, Turkey. *Journal of Arid Land*, 7(6): 741-754. doi:10.1007/s40333-015-0011-6.
- Karahan, H. 2019. Şiddet-süre-frekans bağıntıları ve kümeleme analizi yardımıyla homojen alt bölgelerin belirlenmesi: Ege Bölgesi için bir uygulama. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(8): 998-1013.
- Kermen, Ç. 2019. Küçük Menderes Havza'sında meteorolojik ve hidrolojik kuraklık arasındaki ilişkinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Kesgin, E., Yıldız, S.G., Güçlü, Y.S. 2024. Spatiotemporal variability and trends of droughts in the Mediterranean coastal region of Türkiye. *International Journal of Climatology*, 44(4): 1036-1057. doi:10.1002/joc.8370.
- Keskiner, A.D., Simsek, O. 2024. Evaluation of the sensitivity of meteorological drought in the Mediterranean region to different data record lengths. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196, 602. doi: 10.1007/s10661-024-12726-8.
- Khorrami, B., Gunduz, O. 2019. Analyses of Meteorological drought and its impacts on groundwater fluctuations, a case study: Marand plain (Iran). *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 25(6): 711-717.
- Kıymaz, S., Güneş, V., Asar, M. 2011. Standartlaştırılmış yağış indeksi ile Seyfe gölünün kuraklık dönemlerinin belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 28(1): 91-102.
- Kişi, Ö., Santos, C.A.G., da Silva, R.M., Zounemat-Kermani, M. 2018. Trend analysis of monthly streamflows using Şen's innovative trend method. *Geofizika*, 35(1): 53-68. doi:10.15233/gfz.2018.35.3.
- Kumanlıoğlu, A.A., Fıstıkoğlu, O. 2019. Yukarı Gediz Havzası yağışlarının meteorolojik kuraklık analizleri. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 21(62): 509-523.
- Li, L., She, D., Zheng, H., Lin, P., Yang, Z.L. 2020. Elucidating diverse drought characteristics from two meteorological drought indices (SPI and SPEI) in China. *Journal of Hydrometeorology*, 21(7): 1513-1530. doi: 10.1175/JHM-D-19-0290.1
- Lloyd-Hughes, B., Saunders, M.A. 2002. A drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology*, 22(13): 1571-1592. doi: 10.1002/joc.846.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. 8. Conference on Applied Climatology, 17-22 Ocak, Anaheim, California.

- Montgomery, D.C., Peck, E.A., Vining, G.G. 2021. Introduction to linear regression analysis. John Wiley & Sons.
- Nayak, J., Naik, B., Behera, H. 2015. Fuzzy C-means (FCM) clustering algorithm: A decade review from 2000 to 2014. In: Computational intelligence in data mining, 2, pp.133-149.
- Nourani, V., Danandeh Mehr, A., Azad, N. 2018. Trend analysis of hydroclimatological variables in Urmia lake basin using hybrid wavelet Mann-Kendall and Şen tests. *Environmental Earth Sciences*, 77, 207. doi:10.1007/s12665-018-7390-x.
- Özfidaner, M., Şapolyo, D., Topaloğlu, F. 2018. Seyhan Havzası akım verilerinin hidrolojik kuraklık analizi. *Toprak Su Dergisi*, 7(1): 57-64.
- Özgürel, M., Pamuk, G., Topçuoğlu, K. 2002. Palmer Kuraklık şiddeti indisi ile Ege bölgesinde kuraklığın irdelenmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 39(1): 119-126.
- Pal, N.R., Bezdek, J.C. 1995. On cluster validity for the fuzzy c-means model. *IEEE Transactions on Fuzzy systems*, 3(3): 370-379. doi: 10.1109/91.413225.
- Palmer, W.C. 1965. Meteorological drought. Office of Climatology Research Paper No. 45, US Weather Bureau, Washington DC.
- Palmer, W.C. 1968. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new crop moisture index. *Weatherwise*, 21(4): 156-161. doi:10.1080/00431672.1968.9932814.
- Panigrahi, S., Vidyarthi, V.K. 2024. Assessing the suitability of McKee et al.(1993) drought severity classification across India. *Natural Hazards*, 1-30. doi: 10.1007/s11069-024-06762-3.
- Pamuk, G., Özgürel, M., Topçuoğlu, K. 2004. Standart yağış indisi (SPI) ile Ege bölgesinde kuraklık analizi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41(1): 99-106.
- Partal, T., Yavuz, E. 2020. Orta Karadeniz ve Doğu Karadeniz Bölgesinde kuraklık indisleri üzerine trend analizi uygulanması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(2): 851-861.
- QGIS.org. 2020. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org> [Son erişim tarihi: 01.05.2023].
- Sırdaş, S. 2002. Meteorolojik kuraklık modellemesi ve Türkiye uygulaması. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Stagge, J.H., Tallaksen, L.M., Xu, C.Y., Van Lanen, H.A.J. 2014. Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI): Sensitivity to potential evapotranspiration model and parameters. Hydrology in a Changing World: Environmental and Human Dimensions. Proceedings of FRIEND-Water 2014, pp. 367-373, October, Montpellier, France.
- Stagge, J.H., Tallaksen, L.M., Gudmundsson, L., Van Loon, A.F., Stahl, K. 2015. Candidate distributions for climatological drought indices (SPI and SPEI). *International Journal of Climatology*, 35(13): 4027-4040. doi:10.1002/joc.4267.
- Sun, H., Wang, S., Jiang, Q. 2004. FCM-based model selection algorithms for

