



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



**STANDART YAĞIŞ EVAPOTRANSPIRASYON
İNDİSİ İLE EGE BÖLGESİNDE KURAKLIK
ANALİZİ**

Yüksek Lisans Tezi

Şener ÖZÇELİK

Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

İzmir
2019

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

STANDART YAĞIŞ EVAPOTRANSPIRASYON İNDİSİ İLE EGE BÖLGESİNDE KURAKLIK ANALİZİ

Şener ÖZÇELİK

Danışman: Prof. Dr. Erhan AKKUZU

Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Tarımsal Yapılar ve Sulama Yüksek Lisans Programı

İzmir
2019

Şener ÖZÇELİK tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “Standart Yağış Evapotranspirasyon İndisi İle Ege Bölgesinde Kuraklık Analizi” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 07.08.2019 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Erhan AKKUZU



Raportör Üye : Prof. Dr. Ercan YEŞİLIRMAK



Üye : Doç. Dr. Gülay Pamuk MENGÜ



EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Standart Yağış Evapotranspirasyon İndisi ile Ege Bölgesinde Kuraklık Analizi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

07 / 08 / 2019



Şener ÖZÇELİK

ÖZET**STANDART YAĞIŞ EVAPOTRANSPIRASYON İNDİSİ İLE EGE BÖLGESİNDE KURAKLIK ANALİZİ**

ÖZÇELİK, Şener

Yüksek Lisans Tezi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Erhan AKKUZU

Ağustos 2019, 61 sayfa

Bu çalışmada, Ege Bölgesi'nde tarımsal kuraklığın zamansal ve mekânsal değişimi (1975-2014 yılları arasında) Standart Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) ile incelenmiştir.

SPEI değerlerine göre, istasyon bazında 1, 3, 6, ve 12 aylık zaman ölçeklerinde 2007 yılı, 24 aylık zaman ölçeğinde 2008 yılı çok şiddetli kuraklıkların ($SPEI \leq -2$) çoğunlukla kaydedildiği yıllar olmuştur. En kurak periyot 2005-2014 arasındaki 10 yıllık dönem olarak elde edilmiştir. Farklı zaman ölçeklerinde SPEI değerleri sırasıyla Afyon, Çeşme, Nazilli, Bergama ve İzmir istasyonlarında en düşük değerleri alırken, 2007 yılı tüm zaman ölçeklerinde kuraklık sınıflaması bakımından çok şiddetli kuraklıkların görüldüğü yıl olarak kayda geçmiştir. SPEI değerlerine ait Modifiye Mann-Kendall trend testi sonuçlarına göre; Nazilli, Sultanhisar, Denizli, Dikili, Gediz, Kütahya, Simav ve Tavşanlı istasyonlarında azalan yönde (kurak) önemli trendin varlığı tüm zaman ölçeklerinde elde edilirken; Güney, Emirdağ ve Salihli istasyonlarında birkaç zaman ölçeğinde azalan yönde önemli trend bulunmuştur. Mekansal analiz için IDW yöntemi ile SPEI değerlerine ait Sen'in Eğim Tahmincisi haritaları oluşturulmuştur. Tahmin haritaları üzerinde kuraklık eğilimleri incelenmiş ve Denizli, Kütahya ve Aydın illerini içine alan İç Ege bölgesi ile Dikili ve İzmir arasında kalan kıyı Ege kesiminde negatif eğim değerleri görülmüştür.

Anahtar sözcükler: Ege Bölgesi, kuraklık, SPEI, Mann-Kendall, IDW.

ABSTRACT**DROUGHT ANALYSIS IN AEGEAN REGION WITH THE
STANDARDIZED PRECIPITATION EVAPOTRANSPIRATION INDEX**

ÖZÇELİK, Şener

MSc in Department of Farm Structures and Irrigation

Supervisor: Prof. Dr. Erhan AKKUZU

August 2019, 61 pages

This study analyzed and monitored the temporal and spatial change in agricultural drought with Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) between 1975-2014.

According to SPEI values, 2007 and 2008 were recorded as severe drought ($SPEI \leq -2$) at 1, 3, 6 and 12 timescales and at 24 timescales respectively on the basis of stations. The most severe drought period was identified as the decade between 2005-2014. In different time scales, the lowest (dry) values were found in Afyon, Çeşme, Nazilli, Bergama and İzmir stations respectively and 2007 had the most severe drought values in both short and long time scales. According to Modified Mann-Kendall trend test results of SPEI values, in all time scales, there was a statistically significant downward trend (dry) in Nazilli, Sultanhisar, Denizli, Dikili, Gediz, Kütahya, Simav, Tavşanlı stations, whereas in Güney, Emirdağ and Salihli stations, there was a statistically significant downward trend in some time scales. Sen's Slope Estimator maps of SPEI values were created by IDW deterministic method for spatial analysis. Drought trends were examined, and it was estimated a negative slope values in the inner parts of the region including Denizli, Kütahya and Aydın, and along with the coastal area between İzmir and Dikili on The Sen's Slope Estimator maps about SPEI values.

Keywords: Aegean Zone, drought, SPEI, Mann-Kendall, IDW.

ÖNSÖZ

Dünyadaki hızlı nüfus artışı ve su arzında yaşanan sorunlar ve kuraklık tehlikesi mevcut su kaynakları üzerindeki baskıyı artırmaktadır. Tarımsal üretimin sürdürülebilir olması ve yeterli miktarda elde edilmesi için su kaynaklarının etkin şekilde kullanılması, bu kapsamda oluşabilecek dalgalanmaların değerlendirilmesinin önemi git gide artmaktadır. Bu çalışma ile Ege Bölgesi'nde tarımsal kuraklığın izlenmesi ve gelecekte oluşması muhtemel kuraklık eğilimlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Kuraklık analizi ile kurak geçen dönemlerin ve kuraklık trendlerinin belirlenmesi uzun vadeli tarımsal, ekonomik ve sosyal planlamalar açısından önemlidir. Bu bağlamda yüksek lisans tezinden elde edilen verilerin yararlı olmasını dilerim.

İZMİR

07/08/2019

Şener ÖZÇELİK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
İÇ KAPAK	ii
KABUL ONAY SAYFASI	iii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI.....	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ.....	xi
İÇİNDEKİLER.....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvi
TABLolar DİZİNİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xviii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	12
3.1. Materyal.....	12
3.1.1. Bölgenin genel tanıtımı.....	12
3.1.2. İklim özellikleri	12
3.1.3. Tarımsal potansiyel.....	13

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.1.4. Çalışma alanı meteoroloji istasyonları	13
3.2. Yöntem.....	16
3.2.1. Meteorolojik verilerin kalite kontrolü ve homojenlik analizi	16
3.2.2. Standart yağış evapotranspirasyon indisi (SPEI)	19
3.2.3. Zamansal analiz.....	22
3.2.4. Mekansal analiz.....	25
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	27
4.1. Homojenlik Testi Sonuçları	27
4.2. Yağış (P) ve Referans Evapotranspirasyon (ET _o) Değerleri	29
4.3. İklimsel Su Dengesi (D _i) Değerleri	32
4.4. Standart Yağış Evapotranspirasyon İndisi Değerleri	34
4.5. Zamansal Analiz	36
4.5.1. Trend analizi	36
4.6. Mekansal Analiz	39
4.6.1. Jeostatistik analiz	39
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	48
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	52

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
TEŞEKKÜR	60
ÖZGEÇMİŞ	61
EKLER	



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Seçilen meteoroloji istasyonlarının Bölge içindeki konumu.....	15
4.1 Ege Bölgesi yıllık toplam yağış dağılımı (mm) tahmin haritası	39
4.2 Ege Bölgesi yıllık toplam referans evapotranspirasyon (mm) dağılım haritası	40
4.3 Ege Bölgesi yıllık toplam iklimsel su dengesi açığı (mm) tahmin haritası	41
4.4 Yıllık toplam yağış Sen'in eğim değerleri tahmin haritası (1975-2014).....	42
4.5 Yıllık ortalama iklimsel su dengesi Sen'in eğim değerleri tahmin haritası (1975-2014)	42
4.6 SPEI-1 Sen'in eğim değerleri tahmin haritası (1975-2014).....	45
4.7 SPEI-3 Sen'in eğim değerleri tahmin haritası (1975-2014).....	45
4.8 SPEI-6 Sen'in eğim değerleri tahmin haritası (1975-2014).....	46
4.9 SPEI-12 Sen'in eğim değerleri tahmin haritası (1975-2014).....	46
4.10 SPEI-24 Sen'in eğim değerleri tahmin haritası (1975-2014).....	47

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Ege Bölgesi uzun yıllar iklim verileri.....	13
3.2 Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının coğrafik özellikleri	14
3.3 Meteorolojik verilerin homojenlik testi sınıflaması.....	17
3.4 SPEI indisi kuraklık şiddeti sınıflaması.....	21
4.1 Ege Bölgesi aylık ortalama yağış değerleri homojenlik test sonuçları	28
4.2 Meteoroloji istasyonlarına ait ortalama yıllık yağış (P), yıllık ortalama referans evapotranspirasyon (ET _o) ve yıllık ortalama iklimsel su dengesi (D _i) değerleri	30
4.3 Yıllar bazında Ege Bölgesi yıllık toplam yağış (P), referans evapotranspirasyon (ET _o) ve iklimsel su dengesi (D _i) değerleri	31
4.4 İstasyonlara ait iklimsel su dengesi açığı ekstrem değerleri.....	33
4.5 İstasyonlar bazında en düşük SPEI değerleri.....	35
4.6 SPEI değerleri trend ve eğim analizi (Modifiye Mann-Kendall Z istatistiği, Sen'in Eğim Tahmincisi) sonuçları (SPEI 1,3 ve 6 aylık)	37
4.7 SPEI değerleri trend ve eğim analizi (Modifiye Mann-Kendall Z istatistiği, Sen'in Eğim Tahmincisi) sonuçları (SPEI 12 ve 24 aylık)	38

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
<i>A</i>	Eşik (Range)
<i>C</i>	Etki uzaklığı (Sill)
<i>Co</i>	Kontrolsüz etki varyansı (Nugget)
<i>h</i>	Adım (lag)
<u>Kısaltmalar</u>	
ASE	Ortalama standart hata
<i>Di</i>	İklimsel su dengesi
ET	Evapotranspirasyon
ETo	Referans evapotranspirasyon
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
H	Homojen
HD	Homojen değil
IDW	Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon (Inverse distance weighted)
ME	Ortalama hata
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MSE	Standart hata karesi
P	Yağış

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
PD	Yağış açığı
PDSI	Palmer kuraklık şiddeti indisi
PET	Potansiyel evapotranspirasyon
RDI	Rönesans kuraklık indisi
RMSE	Ortalama hata karesinin karekökü
RMSS	Ortalama hata karesinin standart hatası
SC-PDSI	Kendinden kalibreli Palmer kuraklık şiddeti indisi
SNHT	Standart normal homojenlik testi
SPEI	Standart yağış evapotranspirasyon indisi
SPI	Standart yağış indisi
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
TZOB	Türkiye Ziraat Odaları Birliği

1. GİRİŞ

İklim değişikliğine bağlı olarak hidrolojik döngünün değişmesi ile birlikte, iklim kuşaklarının yer değiştirmesi, bazı bölgelerde aşırı yağışların ve taşkınların, bazı bölgelerde ise kuraklıkların daha şiddetli ve sık olması kaçınılmaz bir durum haline gelmiştir. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) 4. Değerlendirme Raporuna temel teşkil eden yüksek emisyon senaryolu (A2) model simülasyonları, yüzyılın sonuna doğru Türkiye'de yıllık sıcaklıkların günümüze göre 3.1-5.2 °C arasında artacağını öngörmekte ve Türkiye genelinde yağışlarda azalmaların yaşanacağı, özellikle Akdeniz Bölgesi ile Ege Bölgesi'nin güney kısımlarında, daha fazla (%30'lara varan) seviyede olacağı öngörülmektedir (IPCC, 2007; şen, 2013).

İklim değişikliği ve kuraklık, yeraltı ve yerüstü su kaynaklarını etkileyerek tarım ve sanayide, içme ve kullanma suyu olarak kullanılan su miktarının azalmasına, tarımsal üretim miktarının ve kalitesinin düşmesine, sulak alanların ve doğal yaşamın zarar görmesine ve bütün bunlara bağlı olarak sosyo-ekonomik etkilere neden olmaktadır (Mishra ve Singh, 2010).

Kuraklık, yağışların kaydedilen normal seviyelerinin önemli ölçüde altına düşmesi sonucu ortaya çıkan doğal olay olarak tanımlanabilir. Kuraklık, başlangıç ve bitişinin belirsiz olması, kümülatif artması, aynı anda birden fazla kaynağa etki etmesi ve ekonomik boyutunun yüksek olması nedeniyle ciddi etkiler içermektedir (Kömüşcü vd., 2002).

Kuraklık özellikle Akdeniz ülkeleri dahil olmak üzere, çoğunlukla subtropikal bölgelerde iklim değişikliğinin de etkisiyle kuvvetlenen çok önemli bir doğa olayıdır. Esas olarak yağış yetersizliğine bağlı olarak su azlığıyla ortaya çıkan kuraklık, üretimde azalmaya, yetersiz beslenmeye, sonuçta kıtlık, açlık, göç ve ölümlere yol açtığından çok önemli sosyal ve ekonomik sorunların yaşanmasına neden olmaktadır (Kömüşcü, 2001).

İklim değişikliği ve kuraklık olaylarında yaşanabilecek artış, gıda güvenliğine yönelik büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Bu nedenle kuraklığın etkilerinin azaltılması ve etkili bir eylem planı oluşturulması amacıyla kuraklığın izlenmesi ve analizi için etkili araçlar geliştirilmelidir. Kuraklığın analizi ve izlenmesi için çeşitli tekniklerin geliştirilmesine yönelik yüksek bir çaba gerekmektedir. Günümüzde nesnel açıdan kuraklığın yoğunluk, büyüklük, zamansal ve mekansal özelliklerinin

niceliğini belirlemek için objektif indisler yaygın olarak kullanılmaktadır (Heim, 2002). Bu kapsamda var olan kuraklık indislerini geliştirmek ve yeni indisler tasarlamak için çalışmalar yapılmaktadır.

