

SPEI KURAKLIK İNDİSİ İLE TÜRKİYE'DE KURAKLIK OLAYLARININ ANALİZİ

Gülten ÇAMALAN¹, A. Serap AKGÜNDÜZ¹, S.ÇETİN¹, H. ARABACI¹

ÖZET

Kuraklık karakteristiğini anlamak, iyi hazırlanmış kuraklık yönetim planlarında önemli bir unsurdur. Küresel ısınma nedeniyle (IPCC 2004), doğrudan veya dolaylı olarak sıcaklık girdilerine dayanan bir kuraklık indisini dikkate almanın önemli olduğunu varsayarak çalışmamızda standartlaştırılmış Yağış-Evapotranspirasyon kuraklık indisini (SPEI) seçtik. Çalışma da elde edilen bulgular; SPEI kuraklık indisini ile Türkiye'deki 123 meteoroloji gözlem istasyonunda 1971-2015 dönemini kapsayan iklimsel veriler kullanarak kuraklık olaylarının özellikleri (şiddet, süre ve yoğunluk ile kurak dönemlerin başlangıç ve bitiş zamanları) ve bunların eğilimlerini kapsamaktadır. İstasyonların yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık toplam yağış dizilerindeki eğilimler Mann-Kendall sıra korelasyon katsayısı yöntemine göre test edilmiştir. Geçmiş meteorolojik kuraklık olaylarının analizi, SPEI-12 ölçekte ele alınarak Türkiye geneli kuraklığa maruz kalma hakkında bilgi sağlanmaya çalışılmıştır. SPEI-12 aylık ölçekte Türkiye geneli temel kuraklık dönemleri (Normal sınıf üstü $SPEI \leq -1$), 1973-1974; 1985; 1989-1991; 1994-1995; 1999-2001; 2005; 2007-2009; 2011 ve 2013-2014 ortak kurak dönemler olarak ortaya çıkmaktadır. SPEI-12 aylık ölçekte; toplam kuraklık şiddeti ve toplam kuraklık süresi haritaları hemen hemen benzer desenleri göstermektedir. İç Anadolu, Ege Bölgesi, Marmara'nın doğusu, Doğu Anadolu Bölgesi, Güneydoğu Anadolu Bölgesi ile Orta ve Doğu Akdeniz bölgeleri -70 ve üzeri şiddetteki kuraklıklara maruz kalmaktadır. Kıyı Ege ve İç Anadolu bölgelerinde kuraklıkların etki süreleri 70 ay ve üzeri iken Doğu Anadolu bölgesinde kuraklıkların etki süreleri daha düşüktür. En uzun kuraklık İç Anadolu Bölgesinde Kırşehir istasyonunda 98 ay ve en güçlü toplam kuraklık şiddeti -105,91'dir. Bu istasyona ait en güçlü kısa süreli şiddetli kuraklık ortalaması -1,38 ile orta şiddettedir. Trakya, Doğu Karadeniz (Rize hariç), Doğu Anadolu'nun kuzeyi, Güneydoğu Anadolu'nun güneybatısı, Doğu Akdeniz, İç Anadolu'nun doğusu kısa süreli şiddetli kuraklıkların ortalaması daha şiddetli yoğunlukta görülmekle beraber genel dağılım orta şiddetli yoğunlukta. En yüksek kısa süreli şiddetli kuraklık ortalaması -1,90 ile Karadeniz bölgesinde yer alan Giresun istasyonuna aittir.

Anahtar Kelimeler: SPEI, Kuraklık Şiddeti, Kuraklık süresi, Kuraklık yoğunluğu

THE ANALYSIS OF DROUGHT EVENTS IN TURKEY WITH SPEI INDEX

ABSTRACT

Understanding of drought characteristics is an important element in well-prepared drought management plans. Due to global warming (IPCC 2004), assuming that it is important to consider a drought index based on temperature inputs directly or indirectly, because of this, Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) is used in our study. The obtained results includes drought event characteristics (severity, duration, density, initial and final time of drought periods) and their tendency by using SPEI Drought Index with climatological data between 1971 and 2015 from 123 Meteorological Observation Stations. Trend at annual mean temperature, total precipitation series has been tested by using Mann Kendall Rank Correlation Coefficient. It has been tried to get information about exposing drought in Turkey by taking into account the analysis of historical meteorological drought events at SPEI-12 scales. Basic drought periods in Turkey at SPEI-12 scale are 1973-1974; 1985; 1989-1991; 1994-1995; 1999-2001; 2005; 2007-2009; 2011 and 2013-2014 which also appear common drought periods. Similar designs have been determined for Severity of Drought and Total Drought Period maps at SPEI-12 scale. Central Anatolia, Aegean, East of Marmara and Eastern Anatolia, South-eastern Anatolia, Middle and East of Mediterranean Regions have been exposed drought during 70 months and more, at -70 and more severity index at SPEI 12 scale. The longest drought has been determined at Kırşehir Station in Central Anatolia Region which has 105.91 drought severity index. The strongest, short duration and severe drought average that belongs to this station is -1,38 which is moderate level. The average of short duration droughts have been determined as more severe frequencies at Trace, Eastern Black Sea (except from Rize), Northern part of Eastern-Anatolia and Western part of South-Eastern Anatolia, Eastern Mediterranean, Eastern part of Central Anatolia Regions. However general distribution has been determined as moderate severe densities. Giresun Station has the highest density size (-1,90).