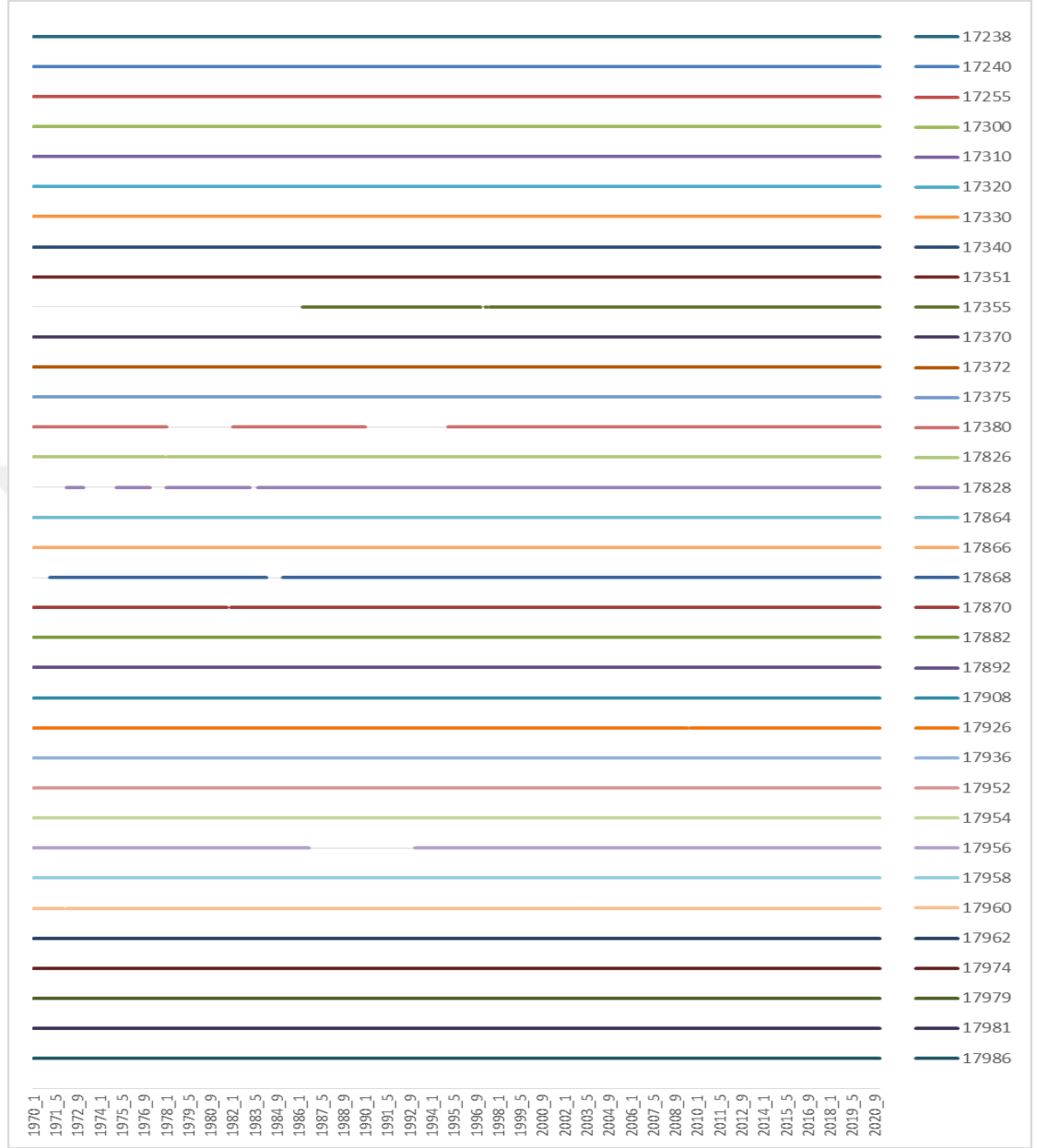
- determining the number of clusters. *Pattern recognition*, 37(10): 2027-2037. doi: 10.1016/j.patcog.2004.03.012.
- Şen, Z. 2012. Innovative trend analysis methodology. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(9): 1042-1046. doi:10.1061/(asce)he.1943-5584.0000556.
- Şen, Z. 2014. Trend identification simulation and application. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(3): 635-642. doi: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000811.
- Şen, Z. 2015. Applied drought modeling, prediction, and mitigation. Elsevier, 472 s.
- Şorman, A.Ü., Danandeh Mehr, A., Hadi, S.J. 2018. Study on spatial-temporal variations of meteorological-agricultural droughts in Turkey. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42: 483-490. doi:10.5194/isprs-archives-XLII-3-W4-483-2018.
- Tabrizi, A.A., Khalili, D., Kamgar-Haghighi, A.A., Zand-Parsa, S. 2010. Utilization of time-based meteorological droughts to investigate occurrence of streamflow droughts. *Water Resources Management*, 24: 4287-4306. doi: 10.1007/s11269-010-9659-z.
- Taşkolu, İ. 2023. Güneydoğu Anadolu Bölgesi için kuraklık analizi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Taylan, D., Aydın, T. 2018. The trend analysis of lakes region precipitation data in Turkey. *Cumhuriyet Science Journal*, 39(1): 258-273.
- Taylan, D., Aydın, T., Baykal, T., Terzi, Ö. 2023. Temporal analysis of meteorological and hydrological drought in the middle Mediterranean basin. *Bilecik Seyh Edebali University Journal of Science*, 10(1): 82-94.
- Terzi, Ö., Ersoy, T. 2018. Yapay sinir ağları ile Konya ili kuraklık tahmini. *DSİ Teknik Bülteni*, 127: 1-13.
- Terzi, Ö., Taylan, E.D., Özcanoglu, O., Baykal, T. 2019. Drought estimation of Çanakkale with data mining. *Düzce University Journal of Science & Technology*, 7: 124-135.
- Thom, H.C.S. 1958. A note on the gamma distribution. *Monthly Weather Review*, 86(4): 117-122.
- Tigkas, D., Vangelis, H., Tsakiris, G. 2015. DrinC: a software for drought analysis based on drought indices. *Earth Science Informatics*, 8(3): 697-709. doi: 10.1007/s12145-014-0178-y.
- Tigkas, D., Vangelis, H., Tsakiris, G. 2017. An enhanced effective reconnaissance drought index for the characterisation of agricultural drought. *Environmental Processes*, 4: 137-148. doi: 10.1007/s40710-017-0219-x
- Topçu, E., Seçkin, N., Açıkanal Haktanır, N. 2022. Drought analyses of Eastern Mediterranean, Seyhan, Ceyhan, and Asi Basins by using aggregate drought index (ADI). *Theoretical and Applied Climatology*, 147(3): 909-924. doi: 10.1007/s00704-021-03873-w.
- Tsakiris, G., Vangelis, H. 2005. Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European water*, 9(10): 3-11.