Nispeten yetersiz yağış ile birlikte yetiştirme periyodu boyunca toprakta nem eksikliğine neden olan yüksek evapotranspirasyon, kuraklık riskine etki eden önemli bir faktördür. Bu nedenle kuraklık analizlerinde bir bölgedeki yağış ve evapotranspirasyon arasındaki dengenin uzun süreli ortalaması göz önünde bulundurulmalıdır. Yağış ve evapotranspirasyon değerlerinden elde edilen kuraklık indisi, kuraklık olayının farklı boyutlarını (süre, yoğunluk ve şiddet) tanımlayarak, zamansal ve mekansal boyutta anlamlı bilgiler üretebilmeyi mümkün kılabilir.

Vicente Serrano et al. (2010), tarafından kuraklığın analizi ve izlenmesi için Standart Yağış Evapotranspirasyon İndisi (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI) geliştirilmiştir. SPEI, matematiksel olarak Standart Yağış İndisinin (Standardized Precipitation Index – SPI) kolay hesaplanması ve Palmer Kuraklık Şiddeti İndisinin (Palmer Drought Severity Index - PDSI) sıcaklık dalgalanmaları ve eğilimleri ile buharlaşma talebindeki değişikliklere gösterdiği hassasiyetin birleşimini içermektedir. SPEI kuraklık indisinin diğer yaygın olarak kullanılan kuraklık indislerine göre kuraklık değerlendirmesinde avantajı, farklı zaman ölçeklerinde kuraklığın değişiminin izlenebilmesi, evapotranspirasyonun rolünü içermesi ve çeşitli evapotranspirasyon hesaplama yöntemlerinin kullanılabilmesine olanak sağlamasıdır.

Bu çalışmada, yağış ve evapotranspirasyona dayalı iklimsel su dengesi içeren Standart Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) ile Ege Bölgesi koşullarında 1975-2014 yılları arasındaki dönem için kısa (1 ve 3 aylık), orta (6 aylık) ve uzun (12 ve 24 aylık) zaman ölçeklerinde tarımsal kuraklığın değerlendirilmesi ve Mann-Kendall trend analizi ile zamansal, jeostatistik yöntem ile de mekânsal değişimin incelenmesi amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

Kuraklık, meteorolojik olarak yağışların kaydedilen normal seviyelerinin önemli ölçüde altına düşmesi sonucu ortaya çıkan aşırı su açığı ya da yetersizliği ile arazi ve su kaynaklarının olumsuz etkilenmesi ve hidrolojik dengede bozulmalara neden olan doğal olay olarak tanımlanabilir (Anonim, 2018a).

Kuraklık ile ilgili ilk çalışmalar 1886 yılında Russel tarafından yapılmıştır. Russel, kuraklığa yaklaşımda, çevrenin ekonomik, meteorolojik, sosyolojik ve hidrolojik değerlerinden belirlediği bir miktarda sapmanın oluştuğu koşulları değerlendirmiş, kuraklığı yağışın az düştüğü aylık ve yıllık dönemler olarak tanımlamıştır. Hoyt (1938), yıllık yağış toplamının ortalamasının %85'inin altına düştüğü zaman kuraklığın etkili olduğunu ve yağış miktarı, insan gereksinimlerini karşılayabilmek için kestirilen miktardan daha az olduğu zaman ortaya çıkan durumda kuraklık görüldüğünü bildirmiştir. McGuire ve Palmer (1957), yıllık veya aylık yağışın normalin belirli bir yüzdesinden daha az olmasını kuraklık olarak tanımlamışlardır. Wilhite (1993) kuraklığı, yağışın yetersiz olduğu uzun dönemlerden sonra görülen tarımsal, ekonomik ve çevresel zararlara neden olan başlıca doğal olaylardan biri olarak tanımlamıştır (Topçuoğlu, 2005).

Dünyanın birçok yerinde kurak süreçler yaşanmış ve halen yaşanmaktadır. Yaşanmış kurak süreçlerden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, su kıtlığına bağlı olarak kuraklık etkilerinin tüm yaşamsal alanlarda kendini gösterdiği görülmektedir. İnsan, bitki ve hayvanlar için büyük tehlike yaratan kuraklık olgusu, ekonomik ve çevresel etkiler ile birlikte kıtlık, yoksulluk, sosyal huzursuzluk, göç gibi ciddi sosyal etkileri ortaya çıkarmıştır (Erinç, 1969). Bununla birlikte tarımsal üretimin doğrudan yağışa ve yüzey suyuna bağlı olduğu düşünülürse, kuraklığın en büyük etkilerinin tarımsal üretim üzerinde olacağı açıktır.

Kuraklık iklimsel değişimlerle bağlantılı olarak oluşur ve uzun bir süre boyunca (birkaç yıl veya daha uzun) etkili olabilir. Kuraklık olayları, insan yaşamını ve sağlığını, sosyoekonomik ve ekolojik sistemleri doğrudan ya da dolaylı olarak çeşitli düzeylerde etkileme gücüne sahip ciddi bir tehdittir. Uzun süreli kuraklık olayları tarım, orman ve hayvancılığı; yeraltı ve yerüstü kaynaklarını; yeterli ve nitelikli içme suyuna erişimi; enerji üretimini; özellikle de karasal ekosistemleri olumsuz etkilemektedir (Türkeş, 2014).

Kuraklık olayının başlangıç ve bitişinin belirsiz oluşu, birikimli olarak artması, şiddet, süre ve etki alanının daha zor tespit edilmesi ve birden fazla kaynağa aynı anda etki etmesi, izleme ve etki değerlendirmesinin daha zor yapılabilmesi, adı geçen afeti diğer doğal afetlerden ayıran temel özelliklerdendir (Güner, 1996).

Kuraklık, oluşum sırasına göre meteorolojik kuraklık, tarımsal kuraklık, hidrolojik kuraklık ve sosyo-ekonomik kuraklık olmak üzere dört başlık altında değerlendirilmektedir (Wilhite and Glantz, 1985). Uzun zaman içinde yağışın belirgin şekilde normalin altına düşmesi sonucu meteorolojik kuraklık, oluşan bu yağış azalmaları ile bitkinin ihtiyacı olan nemin toprakta azalması ve evapotranspirasyonun artması sonucu tarımsal kuraklık, meteorolojik kuraklığın uzaması durumunda yeraltı su kaynakları, nehir ve göllerin seviyelerinde önemli azalışlar ile hidrolojik kuraklık kendini göstermektedir. Sosyo-ekonomik kuraklık ise meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklığa bağlı olarak ekonomik kazanımlarda ve üretimde ortaya çıkan azalmalar ve temininde ortaya çıkan güçlükler ile ortaya çıkmaktadır (Anonim, 2018b).

Uzun süreli ve geniş alanlı meteorolojik kuraklık sonucunda; toprakta bitkinin kökleriyle kullanabileceği nemin azalması ya da tükenmesi, tarım alanlarının sulanmasında önemli sorunların yaşanması, hidrolojik açıdan barajlarda yeterli miktarda su toplanamaması, içme suyu kaynaklarının yetersiz kalması, çevrenin, toplumsal yaşamın ve sosyoekonomik sistemlerin olumsuz yönde etkilenmesi gibi önemli sorunların ortaya çıkması beklenen sonuçlardır (Türkeş, 2014).

Standart Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) Vicente-Serrano et al. (2010) tarafından, kuraklığın analizi ve izlenmesi için geliştirilmiştir. Bu indis, yağış ve sıcaklık verilerine dayanmaktadır. Matematiksel olarak SPEI, Standart Yağış İndisi (SPI) ile benzerlik göstermektedir. SPEI kuraklık indisinin yaygın olarak kullanılan diğer kuraklık indislerine göre kuraklık değerlendirmesinde avantajı, kuraklığın tanımlamasında evapotranspirasyonu içermesi ve sıcaklık değişkenliğinin etkisine sahip olmasıdır. SPEI, iklimsel su dengesinin açık ve fazla değişimini içeren çoklu sayısal bir karaktere sahiptir ve SPI ile benzer olarak, kısa (1, 3 aylık), orta (6 aylık) ve uzun (12 ve 24 aylık) olmak üzere farklı zaman ölçekleri için hesaplanabilmektedir. SPEI, tarımsal kuraklığın; süre, yoğunluk ve şiddet gibi farklı boyutlarını tanımlamayı, zamansal ve mekânsal boyutta anlamlı bilgiler üretebilmeyi mümkün kılabilir (Vicente-Serrano et al. 2010).

Kuraklık analizinin bir diğerk önemli unsuru, kuraklığın farklı zaman ölçeklerinde gösterdiği değışimdir. Kuraklığın nicel olarak değerlendirilmesinde zaman ölçeği seğimi önemlidir. Bazı kuraklık göstergeleri farklı zaman ölçekleri için hesaplanabilir özelliğe sahiptir. Kuraklık izlemede; kısa zaman ölçeğinde, kurak periyotlar yüksek frekans, nemli dönemler kısa süreli periyotlar halinde görülürken, uzun zaman ölçeğinde kurak periyotlar daha uzun ve düşük frekanstadır. Bu yüzden, farklı iklimlerdeki havza sistemlerinde kuraklığın izlenmesi için farklı zaman ölçekleri kullanılması; kısa zaman ölçeğinde toprak nem içeriği ve havza akım miktarları, orta zaman ölçeğinde baraj depolama miktarı ve nehirlerin ortalama akım miktarı, uzun zaman ölçeğinde ise yeraltı suyu depolama miktarı ile ilgili sonuçlara ulaşılabilmesi açısından yararlıdır (Vicente-Serrano et al, 2010).

Özgürel vd. (2003), Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (PDSI) ve Aydeniz Kuraklık İndisi ile Ege Bölgesi için gerçekleştirdikleri çalışmada; dünyada geniş bir uygulama alanı bulan PDSI indisinin tarımsal kuraklığı daha iyi ifade eden bir indis olduğunu belirtmişlerdir.

Mengü vd. (2004), Ege Bölgesi için SPI ile yaptıkları çalışmada, bölge için kuraklık sınırında bir bulguya rastlamamışlardır. Ancak ele alınan bazı istasyonlarda temmuz ve ağustos aylarında normal seviyede kuraklık yaşandığı sonucuna ulaşmışlardır. Ege Bölgesi ikliminin; Uşak, Afyon, Kütahya ve Gediz'in oluşturduğu İç Batı Anadolu Bölümü ile Kıyı Ege'yi oluşturan Dikili, İzmir, Kuşadası ve Muğla istasyonları arasında, yağış dönemi içerisinde Kıyı Ege kuşağının daha kurak, İç Batı Anadolu Bölümünün daha nemli; yaz döneminde ise İç Batı Anadolu Bölümü daha kurak, Kıyı Ege'nin ise daha nemli bir profil çizdiğini bildirmişlerdir.

Topçuoğlu (2005), Türkiye genelinde 50 istasyona ait iklim verileri ile farklı kuraklık indislerini değerlendirdiği çalışmasında, yıl içinde kuraklığın haziran ayından başlayıp eylül ayına kadar sürdüğünü, 30 yıllık süreçte sıcaklık ile şiddetli yağış miktarlarında artış gözleendiğini belirtmiştir. Deciles kuraklık indisinin diğer yöntemlere göre Türkiye temelinde daha iyi sonuçlar verdiğini, Thornthwaite ve Palmer yöntemlerinin daha küçük ölçekli bitki ve toprak özellikleri konusunda yeterli bilgi bulunan alanlarda kullanılması gerektiğini ifade etmiştir.

Topçuoğlu vd. (2005), Standart Yağış İndisi ile Ege Bölgesi'nde 1977-2006 yılları arasında gerçekleştirdikleri kuraklık analizinde, 1977, 1989, 1990 ve 1992

yıllarında kuraklık yaşandığını ve bu kuraklığın kıyı bölgelerde daha şiddetli hissedildiğini ifade etmişlerdir.

Kukul vd. (2007), Gediz Havzasında, 1966-1998 yılları arasında 14 yağış gözlem noktası ve 4 akım gözlem noktasından elde edilen veriler ile yıllık toplam yağış ve ortalama akarsu akış değerlerindeki trend eğilimlerini inceledikleri çalışmada, trend analizi için Mann-Kendall testi ve kırılım noktasını belirlemek için Pettit testini kullanmışlardır. Kırılım noktasının 1980'li yılların başından itibaren yıllık yağışlarda azalma eğilimi varlığı bulgusuna ulaşmışlardır. Akarsu akım rejimi için de 1980'lerin ortalarından itibaren benzer azalan trend eğilimi tespit edilmiş ve akarsu akış rejimindeki bu azalmanın yağış rejimindeki azalmadan kaynaklı olabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Mengü vd. (2009), Standart yağış İndisi ile Marmara Bölgesi'nde bulunan 32 Meteoroloji istasyonundan elde edilen yağış değerleri ile aylık, 3 aylık ve yıllık olarak kuraklık analizi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, 1975, 1989, 1990, 1992 ve 1993 yıllarında şiddetli kuraklıklar gözlemlendiğini ifade etmişlerdir.

Akkuzu ve Mengü (2010), Küçük Menderes Ovasında Klimatolojik Yağış Açığı İndisine göre yaptıkları çalışmada; ova için yıllık yağış açığı değerlerinin genel olarak 600-800 mm arasında değiştiğini, yağış açığının en yüksek olduğu ayların vejetasyon dönemini kapsamamasından dolayı ovada suyun etkin kullanımının zorunlu olduğunu ifade etmişlerdir.

Güler (2010), çalışmasında Orta Karadeniz Bölgesi'nde bazı iklim verilerinde (yağış, sıcaklık, bağıl nem) deterministik yöntemler (IDW, Spline), stokastik yöntemler (Kriging, Cokriging) ve çoklu doğrusal regresyon yöntemleri ele alınmış ve karşılaştırmalı olarak analiz etmiştir. Çalışmada toplam yağış dağılışı için IDW ve Kriging yöntemlerinin benzer ve birbirine yakın sonuçlar verdiği ortaya koymuştur.

Ölgen (2010), Türkiye genelinde 64 meteoroloji istasyonu yağış verisi ile yağış değişkenliğini incelediği çalışmada, Türkiye yağış değişkenliğinin güneyden kuzeye doğru azaldığını, Ülkemiz genelinde, yağış değişkenliğinin %17-19 arasında olan kuşağın hakim olduğu, kurak ve yarı kurak alanlar ile nemli alanları ayıran katsayı sınırı olan % 25 kuşağının kıyı Ege'yi içine aldığını bildirmiştir.

