



Araştırma Makalesi (Research Article)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2023, 60 (3):515-528
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1286331>

Şener ÖZÇELİK^{1*}

Erhan AKKUZU²

¹ Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğü, 35660, Menemen, İzmir, Türkiye

² Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, 35030, Bornova, İzmir, Türkiye

* Sorumlu yazar (Corresponding author):

sener.ozcelik@tarimorman.gov.tr

Anahtar sözcükler: Evapotranspirasyon, iklimsel su dengesi, jeostatistik, kuraklık indisleri, kuraklık şiddeti, Penman-Monteith

Keywords: Evapotranspiration, climatic water balance, geostatistics, drought indices, drought severity, Penman-Monteith.

Ege Bölgesinde Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) ile kuraklık değerlendirmesi

Evaluation of drought with Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) in the Aegean Region

Alınış: (Received): 20.04.2023

Kabul Tarihi (Accepted): 22.09.2023

ÖZ

Amaç: Kuraklık, son yıllarda artan iklim değişikliğinin de etkisi ile su kaynakları ve tarımsal üretimi olumsuz etkilemektedir. Bu çalışmanın amacı, Türkiye tarımsal üretiminin önemli bir kısmının gerçekleştirildiği Ege Bölgesinde Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) ile kuraklığın zamansal ve mekânsal değişimini incelemektir.

Materyal ve Yöntem: Çalışmada Ege bölgesinde bulunan 29 meteoroloji istasyonuna ait 1975-2014 yılları arasındaki iklim parametreleri kullanılmıştır. Aylık toplam yağış ve referans evapotranspirasyon (ET₀) değerleri kullanılarak farklı zaman ölçeklerinde (1, 3, 6, 12 ve 24 aylık) Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) değerleri elde edilmiştir. Aylık ET₀ değerleri Penman-Monteith (FAO 56) yöntemine göre hesaplanmıştır.

Araştırma Bulguları: Ege Bölgesi genelinde SPEI değerlerine göre şiddetli ve çok şiddetli kuraklıkların yaşandığı görülmüştür. Özellikle 1989, 1993, 2007, 2008, 2011 ve 2012 kuraklıkların yaşandığı yıllar olmuştur. Ege Bölgesinde 2007-2008 yılları çok şiddetli kuraklıkların kaydedildiği yıllar olmuştur. SPEI değerlerinin uzun zaman ölçeğinde kurak periyotları mekânsal olarak daha belirgin tespit edebilme potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. Uzun zaman ölçeğindeki SPEI değerleri kesintisiz uzun kurak dönemlerin tanımlanmasında daha yararlı sonuçlar üretirken, kısa zaman ölçeklerinde ise kısa periyotlar halinde ve sayısal olarak daha fazla kurak dönemler elde edilmiştir.

Sonuç: SPEI, kuraklık riskine karşı tarımsal üretimin ve su kaynaklarının planlanması, sosyo-ekonomik etkilerin en aza indirilmesi için karar vericilere önemli bilgiler sağlamaktadır.

ABSTRACT

Objective: Water resources and agricultural production are affected negatively by drought with the effect of increasing climate change in recent years. The objective of this study was to examine temporal and spatial distribution of the drought with Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) in Aegean Region in which is carried out a significant part of agricultural production of Türkiye.

Material and Methods: Climatic values between 1975 and 2014 of 29 meteorological stations were used in throughout Aegean Region. SPEI values were obtained at different time scales (1, 3, 6, 12 and 24 months) by using monthly total precipitation (P) and reference evapotranspiration (ET₀). Monthly ET₀ values were calculated according to Penman-Monteith (FAO 56) method.

Results: According to the SPEI values, severe and extreme droughts were observed in the entire Aegean Region. Especially in 1989, 1993, 2007, 2008, 2011 and 2012 drought events were experienced. Extreme droughts were recorded in 2007 and 2008. Thus, it has been observed that SPEI values have the potential to determine spatially drought periods on a long-time scale. While SPEI values at long time scales was produced more useful results to define uninterrupted long drought periods, on the contrary, at shorter time scales it was obtained drought events which are shorter periods and a greater number of them.

Conclusion: SPEI provides important information to decision makers in planning agricultural production and water resources against the risk of drought and minimizing socio-economic impacts.

GİRİŞ

İklim değişikliğine bağlı olarak artan sıcaklıklar, buharlaşma ve terleme yolu ile daha fazla suyun kullanılarak atmosferdeki su buharının artışına ve yağışlarda düzensizliklere neden olmaktadır. Bu durum hem şiddetli sellerin hem de daha uzun ve şiddetli kuraklıkların yaşanmasına yol açmaktadır (Feng et al., 2013; Kumar, 2013; Milly & Dunne, 2016; Yeşilirmak & Atatanır, 2016; Deng et al., 2018). Bu nedenlerle yağışların eğilimi ve kuraklık analizi tarımsal üretim ve su kaynaklarının yönetimi için önemlidir.

Son yıllarda su kaynaklarının giderek azalması ile birlikte kuraklık, tüm dünyanın en önemli sorunlarından biri haline gelmiştir (Liu et al., 2021). Kuraklık, tarımsal, sosyo-ekonomik ve çevresel etkilere yol açabilen, başlangıcı, sonu, şiddeti ve süresinin belirlenmesi zor olan doğal olayların en önemlilerindedir (Wilhite & Glantz, 1985; Wilhite, 1993; Vicente-Serrano et al., 2010). Kuraklık zamansal ve mekânsal ölçekte su kaynakları, tarım, çevre, orman ve sosyo-ekonomik bakımdan negatif etkilere sahip olup birçok sektörü etkilemektedir (Mishra & Singh, 2010; Spinoni et al., 2016; Mirgol et al., 2021). Kuraklığın şiddetinin ve süresinin artması, su kaynaklarında azalmanın hızlanmasını ve buna bağlı su kaynaklarının yönetimini ve paylaşımını daha sorunlu duruma getirmektedir (Mengü vd., 2011). Kuraklığın oluşumuna göre sırasıyla; meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve sosyo-ekonomik olmak üzere dört türü vardır (Wilhite & Glantz, 1985; Mengü vd., 2011; Laimighofer & Laaha, 2022). Kuraklıklar temel olarak yağışların bilinen uzun yıllık ortalamalarının altına düşmesi ile başlar ve toprak nemi eksikliği, evapotranspirasyon artışı, kar yağışı rejimindeki düzensizlikler gibi etmenlere bağımlı olarak gelişir (Wilhite & Glantz, 1985; Laimighofer & Laaha, 2022).

Meteorolojik kuraklık tarımsal kuraklığın birincil nedeni olmakla birlikte, tarımsal kuraklık dönemleriyle birebir örtüşmesi beklenmez. Tarımsal kuraklık, meteorolojik kuraklık ve bu kuraklığın bitkiler üzerindeki etkilerini ilişkilendiren kompleks bir olaydır. Tarımsal kuraklık, belirli bir zaman diliminde toprak neminde oluşan açık, bu açık nedeniyle evapotranspirasyonun azalması ve bunlara bağlı olarak ürün veriminin azalmasıdır (Wilhite & Glantz, 1985; Vermes, 1998; Labedzki & Kanecka-Geszke, 2009). Kuraklığın, havza su dağıtımı, sulama suyu miktarı ve tarım üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi bakımından, hidrolojik çevrimin ana unsurları olan yağış ve evapotranspirasyon eğilimlerinin belirlenmesi önemlidir (Mengü vd. 2019).