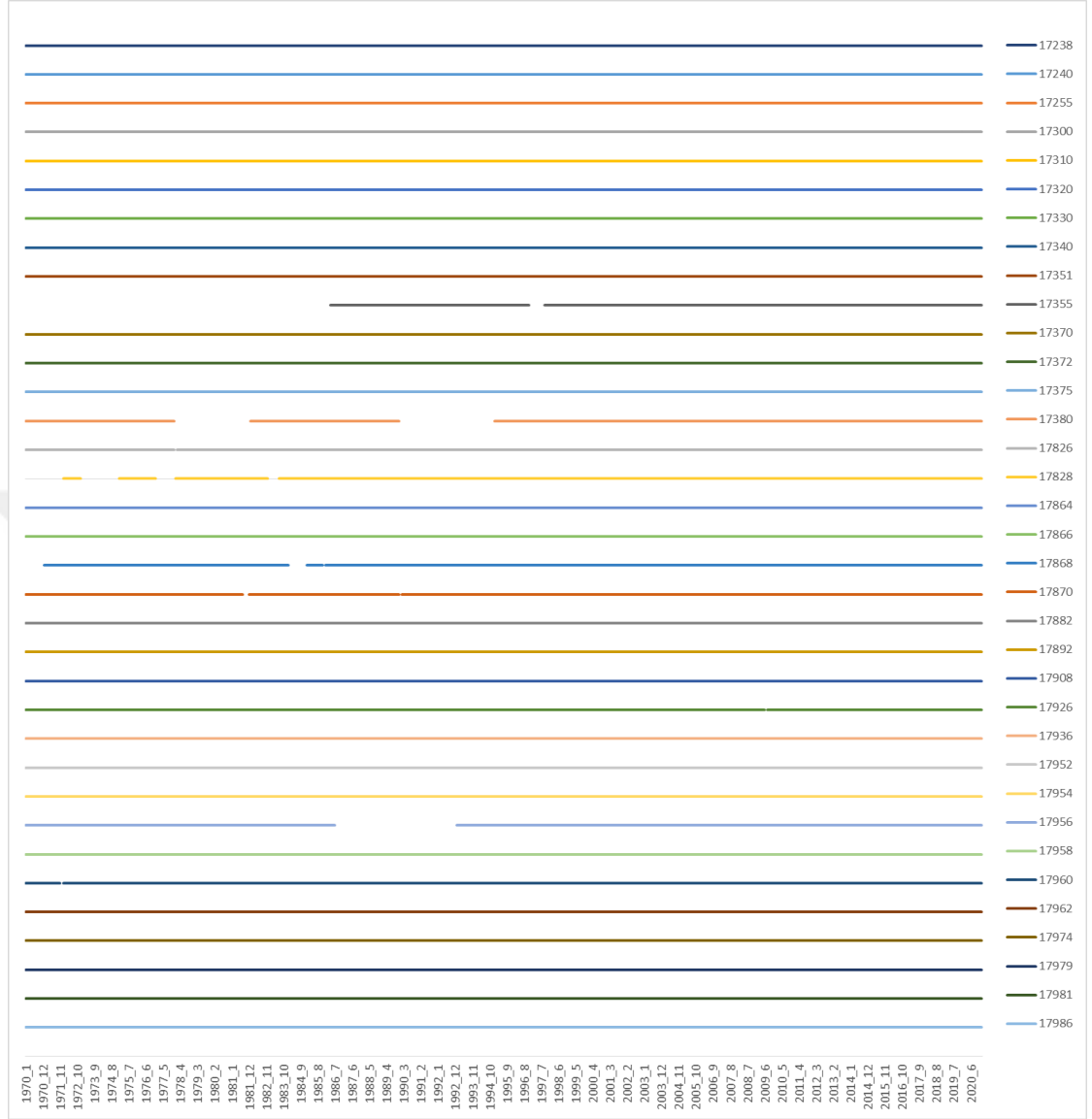
- Tsakiris, G., Pangalou, D., Vangelis, H. 2007. Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resources Management*, 21: 821-833. doi: 10.1007/s11269-006-9105-4.
- Türkeş, M., Akgündüz, A.S., Demirörs, Z. 2009. Palmer kuraklık indisi'ne göre İç Anadolu Bölgesi'nin Konya bölümü'ndeki kurak dönemler ve kuraklık şiddeti. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 7(2): 129-144.
- Uncu, E.M. 2023. Meteorolojik kuraklığın ve trendinin değerlendirilmesi: Aras ve Çoruh havzaları örneği. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- USGS. EarthExplorer. Retrieved from <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Vangelis, H., Tigkas, D., Tsakiris, G. 2013. The effect of PET method on reconnaissance drought index (RDI) calculation. *Journal of Arid Environments*, 88: 130-140.
- Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., Lopez-Moreno, J.I. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7): 1696-1718. doi:10.1175/2009jcli2909.1.
- Wang, W., Zhu, Y., Xu, R., Liu, J. 2015. Drought severity change in China during 1961-2012 indicated by SPI and SPEI. *Natural Hazards*, 75(3): 2437-2451. doi:10.1007/s11069-014-1436-5.
- Wells, N., Goddard, S., Hayes, M.J. 2004. A self-calibrating Palmer drought severity index. *Journal of Climate*, 17(12): 2335-2351.
- Yaman Öz, F., Özelkan, E., Tatlı, H. 2024. Comparative analysis of SPI, SPEI, and RDI indices for assessing spatio-temporal variation of drought in Türkiye. *Earth Science Informatics*, 1-33. doi: 10.1007/s12145-024-01401-8.
- Yıldız, B. 2017. SYİ (Standartlaştırılmış Yağış İndeksi) verilerinin yardımıyla Adana kuraklık analizi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Yılmaz, M.U. 2023. Keşif kuraklık indeksi ve standartlaştırılmış yağış indeksi kullanılarak Kırklareli ilinde kuraklığın eğilimi ve zamansal değişkenliği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 9(2): 341-364. doi: 10.21324/dacd.1296428.
- Yılmaz, E., Darende, V. 2021. Türkiye'de yağış ölçümü yapılan manuel-otomatik meteoroloji gözlem istasyonu verilerinin karşılaştırılması. *Türk Coğrafya Dergisi*, 77: 53-66.
- Zeybekoğlu, U., Ülke Keskin, A. 2020. Defining the rainfall intensity clusters in Turkey by using the fuzzy c means algorithm. *Geofizika*, 37(2): 181-195. doi: 10.15233/gfz.2020.37.8.
- Zhang, Y., Wang, W., Zhang, X., Li, Y. 2008. A cluster validity index for fuzzy clustering. *Information Sciences*, 178(4): 1205-1218.