Vicente-Serrano et al. (2010), yağış ve evapotranspirasyon verilerine dayalı iklimsel su dengesi içeren, farklı zaman serileri için hesaplanabilen Standart Yağış Evapotranspirasyon İndisini (SPEI) geliştirdikleri çalışmada, SPEI'ın; kolay hesaplanabilmesi, evapotranspirasyonu içermesi nedeniyle tarımsal kuraklığı daha iyi ifade ettiğini ve farklı zaman serileri için hesaplanabildiğini, bu yüzden kuraklığın izlenmesi için diğer yöntemlere göre avantajlı bir yöntem olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca potansiyel evapotranspirasyonun hesaplanması için Thornthwaite, Penman-Monteith, Hargreaves gibi farklı yöntemlerin de kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Türkeş (2011), Manisa ve Akhisar bölgesinde bulunan 4 meteoroloji istasyonu için Standart Yağış İndisi (SPI) ve Yıllık Kuraklık İndisi (Kİ) ile yıllık ve mevsimlik zaman dizileri kullanarak kuraklık çözümlemesi yaptığı çalışmada, gözlenen uzun süreli zaman dizilerinin eğilim sınamasını Mann-Kendal yöntemi ile değerlendirmiştir. Sonuç olarak, Manisa ve Akhisar yörelerinde belirgin bir kuraklaşma eğilimi yaşandığını, 2007-2008 döneminde kuraklık olaylarının şiddetlendiğini ifade etmiştir.

Potop ve Mozny (2011), Çekya'da bulunan 4 istasyonun 50 yıllık aylık ortalama sıcaklık, minimum sıcaklık ve yağış verileri ile ETo değerlerini Hargreaves-Samani metodunu kullanarak hesaplamışlar ve SPEI değerlerini kısa orta ve uzun zaman ölçekleri için elde etmişlerdir. Ayrıca çalışmada 10 yıllık dönemler halinde SPEI değerlerinin -1'den küçük olan değerlerin frekanslarını kuraklık süresi bakımından incelemişlerdir. SPEI'ın sadece yağış değerleri ile hesaplanan indislere göre evapotranspirasyonun etkisini içermesi nedeniyle kısa zaman ölçeklerinde tarımsal kuraklığı daha iyi yansıtmaya özelliğine sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Yeşilirmak vd. (2011), Büyük Menderes Havzasında 16 istasyona ait yıllık toplam yağış verilerinin zamansal değişimini Mann-Kendall testi ile sınımlar ve Sen'in Eğim Tahmincisi ile eğimin büyüklüğünü belirlemişlerdir. Çalışmada havza genelinde 1960 yılından bu yana yıllık toplam yağışların azaldığını, istatistiksel olarak ($\alpha=5\%$) önemli olmayan bir azalma trendinin olduğunu, sadece Güney istasyonunda önemli azalış trendi bulduklarını bildirmişlerdir.

Aydın ve Çiçek (2013), Ege Bölgesi'nde 1975-2010 yılları arasında yağışın mekânsal dağılımını inceledikleri çalışmalarında, yağışın değişiminin mekânsal modellenmesinde Ordinary Kriging ve IDW tekniklerini kullanmışlardır.

Araştırmacılar, yağışın mekânsal değişimini Ordinary Kriging yönteminin daha iyi yansıttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Demircan vd. (2013), 1961-2010 döneminde Türkiye’de bulunan 97 meteoroloji istasyonuna ait sıcaklık veri setinden yıllık ve mevsimlik ortalamaların trend değişimlerini Mann-Kendall trend analizi ile değerlendirmişlerdir. Bu trendleri jeoistatistiksel yöntemlerle mekânsal olarak irdelemişlerdir. İlkbahar mevsimi dışında tüm mevsimlerde sıcaklığın artan yönde bir trende sahip olduğunu, 1961-1990 döneminde soğuma trendi, 1981-2010 döneminde sıcaklıkta artış trendinin olduğunu ve jeoistatistiksel yöntemlerin sıcaklık normallerinin karşılaştırılmasında kolaylık sağlayacağını belirtmişlerdir.

Moorhead et al. (2013), Texas’da yürüttükleri çalışmada, bitki düzeyli evapotranspirasyon (ET_c) değerleri ile hesaplanan aylık SPEI değerlerinin, sulama suyu talebi ve su kaynaklarının yönetilmesinde kullanılma olanaklarını istatistiksel açıdan incelemişlerdir. Texas Bölgesi’nde 5 meteoroloji istasyonuna ait 1997-2010 yılları arasındaki iklim verileri ile yaptıkları kuraklık analizi sonucunda, bitki düzeyli SPEI ile sulama suyu ihtiyacı arasındaki ilişkinin güçlü olduğu (R^2 0.87 ile 0.99) ve SPEI indisinin bölgede sulama suyu talebinin tahmin edilmesi için kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Anlı vd. (2014), Ege Bölgesi’nde 1960-2013 yılları arasında 8 istasyonun iklim verileri ile SPEI ve SPI kuraklık indisini karşılaştırdıkları çalışmalarında SPEI ve SPI’ın kurak dönemlerini benzer şekilde tahmin etmede çok fazla farklılık bulunmadığını, SPEI yönteminin referans evapotranspirasyon parametresini içermesi nedeni ile tarımsal kuraklığı tahmin edilmesi açısından daha uygun bir indis olabileceğini bildirmişlerdir.

Macana ve Yeşilirmak (2015) Büyük Menderes Havzasında, 1970-2011 döneminde iklim verilerinin Mann-Kendall testi ile trendlerini, Sen’in Eğim Tahmincisi ile eğilim büyüklüklerini inceledikleri çalışmalarında, yıllık ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık değerlerinde $\alpha \leq 0.05$ önem düzeyinde önemli eğilimler bulmuşlardır. Yıllık maksimum sıcaklık için en yüksek artışın 0.062 °C/yıl ile Yatağan istasyonunda olduğunu, minimum ve ortalama sıcaklık için sırasıyla 0.067 °C/yıl ve 0.050 °C/yıl ile Denizli istasyonunda olduğunu belirlemişlerdir. Bu üç parametrede artan eğilimlerin yaz aylarında görülen önemli artışlar nedeniyle gerçekleştiğini ifade etmişlerdir.

Mengü vd. (2015), Ege Bölgesi'nde Klimatolojik Yağış Açığı İndisi (PD) ile tarımsal kuraklığın zamansal ve mekânsal değişimini incelemiştir. 1975-2008 yılları arasında 31 istasyona ait meteorolojik verileri, Mann-Kendall'a göre trendlerini belirlemiş ve jeostatistiksel yöntemlerle mekânsal değişimi değerlendirmiştir. Buna göre, bölgenin ortalama yağış değerinin 561.9 mm, ET değerinin 1187.6 mm, PD değerinin ise 128 mm ile 980 mm arasında değiştiğini, meteoroloji istasyonlarının büyük çoğunluğunda yağış açığının artan yönde eğilime sahip olduğunu, bu açığın Ege'nin iç kesimlerinde giderek arttığını, İzmir, Manisa, Muğla ve Aydın başta olmak üzere güney ve batı kısmında yağış açığının giderek azaldığını belirtmiştir.

Vicente-Serrano et al (2015), yağış ve referans ET değerleri ile Palmer Kuraklık Şiddet İndisi (PDSI), Rönesans Kuraklık İndisi (RDI), Standart Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) ve Standart Palmer Kuraklık İndisinin (SPDI) duyarlılığını test etmiştir. Araştırmacılar, farklı coğrafyalara göre en düşük duyarlılığı PDSI'nin, en yüksek duyarlılığı SPEI'in verdiğini saptamışlardır. SPEI kuraklık indisinin diğerlerine göre yağış ve referans ET ile eş değer duyarlılık gösterdiğini, yağış ve ET'deki değişkenliği ve kuraklık şiddetini iyi yansıttığını ve farklı geniş iklimsel bölgelerde kuraklık etkisi altındaki iklimsel değişimleri belirlemede kullanılabileceğini belirtmiştir.

Hıms (2016), Standart Yağış İndisi ile Konya ve Ereğli meteoroloji istasyonlarından elde edilen yağış verileri ile gerçekleştirdiği kuraklık analizinde, kısa ve uzun dönem kuraklık analizi sonuçlarının birbirinden farklı olduğunu ve uzun dönem kuraklık değerlerinin kısa döneme göre daha yüksek kuraklık sonucu verdiğini saptamıştır.

Yürekli ve Anlı (2016), Standart Yağış İndisi ile Karaman ilinde kuraklık değerlendirmesine ilişkin yaptıkları çalışmada, Karaman merkez istasyonundan elde ettikleri 1929-2007 yılları arasında ölçülmüş yağış serilerine en uygun Pearson III olasılık dağılımı olduğunu ve genel olarak SPI değerlerinin normale yakın değerlerde olduğunu bulmuşlardır.

Kutiel ve Türkeş (2017), 1970-2011 yılları için Türkiye'deki 69 meteoroloji istasyonuna ait yağış verilerini temel alarak yaptıkları çalışmada, son yağış olayından sonra gerçekleşen en uzun yağışsız günleri belirlemişler ve Akdeniz İklim İndisi ile de kuraklık analizi gerçekleştirmişlerdir. Genel olarak, Türkiye'nin

güney bölümlerinde, Akdeniz kıyısı boyunca, Suriye ve Irak sınır bölgelerinde yüksek düzeyde kuraklık olduğunu bildirmişlerdir.

Zhao et al. (2017), Çin genelinde bulunan 589 meteoroloji istasyonuna ait aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış değerleri ile 1961-2011 yılları arasındaki dönem için SC-PDSI ve SPEI kuraklık indisi değerlerini hesapladıkları çalışmalarında, 9-19 zaman ölçeğinde her iki indisin birbirine yakın sonuçlar verdiğini, SC-PDSI kuraklık indisinin sadece orta ve uzun zaman ölçeğinde kuraklığın izlenmesinde kullanılmasının uygun olduğunu, SPEI kuraklık indisinin ise hem kısa hem de uzun zaman ölçeğinde Çin için kuraklığın izlenmesinde uygun sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir.

Coll et al. (2017), İber Yarımadası'nın 1906-2010 yılları arasındaki süreçte kuraklık değişkenliği ve trendini değerlendirmek amacıyla, yıllık ve sezonluk bazda SPI ve SPEI kuraklık indislerini hesaplamışlardır. Özellikle ilkbahar ve yaz aylarında sıcaklıkların zamanla artış gösterdiğini, SPI ve SPEI kuraklık indislerinin 1980'lere kadar olan süreçte benzer sonuçlar gösterdiğini, 1980-2010 yılları arasında ise SPEI indisinin SPI indisine göre kuraklık şiddeti ve kuraklığın etkilediği alanları belirlemede daha iyi sonuç verdiğini bildirmişlerdir. Bunun nedeninin, SPEI indisinin SPI'ya göre, sıcaklıklarda oluşan artış ve yağışlardaki azalmalarla bağlantılı atmosferik evaporatif talebi içermesinden kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Tong et al. (2018), Moğolistan platosu için 1980-2014 yılları arasında kuraklık analizini SPEI kuraklık indisi ile incelemişlerdir. Kuraklığı, yoğunluk analizi (regresyon), doğrusal regresyon, Mann-Kendall testi, dalgacık analizi, Hust Exponent yöntemleri ile değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, 35 yıllık süreçte 12 aylık SPEI değerlerinin yıllık olarak 0.0133 oranında azaldığını ve ani değişimin 1999 yılında gözlemlendiğini, Moğolistan'da kuraklık şiddetinin 1980 yılından 2014'e doğru artış göstermekte olduğunu ve 21. yüzyılın başlarından itibaren daha kuvvetli bir artış görüldüğünü, gelecekteki kuraklık eğiliminin şu andaki kuraklık eğilimi ile tutarlı olarak artacağını bildirmişlerdir.

Hui-Mean et al. (2018), SPEI yöntemini kullanarak 1, 3, 6 ve 12 aylık dönemler için kuraklığı inceledikleri çalışmada Thornthwaite metodunu kullanarak potansiyel evapotranspirasyon hesaplamışlardır. Potansiyel evapotranspirasyon ve iklimsel su dengesi değerleri (D_i) trend ve eğim değerlerinin belirlemek için, Mann Kendall, Spearman's rho test, Theil-sen tahmincisi yöntemlerini kullanmışlardır.

Kuraklık olayları ve yineleme aralığını belirlemek için SPEI kuraklık indisinden yararlanılmışlardır. Sonuç olarak, D_i değerleri büyük oranda yukarı yönlü eğilim izlerken, PET değerlerinin de aylık ve yıllık bazda çoğu istasyonda yukarı yönlü eğilim gösterdiğini belirlemişlerdir. D_i 'ye göre su fazlalığını özellikle ocak ayında bulmuşlardır. Bulgular yakın gelecekte, karar vericiler ve kullanıcılar için kuraklığın etkilerinin azaltılması adına kuraklığa karşı su kaynaklarının planlanması ve yönetiminde gelişim sağlanacağını, daha çok meteoroloji istasyonu verisi ile topoğrafyanın kuraklığa etkisini araştırılması gerektiğini bildirmişlerdir.

Deng et al. (2018), 1959-2012 yılları arasındaki süreç için Pearl Nehri Havzasında SPEI kuraklık indisini kullanarak yağış ve kuraklığın kısa ve uzun vadeli etkisini analiz etmişlerdir. El Nino ve El Nino Modokinin olası etkisini SPEI değerleri ile açıklamaya çalışmışlardır. Çalışmada, çoğu alanda yıllık ve mevsimlik yağışların az da olsa düşüş gösterdiğini, yıllık ve mevsimsel günlük yağış değerlerinin dar bir alanda azaldığını saptamışlar, aylık yağışların ise düzensiz bir dağılım gösterdiği sonucuna varmışlardır. Çoğu alanda mevsimsel yağış artışına karşın önemli bir eğilim bulamamışlardır. Havza bütününde en yüksek değerlerine ulaşılan kuraklığın, ciddi tehlike oluşturduğunu ve mevsimsel kuraklığın yüksek derecede etkisini arttırdığını belirlemişlerdir. Kuraklık olayının artma trendi içine girmesi ile birlikte yağışların da günlük dağılımlardaki düzensizliği ve sezonluk yağış dağılımındaki değişkenliği arttığını belirtmişlerdir. El nino ve ENSO_M'in sonuçları itibari ile yaz aylarında kuraklık değerlerine yukarı yönlü etkileri olduğunu, kış mevsiminde havzanın güney kısmında yukarı, kuzey kısmında ise aşağı yönlü kuraklık değerlerine etki ettiğini bildirmişlerdir.

