



**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ERZURUM İLİNDEKİ KAR KURAKLIĞININ
İKLİM VERİLERİ YARDIMIYLA FARKLI İNDİSLERLE HESAPLANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammet SAVAŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tezli Yüksek Lisans Programı

TEMMUZ 2023

**T.C.
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ERZURUM İLİNDEKİ KAR KURAKLIĞININ
İKLİM VERİLERİ YARDIMIYLA FARKLI İNDİSLERLE HESAPLANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Muhammet SAVAŞ
(20262821051)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tezli Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Egemen ARAS

TEMMUZ 2023



20.04.2016 tarihli Resmî Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Muhammet SAVAŞ

İmzası:

X X X X X



Umut dolu geleceğe...

ÖNSÖZ

Lisansüstü eğitimim boyunca, aynı zamanda tez çalışma sürecimde ilgisini benden esirgemeyen; bilgi ve tecrübeleriyle rehberlik eden çok kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Egemen ARAS'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca desteğini üzerimden eksik etmeyen saygıdeğer hocam Doç. Dr. Babak VAHEDDOOST'a teşekkür ederim.

Tez kapsamında meteorolojik verilerin temini için devamlı desteklerini sağlayan Erzurum 12. Bölge Meteoroloji Müdürlüğüne ve Sayın Hüsniye KIRMIZITAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak tez çalışmam süresince maddi manevi tüm destekleri ile her zaman ve her koşulda yanımda olan aileme ve arkadaşşıma minnettarım.

Haziran 2023

Muhammet SAVAŞ
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR.....	x
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Literatür Araştırması	4
2. GENEL BİLGİLER.....	11
2.1 Yağışlar	11
2.1.1 Yağış tipleri ve yağışın meydana gelmesi.....	11
2.1.2 Yağışın ölçülmesi.....	12
2.1.3 Kar.....	14
2.2 Kuraklık.....	15
2.3 Küresel Isınma ve İklim Değişikliği	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
3.1 Çalışma Bölgesi.....	18
3.2 Çalışmada Kullanılan Veri Setleri.....	20
3.3 Eksik Veri Setinin Tamamlanması.....	21
3.3.1 Yağış verilerinin tamamlanması	22
3.3.2 Kar suyu eşdeğeri (SWE) verilerinin tamamlanması.....	22
3.4 Kuraklık İndisleri	23
3.4.1 Standartlaştırılmış yağış indisi (SPI).....	23
3.4.2 Standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indisi (SPEI).....	24
3.4.3 Standartlaştırılmış kar indisi (SSPI).....	25
3.5 Kuraklığın Süresi, Şiddeti ve Büyüklüğü.....	26
3.6 Kullanılan Programlar	26
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	27
4.1 İklimsel Verilerin Değerlendirilmesi.....	27
4.1.1 Yağış	27
4.1.2 Sıcaklık.....	31
4.1.3 Kar yüksekliği	34
4.1.4 Kar suyu eşdeğeri (SWE).....	37
4.2 Kuraklık Analiz Sonuçları.....	41
4.2.1 Standartlaştırılmış yağış indisi (SPI) sonuçları.....	42
4.2.2 Standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indisi (SPEI) sonuçları	50
4.2.3 Standartlaştırılmış kar indisi (SSPI) sonuçları	59

4.3 SPI, SPEI ve SSPI İndislerinin Karşılaştırılması	68
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	71
KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	79



KISALTMALAR

a	: SPEI formülünde kullanılan sabit değer
D	: Kuraklık Süresi
F-SWE	: Formül ile Elde Edilen Kar Suyu Eşdeğeri
HS	: Kar Yüksekliği
I	: Kuraklık Büyüklüğü
I	: Sıcaklık (Yıllık)
ICAO	: Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü
i	: Zaman Ölçeği (Ay)
Max	: Maksimum
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Min	: Minimum
n	: İstasyon Sayısı
Ort	: Ortalama
P	: Yağış
PET	: Potansiyel Evapotranspirasyon
R-SWE	: R-Studio ile Elde Edilen Kar Suyu Eşdeğeri
S	: Kuraklık Şiddeti
SPEI	: Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi
SPI	: Standartlaştırılmış Yağış İndisi
SSPI	: Standartlaştırılmış Kar İndisi
Std	: Standart Sapma
SWE	: Kar Suyu Eşdeğeri
t	: Sıcaklık (Aylık)
WMO	: Dünya Meteoroloji Organizasyonu
ρ_b	: Kar Yoğunluğu
σ	: Standart Sapma

SEMBOLLER

%	: Yüzde
°C	: Santigrat Derece
cm	: Santimetre
m	: Metre
mm	: Milimetre



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Sera gazlarının küresel ısınmaya etkileri.....	16
Çizelge 3.1 : Erzurum ili iklim sınıflandırması	20
Çizelge 3.2 : Erzurum ili gözlem istasyonlarının bilgileri.....	20
Çizelge 3.3 : Kuraklık indislerinin kategori sınıflandırması.	25
Çizelge 4.1 : Su yılı aylık yağış verileri.	27
Çizelge 4.2 : Su yılı aylık sıcaklık verileri.	31
Çizelge 4.3 : Su yılı aylık kar yükseklik verileri.	34
Çizelge 4.4 : Erzurum ili SWE korelasyon kat sayıları.	38
Çizelge 4.5 : Su yılı aylık kar suyu eşdeğer verileri.	39
Çizelge 4.6 : 17096/Erzurum Havalimanı istasyonu SPI analiz sonuçları.	43
Çizelge 4.7 : 17666/İspir istasyonu SPI analiz sonuçları.	44
Çizelge 4.8 : 17668/Oltu istasyonu SPI analiz sonuçları.....	45
Çizelge 4.9 : 17688/Tortum istasyonu SPI analiz sonuçları.....	46
Çizelge 4.10 : 17690/Horasan istasyonu SPI analiz sonuçları.	48
Çizelge 4.11 : 17740/Hınıs istasyonu SPI analiz sonuçları.	49
Çizelge 4.12 : SPI analizinin kuraklık özet tablosu.	49
Çizelge 4.13 : 17096/Erzurum Havalimanı istasyonu SPEI analiz sonuçları.....	51
Çizelge 4.14 : 17666/İspir istasyonu SPEI analiz sonuçları.	53
Çizelge 4.15 : 17668/Oltu istasyonu SPEI analiz sonuçları.	54
Çizelge 4.16 : 17688/Tortum istasyonu SPEI analiz sonuçları.	55
Çizelge 4.17 : 17690/Horasan istasyonu SPEI analiz sonuçları.	57
Çizelge 4.18 : 17740/Hınıs istasyonu SPEI analiz sonuçları.....	58
Çizelge 4.19 : SPEI analizinin kuraklık özet tablosu.	58
Çizelge 4.20 : 17096/Erzurum Havalimanı istasyonu SSPI analiz sonuçları.....	60
Çizelge 4.21 : 17666/İspir istasyonu SSPI analiz sonuçları.	62
Çizelge 4.22 : 17668/Oltu istasyonu SSPI analiz sonuçları.	63
Çizelge 4.23 : 17688/Tortum istasyonu SSPI analiz sonuçları.....	64
Çizelge 4.24 : 17690/Horasan istasyonu SSPI analiz sonuçları.	66
Çizelge 4.25 : 17740/Hınıs istasyonu SSPI analiz sonuçları.....	67
Çizelge 4.26 : SSPI analizinin kuraklık özet tablosu.....	67

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Su döngüsü.	11
Şekil 2.2 : Çeşitli Plüviyometre ve Plüviyograf ölçüm cihazları.....	12
Şekil 2.3 : Otomatik gözlem istasyonu.	13
Şekil 2.4 : Kar direğinin yerleşimi.....	14
Şekil 2.5 : Kuraklık sıralama şeması.	15
Şekil 2.6 : 1860-2000 Yılları arası küresel sıcaklık artış değişimi.	16
Şekil 2.7 : Milankovitch döngüsü.....	17
Şekil 3.1 : Erzurum ilinin ülkesel konumu.	18
Şekil 3.2 : Köppen iklim sınıflandırmasına göre Türkiye iklimi.....	19
Şekil 3.3 : Erzurum ilçe merkezleri ve gözlem istasyonların merkez konumu.	21
Şekil 3.4 : Doğu Anadolu Gözlemevi otomatik gözlem istasyonu.....	22
Şekil 4.1 : Su yılı aylık ortalama yağış değerleri.....	28
Şekil 4.2 : Yıllık ortalama yağış değişimi.	29
Şekil 4.3 : Yağış verileri için çift kütle eğri analiz değerleri.....	30
Şekil 4.4 : Su yılı aylık ortalama sıcaklık değerleri.....	32
Şekil 4.5 : Yıllık ortalama sıcaklık değişimi.	33
Şekil 4.6 : Su yılı aylık ortalama kar yükseklik değerleri.....	35
Şekil 4.7 : Yıllık ortalama kar yükseklik değişimi.	36
Şekil 4.8 : Farklı yöntemlerle elde edilen kar suyu eşdeğer değerlerinin karşılaştırılması.	38
Şekil 4.9 : Su yılı aylık ortalama kar suyu eşdeğer değerleri.	40
Şekil 4.10 : Yıllık ortalama kar suyu eşdeğer değişimi.	41
Şekil 4.11 : 17096/Erzurum Havalimanı istasyonu SPI analiz sonuç değerleri.	42
Şekil 4.12 : 17666/İspir istasyonu SPI analiz sonuç değerleri.....	43
Şekil 4.13 : 17668/Oltu istasyonu SPI analiz sonuç değerleri.....	45
Şekil 4.14 : 17688/Tortum istasyonu SPI analiz sonuç değerleri.....	46
Şekil 4.15 : 17690/Horasan istasyonu SPI analiz sonuç değerleri.....	47
Şekil 4.16 : 17740/Hınıs istasyonu SPI analiz sonuç değerleri.	48
Şekil 4.17 : SPI analizinin kuraklık uzunluğu(D), şiddeti(S), büyüklüğü(I).....	50
Şekil 4.18 : 17096/Erzurum Havalimanı istasyonu SPEI analiz sonuç değerleri.....	51
Şekil 4.19 : 17666/İspir istasyonu SPEI analiz sonuç değerleri.	52
Şekil 4.20 : 17668/Oltu istasyonu SPEI analiz sonuç değerleri.	53
Şekil 4.21 : 17688/Tortum istasyonu SPEI analiz sonuç değerleri.	55
Şekil 4.22 : 17690/Horasan istasyonu SPEI analiz sonuç değerleri.	56
Şekil 4.23 : 17740/Hınıs istasyonu SPEI analiz sonuç değerleri.....	57
Şekil 4.24 : SPEI analizinin kuraklık uzunluğu(D), şiddeti(S), büyüklüğü(I).....	59
Şekil 4.25 : 17096/Erzurum Havalimanı istasyonu SSPI analiz sonuç değerleri.....	60
Şekil 4.26 : 17666/İspir istasyonu SSPI analiz sonuç değerleri.	61
Şekil 4.27 : 17668/Oltu istasyonu SSPI analiz sonuç değerleri.....	62
Şekil 4.28 : 17688/Tortum istasyonu SSPI analiz sonuç değerleri.....	64

Şekil 4.29 : 17690/Horasan istasyonu SSPI analiz sonuç değerleri.	65
Şekil 4.30 : 17740/Hınıs istasyonu SSPI analiz sonuç değerleri.	66
Şekil 4.31 : SSPI analizinin kuraklık uzunluğu(D), şiddeti(S), büyüklüğü(I).....	68



ERZURUM İLİNDEKİ KAR KURAKLIĞININ İKLİM VERİLERİ YARDIMIYLA FARKLI İNDİSLERLE HESAPLANMASI

ÖZET

Yağışların kaydedilen normal seviyelerinin önemli ölçüde altına düşmesi sonucu su kaynaklarının olumsuz etkilenmesine ve hidrolojik dengenin bozulmasına sebep olan kuraklık olayı genellikle yavaş gelişir ve uzun bir dönemi kapsar. Bu doğal felaketin geniş ve ciddi etkileri vardır. Son yıllarda iklim değişikliği sebebi ile artan sıcaklık ve azalan yağışlarla birlikte görülen kuraklık hem dünyada hem de ülkemizde çok önemli bir boyutlara ulaşmıştır. Ülkemizdeki kuraklık sorunu, özellikle tarım sektörü ve ekosisteme etkisi ile insan yaşamını etkileyen ciddi bir sorunu oluşturmaktadır. Bu açıdan kuraklık çalışmaları önem arz etmektedir.

Bu çalışma kapsamında ilk olarak karasal iklim özelliklerinin görüldüğü Türkiye'nin Doğu Anadolu bölgesinde yer alan Erzurum il sınırları içerisinde bulunan 17096/Erzurum Havalimanı, 17666/İspir, 17668/Oltu, 17688/Tortum, 17690/Horasan ve 17740/Hınıs meteorolojik gözlem istasyonlarına ait 45 yıllık (1976-2021) iklimsel veriler değerlendirilmiştir. Kuraklığın iki temel parametresi olan yağış ve sıcaklık verilerinin eğilim analiz sonuçlarına bakıldığında bölge genelinde zamana bağlı olarak yağış verileri için azalma eğilimi görülürken sıcaklık verilerinde artma eğilimi gözlenmektedir. Kış ve sonbahar mevsiminde yağışın daha çok kar olarak yağdığı bölgede, kar yükseklik verileri incelendiğinde ise tüm gözlem istasyonlarında azalma eğilimi gözlenmektedir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise iklimsel veriler kullanılarak, Erzurum ili için meteorolojik ve tarımsal kuraklık indisleri olan SPI (Standartlaştırılmış Yağış İndisi), SPEI (Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi) ve SSPI (Standartlaştırılmış Kar İndisi) yöntemleriyle 1, 3 ve 12 aylık zaman periyotları ile kuraklık sınıflarının yıllar içindeki dağılım oranları tespit edilmiştir. Ayrıca kuraklığın maksimum süresi, şiddeti ve maksimum büyüklüğü belirlenmiştir. Her bir istasyon için farklı zaman periyotları ve farklı kuraklık indisleri ile elde edilen analiz sonuçları kıyaslanarak arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir. Çalışma bölgesinde üç indise ait sonuçlar değerlendirildiğinde aynı zaman periyotları için sonuçlar genel olarak benzerlik göstermektedir. Uzun zaman periyotlarında kuraklığın süresinin ve şiddetinin arttığı tespit edilmiştir. Kuraklık 2000 yılından sonra tüm istasyonlarda daha belirgin gözlenmektedir. Genel olarak bakıldığında SPI (Standartlaştırılmış Yağış İndisi) ve SPEI (Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi) analizlerinde Erzurum ilinin güney ve kuzeybatısında kuraklık gözlenirken SSPI (Standartlaştırılmış Kar İndisi) analizinde bu durum bölgenin merkezinden doğu kısmına doğru kar kuraklığı şeklinde gözlenmektedir.

Anahtar kelimeler: SPI, SPEI, SSPI, Erzurum, Kar Kuraklığı.

CALCULATION OF SNOW DROUGHT IN ERZURUM PROVINCE USING CLIMATE DATA AND DIFFERENT INDEX

SUMMARY

Drought, which adversely affects water resources and disrupts the hydrological balance as a result of precipitation that is significantly below recorded normal levels, tends to develop slowly over a long period of time. The effects of this natural disaster are widespread and severe. Drought, which has been observed in recent years with increasing temperature and decreasing precipitation due to climate change, has reached a very serious dimension both in the world and in our country. The drought problem in our country constitutes a serious problem affecting human life, especially with its impact on the agricultural sector and ecosystem. In this regard, the drought studies are of great importance.

Within the scope of this study, firstly, 45-year (1976-2021) climatic data of 17096/Erzurum Airport, 17666/Ispir, 17668/Oltu, 17688/Tortum, 17690/Horasan and 17740/Hınıs meteorological observation stations located within the borders of Erzurum province in the Eastern Anatolia Region of Türkiye where continental climate characteristics are observed were evaluated. When the trend analysis results of precipitation and temperature data, which are the two basic parameters of drought, are analyzed, a decreasing trend is observed for precipitation data, while an increasing trend is observed for temperature data. In the region where precipitation falls mostly as snow in winter and fall seasons, a decreasing trend is observed in all observation stations when snow height data are examined. In the second stage of the study, using climatic data, the distribution rates of drought categories over the years were determined for Erzurum province with meteorological and agricultural drought indexes SPI (Standardized Precipitation Index), SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) and SSPI (Standardized SnowPack Index) methods for 1, 3 and 12-month time periods. In addition, the maximum duration, severity and maximum magnitude of drought were determined. For each station, the results of the analysis obtained with different time periods and different drought indexes were compared and the relationships between them were evaluated. When the results of the three indexes in the study region are evaluated, the results are generally similar for the same time periods. It was determined that the duration and severity of drought increased in longer time periods. Drought is more pronounced in all stations after 2000. In general, SPI (Standardized Precipitation Index) and SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) analyses show drought in the south and northwest of Erzurum province, while SSPI (Standardized SnowPack Index) analysis shows snow drought from the center to the eastern part of the region.

Keywords: SPI, SPEI, SSPI, Erzurum, Snow Drought.

1. GİRİŞ

Dünyanın oluşumundan beri tüm canlılar için su hayati bir öneme sahiptir. İlk ve temel ihtiyaçlar bakımından su vazgeçilmez bir gerçektir. Su insan ve toplum öğeleri ile çok yakından bağlantılıdır. Tarihe bakıldığında uygarlıklar, tarih boyunca su kenarlıklarına kurulmuş ve medeniyetlerini geliştirmişlerdir. Üç tarafı denizlerle kaplı olan Anadolu toprakları da birçok medeniyete ev sahipliği yapmıştır.

Su kaynakları bakımından zengin bir ülke olan Türkiye, iyi yatırımlarla değerlendirilmemesi ve düzensiz su kullanımı gibi nedenlerle kuraklık sorunu ile karşı karşıya kalmaktadır. Uzun dönemde gerçekleşen, önlenmezse tahmin edilemeyecek boyutlara ulaşan ve sonucu uzun dönemlere yayılan önemli bir sorun teşkil etmektedir. Yağış düzensizlikleri, bilinçsiz su kullanımları, iklim değişiklikleri ve nüfusun artışı gibi etkenler kuraklığın meydana geliş nedenleri arasındadır. Yavaş geliştiğinden her toplumun en korkulu rüyasıdır. Ağaçlık alanların çoğaltılıp, yeraltı su kaynaklarının tüketilmemesi ile kısmen de olsa önlenebilmektedir (Saygın, 2018).

Kuraklık, yağışların kaydedilen normal seviyelerinin altına düşmesi sonucu arazi ve su kaynaklarının olumsuz etkilenmesine ve hidrolojik dengenin bozulmasına sebep olan bir doğal olaydır. Başlangıç ve bitişinin belirsiz olması, birikerek artması, aynı anda birden fazla kaynağa etkisi ve ekonomik boyutunun yüksek oluşu kuraklığın önemli özellikleri arasında sıralanmaktadır (İklim Değişikliği, 2023)

Küresel ısınma sebebi ile dünya çapında görülen, şiddeti her geçen gün artan kuraklık, riskli bir durum haline gelmektedir. Kuraklık doğal dengede bozulmalar, sosyal ve ekonomik maliyetlere ve iklim değişikliğine de sebep olmaktadır. Birleşmiş Milletler Dünya Bankası Grubu Üst Düzey Su Paneli raporuna göre 2030 yılından itibaren 700 milyon insanın su kıtlığı nedeni ile konum değiştireceği, 2050 yılından itibaren ise dünya nüfusunun yarısında su kıtlığı oluşacağı öngörülmektedir (Guterres ve Kim, 2018).

İklim değışikliği, küresel ısınmayı ve dünya iklim sistemi üzerindeki uzun vadeli etkilerini tanımlamaktadır. Sıcaklıktaki ortalama artış, önceki değışikliklerden daha hızlıdır ve esas olarak insanların fosil yakıtları tüketmesinde kaynaklanmaktadır. Fosil yakıt tüketimi, başta karbondioksit ve metan gazı olmak üzere sera gazlarını artırmaktadır. Sera gazları, dünyanın güneş ışığından ısındıktan sonra yaydığı ısının bir kısmını emer. Bu gazların daha büyük miktarları Dünya'nın alt atmosferinde daha fazla ısı tutarak küresel ısınmaya neden olur.

Hızla artan sera gazlarının atmosferdeki salınımının bölgesel ve küresel ölçekte iklimin daha sıcak seyir izlemesine sebep olmaktadır. Bu nedenle ekstrem hava ve iklim olaylarının karakteristiklerinde büyük değışimler meydana gelmekte ve meteoroloji tabanlı taşkın ve kuraklık gibi ciddi doğal afetler ön görölmektedir. Bu artış, kuraklığın neden olduğu sorunu hafifletmek için çeşitli kurumlar, bilim adamları ve araştırmacılar etkili çözüm yolları aramaktadırlar. Kuraklığın değerlendirilmesi ve tehlike haritalarının oluşturulması, bölgesel kuraklık özelliklerini anlamak ve etkili bir kuraklık yönetim planı oluşturmak için önemli bir rol oynamaktadır (Rahman ve Azim, 2022).

Kar kuraklığı, yağışların kar yerine yağmur olarak düşmesi ve sıcaklıkların artışından da kaynaklanmaktadır. Nehirlerde, göllerde ve yerde suyun bulunması esas olarak yağışla ilgilidir. Yağışların kar şeklinde düştüğü soğuk iklim bölgelerinde kar örtüsünde su depolanır. Bu kar örtüsü yaz dönemlerin artan sıcaklıkla karın erimesi sonucu ilkbahar ve yaz başlarında artan akışa katkıda bulunacaktır. Kar kuraklığı suyun mevcudiyetinde ciddi eksikliklere neden olabilir. Kış aylarında ısınan iklimin kar örtüsünü azaltacağı, kışın kar erimesine neden olacağı ve ilkbaharda kar erimesini azaltacağı gibi kar kuraklık sorunları gözlemlenmektedir. Ayrıca iklim düzeninde beklenen artan varyasyon, kar örtüsünde daha büyük varyasyonlara neden olacaktır. Kar erimesinin olmaması, bitkiler ve mahsuller için önemli bir büyüme dönemi olan ilkbahar ve yaz başlarında kuraklık olasılıklarını artırabilir. Havzalarda kar örtüsü, hava sıcaklığına ve yağışa tepki olarak değışir. Kar örtüsü, insanın kontrol edemediğı doğal bir su deposudur (Standardized SnowPack Index, 2021).

Kar kuraklığının ciddi ekolojik ve sosyoekonomik etkileri olabilir. Bir kuraklığın etkileri genellikle hidrolojik kuraklık olayının şiddetine bağlıdır. Kuraklık süresi veya eksiklik hacmi ile ifade edilebilir. Kar kuraklığı koşullarında ekosistemler, kar örtüsünden daha az su alır ve bu da olumsuz sonuçlara sebep olmaktadır. Yağışlarının

çoğunu kar şeklinde alan bölgeler, kar kuraklıkları meydana geldiğinde bir takım zorluklarla karşı karşıyadır. Kar kuraklığı genellikle ekosistemleri, rezervuar seviyelerini, su kaynaklarını ve kayak gibi kış turizmini etkilemektedir (Snow Drought, 2023).

Değişen iklim şartları altında, dağ suyu kaynakları giderek daha önemli hale gelmektedir. Dağlık havzalarda kar erimesi tipik olarak toplam akışın önemli bir bölümünü oluşturur. Bu nedenle, karın mekansal ve zamansal dağılımını takip etmek, dağ suyu kaynaklarını izlemek ve sonraki akışı tahmin etmek hayati öneme sahiptir. Hidrolojik uygulamalar için kar örtüsünü SWE (Kar Suyu Eşdeğeri) ile karakterize edilmektedir (Jonas, Marty ve Magnusson, 2009).

Türkiye'nin yüksek rakımlı bölgelerine kış aylarında yağışlar genelde kar şeklinde görülmektedir. Kar örtüsü özellikle Doğu Anadolu bölgesinde yer alan Erzurum ilinin dağlık ve yüksek kesimlerinde neredeyse yılın yarısına kadar yerde kalmaktadır. Fakat son yıllarda hava sıcaklıklarının artması ile daha çok etkisini gösteren kuraklık olayı, kış aylarında kar yağışlarının azalması ile kar örtüsünün değiştiği gözlemlenmektedir. Bu durum su kaynaklarını olumsuz yönde etkilemekte ve iklim değişimine sebep olmaktadır. Olumsuz sonuçlar yaşam üzerinde doğrudan etkili olduğundan kuraklığın etkilerini minimuma indirmek için bölgesel bazda geçmiş dönemlere ait iklimsel veriler kullanılarak yapılan kuraklık analiz çalışmaları oldukça önemlidir.

1.1 Tezin Amacı

Bu tezin amacı, deniz seviyesinden uzaklığı sebebi ile şiddetli karasal iklimin görüldüğü Doğu Anadolu bölgesinde yer alan Erzurum ilinin kuraklık analiz değerlendirilmesinin yapılmasıdır. Çalışma bölgesi, küresel ısınmanın etkisi ile Türkiye'nin en kurak bölgeleri arasında yer almaktadır. Bu tez kapsamında kullanılan veri setleri MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü) Erzurum 12. Bölge Müdürlüğünden temin edilen 6 adet meteorolojik gözlem istasyonunun, 45 yıllık (1976-2021) meteorolojik veri setleri yardımı ile kuraklık sorunu incelenmiştir.

Kuraklık analizlerinin değerlendirilmesi için çeşitli indisler geliştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak SPI (Standartlaştırılmış Yağış İndisi) ve SPEI (Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi) yöntemleriyle kuraklık analizi, kar yükseklği ve kar suyu eşdeğeri verileri kullanılarak ise SSPI

(Standartlaştırılmış Kar İndisi) yöntemiyle kuraklık analizi hesaplanarak, kuraklığın başlangıcı, bitişi ve yoğun olarak gözlemlenen dönemleri farklı periyotlar ile kuraklık karakteristiği araştırılması amaçlanmıştır. Hesaplanan indisler ile farklı zaman periyotlarının karşılaştırılması, değerlendirilmesi ve farklı zaman ölçeklerindeki kuraklık indisleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi amaçlanmıştır.

Küresel ısınma ve iklim değişikliği ile etkisini daha çok gösteren kuraklık, son yıllarda tüm dünyayı etkileyen ciddi bir sorundur. Bu kapsamda kuraklık çalışmaları büyük önem arz etmektedir. Bu tez çalışmasında, Erzurum ili için yağış ve kar kuraklık etkisi değerlendirilerek, gelecekte kuraklığa karşı alınabilecek önlemler tartışılmış ve gelecekte yapılacak çalışmaların geliştirilmesine katkı sağlanması amaçlanmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Gülsever (2006), yaptığı çalışmada Dicle Havzası'nda bulunan 18 adet meteoroloji istasyonuna ait iklimsel verileri ile Thornthwaite kuraklık indisi kullanarak kuraklık analizi yapmış, kurak dönemlerin yağış ve sıcaklık değişimlerini incelemiştir. Thornthwaite kuraklık indis sınıflamasına göre Diyarbakır, Batman ve Cizre kuraklık riskinin en fazla olduğu yerler olurken, en az olan yerler ise Bitlis olduğunu belirlemiştir.

Oğuztürk (2010), yaptığı çalışmada Kızılırmak Havzası'nda 14 adet meteoroloji istasyonunun 1950-2007 yılları arasındaki yağış verilerini kullanarak SYİ (Standart Yağış İndisi) metodu ile kuraklık analizi yapmış, kuraklık karakteristikleri ve bunların birbirleri ile olan ilişkilerini belirlemiştir. Ayrıca geçmiş yılların yağış verilerinden elde edilen SYİ (Standart Yağış İndisi) değerlerini kullanarak YSA (Yapay Sinir Ağları) metodu ile gelecek yıllara ait kuraklık tahmini yapmıştır. Analiz sonucu olarak Kızılırmak Havzası'nda istasyon verileri arasında farklılıklar görülmüş olup, belirli dönemlerde görülen şiddetli ve çok şiddetli kuraklıkların yanısıra havzada hafif ve orta şiddetli kuraklıkların sıklıklarının daha fazla hâkim olduğu her istasyona ait değerlendirilen zaman aralığının yarısından fazlasında kuraklıkların görüldüğünü tespit etmiştir.

Küçükyaman (2010), yaptığı çalışmada Kovada Gölü için SYİ (Standart Yağış İndisi) yöntemi kullanarak, meteorolojik ve hidrolojik açıdan kuraklık analizi yapmış, kuraklığı modellemek için ise ANFIS (Adaptif Sinir Ağına Dayalı Bulanık Çıkarım

Sistemi) ve YSA (Yapay Sinir Ağları) yöntemleri kullanmıştır. Analiz sonucunda yağış ve göl seviyesi değerlerinde azalma olduğu ve kuraklığın meydana geldiğini saptamıştır.

Gözel (2011), yaptığı çalışmada Yukarı Fırat Havzası'nda bulunan Karasu Nehrinin 2001-2011 su yılları için SRM (Snowmelt Runoff Model) modelini uygulamış, sonuçları incelenen su yılları için aynı havza üzerine çalışılan HBV (Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning) model sonuçları ile karşılaştırmıştır. Ayrıca yine aynı dönemler için SRM (Snowmelt Runoff Model) ile HBV (Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning) modeli, Detrended Kriging yöntemi ile de HBV (Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning) model çıktılarının kar su eşdeğer verilerinin karşılaştırılmasını yapmış benzer sonuçların elde edildiğini tespit etmiştir.

Başak (2017), yaptığı çalışmada Fırat Havzası'nın Aşağı Fırat Bölgesi'nde bulunan 5 ile ait 20 adet meteoroloji gözlem istasyonunun iklim verilerini kullanarak, SYİ (Standartlaştırılmış Yağış İndeksi) yöntemi ile kısa ve uzun dönem aylık zaman periyotları için kuraklık analizi hesaplamıştır. Ayrıca kuraklığın tahmin edilmesi için YSA (Yapay Sinir Ağları) yardımıyla elde edilen SYİ (Standartlaştırılmış Yağış İndeksi) değerlerinin tahmini için model oluşturmuştur. Analiz sonuçlarına göre tüm istasyonlarda en uzun süre kurak dönemleri 1988-2004 yılları arasında tespit etmiştir. 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman ölçeklerine göre tüm istasyonların ele alınan ölçüm periyotlarının neredeyse yarısının kurak geçtiğini belirlemiştir. SYİ (Standartlaştırılmış Yağış İndeksi) sonuçlarının, YSA (Yapay Sinir Ağları) ile tahmininde en uygun sonucu verdiği, yağış verisi ve hesaplanan SYİ (Standartlaştırılmış Yağış İndeksi) değerlerinin beraber kullanılarak olumlu model oluşturmuştur.

Oruç (2017), yaptığı çalışmada Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan 33 adet meteorolojik istasyonun 1960-2015 yılları arasında, yağış ve sıcaklık verilerini kullanarak SYİ (Standart Yağış İndisi), Erinç İndisi ve De Mortanne İndisi kullanarak kuraklık analizi yapmıştır. Analiz sonucuna göre 3-6 aylık dönemlerde normale yakın ve orta şiddetli kuraklıklar daha çok görülürken 12-24 aylık dönemlerde çok şiddetli kuraklık gözlemlenmiştir. En kurak dönemin 1971-1980 yılları arasında Pervari istasyonunda yaşandığı tespit etmiştir.

Selçuk (2017), yaptığı çalışmada Kızılırmak Havzası'na ait hidrolojik ve meteorolojik verileri kullanarak SPI (Standartlaştırılmış Yağış İndisi) ve SDI (Akarsu Kuraklık İndisi) ile kuraklık analizi yapmıştır. Analiz sonucuna göre iki indisin birbirleriyle uyumlu sonuçlar verdiği SPI (Standartlaştırılmış Yağış İndisi) göre incelenen zaman periyodu uzadıkça kuraklığın şiddet ve yoğunluğu azaldığını, SDI (Akarsu Kuraklık İndisi) görede uzun zaman periyotlarında kuraklığın şiddet ve süresi arttığını tespit etmiştir. Ayrıca SDI (Akarsu Kuraklık İndisi) ve akım verilerini tahmin etmek amacıyla WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis) adlı bir model kurmuş fakat yeterli düzeyde başarılı bir sonuca varamamıştır.

Temel (2019), yaptığı çalışmada Gediz Havzası'na ait 1970-2010 yılları arasındaki iklim ve akım verilerini kullanarak SDI (Akım Kuraklık İndisi) ve SPI (Standart Yağış İndisi) ile 3, 6, 9 ve 12 aylık periyotlarla kuraklık analizi yapmıştır. Hidrolojik ve meteorolojik kuraklık sonuçlarının kurak/sulak dönemlerin paralellik gösterdiğini saptamıştır. SDI (Akım Kuraklık İndisi) yöntemine göre 50 yıllık tahminlerde orta şiddette kuraklığa, 100 yıllık tahminlerde ise orta ve şiddetli kuraklığa denk gelen değerler aldığını tespit etmiştir.

Ersoy (2019), yaptığı çalışmada Konya iline ait farklı meteoroloji istasyonlarında 1971-2014 yılları arası yağış verilerini kullanarak, SYİ (Standartlaştırılmış Yağış İndisi) ile 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman periyotlu kuraklık yüzde dağılımlarını ve istasyonlarda kuraklık görülme olasılıklarını hesaplamıştır. Ayrıca YSA (Yapay Sinir Ağları) yöntemi ile kuraklık modellemesi yapmıştır. Analiz sonucuna göre Konya ili'nin kurak koşullardan önemli ölçüde etkilendiğini tespit etmiştir. 44 yıllık zaman diliminde tüm istasyonlarda hafif derecede kuraklığın diğer gruplara oranla daha çok hissedildiği ve aşırı şiddetli kuraklığa hemen hemen hiç rastlanmadığını gözlemlemiştir.

Kermen (2019), yaptığı çalışmada Ege Bölgesi'nde bulunan Küçük Menderes Havzası için 11 adet istasyona ait sıcaklık, yağış ve akış verilerini kullanarak SPI (Standartlaştırılmış Yağış İndisi), SPEI (Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi), DRI (Kuraklık Keşif İndisi), SDI (Akım Kuraklık İndisi), SSFI (Standartlaştırılmış Akım İndisi) ve scPHDI (Kendi Kendini Kalibre Eden Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi) ile meteorolojik ve hidrolojik kuraklık analizi yapmış, zamana bağlı değişim grafikleri oluşturmuştur. Analiz sonucuna göre havzadaki hidrolojik kuraklıkların, meteorolojik kuraklıktan daha şiddetli ve uzun süreli

olduğunu, havzanın kuraklıktan etkilenme düzeyinin yüksek olduğu tespitine varmıştır.