Uzun dönem mekânsal ve zamansal kuraklık analizi; kuraklık eğilimlerinin ortaya konması, kuraklığa karşı doğru yönetim planlarının oluşturulması, kuraklık etkilerinin azaltılması için doğru planlama yapılması konusunda bilgi verir ve kuraklığa karşı erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesine katkı sunar (Vicente-Serrano et al., 2012a, b; Musei et al., 2021). Aynı zamanda havza yönetimi ve su taleplerinin planlanmasında önemli rol oynamaktadır (Deng et al., 2018).

Kuraklığın tanımlanması, şiddeti ve süresinin ortaya konulması için dünya genelinde birçok kuraklık indeksi geliştirilmiştir. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanı SPI'dir (Mckee et al., 1993; Mishra & Singh, 2010; Hayes et al., 2011; Laimighofer & Laaha, 2022). Lincoln deklarasyonunda, kuraklığın izlenmesi ve erken uyarı sistemlerinin oluşturulması konusunda özellikle tarımsal ve hidrolojik kuraklığın tanımlanması için geniş kapsamlı bir indeks geliştirilmesi vurgulanmıştır. (Hayes et al., 2011).

SPI hesaplaması kolay ve farklı zaman ölçekleri için yapılsa da sadece aylık yağış verilerine dayalı olduğu için kuraklığın etki ettiği birçok mekanizmayı tam açıklayamamaktadır. SPEI, Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksinin (PDSI) karmaşık hesaplama yöntemi ve SPI'nin sadece yağışa dayalı olması gibi özelliklerine kıyasla hem kolay hesaplanabilir olması hem de yağış ile birlikte evapotranspirasyona dayalı olması bakımından daha avantajlıdır (Vicente-Serrano et al., 2010; Vicente-Serrano 2012a, b; Li et al., 2019). Aynı zamanda SPI gibi farklı zaman ölçekleri için hesaplanabilmesi de kuraklık değişimlerini zaman boyutunda daha iyi yansıtabilmektedir (Vicente-Serrano et al., 2010). SPEI, farklı zaman ölçeklerinde iklimsel su dengesine bağlı yağış ve evapotranspirasyon arasındaki kümülatif farka dayalı hesaplanmaktadır (Zhang et al., 2015). SPEI farklı iklim kuşaklarında ve bölgelerde kuraklık değerlendirmesi için birçok çalışmada

kullanılmıştır (Vicente-Serrano et al., 2010; Potop et al., 2012; Özçelik vd., 2012; Vicente-Serrano et al., 2012a, b; Zhang et al., 2015; Wang et al., 2016; Gao et al., 2017; Zhao et al., 2017; Deng et al., 2018; Mathbout et al., 2018; Özçelik vd., 2019; Pei et al., 2020; Mirgol et al., 2021; Musei et al., 2021; Laimighofer & Laaha, 2022).

Ege Bölgesi Türkiye'nin batı kısmında yer almaktadır ve Ülkenin tarımsal üretiminin önemli bir kısmını gerçekleştirmektedir. Araştırma alanını da içine alan Akdeniz Havzasında iklim değişikliği ve kuraklık ciddi tehdit oluşturmaktadır (Mengü vd., 2019). Ege Bölgesinde tarımsal üretim yapılan büyük ovalarda bu etkiler ile ürün deseninde değişiklikler yaşanmaktadır.

Bu çalışmada, yarı kurak iklim kuşağında yer alan Ege Bölgesindeki 29 meteoroloji istasyonundan alınan 1975-2014 yıllarına ait 40 yıllık iklim verileri ile 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık zaman ölçekleri için SPEI değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar ile Ege Bölgesi'nin de içinde yer aldığı yarı kurak bölgelerde SPEI ile kuraklığın belirlenmesi, kuraklığın zamansal ve mekânsal değişimlerinin irdelenmesi bu çalışmanın temel amacını oluşturmuştur. Aynı zamanda tarımsal açıdan kuraklık erken uyarı sistemleri için SPEI'nin kullanım olanakları da değerlendirilmiştir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışma alanı

Ege Bölgesi 36°16' - 39°54' Kuzey enlemleri ile 26°12' - 31°44' Doğu boylamları arasındadır. Bölge dağları kıyıya dik uzandığı için, girintili-çıkıntılı yapıya sahiptir ve enine kıyı tipindedir. Kuzeyde Marmara Bölgesi, doğuda İç Anadolu Bölgesi, güneydoğuda Akdeniz Bölgesi'ne komşu olan Ege Bölgesi, batıda Ege Denizi ile çevrilidir. Bakırçay, Gediz, Küçük Menderes, Büyük Menderes başlıca akarsularıdır. Çalışma alanı Şekil 1'de gösterilmiştir.

Ege Bölgesi genellikle yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı olan Akdeniz ikliminin etkisi altındadır. Ege Denizi kıyıları boyunca, tam bir Akdeniz yağış rejimi hakimdir. Yıllık toplam yağış ortalamaları 380-1164 mm arasında değişmekte olup, bölgenin yıllık ortalama toplam yağış miktarı 632 mm'dir (1975-2014). En soğuk ay, genellikle ocak ayı, en sıcak ay ise temmuz ayıdır (MGM, 2019).



Şekil 1. Çalışma alanı.

Figure 1. Study area.

İklim verileri

Araştırmada, Ege Bölgesi'nde yer alan 29 meteoroloji istasyonundan (Çizelge 1) elde edilen 1975-2014 yıllarına ait 40 yıllık aylık bazda toplam yağış, ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık, oransal nem, güneşlenme süresi ve rüzgâr hızı verileri kullanılmıştır (MGM, 2019). İstasyona ait tüm veriler Winjgaard et al.

(2003) tarafından önerilen modele göre; Standart Normal Homojenlik Testi (Alexandersson, 1986), Buishand Range Testi (Buishand, 1982), Pettitt Testi (Pettitt, 1979) ve Bartels Testi (Bartels, 1982) olmak üzere dört farklı yöntemle göre homojenlik testine tabi tutulmuştur. Tüm veriler yapılan testlerde homojen bulunmuştur.

Çizelge 1. Çalışma alanında bulunan meteoroloji istasyonları ve özellikleri

Table 1. Climatic stations and their spesification in the study area

Sıra No	MGM İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)
1	17796	Bolvadin	38.726517	31.046784	997
2	17752	Emirdağ	39.009568	31.145661	987
3	17190	Afyon	38.737904	30.554277	1021
4	17234	Aydın	37.840239	27.837905	56
5	17232	Kuşadası	37.859741	27.265216	25
6	17860	Nazilli	37.913485	28.343658	84
7	17850	Sultanhisar	37.884253	28.150364	73
8	17824	Güney	38.151508	29.058709	825
9	17237	Denizli	37.762027	29.092075	425
10	17742	Bergama	39.109761	27.170973	53
11	17221	Çeşme	38.303649	26.372437	5
12	17180	Dikili	39.073719	26.887984	3
13	17789	Menemen	38.623722	27.043259	10
14	17220	İzmir	38.394873	27.081854	29
15	17750	Gediz	38.994715	29.400269	736
16	17155	Kütahya	39.417085	29.988148	976
17	17748	Simav	39.092493	28.978571	809
18	17704	Tavşanlı	39.538193	29.493147	863
19	17184	Akhisar	38.911776	27.823285	92
20	17186	Manisa	38.615329	27.404940	71
21	17792	Salihli	38.483105	28.123418	111
22	17290	Bodrum	37.032839	27.439801	26
23	17297	Datça	36.708342	27.691873	28
24	17296	Fethiye	36.626611	29.123804	3
25	17924	Köyceğiz	36.970006	28.686868	24
26	17298	Marmaris	36.839541	28.245166	16
27	17292	Muğla	37.209486	28.366834	646
28	17884	Milas	37.302673	27.780375	57
29	17886	Yatağan	37.339542	28.136863	365