Mengü vd. (2018), Büyük Menderes Havzasında Klimatolojik Yağış Açığı İndisi (PD) ile kuraklık analizi gerçekleştirdikleri çalışmalarında, 1975-2014 yılları arasında uzun dönem yıllık ortalama yağışın 574 mm, referans evapotranspirasyonun 1225 mm ve ortalama PD değerinin 651 mm olduğunu belirtmişlerdir. PD değerleri ile yapılan Mann-Kendall trend analizi sonuçlarına göre, havzada değerlendirmeye alınan 6 istasyondan 5'inde artan yönde önemli trend varlığı bulmuşlardır. Bu trendin, azalan yağış ile yüksek oranda artan evapotranspirasyondan kaynaklandığını bildirmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Bölgenin genel tanıtımı

Ege Bölgesi 36°16' - 39°54' Kuzey enlemleri ile 26°12' - 31°44' Doğu boylamları arasında yer almaktadır. Ege Bölgesi yaklaşık 9000 hektar yüzölçümüyle Türkiye topraklarının yaklaşık %11'ini kaplamaktadır. Kuzeyde Marmara Bölgesi'ne, doğuda İç Anadolu Bölgesi'ne, güneydoğuda Akdeniz Bölgesi'ne komşu olan Ege Bölgesi, batıda da Ege Denizi ile çevrilidir. Bakırçay, Gediz, K. Menderes, B. Menderes başlıca akarsularıdır. İç Batı Anadolu'da Susurluk ve Sakarya Akarsularının bazı kolları da bulunmaktadır. Bölge dağları kıyıya dik uzandığı için, girintili-çukurlu yapıya sahiptir ve enine kıyı tipindedir. Ege Bölgesi, Kıyı Ege ve İç Batı Anadolu olmak üzere iki bölüme ayrılır. Ege Bölümü'ndeki iller; İzmir, Manisa, Aydın, Denizli, Muğla, Uşak, Kütahya ve Afyonkarahisar'dır (Anonim, 2018b; Apak, 2009; Mengü vd., 2015).

3.1.2. İklim özellikleri

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 görülür. Yıllık toplam yağış ortalamaları 438-1194 mm arasında değişmekte olup, bölgenin yıllık ortalama yağış miktarı 672 mm'dir. Yıllık ortalama sıcaklıkta coğrafi enlemin etkisiyle güneyden kuzeye, yüksekliğin etkisiyle de batıdan doğuya doğru azalma görülür. En soğuk ay, genellikle ocak ayı, en sıcak ay ise temmuz ayıdır. Bölgede kış ayları sıcaklık ortalaması 2-9 °C arasında, yaz ayları sıcaklık ortalaması 20-27 °C arasında değişmektedir. Ege Bölgesi'nde bulunan illere ait uzun dönem iklim verileri Çizelge 3.1'de verilmiştir (MGM, 2018a; MGM, 2018b).

Çizelge 3.1 Ege Bölgesi uzun yıllar iklim verileri (MGM, 2018b)

İl Adı	Ölçüm Periyodu	Ortalama Sıcaklık (°C)	En Yüksek Sıcaklık (°C)	En Düşük Sıcaklık (°C)	Güneşlenme Süresi (saat)	Yağışlı Gün Sayısı	Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)
Afyon	1929-2017	11.2	17.3	5.0	6.8	106.5	438
Aydın	1940-2017	17.7	24.4	11.8	7.2	78.6	646
Denizli	1956-2017	16.3	22.4	10.6	7.3	90.3	564
İzmir	1938-2017	17.8	22.6	13.4	8.1	77.2	697
Kütahya	1929-2017	10.7	16.9	4.8	6.1	116.3	558
Manisa	1929-2017	16.8	22.8	10.9	6.8	85.6	728
Muğla	1926-2017	15.0	21.1	9.5	7.4	95.4	1194

3.1.3. Tarımsal potansiyel

Ege Bölgesi 28 milyar TL tarımsal Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYH) ile ülkemizin GSYH'nın % 21'ini gerçekleştirmektedir (TÜİK, 2014). Ege Bölgesi toplam tarım alanı 2.795 ha olup, 32 milyar TL tarımsal üretimi ve 3.8 milyar dolar tarımsal ihracat miktarı ile toplam tarımsal ihracatın % 22'sini gerçekleştirmektedir. Bölgede yetiştirilen sanayi bitkileri arasında pamuk, mısır, susam, keten, haşhaş ve şekerpancarı ilk sıralarda yer almaktadır. Kıyı kesimindeki Ege Bölümü'nde verimli tarım topraklarının bulunması ve Akdeniz ikliminin olumlu etkisiyle, ekonomik değeri yüksek olan ihraç ürünleri yetiştirilir. Yağlık ve sofralık zeytin, yaş ve kuru üzüm ile incir başlıca ihraç ürünleridir. Ülkemizdeki incir ağaçlarının yaklaşık olarak %81'i Ege Bölgesi'ndedir. Turunçgiller bölgenin özellikle güney kesiminde yetişir. Ege Bölgesi'nde ekili alanların %58,5'i tahıla, %24,5'i sanayi bitkilerine, %5'i baklagillere ayrılmıştır. Tarımsal nüfus yoğunluğu fazla olan kıyı bölümünde seracılık da yaygındır (GTHB, 2015).

3.1.4. Çalışma alanı meteoroloji istasyonları

Çalışmada, Meteoroloji Genel Müdürlüğüne ait Ege Bölgesi'nde yer alan 29 meteoroloji istasyonundan 1975-2014 yıllarına ait aylık bazda toplam yağış, ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık, oransal nem, güneşlenme süresi, rüzgar hızı gibi iklim verileri kullanılmıştır. Meteoroloji istasyonlarının koordinatları ve özellikleri Çizelge 3.2'de, çalışma alanını gösterir harita ise Şekil.3.1'de yer almaktadır.

Çizelge 3.2 Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının coğrafik özellikleri

İstasyon Numarası	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	27.40494	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



Şekil 3.1 Seçilen meteoroloji istasyonlarının Bölge içindeki konumu

3.2. Yöntem

3.2.1. Meteorolojik verilerin kalite kontrolü ve homojenlik analizi

İklim ile ilgili değerlendirme yapmak için yüksek kalite ve homojenlikte uzun süreli iklim veri serisine ihtiyaç duyulmaktadır. Klimatolojik veriler genellikle iklimsel olmayan bazı faktörlerden (gözlem rutinlerindeki değişiklikler, istasyon değişimleri, ölçme tekniklerindeki değişiklikler ve gözlem uygulamalarındaki değişiklikler) etkilenebilir. Bu nedenle iklimsel verilerin kalite ve homojenlik kontrolü potansiyel hatalı verilerin tespit edilmesi için önemlidir (Agiular et al, 2003).

Aylık, mevsimlik ve yıllık iklimsel verilerin homojenlik kontrolü için parametrik ve parametrik olmayan çok sayıda istatistiksel test yöntemleri mevcuttur. Çalışmada kullanılan yağış değerleri, Winjgaard et al. (2003), tarafından önerilen modele göre; Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT), Buishand Range Testi (Buishand, 1982), Pettitt Testi (Pettitt, 1979) ve Bartels Testi (Bartels, 1982) olmak üzere dört farklı test ile değerlendirilmiştir. Bu testlerden SNHT, Buishand range ve Pettitt testi, seride kırılma noktası olup olmadığını denetlemekte kullanılır. SNHT test serinin başlangıç ve bitişine yakın kırılma noktasını, Buishand ve Pettitt testleri ise serinin ortasında olan kırılma noktalarını kontrol etmekte hassastır. Bu üç test konuma özgü değerlendirme yapmakta olup, konumsal olmayan Bartels testi ise serinin tesadüf dağılıp dağılmadığını kontrol için kullanılmaktadır (Winjgaard et al., 2003).

Winjgaard et al. (2003) tarafından önerilen yaklaşım iki aşamalı olup, birinci aşama iklim veri serilerinin bu dört test ile yıllık olarak kontrol edilmesi, ikinci aşama ise her istasyon bazında bu dört test gruplandırılarak, Çizelge 3.3'teki sınıflamaya göre değerlendirilmesidir.

Çizelge 3.3 Meteorolojik verilerin homojenlik testi sınıflaması (Winjgaard et al., 2003)

Sınıf	Değerlendirme	Açıklama
1	Kullanışlı	En fazla bir test Ho hipotezini %5 hata düzeyinde reddetmiştir. Seri trend ve değişkenlik analizleri için yeterince uygundur.
2	Belirsiz	En fazla iki test Ho hipotezini %5 hata düzeyinde reddetmiştir. Seri kısmen heterojenlik gösterdiğinden trend ve değişkenlik analizleri değerlendirmesinde göz önünde bulundurulmalıdır.
3	Şüpheli	3 veya 4 test Ho hipotezini %5 hata düzeyinde reddetmiştir. Seri trend ve değişkenlik analizlerinde kullanılmamalıdır

Sınıf 1 ve 2'ye giren seriler trend ve değişkenlik analizlerinde kullanılmıştır. Sınıf 3'e giren seriler heterojenlik gösterdiğinden, trend ve değişkenlik analizlerinde marjinal sonuçlar oluşturabilir. 3. sınıfa giren bu serilerin grafiksel metot ve komşu istasyon değerleri ile karşılaştırmalı analizleri yapılmıştır.

Homojenlik testlerinin matematiksel formülasyonları aşağıda verilmiştir. Homojenlik testleri R yazılımı üzerinde "Trend" paket programı (<https://cran.r-project.org/web/packages/trend/index.html>) kullanılarak hesaplanmıştır (Pohlert, 2018).

SNHT test: Alexandersson (1986)'ya göre, ilk k yılındaki ortalama ile son (n-k) yıllarındaki ortalamayı karşılaştıran $T(k)$ istatistiği hesaplanır. Eğer K yılında bir kırılma var ise $T(k)$ değeri k=K yılında maksimum değere ulaşır.

$$T(k) = k\bar{z}_1^2 + (n - k)\bar{z}_2^2 \quad k = 1, \dots, n$$

$$\bar{z}_1 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) / s$$

ve

$$\bar{z}_2 = \frac{1}{n - k} \sum_{i=k+1}^n (Y_i - \bar{Y}) / s$$

$$T_0 = \max_{1 \leq k \leq n} T(k)$$

Buishand Range Testi: Bunishand (1982)'de verilene göre bu test düzeltilmiş kısmi toplamlar olarak tanımlanmaktadır.

$$S_0^* = 0 \quad \text{ve} \quad S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) \quad k = 1, \dots, n$$

Seriler homojen olduğunda S_k^* sifıra yakın bir değer alır. Eğer K yılında bir kırılma varsa, S_k^* $k=K$ yılında maksimum veya minimum yönde değişir. Önemli değişim, maksimum ve minimum S_k^* değerleri arasındaki farkın standart sapmaya oranlanarak elde edilen yeniden ayarlanmış R değeri ile ifade edilir. R/\sqrt{n} kritik değerleri tablosuna göre değerlendirilir.

$$R = (\max_{0 \leq k \leq n} S_k^* - \min_{0 \leq k \leq n} S_k^*) / s$$

Pettitt Testi: Bu test non-parametrik sıra testidir. Y_1, \dots, Y_n yıllarının r_1, \dots, r_n sıra değerleri kullanılarak hesaplanan bir test istatistiğidir.

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

X_k değerleri grafik üzerinde işaretlenir. Eğer E yılında bir kırılma mevcut ise, test değeri bu yılda maksimum veya minimum değerini alır. Kritik X_E değerleri tablosu Pettitt (1979) tarafından verilmiştir.

$$X_E = \max_{1 \leq k \leq n} |X_k|$$

Bartels testi: Bartels (1982), tarafından önerilen, serinin rastlantısallığını belirlemek için kullanılan Van Neumann's ratio testin sıra testidir. X_1, \dots, X_n yıllarının r_1, \dots, r_n sıra değerleri kullanılarak hesaplanan bir test istatistiğidir.

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n (r_i - r_{i+1})^2}{\sum_{i=1}^n (r_i - \bar{r})^2}$$

3.2.2. Standart yağış evapotranspirasyon indisi (SPEI)

SPEI kuraklık indisi, yağış ve iklim verilerinin kombinasyonuna dayanan çoklu sayısal bir karaktere sahiptir. SPEI kuraklık indisi Vicente-Serrano et al. (2010), tarafından geliştirilen, aylık iklimsel su dengesinin (D_i) farklı zaman ölçeklerindeki değişimini esas alan bir indistir.

SPEI hesaplama prosedürü aşağıdaki adımlara dayanmaktadır:

- i) Referans evapotranspirasyonun (ET_o) hesaplanması,
- ii) Farklı zaman ölçeklerinde iklimsel su dengesi açığının ($D_i = P_i - ET_o$) hesaplanması
- iii) SPEI indis serisi elde etmek için Log-lojistik olasılık dağılımı kullanılarak su dengesinin normalize edilmesi.

Referans evapotranspirasyonun hesaplanması için FAO-56'da belirtilen Penman-Monteith referans evapotranspirasyon yöntemi kullanılmış ve aşağıda yer alan eşitlik ile hesaplanmıştır (Allen et al., 1998).

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

Eşitlikte;

ET_o : Referans evapotranspirasyon[mm gün⁻¹],

Rn : Bitki yüzeyi net radyasyon [MJ m⁻² gün⁻¹],

G : Toprak ısı akısı yoğunluğu [MJ m⁻² gün⁻¹],

T : Sıcaklık [°C],

u_2 : 2 m yükseklikte ölçülmüş rüzgar hızı [m s⁻¹],

e_s : Ortalama hava sıcaklığındaki doymuş buhar basıncı [kPa],

e_a : Ortalama hava sıcaklığındaki gerçek buhar basıncı [kPa],

Δ : Buhar basıncı eğrisinin eğimi [kPa °C⁻¹],

γ : Psikrometrik sabite [kPa °C⁻¹]

Referans evapotranspirasyon (ET_o) değerleri 1975-2014 dönemi için aylık bazda Cropwat 8.0 programı kullanılarak hesaplanmıştır (Smith, 1992).