Keywords: SPEI, Drought Severity, Drought Duration, Drought Density

1.GİRİŞ

Kuraklığın tanımı her disiplin için farklı olmakla beraber; Kuraklık "yağışların kaydedilen normal seviyelerinin önemli ölçüde altına düşmesi sonucu arazi ve su kaynaklarının olumsuz etkilenmesi ve hidrolojik dengede bozulmalara sebep olan doğal olay " olarak tanımlanabilir [1]. Kuraklığın literatürde tanımlanan birçok çeşidi olmakla beraber dört belirgin kuraklık tipi vardır [2] . Tüm kuraklıklar ilk önce meteorolojik olarak, yani yetersiz yağışla başlar. Bu durumu toprak neminin azalması ve bitkinin ihtiyaç duyduğu minimum su kapasitesinin azalmasıyla tarımsal kuraklık, daha sonra ise akarsulardaki ve barajlardaki suların azalmasıyla hidrolojik kuraklık takip eder ve bu durum en sonunda kendini sosyo-ekonomik kuraklık olarak gösterir. Kuraklık yavaş başlayan ve gelişen bir afet olmasına karşılık, etkileri uzun bir zaman periyodu boyunca birikerek (kümülatif) daha sonra ortaya çıkan olumsuz etkileriyle süreklilik gösteren ve tahmini en zor olan klimatolojik bir olaydır. Doğal ekosistemler, su kaynakları, tarım üretimi ve toplum üzerinde ciddi etkilere sahiptir. Doğal bir olay olan kuraklık, iklimsel değişimlerin neden olduğu geçici bir özelliktir; kurak ve yarı kurak olan bölgelerin yanı sıra, orta enlemlerin nemli-ılıman iklim bölgelerinde de oluşabilir. Kuraklık tarımsal, ekonomik ve çevresel zararın başlıca doğal nedenlerinden biridir [3-4-5]. Kuraklık etkileri, yağış sıkıntısı ile uzun bir süre sonra ortaya çıkmakta, başlangıçlarını, kapsamını ve bitimini belirlemek çok zor olmaktadır. Bu nedenle, kuraklık dönemlerinin özelliklerini yoğunluk, büyüklük, süre ve alansal kapsam açısından objektif olarak ölçmek zordur. Kuraklık indisleri, iklimsel değişkenler ve iklim ile ilişkili süreçler (örn. toprak nemi ya da su içeriği) arasındaki karmaşık etkileşimleri özetleyerek görece daha kolay anlaşılmasını sağladığı için, kuraklığın ölçülmesi ve izlenmesinde yararlı yöntem ve yaklaşımlar olarak kabul edilir. Kuraklık indislerinin kullanılması, iklimsel anomalilerin şiddet, coğrafi yayılış ve oluşum sıklığı açısından niceliksel olarak değerlendirilmesine izin vermesinin yanı sıra, hem karar vericiler hem de toplum ve yurttaşlar arasında kuraklık koşulları konusunda bilgi değişimini sağlar [6]. Çamalan ve ark; SPEI-3 ve SPEI-12 aylık ölçeklerde mevcut durumda ve projeksiyonlarda Türkiye geneli kuraklık şiddet frekans olasılıklarının değişimlerini incelemişler ve projeksiyon dönemlerinde oluşum sıklıklarının bir üst kuraklık sınıfına doğru kayma eğilimi göstermesi öngörüldüğünü tespit etmişlerdir [7-8].

Türkiye'nin büyük çoğunluğu yarı kurak iklim şartlarının etkisi altında olduğundan, kuraklık ciddiye alınması gereken önemli bir doğal afettir [9]. Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO), meteorolojik kuraklıkları karakterize etmek için dünya çapında ulusal meteorolojik ve hidrolojik hizmetler tarafından kullanılacak Standartlaştırılmış yağış indisini (SPI) [10] kabul etmiştir [11]. Buna karşılık formülasyonlarında sıcaklık verilerini içeren Palmer (PDSI) [12] ve Normalleştirilmiş Yağış-Evapotranspirasyon (SPEI) [13] gibi kuraklık indislerinin kullanılması, özellikle gelecek iklim senaryolarını içeren uygulamalar için tercih edilir. SPI'nın temel eleştirisi, hesaplamanın sadece yağış verilerine dayanmasıdır. İndeks, sıcaklık, evapotranspirasyon, rüzgar hızı ve toprak su tutma kapasitesi gibi kuraklıkları etkileyebilecek diğer değişkenleri dikkate almamaktadır. Bununla birlikte, bazı