SPEI değerlerinin hesaplaması

SPEI, yağış ve iklim verilerinin kombinasyonuna dayanan çoklu sayısal bir karaktere sahip, aylık iklimsel su dengesinin (Di) farklı zaman ölçeklerindeki değişimini esas alan bir indekstir. SPEI hesaplama prosedürü, *i*) Potansiyel/Referans evapotranspirasyonun (PET/ET_o) hesaplanması (Eşitlik 1), *ii*) Farklı zaman ölçeklerinde iklimsel su dengesinin (Di) hesaplanması (Eşitlik 2), *iii*) SPEI serisinin elde edilmesi (Eşitlik 3 ve 4), adımlarından oluşmaktadır (Vicente-Serrano et al., 2010).

SPEI, farklı eşitliklere göre hesaplanan PET veya ET_o yöntemlerinin kullanılmasına olanak vermektedir. Bu nedenle ET_o , FAO 56'da verilen Penman-Monteith yöntemine göre hesaplanmıştır (Allen et al., 1998). ET_o değerlerinin hesaplamasında Cropwat 8.0 programı kullanılmıştır. Hesaplama gerekliliği olan solar radyasyon değeri güneşlenme süresinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Di değerleri 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık farklı zaman ölçeklerine göre ayrı ayrı hesaplanmıştır. Elde edilen Di serisinden yararlanılarak SPEI değerleri, Eşitlik 3 yardımı ile hesaplanmıştır (Vicente-Serrano et al., 2010).

$$ET_o = \frac{0.408\Delta (Rn-G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1+0.34u_2)} \quad (1)$$

Eşitlikte; ET_o , referans evapotranspirasyon (mm gün^{-1}); Rn : bitki yüzeyi net radyasyon [$\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$], G : toprak ısı akışı yoğunluğu [$\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$], T : sıcaklık [$^{\circ}\text{C}$], u_2 : 2 m yükseklikte ölçülmüş rüzgar hızı [m s^{-1}], e_s : ortalama hava sıcaklığındaki doymun buhar basıncı [kPa], e_a : ortalama hava sıcaklığındaki gerçek buhar basıncı [kPa], Δ : Buhar basıncı eğrisinin eğimi [$\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$], γ : Psikrometrik sabite [$\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$]’dir.

$$D_i^k = \sum_{i=0}^{k=1} P_{n-i} - ET_{o_{n-i}} \quad (2)$$

Eşitlikte; D_i : iklimsel su dengesi (mm), P : yağış (mm), ET_o : referans evapotranspirasyon (mm)’dir.

$$SPEI = W - \frac{c_0 + c_1 W + c_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \quad (3)$$

$$W_i = \begin{cases} P < 0.5, \sqrt{-2 \ln P} \\ P > 0.5, \sqrt{-2 \ln (1 - P)} \end{cases} \quad (4)$$

Eşitlik 3’deki sabitler, $c_0 = 2.515547$, $c_1 = 0.802853$, $c_2 = 0.010328$, $d_1 = 1.432788$, $d_2 = 0.189269$, $d_3 = 0.001308$ olarak alınmıştır.

SPEI ortalama değeri 0 (sıfır) ve standart sapması 1 olan standardize edilmiş bir indekstir. Bu nedenle zaman ve alandan bağımsız olarak başka SPEI değerleri ile mukayese edilebilir (Vicente-Serrano et al., 2010).

Kuraklık şiddeti sınıflaması

SPEI değerlerine göre kuraklık şiddeti sınıflaması için McKee et al. (1993) ve Vicente-Serrano et al. (2010)’da verilen sınıflama sistemi kullanılmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. SPEI kuraklık şiddeti sınıflaması

Table 2. Drought severity classification of SPEI

Sınıflandırma	SPEI değeri	Kısaltma
Çok Şiddetli Nemli	$\geq +2$	ÇŞN
Şiddetli Nemli	$\geq +1.5$ ile $< +2$	ŞN
Orta derecede nemli	$\geq +1$ ile $< +1.5$	ODN
Normal	> -1 ile $< +1$	NOR
Orta derecede kurak	> -1.5 ile ≤ -1	ODK
Şiddetli Kurak	> -2 ile ≤ -1.5	ŞK
Çok Şiddetli Kurak	≤ -2	ÇŞK

Jeoistatistik analiz ve haritalama

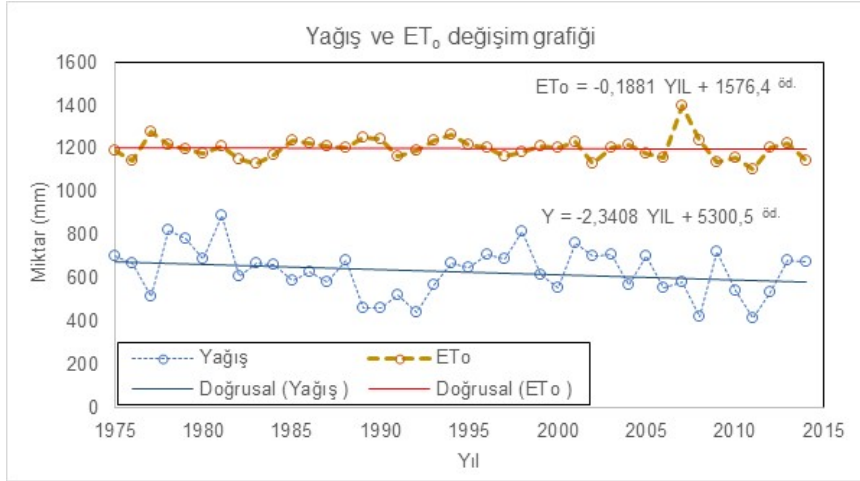
Jeoistatistiksel yöntemler mekânsal referanslı verilerin uzaysal dağılımını tahmin etmek için kullanılmaktadır (Mulla & McBratney, 2002). Bu amaçla jeoistatistik ve CBS, mekânsal veriler için haritalar oluşturularak, mekânsal desen ve ilişkilerin ortaya konmasında yardımcı olmaktadır. Bu çalışmada Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon (IDW) yöntemi, yıllık toplam yağış, yıllık toplam ET_o , D_i , ve SPEI değerlerini alansal enterpolasyon haritaları oluşturmak için tercih edilmiştir (Aydın & Çiçek, 2013; Li et al., 2018; Musei et al., 2021). ArcGIS 10.2 CBS yazılımı ile jeoistatistiksel işlemler yapılarak haritalar oluşturulmuştur.

ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Yağış (P) ve referans evapotranspirasyon (ET_o) değerleri

Çalışmada esas alınan 29 meteoroloji istasyonuna ait 1975-2014 yılları arasında yıllık toplam yağış ve ET_o değerleri ile istasyonlar ve bölge bazında hesaplanmıştır. Tüm istasyonlar birlikte değerlendirildiğinde,

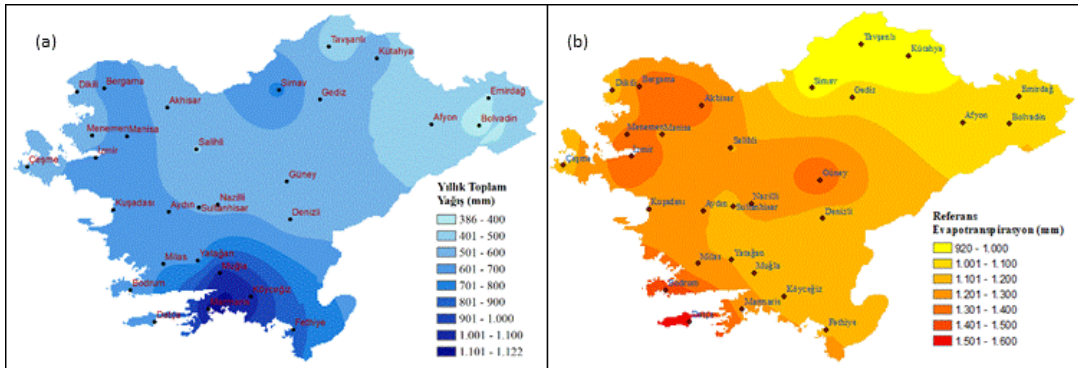
Ege Bölgesinin yıllık toplam yağış değerleri 380-1164 mm arasında değişirken, yıllık toplam ET_o değerleri 920-1593 mm arasında değişmiştir (Şekil 2). Ortalama değerleri sırasıyla (P) 632 mm ve (ET_o) 1201 mm bulunmuştur. Yıllık toplam yağış değeri en düşük 416 mm ile 2011 yılında bulunurken, yıllık toplam ET_o değeri en yüksek 1399 mm ile 2007 yılında elde edilmiştir. İstasyonlara ait P ve ET_o değerleri kullanılarak IDW yöntemine göre mekânsal değişim haritaları hazırlanmıştır (Şekil 3). Buna göre Ege Bölgesinin kıyı kesiminde iç kesimine göre yağış ortalamalarının yüksek olduğu, yine aynı kısımda ET_o değerlerinin iç kesime göre yüksek olduğu görülmektedir.



* ö.d. İstatistiksel olarak önemsizdir.

Şekil 2. Ege Bölgesi yıllık toplam yağış ve ET_o değişim grafiği.

Figure 2. Scatter plot of annual total precipitation and ET_o in the Aegean Region.

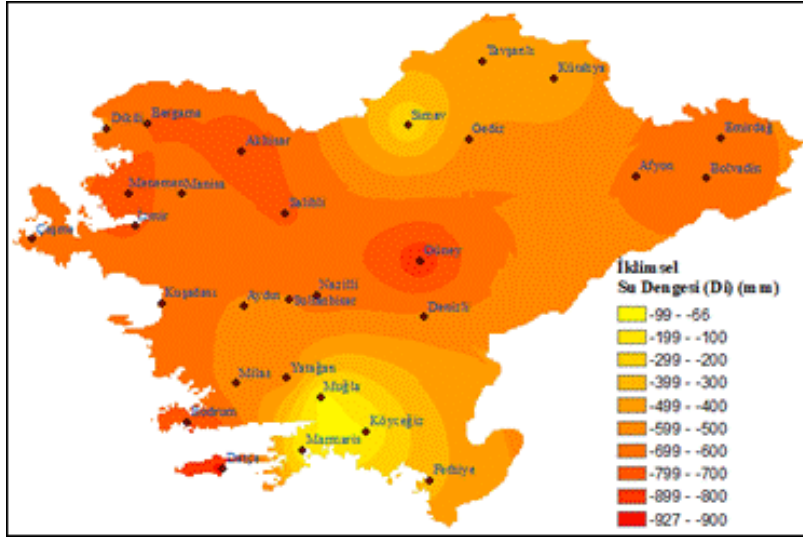


Şekil 3. Ege Bölgesi yıllık toplam P (a) ve ET_o (b) değerleri mekânsal değişim haritaları.

Figure 3. Spatial distribution maps of annual total precipitation (a) and ET_o (b) in the Aegean Region.

İklimsel su dengesi (D_i) değerleri

SPEI değerlerinin hesaplanmasında iklimsel su dengesi (D_i), aylık toplam yağış değerleri ile ET_o değerleri arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. İklimsel su dengesi bölgenin kuraklık hassasiyetini gösteren önemli bir parametre olarak değerlendirilmektedir. Aylık değerlerden elde edilen yıllık toplam açık değerleri istasyonlar ve bölge bazında elde edilmiştir. Bu değerlerin 1975-2014 yılları arasında ortalama değerleri ile IDW yöntemine göre yapılan jeostatistik analiz sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. Buna göre Bölgenin kıyı kesiminde daha yüksek su dengesi açığı elde edilirken iç kesiminde ve Muğla ilinde daha düşük açık değerleri elde edilmiştir. Ege Bölgesinin ortalama yıllık su dengesi açığı değeri 569 mm, yıllar bazında en yüksek açık 2008 yılında 820 mm, en düşük açık 1981 yılında 319 mm olarak bulunmuştur.



Şekil 4. Ege Bölgesi D_i değerleri mekânsal değişim haritası.

Figure 4. Spatial distribution map of D_i values in the Aegean Region.

SPEI değerleri ve kuraklık şiddeti analizi

Ege Bölgesinde bulunan 29 meteoroloji istasyonu iklim verileri ile 1975-2014 yılları arasındaki 40 yıllık dönemde 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde SPEI değerleri hesaplanmıştır. SPEI değerleri analiz edilerek diyagramları oluşturulmuş (Şekil 4) ve en düşük SPEI değerleri ve dönemleri Çizelge 3'te istasyonlar bazında verilmiştir. İstasyonlar bazında 1, 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde 2007 yılı, 24 aylık zaman ölçeğinde 2008 yılı çok şiddetli ($SPEI \leq -2$) kuraklıkların çoğunlukla kaydedildiği yıllar olmuştur. En düşük SPEI değerleri farklı zaman ölçeklerine göre; 1 aylık dönemde Afyon istasyonunda 2007 yılı Eylül ayında, 3 aylık dönemde Çeşme'de 2007 yılı Eylül ayında, 6 aylık dönemde Nazilli'de 2007 yılı Eylül ayında, 12 aylık dönemde Bergama'da 2007 yılı Kasım ayında, 24 aylık dönemde İzmir'de 2008 yılı Aralık ayında çok şiddetli kurak dönemler olarak belirlenmiştir. Kuraklık şiddeti sınıflamasına göre, 12 aylık dönemde Emirdağ, 24 aylık dönemde Aydın, Nazilli, Menemen, Kütahya, Akhisar, Bodrum, Datça, Fethiye, Milas ve Yatağan istasyonlarında şiddetli kurak, bunlar dışında tüm zaman ölçeklerinde (1, 3, 6, 12 ve 24 aylık) çok şiddetli kurak dönemler olduğu görülmüştür. Bu yıllar dışında 1989, 1993, 2011 ve 2012 yılları şiddetli kuraklıkların kaydedildiği yıllar olmuştur.