Bir sonraki adım olan aylık iklimsel su dengesi açığı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$D_i = P_i - ET_o$$

Eşitlikte, D_i ; İklimsel su dengesi açığı (mm), P_i : toplam yağış miktarı (mm), ET_o : referans evapotranspirasyon (mm), ifade etmektedir. Hesaplanan aylık iklimsel su dengesi değerlerinin farklı zaman ölçeklerinde (1, 3, 6 ve 12) kümülatif olarak toplamı alınır. Seçilen zaman ölçeğinde su dengesi kümülatif birikimi $D_{i,j}^k$, belirli bir aydaki (j) ve yıldaki (i), seçilen zaman ölçeğine (k) göre hesaplanan farkların toplamıdır.

Zaman serileri için SPEI değerleri hesaplamasında üç parametrelili Log-lojistik dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılmaktadır. Üç parametrelili dağılımlarda x , $\gamma > x < \infty$ (γ dağılım kaynaklı parametredir) aralığında değerler alabilir ve x , D_i serisinde çoğunlukla bulunan negatif değerleri alabilir.

Üç parametrelili Log-lojistik dağılım olasılık yoğunluk fonksiyonu:

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta} \left(1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta} \right)^{-2}$$

Eşitlikte D değerleri aralığı $\gamma > D < \infty$ içinde α, β ve γ sırası ile ölçek, şekil ve orijin parametreleridir.

Her zaman ölçeğinde D_i serisinin standartlaştırılması, Log-lojistik dağılımda benimsenen aşağıdaki eşitlik ile elde edilir.

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x-\gamma} \right)^{\beta} \right]^{-1}$$

$F(x)$ değeri daha sonra aşağıdaki yaklaşım vasıtasıyla normal değişkene dönüştürülür.

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3}$$

$$W = \sqrt{2 \ln(P)}, P \leq 0.5$$

P : Kararlı bir D değeri aşma olasılığı, $P=1-F(x)$.

Eğer $P > 0.5$ ise, $1-P$ ile değiştirilir ve sonuçtaki SPEI işareti tersine çevrilir.

SPEI ortalama değeri 0 (sıfır) ve standart sapması 1'dir. SPEI standardize edilmiş bir değişkendir ve bu nedenle zaman ve alan üzerinden diğer SPEI değerleri ile mukayese edilebilir.

SPEI değerlerinin kuraklık şiddeti sınıflaması Çizelge 3.4'de yer almaktadır.

Çizelge 3.4 SPEI indisi kuraklık şiddeti sınıflaması (McKee et al., 1993)

Sınıflandırma	SPEI
Çok Şiddetli Nemli	$\geq +2$
Şiddetli Nemli	$\geq +1.5$ ile $<+2$
Orta derecede nemli	$\geq +1$ ile $<+1.5$
Normal	> -1 ile $<+1$
Orta derecede kurak	> -1.5 ile ≤ -1
Şiddetli Kurak	> -2 ile ≤ -1.5
Çok Şiddetli Kurak	≤ -2

Sayısal SPEI değerleri çalışma alanındaki istasyonlar için 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde, açık kaynak kodlu R yazılımında SPEI paket programı kullanılarak hesaplanmıştır (Begueria and Vicente-Serrano, 2017). Hesaplanan SPEI değerleri zaman serisi olarak grafiklendirilmiş, kuraklık şiddeti ve süresi bakımından da grafik üzerinden değerlendirilmiştir.

SPEI zamansal serileri 10'ar yıllık periyotlar halinde $SPEI \leq -1$ olan ardışık ayların toplam sayısı, 10 yıllık periyottaki ay sayısına oranlanarak n/m oranı belirlenmiş ve frekans üzerinden kuraklık süresi bakımından değerlendirilmiştir.

Burada, n/m oranında; n: SPEI ≤ -1 olan ardışık ayların sayısını, m: 10 yıllık periyotta değerlendirilmeye alınan ay sayısını ifade etmektedir (Potop ve Mozny, 2011).

3.2.3. Zamansal analiz

Kuraklık ve kuraklığa etki eden parametrelerin analizinde parametrik olmayan testlerden yararlanılabilmektedir. Parametrik olmayan testler, rastgele değişkenin dağılımından bağımsız olan değerlendirmeler olup, gözlemlerin sıralamalarına (rank) dayanmaktadır (Akyürek vd., 2004).

Çalışmada farklı zaman ölçeklerinde (1, 3, 6, 12 ve 24 aylık) hesaplanan SPEI değerlerinin 1975-2014 dönemine ait trend analizi Mann-Kendall testine göre yapılmıştır. Sen'in eğim tahmincisi ile de birim zamandaki değişim (eğim) belirlenmiştir.

Mann-Kendall trend testi

Kendall'in Tau istatistiği olarak bilinen test, hidrometeorolojik verilerin trendlerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan parametrik olmayan bir yöntemdir. Mann-Kendall test istatistiği olan S aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır (Mann, 1945; Kendall, 1975; Yu et al., 1993).

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$$

$$\begin{aligned} &= 1 \quad \text{eğer} \quad x_j - x_k > 0 \\ \text{sgn}(x_j - x_k) &= 0 \quad \text{eğer} \quad x_j - x_k = 0 \\ &= -1 \quad \text{eğer} \quad x_j - x_k < 0 \end{aligned}$$

S'nin varyansı;

$$\text{VAR}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$$

eşitliği ile hesaplanır. Eğer zaman serisinde eşit değerler varsa;

$$\text{VAR}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_t t(t-1)(2t+5)}{18} \quad \text{şeklinde hesaplanır.}$$

Mann-Kendall testinin önemli olup olmadığı, Z 'nin aşağıdaki eşitlikte hesaplanıp kritik Z değeri ile karşılaştırılması ile belirlenir.

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{Eğer } S > 0 \\ 0 & \text{Eğer } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{Eğer } S < 0 \end{cases}$$

Eğer seçilen $\alpha=0.05$ anlamlılık seviyesinde $|z| \leq z_{\alpha}$ ise H_0 hipotezi kabul edilir, aksi halde reddedilir. Hesaplanan Z değeri pozitif ise artan, negatif ise azalan bir trendin varlığı mevcuttur.

Modifiye Mann-Kendall trend testi

Trend analizi çalışmalarında dikkat edilmesi bir konu zaman serisinin kendi içindeki seri korelasyonu, yani otokorelasyondur. Bir zaman serisinde otokorelasyonun varlığı, seride trendin olmadığını savunan sıfır hipotezinin reddedilmesine ve seride gerçek bir trend yok iken olmayan trendlerin tespit edilmesine neden olmaktadır (Hamed ve Rao, 1998).

Mann-Kendall testi, Hamed ve Rao (1998) tarafından otokorelasyonun varlığını da hesaba katacak şekilde yeniden düzenlenmiştir. Bu düzenlenmiş yöntemde S istatistiklerinin varyansı aşağıdaki formül aracılığı ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Var}(S') = [n(n - 1)(2n + 5)/18] \frac{n}{n_S^*}$$

Burada $\frac{n}{n_S^*}$ otokorelasyon düzeltme faktörünü temsil etmektedir ve aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$\frac{n}{n_S^*} = 1 + \frac{2}{n(n - 1)(n - 2)} \sum_{i=1}^{n-1} (n - i)(n - i - 1)(n - i - 2)\rho(i)$$

Burada $\rho(i)$ zaman serisinin ranklarının otokorelasyon fonksiyonunu temsil etmektedir.

Otokorelasyona sahip olan serilerde bulunan trendin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı, yeni Z değerinin aşağıdaki eşitlik ile hesaplanarak kritik Z değerleriyle karşılaştırılması ile belirlenir.

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{Var}(S')}} & \text{Eğer } S > 0 \\ 0 & \text{Eğer } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{Var}(S')}} & \text{Eğer } S < 0 \end{cases}$$

Elde edilen Z değerleri $\alpha=0.05$ anlamlılık düzeyi için standart normal dağılım tablosundan elde edilen $Z_{\alpha/2}$ değeri ile kıyaslanır. Eğer $|Z| > Z_{\alpha/2}$ ise H_0 hipotezi reddedilir ve seride istatistiki olarak anlamlı bir trend vardır denir. Z değeri negatif ise azalan, pozitif ise artan yönde bir eğilim vardır.

Bu çalışmada kullanılan meteorolojik veriler seri korelasyon (otokorelasyon) gösterdiğinden Mann-Kendall Trend analizi için Hamed and Rao (1998)'de verilen Modifiye Mann-Kendall Trend analizi yöntemi kullanılmıştır.

Sen'in eğim tahmincisi

Zaman serisinde bir trend mevcut ise eğim parametrik olmayan bir yöntem kullanarak belirlenebilir. Sen'in eğim tahmincisi ekstrem değerlerden etkilenmeyen ve eksik kayıtların olduğu serilere uygulanabilen, Mann-Kendall testiyle yakından ilişkili parametrik olmayan bir yöntemdir (Sen, 1968; Şen, 2014). Burada, j ve k zamanlarındaki veriler x_j ve x_k olmak üzere ($j > k$ olmak şartı ile) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$Q_i = \frac{(x_j - x_k)}{(j - k)}$$

Hesaplanan Q_i değerleri küçükten büyüğe sıralanır ve Q_i değerlerinin medyanı lineer trend eğim parametresini tahmin etmek için kullanılan bir istatistiktir.

3.2.4. Mekansal analiz

Jeoistatistik analiz

Jeoistatistiğin genel amacı mekânsal referanslı verilerin uzaysal dağılımını tahmin etmektir. Belli bir alan içerisindeki örneklenen noktaların uzaysal ilişkisinden faydalanarak örneklenmemiş bir noktayı tahmin etmek için Jeostatistik yöntemlerden faydalanılır (Mulla and Mc Bratney, 2001). Jeostatistik kavramı, mekânsal referanslı verilerin ayırt edici niteliklerinin belirlenmesi ve tahmin edilmesinde kullanılan deterministik ve stokastik metotlara işaret eder. Deterministik ve stokastik olarak bilinen iki farklı enterpolasyon yöntemi vardır. Deterministik yöntemler enterpolasyon işleminde matematiksel fonksiyonları kullanırken, stokastik yöntemler tahmin işlemindeki belirsizlik ve hataları da ortaya koyabilecek şekilde hem matematiksel hem de istatistiksel fonksiyonları dikkate alarak işlem yapmaktadır. Bir sürecin deterministik olması, süreci meydana getiren değişkenin oluşumunda olasılık kanunları değil matematiksel bir bağıntının var olduğu kabulüne dayanmaktadır (Teltik, 2008).

Deterministik yöntemlerin içerisinde en çok kullanılan yöntemlerden biri Ters Mesafe Ağırlıklı (Inverse Distance Weighted, IDW) enterpolasyon yöntemidir (Aydın ve Çiçek, 2013). IDW yönteminde, iki nokta arasındaki ilişkinin ve benzerliğin, aralarındaki mesafeyle orantılı olduğu varsayılır. Buna göre, bilinmeyen noktanın tahmininde, bilinen noktaların yakın olanlarına çok, uzak olanlarına az ağırlık vererek tahmin yapılır (Franke and Nielson, 1980). IDW aşağıdaki formülle ifade edilir;

$$\hat{Z} = \frac{\sum_{i=1}^N W(X_i)Z(X_i)}{\sum_{i=1}^N W(X_i)}$$

$$W(X_i) = \|X_i - X_0\|^{-p}$$

Eşitlikte; N , bilinen ölçüm noktasının toplam sayısını; $W(X_i)$, i 'inci bilinen konumdaki ağırlığı; $Z(X_i)$ ise, i 'inci konumdaki yağış miktarını ifade eder. Formülde kullanılan ağırlıklar, ikinci formülden elde edilir. Örnek noktası (X_0) ve tahmin noktası arasındaki mesafeyi (X_i) ifade eder. Formülde geçen p , üstel katsayıdır (power/güç). IDW'nin doğruluğunu etkileyen ana faktör p parametresinin değeridir (Burrough and McDonnell, 1998). p parametresinin değeri 1'den 5'e kadar değişebilir (Goovaerts, 2000; Lloyd, 2005). En yaygın seçilen p

değeri 2'dir ve bu şekilde uygulanan metot genellikle ters kare mesafe yöntemi olarak adlandırılmaktadır. IDW, p değeri sıfır olduğunda hareketli ortalama, 1 olduğunda doğrusal enterpolasyon ve birden farklı olduğunda ise ağırlıklandırılmış hareketli ortalama olarak tanımlanmaktadır (Hosseini et al., 1993; Brus et al., 1996; Burrough and McDonnell, 1998). Bu çalışmada, literatürde yer alan benzer çalışmalarda güç değeri olarak kullanılan 2 güç değeri kullanılmıştır.

Çalışmada altlık olarak Ege Bölgesi'ndeki il sınırları haritası kullanılmıştır. Alansal dağılım haritalarının hazırlanması için ArcGIS 10.2 CBS yazılımı (ESRI, 2012) kullanılmıştır. P, Di ve zaman ölçeklerine göre SPEI değerlerine ait Sen'in Eğim Tahmincisi değerlerinin tahmin haritaları IDW yöntemine göre oluşturulmuştur. SPEI Sen'in eğim tahmin haritaları üzerinde SPEI değerleri için hesaplanan Mann-Kendall trend analiz sonuçları simge olarak gösterilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Homojenlik Testi Sonuçları

Çalışmada, Ege Bölgesinde yer alan 29 meteoroloji istasyonuna ait iklim parametreleri kullanılmıştır. Verilerin kontrol işlemlerinin ardından 29 meteoroloji istasyonuna ait aylık toplam yağış değerleri homojenlik testine tabi tutulmuştur. Winjgaard et al. (2003)'e göre; standart normal homojenlik testi (SNHT), Buishand range testi (Buishand, 1982), Pettitt testi (Pettitt, 1979) ve Bartels testi (Bartels, 1982) uygulanmıştır. Test sonuçları $\alpha=0.95$ güven düzeyinde değerlendirilmiş ve tüm test sonuçlarına göre Winjgaard et al (2003)'te verilen sınıflandırma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Homojenlik test sonuçlarına göre; SNHT testi ile İzmir, Gediz ve Kütahya istasyonları, Buishand testi ile Dikili ve Gediz istasyonları, Bartells testi ile Aydın, Dikili, Gediz, Kütahya istasyonlarından elde edilen yağış verilerinin türdeş olmadığı belirlenmiştir. Pettitt testi sonuçlarına göre tüm istasyon verileri homojen bulunmuştur.