Özcan (2020), yaptığı çalışmada Dicle Havzası'nda yer alan 16 adet akım gözlem istasyonuna ait aylık ortalama akım verilerini kullanarak, AKİ (Akım Kuraklık İndeksi) ile 1, 3, 6 ve 12 aylık dönemlerle havzaya ait hidrolojik kuraklık analizi yapmıştır. Analiz sonucuna göre tüm dönemler için Dicle Havzasının batı ve orta kesimlerinde meydana gelen kuraklığın doğu bölgesine göre daha fazla olduğunu gözlemlemiştir.

Öz (2020), yaptığı çalışmada Van Gölü Havzası alanı içerisinde yer alan 14 adet meteorolojik istasyona ait 1968-2018 yılları arasında iklimsel verileri kullanarak havza için kuraklık analizi yapmıştır. SYİ (Standart Yağış İndisi), NYY (Normal Yağışın Yüzdesi), EI (Erinç İndisi) ve YAI (Yağış Anomali İndisi) kullanarak kuraklık analizi yapmıştır. Analiz sonucuna göre havza genelinin %28'lik kısmının hafif nemli, %45'lik kısmının hafif kurak, %19'luk kısmının da orta şiddetli kuraklık olduğu tespit etmiştir. En doğru yöntemin SYİ (Standart Yağış İndisi) olduğu sonucuna varmıştır.

Aslan (2020), yaptığı çalışmada Van Gölü Havzası'nda kar kuraklık dönemlerinin belirlenmesi ve sınıflandırılması çalışmasını yapmıştır. 1980-2018 yılları arası iklimsel ve akım verilerini kullanarak yaptığı analizde KSE (Kar Suyu Eşdeğeri) yöntemi ile kar kuraklıklarına ait ortalama şiddet, olasılık ve risk değerlerini belirlemiştir. Artan sıcaklıklara bağlı olarak kar yerine yağmur veya karla karışık yağmur yağışından dolayı gözlenen havzada sıcak kar kuraklığının görülme olasılığının olduğunu tespit etmiştir.

Subaşı (2021), yaptığı çalışmada Alaşehir Alt Havzası için meydana gelen kuraklık süreçlerini meteorolojik açıdan SPI (Standart Yağış İndeksi), PN (Normalin Yüzdesi Endeksi), DI (Ondalıklar İndeksi), CZI (Çin-Z İndeksi), RAI (Yağış Anomali İndeksi) ve ZSI (Z-Skor İndeksi) yöntemlerini kullanarak aylık, mevsimlik ve yıllık dönem periyotlarıyla incelemiştir. Analiz sonucuna göre aylık, mevsimlik ve yıllık zaman periyotları için tüm istasyonlarda çok şiddetli kuraklıkların gözlemlendiğini belirlemiştir.

Qadimi (2021), yaptığı çalışmada Fırat Havzası'nda bulunan Erzurum ilinin 5 adet meteoroloji istasyonu verilerini kullanarak tekrar eden kuraklık olayının nedeni olan yağıştaki eksikliği, zaman ve mekâna bağlı olarak kuraklık riskini izlemek için SYİ

(Standart Yağış İndeksi) ile potansiyel kullanımını analiz etmiştir. Analiz sonucu tüm istasyonlarda 1980-1984 ve 2010-2015 yılları arasında kuraklık tespiti yapmıştır.

Akşan (2021), yaptığı çalışmada Türkiye'nin 81 iline ait merkez istasyonlarından alınan iklim, akım ve Landsat-8 uydu verilerini kullanılarak 1979-2015 yılları arası 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman periyotlarıyla çeşitli indisler kullanarak meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklık analizi yapmıştır. Analiz sonuçlarına göre WASP (Ağırlıklı Anomali Standart Yağış İndeksi), CZI (Çin Z İndeksi), SPI (Standart Yağış İndeksi) ve ZSI (Z-Skor İndeksi) yöntemlerine göre tüm bölgelerde benzer sonuçlar gözlemlendiği, genel olarak temmuz ve ağustos aylarında düşük yağış olduğu, SPEI (Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi) ve RDI (Keşif Kuraklık İndeksi) göre tüm istasyonlarda normale yakın koşullar görüldüğü, NDVI (Normalize Fark Bitki İndeksi) sonuçlarına göre Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Doğu Anadolu Bölgesinde kuraklığın olduğu, SSFI (Standartlaştırılmış Akım Kuraklık İndeksi)'ne görede istasyonda kuraklık yok iken, SDI (Akım Kuraklık İndeksi)'ne göre hafif kuraklık olduğunu tespit etmiştir.

Noorı (2022), yaptığı çalışmada Batı Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Filyos Nehri Havzası'nda 6 adet meteorolojik istasyonun 1965-2019 yılları arasındaki verilerini kullanarak DrinC yazılım paketi içerisinde yer alan SPI (Standartlaştırılmış Yağış İndeksi), SDI (Akım Kuraklık İndeksi) ve RDI (Keşif Kuraklık İndeksi) yöntemlerini 1, 3, 6 ve 12 aylık zaman periyotlarla meteorolojik ve hidrolojik kuraklık analizi yapmıştır. Analiz sonucuna göre son yıllarda kuraklığın arttığı ve olağanüstü kuraklık kategorisini sadece yaz mevsimlerinde değil aynı zamanda kış ve bahar dönemlerinde de yaşanmış olduğunu saptamıştır.

Özmen (2022), yaptığı çalışmada Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Batman ve Diyarbakır illeri için 31 yıllık (1990-2020) iklim ve akım verileri ile SYİ (Standartlaştırılmış Yağış İndisi), OKİ (Ondalık Kuraklık İndisi), KKİ (Keşif Kuraklık İndisi) ve AKİ (Akım Kuraklık İndisi) yöntemleriyle kuraklık analizi yapmıştır. Analiz sonuçlarına göre; Batman ili için SYİ (Standartlaştırılmış Yağış İndisi) göre 17 yılda, OKİ (Ondalık Kuraklık İndisi) göre 12 yılda, KKİ (Keşif Kuraklık İndisi) göre 16 yılda ve AKİ (Akım Kuraklık İndisi) görede 13 yılda kuraklık etkisi olduğu belirlenmiştir. Diyarbakır ili için ise, SYİ (Standartlaştırılmış Yağış İndisi) göre 17 yılda, OKİ (Ondalık Kuraklık İndisi) göre 12 yılda, KKİ (Keşif

Kuraklık İndisi) göre 18 yılda kuraklık etkisi olduğunu belirlemiştir. Her iki ilin de kuraklıktan etkilendiğini ve önlem alınması gerektiğini tespit etmiştir.

Uysal (2022), yaptığı çalışmada Bursa ili için SPI (Standart Yağış İndisi) ve SPEI (Standart Yağış ve Evapotranspirasyon İndisi) yöntemleri ile kuraklık analizi yapmıştır. Ayrıca yağış ve sıcaklık değerleri için 1990-2019 yılları arasında parametrik olmayan Mann–Kendall ve Şen trend analizleri yapmıştır. Trend analizi sonuçlarına göre, yağış verilerinde istatistiksel olarak anlamlı trendlere ulaşamamış, sıcaklık verilerinde artış trendleri gözlemlemiştir. Hesapladığı her iki yöntem sonucu, 1960-2019 yılları için ekstrem değerlere ulaşılmış olsa da genelde normal kuraklık seviyelerinde seyrettiğini tespit etmiştir.

Rahmanı (2022), yaptığı çalışmada Ceyhan Havzası'nda bulunan 8 adet meteorolojik istasyonun SYİ (Standardize Yağış İndeksi), OKİ (Ondalık Kuraklık İndeksi) ve NYİ (Normalin Yüzdesi İndeksi) ile farklı zaman ölçeklerinde kuraklık analizlerini yapmıştır. Ayrıca analiz sonuçlarının karşılaştırılması, kuraklığa eğilimli alanların belirlenmesi ve bu alanların kuraklık kategorilerine göre kuraklık frekanslarının haritalanması çalışmalarını da yapmıştır. Yapılan analiz sonucu hesaplanan indislerin yıllık sonuçları karşılaştırdığında büyük oranda benzer sonuçlar olduğunu fakat NYİ (Normalin Yüzdesi İndeksi) ve OKİ (Ondalık Kuraklık İndeksi) yöntemlerinin mevsimler için sonuçları karşılaştırdığında benzer sonuç vermediğini tespit etmiştir.

Özlu (2022), yaptığı çalışmada Sakarya Havzası'nda kuraklığın belirlenmesi için 15 adet istasyona ait, 1960-2020 yılları arasında, 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman periyotları ile yağış tabanlı SYİ (Standartlaştırılmış Yağış İndisi), ZSİ (Z-Skor İndisi), CZİ (Çin-Z İndisi) ve MCZİ (Modifiye Edilmiş Çin-Z İndisi) yöntemleri ile kuraklık analizi yapmıştır. Ayrıca hesaplanan indislerin bölge için uygulanabilirliği, performansları ve farklı zaman ölçeklerindeki kuraklık indisleri arasındaki ilişkiler değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda, kuraklıkların daha çok orta şiddetli olduğu aynı zaman periyotlarında tüm indisler arasında yüksek korelasyon değerlerine ulaştığı ve ağırlıklı olarak 1970, 1989, 1990, 2007 ve 2014 yıllarında şiddetli kuraklıkların yaşandığını tespit etmiştir.

Altın (2022), yaptığı çalışmada Adana il sınırları içerisinde yer alan Kozan, Karaisalı, Ceyhan, Yumurtalık ve Karataş meteoroloji istasyonlarına ait 1970-2021 yılları arasındaki verilerini kullanarak kuraklık analizi gerçekleştirmiştir. SPI

(Standartlaştırılmış Yağış İndeksi) ve RDI (Keşif Kuraklık İndeksi) kuraklık indisleri yardımıyla 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçekleri için her bir istasyonun kuraklık oluşum yüzdeleri ile farklı kuraklık sınıflarının yıllar içindeki dağılım oranlarını tespit etmiştir. Karaisalı istasyonu hariç diğer tüm istasyonlarda kuraklık oluşum yüzdeleri %50'nin altında kaldığını tespit etmiştir. SPI (Standartlaştırılmış Yağış İndeksi) ve RDI (Keşif Kuraklık İndeksi) arasındaki %99'un üzerinde olan korelasyon değerleri, ele alınan bölgede RDI (Keşif Kuraklık İndeksi) yerine sadece yağış verilerini kullanan SPI (Standartlaştırılmış Yağış İndeksi) kullanılabileceğini göstermiştir.

Sarı (2023), yaptığı çalışmada meteorolojik kuraklık analizindeki belirsizlik yaratan unsurları incelemiştir. Gördes Havzası'nda tüm ölçüm istasyonlarının iklimsel verileri ile havzayı modelleyerek optimize etmiştir. MATLAB uygulaması yardımıyla 12 adet PET (Potansiyel Evapotranspirasyon) modeli oluşturarak sonuçlarına varyans analizi uygulamıştır. Oluşturulan veriler yardımıyla SPEI (Standartlaştırılmış Yağış ve Evapotranspirasyon Endeksi) kuraklık analizi yapmıştır. Çalışma sonucu PET (Potansiyel Evapotranspirasyon) hesaplarının gözle görülür bir belirsizlik yaratmadığı GCM (Küresel İklim Verileri)'nin ise belirsizliği asıl oluşturan unsur olduğunu tespit etmiştir.

Yaşa (2023), yaptığı çalışmada Orta Fırat Havzası'nın 29 adet meteorolojik istasyonuna ait iklimsel verileri farklı periyotlarla SPI (Standartlaştırılmış Yağış İndeksi), SPEI (Standartlaştırılmış Yağış ve Evapotranspirasyon İndeksi) ve RDI (Keşif Kuraklık İndeksi) ile kuraklık analizi ve kuraklık parametrelerinin en iyi marjinal dağılımlarını tespit etmiştir. Analiz sonucunda havza genelinde çoğunlukla ıslak ve hafif kurak periyotlarının olduğunu belirlemiştir. Ayrıca havzada şiddetli kuraklıklar da gözlemiştir. Kuraklık şiddetinde kısa zaman periyotlarında en uygun dağılımların Gamma ve Weibull dağılımları, uzun zaman periyotlarında ise çoğunlukla Lognormal dağılımın en uygun dağılım olduğunu tespit etmiş, kuraklık süresi bakımından ise tüm zaman periyotlarında Lognormal dağılımın en uygun dağılıma sahip olduğunu tespit etmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Yağışlar

Yağış, havanın yükselmesi sonucu içindeki nemin soğuması ile yoğunlaşıp yeryüzüne düşmesi olayına denir. Katı haldeki yağış ise kar, dolu, çığ veya kırağı şeklinde olabilir. Yağmur ve kar hidrolojik bakımdan en önemli yağışlardır. Karın eriyip akışa geçmesi uzun bir süre sürerken, yağmur suları kısa süre içerisinde akışa geçerler.

2.1.1 Yağış tipleri ve yağışın meydana gelmesi

Atmosferde yeterince su buharının olması, hava kütlelerinin soğuk olması, yoğunlaşma olması ve yer yüzüne düşebilecek kadar büyüklükte damlalar olması halinde yağış olayı gerçekleşir. Yağışlar, Konvektif (yükselim) yağış, Orografik (dağcıl) yağış ve Depresyonik (cephesel) yağış olarak üç grupta incelenebilir. Yağışın meydana gelme döngüsü şematik olarak Şekil 2.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Su döngüsü (Su Döngüsü The Water Cycle Turkish, 2016).

Konvektif (yükselim) yağışlar, yeryüzüne yakın havanın fazla ısınıp yükselmesi sonucu soğuması ile oluşur. Bu yağış şekli buharlaşmanın fazla olduğu Ekvator bölgesi ve etrafı dağlarla çevrili olan bölgelerde sıklıkla görülmektedir. Yaz yağmurları şeklinde Doğu Anadolu bölgesinde zaman zaman görülmektedir. Orografik (dağcıl) yağışlar, denizden gelen nemli havanın, karada bir dağ yamacı boyunca yükselip, soğuması ve yoğunlaşması sonucu oluşur. Dünyada Güney Doğu Asya’da, Türkiye’de denize paralel dağ sıralarının denize bakan yamaçlarında özellikle Karadeniz bölgesinde sıklıkla görülmektedir. Depresyonik (cephesel) yağışlar ise farklı özelliğe ve sıcaklığa sahip hava kütlelerinin karşılaşması sonucu oluşur. Türkiye’de meydana gelen yağışların çoğu bu şekildedir.

2.1.2 Yağışın ölçülmesi

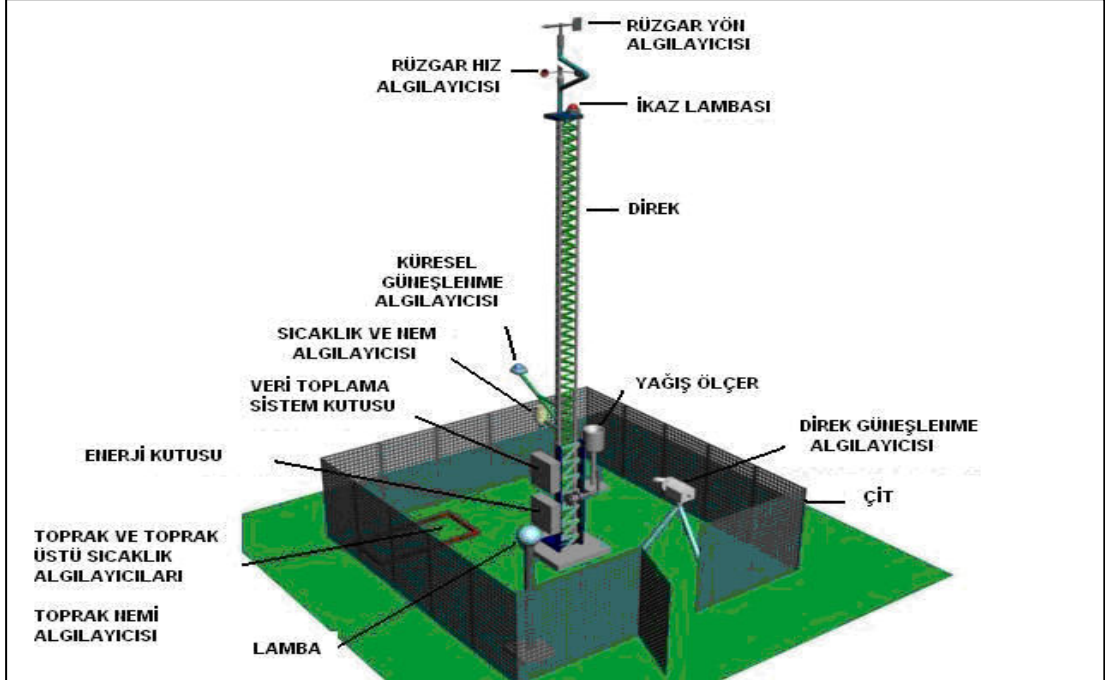
Yağış yüksekliği, yatay bir yüzeye düşen ve düştüğü bir yerde kaldığı varsayılan su sütununa denir. Genellikle mm cinsinde belirtilmektedir. Yağmurun ölçülmesi için Şekil 2.2’de gösterilen Plüviyometre ve Plüviyograf cihazları ile yapılmaktadır. Bu cihazlardan, yazıcı olmayan ölçekler grubunda yer alan Plüviyometre, atmosferden yer yüzeyine düşen yağışı direkt olarak ölçerken, yazıcı ölçekler grubunda yer alan Plüviyograf, atmosferden yer yüzeyine düşen yağışı diyagram üzerine kaydetmektedir. Günümüz teknoloji ile yağış ölçümleri otomatik gözlem istasyonları tarafından otomatik bir şekilde yapılmaktadır.



Şekil 2.2 : Çeşitli Plüviyometre ve Plüviyograf ölçüm cihazları (Meteorolojide Kullanılan Alet ve Cihazlar, 2023).

Otomatik gözlem istasyonları, ölçülen ve hesaplanan çeşitli verilerin belirli formatlarda meteorolojik verilere dönüştürülmesi, bu bilgilerin belirli formatlarda yedeklenmesi, grafiklerle temsil edilmesi ve yazıcılarda kaydedilmesi işlerini yapar. Böylece, herhangi bir bilgi kaybı olmaksızın, meteorolojik parametrelerin devamlı olarak ve en doğru şekilde elde edilmesi sağlanır.

Otomatik gözlem istasyonlarının, gözlemleri standart bir şekilde dışa aktarması, parametreleri gündüz ve gece devamlı bir şekilde ölçüm yapması, daha fazla doğruluk ve güvenilirlik oranına sahip olması, meteorolojik data verilerin görüntülenmesi, uzaktan erişime sahip olması ve çevre şartlarından etkilenmemesi gibi çeşitli avantajları vardır. Otomatik gözlem istasyonlarında, rüzgar hızını ölçmek için rüzgar hız algılayıcısı, rüzgar yönünü belirlemek için rüzgar yön algılayıcısı, yağış miktarını ölçmek için yağış ölçer cihazı, sıcaklık ve nem ölçümü için sıcaklık ve nem algılayıcısı, toprak sıcaklığı ve nemini ölçmek için toprak sıcaklık algılayıcıları, güneşlenme sürülerini ölçmek için ise küresel güneşlenme ve direk güneşlenme algılayıcıları bulunmaktadır. Tüm verilerin toplanıp işlendiği, uzaktan yönetilebilen bir veri toplama sistem kutusu mevcuttur (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 : Otomatik gözlem istasyonu (Meteorolojide Kullanılan Alet ve Cihazlar, 2023).

2.1.3 Kar

Dünyanın orta ve yukarı enlemlerinde ve çoğunlukla dağlık bölgelerinde atmosfer yağışlarının büyük bir kısmı kar olarak düşmektedir. Özellikle soğuk bölgelerde yağışların büyük bir kısmı kar şeklinde görülmektedir. Türkiye'nin coğrafi konumunu itibariyle kar oluşumunu etkileyen faktörler arasında, yörenin denizden uzaklığı, yüksekliği, engebe durumu, yönelimi ve benzeri pek çok fiziksel etken söz konusudur. Kar yer yüzünde kaldığı sürece yaşamın her alanına etkisi mevcuttur. Kış mevsimin başlangıcı olarak düşen yağış yeryüzünde depolanarak artan sıcaklık ile akıma geçmektedir. Karın ölçülmesinde yağmur ölçekleri kullanılmaktadır. Karın donmasını önlemek için ölçüm aletine antifriz maddeler konulur. Kar ölçümü, devamlı ve periyodik bir şekilde yapılmaktadır. Sürekli kar ölçümleri belirlenen noktalarda günlük olarak yapılırken periyodik ölçümler ise ulaşılması zor yerlere kar direkleri yerleştirilerek dürbünler yardımı ile gözlenerek yapılmaktadır. (Şekil 2.4)



Şekil 2.4 : Kar direğinin yerleşimi (New England Water Science Center, 2017).

Kar ölçümünde en önemli faktör kar suyu eşdeğeridir. Karın erimesi ile oluşacak su miktarının hesaplamak için karın su eşdeğerinden yararlanılır. Kar suyu eşdeğeri, kar eridiğinde oluşacak su miktarının, su yüksekliği cinsinden değeri olarak tanımlanır. Bu değerin hesaplanması için kar miktarı ve yoğunluğunun bilinmesi gerekir. Yeni yağmış karın yoğunluğu ortalama olarak %10 varsayılır. Kar bekledikçe yoğunluğu %50-%60 oranına kadar yükselir (Gürer, 1993).

2.2 Kuraklık

Kuraklık, iklim değışikliğinin sebep olduğu önemli olaylardan biridir. Diğer bir ifade ile azalan yağışlar ve artan sıcaklıklar nedeni ile oluşan, etkisi bir veya birden çok mevsime yayılan ve doğal su kaynaklarını etkileyen bir doğal afet türü olarak tanımlanmaktadır. Bu afetin çok yavaş başlaması aylar ve hatta yıllar boyu kümülatif olarak çok geniş alanları etkilemesi sebebi ile diğer doğal afetlere göre mücadelesi çok daha zordur.

şekil 2.5’da şematik olarak gösterilen kuraklıklar önce yetersiz yağış sebebi ile meteorolojik kuraklık olarak başlar. Toprak neminin azalması ve bitkinin ihtiyaç duyduğu minimum su kapasitesinin azalması ile tarımsal kuraklık takip eder. Daha sonra barajlardaki ve akarsulardaki suların azalmasıyla hidrolojik kuraklık görülmeye başlar ve bu durum en sonunda kendini sosyo-ekonomik kuraklık olarak gösterir. Kuraklık sebebi ile su temininde bir eksiklik sonucu olarak ekonomik bir mal için talebin arzı aşması sonucu sosyo-ekonomik kuraklık gerçekleşir. (Akbaş, 2014)



şekil 2.5 : Kuraklık sıralama şeması.

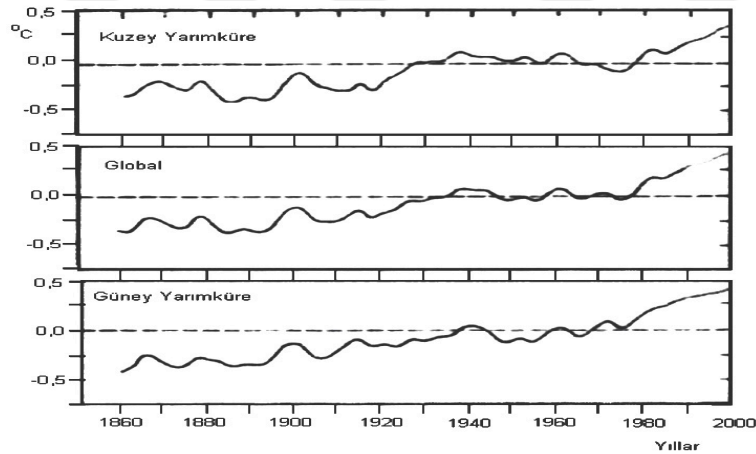
Türkiye coğrafı konumu itibariyle küresel ısınmanın etkilerinden en fazla oranda etkilenecek ülkeler arasında yer almaktadır. Türkiye bakımından değeriendirildiğinde, yarı nemli orta enlem bölgesinde bulunmaktadır. Konumu itibari ile yarı kurak iklim koşullarının Türkiye’nin %37,3’ünde hâkim olduğu bilimsel çalışmalarla ortaya konulmaktadır. Bu durum çevresel, ekonomik, sosyal ve kültürel bakımdan ciddi sorunlara yol açabileceği öngörülmektedir (Türkeş, 2012).

2.3 Küresel Isınma ve İklim Değişikliği

Sanayi devrimi ile atmosferde birikmeye başlayan Çizelge 2.1’de yüzdelik oranları gösterilen sera gazlarının uzun dalgalı ışınları tutması nedeni ile ortalama yüzey sıcaklıklarında artma eğilimi belirgin bir şekilde gözlenmektedir (Ozturk, 2002). Sera gazlarının çeşitli nedenlerle atmosferdeki artışının devam etmesi, Dünya’nın gereğinden fazla ısınmasına neden olmaktadır. Ayrıca Şekil 2.6’de zamana bağlı sıcaklık değişim grafiği incelendiğinde son yüzyılda, küresel sıcaklıkta 0,8 C°’lik bir artış olmuştur (Andrady ve diğ, 2008).

Çizelge 2.1 : Sera gazlarının küresel ısınmaya etkileri (Zoray ve Pır, 2007).

Sera Gazları	Küresel Isınmaya Etkileri (%)
Karbondiyoksit (CO ₂)	50
Kloroflorokarbon (CFC)	22
Metan (CH ₄)	13
Azot Oksitleri (NO _x)	5
Ozon (O ₃)	7
Su Buharı (H ₂ O)	3
Toplam	100

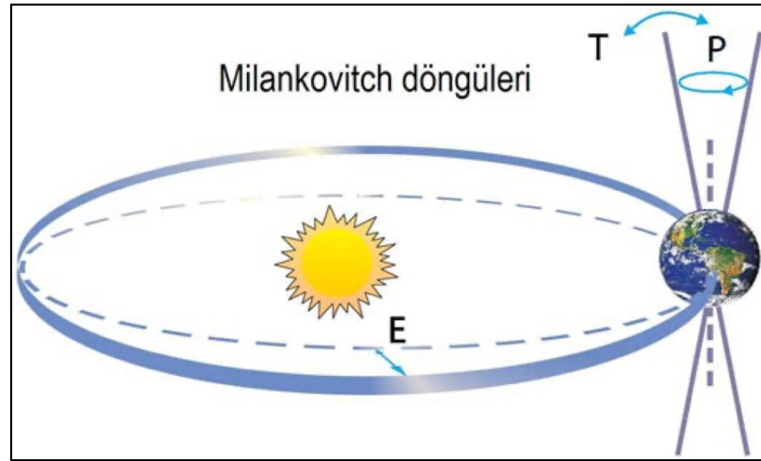


Şekil 2.6 : 1860-2000 Yılları arası küresel sıcaklık artış değişimi (Bayar ve Bahrend, 1994).

Küresel ısınma sonucu, kutup bölgelerinde sıcaklık artışına bağlı olarak buzulların erimesi, buna bağlı olarak deniz suyu seviyesinin artması, taşkınların gerçekleşmesi, kıyı kesimlerde toprak kaybının yaşanması, temiz su kaynaklarının denize karışması, aşırı derecede buharlaşma, orman yangınları, göl ve ırmak su miktarının azalması, bitki ve hayvan türlerinin yok olması veya azalması gibi birçok olumsuz durum oluşmaktadır (Kanat ve Keskin, 2017).

Hava, yer yüzünün herhangi bir konumunda ve herhangi bir anında gerçekleşen atmosferik olayların tümü olarak ifade edilmektedir. İklim ise yer yüzünün herhangi bir yerinde uzun bir zaman diliminde gerçekleşen tüm hava koşullarının ortalama özelliklerinin, onların oluşma sıklıklarının zamansal dağılımlarının, gözlenen pik değerlerinin, şiddetli olayların ve tüm değişkenlik tiplerinin birleşimi olarak tanımlanır (Türkeş, 2001). İklim değişiliği ise iklimin ortalama durumunda veya değişkenliğinde onlarca yıl ya da daha uzun süre boyunca gerçekleşen değişiklikler biçiminde tanımlanmaktadır. İklim değişikliği, güneş döngülerindeki geçişler veya doğal içsel süreçler, volkanik patlamalar, arazi kullanımlarının insan kaynaklı değişiklikleri veya atmosfer dengesinin değişmesi gibi dış kaynaklı zorlayıcılar nedeniyle meydana gelebilmektedir (Akçakaya ve diğ, 2015).

İklim değişikliği, doğal iç ve dış süreç etmenleri ile atmosferin bileşimindeki veya arazi kullanımındaki sürekli insan kaynaklı değişiklikler nedeniyle oluşmaktadır. İç süreç ve etmenler, atmosfer bileşimi ve yerkürenin yüzey özelliklerindeki doğal ya da insan kaynaklı önemli değişiklikleri içerir. Dış süreç ve etmenler ise, iklim sisteminin dışında gelişir. Temel olarak astronomik ilişkiler olan yer kabuğundaki levha hareketleri, Şekil 2.7’de gösterilen, güneş etkinlikleri ve yerküre ile güneş arasındaki astronomik ilişkilerdeki değişikliklerden kaynaklanmaktadır (Türkeş, 2008).



Şekil 2.7 : Milankovitch döngüsü (Türkeş 2008).

Jeolojik devirlerdeki iklim değişiklikleri, özellikle buzul hareketleri ve deniz seviyesindeki değişimler yoluyla yalnızca dünya coğrafyasını değiştirmekle kalmamış, ekolojik sistemlerde de kalıcı değişiklikler meydana getirmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Çalışma Bölgesi

Erzurum, Türkiye'nin Doğu Anadolu bölgesinde 39 Kuzey - 41 Doğu boylamları arasında yer alır. Türkiye'nin en geniş yüzölçümüne sahip dördüncü ilidir. Kuzeyinde Doğu Karadeniz bölümü, Batısında Erzincan, Güneyinde Muş ve Bingöl Doğusunda Kars, Ağrı ve Ardahan'a sınırı vardır. İlçeleri; Aziziye, Palandöken ve Yakutiye merkez ilçe olmak üzere, Aşkale, Çat, Hınıs, Horasan, İspir, Karaçoban, Karayazı, Köprüköy, Narman, Olur, Oltu, Pasinler, Pazaryolu, Şenkaya, Tekman, Tortum, Uzundere' dir. Yükseltisi en fazla olan ilçe 2350 m ile Karayazı, en düşük olan ilçesi ise 1000 m ile Uzundere'dir. En geniş yüzölçümü İspir İlçesi'ne aittir. Erzurum ilinin ülkesel konum haritası Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1 : Erzurum ilinin ülkesel konumu (Google Maps, 2023).

Erzurum, yer şekilleri bakımından genel olarak yüksek ve plato özelliği göstermektedir. Kuzeyinde Kargapazarı, Güneyinde Palandöken dağları ile çevrilidir. Türkiye'de büyük şehirler içinde en yüksek yerleşim alanına sahip, 1900 m. ile en yüksek rakıma sahip ildir.

Erzurum'un yaz ayları ortalama sıcaklığı 18.4 °C dir. Türkiye'nin yaz ortalama sıcaklığı en düşük illerindendir. Ocak ayı ortalama sıcaklığı -7 °C ile yine en soğuk illerden birisidir. Ortalama yıllık sıcaklık 5 °C civarındadır. Yıllık ortalama güneşlenme süresi ise 1700 saat üzerindedir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından çeşitli iklim sınıflandırması yapılan iklim sınıflandırma tablosu Çizelge 3.1'de gösterilmektedir. İlkbahar sonu, yaz başları en yağışlı mevsimdir.

Çizelge 3.1 : Erzurum ili iklim sınıflandırması (İklim Sınıflandırması Erzurum, 2023)

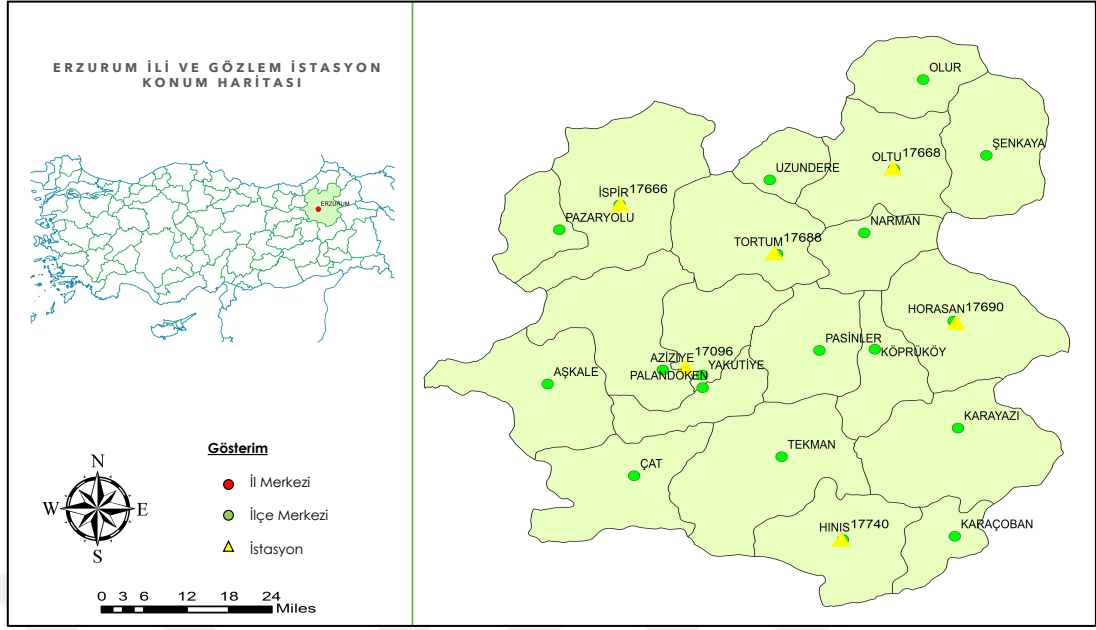
Aydeniz İklim Sınıflandırması			
Kuraklık Katsayısı	0,72	İklim Tipi	Yarı Nemli
Erinç İklim Sınıflandırması			
Yağış Etkinlik İndisi	33,58	İklim Tipi	Yarı Nemli
DeMartonne İklim Sınıflandırması			
Kuraklık İndisi	16,76	İklim Tipi	Yarı Kurak - Nemli Arası
Trewartha İklim Sınıflandırması (evrensel sıcaklık ölçeğine göre)			
Kış mevsimi iklim tipi	Kışları Çok soğuk, (-10,14)	İklim Tipi	Yazları ılık (19,01)
Thornthwaite İklim Sınıflandırması			
İklim Sınıfı	C1, C'2, s, b'2	C1: Yarı Kurak-Az Nemli C'2: 2.Derece Mikro termal s: Su fazlası kış mevsiminde ve orta derecede olan b'2: Yaz Buharlaşma Oranı: % 61,2	

3.2 Çalışmada Kullanılan Veri Setleri

Bu çalışmada, çalışma veri seti olarak, Erzurum ili sınırları içerisinde yer alan Çizelge 3.2'de detaylı bilgileri verilen Şekil 3.3'de istasyon konumları gösterilen haritada, istasyonların 1976-2021 su yılları arasında anlamlı verilerin bulunduğu 45 yıllık yağış, sıcaklık ve kar verileri kullanılarak kuraklık analizi yapılmıştır. Erzurum iline ait gözlem istasyon, aylık toplam yağış (mm) verileri, aylık ortalama sıcaklık (°C) verileri, kar yükseklik (mm) verileri ve kar su miktarı (mm) verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü 12. Bölge Erzurum temsilciliği tarafından temin edilmiştir.