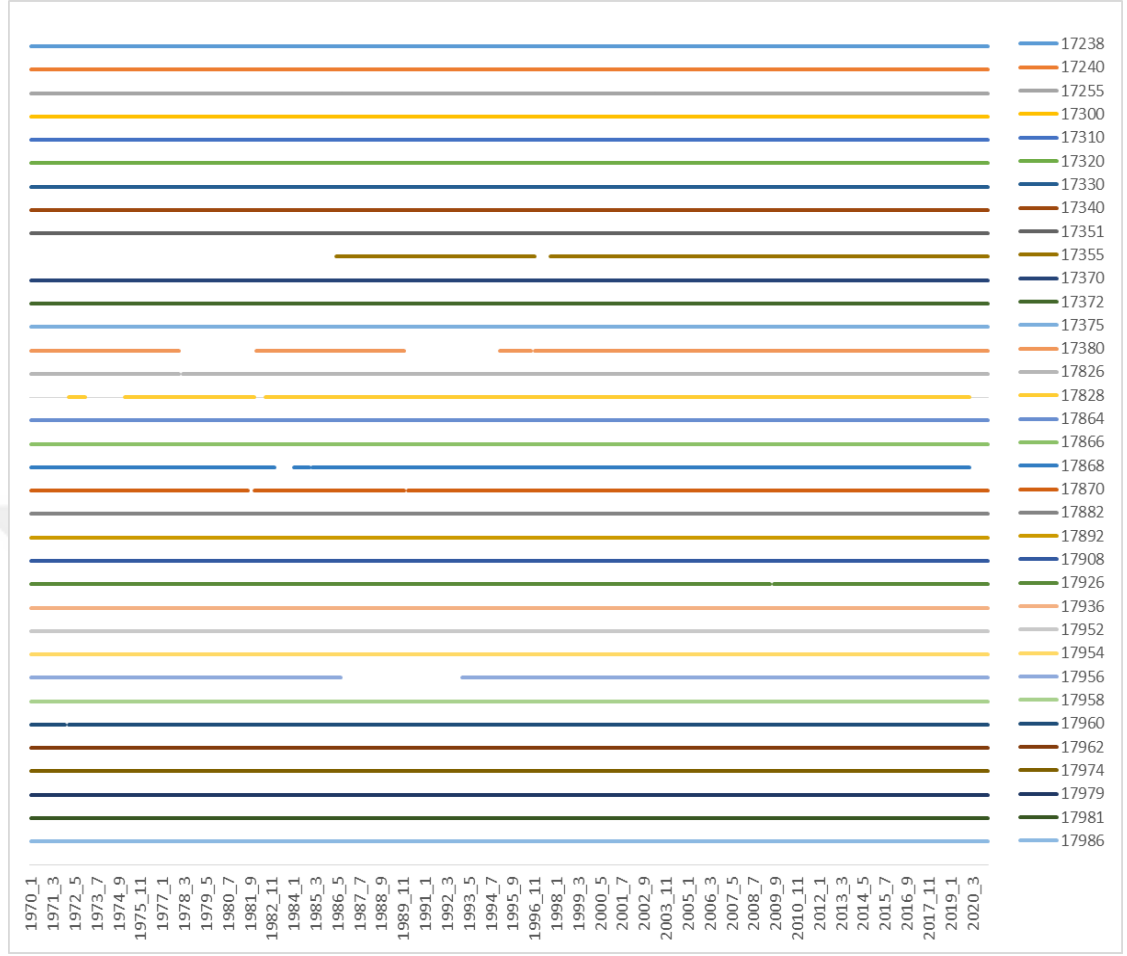
7. EKLER

EK-1. Aylık toplam yağış verilerinin süreklilikleri



EK-2. Aylık ortalama sıcaklık verilerinin süreklilikleri

EK-3. Aylık ortalama maksimum sıcaklık verilerinin süreklilikleri

EK-4. Aylık ortalama minimum sıcaklık verilerinin süreklilikleri

EK-5. Aylık yağış verilerinin maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri

İstasyon No	İstasyon Adı	Maksimum (mm)	Ortalama (mm)	Standart Sapma
17238	Burdur	195.1	34.55	29.66
17240	Isparta	217.8	42.56	37.16
17255	Kahramanmaraş	325	59.87	63.98
17300	Antalya Havalimanı	907.2	87.27	123.13
17310	Alanya	710.4	92.00	109.73
17320	Anamur	590.9	76.96	96.81
17330	Silifke	504.5	47.67	59.78
17340	Mersin	677.4	50.07	65.44
17351	Adana Bölge	415.6	55.04	61.22
17355	Osmaniye	331.4	68.75	58.08
17370	İskenderun	283	61.83	51.42
17372	Antakya	638.5	92.22	94.55
17375	Finike	653.3	77.91	101.02
17380	Kaş	506.1	66.40	82.09
17826	Senirkent	307.1	55.50	48.93
17828	Yalvaç	206.7	42.84	34.45
17864	Uluborlu	243.8	50.03	41.63
17866	Göksun	233	48.32	44.21
17868	Afşin	161	34.76	31.30
17870	Elbistan	146.6	32.26	27.61
17882	Eğirdir	560.7	67.01	70.07
17892	Tefenni	267.4	38.51	33.85
17908	Kozan	296	68.77	57.57
17926	Korkuteli	240.8	31.61	30.78
17936	Karaisalı	676.6	73.53	77.47
17952	Elmalı	354.1	39.87	41.45
17954	Manavgat	780.8	92.78	117.14
17956	Mut	248.8	32.18	36.75
17958	Erdemli	646.8	47.66	62.66
17960	Ceyhan	408	59.33	59.17
17962	Dört Yol	316	78.50	62.35
17974	Gazipaşa	499.8	70.63	83.89
17979	Yumurtalık	476.1	66.47	69.41
17981	Karataş	513.6	64.57	79.86
17986	Samandağ	433.6	75.78	75.16