çalışmalar yağışların kuraklığın başlangıcı, süresi, yoğunluğu ve bitimini belirleyen ana değişken olduğunu göstermiştir [14-15]. Bu nedenle SPI-6 ve SPI-12 aylık zaman ölçekleri PDSI ile yüksek derecede korelasyon gösterir [16-17]. Düşük veri gereksinimleri ve sadeliği, kuraklık izleme ve analizi için SPI gibi yağış temelli indislerin yaygın kullanımını açıklamaktadır. Avrupa Komisyonu Ortak araştırma merkezi'nin (JRC) 'Avrupa'da meteorolojik kuraklıklar' raporunda; Akdeniz bölgesinde, Macaristan ve Slovakya'da, toplam kuraklık şiddetindeki artışın, hem yağışların azalması hem de sıcaklık ve buna bağlı PET artışı ile sağlandığı belirtilmektedir. Yağışın bu bölgelerde kuraklığın öncüsü olmasına rağmen, evapotranspirasyonun önemli bir rol oynadığı vurgulanmaktadır [18]. Ayrıca, yağış düşüşünün evrensel olarak önemli olmadığı Akdeniz bölgesinde ve sıcaklık artışına bağlı olarak artan kuraklığa ilişkin Güney Avrupa'da PET'in temel bir kuraklık itici gücü olduğunu bildirmiştir [19;20]. SPEI, buharlaşma isteğindeki değişimlere karşı PDSI'nin duyarlılığına ve SPI'nin doğal alansal dağılımına sahiptir. SPEI'nin en önemli avantajı, kuraklık değerlendirme sürecinde evapotranspirasyon ve sıcaklık değişkenliğinin rolünü çok iyi tanımlamasıdır. SPEI özellikle kuraklığı belirleme, izleme ve küresel ısınmanın kurak şartlar üzerindeki sonuçlarını açıklama konusunda etkindir [21;22]. SPEI kuraklık şiddetini yoğunluğuna ve süresine göre ölçekbilir ve kuraklık dönemlerinin başlangıcını ve sonunu belirleyebilir. SPEI geniş bir iklim yelpazesi üzerinden hesaplanabildiği için, zaman ve mekan boyunca kuraklık şiddetinin karşılaştırılmasına izin verir.

2. VERİ VE YÖNTEM :

Çalışmada Türkiye'deki 123 meteoroloji gözlem istasyonunun 1971-2015 dönemini kapsayan aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık verileri kullanıldı. İstasyonlar bazında SPEI-12 aylık ölçekte kuraklık indis hesaplamaları yapıldı. Çalışma SPEI kuraklık indisi ile kuraklık olaylarının özellikleri (şiddeti, süresi ve yoğunluğu ve kurak dönemlerin başlangıç ve bitiş zamanları) ve bunların eğilimlerini kapsamaktadır. Yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık toplam yağış dizilerindeki eğilimler Mann-Kendall sıra korelasyon katsayısı yöntemine göre test edilmiştir. Geçmiş meteorolojik kuraklık olaylarının analizi, daha uzun birikim süreleri olan SPEI-12 (yıllık döngüler) ölçeklerde ele alınarak Türkiye geneli kuraklığa maruz kalma hakkında bilgi sağlanmaya çalışılmıştır.

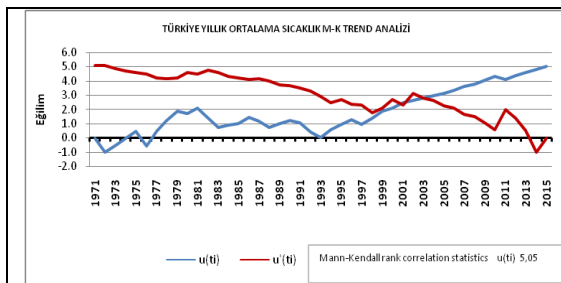
SPEI yağış ve potansiyel evapotranspirasyon (PET) arasındaki fark verisini kullanmaktadır. SPEI hesaplaması da SPI (Normalleştirilmiş Yağış İndeksi) gibi uzun dönemli gözlemlere uygun olasılık dağılımının tespit edilerek normal dağılıma dönüştürülmesini kapsar. SPI'de iki parametrelili gamma dağılımı uygulanmasına rağmen, SPEI'de üç parametrelili Log-logistic dağılımı kullanılır. SPEI hesaplamalarında Potansiyel Evapotranspirasyon (PET) Thorntwaite metodu (aylık ortalama sıcaklık) ile hesaplanmaktadır. Tam zaman serisi verisi gerektirmektedir. Yetersiz verinin bulunduğu yerlerde SPEI hesaplanması mümkün olmamaktadır. [13;21;22]. SPEI kuraklık sınıfı değer aralıkları Çizelge 1a-b'de verilmiştir. Normal kuraklık sınıfı (Çizelge 1a) aslında hafif kurak ve hafif nemli kuraklık

sınıflarının toplamını gösterir. Bu nedenle çalışmanın amacı doğrultusunda bu sınıf aralığı Çizelge 1b’de ki gibi düzenlenmiştir.