Çizelge 3.2 : Erzurum ili gözlem istasyonlarının bilgileri (Meteoroloji 12.Bölge Müdürlüğü Erzurum, 2023)

No	İstasyon No	İstasyon Adı	ICAO	İlçesi	Enlem	Boylam	Rakım
1	17096	Erzurum Havalimanı	LTCE	Yakutiye	39.952900	41.189700	1758m
2	17666	İspir	ISPR	İspir	40.486062	40.999566	1217m
3	17668	Oltu	OLTU	Oltu	40.549700	41.995100	1300m
4	17688	Tortum	TORT	Tortum	40.301300	41.540900	1580m
5	17690	Horasan	HRSN	Horasan	40.041500	42.173013	1550m
6	17740	Hınıs	HINS	Hınıs	39.368800	41.695700	1716m



Şekil 3.3 : Erzurum ilçe merkezleri ve gözlem istasyonlarının merkez konumu.

Çalışma bölgesinde 2012 yılından sonra tüm gözlem istasyonları otomatik gözlem istasyonuna dönüştüğü için ilçelerde bulunan gözlem istasyonlarında kar verilerini ölçen ölçüm cihazları bulunmamaktadır. Bu cihaz sadece Erzurum Havalimanı istasyonuna konumlandırılmıştır. Bu sebepten dolayı kar kuraklık analizi ilçelerde bulunan gözlem istasyonlarının manuel kar verileri ile kar kuraklık indisi yardımıyla 2012 yılına kadar kar kuraklık analizi yapılmıştır. Şehir merkezinde bulunan Erzurum Havalimanı istasyonunda kar ölçüm cihazı olduğundan 2021 yılına kadar kar verileri ile kar kuraklık indisi yardımıyla kar kuraklık analizi yapılmıştır.

3.3 Eksik Veri Setinin Tamamlanması

Analiz çalışmalarının yapılabilmesi için eksik verilerin tamamlanması gerekmektedir. Eksik veriler tamamlanırken ideal olarak, birden fazla istasyondan gelen karşılaştırma verilerinin yakın olmasını ve test istasyonundan gelen verilerle ilişkilendirilmesini gerekir. Eksik yağış verilerini doldurmak için basit bir yöntem olan aritmetik ortalama yöntemi kullanılmıştır.

3.3.1 Yağış verilerinin tamamlanması

Eksik veriye ait istasyonun, çevresindeki diğer istasyonlarla aynı zamanda ölçülen ölçümler toplanıp ve ardından istasyon sayısına bölünüp istasyondaki eksik veri tamamlandı. İstasyon (P) 'daki eksik verilerin (aylık, mevsimsel veya yıllık) formülü şöyledir:

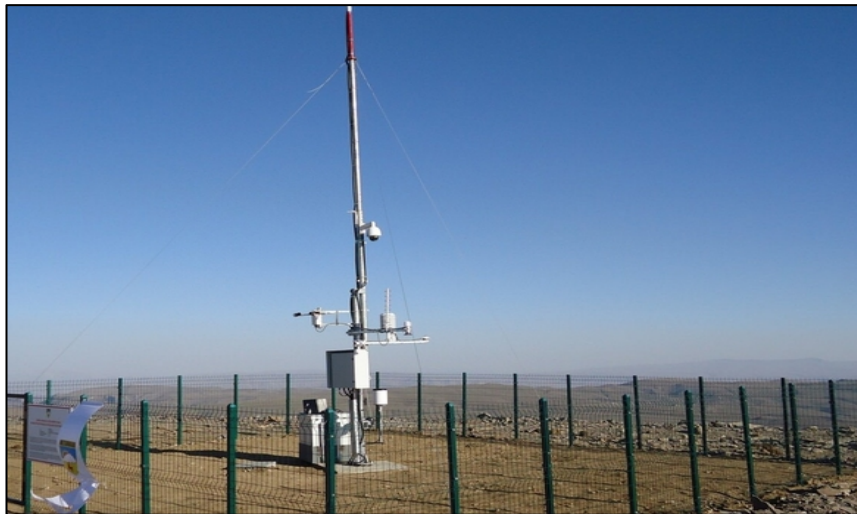
$$P = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n} \quad (3.1)$$

Denklem 3.1'de P eksik veri istasyonundaki yağış miktarını (mm), P₁, P₂, P₃ çevresindeki en yakın istasyonun, aynı zaman diliminde ölçülen yağış miktarını, n ise istasyon sayısını göstermektedir (Asdak, 2020).

3.3.2 Kar suyu eşdeğeri (SWE) verilerinin tamamlanması

Küresel sıcaklıklar yükseldikçe, dünyanın kar kaynaklarının önemli şekillerde değişeceği tahmin edilmektedir. Küresel, bölgesel ve yerel kar derinliği (HS), kar suyu eşdeğeri (SWE) ve kapsamındaki uzun vadeli değişiklikler, sonuçta ekosistem işlevi, kar kaynaklarının insan kullanımı ve iklimin kendisi için önemli sonuçlara sahip olacaktır (Sturm ve diğ, 2010).

Kar suyu eşdeğeri (SWE), karda bulunan su miktarı olarak tanımlanır bir diğer ifade ile kar örtüsünün hidrolojik önemini karakterize eder. Bu nedenle kar su eşdeğeri kar derinliği ve yoğunluğunun bir fonksiyonudur. SWE değeri otomatik gözlem istasyonlarında otomatik olarak hesaplanabilmektedir (Şekil 3.4). Fakat otomatik olmayan gözlem istasyonlarında SWE manuel olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 3.4 : Doğu Anadolu Gözlemevi otomatik gözlem istasyonu.

Kar su eşdeğerini (SWE) hesaplamanın bir çok yöntemi vardır. Bunlardan biri kar derinliği verisi yardımıyla hesaplanmaktadır. Kar su eşdeğeri, karyoğunluk ve kar derinliği arasında güçlü bir ilişki vardır.

$$\rho_b = 60.1 * HS^{0.89} + 237 \quad (3.2)$$

$$SWE = (60.1 * HS^{0.89} + 237) * HS \quad (3.3)$$

Denklem 3.2’de kar yoğunluğunu, Denklem 3.3’de ise kar suyu eşdeğerini temsil etmektedir. İki formül içerisinde yer alan HS değeri ise kar yüksekliğini (mm) ifade etmektedir. Kar yükseklik verisi olan tüm istasyonlar için kar yoğunluğu ve kar suyu eşdeğeri hesaplanabilmektedir (Jonas ve diğ, 2009).

Kar suyu eşdeğerinin (SWE) hesaplanması diğer bir yöntem olarak R-Studio uygulaması içerisinde yer alan ‘nixmass’ adlı hazır paketi yardımıyla gerçekleştirildi. Bu paket günlük kar yükseklik verilerini girdi olarak kullanarak içerisinde süreç tabanlı 'delta.snow' modeli ve kar yoğunluğu ile çeşitli saha parametreleri arasındaki ilişkileri ile oluşturulan ampirik regresyon modelleri yardımıyla kar suyu eşdeğer (SWE) verisi hesaplanmıştır. (Schellander, 2022)

3.4 Kuraklık İndisleri

3.4.1 Standartlaştırılmış yağış indisi (SPI)

Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI), aylık, mevsimlik ve yıllık gibi birçok zaman periyotlarında meteorolojik kuraklıkların belirlenmesinde kullanılan yöntemdir. SPI Kuraklık indisi McKee vd. (1993) tarafından geliştirilmiştir. Dünya Meteoroloji Organizasyonu (WMO) tarafından temel kuraklık indisi olarak tanımlanmıştır. SPI indisi, belirlenen bir zaman diliminde, aylık ortalama yağış miktarının yıllık ortalama yağış miktarından çıkarılıp standart sapmaya bölünmesi ile elde edilir (McKee, Doesken ve Kleist, 1993).

$$SPI = \frac{X_i - X_{ort}}{\sigma} \quad (3.4)$$

Denklem 3.4’de X_i i dönemindeki yağış miktarını (mm), X_{ort} uzun süreli ortama yağışı, σ standart sapmasını göstermektedir. Yağış verileri aylık, mevsimlik ve yıllık gibi

zaman periyotlarında normal dağılıma uymayabilir. Bu nedenle tüm veri setleri Gamma fonksiyonuna uydurulur.

3.4.2 Standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indisi (SPEI)

Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI), Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) ile benzer hesaplama esaslarına dayanan, Vicente-Serrano, Begueria ve L'opez-Moreno (2010) tarafından geliştirilen bir indistir. Bitki evapotranspirasyon ve meteorolojik kuraklığı dikkate alarak tarımsal kuraklık şiddetinin değerlendirilmesi için yağış ve sıcaklık verileri girdi olarak kullanılmaktadır. Dolayısı ile Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) özellikle sıcaklığın değişimi için küresel ısınmanın ötesinde ortaya çıkabilecek etkileri açıklayabilmektedir (Akgündüz ve diğ, 2017).

$$D_i = P_i - PET_i \quad (3.5)$$

Denklem 3.5’de P_i i dönemindeki yağış miktarını (mm), PET_i i dönemindeki potansiyel evapotranspirasyonu göstermektedir. Bu fark analiz edilen i dönemi için su eksiği veya fazlasını D_i ifade etmektedir. Potansiyel evapotranspirasyonu (PET) hesaplamak için aşağıdaki adımlar uygulanır;

a) Her ayın ortalama sıcaklığına göre aylık sıcaklık indeksleri belirlenir,

$$i = \left(\frac{t}{5}\right) * 1.514 \quad (3.6)$$

Denklem 3.6’da t değeri ortalama aylık sıcaklık değeri ($^{\circ}\text{C}$), i değeri ise aylık sıcaklık indisini ifade etmektedir.

b) Her aya ait sıcaklık indeksleri toplanarak yıllık sıcaklık indisi bulunur,

$$I = \sum_{k=1}^{12} i \quad (3.7)$$

Denklem 3.7’de I değeri yıllık sıcaklık indisini ifade etmektedir.

c) Hesaplanan aylık ve yıllık sıcaklık indeksleri kullanılarak, potansiyel evapotranspirasyonu (PET) bulunur,

$$PET=16*\left(\frac{10t}{I}\right)^a \quad (3.8)$$

$$a=(0.000000675*I^3)-(0.000077*I^2)+(0.01792*I)+0.49239 \quad (3.9)$$

Denklem 3.8’de t değeri ortalama aylık sıcaklık değerini ($^{\circ}\text{C}$), I değeri yıllık sıcaklık indisini, a değeri ise I değeri üzerinden hesaplanan bir kat sayı olup Denklem 3.9’da gösterilmiştir.

3.4.3 Standartlaştırılmış kar indisi (SSPI)

Standartlaştırılmış kar indisi (SSPI), günlük zaman serisi verileri olan kar suyu eşdeğeri (SWE) kullanılarak, standartlaştırılmış yağış indisi (SPI) yöntemi ile aynı şekilde hesaplanır. Standartlaştırılmış kar indisi (SSPI) ile hesaplanan değerler -3 ile 3 arasında standartlaştırılmış değerleri verir. Bu indisin hesaplanması için öncelikle kar suyu eşdeğeri (SWE) değerinin hesaplanması gerekmektedir. Kar suyu eşdeğeri (SWE) verileri aylık, mevsimlik ve yıllık gibi zaman periyotlarında normal dağılıma uymayabilir. Bu nedenle tüm veri setleri gamma fonksiyonuna uydurulur. Günlük hesaplanan kar suyu eşdeğeri (SWE), uzun süreli ortalama değerinden farkının, uzun süreli standart sapmaya bölünmesi ile standartlaştırılmış kar indisi (SSPI) hesaplanmış olur (Standardized SnowPack Index, 2021).

$$SSPI=\frac{SWE_i-SWE_{ort}}{SWE_{std}} \quad (3.10)$$

Denklem 3.10’da SWE_i i dönemindeki kar su eşdeğerini, SWE_{ort} uzun süreli ortama kar su eşdeğerini, SWE_{std} uzun süreli standart sapmasını göstermektedir. Çalışma bölgesinde elde edilen veriler Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI), Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) ve Standartlaştırılmış Kar İndisi (SSPI) ile bulunan kuraklık indis değerleri Çizelge 3.3’de verilen kuraklık kategorisi yardımıyla sınıflandırılması yapılmıştır.

Çizelge 3.3 : Kuraklık indislerinin kategori sınıflandırması.

SPI-SPEI-SSPI İndis Değerleri	Kuraklık Kategorisi
≥ 2.00	Aşırı Nemli
1.50-1.99	Çok Nemli
1.00-1.49	Orta Nemli
0.50-0.99	Hafif Nemli
-0.49-0.49	Normal
-0.99- -0.50	Hafif Kurak
-1.49- -1.00	Orta Kurak
-1.99- -1.50	Şiddetli Kurak
≤ -2.00	Aşırı Kurak

3.5 Kuraklığın Süresi, Şiddeti ve Büyüklüğü

Kuraklığın etkisini değerlendirmek için süresini, şiddetini ve büyüklüğünü gibi çeşitli kuraklık özelliklerini belirlemek için kuraklık indeksi ana değişkendir. Bu araştırmada kullanılan meteorolojik kuraklık göstergesi SPI, SPEI ve SSPI indisleridir. Farklı zaman periyotları için 1 ay, 3 ay ve 12 ay olarak hesaplanmıştır.

SPI, SPEI ve SSPI değerinin negatif değerleri kuraklık, pozitif değerleri ise kuraklık dışı olay olarak kabul edilir. SPI, SPEI ve SSPI değerleri sıfırın altına düştüğünde kuraklık tanımlandığından, bir kuraklık olayı negatif değerlerine sahip bir dönem olarak kabul edilir. Kuraklık süresinin uzunluğunu ve kuraklık şiddetinin büyüklüğünü ölçmek için bir eşik değer tanımlanmalıdır. Kuraklık süresi (D), SPI, SPEI ve SSPI değerlerinin -1'e eşit ve küçük olduğu sürekli negatif değerleri, kuraklık süresi olarak tanımlanmıştır. Bu süre SPI, SPEI ve SSPI değerlerinin negatif değerinden başlayıp, pozitif olduğu ortaya çıktığında sona erdiği dönem uzunluğudur.

$$S = - \sum_{i=1}^D \text{SPI, SPEI, SSPI} \quad (3.11)$$

Denklem 3.11'de S kuraklık şiddetini, D kuraklık süresini SPI, SPEI ve SSPI ise kuraklık indis değerlerini göstermektedir. Kuraklık şiddeti (S), kuraklık süresi içinde SPI, SPEI ve SSPI değerlerinin toplamı olarak ifade edilir. Kuraklık büyüklüğü (I) ise SPI, SPEI ve SSPI analiz sonuçlarının farklı periyotlarda elde edilen maksimum değerleri temsil eder (Mishra ve Singh, 2010). Bu değer 6 istasyon ve tüm periyotlar için tespit edilmiştir.

3.6 Kullanılan Programlar

Meteoroloji 12.Bölge Müdürlüğü tarafından temin edilen veriler, analizlerde eksik verinin olmaması için kontrol edilerek tamamlanmıştır. Daha sonra tamamlanan veriler, R Studio uygulaması yardımıyla 1-3-12 aylık periyotlarla SPI, SPEI ve SSPI analizleri uygulanmıştır. Analiz sonucu MS-Excel ve ArcMap uygulamaları yardımı ile sonuçlar haritalar ile görselleştirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Çalışmanın bu bölümünde, Erzurum ilinde bulunan, meteoroloji genel müdürlüğüne bağlı 6 gözlem istasyonuna ait 45 yıllık (1976-2021) yağış, sıcaklık ve kar verileri detaylı bir şekilde bir şekilde değerlendirilmesi yapılmıştır. Sonraki kısımda ise SPI ve SPEI yöntemleriyle yağış kuraklığı, SSPI yöntemi ile de kar kuraklığı ayrıntılı bir şekilde incelenip, tüm kuraklık analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

4.1 İklimsel Verilerin Değerlendirilmesi

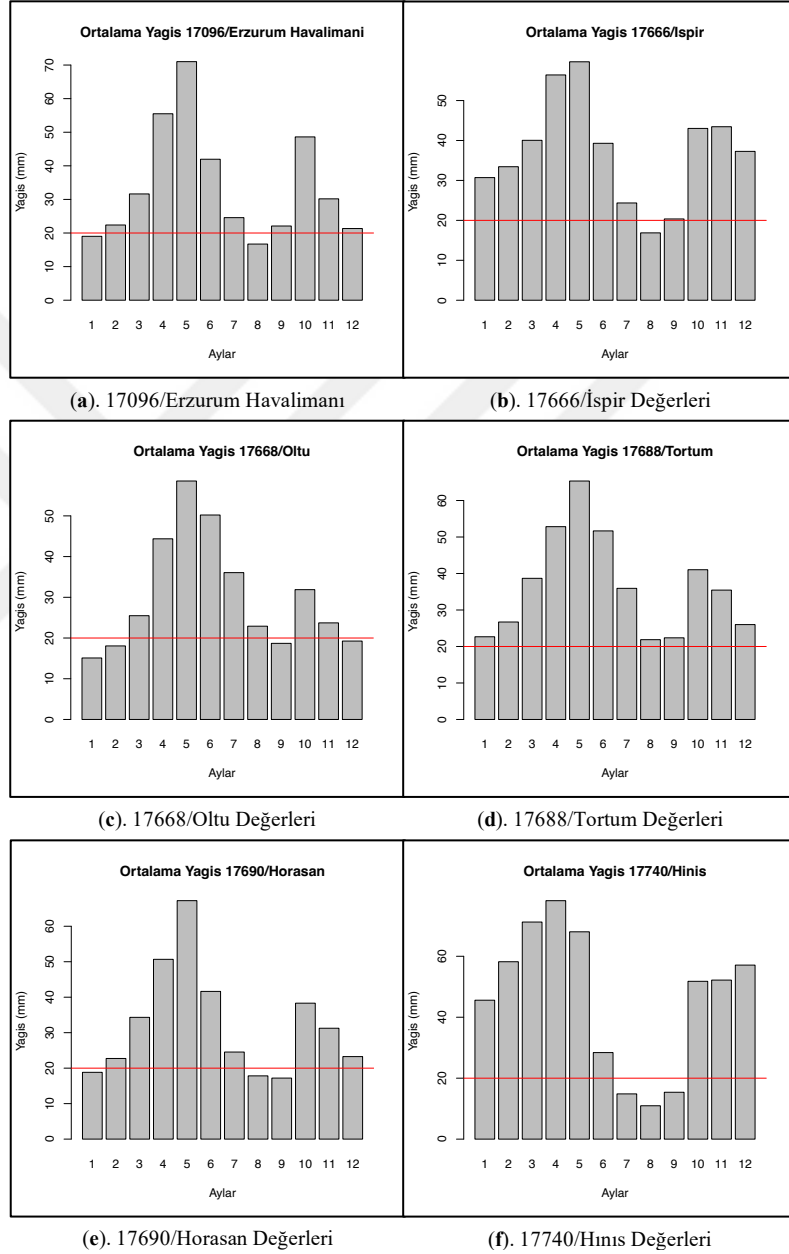
4.1.1 Yağış

Tüm istasyonlara ait yağış verileri incelendiğinde özellikle nisan ve mayıs aylarında yüksek yağışlar meydana geldiği, ağustos ve eylül aylarında ise düşük yağışlar olduğu gözlemlenmiştir. Yılın başlarından ortasına kadar artan yağış eğilimi, yıl ortasından yıl sonuna doğru ise azalan yağış eğilimi tespit edilmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 : Su yılı aylık yağış verileri.

İstasyon	Yağış	Aylar											
No	(mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
17096	Min.	1,7	1,2	1,2	11	14,9	2,9	1,2	0,2	0,1	2,3	1,6	4,9
	Max.	55,7	90	82,2	147,7	154	88,6	92,6	63	76,2	210,8	81	52,8
	Ort.	19,02	22,39	31,63	55,50	71,01	41,97	24,58	16,71	22,09	48,61	30,17	21,34
17666	Min.	0,6	2,8	3,4	5,6	3,5	3,8	1	0,3	0,2	0,6	0,5	1,6
	Max.	96,2	117,8	110,2	137	128,4	78,8	58,1	53,8	72,6	126,5	142,7	104,3
	Ort.	30,71	33,43	40,04	56,42	59,71	39,30	24,36	16,87	20,35	43,02	43,45	37,28
17668	Min.	0,2	0,4	1,1	5,2	15,6	0,2	9,6	0,9	0,1	6,6	0,2	1,2
	Max.	48,3	54	67,1	98	112	118,2	112,5	102,2	59,9	96,8	80,3	56,7
	Ort.	15,10	18,06	25,48	44,37	58,56	50,21	36,06	22,91	18,69	31,88	23,72	19,25
17688	Min.	0,6	3,4	1,6	7,2	5,4	8,8	0,4	1,6	0,1	3,5	0,5	0,9
	Max.	70,7	89,8	96,9	111,6	170,2	130,2	96,4	80,6	57,6	99,6	108,3	85,9
	Ort.	22,67	26,71	38,68	52,83	65,34	51,67	35,93	21,87	22,37	41,03	35,45	26,00
17690	Min.	0,6	2,6	1,1	12	13,6	3	0,2	0,2	0,2	4,1	0,5	0,1
	Max.	44	63,6	73,7	115,1	130,8	91,7	84,1	62,4	51,6	97,1	77,2	54,7
	Ort.	18,83	22,73	34,32	50,68	67,22	41,63	24,54	17,83	17,20	38,32	31,25	23,26
17740	Min.	1,2	6,1	9	9,6	12,4	0,2	0,2	0,2	0,6	0,8	0,5	6,8
	Max.	104,2	171,6	163	173,7	191	96,4	54,1	44	56,75	184,3	127,1	155,1
	Ort.	45,59	58,21	71,24	78,24	68,03	28,40	14,84	10,95	15,38	51,79	52,19	57,10

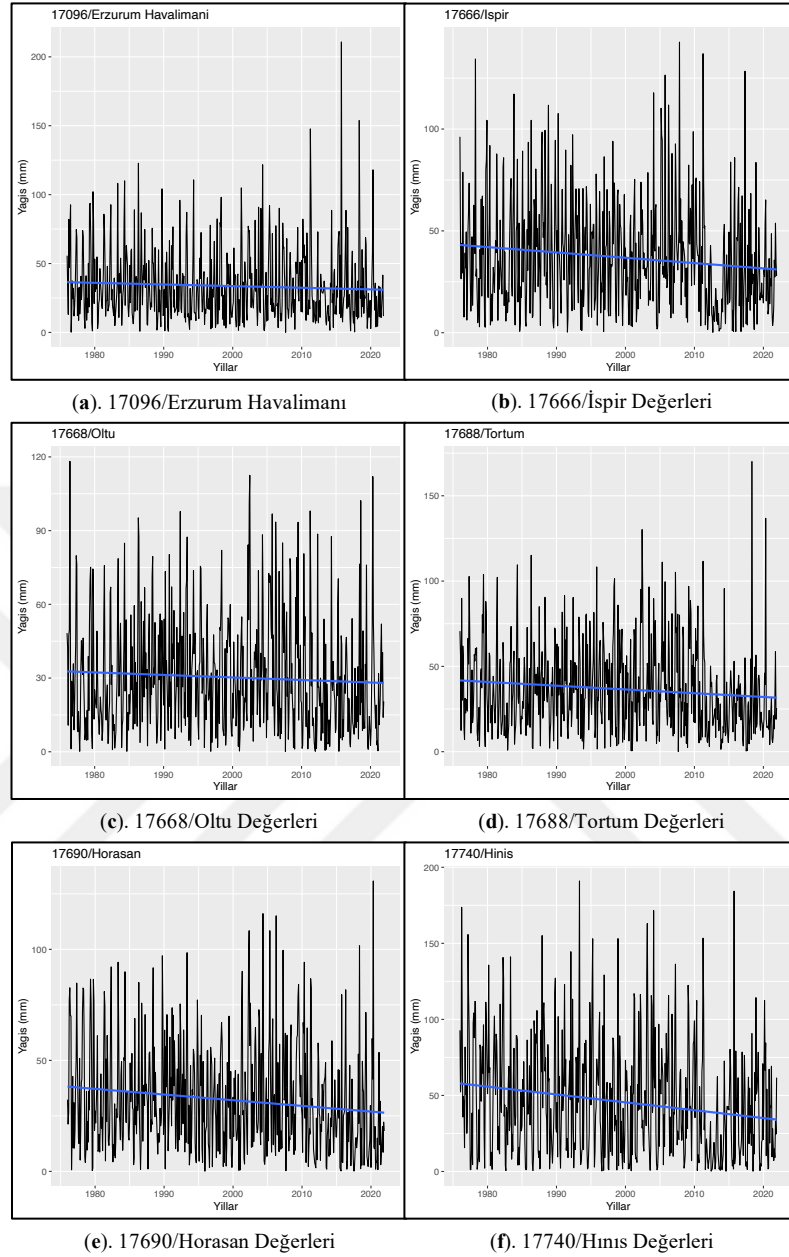
Meteorolojik hadiselerin şiddetlerine ait sınıflandırmaya göre, ortalama yağışın 20 mm üzeri durumunda olması durumunda kuvvetli yağış, yağışın 20 mm ve altı durumunda hafif yağış olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre ocak, şubat, temmuz, ağustos ve eylül aylarında hafif yağışlar, diğer aylarda ise kuvvetli yağışlar gözlemlenmiştir. Kış aylarında yağışlar kar şeklinde olarak yağmaktadır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 : Su yılı aylık ortalama yağış değerleri.

Analiz bölgesindeki gözlem istasyonlarının aylık ortalama yağış verilerinin zamana bağlı değişim grafikleri incelendiğinde, tüm gözlem istasyonlarında, yağış verisinde azalma eğilimi olduğu tespit edilmiştir. Bu eğilim 17666/İspir, 17690/Horasan ve 17740/Hınıs gözlem istasyonlarında daha belirgin bir şekilde gözlenmektedir. Yağışlar

genel olarak aylık 0-100 mm arasında seyrederken, 17740/Hınıs gözlem istasyonunda ise 0-150 mm arasında seyretmektedir (Şekil 4.2).

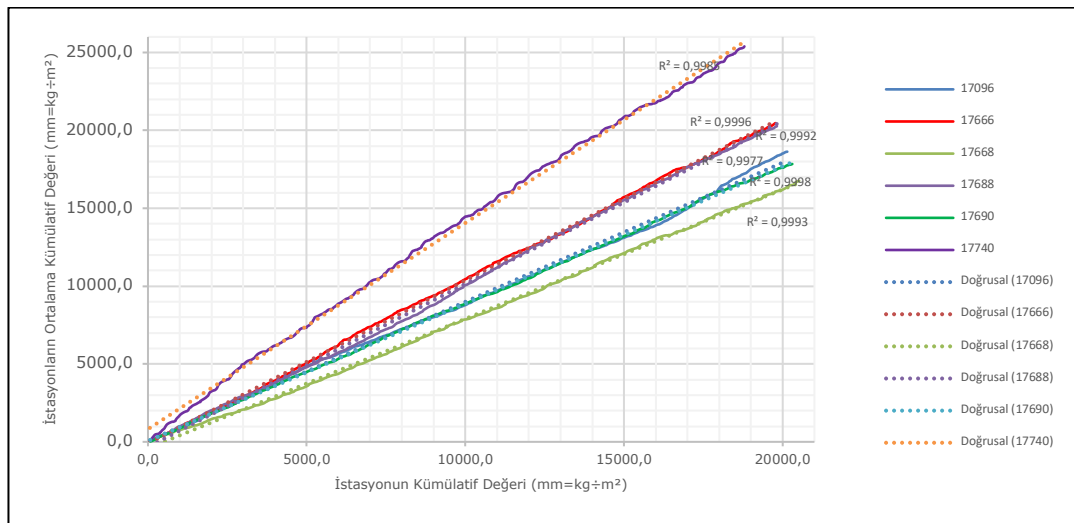


Şekil 4.2 : Yıllık ortalama yağış değişimi.

Etrafı yüksek dağlarla çevrili bölgede yıl içerisindeki yağış miktarı ve alansal dağılışı incelendiğinde, batı ve kuzey kesimlerindeki yıllık yağış miktarı ile doğu kesimindeki yağış değerleri arasında farklılık tespit edilmiştir. Toplam yağış verileri incelendiğinde, 17096/Erzurum Havalimanı istasyonu (405.01 mm), 17666/İspir istasyonu (444.93 mm), 17668/Oltu istasyonu (364.30 mm), 17688/Tortum istasyonu (440.56 mm), 17690/Horasan istasyonu (387.81 mm), 17740/Hınıs istasyonu (551.96 mm) istasyonları arasında yağış miktarı bakımından, birbirlerine yakın konumda

olmasına rağmen, yıllık ortalama yağış miktarı farklılıklar gözlenmektedir. Bu farklılık, kuzey bölgesinde yer alan 17666/İspir ve 17688/Tortum istasyonları genellikle kuzeyden gelen nemli hava kütleleri ile yağış miktarının fazla olmasını sağlamaktadır. Öte yandan 17668/Oltu istasyonu en düşük yağış miktarı olan istasyon olarak tespit edilmiştir. Bunun sebebi ise yüksek dağların engellemesi nedeniyle en az yağış alan konumundadır (387.81 mm).

Çift kütle eğri analizi, gözlem istasyonlarının konum değişikliği, ölçme yöntemi veya çevre şartlarının değişikliği gibi etkenlerle gözlem istasyonunda ölçülen eski ve yeni yağış verilerinin arasındaki homojenliğin bozulup bozulmadığını tespit etmek için kullanılan bir analiz yöntemidir. Bu yöntem ile yağış verilerinin homojenliği bozulmuş ise homojenliğini sağlamak için çift kütle eğri analiz yöntemi kullanılmaktadır. Çift kütle eğri analizinde inceleme yapılan araştırma döneminin en son gözlem yılından başlanarak; yatay eksene, o bölgedeki bütün yağış istasyonlarının yıllık yağışlarının ortalaması, dikey eksene ise, homojenliğinden şüphelenilen gözlem istasyonunun yağış verileri yığımlı olarak noktalanır. Elde edilen verilerin grafik üzerinde işaretlenir. İşaretlenen noktaların arasından çizilen doğrunun eğiminde bir kırıklık meydana gelmişse, değişikliğin olduğu yıldan önceki yağış versine homojen olmadığına karar verilir. Araştırma kapsamında tüm istasyonların uzun yıllar toplam yıllık yağış miktarının gidişi çift kütle eğrisi analizi aracılığıyla incelenmiştir. Analiz sonucu, tüm istasyonlarda R^2 değeri 0.99 olarak gözlenmiştir. Buna göre yağış miktarındaki gidişin %99 güven düzeyinde anlamlı bir sonuca sahip olduğu görülmüştür (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 : Yağış verileri için çift kütle eğri analiz değerleri.

4.1.2 Sıcaklık

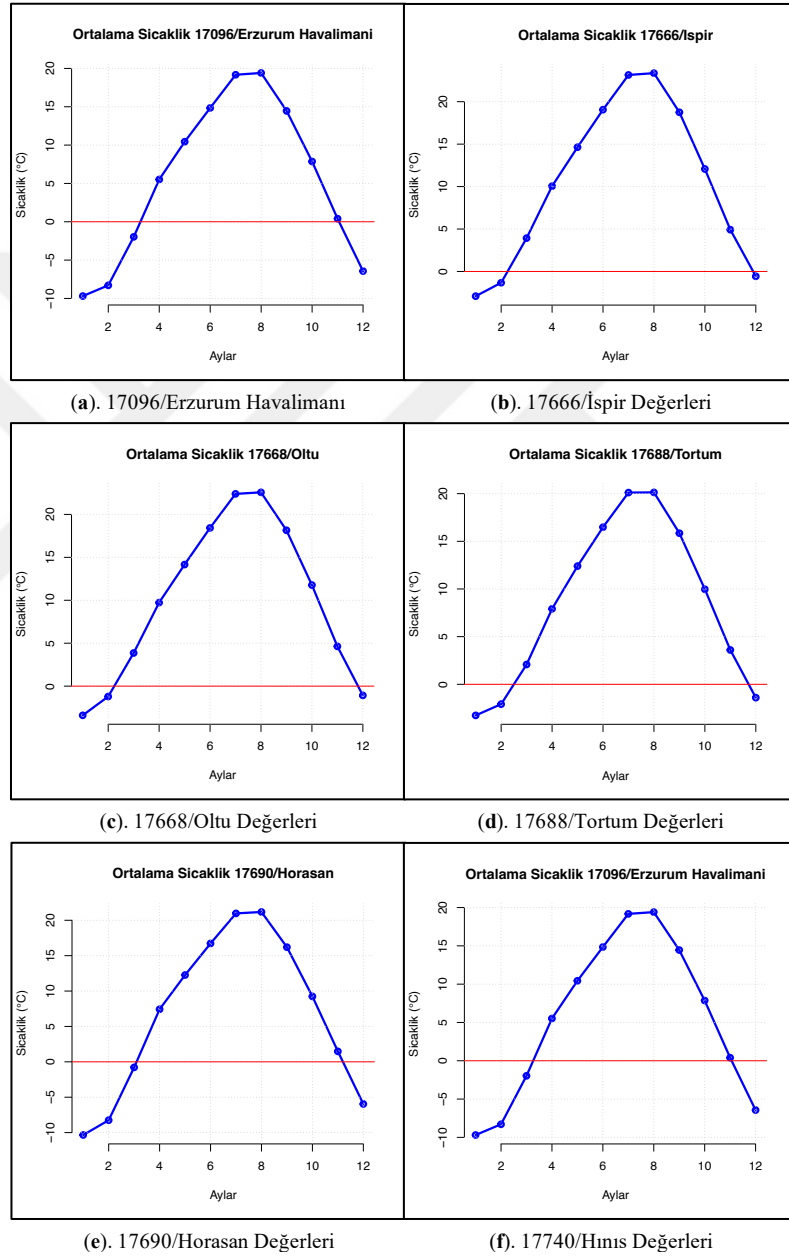
İstasyonlara ait sıcaklık verileri incelendiğinde, tüm istasyonlarda ocak ayından itibaren artış eğilimi olduğu, mart ayından sonra ise hızlı bir artış göstererek temmuz ve ağustos aylarında en yüksek seviyeye çıktığı gözlenmektedir. Ağustos ayından sonra sıcaklıklar azalma eğilimi göstererek kasım ayında yıllık ortalama sıcaklığın altına düşmekte ve nisan ayına kadar yıllık ortalamanın altında seyretmektedir. Gözlem istasyonlarında en düşük sıcaklık değeri (-38.50 °C) 17690/Horasan istasyonunun ocak ayında gerçekleşirken, en yüksek sıcaklık değeri (42.00 °C) 17666/İspir istasyonunun temmuz ayında gerçekleşmektedir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2 : Su yılı aylık sıcaklık verileri.