EK-6. 17240 nolu istasyon için OK kuraklık olaylarının zamanı, KS ve S değerleri

SPI-3				SPI-6				SPI-12			
Yıl	Kurak Ay(lar)	KS	S	Yıl	Kurak Ay(lar)	KS	S	Yıl	Kurak Ay(lar)	KS	S
1972	4	1	-1.3	1972	6	1	-1.17	1973	1	1	-1.14
1972	9	1	-1.03	1972	12	1	-1.09	1973	5-9	5	-1.31
1973	5	1	-1.39	1973	8-9	2	-1.45	1973	12	1	-1.35
1973	9	1	-1.23	1973	11	1	-1.31	1974	2	1	-1.1
1973-1974	11-1	3	-1.2	1974	12	1	-1.1	1974	4	1	-1.03
1974	11-12	2	-1.29	1977	4	1	-1.22	1977	5	1	-1.19
1977	1-2	2	-1.22	1977	10-11	2	-1.14	1977	9	1	-1.28
1977	5-6	2	-1.05	1978	8	1	-1.07	1977	12	1	-1.39
1979	4	1	-1.21	1981	8-10	3	-1.23	1985	4-5	2	-1.16
1981	10-11	2	-1.25	1984	11-12	2	-1.45	1985	9	1	-1
1984	9	1	-1.06	1985	8	1	-1.35	1986-1987	3-2	12	-1.24
1985	5-7	3	-1.11	1986	6	1	-1.03	1989	7-8	2	-1.18
1986	4	1	-1.13	1986	9	1	-1.49	1989	10-11	2	-1.29
1989	2-3	2	-1.43	1986	11	1	-1.28	1991	2-3	2	-1.06
1989	8	1	-1.03	1988	1	1	-1.21	1992	12	1	-1.1
1992	3	1	-1.09	1989	8	1	-1.35	1993	4	1	-1.16
1992	10	1	-1.42	1990	1-2	2	-1.27	1993	9	1	-1.07
1993	8	1	-1.16	1990	7	1	-1.13	1993	12	1	-1.06
1995	1-2	2	-1.2	1991	1	1	-1.18	1994	6-7	2	-1.14
1995	6	1	-1.08	1991	3	1	-1.09	2000	6-7	2	-1.39
1995-1996	12-1	2	-1.16	1993	1-2	2	-1.14	2001	5-10	6	-1.14
1996	11	1	-1.12	1993	11-12	2	-1.09	2005	1	1	-1.17
2000	8	1	-1.21	1997	3	1	-1.05	2006	2	1	-1.17
2001	4	1	-1.08	1999	6	1	-1.25	2007	10-11	2	-1.37
2002	8	1	-1.47	1999	10-11	2	-1.36	2008	1	1	-1.22
2004	5	1	-1.03	2000	4	1	-1.4	2008	3-5	3	-1.36
2004	10	1	-1.15	2001	7	1	-1.13	2008	8-11	4	-1.3
2004	12	1	-1.34	2001	10	1	-1.35	2009	1	1	-1
2005	12	1	-1.01	2004	7-8	2	-1.05	2020	1-3	3	-1.3
2006	2	1	-1.36	2004	10	1	-1.43	2020	5-7	3	-1.06
2008	2	1	-1.25	2006	2	1	-1.04	2020	9	1	-1.06
2008	4-5	2	-1.22	2007	6	1	-1.06				
2011	9	1	-1	2007	10	1	-1.15				
2011	12	1	-1	2008	8	1	-1.22				
2014	2	1	-1.16	2011	12	1	-1.45				
2015	11	1	-1.15	2015	12	1	-1.48				
2016	12	1	-1.09	2016	2-3	2	-1.19				
2017	4	1	-1.23	2017	2	1	-1.05				
2019	10-12	3	-1.21	2019	12	1	-1.48				
				2020	2-4	3	-1.22				

EK-7. Her kümede gözlenen kuraklıkların süresi (KS), şiddeti (S), zamanı ve ortalama sıcaklık değerleri

Metot	Küme	Kuraklık Sınıflandırması	Yıl	Kurak Ay(lar)*	KS	S	T (°C)**
SPI-3	B	SK	1971	10	1	-1.55	19.8
		OK	1971	12	1	-1.07	11.7
		SK	1972	12	1	-1.65	12.03
		AK	1973	1	1	-2.4	10.57
		SK	1973	2	1	-1.72	12.49
		OK	1973	3-4	2	-1.12	14.39
		SK	1973	5	1	-1.76	20.99
		OK	1973	6	1	-1.1	24.64
		OK	1974	1	1	-1.27	9.36
		OK	1974	6	1	-1.24	24.07
		OK	1977	10	1	-1.02	19.36
		SK	1977	11	1	-1.6	16.81
		OK	1985	6	1	-1.09	24.29
		SK	1986	5	1	-1.61	19.8
		OK	1986	11	1	-1.31	14.8
		OK	1989	2	1	-1.06	10.81
		SK	1989	3-4	2	-1.64	16.21
		OK	1989	5-6	2	-1.24	22.21
		OK	1990	2-3	2	-1.17	12.32
		OK	1990	5	1	-1.08	20.27
		SK	1990	11	1	-1.59	16.93
		OK	1990-1991	12-1	2	-1.28	12.01
		OK	1992	3	1	-1.14	11.73
		AK	1992	10	1	-2.15	21.25
		OK	1993	10	1	-1.02	22.86
		OK	1993	12	1	-1.27	13.52
		OK	1997	3	1	-1.26	11.93
		SK	1999	11	1	-1.7	16.97
		OK	1999-2000	12-1	2	-1.32	11.49
		OK	2003	10	1	-1.05	21.96
		OK	2004	7	1	-1.3	28.71
		OK	2006	6-7	2	-1.3	26.76
		OK	2007	1	1	-1.26	11.43
		SK	2007	2	1	-1.88	12.17
		OK	2007	6	1	-1.01	26.37
		OK	2007	8-9	2	-1.14	27.62
		SK	2008	3	1	-1.52	15.56
		OK	2008	5-8	4	-1.16	26.69
		OK	2009	8	1	-1.2	28.79
		AK	2010	5	1	-2.03	21.51
		OK	2013	12	1	-1.15	11.64
		OK	2014	2	1	-1.3	13.06
		OK	2014	4	1	-1.43	17.33