Winjgaard et al. (2003)'te belirtilen sınıflandırmaya göre 29 istasyon içerisinde, Dikili ve Kütahya istasyon verileri 2.sınıf (Belirsiz – Dikkatli kullanılması önerilmekte), Gediz istasyonu verileri 3.sınıf (Şüpheli – Kullanılması önerilmemekte) sınıfında yer almıştır.

Meteorolojik gözlem sonuçlarında homojenliği bozan eğilimler ve ani sıçramalar atmosferik hava hareketlerindeki değişikliklerden ve geniş ölçekli bölgesel fiziksel bir mekanizmanın varlığından kaynaklanabilir (Mengü vd., 2015). Bu yaklaşıma dayanılarak belirsiz ve şüpheli sınıfına giren bu 3 istasyon verileri komşu istasyon verileri ile değerlendirilmiştir. SNHT testine göre Gediz ve Kütahya istasyonları 1981 yılında, Buishand testine göre Dikili 1982, Gediz 2003 yılında kırılım gösterdiği saptanmıştır. Gediz istasyonunda kırılımın olduğu 1981 ve 2003 yıllarında komşu istasyonları olan Kütahya ve Tavşanlı istasyonlarında benzer değişimlerin olduğu ve bu kırılımın bölgesel hava hareketi varlığından kaynaklandığı görülmektedir. Dikili istasyonu komşusu olan Bergama istasyonu verileri ile birlikte değerlendirildiğinde, 1982 yılında doğal hava hareketlerinden dolayı aynı değişim olduğu görülmüştür. Komşu istasyonlar ile yapılan bu değerlendirmelere göre kırılımların doğal hava hareketlerinden kaynaklandığı

sonucuna varılmış ve çalışmada bu 29 istasyonun tamamının yağış verileri kullanılmıştır.

Çizelge 4.1 Ege Bölgesi aylık ortalama yağış değerleri homojenlik test sonuçları

İstasyon Adı	SNHT	Buishand	Pettitt	Bartells	Sınıf
Bolvadin	H	H	H	H	1
Emirdağ	H	H	H	H	1
Afyon	H	H	H	H	1
Aydın	H	H	H	HD	1
Kuşadası	H	H	H	H	1
Nazilli	H	H	H	H	1
Sultanhisar	H	H	H	H	1
Güney	H	H	H	H	1
Denizli	H	H	H	H	1
Bergama	H	H	H	H	1
Çeşme	H	H	H	H	1
Dikili	H	1982	H	HD	2
Menemen	H	H	H	H	1
İzmir	2005	H	H	H	1
Gediz	1981	2003	H	HD	3
Kütahya	1981	H	H	HD	2
Simav	H	H	H	H	1
Tavşanlı	H	H	H	H	1
Akhisar	H	H	H	H	1
Manisa	H	H	H	H	1
Salihli	H	H	H	H	1
Bodrum	H	H	H	H	1
Datça	H	H	H	H	1
Fethiye	H	H	H	H	1
Köyceğiz	H	H	H	H	1
Marmaris	H	H	H	HD	1
Muğla	H	H	H	HD	1
Milas	H	H	H	H	1
Yatağan	H	H	H	H	1

4.2. Yağış (P) ve Referans Evapotranspirasyon (ET_o) Değerleri

Ege Bölgesi'nde yer alan 29 meteoroloji istasyonuna ait yıllık toplam yağış (P), referans evapotranspirasyon (ET_o) ve iklimsel su dengesi açığı (Di) değişimleri Çizelge 4.2 ve 4.3'de verilmiştir.

Ege Bölgesi'nde bulunan 29 meteoroloji istasyonunun 1975-2014 döneminde yıllık yağış toplamı 380-1164 mm arasında değişmiştir. En yüksek yıllık toplam yağış miktarı 1164 mm ile Marmaris istasyonunda, en düşük yağış miktarı 380 mm ile Bolvadin istasyonunda ölçülmüştür. Aynı dönem için bölgenin ortalama yağış değeri 632 mm olarak hesaplanmıştır. Yağış değerleri en yüksek 890 mm ile 1981 yılında, en düşük 416 mm ile 2011 yılında gerçekleşmiştir. Bölgenin ortalama yağış değerine göre 1975 ile 2014 yılları arasında 10'ar yıllık periyotlar halinde değerlendirildiğinde 1975-1984 yılları arasında 2 (1977,1982), 1985-1994 arasında 8, 2005-2014 arasında 6 kez ortalamanın altında yağış gerçekleşirken; en düşük iki yağış 2005-2014 arasındaki 10 yıllık dönemde 2011 ve 2008 yıllarında gözlenmiştir.

Ege Bölgesi'nde, 40 yıllık dönemde Penman-Monteith yöntemine göre hesaplanan ortalama yıllık toplam referans evapotranspirasyonun değerleri 920-1593 mm arasında değişiklik göstermiştir. ET_o değeri en yüksek 1593 mm ile Datça, en düşük 920 mm ile Kütahya merkez istasyonunda elde edilmiştir. Bölgenin ortalama ET_o değeri 1201 mm'dir. Yıllar bazında değerlendirildiğinde; ET_o, en yüksek 1399 mm ile 2007 yılında, en düşük 1107 mm ile 2011 yılında görülmüştür. 10'ar yıllık periyotlarda 1975-84'te 3, 1985-94'te 8, 1995-2004'te 7, 2005-2014'te 4 kez ortalamanın üzerinde ET_o değerleri olduğu görülmektedir. 1985-1994 arasındaki 10 yıllık dönemde yağış değerleri 8 yıl ortalamanın altında, ET_o değerleri 8 yıl ortalamanın üzerinde seyretmiştir. Buna göre söz konusu dönem, yağışın düşük, buharlaşmanın yüksek olduğu kurak periyot olarak göze çarpmaktadır. Diğer yandan 2007 yılında en yüksek ET_o değeri görülürken, 2008 yılında en düşük ikinci yağış değeri kayda geçmiş olup noktasal bazda 2007-2008 yılları bu 40 yıllık dönemde en düşük ekstrem değerlerin olduğu yıllar olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.2 Meteoroloji istasyonlarına ait ortalama yıllık yağış (P), yıllık ortalama referans evapotranspirasyon (ET_o) ve yıllık ortalama iklimsel su dengesi (D_i) değerleri

İstasyon Adı	Yağış (P) (mm)	ET _o (mm)	D _i (mm)
Bolvadin	380	1083	-703
Emirdağ	391	1072	-680
Afyon	405	1035	-630
Aydın	621	1208	-587
Kuşadası	596	1241	-645
Nazilli	560	1228	-667
Sultanhisar	588	1180	-592
Güney	505	1412	-907
Denizli	531	1108	-577
Bergama	622	1327	-705
Çeşme	561	1162	-601
Dikili	559	1141	-582
Menemen	504	1320	-816
İzmir	681	1397	-716
Gediz	535	1057	-522
Kütahya	522	920	-398
Simav	762	939	-178
Tavşanlı	462	935	-473
Akhisar	554	1343	-789
Manisa	697	1285	-587
Salihli	479	1198	-719
Bodrum	646	1457	-810
Datça	663	1593	-930
Fethiye	831	1189	-358
Köyceğiz	1066	1161	-95
Marmaris	1164	1263	-100
Muğla	1104	1168	-65
Milas	693	1220	-526
Yatağan	640	1196	-556
Ortalama	632	1201	-569

Çizelge 4.3 Yıllar bazında Ege Bölgesi yıllık toplam yağış (P), referans evapotranspirasyon (ET_o) ve iklimsel su dengesi (D_i) değerleri

Yıl	Yağış (mm)	ET _o (mm)	D _i (mm)
1975	702	1189	-487
1976	671	1147	-475
1977	515	1277	-762
1978	824	1216	-392
1979	786	1196	-410
1980	693	1180	-486
1981	890	1209	-319
1982	611	1152	-541
1983	669	1129	-459
1984	664	1175	-511
1985	589	1242	-653
1986	627	1223	-595
1987	583	1210	-628
1988	686	1207	-521
1989	463	1253	-790
1990	461	1248	-787
1991	521	1162	-640
1992	443	1194	-751
1993	571	1238	-667
1994	670	1265	-595
1995	653	1219	-567
1996	707	1208	-501
1997	687	1166	-479
1998	819	1188	-369
1999	618	1209	-591
2000	553	1203	-650
2001	763	1229	-465
2002	703	1135	-432
2003	710	1205	-496
2004	570	1219	-649
2005	705	1180	-475
2006	556	1157	-601
2007	583	1399	-816
2008	421	1241	-820
2009	724	1136	-413
2010	546	1158	-612
2011	416	1107	-691
2012	537	1208	-671
2013	682	1224	-543
2014	677	1148	-471
Ortalama	632	1201	-569

4.3. İklimsel Su Dengesi (Di) Değerleri

Çizelge 4.2 ve 4.3'e göre çalışma alanındaki meteoroloji istasyonlarında iklimsel su dengesi açığı (Di) en yüksek -930 mm ile Datça'da, en düşük -65 mm ile Muğla'da bulunmuştur. Bölgede yıllar bazında iklimsel su dengesi açığı, en yüksek açık -820 mm ile 2008 yılında, en düşük açık -319 mm ile 1981 yılında hesaplanmıştır. Ege Bölgesi'nde Mengü vd. (2015) tarafından Klimatolojik Yağış Açığı (PD) yöntemine göre yapılan çalışmada, en düşük yağış açığı değeri Muğla istasyonunda, en yüksek yağış açığı değeri Datça istasyonunda bulunmuşlardır.

1975-1984 arasında 1, 1985-1994 arasında 9, 1995-2004 arasında 3 ve 2005-2014 arasında 6 yıl ortalamasının üzerinde açık elde edilmiştir. 2007 ve 2008 yıllarında en yüksek iklimsel su dengesi açığı görülürken, en fazla 1985-1994 yılları arasındaki 10 yıllık periyotta görülmüştür. Mengü vd. (2015), Ege Bölgesi'ndeki PD çalışmalarında, 2007 ve 2008 döneminde kuraklığın şiddetlendiğini bildirmişlerdir.

İstasyonların yıllar bazında en düşük ve en yüksek iklimsel su dengesi açığı değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir. Çizelge 4.4'e göre en yüksek açık 1990 yılında -1497 mm ile Datça istasyonunda, en düşük açık ise 1981 yılında +455 mm ile Muğla istasyonunda elde edilmiştir. İstasyonlar bazında yıllara göre iklimsel su dengesi en yüksek açık değerleri 2007 yılında 6, 1977 yılında 4, 2008, 2010, 2011 ve 1992 yıllarında 3 istasyonda görülmüştür. Özellikle 2007 yılında, Bergama, Bolvadin, Gediz, Güney, İzmir Merkez ve Manisa Merkez istasyonlarında yüksek açık değerleri elde edilmiştir. En düşük açık değerleri 1981 yılında 5, 2009 ve 2010 yılında 4 istasyonda kayıtlara geçerken, 1981 yılında İzmir, Köyceğiz, Milas, Muğla ve Simav en düşük açık değerlerine sahip istasyon olmuşlardır. 1975-2014 döneminde iklimsel su dengesi, 20 istasyonda ortalamasının üzerinde açık göstermiştir.

Her bir yılın bölge ortalamasına göre istasyon iklimsel su dengesi açığı değerleri incelendiğinde, ortalamasının üzerinde en fazla açık gösteren istasyon sayısı, 2007 ve 2013 yıllarında 20, en az açık gösteren istasyon sayısı ise 13 ile 1985 ve 1987 yıllarında bulunmuştur. Kütahya, Gediz, Tavşanlı, Simav, Muğla, Marmaris, Milas, Köyceğiz ve Fethiye diğer istasyonlara göre yıllar bazında tüm istasyon ortalamalarından daha düşük açık değerleri göstermişlerdir.

İstasyonlar bazında, 40 yıllık dönemdeki ortalama ile yıllar bazındaki ortalama değerleri karşılaştırıldığında, Akhisar istasyonu 23 yıl, Kuşadası ve Nazilli istasyonları 22 yıl ortalamanın üstünde açık göstererek en fazla yıl açık gösteren istasyonlar olmuştur.

Çizelge 4.4 İstasyonlara ait iklimsel su dengesi açığı ekstrem değerleri

İstasyon Adı	En Yüksek Açık		En Düşük Açık	
	Di (mm)	Yıl	Di (mm)	Yıl
Bolvadin	-1027	2007	-477	2003
Emirdağ	-920	1989	-463	1991
Afyon	-882	2010	-437	1997
Aydın	-876	1992	-220	2009
Kuşadası	-891	1992	-228	1982
Nazilli	-950	2011	-219	1979
Sultanhisar	-960	2012	-190	1978
Güney	-1415	2007	-490	1983
Denizli	-906	2008	-329	1978
Bergama	-1100	2007	-414	2010
Çeşme	-941	1977	-273	2002
Dikili	-1002	2008	-144	1998
Menemen	-1163	1994	-432	2010
İzmir	-1182	2007	-193	1981
Gediz	-869	2007	-224	1983
Kütahya	-670	2010	-15	1975
Simav	-556	2013	374	1981
Tavşanlı	-691	2011	-209	1997
Akhisar	-1043	1994	-488	2010
Manisa	-1016	2007	-217	2010
Salihli	-976	2008	-509	1998
Bodrum	-1381	1992	-397	1996
Datça	-1497	1990	-554	2009
Fethiye	-744	1977	251	2009
Köyceğiz	-632	2011	383	1981
Marmaris	-726	2010	403	2014
Muğla	-641	1977	455	1981
Milas	-1001	1977	-224	1981
Yatağan	-908	1989	-71	2009

4.4. Standart Yağış Evapotranspirasyon İndisi Değerleri

Çalışmada, Ege Bölgesi'nde bulunan 29 meteoroloji istasyonu için 1975-2014 yılları arasındaki 40 yıllık dönemde SPEI değerleri kısa (1 ve 3 ay), orta (6 aylık) ve uzun (12 ve 24 ay aylık) zaman ölçeklerinde hesaplanarak kuraklık analizi yapılmıştır. Elde edilen SPEI değerleri zamansal değişim diyagramları Ek 1'de verilmiştir. Grafikler üzerinde kuraklık şiddeti ile süresi alansal ve renkli olarak ifade edilmiştir. SPEI diyagramları üzerinde mavi renk ile kuraklığın olmadığı nemli dönemleri (pozitif SPEI değerleri), kırmızı renk ile kurak dönemleri (negatif SPEI değerleri) ifade etmektedir.