İstasyon	Sıcaklık	Aylar											
No	(°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
17096	Min.	-36	-37	-33,2	-22,4	-7,1	-5,6	-1,8	-1,1	-6,8	-14,1	-34,3	-37,2
	Max.	7,8	9,6	21,4	26,5	28,4	32,7	35,6	36,5	33,3	27	17,8	14
	Ort.	-9,69	-8,29	-1,97	5,52	10,44	14,85	19,17	19,40	14,45	7,86	0,40	-6,44
17666	Min.	-24,3	-25,5	-25,7	-9,4	-1,4	3	4	7,7	1,5	-5,4	-15,4	-25,8
	Max.	13,4	17	24,8	28,8	34,9	38,5	42	40,6	37,4	31,7	22	17,7
	Ort.	-2,91	-1,33	3,93	10,05	14,64	19,06	23,15	23,36	18,75	12,07	4,92	-0,57
17668	Min.	-24,2	-22,4	-18,4	-11	-3,6	1,6	3	5,1	1,5	-4,2	-15,6	-23,3
	Max.	15,1	16,5	24,3	29,1	32,3	36,6	40,1	39,4	35,8	29,2	22,2	19,6
	Ort.	-3,40	-1,21	3,86	9,73	14,16	18,43	22,39	22,57	18,15	11,77	4,63	-1,08
17688	Min.	-26,6	-25	-24,8	-12,6	-6	0,4	1	3,9	-2	-8	-18,8	-25
	Max.	14	13,9	22,2	29,1	31,5	35	38,3	37	34,5	29,5	21	19,5
	Ort.	-3,26	-2,08	2,08	7,92	12,40	16,48	20,11	20,13	15,85	9,97	3,60	-1,40
17690	Min.	-38,5	-37,9	-34	-15,3	-3,7	-1,5	3	4	-2,4	-9,9	-29,3	-36,6
	Max.	10,9	13	22,6	27,5	31	34,8	38,5	38	35	29	20,6	16
	Ort.	-10,34	-8,25	-0,78	7,43	12,27	16,73	20,97	21,17	16,20	9,24	1,48	-5,96
17740	Min.	-30,6	-34	-28,2	-17	-6,7	1	2,8	6	-0,6	-9,5	-23,2	-32,5
	Max.	10	10	21,4	25,8	29,5	33,3	38	36	32,2	27	19	16,2
	Ort.	-8,62	-7,27	-1,61	6,19	11,47	16,41	20,93	20,82	16,03	9,45	1,88	-4,86

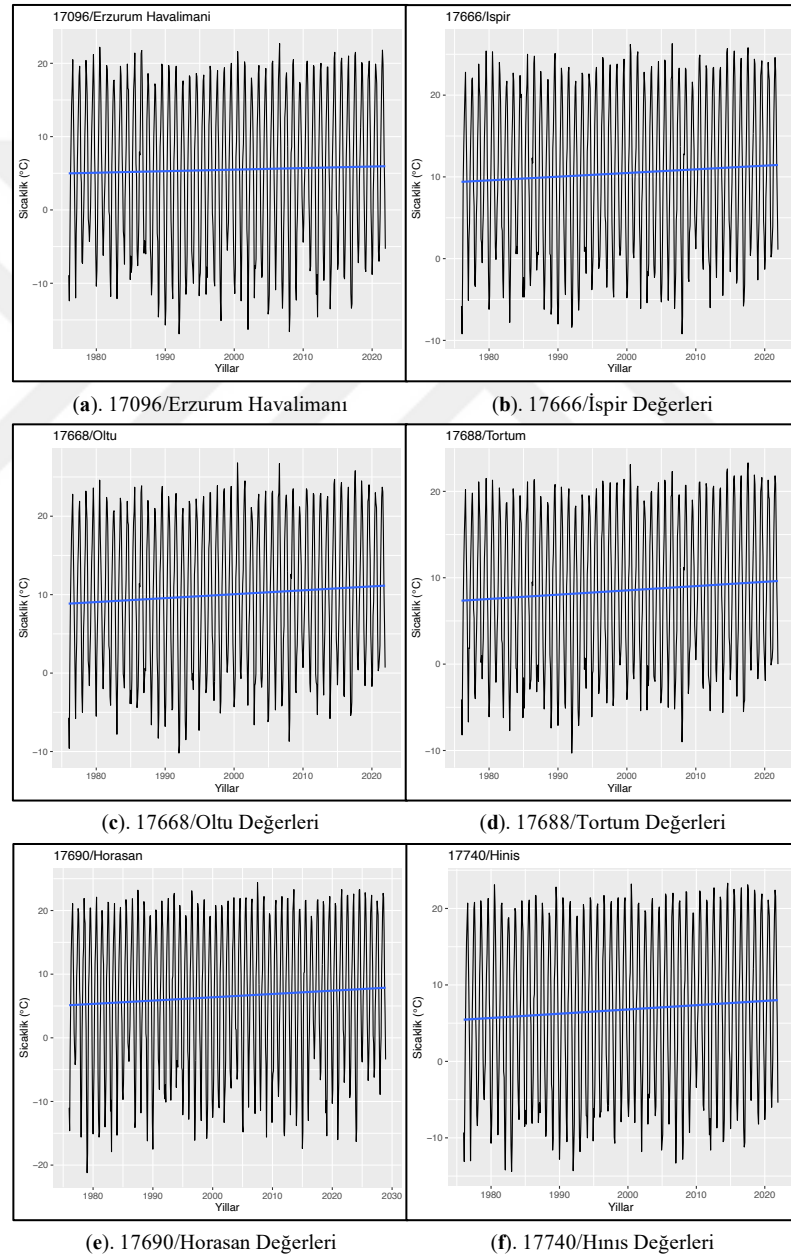
Yıllık ortalama sıcaklıklar, 17096/Erzurum Havalimanı istasyonu (5.48 °C), 17666/İspir istasyonu (10.43 °C), 17668/Oltu istasyonu (10.00 °C), 17688/Tortum istasyonu (8.48 °C), 17690/Horasan istasyonu (6.68 °C) ve 17740/Hınıs istasyonu (6.74 °C) olarak tespit edilmiştir. İstasyonlar arasında büyük farklar gözlenmemekte ve tüm istasyonlarda birbirine yakın değerler gözlemlenmektedir.

Aylık ortalama sıcaklık değeri 17096/Erzurum Havalimanı, 17690/Horasan ve 17740/Hınıs istasyonları mart ayında, 17666/İspir, 17668/Oltu ve 17688/Tortum istasyonlarında ise şubat ayı içerisinde 0 °C'nin üzerine çıkmaktadır. Tüm istasyonlarda 0 °C'nin altına düşmesi kasım ayı içerisinde gözlenmektedir. Bütün istasyonların temmuz ayı sıcaklıkları, ağustos ayının sıcaklıklarına hemen hemen yakın bir değerde gözlenmektedir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 : Su yılı aylık ortalama sıcaklık değerleri.

Analizi yapılan gözlem istasyonlarının aylık ortalama sıcaklık verilerinin zamana bağlı değişim grafikleri incelendiğinde, tüm gözlem istasyonlarında, sıcaklık verisinin artma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Bu eğilim 17096/Erzurum Havalimanı gözlem istasyonu hariç diğer tüm istasyonlarda daha belirgin bir şekilde gözlenmektedir. Sıcaklıklar genel olarak 17666/İspir, 17668/Oltu ve 17688/Tortum gözlem istasyonlarında $+25^{\circ}\text{C}$ ve -10°C arasında değişirken, 17096/Erzurum Havalimanı, 17690/Horasan ve 17740/Hınıs gözlem istasyonlarında $+25^{\circ}\text{C}$ ve -20°C arasında seyretmektedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 : Yıllık ortalama sıcaklık değişimi.

4.1.3 Kar yüksekliği

Erzurum Meteoroloji 12. Bölge Müdürlüğüne bağlı tüm istasyonlar 2012 yılından itibaren manuel gözlem istasyonlarını, otomatik gözlem istasyonuna dönüştürmüştür. Bu sebepten dolayı kar ile ilgili verilerin ölçümünü yapan cihaz sadece 17096/Erzurum Havalimanı istasyonuna konumlandırıldığından kar yükseklik verileri 2021 yılına kadar sadece bu istasyonda mevcuttur. İncelemesi yapılan diğer istasyonların kar verileri 2012 yılına kadar değerlendirilmiştir.

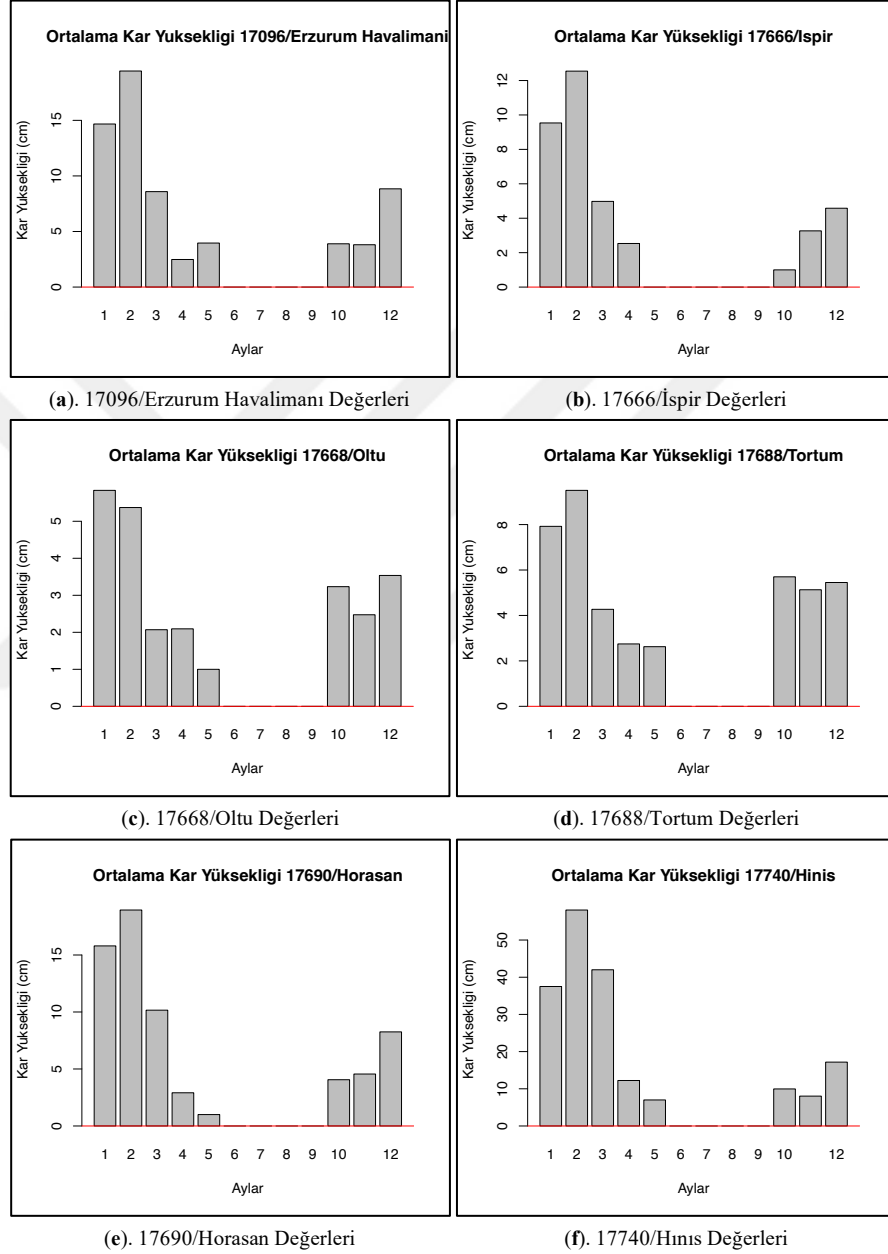
Tüm istasyonlara ait kar yükseklik verileri incelendiğinde haziran, temmuz, ağustos ve eylül ayları hariç diğer tüm aylarda yağışlar kar yağışı şeklinde gözlenmektedir. En yüksek ortalama kar yüksekliği (58.07 cm) 17740/Hınıs istasyonun şubat ayında meydana geldiği gözlemlenmiştir. En düşük ortalama kar yüksekliği (5.84 cm) ise 17668/Oltu istasyonun ocak ayında meydana geldiği gözlemlenmiştir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 : Su yılı aylık kar yükseklik verileri.

İstasyon No	Kar Yüksekliği (cm)	Aylar											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
17096	Min.	0,60	1,30	0,30	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Max.	39,30	60,00	35,70	10,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,00	14,40	45,30
	Ort.	14,67	19,44	8,59	2,48	3,96	0,00	0,00	0,00	0,00	3,89	3,81	8,84
17666	Min.	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,20
	Max.	61,10	83,40	45,70	8,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	9,70	21,50
	Ort.	9,54	12,55	4,98	2,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	3,27	4,58
17668	Min.	0,10	0,10	0,00	0,20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,10	0,00
	Max.	25,10	36,80	13,10	14,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,70	11,60	17,50
	Ort.	5,84	5,37	2,07	2,09	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,23	2,47	3,54
17688	Min.	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,30	0,50	0,20
	Max.	33,70	55,40	21,60	16,00	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,60	18,00	23,90
	Ort.	7,92	9,51	4,27	2,75	2,63	0,00	0,00	0,00	0,00	5,70	5,13	5,45
17690	Min.	0,10	0,50	0,00	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
	Max.	45,60	57,10	41,00	12,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,30	18,70	39,50
	Ort.	15,80	18,95	10,16	2,91	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,06	4,56	8,25
17740	Min.	3,30	7,20	3,00	0,60	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	0,60	1,20
	Max.	86,10	169,60	113,70	44,10	13,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,70	29,50	61,20
	Ort.	37,51	58,07	42,00	12,23	7,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,96	8,03	17,17

Yıllık ortalama kar yükseklikleri, 17096/Erzurum Havalimanı istasyonu 5.47 cm, 17666/İspir istasyonu 3.20 cm, 17668/Oltu istasyonu 2.13 cm, 17688/Tortum istasyonu 3.61 cm, 17690/Horasan istasyonu 5.47 cm ve 17740/Hınıs istasyonu 16.00 cm olarak tespit edilmiştir.

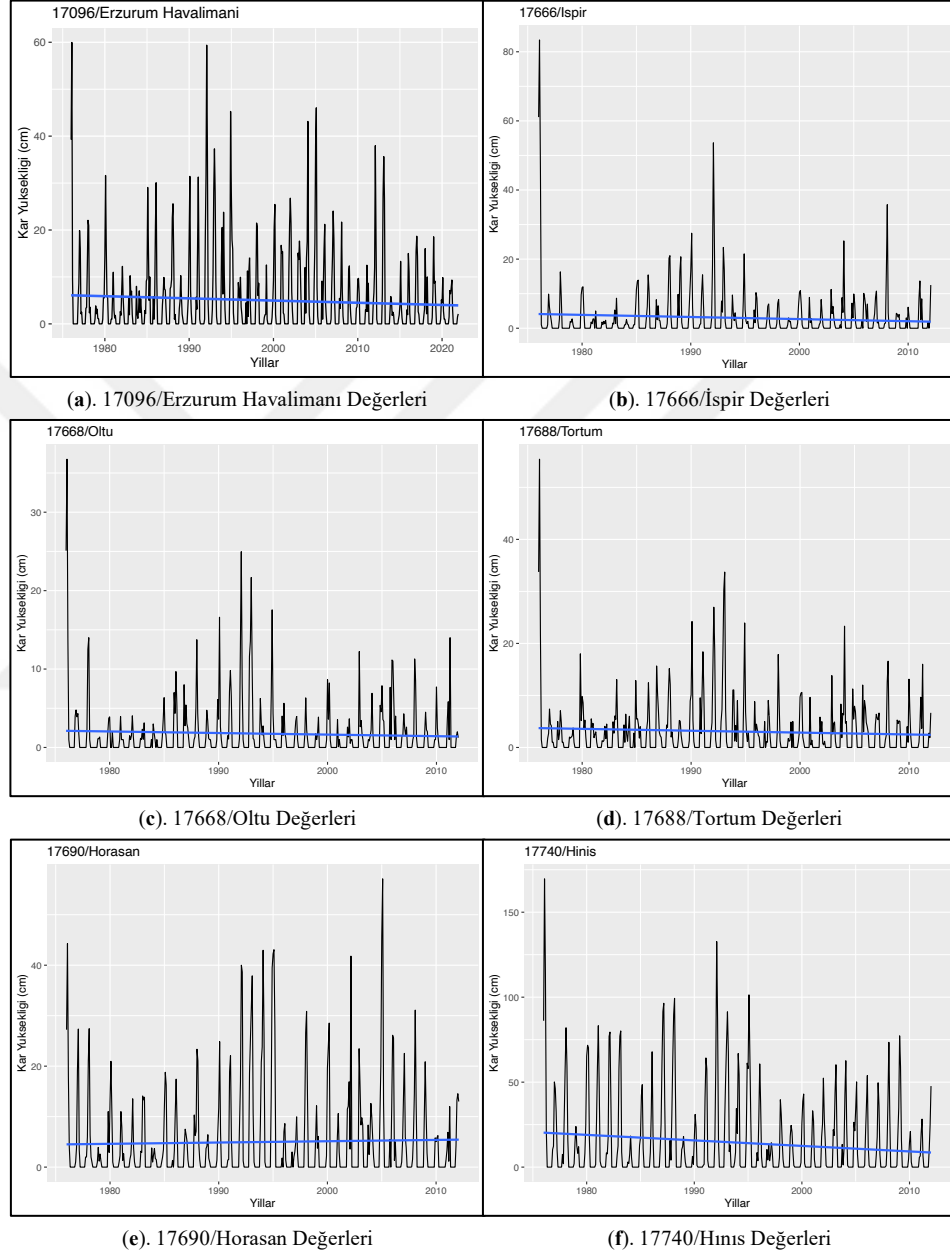
İstasyonlara ait kar yükseklik verileri incelendiğinde, tüm istasyonlarda benzer bir eğilim gözlenmektedir. Yılın başlarından mart ayına kadar artan kar yağış eğilimi, mart ayından haziran ayına doğru azalan kar yağış eğilimi, ekim ayından yıl sonuna doğru ise artan kar yağış eğilimi tespit edilmiştir. 17668/Oltu istasyonuna ait ortalama kar yüksekliği, diğer istasyonlara göre ortalamanın altında seyretmektedir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 : Su yılı aylık ortalama kar yükseklik değerleri.

Bölgede gözlem istasyonlarının 1976-2012 yılları arasında aylık ortalama kar yükseklik verilerinin zamana bağlı değişim grafikleri incelendiğinde, 17690/Horasan gözlem istasyonu hariç diğer tüm gözlem istasyonlarında azalma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Fakat 1995 yılından itibaren 17690/Horasan gözlem istasyonunda da

kar yükseklik verilerinde azalma eğilimi olduğu gözlenmiştir. Azalma eğilimi 17096/Erzurum Havalimanı ve 17740/Hınıs gözlem istasyonlarında belirgin bir şekilde gözlenirken diğer istasyonlarda bu eğilim daha düşük seyretmektedir. 17740/Hınıs gözlem istasyonunda diğer istasyonlara oranla daha yüksek kar verisinin ölçüldüğü tespit edilmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 : Yıllık ortalama kar yükseklik değişimi.

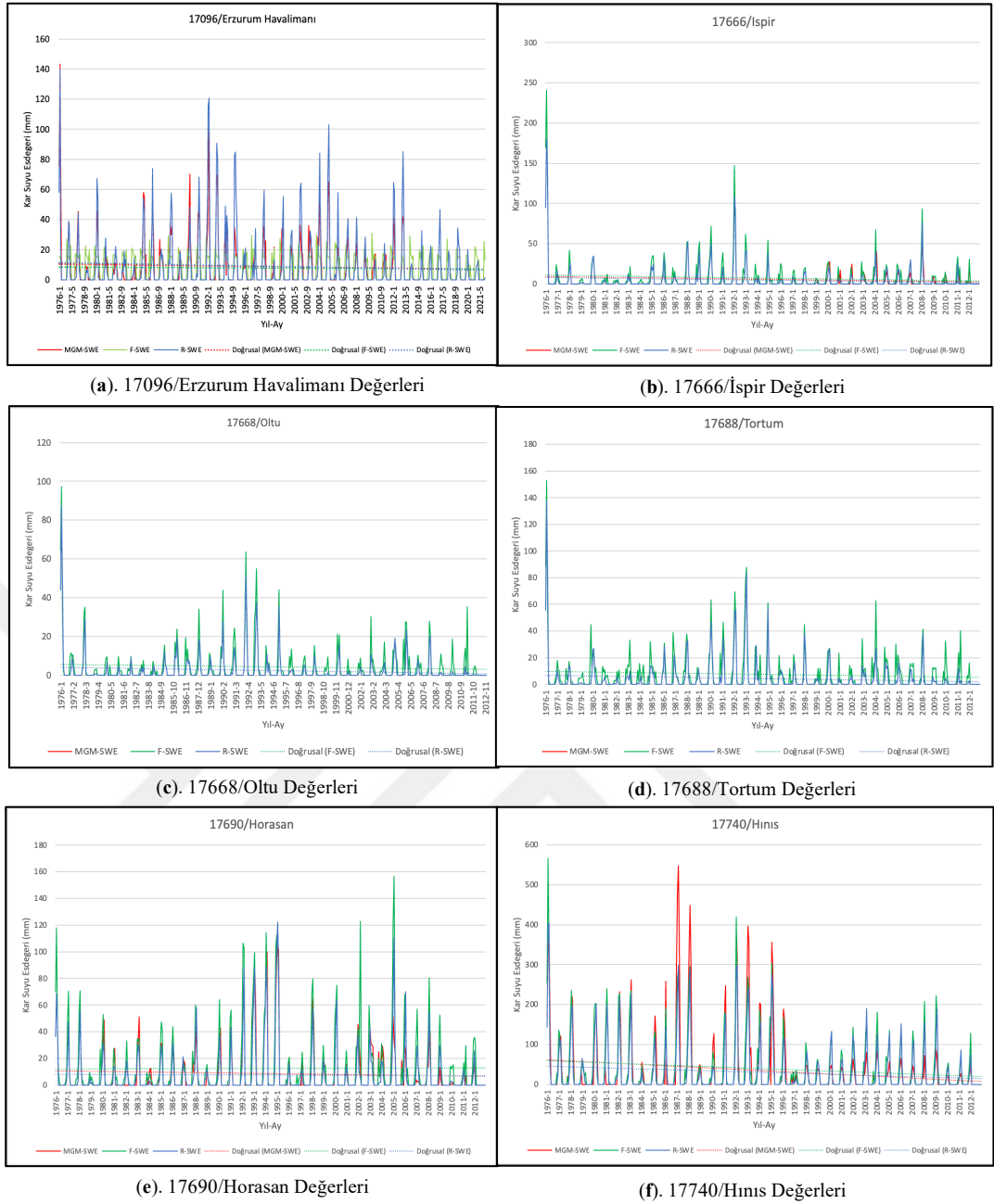
4.1.4 Kar suyu eşdeğeri (SWE)

Kar ile ilgili analizlerin gerçekleştirilmesi için kar suyu eşdeğeri (SWE) verisine ihtiyaç duyulmaktadır. Temelde, kar suyu eşdeğeri (SWE), kar yüksekliği (HS) verisi yardımıyla hesaplanmaktadır. Kar yükseklik (HS) verisi, incelemesi yapılan tüm gözlem istasyonlarında mevcuttur. Fakat 2012 yılından itibaren manuel gözlem istasyonlarının otomatik gözlem istasyonuna dönüştürülmesi sebebi ile kar suyu eşdeğeri (SWE) verisi 2012 yılına kadar değerlendirilmiştir.

Kar suyu eşdeğeri (SWE) verisi, 17096/Erzurum Havalimanı ve 17740/Hınıs ölçüm istasyonlarında otomatik olarak hesaplandığı için bu veriler analizde kullanılmıştır. Fakat diğer istasyonlarda eksik veri olması sebebi ile bu değer manuel olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kar yükseklik (HS) verisi kullanılarak, kar yoğunluğuna (ρ_b) bağlı olarak kar suyu eşdeğeri (SWE) hesaplama yöntemleri ile hesaplanan değerler korelasyon yardımı ile en uygun değerler tespit edilmiştir.

Analiz grafikleri değerlendirildiğinde hesaplanan iki farklı yöntem ile Meteoroloji Genel Müdürlüğüne bağlı istasyonların hesapladığı zamana bağlı kar suyu eşdeğer (SWE) değişim grafiği büyük oranda benzerlik göstermektedir. Grafiği oluşturulan SWE değerlerinin doğrusal çizgileri de grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.8).

Hesaplamalar sonucu 17666/İspir istasyonunda hidrolojik formül ile hesaplanan kar suyu eşdeğer (SWE) verisi (korelasyon kat sayısı 0.85988) kullanılırken, 17668/Oltu (korelasyon kat sayısı 0.90563), 17688/Tortum (korelasyon kat sayısı 0.89652) ve 17690/Horasan istasyonu (korelasyon kat sayısı 0.90808) içinde R-Studio uygulaması yardımıyla 'nixmass' paketi ile hesaplanan değerler en uygun değer olarak tespit edilmiştir. Bu değerler ile kar analiz çalışmaları yapılmıştır (Çizelge 4.4).



Şekil 4.8 : Farklı yöntemlerle elde edilen kar suyu eşdeğer değerlerinin karşılaştırılması.

Çizelge 4.4 : Erzurum ili SWE korelasyon kat sayıları.

İstasyon No	MGM Verisinin Korelasyon Kat Sayıları	
	F-SWE	R-SWE
17096	0,47919	0,88214
17666	0,85988	0,78644
17668	0,90563	0,90563
17688	0,89652	0,89652
17690	0,84663	0,90808
17740	0,85105	0,86635

Tüm istasyonlara ait kar suyu eşdeğer verileri incelendiğinde haziran, temmuz, ağustos ve eylül ayları hariç diğer tüm aylarda kar suyu eşdeğer verisi gözlenmektedir. Maksimum kar suyu eş değeri 17740/Hınıs istasyonunda mart ayı içerisinde diğer tüm istasyonlarda ise şubat ayı içerisinde gözlenmiştir. En yüksek aylık ortalama kar suyu eşdeğeri ise tüm istasyonlarda şubat ayı içerisinde tespit edilmiştir. 17740/Hınıs istasyonu 134.10 mm değeri ile en yüksek aylık ortalama kar suyu verisine sahiptir. Kar yağışının en az olduğu 17668/Oltu istasyonunda ise şubat ayı içerisinde en düşük 10.89 mm değeri ile en düşük aylık ortalama değere sahiptir (Çizelge 4.5).

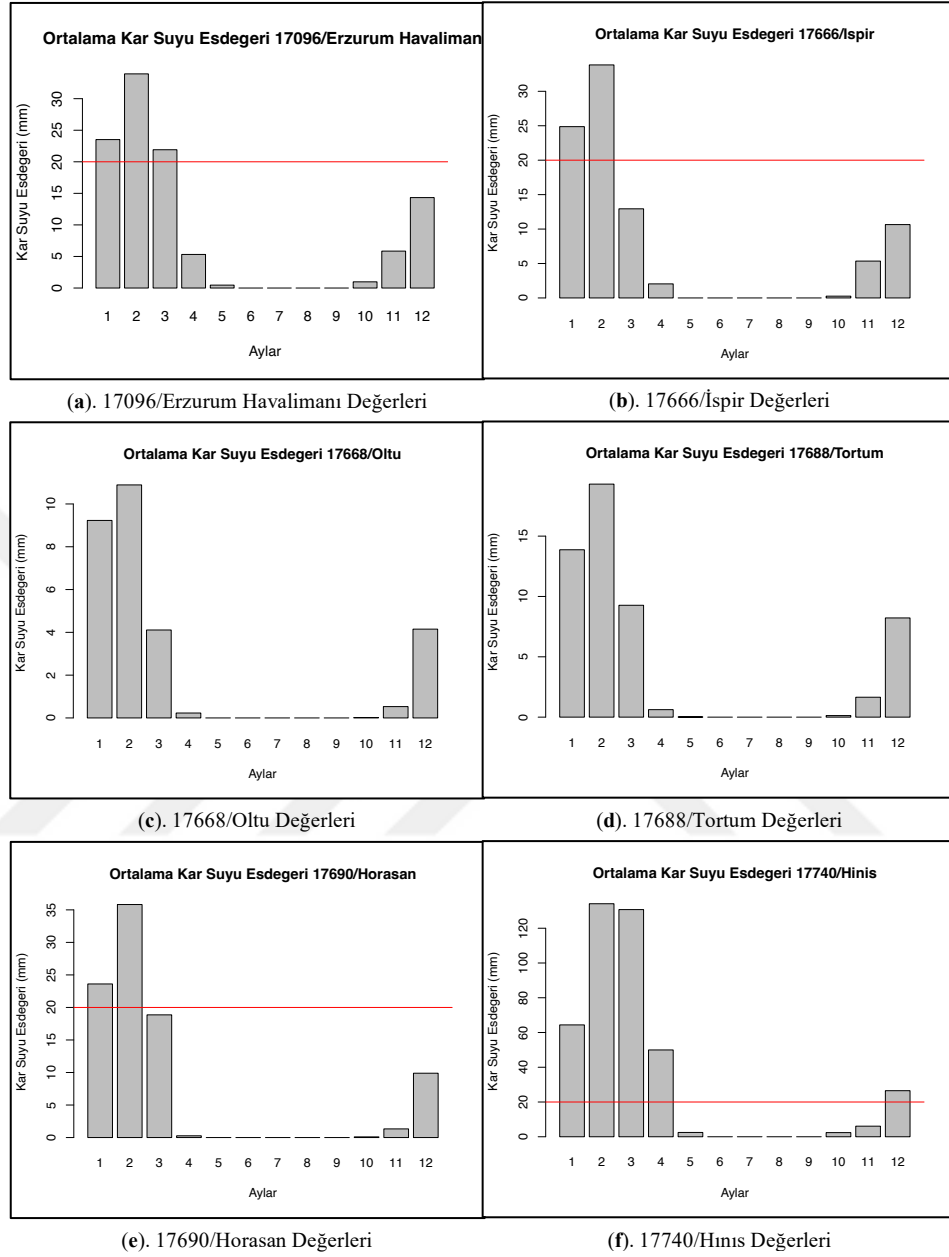
Çizelge 4.5 : Su yılı aylık kar suyu eşdeğer verileri.

İstasyon	Kar Suyu Eşdeğeri (mm)	Aylar											
No		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
17096	Min.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Max.	75,62	143,20	79,50	26,10	16,80	0,00	0,00	0,00	0,00	7,55	26,80	53,35
	Ort.	23,52	33,93	21,91	5,32	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	5,85	14,33
17666	Min.	2,38	3,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Max.	169,39	240,92	127,45	20,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,79	24,52	54,45
	Ort.	24,87	33,83	12,94	2,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	5,35	10,65
17668	Min.	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Max.	43,78	87,33	49,33	4,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	3,19	35,49
	Ort.	9,23	10,89	4,11	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,53	4,15
17688	Min.	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Max.	59,28	137,39	84,45	4,09	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	2,11	8,84	57,37
	Ort.	13,87	19,31	9,27	0,62	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	1,65	8,22
17690	Min.	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Max.	103,17	121,94	88,22	4,42	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,44	7,98	77,46
	Ort.	23,61	35,82	18,86	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	1,33	9,89
17740	Min.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Max.	293,63	476,88	547,95	344,00	91,80	0,00	0,00	0,00	0,00	24,97	61,96	128,02
	Ort.	64,37	134,10	130,73	49,96	2,48	0,00	0,00	0,00	0,00	2,39	6,09	26,51

İncelemesi yapılan zaman aralığında (1976-2012) yıllık ortalama kar suyu eşdeğer verileri incelendiğinde, 17096/Erzurum Havalimanı istasyonu 8.86 mm, 17666/İspir istasyonu 7.50 mm, 17668/Oltu istasyonu 2.43 mm, 17688/Tortum istasyonu 4.42 mm, 17690/Horasan istasyonu 7.49 mm ve 17740/Hınıs istasyonu 34.72 mm olarak tespit edilmiştir.

İstasyonlara ait kar suyu eşdeğer verileri incelendiğinde, tüm istasyonlarda benzer bir eğilim gözlenmektedir. Yıl başından şubat ayına kadar artan bir eğilim gözlenirken şubat ayından itibaren mayıs ayına kadar azalan bir eğilim gözlenmektedir. Ekim ayından yıl sonuna doğru ise artan bir eğilim ile düşük değerler gözlenmektedir.

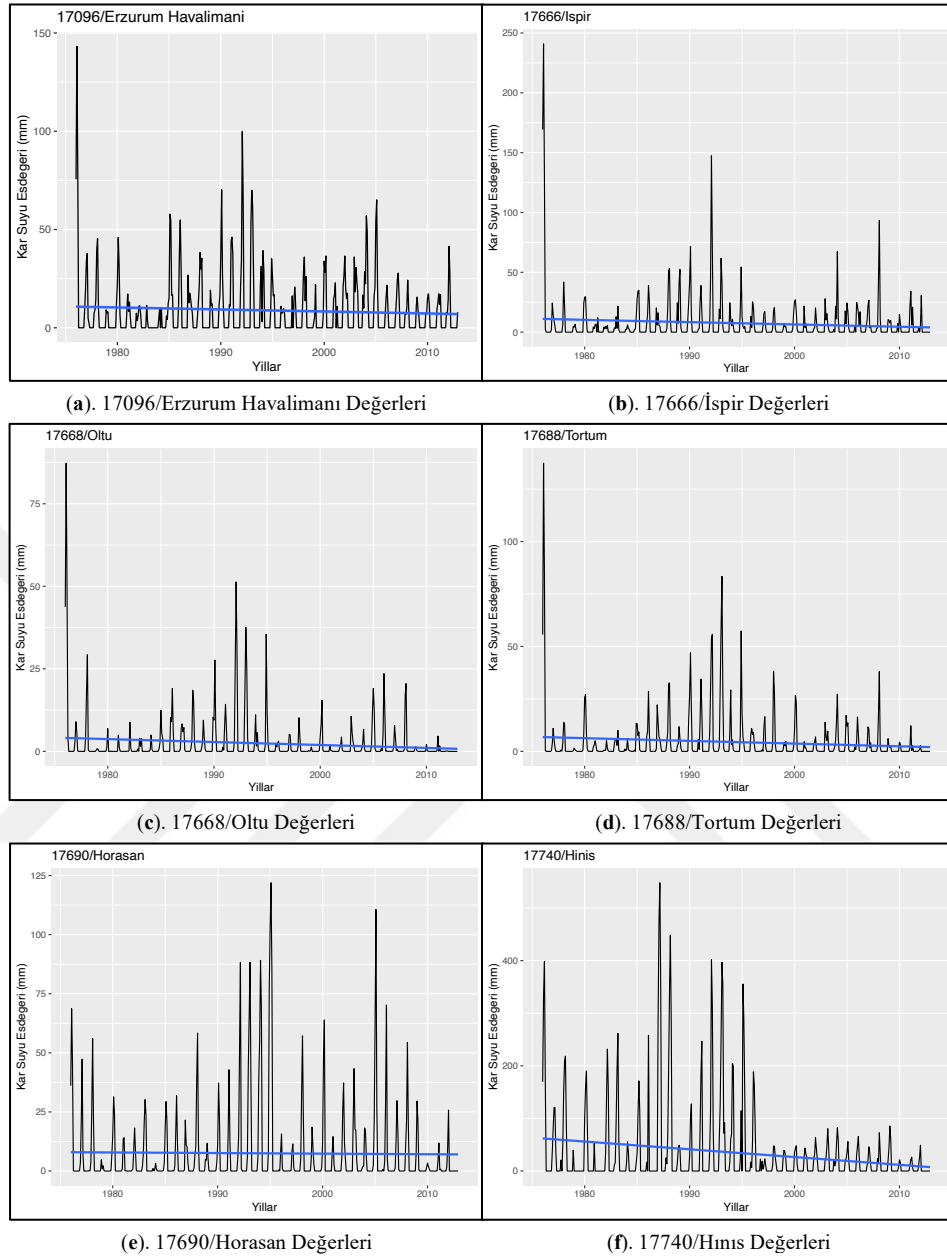
17668/Oltu ve 17688/Tortum istasyonunda 20.00 mm üzerinde kar suyu eşdeğeri rastlanmamıştır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 : Su yılı aylık ortalama kar suyu eşdeğer değerleri.