EK-7'nin devamı

Metot	Küme	Kuraklık Sınıflandırması	Yıl	Kurak Ay(lar)*	KS	S	T (°C)**
SPI-3	B	SK	2015-2016	12-2	3	-1.57	12.52
		OK	2016	4	1	-1.02	19.16
		OK	2016	10-11	2	-1.27	19.99
		OK	2018	6	1	-1.17	26.13
		OK	2020	4	1	-1.16	17.36
	K	OK	1972	3	1	-1.17	6.3
		OK	1972	12	1	-1.06	1.28
		SK	1973	1	1	-1.88	-0.04
		OK	1973	2	1	-1	3.69
		OK	1973	5	1	-1.16	16.93
		OK	1973-1974	12-1	2	-1.11	-0.23
		OK	1978	6	1	-1.01	19.98
		SK	1978	7	1	-1.78	24.48
		OK	1978	8	1	-1.04	22.19
		OK	1979	4	1	-1.37	10.93
		SK	1981	10	1	-1.64	15.55
		OK	1984	7	1	-1.37	22.58
		OK	1984	10	1	-1.12	13.71
		OK	1985	9	1	-1.01	19.21
		SK	1986	5	1	-1.53	13.06
		SK	1989	2-3	2	-1.82	4.74
		AK	1989	4	1	-2.04	14.99
		OK	1989	5	1	-1.34	16.01
		SK	1989	6	1	-1.9	19.67
		OK	1989	7	1	-1.06	23.86
		OK	1990	2	1	-1.05	2.06
		SK	1990	3	1	-1.73	7.05
		OK	1990	4-5	2	-1.15	12.73
		OK	1990	11	1	-1.11	8.59
		OK	1992	3	1	-1.2	2.89
		SK	1992	10	1	-1.51	15.4
		OK	1993	10	1	-1.39	14.97
		OK	1997	3	1	-1.21	3.31
		OK	1999	5-6	2	-1.35	18.72
		SK	1999	11-12	2	-1.71	6.13
		OK	2000	1	1	-1.02	-2.12
		OK	2001	2-3	2	-1.29	7.3
		OK	2001	10	1	-1.04	13.64
		OK	2004	10	1	-1.2	14.97
		OK	2007	1-2	2	-1.19	1.58
		OK	2007	5	1	-1.22	17.99
		OK	2008	3	1	-1.44	9.27
		OK	2008	6-8	3	-1.11	24.07
		OK	2010	5	1	-1.01	16.98
		OK	2012	8-9	2	-1.12	22.32

EK-7'nin devamı

Metot	Küme	Kuraklık Sınıflandırması	Yıl	Kurak Ay(lar)*	KS	S	T (°C)**
SPI-3	K	OK	2014	2	1	-1.42	5.4
		SK	2015	12	1	-1.87	2.48
		OK	2016	1-2	2	-1.14	3.9
		OK	2016	12	1	-1.23	0.12
		OK	2017	2	1	-1.14	2.21
		OK	2019	5	1	-1.04	17.32
		OK	2019	11	1	-1.15	9.35
	D	OK	1971	2	1	-1.14	9.84
		OK	1972	1	1	-1.29	6.67
		SK	1972	2-3	2	-1.51	10.6
		SK	1972	12	1	-1.61	9.81
		AK	1973	1-2	2	-2.2	10.16
		OK	1973	3	1	-1.42	12.96
		OK	1974	7	1	-1.16	27.72
		OK	1975	10	1	-1.45	21.17
		OK	1977	11	1	-1.31	16.16
		OK	1983	1	1	-1.11	6.6
		SK	1984	7	1	-1.62	26.87
		OK	1986	4	1	-1.36	19.1
		OK	1987	6	1	-1.11	24.19
		OK	1989	2	1	-1.33	10.15
		AK	1989	3-4	2	-2.36	17.57
		SK	1989	5-6	2	-1.65	23.32
		OK	1990	5	1	-1.14	20.85
		OK	1991	1	1	-1.06	9.32
		SK	1992	3	1	-1.52	11.21
		OK	1992	4	1	-1.08	16.53
		OK	1992	10	1	-1.13	21.79
		SK	1993	10-12	3	-1.62	16.64
		OK	1999	11-12	2	-1.29	14.35
		SK	2001	1	1	-1.73	11.13
		OK	2004	5	1	-1.48	20.69
		OK	2005	2	1	-1.49	10.27
		SK	2006	6	1	-1.58	24.43
		OK	2007	2	1	-1.03	11.3
		OK	2012	5	1	-1.06	21.29
		OK	2012	9	1	-1.05	27.39
		SK	2013	12	1	-1.94	9.96
		AK	2014	1	1	-2.03	12.02
		SK	2014	2	1	-1.9	12.56
		OK	2014	3-4	2	-1.16	17.12
		SK	2015-2016	12-1	2	-1.74	10.18
		OK	2016	2	1	-1.21	13.87
		OK	2016	4	1	-1.06	19.95
		OK	2016	11	1	-1.07	15.54

EK-7'nin devamı

Metot	Küme	Kuraklık Sınıflandırması	Yıl	Kurak Ay(lar)*	KS	S	T (°C)**
SPI-3	D	OK	2019	11	1	-1.22	17.86
		OK	2020	8	1	-1	29.19
		SK	2020	9	1	-1.6	28.96
SPI-6	B	SK	1971	10	1	-1.77	19.8
		OK	1971-1972	12-3	4	-1.23	11.41
		SK	1972-1973	12-2	3	-1.84	11.7
		AK	1973	3-5	3	-2.21	16.59
		OK	1973	6-7	2	-1.36	26.01
		SK	1973	8	1	-1.55	27.3
		OK	1974	4	1	-1.06	15.91
		OK	1977	10	1	-1.21	19.36
		SK	1977	11	1	-1.55	16.81
		OK	1983	9	1	-1.15	24.23
		OK	1984	10	1	-1.18	21.23
		OK	1985	9	1	-1.21	25.41
		SK	1986	8	1	-1.57	27.34
		OK	1986	11	1	-1.37	14.8
		OK	1989	5	1	-1.31	20.93
		SK	1989	6-7	2	-1.89	25.55
		OK	1989	8	1	-1.14	27.29
		SK	1989	9	1	-1.66	24.87
		OK	1990	5	1	-1.39	20.27
		SK	1990	6	1	-1.54	24.2
		OK	1990	8-9	2	-1.06	25.88
		SK	1990	11	1	-1.6	16.93
		OK	1990	12	1	-1.42	13.2
		SK	1991	1-3	3	-1.58	12.01
		OK	1991	4	1	-1.45	16.78
		OK	1993	12	1	-1.36	13.52
		SK	1999	11	1	-1.79	16.97
		OK	1999-2000	12-3	4	-1.43	11.51
		OK	2002	10	1	-1.14	21.49
		OK	2004	7-8	2	-1.06	28.36
		OK	2004	10	1	-1.06	22.66
		OK	2007	4	1	-1.36	16.43
		SK	2007	5	1	-1.94	21.61
		OK	2007	6	1	-1.24	26.37
		OK	2007	9	1	-1.42	26.07
		SK	2008	6	1	-1.83	26.74
		OK	2008	7-8	2	-1.15	29.57
		SK	2010	8	1	-1.9	30.21
		OK	2010	9	1	-1.01	27.34
		OK	2013-2014	12-5	6	-1.27	15.05
		OK	2015	12	1	-1.11	13.24
		OK	2016	2-3	2	-1.36	14.96