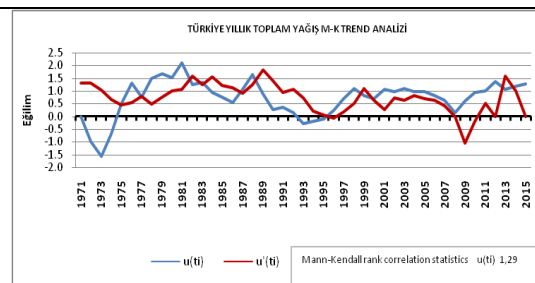
Çizelge 1a. SPEI Kuraklık Sınıfı değer aralıkları			Çizelge 1b. SPEI Kuraklık Sınıfı değer aralıkları (Normal sınıfın düzenlenmiş hali)		
SPEI İNDİS DEĞERLERİ	SINIFLANDIRMA	CLASSIFICATION	SPEI İNDİS DEĞERLERİ	SINIFLANDIRMA	CLASSIFICATION
2.00 ve üzeri	Aşırı nemli	<u>extremely wet</u>	2.00 ve üzeri	Aşırı nemli	<u>extremely wet</u>
1.50 –1.99	Çok nemli	<u>very wet</u>	1.50 –1.99	Çok nemli	<u>very wet</u>
1.00 – 1.49	Orta nemli	<u>moderately wet</u>	1.00 – 1.49	Orta nemli	<u>moderately wet</u>
(-0.99) – 0.99	Normal	<u>normal</u>	0-0.99	Hafif nemli	<u>normal</u>
(-1.00) – (-1.49)	Orta kurak	<u>moderately dry</u>	0(-0.99)	Hafif kurak	<u>normal</u>
(-1.50) – (-1.99)	Şiddetli kurak	<u>severely dry</u>	(-1.00) – (-1.49)	Orta kurak	<u>moderately dry</u>
(-2.00) ve alt	Aşırı kurak	<u>extremely dry</u>	(-1.50) – (-1.99)	Şiddetli kurak	<u>severely dry</u>
			(-2.00) ve alt	Aşırı kurak	<u>extremely dry</u>

2.1 Türkiye Sıcaklık ve Yağış Trend Analizleri

Ülkemizde yağışların yersel ve zamansal dağılımı oldukça düzensizdir. Ülkemizin kuzey ve güney arasındaki yağış değişkenliği oldukça farklıdır. Türkiye yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık toplam yağış dizilerindeki eğilimler Mann-Kendall sıra korelasyon katsayısı yöntemine göre test edilmiştir. İki yanlı sınamalar için % 5 anlamlılık düzeyinde kritik z değeri ± 1.96 dır [23-24]. Mann-Kendal test uygulamasında Türkiye yıllık ortalama sıcaklıklarda belirgin ve anlamlı bir artış trendi söz konusudur. Türkiye yıllık ortalama sıcaklıklarda 1994 yılından itibaren bir artış trendine girmesine rağmen özellikle bu artış trendinin başlangıç yılı 1998’dir. 2005’den itibaren artış trendi belirginleşmiştir. (Şekil 1).



Şekil 1. Türkiye yıllık ortalama sıcaklık M-K trend analizi



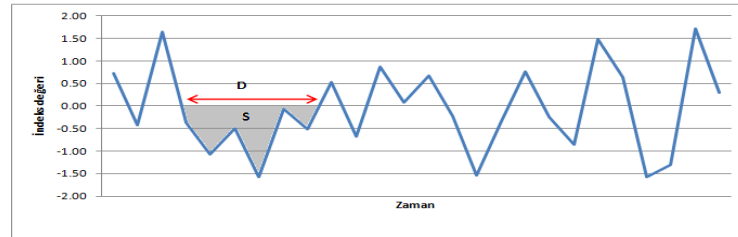
Şekil 2. Türkiye yıllık toplam yağış M-K trend analizi

Türkiye yıllık toplam yağışların Mann-Kendal eğilim analizinde, yağışlardaki değişimin düzenli bir rejim izlemediği göze çarpmaktadır (Şekil 2). M-K eğilim analizinde anlamlı olmasa da bir artış eğilimi söz konusudur. Türkiye geneli istasyonlarda, yıllar arası ve yıl içinde yağış değişikliklerinin görülmesi farklı şiddette kuraklık olaylarının yaşanmasına neden olmaktadır. Türkiye aylık ortalama toplam yağışları bölgeler arası farklılık göstermekle beraber yaklaşık %38'sini kış aylarında almaktadır. Bunu %27 ile ilkbahar ve %24 ile sonbahar mevsimleri izler. Yaz aylarında ise bu oran %11'e düşmektedir. Türkiye’de kış ve bahar yağışlarındaki değişimler, su miktarını oldukça etkilemektedir. Yer altı ve yer üstü sularının varlığının devamı için bu dönemlerde meydana gelen

yağışın miktarı ve şekli oldukça önemlidir. Yıllık yağış dizilerindeki artış eğilimi izlenen istasyonlarda da kuraklık görülebilmemesinin başlıca nedeni yıllar arası ve yıl içindeki çeşitliliktir [25]. O yüzden kuraklık için, yıllık toplam yağış miktarları yerine kuraklık indislerine bakılması gerekir. Yağışların; yıl içinde ne zaman, nereye ne kadar düştüğü önemlidir. Mevsiminde ve miktarında alınamayan eksik yağışlar veya aşırı yağışlar kuraklık, sel veya taşkın gibi olayların oluşumunda etkili olmaktadır. Bu da kurak dönemlerin oluşumu, süresi, yoğunluğu ve şiddetinde etkili olmaktadır. Özellikle kısa süreli şiddetli kuraklıkların ortalamasının şiddetli yoğunlukta yaşandığı bölgelerde yoğunluğun başlama ve bitiş tarihlerine bakıldığında, istasyonlardaki yıllık toplam yağışlardaki düşüşlerin ve yıl içinde mevsiminde alınmayan yağış eksikliğinin etkili olduğunu görmekteyiz. Yağıştaki azalma ve sıcaklıklardaki artışın PET üzerindeki etkisi kuraklık şiddetini etkileyerek kuraklıkların büyüklüğü ve süresini arttırmaktadır [26].