Araştırma bölgesinde gözlem istasyonlarının aylık ortalama kar yükseklik verilerinden elde edilen kar suyu eşdeğer verilerinin zamana bağlı değişim grafikleri incelendiğinde, kar suyu eşdeğer verisinin tüm gözlem istasyonlarında azalma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Bu eğilim 17690/Horasan gözlem istasyonunda çok düşük bir azalma eğilimi ile gözlenirken, en belirgin azalma eğilimi ise 17740/Hınıs gözlem istasyonunda gözlenmiştir. Tüm gözlem istasyonlarında özellikle

2000 yılından sonra önceki yıllara oranla kar suyu eşdeğer verisinde aylık seviyelerinde azalma olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.10).



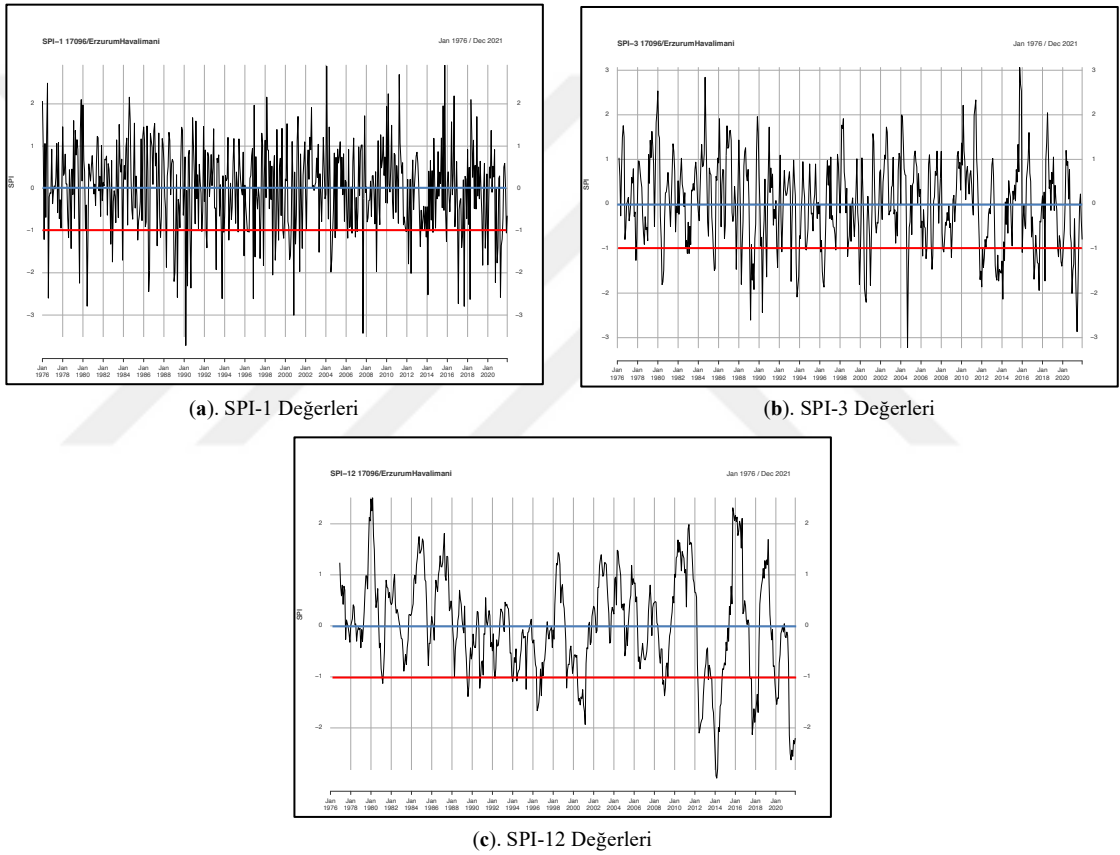
Şekil 4.10 : Yıllık ortalama kar suyu eşdeğer değişimi.

4.2 Kuraklık Analiz Sonuçları

Bu çalışmada, SPI, SPEI ve SPEI indisleri kullanılarak 1 ay (aylık), 3 ay (mevsimlik) ve 12 ay (yıllık) periyotlarla yapılan kuraklık analizlerinin sonuçları değerlendirilmiş ve yöntemler birbiri ile kıyaslanmıştır.

4.2.1 Standartlaştırılmış yağış indisi (SPI) sonuçları

17096/Erzurum Havalimanı istasyonunun SPI sonuçlarının 1,3 ve 12 aylık zaman periyotları incelendiğinde, 1 ve 3 aylık periyotlarda kuraklık genellikle normal seviyelerde seyretmiş, fakat 12 aylık zaman periyodunda ise 2012 yılından itibaren frekans ve genliklerinde artış gözlenmektedir. Özellikle 12 aylık zaman periyoduna bakıldığında en uzun kuraklık süresi 2013 ve 2014 yılları arasında -26.89 kuraklık şiddeti ile yaşandığı tespit edilmiştir. En büyük kuraklık ise 1 aylık periyotta 1990 yılında -3.72 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.11).



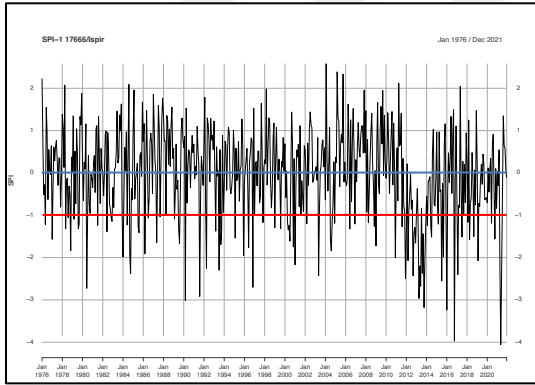
Şekil 4.11 : 17096/Erzurum Havalimanı istasyonu SPI analiz sonuç değerleri.

17096/Erzurum Havalimanı istasyonunun SPI sonuçlarının kurak ay sayısı değerlendirildiğinde 1,3 ve 12 aylık periyotlarının sırası ile 167, 162 ve 154 ayda kuraklık olayı yaşanmıştır. SPI kuraklık yüzdeleri ise sırası ile %30.93, %30.00 ve %28.52 olarak tespit edilmiştir. Aşırı kurak ay sayısının yüzdelik oranı, aylık ve yıllık periyotlarda benzer oran gözükürken mevsimsel periyotta bu oran düşmektedir (Çizelge 4.6).

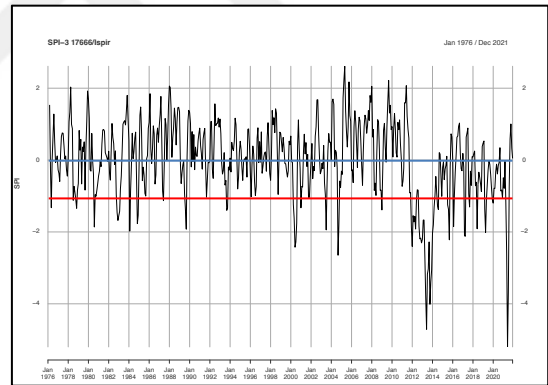
Çizelge 4.6 : 17096/Erzurum Havalimanı istasyonu SPI analiz sonuçları.

Kuraklık Kategorisi	Standartlaştırılmış Yağış İndisi					
	SPI-1		SPI-3		SPI-12	
	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi
Aşırı Nemli	9	1,67%	11	2,04%	13	2,41%
Çok Nemli	18	3,33%	20	3,70%	22	4,07%
Orta Nemli	58	10,74%	49	9,07%	51	9,44%
Hafif Nemli	93	17,22%	96	17,78%	66	12,22%
Normal	195	36,11%	202	37,41%	234	43,33%
Hafif Kurak	84	15,56%	78	14,44%	78	14,44%
Orta Kurak	41	7,59%	47	8,70%	37	6,85%
Şiddetli Kurak	22	4,07%	27	5,00%	22	4,07%
Aşırı Kurak	20	3,70%	10	1,85%	17	3,15%

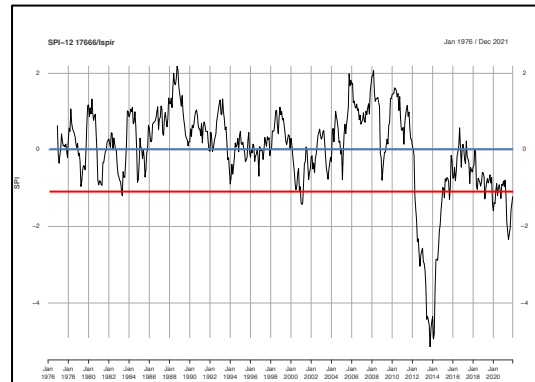
17666/İspir istasyonunun SPI sonuçlarının 1,3 ve 12 aylık zaman periyotları incelendiğinde, kuraklık genellikle nemli bölge seviyelerinde seyretmiş, fakat 2012-2015 yılları arasında zaman ölçeğinin artmasıyla birlikte kuraklık genliklerinde aşırı derecede bir artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu artma eğilimi tüm periyotlarda görülmektedir. Özellikle 12 aylık zaman periyodu incelendiğinde en uzun kuraklık süresi 2012 ve 2014 yılları arasında -103.58 kuraklık şiddeti ile yaşandığı tespit edilmiştir. En büyük kuraklık ise 3 aylık zaman periyodunun 2021 yılında -5.20 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.12)



(a). SPI-1 Değerleri



(b). SPI-3 Değerleri



(c). SPI-12 Değerleri

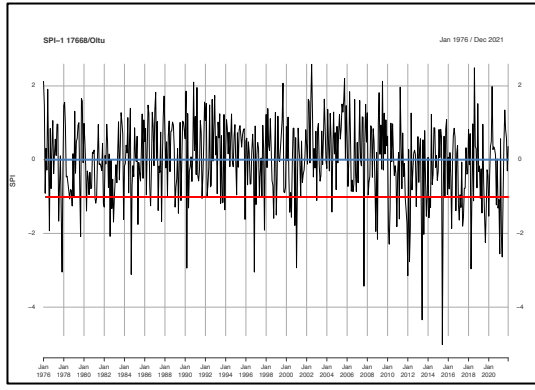
Şekil 4.12 : 17666/İspir istasyonu SPI analiz sonuç değerleri.

17666/İspir istasyonunun SPI sonuçlarının kurak ay sayısı değerlendirildiğinde 1,3 ve 12 aylık periyotlarının sırası ile 161, 150 ve 143 ayda kuraklık olayı yaşanmıştır. SPI kuraklık yüzdeleri ise sırası ile %29.81, %27.78 ve %26.48 olarak tespit edilmiştir. Aşırı kurak ay sayısının yüzdelik oranı, aylık, mevsimsel ve yıllık periyotlarda benzer oran gözükmemektedir (Çizelge 4.7).

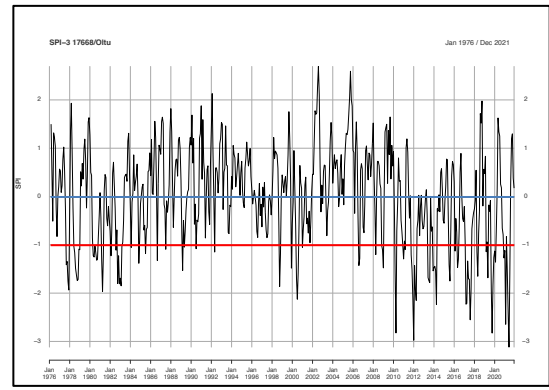
Çizelge 4.7 : 17666/İspir istasyonu SPI analiz sonuçları.

Kuraklık Kategorisi	Standartlaştırılmış Yağış İndisi					
	SPI-1		SPI-3		SPI-12	
	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi
Aşırı Nemli	7	1,30%	9	1,67%	4	0,74%
Çok Nemli	20	3,70%	19	3,52%	17	3,15%
Orta Nemli	65	12,04%	61	11,30%	66	12,22%
Hafif Nemli	88	16,30%	95	17,59%	94	17,41%
Normal	199	36,85%	206	38,15%	216	40,00%
Hafif Kurak	64	11,85%	71	13,15%	79	14,63%
Orta Kurak	47	8,70%	32	5,93%	26	4,81%
Şiddetli Kurak	23	4,26%	22	4,07%	7	1,30%
Aşırı Kurak	27	5,00%	25	4,63%	31	5,74%

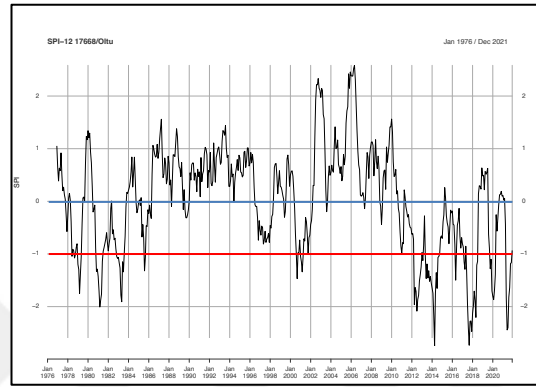
17668/Oltu istasyonunun SPI sonuçlarının 1, 3 ve 12 aylık zaman periyotları incelendiğinde, kuraklık genellikle normal seviyelerde seyretmiş, özellikle 12 aylık zaman periyodu incelendiğinde kurak dönemler 1976 ve 1986 yılları arasında görülürken 2002 ve 2010 yılları arasında en büyük nemli dönemler yaşanmıştır. 2010 Yılından itibaren ise kuraklık seviyesinde artış gözlenmektedir. En uzun kuraklık süresi 2013 ve 2014 yılları arasında görülürken, en büyük kuraklık şiddeti 2017 ve 2018 yılları arasında -27.71 olarak yaşandığı tespit edilmiştir. En büyük kuraklık ise 1 aylık zaman periyodunun 2015 yılında -5.02 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.13).



(a). SPI-1 Değerleri



(b). SPI-3 Değerleri



(c). SPI-12 Değerleri

Şekil 4.13 : 17668/Oltu istasyonu SPI analiz sonuç değerleri.

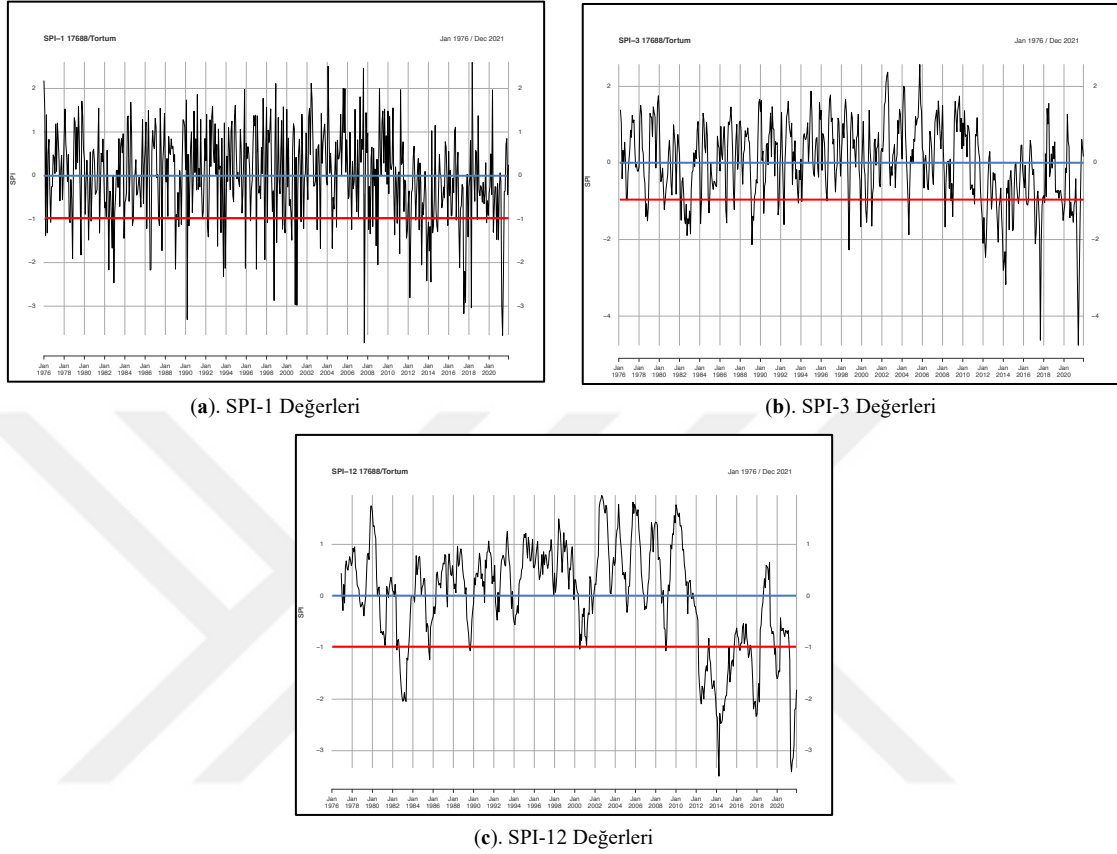
17668/Oltu istasyonunun SPI sonuçlarının kurak ay sayısı değerlendirildiğinde 1,3 ve 12 aylık periyotlarının sırası ile 163, 162 ve 166 ayda kuraklık olayı yaşanmıştır. SPI kuraklık yüzdeleri ise sırası ile %30.19, %30.00 ve %30.74 olarak tespit edilmiştir. İncelenen periyotlarda aşırı kurak ay sayısının en yüksek yüzdelik oranı, aylık periyotta gözlemlenirken mevsimsel ve yıllık periyotlarda aynı oran tespit edilmiştir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8 : 17668/Oltu istasyonu SPI analiz sonuçları.

Kuraklık Kategorisi	Standartlaştırılmış Yağış İndisi					
	SPI-1		SPI-3		SPI-12	
	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi
Aşırı Nemli	6	1,11%	7	1,30%	16	2,96%
Çok Nemli	25	4,63%	28	5,19%	9	1,67%
Orta Nemli	56	10,37%	48	8,89%	44	8,15%
Hafif Nemli	100	18,52%	99	18,33%	124	22,96%
Normal	190	35,19%	196	36,30%	181	33,52%
Hafif Kurak	70	12,96%	63	11,67%	74	13,70%
Orta Kurak	49	9,07%	54	10,00%	50	9,26%
Şiddetli Kurak	24	4,44%	32	5,93%	29	5,37%
Aşırı Kurak	20	3,70%	13	2,41%	13	2,41%

17688/Tortum istasyonunun SPI sonuçlarının 1,3 ve 12 aylık zaman periyotlarının kuraklık şiddeti incelendiğinde, 1 aylık zaman periyodu normal seyretmiş fakat 3 ve 12 aylık zaman periyotunun özellikle son yıllara doğru etkisini artırdığı gözlenmiştir. 12

Aylık zaman periyodu incelendiğinde en uzun kuraklık süresi 2013 ve 2015 yılları arasında -47.06 kuraklık şiddeti ile yaşandığı tespit edilmiştir. En büyük kuraklık ise, 3 aylık zaman periyodunun 2021 yılında -4.76 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.14).



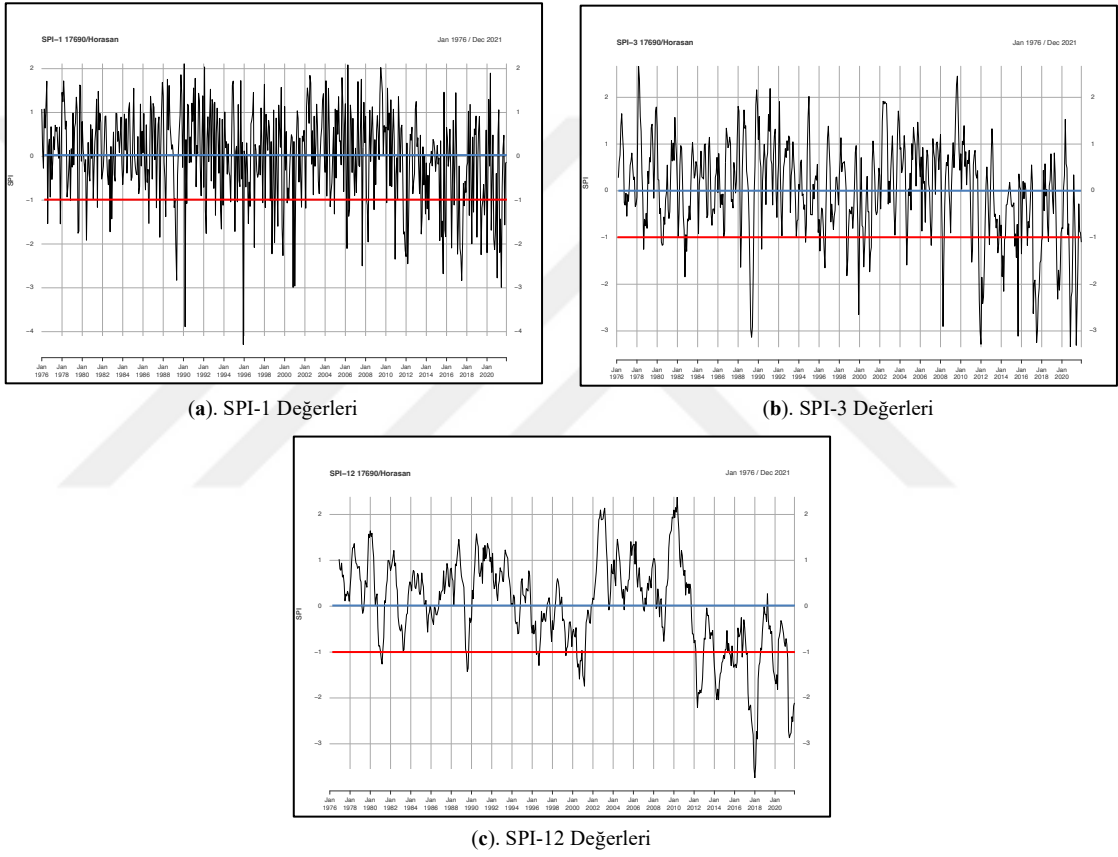
Şekil 4.14 : 17688/Tortum istasyonu SPI analiz sonuç değerleri.

17688/Tortum istasyonunun SPI sonuçlarının kurak ay sayısı değerlendirildiğinde 1,3 ve 12 aylık periyotlarının sırası ile 149, 172 ve 154 ayda kuraklık olayı yaşanmıştır. SPI kuraklık yüzdeleri ise sırası ile %27.59, %31.85 ve %28.52 olarak tespit edilmiştir. İncelenen periyotlarda aşırı kurak ay sayısının yüzdelik oranı, aylık ve yıllık periyotta benzerlik gösterirken, mevsimsel periyotta oran düşük tespit edilmiştir (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9 : 17688/Tortum istasyonu SPI analiz sonuçları.

Kuraklık Kategorisi	Standartlaştırılmış Yağış İndisi					
	SPI-1		SPI-3		SPI-12	
	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi
Aşırı Nemli	8	1,48%	5	0,93%	0	0,00%
Çok Nemli	25	4,63%	24	4,44%	28	5,19%
Orta Nemli	59	10,93%	74	13,70%	44	8,15%
Hafif Nemli	86	15,93%	81	15,00%	122	22,59%
Normal	213	39,44%	184	34,07%	192	35,56%
Hafif Kurak	57	10,56%	85	15,74%	66	12,22%
Orta Kurak	53	9,81%	46	8,52%	33	6,11%
Şiddetli Kurak	12	2,22%	25	4,63%	25	4,63%
Aşırı Kurak	27	5,00%	16	2,96%	30	5,56%

17690/Horasan istasyonunun SPI sonuçlarının 1,3 ve 12 aylık zaman periyotları incelendiğinde, sulak ve kurak dönemler 1 ve 3 aylık periyotlarda birbirini takip ettiği gözlenmektedir. 12 aylık zaman periyoduna bakıldığında 2002 ve 2012 yılları arasında nemli dönemlerin frekansının fazla olduğu gözlemlenmiştir. Kuraklık şiddetinin özellikle 2012 yılından sonra önceki yıllara oranla etkisini artırdı gözlenmektedir. 12 Aylık zaman periyodu incelendiğinde en uzun kuraklık süresi 2017 ve 2018 yılları arasında -38.93 kuraklık şiddeti ile yaşandığı tespit edilmiştir. En büyük kuraklık ise 1 aylık zaman periyodunun 1995 yılında -4.29 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.15).



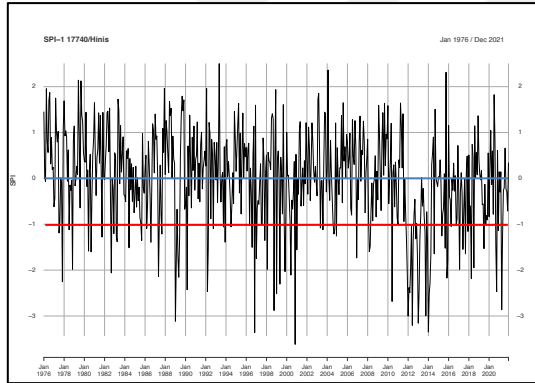
Şekil 4.15 : 17690/Horasan istasyonu SPI analiz sonuç değerleri.

17690/Horasan istasyonunun SPI sonuçlarının kurak ay sayısı değerlendirildiğinde 1,3 ve 12 aylık periyotlarının sırası ile 162, 158 ve 156 ayda kuraklık olayı yaşanmıştır. SPI kuraklık yüzdeleri ise sırası ile %30.00, %29.26 ve %28.89 olarak tespit edilmiştir. İncelenen periyotlarda aşırı kurak ay sayısının yüzdelik oranı aylık, mevsimlik ve yıllık periyotta benzer oran göstermektedir (Çizelge 4.10).

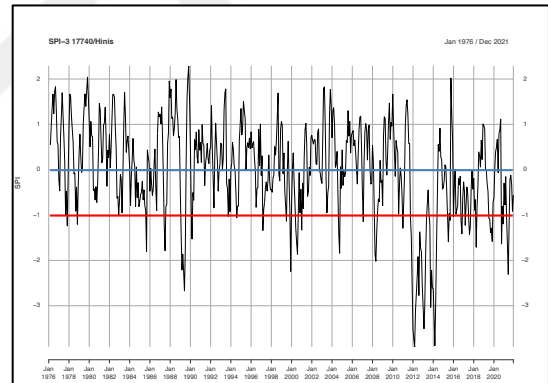
Çizelge 4.10 : 17690/Horasan istasyonu SPI analiz sonuçları.

Kuraklık Kategorisi	Standartlaştırılmış Yağış İndisi					
	SPI-1		SPI-3		SPI-12	
	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi
Aşırı Nemli	4	0,74%	7	1,30%	7	1,30%
Çok Nemli	27	5,00%	22	4,07%	21	3,89%
Orta Nemli	62	11,48%	51	9,44%	51	9,44%
Hafif Nemli	95	17,59%	104	19,26%	101	18,70%
Normal	190	35,19%	198	36,67%	204	37,78%
Hafif Kurak	63	11,67%	82	15,19%	73	13,52%
Orta Kurak	42	7,78%	30	5,56%	41	7,59%
Şiddetli Kurak	29	5,37%	21	3,89%	20	3,70%
Aşırı Kurak	28	5,19%	25	4,63%	22	4,07%

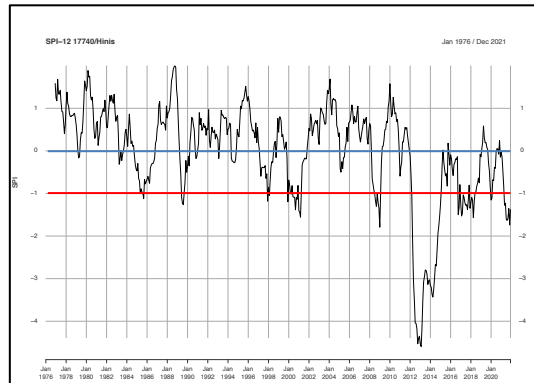
17740/Hınis istasyonunun SPI sonuçlarının 1,3 ve 12 aylık zaman periyotları incelendiğinde, 1 ve 3 aylık periyotlarda sulak ve kurak dönemler birbirini takip etmektedir. Fakat kuraklık şiddeti 2012 ve 2015 yılları arasında normal dışında seyrederek kurak dönemde artış gözlenmektedir. Bu artış 12 aylık zaman periyodunda da gözlenmektedir. En uzun kuraklık süresi 2012 ve 2015 yılları arasında -109.51 kuraklık şiddeti ile yaşandığı tespit edilmiştir. En büyük kuraklık ise yine 12 aylık zaman periyodunun 2013 yılında -4.59 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.16).



(a). SPI-1 Değerleri



(b). SPI-3 Değerleri



(c). SPI-12 Değerleri

Şekil 4.16 : 17740/Hınis istasyonu SPI analiz sonuç değerleri.

17740/Hınıs istasyonunun SPI sonuçlarının kurak ay sayısı değerlendirildiğinde 1,3 ve 12 aylık periyotlarının sırası ile 161, 149 ve 138 ayda kuraklık olayı yaşanmıştır. SPI kuraklık yüzdeleri ise sırası ile %29.81, %27.59 ve %25.56 olarak tespit edilmiştir. İncelenen periyotlarda aşırı kurak ay sayısının yüzdelik oranı aylık, mevsimlik ve yıllık periyotta benzer oran göstermektedir (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11 : 17740/Hınıs istasyonu SPI analiz sonuçları.

Kuraklık Kategorisi	Standartlaştırılmış Yağış İndisi					
	SPI-1		SPI-3		SPI-12	
	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi
Aşırı Nemli	5	0,93%	4	0,74%	1	0,19%
Çok Nemli	24	4,44%	25	4,63%	15	2,78%
Orta Nemli	59	10,93%	55	10,19%	58	10,74%
Hafif Nemli	87	16,11%	99	18,33%	136	25,19%
Normal	204	37,78%	208	38,52%	192	35,56%
Hafif Kurak	68	12,59%	70	12,96%	51	9,44%
Orta Kurak	39	7,22%	35	6,48%	46	8,52%
Şiddetli Kurak	24	4,44%	19	3,52%	11	2,04%
Aşırı Kurak	30	5,56%	25	4,63%	30	5,56%

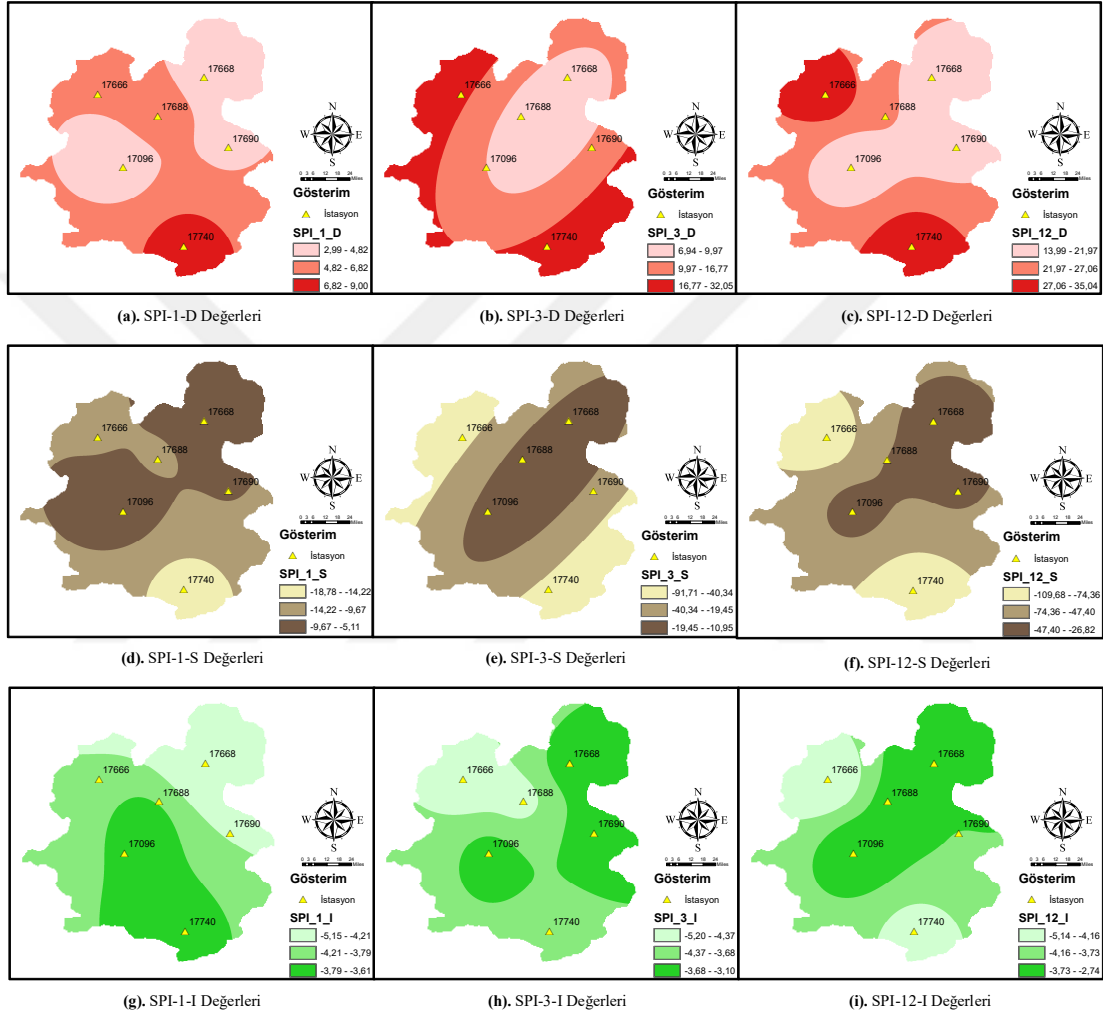
SPI zamanla değişim grafiklerine genel olarak bakıldığında analizlerde zaman periyodu arttıkça kurak ve nemli dönemlerin belirginleştiği görülmektedir. İncelenen tüm istasyonlarda hafif kuraklık, orta kuraklık, şiddetli kuraklık ve az da olsa aşırı kuraklığın gözlemlendiği tespit edilmiştir. Şiddetli kurak geçen ay yüzdesinin gözlem dönemine göre bölgelerin çoğunda artış gösterdiği görülmektedir. En uzun kuraklık süresi 35 ay ile 17740 numaralı istasyonun SPI-12 değeridir. En şiddetli kuraklık 17740 numaralı istasyonun -109.51 değeri ile SPI-12 analizinde görülmüştür. En yüksek büyüklük ise -5.20 değeri ile 2021 yılında 17666 numaralı istasyonun SPI-3 analizinde tespit edilmiştir (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12 : SPI analizinin kuraklık özet tablosu.