Ege Bölgesine ait SPEI değerlerine ait diyagramlar Şekil 5'te ve en düşük SPEI değerleri Çizelge 4'te verilmiştir. Bunlara göre Ege Bölgesinin kısa zaman ölçeğinde 2007 yılı uzun zaman ölçeğinde 2008 yılı çok şiddetli kurak yıllar olarak saptanmıştır. Bununla beraber tüm zaman ölçeklerinde 1997, 1998, 1999, 2002 ve 2003 yılları çok şiddetli nemli yıllar olarak bulunmuştur. Uzun zaman ölçeğinde 1985-1995 yılları arasındaki 10 yıllık dönem sürekli ardıl kurak dönemler (orta dereceli ve şiddetli kuraklıklar) olarak kaydedilmiştir. Özellikle 2007-2009 yılları arasındaki dönemde çok şiddetli kurak bir dönem olduğu görülmektedir. 2011 yılından sonra ise şiddeti düşük kurak dönemlerin ardıl olarak gerçekleştiği belirlenmiştir.

Kısa zaman ölçeğinde (1 ve 3 aylık) SPEI değerleri özellikle yaz aylarında kurak periyotları belirlerken, uzun zaman ölçeklerinde ise 1985-1995, 2007-2009, 2011-2012 dönemlerinde şiddet ve süre olarak kış dönemlerini de içine alan uzun periyotlar boyunca kurak değerler (negatif) elde edilmiştir. Buna göre, kısa zaman ölçeğinde SPEI değerlerinin kuraklık etkilerinin daha fazla hissedildiği yaz aylarında, uzun zaman ölçeğinde ise kuraklık görülen yıllarda kış aylarından başlamak üzere tüm yılı kaplayan kurak değerler alabildiği görülmüştür.

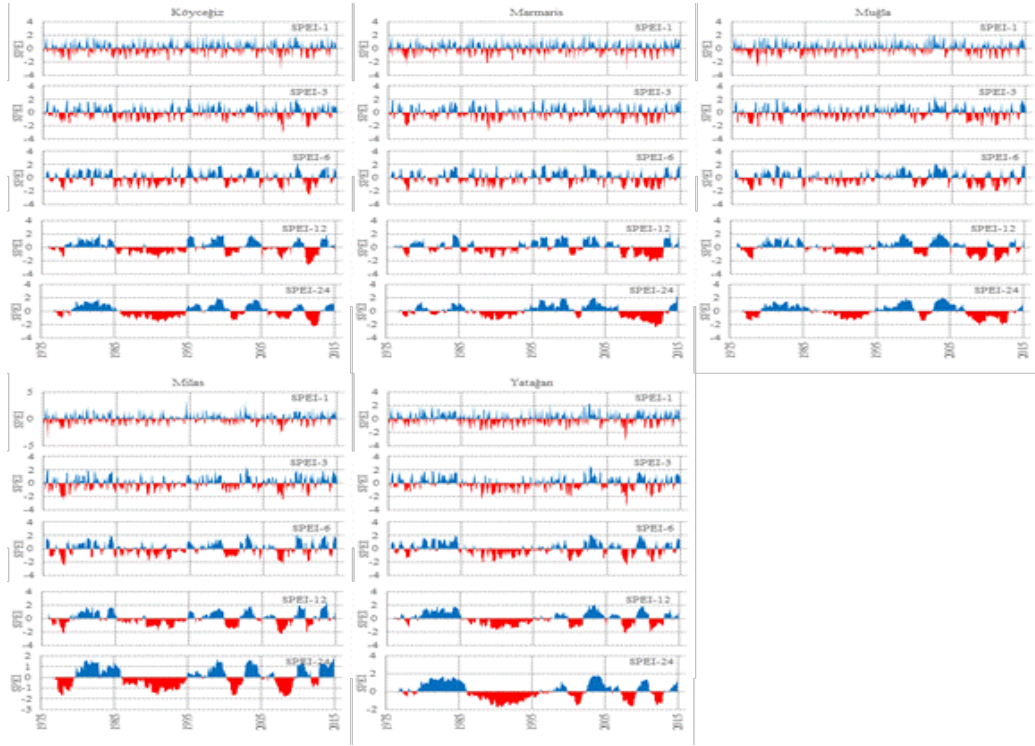
Çizelge 3. İstasyonlar bazında en düşük SPEI değerleri**Table 3.** The lowest SPEI values by stations

İstasyon Adı	SPEI-1	Dönem	SPEI-3	Dönem	SPEI-6	Dönem	SPEI-12	Dönem	SPEI-24	Dönem
Bolvadin	-2.60	8-2007	-2.81	1-2011	-2.45	10-2007	-2.50	10-2007	-2.07	11-2008
Emirdağ	-3.06	7-2007	-2.34	9-2007	-2.52	5-1989	-1.95	12-1989	-2.26	12-1990
Afyon	-4.32	9-2007	-3.23	9-2007	-2.70	10-2007	-2.24	10-2012	-2.43	6-2013
Aydın	-3.27	8-2007	-3.48	9-2007	-2.69	8-2007	-2.44	10-2007	-1.81	3-1990
Kuşadası	-3.96	10-1993	-3.16	10-1993	-2.57	5-2007	-2.56	10-2007	-2.01	10-2008
Nazilli	-4.26	9-2007	-2.71	9-2007	-3.14	9-2007	-2.24	10-2007	-1.91	11-2012
Sultanhisar	-3.05	8-2007	-3.16	9-2007	-2.68	10-2007	-2.41	10-2007	-2.14	6-2008
Güney	-2.95	7-2007	-3.44	4-1989	-2.67	9-2007	-2.50	9-2007	-2.26	12-2008
Denizli	-3.78	8-2007	-2.81	8-2007	-2.30	2-2012	-2.14	9-2012	-2.01	12-2008
Bergama	-3.15	7-2007	-2.72	8-2007	-2.50	5-2007	-2.72	11-2007	-2.39	4-2008
Çeşme	-3.09	6-2007	-6.67	9-2007	-2.96	9-2007	-2.12	1-1990	-2.05	10-2008
Dikili	-3.49	7-2007	-3.16	9-2007	-2.62	9-2007	-2.63	9-2007	-2.33	5-2008
Menemen	-2.45	9-1985	-2.32	10-1993	-2.05	12-2004	-2.04	1-2005	-1.95	11-1990
İzmir	-3.28	7-2007	-3.25	9-2007	-2.39	9-2007	-2.46	2-2008	-2.59	12-2008
Gediz	-3.51	9-2007	-3.21	9-2007	-2.80	10-2007	-2.20	9-2007	-2.04	3-2012
Kütahya	-2.94	7-2007	-2.93	4-1989	-2.49	6-1989	-2.29	3-2011	-1.95	3-2011
Simav	-2.46	7-2014	-2.30	2-2014	-2.25	4-2014	-2.39	3-2014	-2.33	3-2014
Tavşanlı	-2.82	4-1989	-3.29	4-1989	-2.89	6-1989	-2.27	6-1989	-2.05	6-1989
Akhisar	-2.52	6-1996	-2.14	4-1989	-2.06	5-1989	-2.30	3-2001	-1.95	11-1990
Manisa	-3.54	9-1980	-2.88	8-2007	-2.70	12-1984	-2.61	2-2008	-2.28	10-2008
Salihli	-2.85	8-2007	-2.42	1-2012	-2.48	8-2007	-2.74	3-2001	-2.31	12-2008
Bodrum	-2.17	9-1992	-2.07	12-2012	-2.21	6-1990	-2.15	12-1992	-1.97	7-1993
Datça	-2.69	4-2007	-2.12	6-2007	-2.12	3-1987	-2.05	11-1990	-1.89	12-1990
Fethiye	-3.77	6-2007	-4.15	9-2007	-3.70	9-2007	-2.61	10-2007	-1.96	11-1990
Köyceğiz	-3.59	6-2007	-3.12	9-2007	-2.67	4-2011	-2.58	5-2011	-2.31	2-2012
Marmaris	-3.12	9-2007	-2.79	9-1988	-2.08	8-1977	-2.25	1-2012	-2.40	1-2012
Muğla	-2.77	7-1978	-2.21	11-2012	-2.14	11-2012	-2.26	2-2011	-2.18	2-2012
Milas	-4.10	9-1975	-2.55	10-1977	-2.67	12-1977	-2.30	9-2007	-1.83	12-1977
Yatağan	-3.27	7-2007	-3.58	9-2007	-2.58	9-2007	-2.19	9-2007	-1.81	11-1990