2.2 Kuraklık Şiddeti (S), Kuraklık Süresi (D) ve Yoğunluk (I) Haritaları

Kuraklık indisi; kuraklığın etkisini değerlendirmek ve süre, yoğunluk, şiddet gibi çeşitli özelliklerini belirlemek için ana değişkendir [27]. Geniş kapsamlı bir kuraklık tanımı yapılmasına olanak sağlayan ve kuraklık özelliklerinin belirlemede kullanılan kriterlerden olan Kuraklık Şiddeti (S), Kuraklık Süresi (D) ve Yoğunluk (I) Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Kuraklık Şiddet ve Süre

Kuraklık, SPEI değerleri sıfırın altına düştüğünde tanımlandığından, bir kuraklık olayı, negatif SPEI değerlerine sahip bir dönem olarak kabul edilir. Kuraklığa bağlı değişkenleri tanımlamak için [28] tarafından açıklanan çalışma modeli uygulandı. Kuraklık olayının süresi, başlangıcı (dahil) ve bitiş ayı (dahil değil) arasındaki ay sayısına eşittir. Kuraklık süresi (D), SPEI indis değerlerinin negatif olduğu değerlerden başlayarak art arda 0 (sıfır)'a eşit ve SPEI değerlerinin pozitif olduğu zaman sona erdiği dönem uzunluğudur. Şiddeti ise, SPEI çizgisi ile yatay eksen (SPEI = 0) arasındaki integral alanın kuraklığın başlangıç ayına kadar olan mutlak değeridir [29]. Kuraklık şiddeti (S) kuraklık süresi içinde kalan indis değerlerinin toplanmasıyla elde edilen kümülatif SPEI değerleri olup (1) eşitliğiyle hesaplanmaktadır. Kuraklık şiddetinin kuraklık süresine oranı Yoğunluk (I) olarak tanımlanmaktadır (2).

$$S = - \sum_{i=1}^D SPEI_i \quad (1)$$

$$I = S/D \quad (2)$$

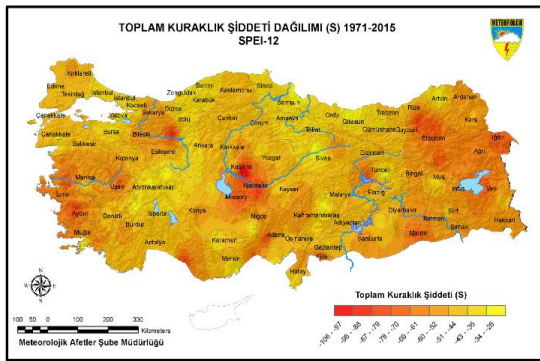
S: Kuraklık Şiddeti

D: Kuraklık Süresi

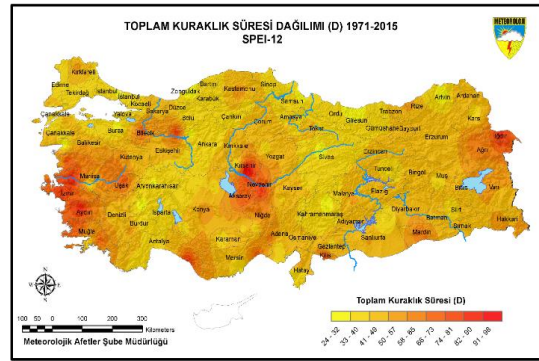
I: Kuraklık Yoğunluğu

Kuraklık süresinin uzunluğunu ve kuraklık şiddetinin büyüklüğünü ölçmek için bir eşik değeri tanımlanmalıdır. Çalışmada; Kuraklık Şiddeti (S), Kuraklık Süresi (D) ve Yoğunluk (I) hesaplamaları yapılırken eşik değeri olarak, indisin kurak/nemli eşiği olan sıfır değeri kabul edilmiştir. Her istasyon için hesaplanmış SPEI-12 aylık indisin tüm zaman serisi için kurak (indisin sıfırın altında kaldığı) dönemlerin şiddet süre ve yoğunluk değerleri hesaplanmış ve her birinin en ekstrem olduğu olumsuz değerler seçilmiştir. İstasyon bazlı belirlenen bu sonuçlar ArcGIS (10.4) harita programında IDW metodu kullanılarak haritalandırılmıştır.