EK-7'nin devamı

Metot	Küme	Kuraklık Sınıflandırması	Yıl	Kurak Ay(lar)*	KS	S	T (°C)**
SPI-6	B	SK	2016	4	1	-1.79	19.16
		OK	2016	5	1	-1.35	20.84
		SK	2016	11	1	-1.5	17.21
		OK	2017	2-3	2	-1.17	13.22
		OK	2018	9	1	-1.39	27.39
		OK	2019	10	1	-1.25	23.76
		OK	2020	7	1	-1.1	29.03
	K	OK	1972	3	1	-1.04	6.3
		OK	1973	1	1	-1.15	-0.04
		OK	1973	3	1	-1.12	5.08
		SK	1973	4-5	2	-1.51	13.44
		OK	1973-1974	8-1	6	-1.2	10.42
		OK	1977	11	1	-1.09	9.33
		OK	1981	9	1	-1.03	19.72
		SK	1984	10	1	-1.82	13.71
		OK	1985	9	1	-1.16	19.21
		OK	1986	8	1	-1.17	24.19
		OK	1989	4	1	-1.24	14.99
		AK	1989	5-7	3	-2.43	19.85
		SK	1989	8	1	-1.55	23.87
		AK	1989	9	1	-2.1	19.08
		SK	1990	5-6	2	-1.54	17.21
		OK	1990	7-8	2	-1.15	23.71
		OK	1990	11	1	-1.21	8.59
		OK	1991	3	1	-1.13	8.19
		OK	1993	11-12	2	-1.04	4.86
		OK	2000	2	1	-1.09	0.01
		OK	2001	3-4	2	-1.29	11.23
		OK	2004	7-8	2	-1.13	23.46
		OK	2004	10	1	-1.4	14.97
		OK	2004	12	1	-1.05	1.86
		OK	2007	4	1	-1.46	9.43
		SK	2007	5	1	-1.75	17.99
		OK	2007	6-8	3	-1.1	24.04
		OK	2008	5	1	-1.16	15.25
		SK	2008	6	1	-1.85	21.83
		OK	2008	7-8	2	-1.26	25.19
		OK	2012	11	1	-1.47	9.18
		OK	2014	4	1	-1.12	12.34
		OK	2015	12	1	-1.46	2.48
		OK	2016	2-4	3	-1.36	9.77
		SK	2017	2-3	2	-1.55	4.87
	D	OK	1971	10	1	-1.25	20.12
		SK	1972	1-3	3	-1.82	9.29
		OK	1972	4-5	2	-1.33	19.25

EK-7'nin devamı

Metot	Küme	Kuraklık Sınıflandırması	Yıl	Kurak Ay(lar)*	KS	S	T (°C)**
SPI-6	D	OK	1972	12	1	-1.34	9.81
		AK	1973	1-3	3	-2.13	11.1
		SK	1973	4-5	2	-1.82	18.86
		OK	1974	2	1	-1.05	10.88
		OK	1975	10	1	-1.21	21.17
		OK	1977	11	1	-1.31	16.16
		OK	1982	6	1	-1.15	24.52
		SK	1984	10	1	-1.7	21.46
		OK	1986	4	1	-1.15	19.1
		OK	1989	4	1	-1.24	20.37
		SK	1989	5	1	-1.95	22.37
		AK	1989	6-7	2	-2.76	25.99
		SK	1989	8-9	2	-1.78	26.79
		OK	1990	8	1	-1	27.67
		OK	1991	1-3	3	-1.2	10.88
		OK	1993	11	1	-1.43	13.36
		SK	1993	12	1	-1.75	12.75
		OK	1999	12	1	-1.11	12.78
		OK	2001	1	1	-1.24	11.13
		OK	2001	4	1	-1.15	18.31
		OK	2004	7	1	-1.4	28.33
		SK	2004	8	1	-1.75	28.21
		OK	2004	10	1	-1.08	23.42
		OK	2005	5	1	-1.43	21.02
		OK	2008	6	1	-1.02	26.25
		OK	2012	8-9	2	-1.19	28.55
		OK	2013	12	1	-1.33	9.96
		SK	2014	1	1	-1.72	12.02
		AK	2014	2-4	3	-2.17	15.6
		SK	2014	5	1	-1.87	21.51
		OK	2014	6	1	-1.17	25.03
		SK	2015-2016	12-2	3	-1.7	11.41
		OK	2016	3	1	-1.49	15.65
		SK	2016	4	1	-1.84	19.95
		OK	2016	5	1	-1.33	21.18
		OK	2016	11	1	-1.01	15.54
SPI-12	B	OK	1972	2-4	3	-1.17	13.7
		OK	1972-1973	12-2	3	-1.32	11.7
		SK	1973	3-4	2	-1.8	14.39
		AK	1973	5-10	6	-2.25	24.61
		SK	1973	11	1	-1.74	14.66
		OK	1973-1974	12-2	3	-1.37	11.61
		OK	1974	10	1	-1.2	21.87
		OK	1986	11	1	-1.12	14.8
		OK	1987	2	1	-1.24	12.91