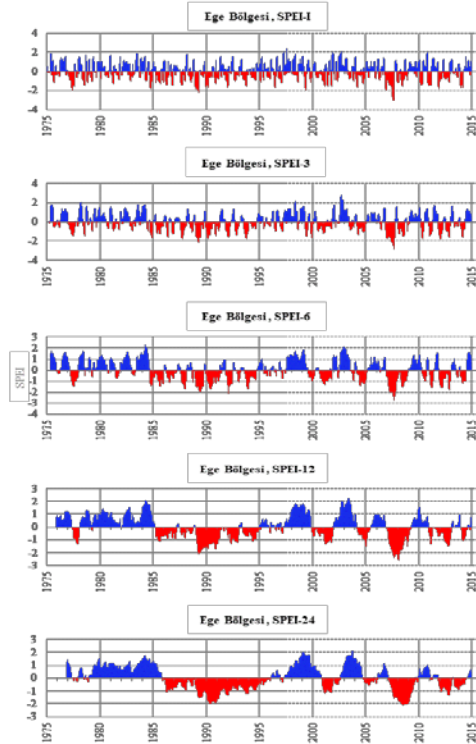
Şekil 4. İstasyonlar bazında farklı zaman ölçeklerinde (1,3,6,12 ve 24 aylık) SPEI diyagramları.

Figure 4. SPEI diagrams on different time scales (1,3,6,12 and 24 months) by the meteorological stations.



Şekil 4. devamı.

Figure 4. continued.



Şekil 5. Ege Bölgesinin farklı zaman ölçeklerinde (1,3,6,12 ve 24 aylık) SPEI diyagramları.

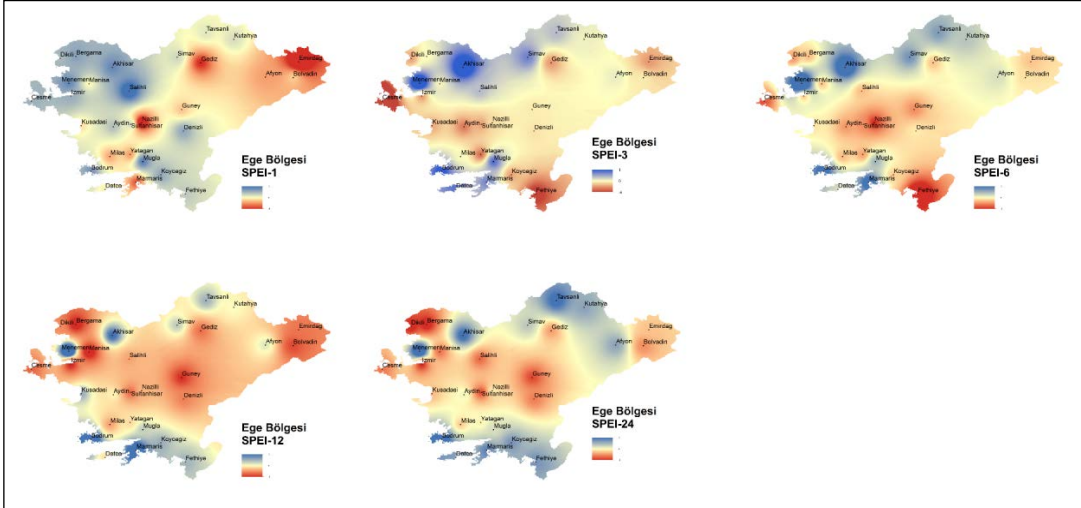
Figure 5. SPEI diagrams on different time scales (1,3,6,12 and 24 months) of the Aegean Region.

Çizelge 4'te farklı zaman ölçekleri için belirlenen dönemlerde 29 istasyon verisi ile IDW yöntemine göre mekânsal dağılım haritaları (Şekil 6) oluşturulmuştur. Bölge genelinde iç Ege kısmına doğru çok şiddetli kuraklık eğilimleri gözlenmektedir. Özellikle 3, 6, 12 ve 24 aylık dönemler için Gediz, Büyük Menderes ve Küçük Menderes Havzasını içine alan bölgeye doğru kuraklık eğiliminin mekânsal olarak arttığı söylenebilir. Ege Bölgesinin en düşük SPEI değerlerinin elde edildiği dönemlerde, kısa zaman ölçeklerinde normal ve nemli alanların mekânsal dağılımlarının uzun zaman ölçeklerine göre daha fazladır. Uzun zaman ölçeklerinde ise kurak ve şiddetli kurak alanların mekânsal dağılımı daha fazladır. 12 ve 24 aylık dönemlerde bölge genelinde çok şiddetli kuraklık eğilimi saptanırken, SPEI değerlerinin uzun zaman ölçeğinde kurak periyotları mekânsal olarak daha belirgin tespit edebilme potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. Gao et al., (2017)'de belirtildiği gibi SPEI uzun zaman ölçeklerinde kurak ve nemli dönemleri frekans olarak daha uzun periyotlar halinde tahmin etmektedir. Potopová et al., (2015) ve Wang et al., (2016)'da belirtildiği üzere bu çalışmada kısa zaman ölçeğindeki mekânsal dağılım haritalarının tarımsal kuraklığın belirlenmesinde nispeten daha güçlü olduğu, uzun zaman ölçeğinde ise bölgenin su potansiyelinin ve su talebinin belirlenmesi açısından mekânsal olarak daha güçlü olduğu söylenebilir.

Çizelge 4. Ege Bölgesi en düşük SPEI değerleri tablosu

Table 4. The lowest SPEI values in the Aegean Region

İstasyon Adı	SPEI-1	Dönem	SPEI-3	Dönem	SPEI-6	Dönem	SPEI-12	Dönem	SPEI-24	Dönem
Ege Bölgesi	-3.03	9-2007	-2.90	9-2007	-2.80	9-2007	-2.60	02-2008	-2.12	7-2008

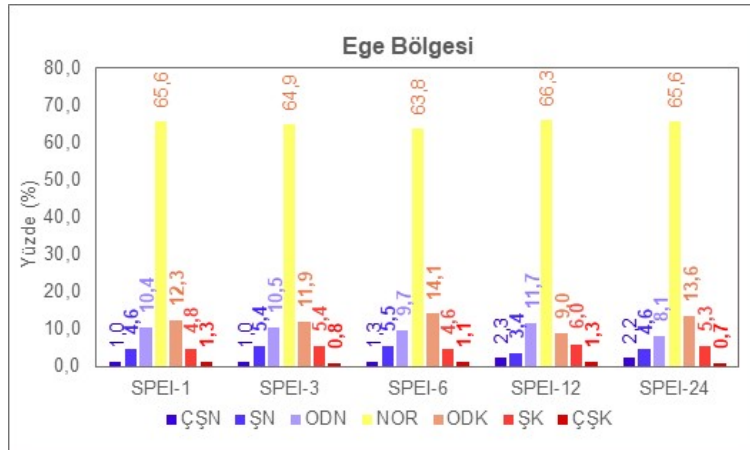


Şekil 6. Ege Bölgesine ait farklı zaman ölçeklerinde SPEI değerlerinin IDW yöntemine göre mekânsal dağılım haritaları.