Kuraklık, dünyanın her iklim bölgesinde ve hatta yağışlı alanlarda dahi görülebilen iklimsel bir olaydır. SPEI’de her bir istasyon kendine özgü iklim karakterine göre hesaplanmaktadır. Her bölgenin kuraklık süresini, kuraklık şiddetini ve yoğunluğunu hesaplayarak kuraklık olaylarının özelliklerini ve bir bölgenin diğerine olan farkını tanımlayabiliriz. Yoğunluğun büyüklüğü, bir kuraklık periyodunda ortalaması yüksek bir şiddete ve kısa süreye sahip olduğunu gösterir. SPEI-12 aylık ölçekte; toplam kuraklık şiddeti ve toplam kuraklık süresi haritaları hemen hemen benzer desenleri göstermektedir. İç Anadolu, Ege Bölgesi, Marmara’nın doğusu, Doğu Anadolu Bölgesi, Güneydoğu Anadolu Bölgesi ile Orta ve Doğu Akdeniz bölgeleri -70 ve üzeri şiddetteki kuraklıklara maruz kalmaktadır (Şekil 4). Kıyı Ege ve İç Anadolu bölgelerinde kuraklıkların etki süreleri 70 ay ve üzeri iken Doğu Anadolu bölgesinde kuraklıkların etki süreleri daha düşüktür (Şekil 5).

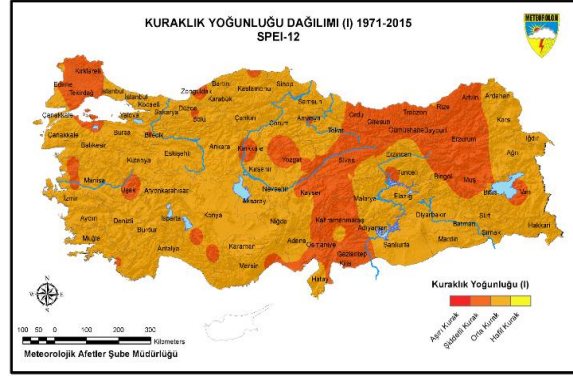


Şekil 4. SPEI-12 Toplam Kuraklık Şiddeti (S)



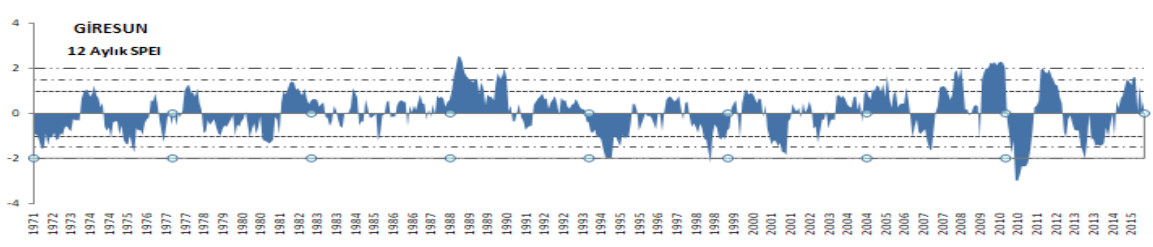
Şekil 5. SPEI-12 Toplam Kuraklık Süresi (D)

En uzun kuraklık İç Anadolu Bölgesinde Kırşehir istasyonunda 98 ay ve en güçlü toplam kuraklık şiddeti -105,91'dir. Bu istasyona ait en güçlü kısa süreli şiddetli kuraklık ortalaması -1,38 ile orta şiddettedir (Çizelge 2). Trakya, Doğu Karadeniz (Rize hariç), Doğu Anadolu'nun kuzeyi, Güneydoğu Anadolu'nun güneybatısı, Doğu Akdeniz, İç Anadolu'nun doğusu kısa süreli şiddetli kuraklıkların ortalaması daha şiddetli yoğunlukta görülmekle beraber genel dağılım orta şiddetli yoğunlukta (Şekil 6).



Şekil 6. SPEI-12 Kuraklık Yoğunluğu (I)

En yüksek kısa süreli şiddetli kuraklık ortalaması -1,90 ile Karadeniz bölgesinde yer alan Giresun istasyonuna aittir. Bu istasyonda en yüksek kuraklık yoğunluk zamanı 2010 yılı Temmuz ayında başlayıp 2011 yılı Temmuz ayında bitmiştir (Çizelge 2). 2010 ve 2011 yılı Giresun istasyonu için kurak bir yıl olmuştur (Şekil 7). Giresun istasyonunun uzun yıllar yağış ortalaması 1274 mm iken 2010 yılındaki yıllık yağış 971 mm civarındadır. Sonbahar yağışlarında yaşanan yağış eksikliği bu yıllar arasında yoğun kuraklığa neden olmuştur.