İstasyon No	Zaman Skalası	Uzunluğu		Şiddeti		Büyüklüğü	
		Yıl	D	Yıl	S	Yıl	I
17096	SPI-1	2021	3	2021	-5.13	1990	-3.72
	SPI-3	2013-2014	10	2013	-15.55	2004	-3.23
	SPI-12	2013-2014	14	2013-2014	-26.89	2014	-2.99
17666	SPI-1	2013	5	2013	-10.25	2021	-4.06
	SPI-3	2012-2014	19	2012-2014	-49.38	2021	-5.20
	SPI-12	2012-2014	33	2012-2014	-103.58	2013	-5.14
17668	SPI-1	2011-2012	4	2011-2012	-7.30	2015	-5.02
	SPI-3	1978	8	2017	-13.68	2021	-3.12
	SPI-12	2013-2014	18	2017-2018	-27.71	2014	-2.75
17688	SPI-1	2013-2014	6	2013-2014	-10.29	2007	-3.84
	SPI-3	2011-2012	8	2021	-14.37	2021	-4.76
	SPI-12	2013-2015	23	2013-2015	-47.06	2014	-3.49
17690	SPI-1	2017	4	2017	-9.21	1995	-4.29
	SPI-3	2017-2018	11	2017-2018	-23.56	2020	-3.34
	SPI-12	2017-2018	17	2017-2018	-38.93	2018	-3.74
17740	SPI-1	2011-2012	9	2011-2012	-18.76	2000	-3.62
	SPI-3	2011-2013	20	2011-2013	-49.12	2012	-3.90
	SPI-12	2012-2015	35	2012-2015	-109.51	2013	-4.59

D: Kurak ay sayısı S: Kuraklık şiddetinin toplam değeri I: Maksimum kuraklık değeri.

Tüm istasyonlara ait SPI analiz sonuçları harita üzerinde incelendiğinde farklı sınıflardaki kuraklık değerlendirmeleri kuraklık uzunluğu, kuraklık şiddeti ve en büyük kuraklık şiddeti neredeyse benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Kuraklığın en şiddetli görüldüğü istasyonlar 17666/İspir ve 17740/Hınıs istasyonları olurken, kuraklığın en az görülen istasyon ise 17096/Erzurum Havalimanı istasyonu olarak gözlemlenmiştir (Şekil 4.17).

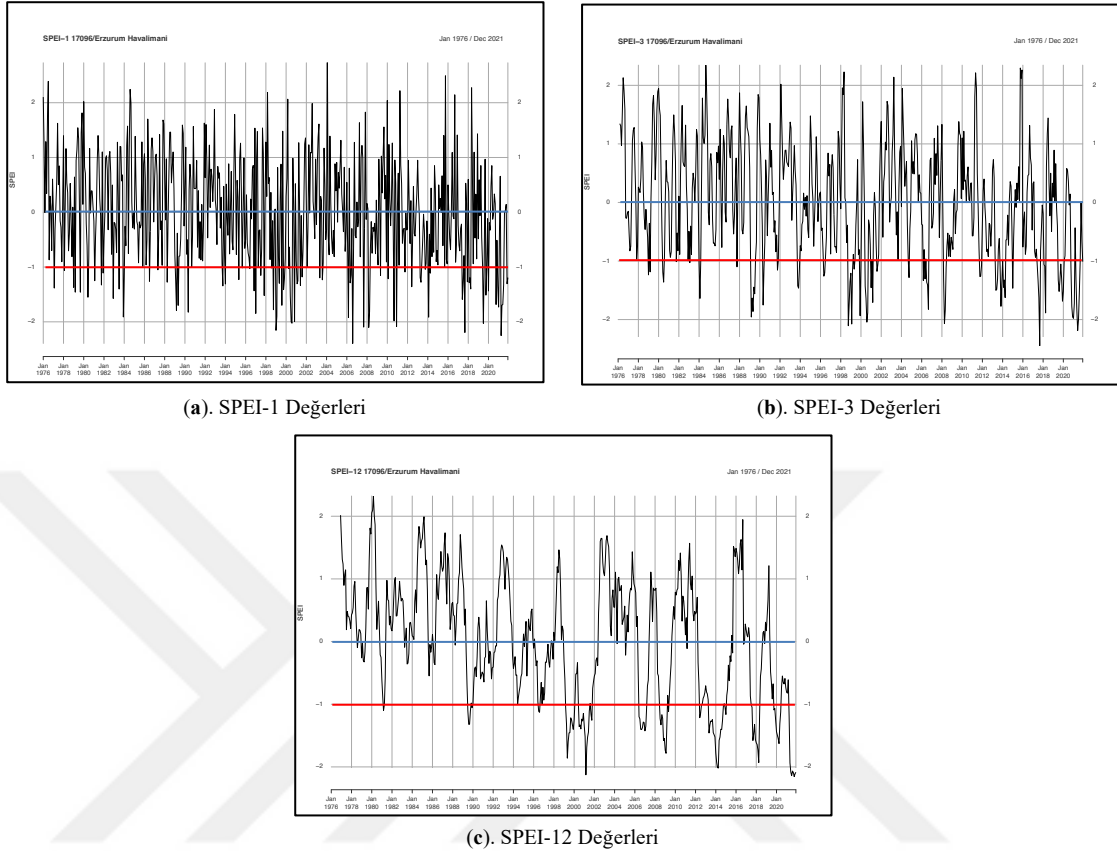


Şekil 4.17 : SPI analizinin kuraklık uzunluğu(D), şiddeti(S), büyüklüğü(I).

4.2.2 Standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indisi (SPEI) sonuçları

17096/Erzurum Havalimanı istasyonunun SPEI sonuçlarının 1,3 ve 12 aylık zaman periyotları incelendiğinde, 1 ve 3 aylık periyotlarda kuraklık genellikle normal seviyelerde seyretmiş, fakat 12 aylık zaman periyodunda ise 1999 yılından itibaren frekans ve genliklerinde artış gözlenmektedir. Özellikle 12 aylık zaman periyoduna bakıldığında en uzun kuraklık süresi 2013 ve 2014 yılları arasında -26.98 kuraklık

şiddeti ile yaşandığı tespit edilmiştir. En büyük kuraklık ise 3 aylık periyotta 2017 yılında -2.45 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.18).



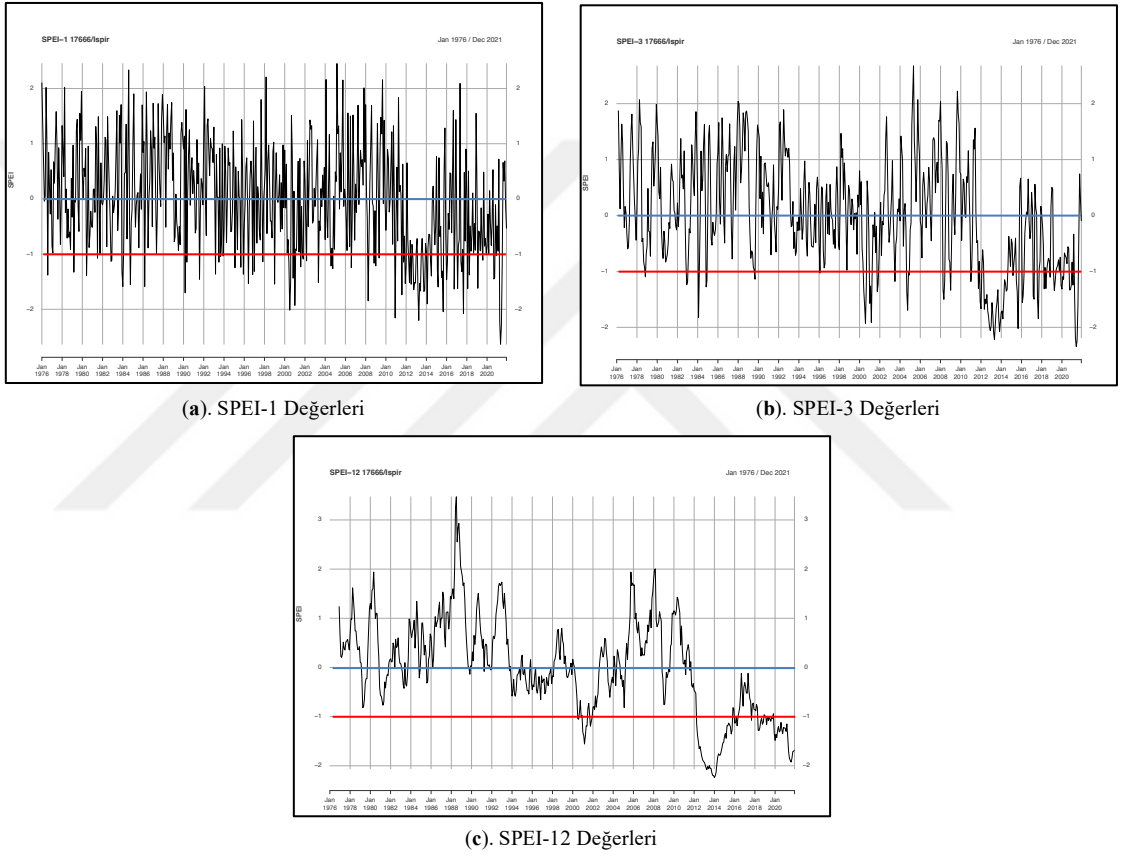
Şekil 4.18 : 17096/Erzurum Havalimanı istasyonu SPEI analiz sonuç değerleri.

17096/Erzurum Havalimanı istasyonunun SPEI sonuçlarının kurak ay sayısı değerlendirildiğinde 1, 3 ve 12 aylık periyotlarının sırası ile 172, 181 ve 182 ayda kuraklık olayı yaşanmıştır. SPEI kuraklık yüzdeleri ise sırası ile %31.85, %33.52 ve %33.70 olarak tespit edilmiştir. Aşırı kurak ay sayısının yüzdelik oranı, aylık ve yıllık periyotlarda benzer oran gözükürken mevsimsel periyotta bu oran düşmektedir (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13 : 17096/Erzurum Havalimanı istasyonu SPEI analiz sonuçları.

Kuraklık Kategorisi	Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi					
	SPEI-1		SPEI-3		SPEI-12	
	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi
Aşırı Nemli	10	1,85%	8	1,48%	4	0,74%
Çok Nemli	21	3,89%	23	4,26%	30	5,56%
Orta Nemli	61	11,30%	62	11,48%	62	11,48%
Hafif Nemli	87	16,11%	80	14,81%	79	14,63%
Normal	189	35,00%	186	34,44%	183	33,89%
Hafif Kurak	85	15,74%	93	17,22%	75	13,89%
Orta Kurak	54	10,00%	54	10,00%	74	13,70%
Şiddetli Kurak	23	4,26%	27	5,00%	23	4,26%
Aşırı Kurak	10	1,85%	7	1,30%	10	1,85%

17666/İspir istasyonunun SPEI sonuçlarının 1, 3 ve 12 aylık zaman periyotları incelendiğinde, kuraklık genellikle nemli bölge seviyelerinde seyretmiş, fakat 2012 yılından itibaren özellikle 12 aylık periyotta nemli bölgeye ulaşmadığı ayrıca zaman ölçeğinin artmasıyla birlikte kuraklık genliklerinin de bir artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu artma eğilimi tüm periyotlarda görülmektedir. 12 aylık zaman periyodunun en uzun kuraklık süresi 2012 ve 2015 yılları arasında -74.11 kuraklık şiddeti ile yaşandığı tespit edilmiştir. En büyük kuraklık ise 1 aylık zaman periyodunda 2021 yılında -2.63 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.19).



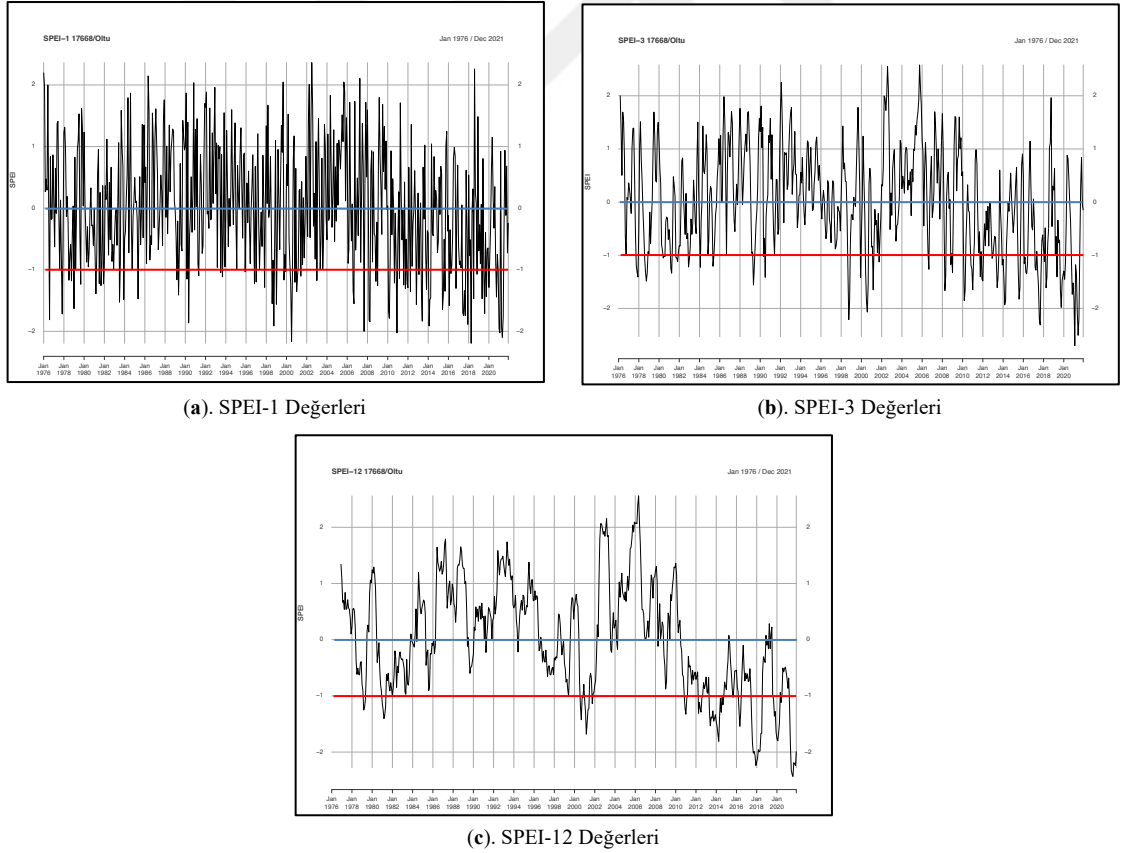
Şekil 4.19 : 17666/İspir istasyonu SPEI analiz sonuç değerleri.

17666/İspir istasyonunun SPEI sonuçlarının kurak ay sayısı değerlendirildiğinde 1, 3 ve 12 aylık periyotlarının sırası ile 190, 175 ve 157 ayda kuraklık olayı yaşanmıştır. SPEI kuraklık yüzdeleri ise sırası ile %35.19, %32.41 ve %29.07 olarak tespit edilmiştir. Aşırı kurak ay sayısının yüzdelik oranı, aylık, mevsimsel ve yıllık periyotlarda aynı oran gözükmemektedir (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14 : 17666/İspir istasyonu SPEI analiz sonuçları.

Kuraklık Kategorisi	Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi					
	SPEI-1		SPEI-3		SPEI-12	
	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi
Aşırı Nemli	10	1,85%	7	1,30%	9	1,67%
Çok Nemli	27	5,00%	34	6,30%	26	4,81%
Orta Nemli	55	10,19%	51	9,44%	49	9,07%
Hafif Nemli	79	14,63%	78	14,44%	79	14,63%
Normal	179	33,15%	195	36,11%	220	40,74%
Hafif Kurak	104	19,26%	86	15,93%	56	10,37%
Orta Kurak	50	9,26%	53	9,81%	61	11,30%
Şiddetli Kurak	28	5,19%	28	5,19%	28	5,19%

17668/Oltu istasyonunun SPEI sonuçlarının 1, 3 ve 12 aylık zaman periyotları incelendiğinde, kuraklık genellikle normal seviyelerde seyretmiş, özellikle 12 aylık zaman periyodu incelendiğinde kurak dönemler 1976 ve 1986 yılları arasında görülürken 2002 ve 2007 yılları arasında en büyük nemli dönemler yaşanmıştır. 2010 Yılından itibaren ise kuraklık seviyesinde artış gözlenmektedir. En uzun kuraklık süresi 2013 ve 2014 yılları arasında görülürken, en büyük kuraklık şiddeti 2017 ve 2018 yılları arasında -25.08 olarak yaşandığı tespit edilmiştir. En büyük kuraklık ise 3 aylık zaman periyodunun 2021 yılında -2.70 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.20).



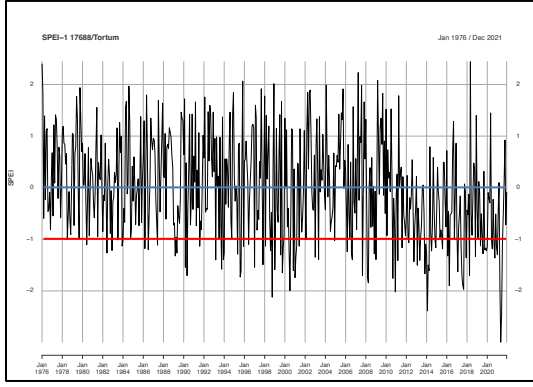
Şekil 4.20 : 17668/Oltu istasyonu SPEI analiz sonuç değerleri.

17668/Oltu istasyonunun SPEI sonuçlarının kurak ay sayısı değerlendirildiğinde 1, 3 ve 12 aylık periyotlarının sırası ile 176, 177 ve 187 ayda kuraklık olayı yaşanmıştır. SPEI kuraklık yüzdeleri ise sırası ile %32.59, %32.78 ve %34.63 olarak tespit edilmiştir. İncelenen periyotlarda aşırı kurak ay sayısı oranı periyot arttıkça görülme yüzdesinin arttığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.15).

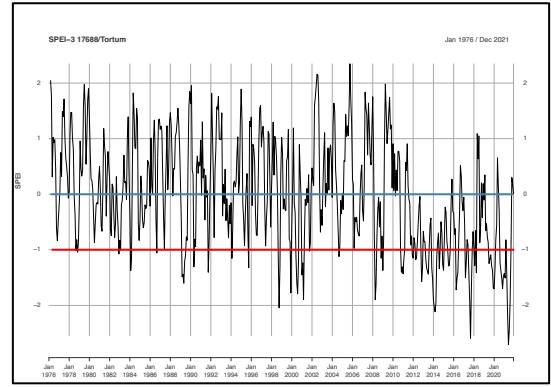
Çizelge 4.15 : 17668/Oltu istasyonu SPEI analiz sonuçları.

Kuraklık Kategorisi	Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi					
	SPEI-1		SPEI-3		SPEI-12	
	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi
Aşırı Nemli	8	1,48%	6	1,11%	11	2,04%
Çok Nemli	30	5,56%	31	5,74%	20	3,70%
Orta Nemli	61	11,30%	60	11,11%	66	12,22%
Hafif Nemli	77	14,26%	75	13,89%	90	16,67%
Normal	188	34,81%	191	35,37%	166	30,74%
Hafif Kurak	89	16,48%	85	15,74%	105	19,44%
Orta Kurak	56	10,37%	63	11,67%	52	9,63%
Şiddetli Kurak	26	4,81%	21	3,89%	19	3,52%
Aşırı Kurak	5	0,93%	8	1,48%	11	2,04%

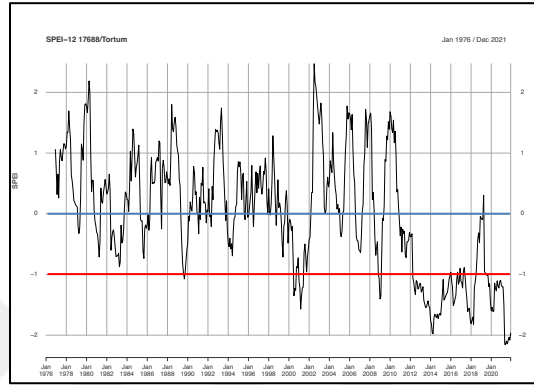
17688/Tortum istasyonunun SPEI sonuçlarının 1, 3 ve 12 aylık zaman periyotlarının kuraklık şiddeti incelendiğinde, 1 aylık zaman periyodu normal seyretmiş fakat 3 ve 12 aylık zaman periyodunun özellikle son yıllara doğru etkisini artırdı gözlenmektedir. 12 aylık zaman periyodu incelendiğinde en uzun kuraklık süresi 2012 ve 2015 yılları arasında -64.10 kuraklık şiddeti ile yaşandığı tespit edilmiştir. En büyük kuraklık ise, 1 aylık zaman periyodunun 2021 yılında -2.99 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.21).



(a). SPEI-1 Değerleri



(b). SPEI-3 Değerleri



(c). SPEI-12 Değerleri

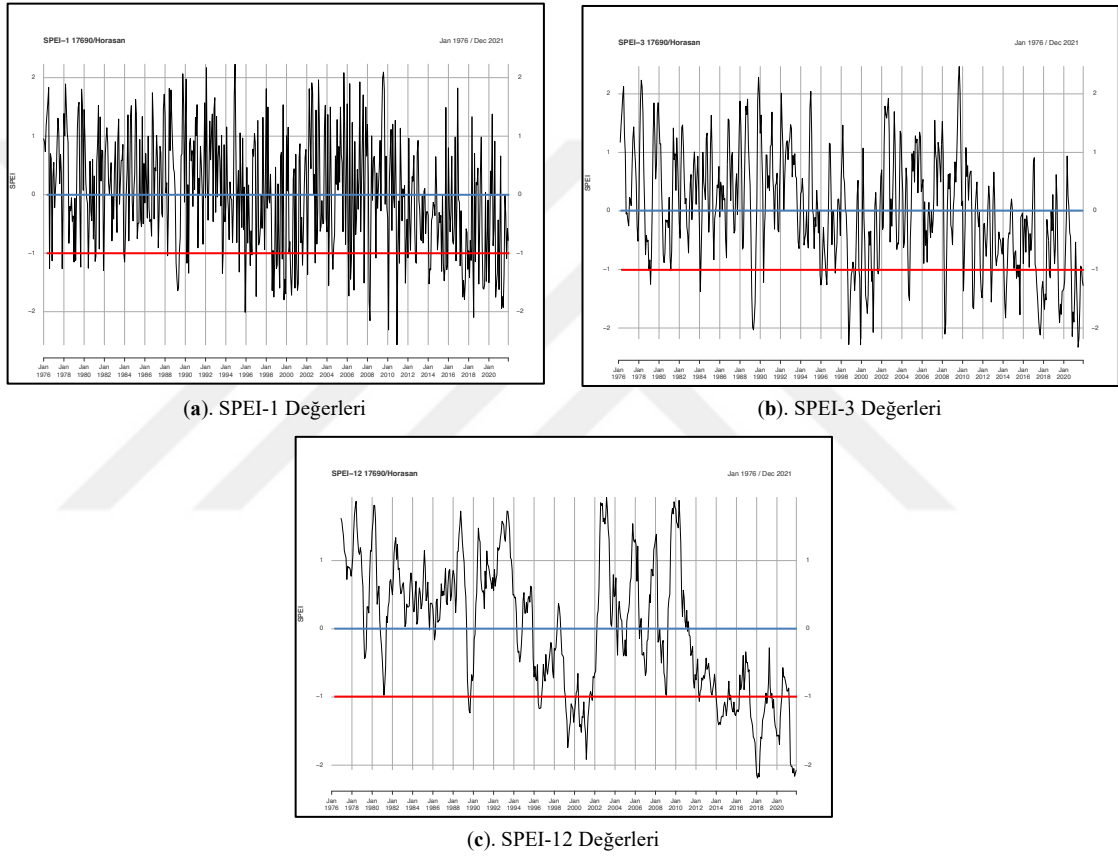
Şekil 4.21 : 17688/Tortum istasyonu SPEI analiz sonuç değerleri.

17688/Tortum istasyonunun SPEI sonuçlarının kurak ay sayısı değerlendirildiğinde 1, 3 ve 12 aylık periyotlarının sırası ile 180, 183 ve 162 ayda kuraklık olayı yaşanmıştır. SPEI kuraklık yüzdeleri ise sırası ile %33.33, %33.89 ve %30.00 olarak tespit edilmiştir. İncelenen periyotlarda aşırı kurak ay sayısının yüzdelik oranı, mevsimlik ve yıllık periyotta aynı oranı gösterirken, aylık periyotta düşük oran tespit edilmiştir (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.16 : 17688/Tortum istasyonu SPEI analiz sonuçları.

Kuraklık Kategorisi	Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi					
	SPEI-1		SPEI-3		SPEI-12	
	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi
Aşırı Nemli	6	1,11%	3	0,56%	5	0,93%
Çok Nemli	29	5,37%	34	6,30%	34	6,30%
Orta Nemli	61	11,30%	64	11,85%	51	9,44%
Hafif Nemli	82	15,19%	71	13,15%	85	15,74%
Normal	182	33,70%	185	34,26%	203	37,59%
Hafif Kurak	84	15,56%	92	17,04%	50	9,26%
Orta Kurak	66	12,22%	63	11,67%	72	13,33%
Şiddetli Kurak	25	4,63%	21	3,89%	33	6,11%
Aşırı Kurak	5	0,93%	7	1,30%	7	1,30%

17690/Horasan istasyonunun SPEI sonuçlarının 1, 3 ve 12 aylık zaman periyotları incelendiğinde, sulak ve kurak dönemler 1 ve 3 aylık periyotlarda birbirini takip ettiği gözlenmektedir. 12 aylık zaman periyoduna bakıldığında araştırma bölgesinin ilk yıllarındaki nemli dönemler gözüксе de özellikle 2002 ve 2012 yılları arasında nemli dönemlerin frekansının fazla olduğu gözlemlenmektedir. 2012 Yılından sonra ise bölgede nemli dönemler gözlenmemiştir. En uzun kuraklık süresi 2017 ve 2018 yılları arasında -30.54 kuraklık şiddeti ile yaşandığı tespit edilmiştir. En büyük kuraklık ise 1 aylık zaman periyodunun 2010 yılında -2.57 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.22).



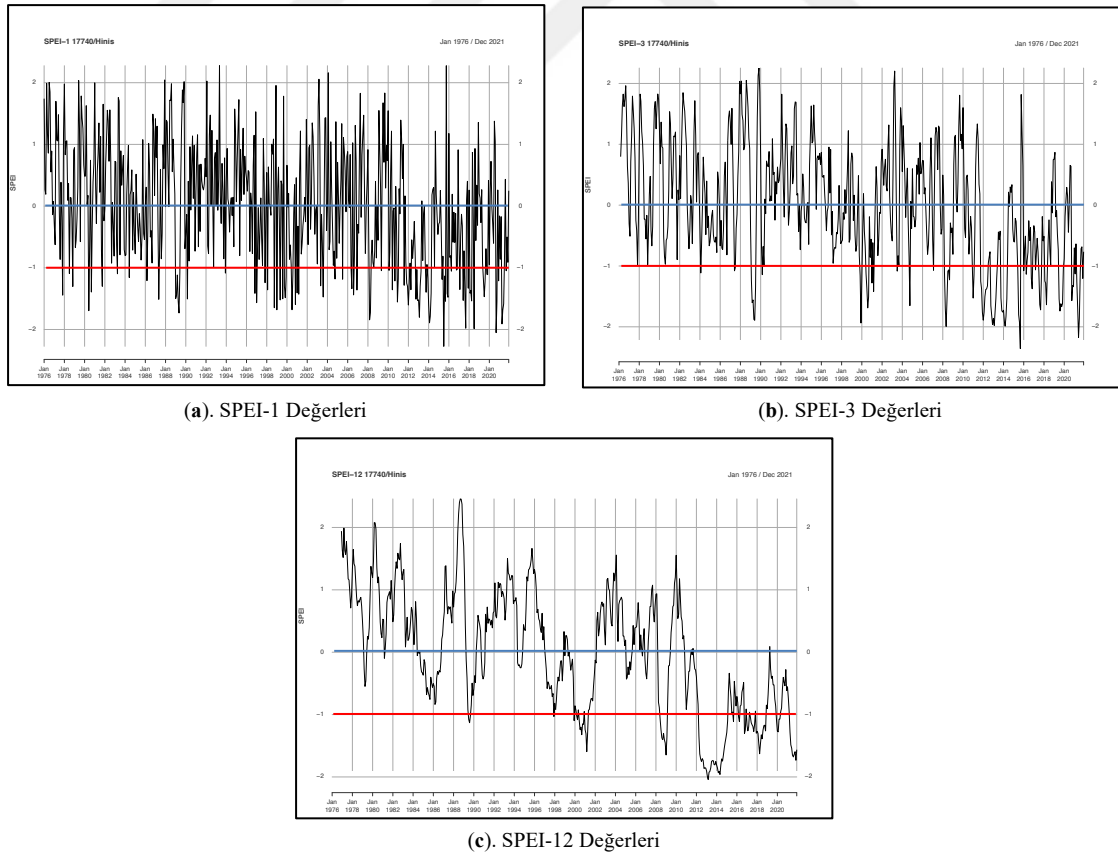
Şekil 4.22 : 17690/Horasan istasyonu SPEI analiz sonuç değerleri.

17690/Horasan istasyonunun SPEI sonuçlarının kurak ay sayısı değerlendirildiğinde 1, 3 ve 12 aylık periyotlarının sırası ile 174, 172 ve 193 ayda kuraklık olayı yaşanmıştır. SPEI kuraklık yüzdeleri ise sırası ile %32.22, %31.85 ve %35.74 olarak tespit edilmiştir. İncelenen periyotlarda aşırı kurak ay sayısının yüzdelik oranı periyot arttıkça kurak görülme yüzdesinin arttığı gözlenmektedir (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.17 : 17690/Horasan istasyonu SPEI analiz sonuçları.

Kuraklık Kategorisi	Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi					
	SPEI-1		SPEI-3		SPEI-12	
	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi
Aşırı Nemli	6	1,11%	8	1,48%	0	0,00%
Çok Nemli	36	6,67%	25	4,63%	39	7,22%
Orta Nemli	53	9,81%	58	10,74%	57	10,56%
Hafif Nemli	79	14,63%	79	14,63%	92	17,04%
Normal	192	35,56%	198	36,67%	159	29,44%
Hafif Kurak	78	14,44%	80	14,81%	93	17,22%
Orta Kurak	59	10,93%	55	10,19%	71	13,15%
Şiddetli Kurak	32	5,93%	27	5,00%	18	3,33%
Aşırı Kurak	5	0,93%	10	1,85%	11	2,04%

17740/Hınis istasyonunun SPEI sonuçlarının 1, 3 ve 12 aylık zaman periyotları incelendiğinde, 1 ve 3 aylık periyotlarda sulak ve kurak dönemler birbirini takip etmektedir. Fakat kuraklık şiddeti 2012 ve 2015 yılları arasında normal dışında seyrederek kurak dönemin frekansında artış gözlenmektedir. Bu artış 12 aylık zaman periyodunda 2012 yılından itibaren devamlı kurak dönemler gözlenmektedir. En uzun kuraklık süresi 2012 ve 2015 yılları arasında -60.83 olarak yaşandığı tespit edilmiştir. En büyük kuraklık ise 3 aylık zaman periyodunun 2015 yılında -2.36 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.23).



Şekil 4.23 : 17740/Hınis istasyonu SPEI analiz sonuç değerleri.

17740/Hınıs istasyonunun SPEI sonuçlarının kurak ay sayısı değerlendirildiğinde 1, 3 ve 12 aylık periyotlarının sırası ile 190, 180 ve 177 ayda kuraklık olayı yaşanmıştır. SPEI kuraklık yüzdeleri ise sırası ile %35.19, %33.33 ve %32.78 olarak tespit edilmiştir. İncelenen periyotlarda aşırı kurak ay sayısının yüzdelik oranı aylık ve mevsimlik periyotta aynı iken yıllık periyotta bu oran düşük göstermektedir (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18 : 17740/Hınıs istasyonu SPEI analiz sonuçları.