Figure 6. Spatial distribution maps of SPEI values according to IDW method at different time scales belonging to the Aegean Region.

Ege Bölgesi SPEI değerlerinin farklı zaman ölçeklerinde %8,1-11,7'si orta derecede nemli, %3,4-5,5'i şiddetli nemli, %1,0-2,3 çok şiddetli nemli, %63,8-66,3'ü normal, %9-14,1'i orta derecede kurak, %4,6-6'sı şiddetli kurak, %0,7-1,3'ü çok şiddetli kurak dönemler olarak belirlenmiştir (Şekil 7). Bölge genelinde kurak geçen (SPEI=>+1, şiddetli ve çok şiddetli) dönemler toplamı ortalama 25-35 ay olarak gerçekleşmiştir. En uzun kesintisiz kurak periyot 1 aylık zaman ölçeğinde 11 ay (11/2006-09/2007), 3 aylık zaman ölçeğinde 14 ay (08/1993-09/1994), 6 aylık zaman ölçeğinde 25 ay (01/2007-01/2009), 12 aylık zaman ölçeğinde 34 ay (02/1989-10/1991) ve 24 aylık zaman ölçeğinde 122 ay (12/1985-01/1996) olmuştur. Kuraklık süresinin belirlenmesi bakımından uzun zaman ölçeğindeki SPEI değerleri kesintisiz kurak dönemlerin tanımlanmasında daha yararlı sonuçlar üretirken, kısa zaman ölçeklerinden ise kısa periyotlar halinde ve sayısal olarak daha fazla kurak dönemler elde edilmiştir. Bununla benzer olarak SPEI ile yapılan

çalışmalarda kısa zaman ölçeğinde kurak ve nemli dönemlerin kısa süreli ve sıklıkla saptandığını, uzun zaman ölçeğinde (12 ve 24 aylık) uzun süreli kuraklıkların belirlendiği fakat kurak dönemlerin tekrarlanma sıklığının düşük olduğu bildirilmiştir (Vicente-Serrano et al., 2012a; Musei et al., 2021). Su kaynaklarının etkin kullanımı, tarımsal üretimin devamı için yeterli su temini ve kuraklığa karşı tepkilerinin belirlenmesi açısından bu farklı zaman ölçeklerindeki değerlendirmeler farklı amaçlar için sonuçlar üreterek karar vericiler için faydalı bilgiler üretebilmektedir (Lorenzo-Lacruz et al., 2010; Vicente-Serrano et al., 2012a; Zhang et al., 2015). Elde edilen bulgular ışığında SPEI indisinin ET'yi içermesi nedeniyle tarımsal kuraklığın belirlenmesi açısından kısa zaman ölçeğinde daha duyarlı olduğu görülmektedir. Bunun yanında tarımsal kuraklığın sadece iklimsel su dengesine (P-ET_o) dayalı olarak tahmin edilmesinde tek başına yeterli sonuçlar üretilmeyebileceği de göz ardı edilmemelidir (Zhang et al. 2015).



Şekil 7. Ege Bölgesi farklı zaman ölçeklerinde SPEI değerlerine ait kuraklık şiddeti relatif yüzde sınıflandırması.

Figure 7. The relative percentage classification of drought severity on different time scales SPEI values of the Aegean Region.

SONUÇ ve ÖNERİLER

SPEI kısa zaman ölçeklerinde (1, 3 ve 6 aylık) tarımsal kuraklıkların tespitini, uzun zaman ölçeklerinde (12 ve 24 aylık) ise kurak periyotların tespitinin mümkün kılabilir. Böylelikle SPEI indisi kuraklık riskine karşı tarımsal üretimin ve su kaynaklarının planlanması, ekosistemin devam ettirilebilmesi, sosyo-ekonomik etkilerin en aza indirilmesi için uygulayıcılar ve karar vericiler için önemli bilgiler sağlamaktadır.

Ege Bölgesinin içinde bulunduğu yarı kurak alanlar, son yıllarda yaşanan iklim değişikliği etkisi ile birlikte ani yaşanabilecek kurak periyotlara karşı daha hassas duruma gelmiştir. Bölge genelinde SPEI değerleri ile yapılan kuraklık şiddeti incelemesine göre özellikle 2007-2009 döneminde olmak üzere, 1997-1999, 2002-2003, 2011-2012 yıllarında nispeten kurak ve şiddetli kurak dönemler olduğu ve son yıllarda kurak periyotların arttığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre SPEI ile farklı zaman ölçeklerinde kuraklığın süresi, şiddeti ve frekansının tespit edilebildiği görülmüştür. Tarımsal kuraklık açısından SPEI'in evapotranspirasyonu (PET ya da ET_o) içermesi ile su kaynaklarının planlanması ve tarımsal sulama suyu ihtiyacının yönetilmesi açısından planlamaya yönelik bilgi üretilebileceği görülmüştür. Ayrıca SPEI değerleri ile yapılan zamansal ve mekânsal analiz ile kuraklık eğilimleri ve yönleri alansal olarak ortaya konulabilmektedir. Sonuç olarak, sürdürülebilir su kaynakları yönetimi, buna dayalı tarımsal üretim korunması ve erken uyarı sistemlerinin oluşturulması için SPEI önemli bir kuraklık indeksidir.

KAYNAKLAR

- Alexandersson, H., 1986. A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology*, 6: 661-675.
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes & M. Smith, 1998. *Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56*. Fao, Rome, 300 (9): D05109.