Şekil 7. Giresun istasyonu SPEI-12 aylık ölçekte zamana bağlı değişim

Çizelge 2. SPEI-12 Aylık Ölçekte Kuraklık Özelliklerinin Başlama ve Bitiş Yılları

SPEI-12 Mevcut Durum (1971-2015)			En güçlü			En uzun			En yüksek		
İST AD	İST No	BÖLGE	S (ŞİDDET)	Başlama-Bitiş Ay/Yıl	D (Süre)	Başlama-Bitiş Ay/Yıl	I (Yoğunluk)	Başlama-Bitiş Ay/Yıl	Başlama-Bitiş Ay/Yıl	Başlama-Bitiş Ay/Yıl	Başlama-Bitiş Ay/Yıl
İnebolu	17024	Karadeniz	-45.35	1972 12	1976 06	43	1972 12	1976 06	-1.57	2013 1	2013 09
Giresun	17034	Karadeniz	-25.78	1993 11	1995 08	25	2012 10	2014 10	-1.90	2010 7	2011 07
Ardahan	17046	Doğu Anadolu	-59.57	1978 6	1982 06	49	1978 6	1982 06	-1.22	1978 6	1982 06
Çanakkale	17112	Marmara	-43.58	2006 11	2009 11	37	1991 12	1994 12	-1.26	2000 1	2001 11
Kırşehir	17160	İç Anadolu	-105.91	2001 2	2009 03	98	2001 2	2009 03	-1.38	1994 5	1995 06
Dikili	17180	Ege	-52.14	1989 2	1993 02	49	1989 2	1993 02	-1.33	2006 2	2009 02
Denizli	17237	Ege	-42.05	2006 11	2009 04	40	1989 2	1992 05	-1.40	2006 11	2009 04
Şanlıurfa	17270	Güneydoğu Anadolu	-56.93	2005 11	2009 11	49	2005 11	2009 11	-1.37	1973 4	1974 02
Alanya	17310	Akdeniz	-84.92	2002 12	2009 09	82	2002 12	2009 09	-1.29	1990 10	1991 11
Beyşehir	17680	İç Anadolu	-34.15	2006 10	2009 01	30	2012 4	2014 09	-1.25	2000 7	2001 11
Salihli	17792	Ege	-41.86	2007 2	2009 07	36	1985 3	1988 02	-1.40	2007 2	2009 07
Siverek	17912	Güneydoğu Anadolu	-40.73	1998 11	2001 04	32	1989 4	1991 11	-1.36	1998 11	2001 04

Türkiye geneli istasyonlarda, yıllar arası ve yıl içinde yağış değişikliklerinin görülmesi farklı şiddette kuraklık olaylarının yaşanmasına neden olmaktadır. Kuraklık ülkemiz için sık karşılaştığımız önemli ve büyük bir sorundur. Bu nedenle, kuraklık için alınacak önlemler bölgesel ve yersel olarak, kuraklık olaylarının şiddeti, alansal tutarlılığı ve süresi dikkate alınarak oluşturulmalıdır. Kısa süren şiddetli kuraklık ile daha uzun süreli yaşanan kuraklıkların neden olduğu sorunlar aynı olmasına karşılık, uzun süreli yaşanan kurak dönemlerde ortaya çıkan zararlar daha etkili olmaktadır. Bu nedenle, kuraklık

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İnsanlık tarihi kuraklıklar ile doludur. Yarı kurak iklim bölgesinde yer alan Türkiye'de de kuraklık, normal ve bilinen atmosferik sistemler tarafından geçmişte hep oluşturulmuş ve gelecekte de (küresel iklim değişimi ile birlikte sayı ve şiddet bakımından) artarak daha fazla tehlikeler oluşturacaklardır [9]. Küresel ısınma nedeniyle (IPCC 2004), sıcaklık ve yağış parametrelerine dayalı Standartlaştırılmış Yağış-Evapotranspirasyon İndeksini (SPEI) seçtik ve 1971-2015 yılları arası Türkiye'de meydana gelen meteorolojik kuraklıkların oluşumunu ve özelliklerini göstermeye çalıştık.