Kuraklık Kategorisi	Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi					
	SPEI-1		SPEI-3		SPEI-12	
	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi
Aşırı Nemli	8	1,48%	6	1,11%	7	1,30%
Çok Nemli	27	5,00%	32	5,93%	19	3,52%
Orta Nemli	60	11,11%	52	9,63%	62	11,48%
Hafif Nemli	75	13,89%	85	15,74%	103	19,07%
Normal	180	33,33%	185	34,26%	172	31,85%
Hafif Kurak	92	17,04%	89	16,48%	76	14,07%
Orta Kurak	64	11,85%	45	8,33%	61	11,30%
Şiddetli Kurak	32	5,93%	44	8,15%	39	7,22%
Aşırı Kurak	2	0,37%	2	0,37%	1	0,19%

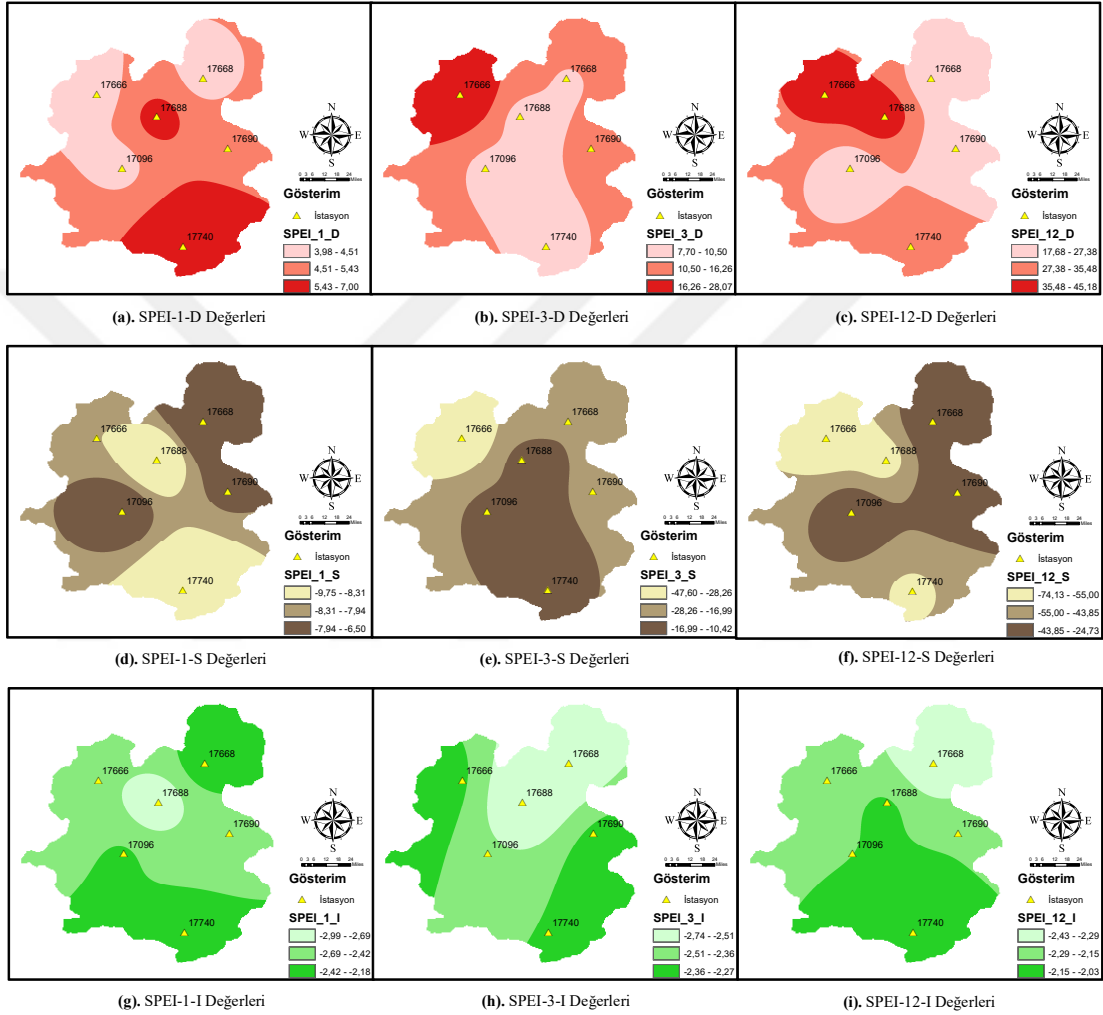
SPEI zamanla değişim grafiklerine genel olarak bakıldığında tüm analizlerde zaman periyodu arttıkça kurak ve nemli dönemlerin belirginleştiği görülmektedir. İncelenen tüm istasyonlarda hafif kuraklık, orta kuraklık, şiddetli kuraklık ve az da olsa aşırı kuraklığın gözlemlendiği tespit edilmiştir. Kuraklık frekanslarının, gözlem dönemine göre araştırma bölgelerindeki istasyonların hepsinde son yıllara doğru artış gösterdiği görülmektedir. En uzun kuraklık süresi 45 ay ile 17688 numaralı istasyonun SPEI-12 değeridir. En şiddetli kuraklık 17666 numaralı istasyonun -74.11 değeri ile SPEI-12 analizinde görülmüştür. En yüksek büyüklük ise -2.99 değeri ile 2021 yılında 17688 numaralı istasyonun SPEI-1 analizinde tespit edilmiştir (Çizelge 4.19).

Çizelge 4.19 : SPEI analizinin kuraklık özet tablosu.

İstasyon No	Zaman Skalası	Uzunluğu		Şiddeti		Büyüklüğü	
		Yıl	D	Yıl	S	Yıl	I
17096	SPEI-1	2021	4	2021	-6.96	2006	-2.39
	SPEI-3	2019-2020	8	2019-2020	-10.72	2017	-2.45
	SPEI-12	2013-2014	18	2013-2014	-26.98	2021	-2.16
17666	SPEI-1	2021	4	2021	-8.29	2021	-2.63
	SPEI-3	2012-2014	28	2012-2014	-47.45	2021	-2.34
	SPEI-12	2012-2015	43	2012-2015	-74.11	2014	-2.24
17668	SPEI-1	2017	4	2017	-6.52	2018	-2.19
	SPEI-3	2020-2021	10	2020-2021	-18.10	2021	-2.70
	SPEI-12	2013-2014	18	2017-2018	-25.08	2021	-2.43
17688	SPEI-1	2013-2014	6	2013-2014	-9.52	2021	-2.99
	SPEI-3	2019-2020	8	2013-2014	-11.96	2021	-2.70
	SPEI-12	2012-2015	45	2012-2015	-64.10	2021	-2.15
17690	SPEI-1	2017	5	2017	-7.62	2010	-2.57
	SPEI-3	2017-2018	12	2017-2018	-19.23	2021	-2.33
	SPEI-12	2017-2018	19	2017-2018	-30.54	2018	-2.19
17740	SPEI-1	2012-2013	7	2012-2013	-9.75	2015	-2.27
	SPEI-3	2011-2012	9	2013-2014	-14.02	2015	-2.36
	SPEI-12	2012-2015	35	2012-2015	-60.83	2013	-2.04

D: Kurak ay sayısı S: Kuraklık şiddetinin toplam değeri I: Maksimum kuraklık değeri.

Tüm istasyonlara ait SPEI analiz sonuçları harita üzerinde incelendiğinde farklı sınıflardaki kuraklık değerlendirmeleri kuraklık uzunluğu, kuraklık şiddeti ve en büyük kuraklık şiddeti neredeyse benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Kuraklığın en şiddetli görüldüğü istasyonlar 17666/İspir ve 17740/Hınıs istasyonları olurken, kuraklığın en az görülen istasyon ise 17096/Erzurum Havalimanı istasyonu olarak gözlemlenmiştir (Şekil 4.24).

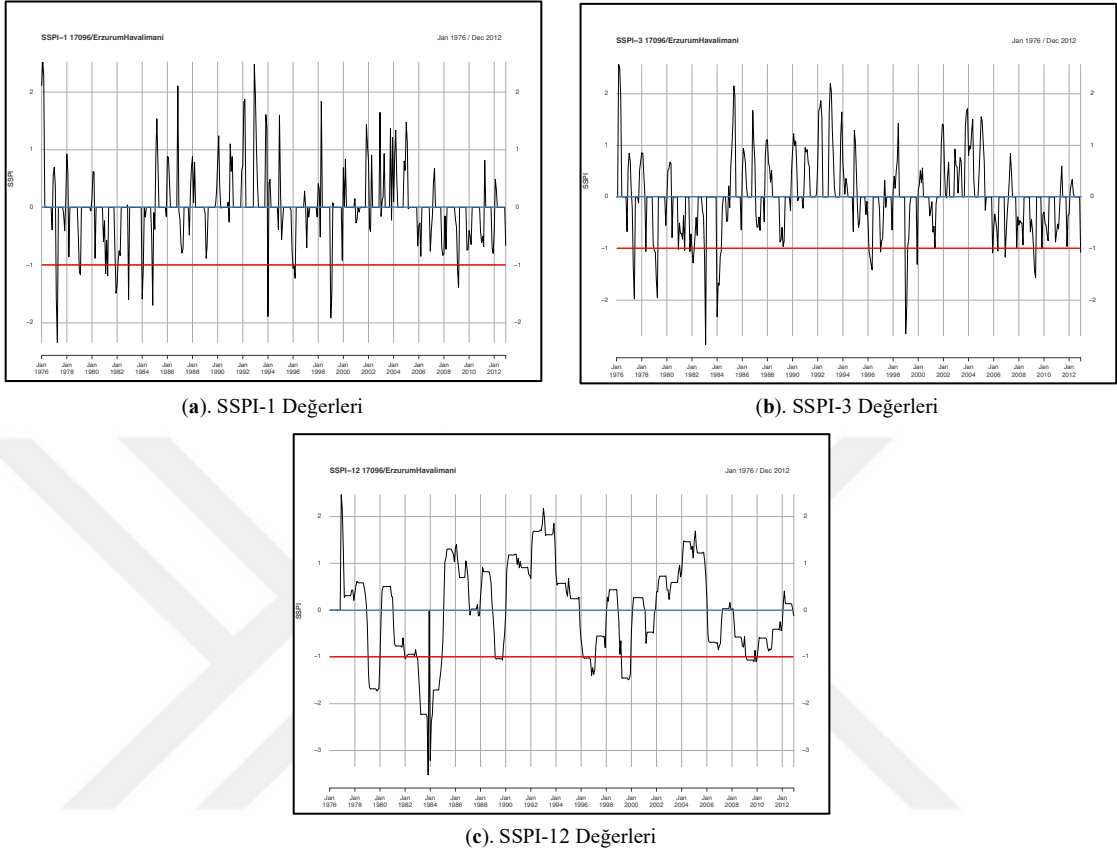


Şekil 4.24 : SPEI analizinin kuraklık uzunluğu(D), şiddeti(S), büyüklüğü(I).

4.2.3 Standartlaştırılmış kar indisi (SSPI) sonuçları

17096/Erzurum Havalimanı istasyonunun SSPI sonuçlarının 1, 3 ve 12 aylık zaman periyotları incelendiğinde, 1977 ve 1985 yılları arasındaki tüm periyotlarda kurak dönemler gözlenmiştir. Nemli dönemler ise 1990 ve 1996 yılları arasında nemli dönemler yaşanmıştır. Tüm zaman periyotlarında kuraklık şiddetinin 2012 yılından itibaren frekans ve genliklerinde artış gözlenmektedir. Özellikle 12 aylık zaman periyoduna bakıldığında en uzun kuraklık süresi 1984 yılında görülürken en büyük

kuraklık şiddeti 1983 yılında -23.44 olarak yaşandığı tespit edilmiştir. En büyük kuraklık ise 12 aylık periyotta 1983 yılında -3.52 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.25).



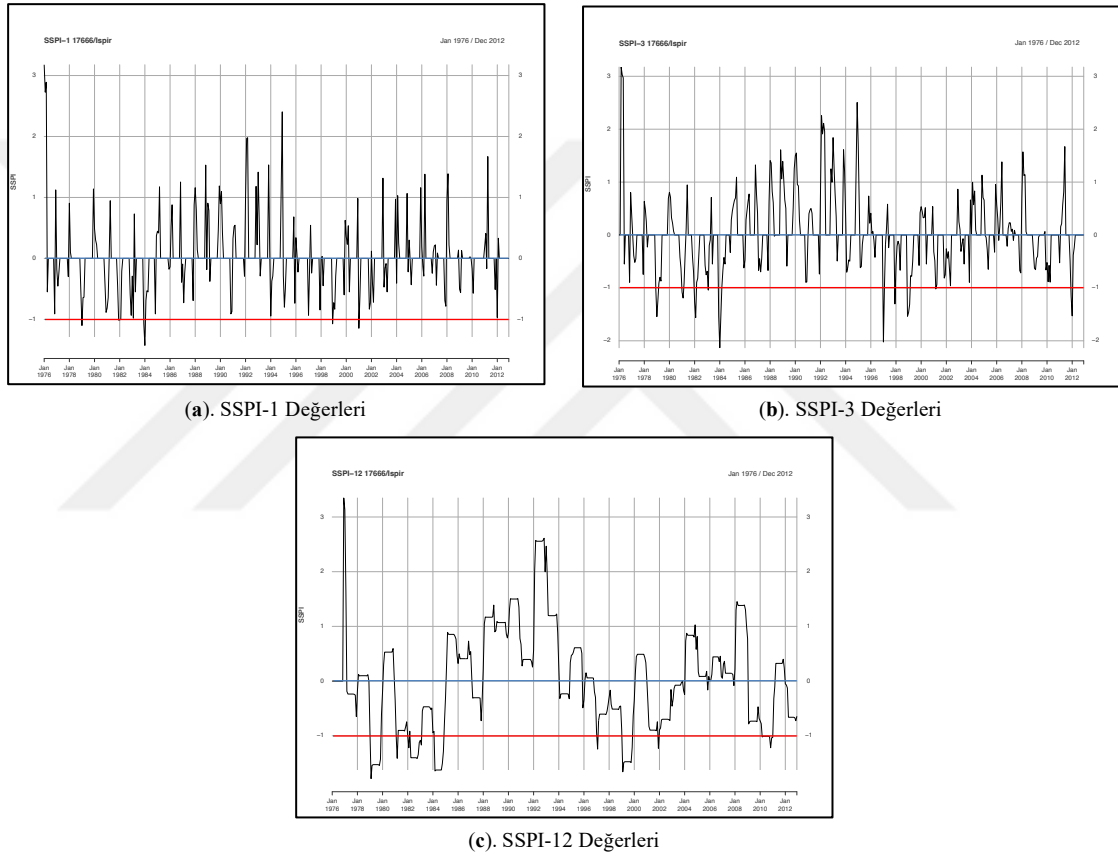
Şekil 4.25 : 17096/Erzurum Havalimanı istasyonu SSPI analiz sonuç değerleri.

17096/Erzurum Havalimanı istasyonunun SSPI sonuçlarının kurak ay sayısı değerlendirildiğinde 1, 3 ve 12 aylık periyotlarının sırası ile 53, 84 ve 153 ayda kuraklık olayı yaşanmıştır. SSPI kuraklık yüzdeleri ise sırası ile %12.27, %19.44 ve %35.42 olarak tespit edilmiştir. Aşırı kurak ay sayısının yüzdelik oranı, aylık ve mevsimsel periyotlarda benzer oran gözükürken yıllık periyotta bu oran daha yüksek tespit edilmiştir (Çizelge 4.20).

Çizelge 4.20 : 17096/Erzurum Havalimanı istasyonu SSPI analiz sonuçları.

Kuraklık Kategorisi	Standartlaştırılmış Kar İndisi					
	SSPI-1		SSPI-3		SSPI-12	
	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi
Aşırı Nemli	2	0,46%	3	0,69%	2	0,46%
Çok Nemli	8	1,85%	12	2,78%	22	5,09%
Orta Nemli	11	2,55%	19	4,40%	48	11,11%
Hafif Nemli	28	6,48%	49	11,34%	79	18,29%
Normal	330	76,39%	265	61,34%	128	29,63%
Hafif Kurak	33	7,64%	49	11,34%	78	18,06%
Orta Kurak	13	3,01%	25	5,79%	47	10,88%
Şiddetli Kurak	6	1,39%	6	1,39%	17	3,94%
Aşırı Kurak	1	0,23%	4	0,93%	11	2,55%

17666/İspir istasyonunun SSPI sonuçlarının 1, 3 ve 12 aylık zaman periyotları incelendiğinde, kurak ve nemli olaylar birbirini takip ederken 1992 ve 1994 yılları arasında zaman ölçeğinin artmasıyla birlikte nemli bölgenin genliklerinde artma eğilimi olduğu görülmektedir. Bu artma eğilimi tüm periyotlarda görülmektedir. Özellikle 12 aylık zaman periyodu incelendiğinde en uzun kuraklık süresi 1982 ve 1983 yılları arasında görülürken en büyük kuraklık şiddeti ise 1979 yılında -15.47 olarak yaşandığı tespit edilmiştir. En büyük kuraklık ise 3 aylık zaman periyodunun 1984 yılında -2.13 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.26).



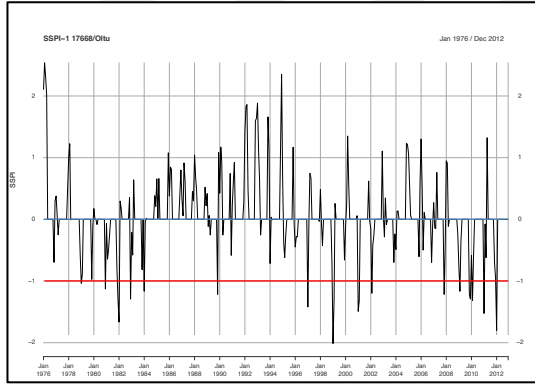
Şekil 4.26 : 17666/İspir istasyonu SSPI analiz sonuç değerleri.

17666/İspir istasyonunun SSPI sonuçlarının kurak ay sayısı değerlendirildiğinde 1, 3 ve 12 aylık periyotlarının sırası ile 47, 73 ve 136 ayda kuraklık olayı yaşanmıştır. SSPI kuraklık yüzdeleri ise sırası ile %10.88, %16.90 ve %31.48 olarak tespit edilmiştir. Aşırı kurak ay sayısının yüzdelik oranı, aylık ve yıllık periyotlarda gözükmezken yıllık periyotta %0.46 olarak gözükmetedir (Çizelge 4.21).

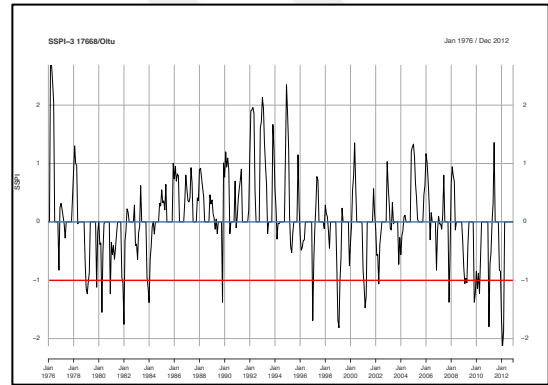
Çizelge 4.21 : 17666/İspir istasyonu SSPI analiz sonuçları.

Kuraklık Kategorisi	Standartlaştırılmış Kar İndisi					
	SSPI-1		SSPI-3		SSPI-12	
	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi
Aşırı Nemli	1	0,23%	3	0,69%	13	3,01%
Çok Nemli	5	1,16%	10	2,31%	10	2,31%
Orta Nemli	16	3,70%	18	4,17%	42	9,72%
Hafif Nemli	20	4,63%	41	9,49%	51	11,81%
Normal	343	79,40%	287	66,44%	180	41,67%
Hafif Kurak	40	9,26%	54	12,50%	79	18,29%
Orta Kurak	7	1,62%	11	2,55%	39	9,03%
Şiddetli Kurak	0	0,00%	6	1,39%	18	4,17%
Aşırı Kurak	0	0,00%	2	0,46%	0	0,00%

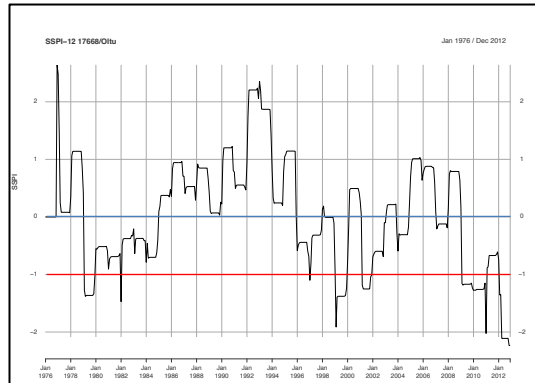
17668/Oltu istasyonunun SSPI sonuçlarının 1, 3 ve 12 aylık zaman periyotları incelendiğinde, 1977 ve 1984 yılları arasında zaman periyodu arttıkça kurak dönem frekansında artış gözlenmektedir. 1985 ve 1996 yılları arasında ise nemli dönemlerin frekans ve genliklerinde artış gözlenmektedir. Bu artış tüm periyotlarda gözlenmektedir. Özellikle 12 aylık periyot incelendiğinde 2009 yılından itibaren nemli dönem yaşanmadığı kurak dönemlerin ise artışı gözlenmektedir. En uzun kuraklık süresi 2009 ve 2011 yılları arasında görülürken aynı yıllar arasında en büyük kuraklık şiddeti -29.98 olarak yaşandığı tespit edilmiştir. En büyük kuraklık ise 12 aylık zaman periyodunun 2012 yılında -2.24 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.27).



(a). SSPI-1 Değerleri



(b). SSPI-3 Değerleri



(c). SSPI-12 Değerleri

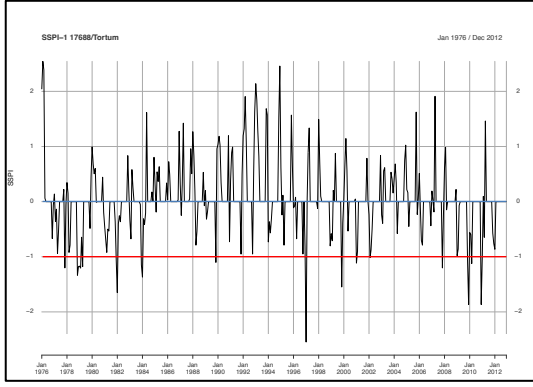
Şekil 4.27 : 17668/Oltu istasyonu SSPI analiz sonuç değerleri.

17668/Oltu istasyonunun SSPI sonuçlarının kurak ay sayısı değerlendirildiğinde 1, 3 ve 12 aylık periyotlarının sırası ile 41, 60 ve 134 ayda kuraklık olayı yaşanmıştır. SSPI kuraklık yüzdeleri ise sırası ile %9.49, %13.89 ve %31.02 olarak tespit edilmiştir. İncelenen periyotlarda aşırı kurak ay sayısının en yüksek yüzdelik oranı, yıllık periyotta gözlemlenirken aylık ve mevsimsel periyotlarda bu oran daha düşük tespit edilmiştir (Çizelge 4.22).

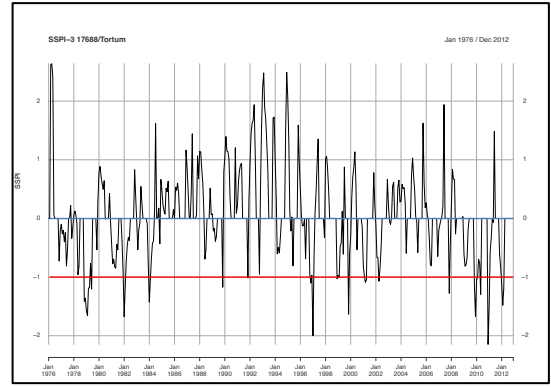
Çizelge 4.22 : 17668/Oltu istasyonu SSPI analiz sonuçları.

Kuraklık Kategorisi	Standartlaştırılmış Kar İndisi					
	SSPI-1		SSPI-3		SSPI-12	
	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi
Aşırı Nemli	1	0,23%	2	0,46%	13	3,01%
Çok Nemli	6	1,39%	9	2,08%	10	2,31%
Orta Nemli	18	4,17%	21	4,86%	40	9,26%
Hafif Nemli	26	6,02%	44	10,19%	85	19,68%
Normal	340	78,70%	296	68,52%	150	34,72%
Hafif Kurak	21	4,86%	30	6,94%	65	15,05%
Orta Kurak	16	3,70%	21	4,86%	58	13,43%
Şiddetli Kurak	3	0,69%	8	1,85%	1	0,23%
Aşırı Kurak	1	0,23%	1	0,23%	10	2,31%

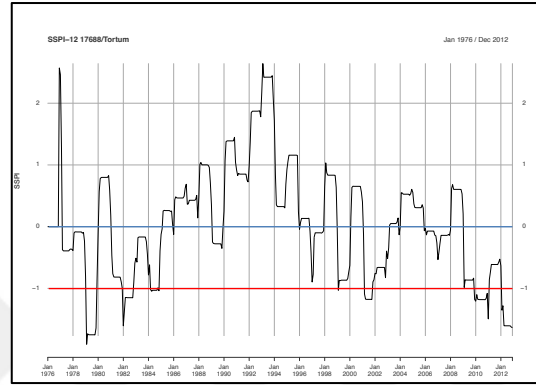
17688/Tortum istasyonunun SSPI sonuçlarının 1, 3 ve 12 aylık zaman periyotlarının kuraklık şiddeti incelendiğinde, genel olarak kurak ve sulak dönemler birbirini takip etmektedir. 1 aylık zaman periyodunun 1992 ve 1996 yılları arasında nemli dönem genliklerinde artış gözlenmektedir. Bu artış tüm periyotlarda görülmektedir. Özellikle 12 aylık zaman periyodu incelendiğinde, araştırma bölgesinin 2009 yılından itibaren nemli dönemler gözükmeye başladığı, kurak dönemlerin ise frekans ve genliklerinde artış gözlenmektedir. 12 Aylık zaman periyodunun en uzun kuraklık süresi 2009 ve 2011 yılları arasında görüldüğü yine aynı yıllar arasında -16.68 olarak kuraklık şiddeti yaşandığı tespit edilmiştir. En büyük kuraklık ise, 12 aylık zaman periyodunun 2012 yılında -17.15 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.28).



(a). SSPI-1 Değerleri



(b). SSPI-3 Değerleri



(c). SSPI-12 Değerleri

Şekil 4.28 : 17688/Tortum istasyonu SSPI analiz sonuç değerleri.

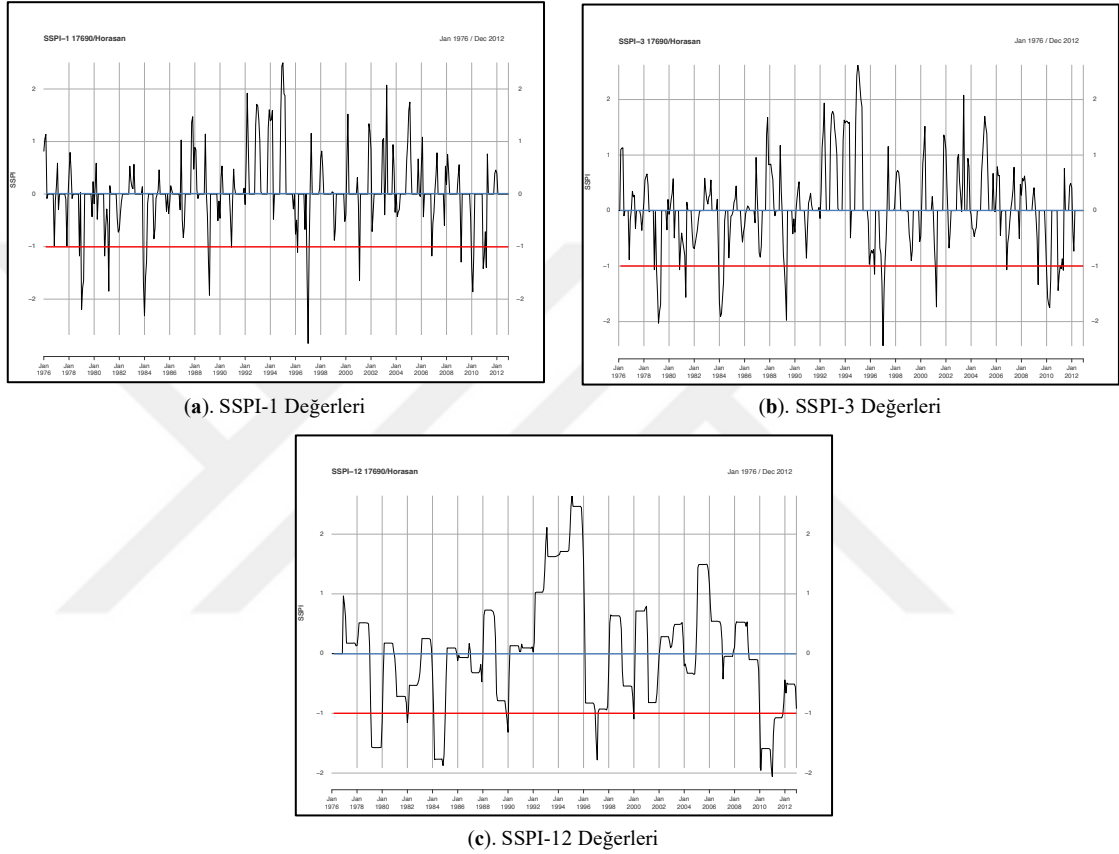
17688/Tortum istasyonunun SSPI sonuçlarının kurak ay sayısı değerlendirildiğinde 1,3 ve 12 aylık periyotlarının sırası ile 58, 82 ve 131 ayda kuraklık olayı yaşanmıştır. SSPI kuraklık yüzdeleri ise sırası ile %13.43, %18.98 ve %30.32 olarak tespit edilmiştir. İncelenen periyotlarda aşırı kurak ay sayısının yüzdelik oranı, yıllık periyotta gözlenmemişken aylık ve mevsimsel periyotta benzer oran tespit edilmiştir (Çizelge 4.23).

Çizelge 4.23 : 17688/Tortum istasyonu SSPI analiz sonuçları.

Kuraklık Kategorisi	Standartlaştırılmış Kar İndisi					
	SSPI-1		SSPI-3		SSPI-12	
	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi
Aşırı Nemli	2	0,46%	4	0,93%	13	3,01%
Çok Nemli	11	2,55%	13	3,01%	11	2,55%
Orta Nemli	17	3,94%	22	5,09%	33	7,64%
Hafif Nemli	35	8,10%	49	11,34%	77	17,82%
Normal	309	71,53%	262	60,65%	167	38,66%
Hafif Kurak	37	8,56%	51	11,81%	69	15,97%
Orta Kurak	16	3,70%	23	5,32%	42	9,72%
Şiddetli Kurak	4	0,93%	6	1,39%	20	4,63%
Aşırı Kurak	1	0,23%	2	0,46%	0	0,00%

17690/Horasan istasyonunun SSPI sonuçlarının 1, 3 ve 12 aylık zaman periyotları incelendiğinde, 1979 ve 1988 yılları arasında kurak dönemler, 1990 ve 1996 yılları arasında ise nemli dönemlerin genliklerinde artışlar gözlenmektedir. 1996 ve 2009

yılları arasında kurak ve sulak dönemler birbirini takip etmiştir. Fakat 2009 yılında itibaren kurak dönemlerin frekans ve genliklerinde artış eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Özellikle 12 aylık zaman periyodu incelendiğinde en uzun kuraklık süresi 2010 ve 2011 yılları arasında olduğu yine aynı yıllar arasında -32.3 kuraklık şiddeti yaşandığı tespit edilmiştir. En büyük kuraklık ise 1 aylık zaman periyodunun 1997 yılında -2.84 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.29).



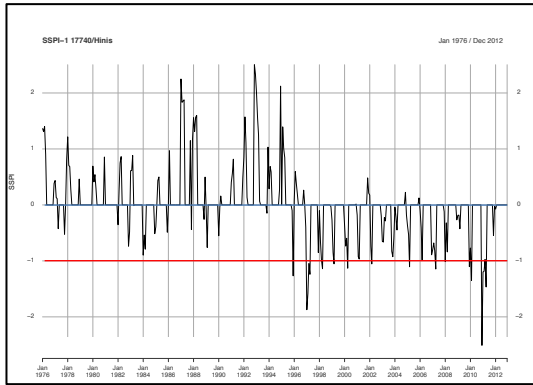
Şekil 4.29 : 17690/Horasan istasyonu SSPI analiz sonuç değerleri.

17690/Horasan istasyonunun SSPI sonuçlarının kurak ay sayısı değerlendirildiğinde 1, 3 ve 12 aylık periyotlarının sırası ile 45, 69 ve 132 ayda kuraklık olayı yaşanmıştır. SSPI kuraklık yüzdeleri ise sırası ile %10.42, %15.97 ve %30.56 olarak tespit edilmiştir. İncelenen periyotlarda aşırı kurak ay sayısının yüzdelik oranı periyot arttıkça azalma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.24).

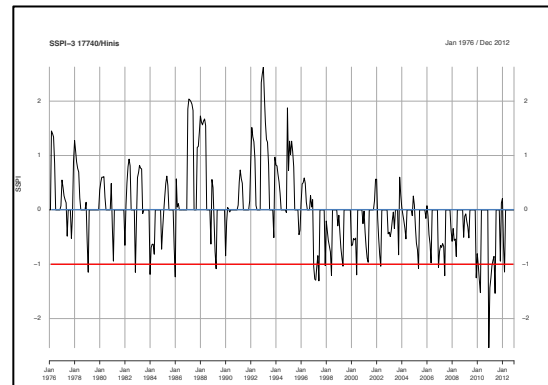
Çizelge 4.24 : 17690/Horasan istasyonu SSPI analiz sonuçları.

Kuraklık Kategorisi	Standartlaştırılmış Kar İndisi					
	SSPI-1		SSPI-3		SSPI-12	
	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi
Aşırı Nemli	3	0,69%	6	1,39%	14	3,24%
Çok Nemli	11	2,55%	16	3,70%	31	7,18%
Orta Nemli	16	3,70%	18	4,17%	14	3,24%
Hafif Nemli	26	6,02%	35	8,10%	68	15,74%
Normal	331	76,62%	288	66,67%	173	40,05%
Hafif Kurak	20	4,63%	36	8,33%	81	18,75%
Orta Kurak	13	3,01%	18	4,17%	18	4,17%
Şiddetli Kurak	9	2,08%	13	3,01%	32	7,41%
Aşırı Kurak	3	0,69%	2	0,46%	1	0,23%

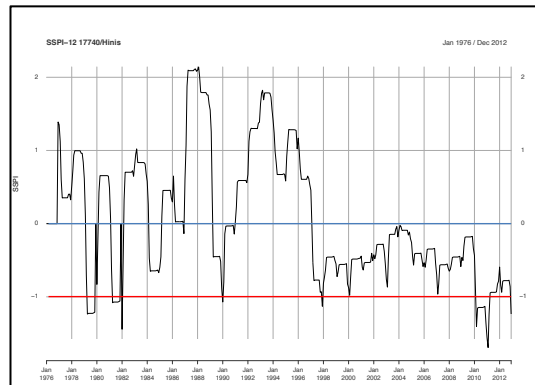
17740/Hınıs istasyonunun SSPI sonuçlarının 1, 3 ve 12 aylık zaman periyotları incelendiğinde, 1976 ve 1986 yılları arasında kurak ve sulak dönemler birbirini takip etmektedir. 1986 ve 1997 yılları arasında ise nemli dönemlerin frekans ve genliklerinde önceki dönemlere oranla artış eğiliminde olduğu gözlenmektedir. Fakat 1997 yılından itibaren kurak dönemin arttığı özellikle 12 aylık zaman periyodunda nemli dönem yaşanmadığı gözlemlenmiştir. 12 Aylık zaman periyodu incelendiğinde en uzun kuraklık süresi 2010 ve 2011 yılları arasında görülürken yine aynı yıllar arasında kuraklık şiddeti -16.41 olarak yaşandığı tespit edilmiştir. En büyük kuraklık ise yine 3 aylık zaman periyodunun 2010 yılında -2.54 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.30).