SPEI değerlerinin, zaman ölçeklerine göre istasyonlar bazında negatif yönde en düşük değerleri Çizelge 4.5'de verilmiştir. SPEI değerleri kuraklık şiddeti bakımından McKee et al. (1993)'e göre, $SPEI \leq -1$ olduğu periyotlar kurak, $SPEI \leq -2$ olduğu zaman çok şiddetli kurak olarak belirtilmiştir. Buna göre istasyonlar bazında 1, 3, 6, ve 12 aylık zaman ölçeklerinde 2007 yılı, 24 aylık zaman ölçeğinde 2008 yılı çok şiddetli kuraklıkların çoğunlukla kaydedildiği yıllar olmuştur. En düşük SPEI değeri zaman ölçeklerine göre; 1 aylık dönemde -4.32 ile Afyon istasyonunda 2007 yılı eylül ayında, 3 aylık dönemde -6.67 ile Çeşme'de 2007 yılı eylül ayında, 6 aylık dönemde -3.14 ile Nazilli'de 2007 yılı eylül ayında, 12 aylık dönemde -2.72 ile Bergama'da 2007 yılı kasım ayında, 24 aylık dönemde -2.59 ile İzmir'de 2008 yılı aralık ayında hesaplanmıştır. 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 farklı zaman ölçeklerinde tüm istasyonlarda çok şiddetli kurak dönemler olduğu saptanmıştır. En yüksek SPEI değerleri; 1 aylık zaman ölçeğinde 1994 yılında 3.70 ile Milas, 3 aylık zaman ölçeğinde 2002 yılında 3.11 ile Menemen, 6 aylık zaman ölçeğinde 1983 yılında 2.95 ile Güney, 12 aylık zaman ölçeğinde 2013 yılında 2.69 ile Milas, 24 aylık zaman ölçeğinde 1999 yılında 3.22 ile Dikili istasyonlarında hesaplanmıştır.

Topçuoğlu vd. (2008), Ege Bölgesi'nde kuraklığı inceledikleri çalışmada, 1989-1992 yılları arasında kuraklığın gözlendiğini bildirmişlerdir. Türkeş (2011), 2007-2008 döneminde kuraklığın Manisa ve Akhisar yörelerinde belirgin bir şekilde etkisini gösterdiğini bildirmiştir. Mengü vd. (2004), Ege Bölgesi'nde SPI kuraklık indisine göre yaptıkları değerlendirmede; kış dönemlerinin orta derecede kurak olduğunu ve yaz mevsimi de dahil olmak üzere kuraklık sınırında bir bulguya rastlanmadığını, temmuz ve ağustos ayında normal seviyenin üzerinde kuraklık

yaşandığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada, SPEI kuraklık indisinin kurak periyotları hassasiyetle belirlediği ve özellikle 1989-1990, 2007-2008 ve 2011-2012 yıllarında çok şiddetli kuraklıkların yaşandığı dönemleri saptadığı görülmektedir. Özellikle 2007 yılı için, TZOB raporuna göre tüm ülkeyi etkisi altına alan kuraklığın tarım sektörüne maliyetinin 5 milyar TL olduğu bildirilmiştir. TÜİK verilerine göre bu afetin tarımsal üretimde % 7 küçülmeye yol açtığı belirlenmiştir. 2007/12339 sayılı Bakanlar Kurulu kararı ile 2007 yılında yaşanan geniş kapsamlı kuraklık nedeniyle 40 ilde çeşitli tarım ürünlerine kuraklık desteklemesi yapılmasına dair karar yayınlanmıştır (Resmi Gazete, 2007).

Çizelge 4.5 İstasyonlar bazında en düşük SPEI değerleri

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

Uzun süre boyunca yağışın normalin altında ve sıcaklıkların normalin üstünde seyrettiği aşırı kurak dönemler tarımsal üretim açısından tehlikeli

olabilmektedir. Öte yandan tarımsal üretimin kritik aşamalarında ortaya çıkacak su kıtlığı üretimde ciddi kayıplara neden olabilir. Bu nedenle kuraklığın şiddeti ile birlikte süresi de önemli bir kuraklık izleme aracıdır.

Ek 2’de 1975-2014 yılları arasındaki 40 yıllık periyot 10’ar yıllık dönemler halinde Potop ve Mozny (2011)’de verilen $n: SPEI \leq -1$ olan ardışık ayların, $m: 10$ yıllık periyotta değerlendirmeye alınan ay sayısına oranları olan n/m oranına göre frekans değerlendirmesi verilmiştir. Çizelgede 10’ar yıllık periyotlar dönemsel olarak değerlendirilmiş ve kendi içinde yeşil renkten (en az) kırmızı renge (en fazla) doğru frekans büyüklüğüne göre (renk haritalandırması) yapılmıştır.

Ek 2’de verilen çizelgelere göre, 10’ar yıllık periyotlarda tüm zaman ölçeklerinde kuraklık süresi bakımından 2005-2014 dönemi en kurak dönem olarak öne çıkmıştır. 1985-1994 yılları arasındaki 2. dönem tüm zaman ölçeklerinde ikinci en kurak 10 yıllık dönem olarak bulunmuştur. Burada n/m oranı; 1 aylık zaman ölçeğinde 4.dönemde (2005-2014) Sultanhisar ve Güney, 3 aylık zaman ölçeğinde 4.dönemde (2005-2014) Denizli, 6 aylık zaman ölçeğinde 2.dönemde (1985-1994) Bodrum, 12 aylık zaman ölçeğinde 4.dönemde (2005-2014) Dikili, 24 aylık zaman ölçeğinde 2.dönemde (1985-1994) Aydın istasyonları en yüksek frekans oranları elde ederek kuraklığın süre bakımından en uzun etkilediği yerler olarak gözükmektedir. 24 aylık zaman ölçeği genel olarak hidrolojik kuraklık göstergesi olarak kabul görmüş ve en yüksek frekans oranları bu zaman ölçeğinde elde edilmiştir. En düşük frekans değerleri 1. dönem olan 1975-1984 yılları arasındaki 10 yıllık periyotta hesaplanmıştır. 2005-2014 yılları arasındaki 10 yıllık dönem hem kuraklık şiddeti hem de kuraklığın süresi bakımından öne çıkmaktadır. 1.dönem olan 1975-1984 arasındaki 10 yıllık periyot diğer dönemlere göre kuraklık süresi bakımından en düşük frekansa sahip gözüke de kuraklık şiddeti bakımından özellikle 1989-1990 yılları nispeten yüksek SPEI değerlerinin elde edildiği yıllar olarak göze çarpmaktadır.

4.5. Zamansal Analiz

4.5.1. Trend analizi

Ege Bölgesi’nde 29 meteoroloji istasyonu için hesaplanan 1 ve 3 aylık kısa, 6 aylık orta ve 12 ve 24 aylık uzun zaman ölçeklerinde SPEI değerlerinin, trend ve eğilimlerini belirlemek için yapılan parametrik olmayan testlerin sonuçları Çizelge 4.6 ve 4.7’de verilmiştir. Trendin varlığı ve yönünün belirlenmesi için Modifiye

Mann-Kendall trend testi (Hamed and Rao, 1998), trendin büyüklüğünü belirlemek için Sen'in Eğim Tahmincisi yöntemleri kullanılmıştır.

Çizelge 4.6 SPEI değerleri trend ve eğim analizi (Modifiye Mann-Kendall Z istatistiği, Sen'in Eğim Tahmincisi) sonuçları (SPEI 1,3 ve 6 aylık)

İstasyon Adı	SPEI-1			SPEI-3			SPEI-6		
	Mann-Kendall	Sen Slope	Trend	Mann-Kendall	Sen Slope	Trend	Mann-Kendall	Sen Slope	Trend
Bolvadin	0,50	0,000266	–	0,83	0,000601	–	0,70	0,000869	–
Emirdağ	-1,72	-0,000606	–	-2,29	-0,000714	↓	-2,21	-0,000997	↓
Afyon	-1,39	-0,000513	–	-0,71	-0,000452	–	-0,50	-0,000488	–
Aydın	0,95	0,000382	–	0,56	0,000307	–	0,05	0,000045	–
Kuşadası	-1,18	-0,000513	–	-1,18	-0,000678	–	-1,32	-0,001004	–
Nazilli	-3,50	-0,001627	↓	-2,87	-0,002110	↓	-2,85	-0,002786	↓
Sultanhisar	-3,43	-0,001523	↓	-3,49	-0,001865	↓	-2,92	-0,002326	↓
Güney	-2,33	-0,001023	↓	-1,99	-0,001543	↓	-1,84	-0,002076	–
Denizli	-4,41	-0,001735	↓	-4,88	-0,002369	↓	-4,83	-0,002846	↓
Bergama	0,10	0,000031	–	-0,27	-0,000135	–	-0,57	-0,000439	–
Çeşme	0,36	0,000112	–	0,41	0,000210	–	0,03	0,000022	–
Dikili	-3,95	-0,001342	↓	-2,58	-0,001675	↓	-3,56	-0,002184	↓
Menemen	0,05	0,000027	–	0,20	0,000235	–	0,26	0,000361	–
İzmir	-1,62	-0,000654	–	-1,05	-0,000734	–	-1,36	-0,000947	–
Gediz	-3,17	-0,001425	↓	-3,55	-0,002036	↓	-3,75	-0,002720	↓
Kütahya	-5,05	-0,001824	↓	-4,69	-0,002623	↓	-4,08	-0,003511	↓
Simav	-3,38	-0,001426	↓	-3,95	-0,002179	↓	-4,25	-0,002906	↓
Tavşanlı	-3,68	-0,001181	↓	-3,55	-0,001728	↓	-3,30	-0,002495	↓
Akhisar	2,40	0,001002	↑	1,96	0,001201	–	1,78	0,001479	–
Manisa	1,34	0,000468	–	0,93	0,000644	–	0,77	0,000622	–
Salihli	-0,36	-0,000149	–	-0,55	-0,000331	–	-0,53	-0,000408	–
Bodrum	1,83	0,001080	–	1,41	0,001128	–	0,74	0,000607	–
Datça	2,37	0,001260	↑	2,06	0,001692	↑	1,79	0,001893	–
Fethiye	-0,73	-0,000179	–	-0,21	-0,000119	–	-0,14	-0,000141	–
Köyceğiz	1,25	0,000481	–	0,91	0,000504	–	0,10	0,000055	–
Marmaris	0,96	0,000276	–	0,59	0,000214	–	-0,37	-0,000275	–
Muğla	1,66	0,000633	–	0,65	0,000399	–	-0,23	-0,000187	–
Milas	3,12	0,001032	↑	2,05	0,001007	↑	1,22	0,000530	–
Yatağan	0,11	0,000053	–	0,03	0,000025	–	-0,28	-0,000314	–
Minimum	-5,05	0,001824		-4,88	0,002623		-4,83	0,003511	
Maksimum	3,12	0,001260		2,06	0,001692		1,79	0,001893	

Çizelge 4.7 SPEI değerleri trend ve eğim analizi (Modifiye Mann-Kendall Z istatistiği, Sen'in Eğim Tahmincisi) sonuçları (SPEI 12 ve 24 aylık)

İstasyon Adı	SPEI-12			SPEI-24		
	Mann-Kendall	Sen Slope	Trend	Mann-Kendall	Sen Slope	Trend
Bolvadin	0,91	0,001442	–	1,03	0,002228	–
Emirdağ	-2,14	-0,001374	↓	-1,84	-0,001673	–
Afyon	-0,41	-0,000573	–	-0,55	-0,001148	–
Aydın	-0,22	-0,000236	–	-0,24	-0,000291	–
Kuşadası	-1,81	-0,001598	–	-1,77	-0,002167	–
Nazilli	-2,63	-0,003434	↓	-2,37	-0,003775	↓
Sultanhisar	-2,43	-0,002725	↓	-2,09	-0,003357	↓
Güney	-1,90	-0,002696	–	-1,85	-0,003128	–
Denizli	-4,84	-0,003692	↓	-5,08	-0,004919	↓
Bergama	-0,92	-0,000894	–	-0,80	-0,001101	–
Çeşme	0,18	0,000116	–	0,41	0,000515	–
Dikili	-4,28	-0,002860	↓	-5,00	-0,003459	↓
Menemen	0,25	0,000431	–	0,24	0,000450	–
İzmir	-1,88	-0,001455	–	-1,90	-0,002264	–
Gediz	-3,53	-0,003397	↓	-3,17	-0,004079	↓
Kütahya	-3,74	-0,004388	↓	-3,08	-0,004927	↓
Simav	-3,52	-0,003439	↓	-2,95	-0,004057	↓
Tavşanlı	-3,18	-0,003598	↓	-2,85	-0,004368	↓
Akhisar	1,33	0,001681	–	1,21	0,001993	–
Manisa	0,40	0,000447	–	0,20	0,000299	–
Salihli	-1,41	-0,001088	–	-1,99	-0,001737	↓
Bodrum	0,12	0,000123	–	-0,13	-0,000231	–
Datça	1,93	0,002318	–	2,06	0,002811	↑
Fethiye	-0,30	-0,000437	–	-0,04	-0,000066	–
Köyceğiz	-0,41	-0,000433	–	-0,81	-0,000829	–
Marmaris	-0,64	-0,000727	–	-0,53	-0,000837	–
Muğla	-0,90	-0,001006	–	-1,27	-0,001538	–
Milas	0,69	0,000509	–	0,61	0,000685	–
Yatağan	-0,40	-0,000537	–	-0,36	-0,000586	–
Minimum	-4,84	-0,004388		-5,08	-0,004927	
Maksimum	1,93	0,002318		2,06	0,002811	

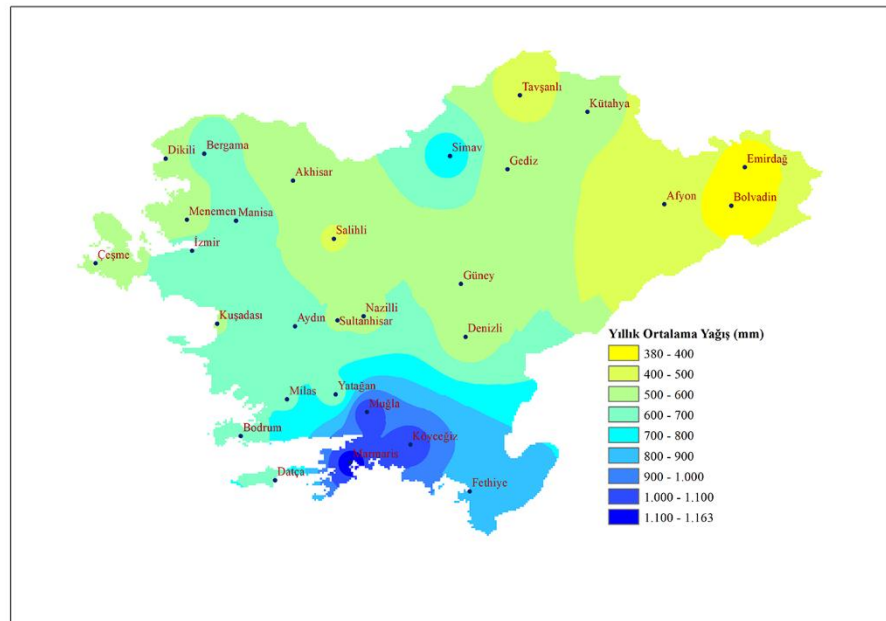
Z istatistiği değerinin $\alpha=0.05$ anlamlılık düzeyinde mutlak değerinin 1.96'dan büyük olması trendin varlığını gösterir. Z değerinin +1.96'dan büyük olması pozitif yönde artan, -1.96'dan küçük olması negatif yönde azalan bir trendin varlığına işaret eder. Aksi durumda istatistiksel olarak önemsiz olup herhangi bir trendin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Negatif SPEI değerleri kurak dönemleri, pozitif değerler ise nemli dönemleri ifade ettiğinden, tablo üzerinde trend yönü negatif olanlar (kuraklığın arttığı) kırmızı renkli ok ile, pozitif yönde olanlar (nemliliğin arttığı) mavi renkli ok ile gösterilmiştir. Sen'in Eğim Tahmincisi ile trendin büyüklüğü belirlenmiştir.