Küresel İklim Modelleri ile yapılan projeksiyonlara göre, ülkemizin de içinde bulunduğu enlemlerde sıcaklıklarda artışların, yağışlarda ve toprak su içeriğinde azalmaların olacağı tahmin edilmektedir (IPCC, 2014). İklim değişikliğinden kaynaklanan yağıştaki azalma ve sıcaklıklardaki artışın buharlaşma üzerindeki etkisinin kuraklıkların şiddetini ve süresini arttıracaklarını ve yüzyılın sonundaki kuraklık süresinin ve şiddetinin doğrudan sıcaklık artışıyla ilişkili olarak artacağı görülmektedir [26]. Bütün bunlar yarı kurak olan ülkemizde kuraklığın etkilerinin gelecekte daha da fazla hissedilebileceğini, suyun ülkemiz için önemini gelecekte daha da artacağını göstermektedir [9]. SPEI kuraklık indis yöntemiyle geçmiş meteorolojik kuraklıkların özelliklerinin ortaya konması ve elde edilen sonuçlar kapsamlı ve büyük ölçekli bir Kuraklık Yönetim Planı çerçevesinde çeşitli kullanıcılara ve karar vericilere ileriye yönelik planlamaları açısından oldukça yarar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi - BMÇMS (1997). Çevre Bakanlığı Yayınları. Ankara.
2. Wilhite, D. A., and M. H. Glantz, (1985). Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water Int.*, 10, 111–120.
3. Burton, I., R. W. Kates, and G. F. White, (1978). *The Environment as Hazard*. Oxford University Press, 240 pp.
4. Wilhite, D.A., Glantz, M.H., 1987. Understanding the drought phenomena: the role of definitions. In: Donald, A., Wilhite, Easterling Willam, E., Deobarah, A., (Eds.), *Planning of Drought: Towards a Reduction of Societal Vulnerability*, Westview Press, Wood, Boulder, CO, pp. 11–27.
5. Wilhite, D. A., (1993). *Drought Assessment, Management, and Planning: Theory and Case Studies*. Natural Resource Management and Policy Series, Vol. 2, Kluwer, 293 pp.
6. Türkes, M. ve Tatlı, H. (2010). “Kuraklık ve Yağış Etkinliği indislerinin Çölleşmenin Belirlenmesi, Nitelenmesi ve izlenmesindeki Rolü” Çölleşme ile Mücadele Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 245-263, Çorum.
7. Çamalan G., Akgündüz S., Ayvacı H., Çetin S., Arabacı H., Çoşkun M.; (2017). “SPEI indisine göre Türkiye Geneli kuraklık değişim ve eğilim projeksiyonları”, IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, (TİKDEK), İstanbul
8. Çamalan G., Akgündüz S., Ayvacı H., Çetin S., Arabacı H., Çoşkun M.; (2017). “SPEI kuraklık indisine göre Türkiye’de önümüzdeki yüzyılın kuraklık eğilim projeksiyonu”, 8th Atmospheric Sciences Symposium (ATMOS), Istanbul/TURKEY
9. Kadioğlu, M. 2012. Türkiye’de İklim Değişikliği Risk Yönetimi.
10. Mckee, T.B., N.J. Doesken, and J. Kleist, (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Eight of Con. on Applied Climatology*, Anaheim, CA, Amer. Met. Soc. 179-184
11. World Meteorological Organization, (2012). *Standardized Precipitation Index User Guide* (M. Svoboda, M. Hayes and D. Wood). (WMO-No. 1090), Geneva.
12. Palmer, W.C., (1965). *Meteorological Drought Research Paper No. 45*. Office of Climatology U.S. Weather Bureau, Washington.

13. Vicente-Serrano, S.M., Beguerı ,S., Lopez-Moreno, J.I., (2010). 'A Multi-Scalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index–SPEI, *Journal of Climate*, 23,1696-1718
14. Chang, T. J., and X. A. Cleopa, (1991). A proposed method for drought monitoring. *Water Resour. Bull.*, 27, 275–281.
15. Heim, R. R., (2002). A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 83, 1149–1165.
16. Lloyd-Hughes, B., and M. A. Saunders, (2002). A drought climatology for Europe. *Int. J. Climatol.*, 22, 1571–1592.
17. Redmond, K. T., (2002). The depiction of drought. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 83, 1143–1147.
18. Spinoni ,J., Naumann, G., Barbosa, P., and Vogt, J., (2016). 'Meteorological Droughts in Europe' - Events and Impacts Past Trends and Future Projections, European Commission Joint Research Centre,
19. Van der Schrier G, Barichivich J, Briffa KR, Jones PD. (2013). A scPDSI-based global dataset of dry and wet spells for 1901–2009. *Journal of Geophysical Research* 118: 4025–4048.
20. Vicente-Serrano, S.M, Lopez-Moreno, J.I, Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Sanchez-Lorenzo, A., García-Ruiz, J.M., Azorin-Molina, C., Tejeda-Moran, E., revuelto, J., Trigo, R., Coelho, F., Espejo, F.. (2014). Evidence of increasing drought severity caused by temperature rise in Southern Europe. *Environmental Research Letters* 9(4): 044001. doi:10.1088/1748-9326/9/4/044001
21. <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/standardized-precipitation-evapotranspiration-index-spei>
22. <http://spei.csic.es/index.html>
23. Mann, H.B. Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 1945, 13, 245–259
24. Kendall, M.G. *Rand Correlation Methods*; Charles Griffin: London, UK, 1975.
25. Çamalan G., Akgündüz S., Ayvacı H., Çetin S., Arabacı H., (2019). “ Türkiye Meteorolojik Kuraklık Projeksiyonları”,Uluslararası Afet ve Dirençlilik Kongresi (idRc 2019), Eskişehir
26. G. Çamalan, H. Ayvacı, A.S. Akgündüz, S.Çetin, H.Arabacı, M.Çoşkun, (2018). “Ege Bölgesi Kuraklık Projeksiyonları “ Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği Bilimsel Kongresi (TUJBBK), İzmir
27. Adhyani N L, June T and Sopaheluwakan A, (2017). Exposure to Drought: Duration, Severity and Intensity (Java, Bali and Nusa Tenggara),IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 58, 012040 doi:10.1088/1755-1315/58/1/012040
28. Yevjevich VM. (1967). An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. *Hydrology Paper No. 23*, Colorado State University, Fort Collins, 1967.
29. Spinoni J., Naumann G., Carrao H., Barbosa P., and Vogt J., (2014). 'World drought frequency, duration, and severity for 1951–2010', *International Journal Of Climatology*, 34, 2792–2804