(a). SSPI-1 Değerleri



(b). SSPI-3 Değerleri



(c). SSPI-12 Değerleri

Şekil 4.30 : 17740/Hınıs istasyonu SSPI analiz sonuç değerleri.

17740/Hınıs istasyonunun SSPI sonuçlarının kurak ay sayısı değerlendirildiğinde 1, 3 ve 12 aylık periyotlarının sırası ile 50, 80 ve 134 ayda kuraklık olayı yaşanmıştır. SSPI kuraklık yüzdeleri ise sırası ile %11.57, %18.52 ve %31.02 olarak tespit edilmiştir. İncelenen periyotlarda aşırı kurak ay sayısının yüzdelik oranı yıllık periyotta görülmemişken aylık ve mevsimlik zaman periyotlarında aynı oran tespit edilmiştir (Çizelge 4.25).

Çizelge 4.25 : 17740/Hınıs istasyonu SSPI analiz sonuçları.

Kuraklık Kategorisi	Standartlaştırılmış Kar İndisi					
	SSPI-1		SSPI-3		SSPI-12	
	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi	Görüldüğü Ay Sayısı	Görülme Yüzdesi
Aşırı Nemli	5	1,16%	6	1,39%	12	2,78%
Çok Nemli	8	1,85%	13	3,01%	23	5,32%
Orta Nemli	9	2,08%	13	3,01%	35	8,10%
Hafif Nemli	21	4,86%	39	9,03%	74	17,13%
Normal	339	78,47%	281	65,05%	154	35,65%
Hafif Kurak	32	7,41%	52	12,04%	101	23,38%
Orta Kurak	15	3,47%	25	5,79%	31	7,18%
Şiddetli Kurak	2	0,46%	2	0,46%	2	0,46%
Aşırı Kurak	1	0,23%	1	0,23%	0	0,00%

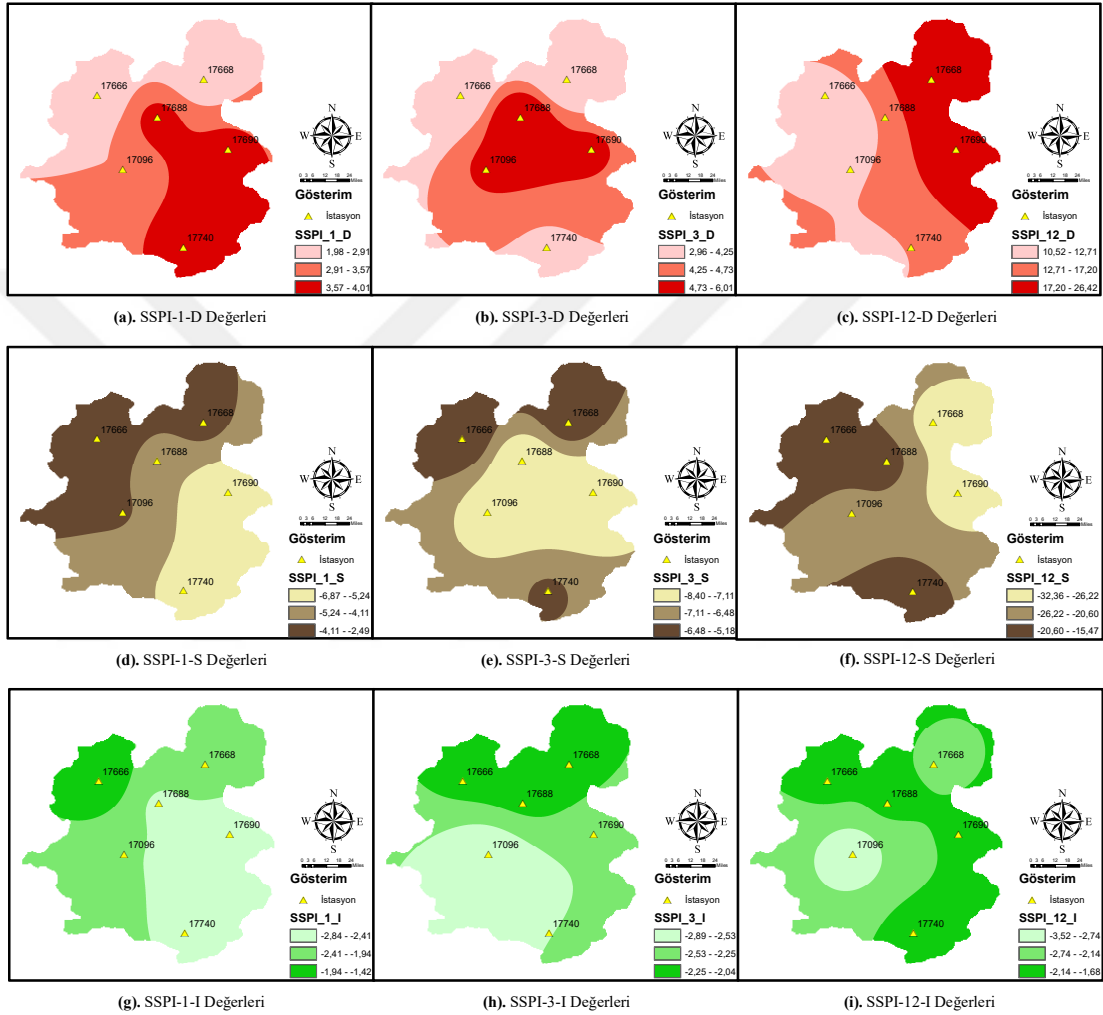
SSPI zamanla değişim grafiklerine genel olarak bakıldığında tüm analizlerde zaman periyodu arttıkça kurak ve nemli dönemlerin belirginleştiği görülmektedir. İncelenen tüm istasyonlarda hafif kuraklık, orta kuraklık, şiddetli kuraklık ve az da olsa aşırı kuraklığın gözlemlendiği tespit edilmiştir. Kuraklık frekanslarının, gözlem dönemine göre araştırma bölgelerindeki istasyonların hepsinde son yıllara doğru artış gösterdiği görülmektedir. En uzun kuraklık süresi 24 ay ile 17668 numaralı istasyonun SSPI-12 değeridir. En şiddetli kuraklık 17690 numaralı istasyonun -32.31 değeri ile SSPI-12 analizinde görülmüştür. En yüksek büyüklük ise -3.52 değeri ile 1983 yılında 17096 numaralı istasyonun SSPI-1 analizinde tespit edilmiştir (Çizelge 4.26).

Çizelge 4.26 : SSPI analizinin kuraklık özet tablosu.

İstasyon No	Zaman Skalası	Uzunluğu		Şiddeti		Büyüklüğü	
		Yıl	D	Yıl	S	Yıl	I
17096	SSPI-1	1996	3	1977	-3.91	1977	-2.34
	SSPI-3	1984	5	1984	-7.89	1983	-2.86
	SSPI-12	1984	12	1983	-23.44	1983	-3.52
17666	SSPI-1	1983-1984	2	1983-1984	-2.50	1984	-1.43
	SSPI-3	1983-1984	3	1983-1984	-5.21	1984	-2.13
	SSPI-12	1982-1983	11	1979	-15.47	1979	-1.78
17668	SSPI-1	1999	2	1999	-3.33	1999	-2.01
	SSPI-3	2012	3	2012	-5.70	2012	-2.12
	SSPI-12	2009-2011	24	2009-2011	-29.98	2012	-2.24
17688	SSPI-1	1978-1979	4	1978-1979	-4.89	1997	-2.55
	SSPI-3	1978-1979	6	1978-1979	-8.37	2010	-2.15
	SSPI-12	2009-2011	14	2009-2011	-16.68	1979	-1.91
17690	SSPI-1	1983-1984	4	1983-1984	-6.86	1997	-2.84
	SSPI-3	1984	5	1984	-8.27	1997	-2.44
	SSPI-12	2010-2011	23	2010-2011	-32.31	2011	-2.06
17740	SSPI-1	1997	4	1997	-5.74	2010	-2.51
	SSPI-3	2010-2011	4	2010-2011	-6.25	2010	-2.54
	SSPI-12	2010-2011	13	2010-2011	-16.41	2011	-1.69

D: Kurak ay sayısı S: Kuraklık şiddetinin toplam değeri I: Maksimum kuraklık değeri.

Tüm istasyonlara ait SSPI analiz sonuçları harita üzerinde incelendiğinde farklı sınıflardaki kuraklık değerlendirmeleri kuraklık uzunluğu, kuraklık şiddeti ve en büyük kuraklık şiddeti neredeyse benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Kuraklığın en şiddetli görüldüğü istasyonlar 17666/İspir ve 17740/Hınıs istasyonları olurken, kuraklığın en az görülen istasyon ise 17096/Erzurum Havalimanı istasyonu olarak gözlemlenmiştir (Şekil 4.31).



Şekil 4.31 : SSPI analizinin kuraklık uzunluğu(D), şiddeti(S), büyüklüğü(I).

4.3 SPI, SPEI ve SSPI İndislerinin Karşılaştırılması

1 Aylık zaman periyodu ile elde edilen analiz sonuçlarının kuraklık süreleri karşılaştırıldığında tüm kuraklık indislerinde (SPI-SPEI-SSPI) Erzurum ilinin güney ve güneydoğu bölgelerinde kuraklık olaylarına saptanmıştır. 17740/Hınıs gözlem istasyonunda en uzun kuraklık süresinin gözlemlendiği tespit edilmiştir. Bu gözlem istasyonunu 17688/Tortum ve 17690/Horasan gözlem istasyonları takip etmektedir. Gözlem istasyonlarının kuraklık şiddetleri karşılaştırıldığında ise SPI kuraklık

indisinde 17740/Hınıs gözlem istasyonu kuraklık şiddetinin en fazla olduğu istasyon olarak tespit edilmiştir. Fakat sıcaklık faktörünün etkili olduğu SPEI kuraklık indisinde 17688/Tortum gözlem istasyonu ile eş değer etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Kar suyu eşdeğeri ile hesaplanan SSPI kuraklık indisinde ise 17690/Horasan gözlem istasyonu ve çevresinde kar kuraklık etkisinin fazla olduğu tespit edilmiştir. En yüksek kuraklık değeri ise kuraklık büyüklüğü ve şiddetine bağlı olduğu gözlenmektedir.

3 Aylık periyotlarla zamana bağlı değişim grafikleri incelendiğinde, kuraklık süreleri karşılaştırıldığında SPI ve SPEI kuraklık indislerine göre kuzeybatı bölümünde yer alan 17666/İspir istasyonu ve çevresinde kuraklık tespit edilirken SSPI kuraklık indisine göre araştırma bölgesinin iç kısmında yer alan 17688/Tortum istasyonu ve çevresindeki diğer istasyonlarda kar kuraklık süresinin en fazla olduğu görülmüştür. Kuraklık şiddeti kuraklık büyüklüğüne göre benzer dağılım göstermektedir. Araştırma bölgesinin iç kısmında yer alan 17096/Erzurum Havalimanı, 17688/Tortum ve 17690/Horasan gözlem istasyonlarında kar kuraklık şiddetinin maksimum olduğu istasyonlar olarak saptanmıştır. SPI ve SPEI indisleri benzer özellik gösterirken SSPI indisi farklılık göstermektedir.

12 Aylık zaman periyodu ile elde edilen analiz sonuçlarının kuraklık süreleri karşılaştırıldığında, SPI ve SPEI kuraklık indislerine göre araştırma bölgesinin kuzeybatısında yer alan 17666/İspir istasyonu ve güneyinde yer alan 17740/Hınıs istasyonunda maksimum kuraklık olayları görülmüştür. SSPI indisine göre kar kuraklığı bölgenin kuzey doğusunda yer alan 17668/Oltu gözlem istasyonu ve 17690/Horasan gözlem istasyonunun doğu kısımlarında maksimum süreli kar kuraklığı gözlenmektedir. Kuraklık şiddetleri ise kuraklık büyüklükleri ile benzerlik göstermektedir. İnceleme bölgesinin merkezinde yer alan 17096/Erzurum Havalimanı istasyonunda en yüksek kar kuraklık değeri gözlemlenirken kuraklık büyüklüğü ve kuraklık şiddeti bölgenin doğusuna doğru artış göstermektedir.

Kuraklık sürelerini farklı periyotlarla incelenip SPI, SPEI ve SSPI kuraklık indis analiz sonuçları karşılaştırıldığında, 1 aylık periyotlar daha çok benzerlik gösterirken 3 aylık ve 12 aylık periyot değerleri daha az benzerlik göstermektedir. Bunun sebebi ise SPEI analizinde sıcaklık verileri kullanılarak buharlaşmayı, SSPI kuraklık indisinde ise de kar verileri etkisi ile bölgedeki iklim faktörleri devreye girmektedir.

Kuraklık şiddetlerinin farklı periyotlar ile SPI, SPEI ve SSPI kuraklık indis analiz sonuçları karşılaştırıldığında, 3 aylık periyotta mevsimler arasındaki değişimler daha şiddetli ama 1 aylık ya da 12 aylık (yıllık) bazda bakıldığında kuraklık şiddeti çok büyük bir fark gösterilmiyor. Bu sonuca göre, mevsimlerde bir kayma olduğu gözlenmektedir. Bunun için aradaki fark daha şiddetli gözükmemektedir.

Kuraklık büyüklükleri bakımından farklı periyotlar ile SPI, SPEI ve SSPI kuraklık indis analiz sonuçları karşılaştırıldığında, tüm periyotlarda farklılık olduğu gözlemlenmiştir. Kuraklığın büyüklüğü, bir kuraklık döneminde ortalaması yüksek bir kuraklık şiddetine sahip dönemde, genel olarak maksimum değere sahiptir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez kapsamında meteorolojik veriler kullanılarak SPI, SPEI ve SSPI indisleri kullanılarak meteorolojik kuraklık analizleri yapılmıştır. Ayrıca gözlem istasyonlarına ait kuraklık sonuçları Erzurum il haritası üzerinde renklendirme yöntemi ile gösterilerek, kuraklığın ne şiddette ve bölge üzerinde ne kadar etki alanına sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Erzurum ilinde yer alan altı adet meteorolojik gözlem istasyonlarının yıllık yağış rejimi tüm gözlem istasyonlarında azalma eğilimi ile genel olarak benzerlik göstermektedir. Bu azalma eğilimi araştırma bölgesinin güney ve doğu bölgelerinde daha belirgin şekilde gözlenmiştir. Yağış miktarı bakımından inceleme bölgesinin kabaca güney bölgesi diğer bölgelere kıyasla kuvvetli farklılıklar gözlenmiştir. Diğer yandan karasal bir iklime sahip bölgede mevsimselliğin kuvvetli olmasından dolayı aylık yağış miktarları arasında büyük oranda farklılıklar belirlenmiştir.

Tüm gözlem istasyonlarında çift kütle eğri analizi aracılığıyla elde edilen sonuçlara göre bölgedeki yıllık toplam yağış miktarı %99 güven düzeyinde anlamlıdır. Yağış miktarının mevsimlere göre dağılışı incelendiğinde, yağışların en çok ilkbahar mevsiminde yaşandığı tespit edilmiştir. En az yağışlar ise yaz mevsiminde görülürken, il merkezi ve çevresindeki istasyonlarda kış mevsiminde de yağışların azaldığı tespit edilmiştir.

İncelenen yıllara ait (1976-2021) ortalama sıcaklıklardaki yıllık değişime bakıldığında, bölge genelinde ortalama sıcaklık değerlerindeki artış şiddetinin yükseldiği belirlenmiştir. Bu artış tüm istasyonlarda belirgin bir şekilde gözlenmektedir. Araştırma bölgesinin merkezinde yer alan 17096/Erzurum Havalimanı istasyonu hariç diğer tüm istasyonlarda aylık sıcaklık değeri 20 °C 'nin üzerine çıkarak yaz mevsiminde maksimum değerlere ulaştığı görülmüştür. Kış mevsimlerinde aylık ortalama sıcaklık değerleri bölgenin doğu ve güneyindeki gözlem istasyonları 0 °C 'nin altında gözlemlenirken, bölgenin batısında ve kuzeyin de yer alan istasyonlar mart ayı içerisinde 0 °C 'nin üstüne çıktığı gözlemlenmiştir. Hem

yıllık sıcaklıklardaki artışın şiddeti hem de mevsimlik olayları mekânsal olarak değişiklikler göstermesinin yanı sıra bölgedeki sıcaklık artışının gelecekte devam etmesi büyük olasılıkla düşünülmektedir.

Kar yağışlarından oluşan kar yükseklik miktarının yıllık değişimi incelendiğinde tüm gözlem istasyonlarında azalma eğilimi gözlenmektedir. Mevsimsel olarak incelendiğinde kış ve sonbahar mevsimlerinde ortalama en yüksek kar yükseklik değerleri tespit edilmiştir. İlkbahar mevsiminde bölgedeki gözlem istasyonlarında kar yükseklik verileri gözlemlense de 17666/İspir gözlem istasyonunda mayıs ayı içerisinde kar yükseklik verisine rastlanmamıştır. Yağış miktarları bakımında incelendiğinde bölgenin güney ve doğu bölgelerine yağışlar kar şeklinde gözlenmektedir. Batı ve kuzey kısımlara doğru gidildikçe yağışların yağmur şeklinde olduğu görülmektedir.

Kar yükseklik verilerinden elde edilen kar suyu eşdeğer verilerinin yıllık değişimi incelendiğinde, tüm istasyonlarda azalma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Bu eğilim kar yükseklik verilerinin eğilimi ile orantılı seyretmektedir. Bölgenin güneyinde yer alan 17740/Hınıs gözlem istasyonunda kar suyu eşdeğerinin azalma eğilimi daha belirgin bir şekilde gözlenmektedir. 17690/Horasan gözlem istasyonunda ise araştırma yılları içerisinde kar yükseklik verisinin hafifte olsa artma eğiliminde olması kar suyu eşdeğer verisinin ise azalma eğiliminde seyretmesi bölgedeki sıcaklık artışının fazla olduğu ve bu sebepten dolayı suyun buharlaşarak havaya karıştığı tespit edilmiştir.

Kar suyu eşdeğer verileri mevsimsel olarak incelendiğinde ise 17668/Oltu ve 17688/Tortum gözlem istasyonları kış ve sonbahar mevsimlerinde 20 mm'nin altında seyretmektedir. Diğer gözlem istasyonlarında ise kış mevsimlerinde 20 mm'nin üzerinde kar suyu eşdeğer verileri gözlemlenmiştir. Fakat 17666/İspir ve 17690/Horasan gözlem istasyonları mart ayı içerisinde 20 mm'nin üstüne çıkmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca tüm istasyonlarda son bahar mevsiminde 20 mm üzeri kar suyu eşdeğer verisi gözlemlenmezken, bölgenin güneyinde bulunan 17740/Hınıs gözlem istasyonunda sonbahar mevsiminde kar suyu eşdeğer verisinin 20 mm üzerine çıktığı saptanmıştır. Bu gözlem istasyonu aynı zamanda diğer gözlem istasyonlarına oranla en yüksek miktarda kar suyuna sahip gözlem istasyonudur.

Meteorolojik kuraklık indisleri SPI, SPEI ve SSPI için tüm zaman periyotları ile oluşturulan zamana bağlı değişimleri incelendiğinde kurak veya nemli olma durumlarının genel olarak aynı olduğu tespit edilmiştir. Fakat zaman periyodu arttıkça kuraklıkların belirginleştiği, zaman periyodu azaldıkça kuraklıkların sıklığını arttığı ancak sürelerinin kısaldığı tespit edilmiştir.

Araştırma bölgesinden seçilen altı adet meteorolojik gözlem istasyonlarının kuraklık sonuçlarına bakıldığında genel olarak tüm zaman periyotlarında 2000 yılından sonra bölge genelinde şiddetli kuraklık yaşandığı görülmüştür.

SPI ve SPEI analiz sonuçlarına göre, kuraklığın süresi, şiddeti ve büyüklüğü tespit edilmiştir. Altı gözlem istasyonu için yapılan kuraklık analizinde özellikle son yıllarda artan kuraklık tespit edilmiştir. Her istasyon için maksimum kuraklık süresi, maksimum kuraklık şiddeti ve maksimum kuraklık büyüklüğü tespit edilmiştir. SPI ve SPEI analizlerinde zaman periyodu ne kadar uzun olursa, kuraklık oluşumlarının sayısı azalacak, ancak kuraklık büyüklüğü artacaktır.

Analiz sonuçlarına göre 1 aylık periyotta en uzun ve en şiddetli kuraklığın 2012 yılında 17740/Hınis gözlem istasyonunda meydana gelmiştir. 3 aylık periyotta en uzun ve en şiddetli kuraklık 2013 yılında 17740/Hınis ve 17666/İspir gözlem istasyonlarında görülmüştür. 12 Aylık periyotta ise 2012-15 yılları arasında bölge güneyinde yer alan 17740/Hınis ve bölge kuzeyinde yer alan 17666/İspir gözlem istasyonlarında kuraklık olayı meydana gelmiştir. Her iki indisin kısa dönem değerinde iklimsel döngülerin değişimi gözlenmektedir. SPEI indisinde yağış verilerine ek olarak sıcaklık verisi ve evapotranspirasyon verisi kullanıldığından dolayı daha detaylı sonuçlar elde edilmiştir.

Artan sıcaklıklar azalan yağışlar neticesiyle iklim değişikliğine sebep olan kuraklık olayları, özellikle dağlık bölgelerde kar örtüsünü azaldığı veya yağışın kar yerine yağmur olarak gerçekleşmesi ile kar kuraklığı görülmektedir. Dolayısıyla, kar kuraklığının ortaya çıkmasındaki sebep, küresel ısınmaya bağlı olarak sıcaklık ve yağış verilerinde gözlenen değişikliklerdir.

Bölge için kar kuraklığının, yıllık periyotlarla SSPI analizi sonucu elde edilen uzunluk, şiddet ve büyüklük bakımından bir genelleme yapmak gerekirse, bölgenin doğusunda yer alan 17668/Oltu ve 17690/Horasan gözlem istasyonlarında 2009-2012 yılları arasında en uzun süre ile kar kuraklığının yaşandığı tespit edilmiştir.

Kuraklık şiddeti bakımından bakıldığında ise yine bu istasyonlarda ve yine aynı yıl içerisinde en büyük kuraklık şiddetleri gözlenmektedir. Kuraklık büyüklüğü bakımından ise en büyük kuraklık olayı bölgenin merkezinde yer alan 17096/Erzurum Havalimanı gözlem istasyonunda 1983 yılında tespit edilmiştir.

Tüm analiz sonuçları birlikte incelendiğinde kurak ve nemli bölge sınırları genel olarak aynı bölgeler olduğu tespit edilmiştir. SPI ve SPEI analizinde Erzurum ilinin güney ve kuzeybatısında kuraklık gözlenirken SSPI indisinde bu durum bölgenin merkezinden doğu kısmına doğru kuraklığı şeklinde gözlenmektedir. Bu durumda SPI ve SPEI kuraklığına göre nemli bölgede seyreden bölgeler, SSPI indisinde kurak olarak tespit edilmiştir. Dolayısı ile kuraklığı gözüken bölgelerde yağışların çoğunluk yağmur şeklinde gerçekleştiği diğer bölgelerde ise kar şeklinde gerçekleştiği analiz sonucu tespit edilmiştir.

Yapılan tüm analiz sonuçları ile literatür sonuçları da birlikte değerlendirildiğinde, Erzurum ilinin araştırma yılının son dönemlerinden günümüze kuraklık sorunun devam ettiği ve iklimsel değişimlerin gerçekleşebileceği göz önünde bulundurulması, gelecek dönemlerde kuraklık sorunu için mekânsal analiz çalışmaları yapılmalıdır.

Kuraklığın önlenmesi ve su kaynaklarının sürdürülebilmesi için doğal yeşil çevre korunmalı ve boş arazilere ağaçlandırma yapılarak yeşil çevre artırılmalı, su tüketiminin yoğun olduğu sektörlerde kullanılan suyun tekrar kullanılması için geri dönüştürülebilir tesisler kurulmalı, su tasarrufu için endüstri sektörlerinde yenilikçi yöntemler ve cihazlar tercih edilmeli, toplumda bireysel olarak daha verimli su kullanımı için kamu duyuru spotları ile bilinçlendirme çalışmaları yapılmalıdır. Sonuç olarak kuraklığın olumsuz etkilerine karşı gerekli teknik ve sosyal önlemler alınmalıdır.

Literatürde yer alan hidrolojik verilerin kullanıldığı farklı kuraklık indisleri ile bu çalışma sonucu elde edilen iklimsel veriler yardımıyla oluşturulan kuraklık indis sonuçları karşılaştırılarak Erzurum ili için daha geniş çaplı kuraklık analiz çalışmaları yapılabilir. Buna ilave olarak analiz sonuçlarının istatistiksel çalışmaları yapılarak gelecek dönemlerde yaşanması muhtemel kuraklık dönemleri belirlenerek gerekli önlemler alınabilir.

KAYNAKLAR

- Akşan, G. N. (2021). Türkiye’de Kuraklık Analizi. Denizli.
- Akçakaya, A., Atay, H., Demir, Ö., ve Eskioğlu, O. (2015). Yeni Senaryolar İle Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği. Ankara.
- Akbaş, A. (2014). Türkiye Üzerindeki Önemli Kurak Yıllar, *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 12, 101-118.
- Akgündüz, A., Ayvaci, H., Arabacı, H., Çamalan, G., Çetin, S., ve Çoşkun, M. (2017). SPEI indisine göre Türkiye geneli kuraklık değişim ve eğilim projeksiyonları. IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi. İstanbul.
- Altın, G. (2022). Standartlaştırılmış Kuraklık İndeksi ve Keşif Kuraklık İndeksi İle Meteorolojik Kuraklığın Analizi. Adana.
- Andrady, A., Aucamp, P., ve Bais, A. (2008). Environmental Effects of Ozone Depletion and Its Interactions with Climate Change: Progress Report. *Photochem Photobiol Sci* 8.
- Asdak, C. (2020). Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai.
- Aslan, H. (2020). Van Gölü Havzası’nda Kar Kuraklığının Araştırılması. Şanlıurfa.
- Başak, A. (2017). Aşağı Fırat Havzasında Bulunan Beş İlin Kuraklık Analizi ve Kuraklık İndisinin Yapay Sinir Ağları İle Tahmini. Şanlıurfa.
- Bayar, A., ve Bahrend, H. (1994). Küresel Çevre Problemleri. Küresel Çevre Problemleri.
- Ersoy, T. (2019). Konya İli Meteorolojik Kuraklık Analizi. Isparta.
- Gözel, E. (2011). Yukarı Fırat Havzasında Kar Suyu Potansiyelinin Dönemsel ve Akımların Günlük Modellenmesi. Eskişehir.
- Gülsever, H. (2006). Dicle Havzasında Sıcaklık-Yağış ve Kuraklık Analizi. Diyarbakır.
- Gürer, İ. (1993). Kar Hidrolojisi, *Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, 5.
- Google Maps. (2023). <https://www.google.com/maps> adresinden alındı. (Erişim Tarihi: 01.01.2023)
- Guterres, A., ve Kim, J. (2018). United Nations High Level Panel On Water Outcome Document. High Level Panel On Water Outcome Document.
- İklim Değişikliği. (2023). T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü: <https://mgm.gov.tr/iklim/iklim-degisikligi.aspx> adresinden alındı. (Erişim Tarihi: 01.01.2023)
- İklim Sınıflandırması Erzurum. (2023). T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü:

<https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-siniflandirmalari.aspx?m=ERZURUM> adresinden alındı. (Erişim Tarihi: 01.01.2023)

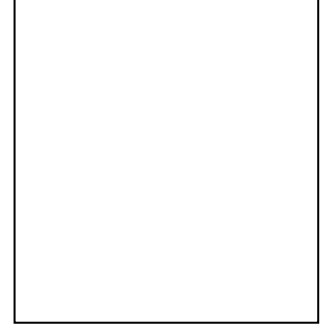
- Jonas, T., Marty, C., ve Magnusson, J.** (2009). Estimating the snow water equivalent from snow depth measurements in the Swiss Alps. *Journal of Hydrology*.
- Küçükyaman, D.** (2010). Kovada Gölü'nün Hidrolojik ve Meteorolojik Kuraklık Analizi. Isparta.
- Kanat, Z., ve Keskin, A.** (2017). Dünyada İklim Değişikliği Üzerine Yapılan Çalışmalar ve Türkiye'de Mevcut Durum, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 49.
- Kermen, Ç.** (2019). Küçük Menderes Havzası'nda Meteorolojik ve Hidrolojik Kuraklık Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi. İzmir.
- McKee, Doesken, ve Kleist.** (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales, *8th Conference on Applied Climatology*, 17- 22 January 1993, Anaheim, 179-183. California.
- Meteoroloji 12.Bölge Müdürlüğü Erzurum.** (2023). T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü: www.erkurum.mgm.gov.tr adresinden alındı. (Erişim Tarihi: 01.01.2023)
- Meteorolojide Kullanılan Alet ve Cihazlar.** (2023). T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü: <https://mgm.gov.tr/genel/meteorolojikaletler.aspx?s=9> adresinden alındı. (Erişim Tarihi: 01.01.2023)
- Mishra, A., ve Singh, V.** (2010). *Journal of Hydrology*.
- New England Water Science Center.** (2017). United States Geological Survey: <https://www.usgs.gov/media/images/scientist-inserting-a-snow-tube> adresinden alındı. (Erişim Tarihi: 01.01.2023)
- Noorı, R.** (2022). Batı Karadeniz Bölgesinde Yer Alan Filyos Nehri Havzası'nın Meteorolojik ve Hidrolojik Kuraklık Analizleri. Karabük.
- Oruç, N.** (2017). Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Kuraklık Analizi. Denizli.
- Oz, A.** (2020). Farklı Kuraklık İndisleri Kullanılarak Van Gölü Havzası Kuraklık Analizi. Van.
- Ozcan, M.** (2020). Dicle Havzasının Zamansal ve Mekânsal Kuraklık Analizi. Şanlıurfa.
- Ozlu, A.** (2022). Sakarya Havzası'nda Farklı Kuraklık İndisleri ile Kuraklık Analizi ve Performans Değerlendirmesi. Kırıkkale.
- Ozmen, F.** (2022). Batman ve Diyarbakır İllerinin Uzun Yıllar İklim Verileri Kullanılarak Çeşitli Kuraklık İndisleriyle Kuraklık Analizinin Yapılması ve Literatürle Karşılaştırılması. Batman.
- Ozturk, K.** (2002). Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye'ye Olası Etkileri, *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22, 1, 47-65.
- Oğuztürk, G.** (2010). Kızılırmak Havzası'nda SYİ İle Kuraklık Analizi ve YSA Yöntemi İle Kuraklık Tahmini. Kırıkkale.

- Qadimi, N.** (2021). Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) İle Erzurum İlindeki Kuraklık Trend Analizi. Erzurum.
- Rahman, M., ve Azim, S.** (2022, Mayıs). Meteorological Drought in Bangladesh using Standardized Precipitation Index: A Spatiotemporal Approach. The Dhaka University Journal of Earth and Environmental Sciences.
- Rahmani, S.** (2022). Farklı Meteorolojik Kuraklık Analizi Yöntemlerinin Karşılaştırılması Ceyhan Havzası Örneği. Adana.
- Sarı, G.** (2023). Meteorolojik Kuraklık Analizindeki Belirsizlik Yaratan Unsurların İrdelenmesi. Balıkesir.
- Saygın, Y.** (2018). Kuraklık Nedir? Nedenleri, Sonuçları, Çeşitleri ve Önleme Yolları Nelerdir? Bilgi Hanem.
- Schellander, H.** (2022). Package 'nixmass'. Snow Water Equivalent Modeling with the 'Delta.snow' Model and Empirical Regression Models.
- Selçuk, D.** (2017). Kızılırmak Havzasında Hidrometeorolojik Parametrelerle Kuraklık Analizi ve Tahmini.
- Snow Drought.** (2023). National Integrated Drought Information System: <https://www.drought.gov/what-is-drought/snow-drought> adresinden alındı. (Erişim Tarihi: 01.01.2023)
- Standardized SnowPack Index.** (2021). European Drought Observatory: https://edo.jrc.ec.europa.eu/documents/factsheets/factsheet_ssipi.pdf adresinden alındı. (Erişim Tarihi: 01.01.2023)
- Sturm, M., Taras, B., Liston, G., Derksen, C., Jonas, T., ve Lea, J.** (2010). Estimating Snow Water Equivalent Using Snow Depth Data and Climate Classes. Journal Of Hydrometeorology.
- Su Döngüsü The Water Cycle Turkish.** (2016). United States Geological Survey: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/su-dongusu-water-cycle-turkish> adresinden alındı. (Erişim Tarihi: 01.01.2023)
- Subaşı, S.** (2021). Gediz Nehri Alaşehir Alt Havzası Kuraklık ve Gidiş Analizleri. Manisa.
- Türkeş, M.** (2001). Hava, İklim, Şiddetli Hava Olayları ve Küresel Isınma. T.C. Başbakanlık Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü 2000 Yılı Seminerleri.
- Türkeş, M.** (2008). Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler. İklim Değişikliği ve Çevre.
- Türkeş, M.** (2012). Türkiye’de Gözlenen ve Öngörülen İklim Değişikliği, Kuraklık ve Çölleşme, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4, 2, 1-32.
- Taş, M., ve Aktürk, A.** (2023). Erzurum Coğrafya. Erzurum İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü.
- Temel, İ.** (2019). Gediz Havzasında Kuraklık Analizi. İzmir.
- Uysal, G. A.** (2022). Bursa Bölgesinde Zaman Serileri, SPI ve SPEI Kuraklık İndisleri Kullanılarak Kuraklık Analizi Üzerine Bir Araştırma. Bursa.
- Yaşa, İ.** (2023). Orta Fırat Bölgesindeki Meteorolojik Kuraklık ve Kuraklık Parametrelerinin En Uygun Olasılık Dağılımları. Gaziantep.

Zoray, F., ve Pır, A. (2007). Küresel Isınma Problemi: Sebepleri, Sonuçlar, Çözüm Yolları. Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği.



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Muhammet SAVAŞ

Doğum Tarihi ve Yeri :

E-posta :

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2019, Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
- **Lisans** : Devam Ediyor, Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2023, Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Tezli Yüksek Lisans Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- **2019-Devam Ediyor : Birleşim Pano** (İnşaat Mühendisi)
- **2018 : Serkan Kasıl Yapı Endüstri A.Ş.** (Stajer)
- **2017 : Demiroğlu Yapı Denetim** (Stajer)

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Cukurova 10th International Scientific Research Conference** (Drought Analysis of Erzurum Province Using SPI Index) 2023, Adana, Türkiye

DİĞER ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Şanlıurfa Harran Üniversitesi Osman Bey Kampüsü Sulama Projesi** (İnşaat Mühendisliği Tasarım Grup Çalışması) 2019, Erzurum, Türkiye
- **Hafif Çelik Yapılarda Kolon-Kiriş Birleşimi** (İnşaat Mühendisliği Bitirme Çalışması) 2019, Erzurum, Türkiye