- Aydın, O. & İ. Çiçek, 2013. Ege Bölgesinde yağışın mekânsal dağılımı. Coğrafi Bilimler Dergisi, 2013 CBD 11 (2): 101-120.
- Bartels, R., 1982. The Rank Version of von Neumann's Ratio Test for Randomness, Journal of the American Statistical Association, 77: 40-46.
- Buishand, T. A., 1982. Some methods for testing the homogeneity of rainfall records, Journal of Hydrology, 58: 11-27.
- Deng, S., T. Chen, N. Yang, L. Qu, M. Li & D. Chen, 2018. Spatial and temporal distribution of rainfall and drought characteristics across the Pearl River basin. Science of the Total Environment, 619: 28-41.
- Feng, X., A. Porporato & I. Rodriguez-Iturbe, 2013. Changes in rainfall seasonality in the tropics. Nat. Clim. Chang., 3 (9): 811-815.
- Gao, X., Q. Zhao, X. Zhao, P. Wu, W. Pan, X. Gao & M. Sun, 2017. Temporal and spatial evolution of the standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) in the Loess Plateau under climate change from 2001 to 2050. Science of the Total Environment, 595: 191-200. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.226>
- Hayes, M., M. Svoboda, N. Wall & M. Widhalm, 2011. The Lincoln declaration on drought indices: Universal meteorological drought index recommended. American Meteorological Society, 92 (4): 485-488.
- Kumar, P., 2013. Hydrology: seasonal rain changes, Nat. Clim. Change, 3 (9): 783-784.
- Labeledzki, L. & E. Kanecka-Geszke, 2009. Standardized evapotranspiration as an agricultural drought index. Irrigation and Drainage, 58 (5): 607-616. <https://doi.org/10.1002/ird.421>
- Laimighofer, J. & G. Laaha, 2022. How standard are standardized drought indices? Uncertainty components for the SPI & SPEI case, Journal of Hydrology, 613: 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128385>
- Li, Y., Z. Xie, Y. Qin, H. Xia, Z. Zheng, L. Zhang & Z. Liu, 2019. Drought under global warming and climate change: An empirical study of the Loess Plateau. Sustainability, 11 (5): 1281. <https://doi.org/10.3390/su11051281>
- Liu, C., C. Yang, Q. Yang & J. Wang, 2021. Spatiotemporal drought analysis by the standardized precipitation index (SPI) and standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) in Sichuan Province, China. Scientific Reports, 11 (1): 1280. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80527-3>
- Lorenzo-Lacruz, J., S.M. Vicente-Serrano, J.I. López-Moreno, S. Beguería, J.M. García-Ruiz & J.M. Cuadrat, 2010. The impact of droughts and water management on various hydrological systems in the headwaters of the Tagus River (central Spain). Journal of Hydrology, 386: 13-26. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.01.001>
- Mathbout, S., J.A. Lopez-Bustins, J. Martin-Vide, J. Bech & F.S. Rodrigo, 2018. Spatial and temporal analysis of drought variability at several time scales in Syria during 1961-2012. Atmospheric Research, 200: 153-168. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.09.016>
- McKee, T.B., N.J. Doesken & J. Kleist, 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, 1-22 January 1993, Anaheim, California.
- Mengü, G. P., T. Yildirim, E. Özçakal & E. Akkuzu, 2019. Temporal change of climatological precipitation deficit index in the Buyuk Menderes Basin, Turkey. Agronomy Journal, 111 (1): 336-342. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.03.0151>
- Mengü, G.P., S. Anaç & E. Özçakal, 2011. Kuraklık yönetim stratejileri, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 48 (2): 175-181. <https://dergipark.org.tr/en/pub/zfdergi/issue/5101/69652>
- MGM, 2019. Türkiye iklim verileri, <https://www.mgm.gov.tr/index.aspx>. (Erişim tarihi: 01.11.2019)
- Milly, P.C.D. & K.A. Dunne, 2016. Potential evapotranspiration and continental drying. Nat. Clim. Chang., Vol 6, October 2016, 946-949. <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE3046>
- Mirgol, B., M. Nazari, H.R. Etedali & K. Zamanian, 2021. Past and future drought trends, duration, and frequency in the semi-arid Urmia Lake Basin under a changing climate. Meteorological Applications, 28 (4): e2009. <https://doi.org/10.1002/met.2009>
- Mishra, A. K. & V.P. Singh 2010. A review of drought concepts. Journal of hydrology, 391 (1-2): 202-216. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>
- Mulla, D.J. & A.B. McBratney, 2002. Soil spatial variability. Soil physics companion, 343373.
- Musei, S.K., J.M. Nyaga & A.Z. Dubow, 2021. SPEI-based spatial and temporal evaluation of drought in Somalia, Journal of Arid Environments, 184 (2021) 104296: 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104296>

- Özçelik, Ş., G.P. Mengü & E. Akkuzu, 2012, "Standart Yağış Evapotranspirasyon İndisi ile Gediz Havzasında Kuraklık Analizi, P59". II. Ulusal Sulama ve Tarımsal Yapılar Sempozyumu (24-25 Mayıs 2012, İzmir) Bildirileri, 1268 s.
- Özçelik, Ş., G.P. Mengü & E. Akkuzu, 2019, "Standart Yağış Evapotranspirasyon İndisi ile Büyük Menderes Havzasında Kuraklık Analizi, 149". 6. Uluslararası Katılımlı Toprak ve Su Kaynakları Kongresi (12-14 Kasım 2019, İzmir), 213 s.
- Pei, Z., S. Fang, L. Wang & W. Yang, 2020. Comparative analysis of drought indicated by the SPI and SPEI at various timescales in inner Mongolia, China. *Water*, 12 (7): 1925. <https://doi.org/10.3390/w12071925>
- Pettitt, A. N., 1979. A non-parametric approach to the change point problem. *Journal of the Royal Statistical Society Series C, Applied Statistics* 28: 126-135.
- Potop, V., M. Možný & J. Soukup, 2012. Drought evolution at various time scales in the lowland regions and their impact on vegetable crops in the Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*, 156: 121-133.
- Potopová, V., P. Štěpánek, M. Možný, L. Türkott & J. Soukup, 2015. Performance of the standardised precipitation evapotranspiration index at various lags for agricultural drought risk assessment in the Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*, 202: 26-38. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.11.022>
- Spinoni, J., G. Naumann, J. Vogt & P. Barbosa, 2016. Meteorological droughts in Europe: events and impacts-past trends and future projections. <http://dx.doi.org/10.2788/450449>
- Vermes, L., 1998. "How to Work Out a Drought Mitigation Strategy: An ICID Guide". DVWK Guidelines for Water Management, ISSN 0937-3209, No. 309: 29 pp.
- Vicente-Serrano, S. M., S. Beguería, J. Lorenzo-Lacruz, J.J.Camarero, J.I. López-Moreno, C. Azorin-Molina,... & A. Sanchez-Lorenzo, 2012b. Performance of drought indices for ecological, agricultural, and hydrological applications. *Earth Interactions*, 16 (10): 1-27. <https://doi.org/10.1175/2012EI000434.1>
- Vicente-Serrano, S. M., S. Beguería, L. Gimeno, L. Eklundh, G. Giuliani, D. Weston,... & G.G. Pegram, 2012a. Challenges for drought mitigation in Africa: The potential use of geospatial data and drought information systems. *Applied Geography*, 34: 471-486. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.02.001>
- Vicente-Serrano, S.M., S. Begueria & J.I. Lopez-Moreno, 2010. A Multiscalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, *Journal of Climate*, 23: 1696-1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Wang, H., S.M. Vicente-Serrano, F. Tao, X. Zhang, P. Wang, C. Zhang, Y. Chen, D. Zhu & A.E. Kenawy, 2016. Monitoring winter wheat drought threat in Northern China using multiple climate-based drought indices and soil moisture during 2000-2013. *Agricultural and Forest Meteorology*, 228: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.06.004>
- Wijngaard, J.B., A.M. Klein Tank & G.P. Können, 2003. Homogeneity of 20th Century European Daily Temperature And Precipitation Series, *International Journal of Climatology*, 23: 679-692. <https://doi.org/10.1002/joc.906>
- Wilhite, D. A., 1993. *Drought Assessment, Management, and Planning: Theory and Case Studies (Vol. 2)*. Springer Science & Business Media. 294 pp. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3224-8>
- Wilhite, D.A. & M.H. Glantz, 1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water Int.*, 10: 111-120. <https://doi.org/10.1080/02508068508686328>
- Yeşilirmak, E. & L. Atatanır, 2016. Spatiotemporal variability of precipitation concentration in Western Turkey, *Nat. Hazards*, 81: 687-704. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-2102-2>
- Zhang, B., X. Zhao, J. Jin & P. Wu, 2015. Development and evaluation of a physically based multiscalar drought index: The Standardized Moisture Anomaly Index, *JGR Atmospheres*, 120: 11575-11588. <https://doi.org/10.1002/2015JD023772>
- Zhao, H., G. Gao, W. An, X. Zou, H. Li & M. Hou, 2017. Timescale differences between SC-PDSI and SPEI for drought monitoring in China. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts a/b/c*, 102: 48-58. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.10.022>