EK-7'nin devamı

Metot	Küme	Kuraklık Sınıflandırması	Yıl	Kurak Ay(lar)*	KS	S	T (°C)**
SPI-12	B	OK	1989-1990	12-1	2	-1.21	10.94
		OK	1990	10	1	-1.19	21.52
		AK	1990	11-12	2	-2.08	15.07
		SK	1991	1-9	9	-1.71	19.52
		OK	1991	10-11	2	-1.2	18.63
		OK	2000	2-3	2	-1.24	11.54
		OK	2006	1	1	-1.07	10.73
		SK	2007	10-11	2	-1.66	19.6
		OK	2008	12	1	-1.44	12.94
		OK	2013-2014	12-9	10	-1.26	19.85
		OK	2016	2-8	7	-1.23	22.18
		SK	2016	9	1	-1.53	26.14
		AK	2016	10	1	-2.06	22.77
		SK	2016	11	1	-1.98	17.21
		OK	2016-2017	12-3	4	-1.16	11.82
	K	OK	1973	5-7	3	-1.22	20.03
		SK	1973	8-12	5	-1.7	13.2
		OK	1974	1-9	9	-1.18	12.8
		OK	1989	4-8	5	-1.32	19.68
		SK	1989	9	1	-1.57	19.08
		OK	1989-1990	10-1	4	-1.33	4.83
		OK	1990	3-4	2	-1.15	8.92
		OK	1990	10	1	-1.1	13.88
		SK	1990	11-12	2	-1.81	6.33
		OK	1991	1-3	3	-1.33	2.64
		OK	2000	2-3	2	-1.07	1.8
		OK	2001	3-4	2	-1.01	11.23
		OK	2001	6-7	2	-1.1	23.58
		OK	2001	9-10	2	-1.31	16.97
		OK	2005	1-2	2	-1.07	2.03
		SK	2007	10	1	-1.54	14.46
		OK	2007	11	1	-1.02	7.57
		OK	2008	12	1	-1.42	2.52
		OK	2014	2	1	-1.19	5.4
		OK	2014	4	1	-1.14	12.34
		OK	2016	6	1	-1.07	22.01
		OK	2016	8	1	-1	25.01
		OK	2016	10-11	2	-1.12	11.02
		OK	2017	2-3	2	-1.04	4.87
	D	OK	1972	2-3	2	-1.21	10.6
		SK	1972	4	1	-1.83	18.26
		OK	1972	5-9	5	-1.29	24.74
		OK	1972-1973	11-5	7	-1.37	13.65
		SK	1973	6-9	4	-1.69	26.42
		AK	1973	10	1	-2.02	22.15

EK-7'nin devamı

Metot	Küme	Kuraklık Sınıflandırması	Yıl	Kurak Ay(lar)*	KS	S	T (°C)**
SPI-12	D	SK	1973	11	1	-1.76	12.98
		OK	1973	12	1	-1.14	10.67
		OK	1974	6-7	2	-1.16	26.2
		OK	1982-1983	12-1	2	-1.29	8.09
		OK	1989-1990	6-1	8	-1.11	19.78
		OK	1990-1991	12-2	3	-1.26	10.17
		SK	1991	3	1	-1.5	14.07
		OK	1991	6-9	4	-1.11	26.22
		SK	1993	12	1	-1.5	12.75
		OK	1999	12	1	-1.05	12.78
		OK	2001	4	1	-1.04	18.31
		OK	2005	1	1	-1.44	10.25
		SK	2005	2	1	-1.64	10.27
		OK	2005	3-5	3	-1.14	17.55
		OK	2005	11	1	-1	14.11
		OK	2007	11	1	-1.06	15.86
		OK	2013-2014	12-1	2	-1.22	10.99
		SK	2014	2	1	-1.63	12.56
		OK	2014	3	1	-1.43	15.59
		SK	2014	4	1	-1.92	18.65
		AK	2014	5	1	-2.09	21.51
		SK	2014	6-9	4	-1.7	26.92
		OK	2014	10	1	-1.29	21.12
		OK	2016	2	1	-1.35	13.87
		SK	2016	3-8	6	-1.73	23.56
		OK	2016	9	1	-1.47	25.77
		SK	2016	10-11	2	-1.74	19.16
		OK	2017	2	1	-1	10.56

*1: Ocak; 12: Aralık

**T, ortalama hava sıcaklığı (°C): Ortalama hava sıcaklığı, günlük ortalama sıcaklık verilerinin aylık ortalamasıdır. 2003 yılından sonra genellikle manuel istasyonların yerini otomatik hava gözlem istasyonları (AWOS, Automatic Weather Observation Stations) aldığından, bu çalışmada kullanılan günlük ortalama sıcaklık verileri iki farklı yoldan elde edilmiştir. 2003 yılına kadar günlük ortalama sıcaklık verileri yerel saat ile 07:00, 14:00 ve 21:00 saatlerinde ölçülen sıcaklık verilerinden elde ediliyordu. Her bir istasyondaki hava sıcaklığı, saat 7:00, 14:00 ve 21:00'de iki kez ölçülen sıcaklıkların toplamının dörde bölünmesiyle elde edilmiştir. 2003 yılından sonra AWOS'ların günlük ortalama sıcaklık verileri, bir gün boyunca belirli zaman aralıklarında ölçülen sıcaklık verilerinin aritmetik ortalamasıdır.

ÖZGEÇMİŞ

Dilayda SOYLU PEKPOSTALCI

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Doktora 2017-2024	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Yüksek Lisans 2016-2017	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Yüksek Lisans 2014-2016	Boğaziçi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul
Lisans 2009-2014	Boğaziçi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Araştırma Görevlisi 2023-2024	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya
Araştırma Görevlisi 2016-2023	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

- 1- Soylu Pekpostalci D., Tur R., & Danandeh Mehr A. (2023). Spatiotemporal Variations in Meteorological Drought across the Mediterranean Region of Turkey. *Pure and Applied Geophysics*, 180(3), 3089-3104. DOI: 10.1007/s00024-023-03312-z.
- 2- Soylu Pekpostalci, D., Tur, R., Danandeh Mehr, A., Vazifekhah Ghaffari, M. A., Dąbrowska, D., & Nourani, V. (2023). Drought Monitoring and Forecasting across Turkey: A Contemporary Review. *Sustainability*, 15(7), 6080. DOI: 10.3390/su15076080.
- 3- Tur, R., Soylu Pekpostalci, D., Arlı Küçükösmanoğlu, Ö., & Küçükösmanoğlu, A. (2017). Prediction of Significant Wave Height along Konyaaltı Coast. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9(4), 106-114. DOI: 10.24107/ijeas.368922
- 4- Tur, R., Soylu, D. (2016). Anfis Model for Prediction of Current Velocity at Filyos Region. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 8(4), 1-9. DOI: 10.24107/ijeas.281420.

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

- 1- Tür R., Soylu Pekpostalcı D., & Küçükösmanoğlu A. (2018). Antalya Körfezi'nde Rüzgâr Verilerine Dayalı Dalga Tahmin Yöntemleri. 9. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu. (Bildiri), 653-665.