Çizelge 4.6 ve 4.7 incelendiğinde; istatistiksel olarak, 1 aylık zaman ölçeğinde, 9 azalan, 3 artan; 3 aylık zaman ölçeğinde, 10 azalan, 2 artan; 6 aylık zaman ölçeğinde için 9 azalan; 12 aylık zaman ölçeğinde, 9 azalan; 24 aylık zaman ölçeğinde, 9 azalan, 1 artan yönde anlamlı trend bulunmuştur. Nazilli, Sultanhisar, Denizli, Dikili, Gediz, Kütahya, Simav, Tavşanlı istasyonlarında tüm zaman ölçeklerinde azalan yönde önemli trendin varlığı bulunmuştur. Bu istasyonlarda kuraklığın zamanla önemli derecede artış gösterdiği görülmektedir. Nazilli Güney istasyonu 1 ve 3 aylık, Emirdağ istasyonu 3, 6 ve 12 aylık, Salihli istasyonu 24 aylık zaman ölçeklerinde azalan yönde bir trende sahiptir. İstatistiksel açıdan anlamlı artan yönde trend ise Akhisar'da 1 aylık, Datça'da 1, 3 ve 24 aylık, Milas da 1 ve 3 aylık zaman ölçeklerinde mevcuttur. Bu istasyonlarda nemliliğin giderek artış gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

4.6. Mekansal Analiz

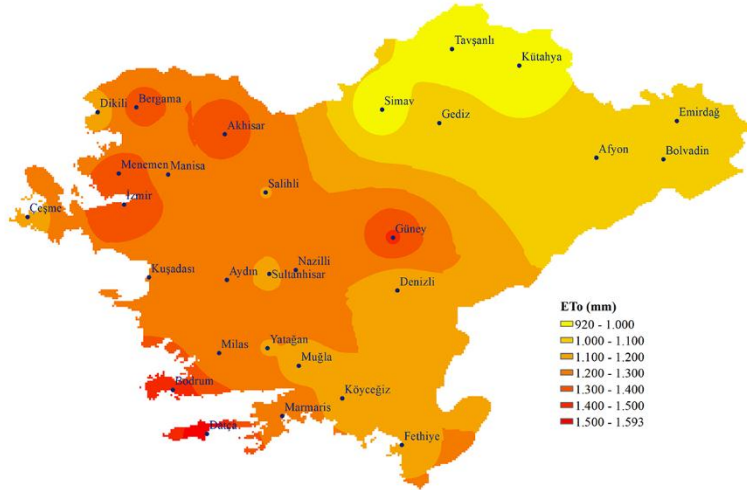
4.6.1. Jeostatistik analiz

Çalışmada kullanılan 29 meteoroloji istasyonu için 1975-2014 dönemine ait yıllık toplam yağış (P), yıllık toplam referans evapotranspirasyon (ETo), yıllık toplam iklimsel su dengesi açığı (Di) ve SPEI Sen'in Eğim Tahmincisi değerleri kullanılarak IDW yöntemine göre tahmin haritaları oluşturulmuştur. P, ETo ve Di tahmin haritaları sırası ile Şekil 4.1 ve 4.2'de verilmiştir.



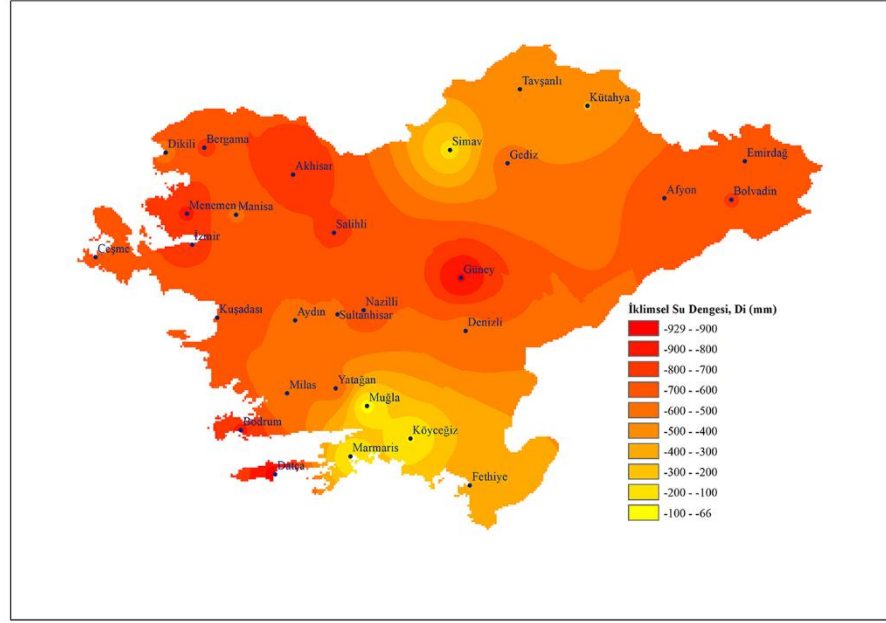
Şekil 4.1 Ege Bölgesi yıllık toplam yağış dağılımı (mm) tahmin haritası

Yıllık toplam yağış dağılım haritası (Şekil 4.1) incelendiğinde, Ege Bölgesi genelinde yağış değişkenliğinin yüksek olduğu görülmektedir. Ortalama ve ortalamaya yakın yağış değerlerine sahip alanların çoğunlukta olduğu, uç değerlere sahip yerler sırasıya; en yüksek yağış değerleri Muğla bölgesinde, en düşük yağış değerleri Afyon ve Kütahya bölgelerinde tahminlenmiştir. Bu durumda yağışların kıyı kesimlerde yoğunlaştığını, iç kesimlerde yağışların az olduğu dikkat çekmektedir. Yağış dağılımı bakımından bölgeyi 3 bölge halinde değerlendirilebileceği, kıyı, iç ve doğu ege olarak ele alınabileceği söylenebilir. Aydın ve Çiçek (2013), Ege Bölgesi'nde yağış verilerini değerlendirdikleri çalışmalarında, benzer olarak düşük yağış değerlerini Bolvadin, Emirdağ ve Afyon istasyonlarında görüldüğünü, İç bölgelerde kıyı kesimlerine oranla yağışın az olduğunu ifade etmişlerdir.



Şekil 4.2 Ege Bölgesi yıllık toplam referans evapotranspirasyon (mm) dağılım haritası

ETo tahmin haritasına (Şekil 4.2) göre yağışın en yüksek olduğu kıyı Ege Bölgesinde ETo'nin yüksek olduğu, güney ve iç Ege'de düşük olduğu görülmektedir. Özellikle Güney istasyonundan Ege sahiline kadar ve kıyı Ege'yi içine alan bölümde ETo'nin Bölge ortalamasına göre yüksek değerlerde seyrettiği anlaşılmaktadır.

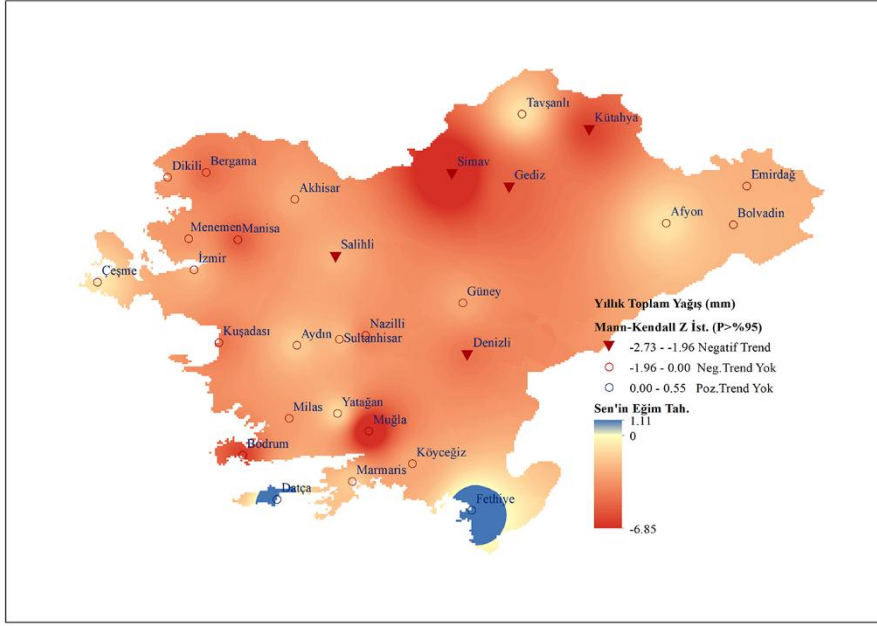


Şekil 4.3 Ege Bölgesi yıllık toplam iklimsel su dengesi açığı (mm) tahmin haritası

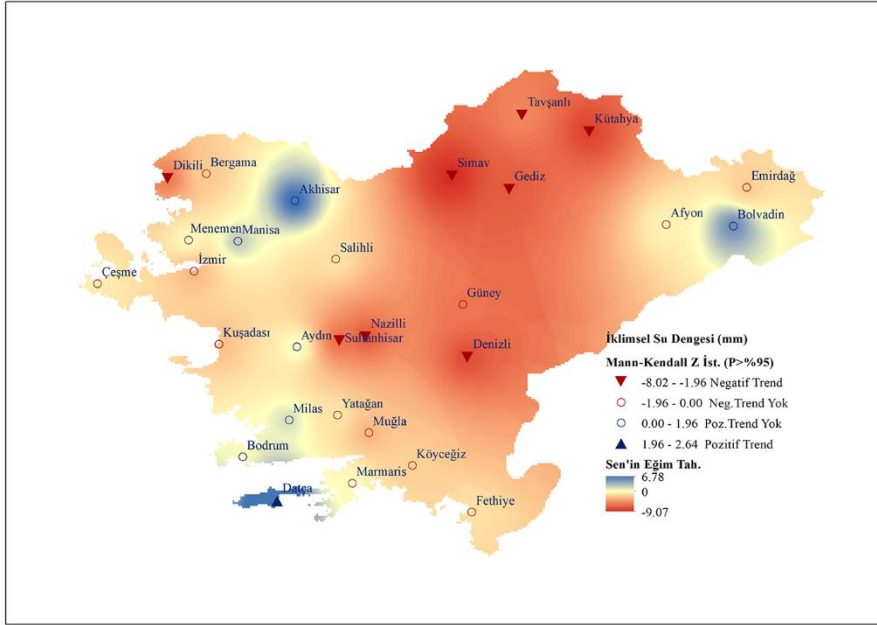
Di serisi tahmin haritasına (Şekil 4.3) göre ise, güney ve kuzey Ege illerini (Muğla ve Kütahya) içine alan bölgelerin, düşük açık değeri aldığı, kuzeybatı, orta ve iç Ege bölümünün (İzmir, Manisa, Aydın, Afyon, Güney, Bodrum ve Datça) yüksek su açığına sahip yerler olduğu dikkat çekmektedir.

Yıllık toplam yağış ve iklimsel su dengesi açığı değerlerine ait Sen'in eğim tahmin haritaları Şekil 4.4 ve 4.5'de verilmiştir. Modifiye Mann-Kendall trend metoduna göre yıllık toplam yağış ortalamaları bakımından; Salihli, Denizli, Simav, Gediz ve Kütahya'da negatif yönde önemli trend bulunmuştur. Azalan yönde trende sahip bu istasyonların Sen'in Eğim Tahmincisi yöntemine göre eğim büyüklükleri -1.93 ile -6.68 mm/yıl arasında değişmiştir. Simav istasyonu, -6.68 mm/yıl ile en yüksek azalış eğimi değerine sahip istasyon olmuştur.

Yıllık toplam yağış değerlerine ait Sen'in Eğim Tahmincisi haritasına göre, Bölgenin gelinde yağışlarda azalma eğilimi görülürken Kütahya, Simav, Muğla, Denizli ve Salihli'de önemli bir azalma eğilimi olduğu dikkat çekmektedir. Büyük Menderes Havzasında yapılan bir çalışmada benzer olarak, Sen'in eğim yöntemi ile havza genelinde yağışlarda düşüş miktarları elde edildiği ifade edilmiştir (Yeşilirmak vd., 2011).



Şekil 4.4 Yıllık toplam yağış Sen'in eğim değerleri tahmin haritası (1975-2014)



Şekil 4.5 Yıllık ortalama iklimsel su dengesi Sen'in eğim değerleri tahmin haritası (1975-2014)

Di serisi Sen'in Eğim Tahmincisi haritası üzerinde Manisa, Akhisar, Milas, Datça ve Bolvadin'de pozitif eğim değeri, İç Ege Bölgesinin geneli ile Dikili ve İzmir'i içine alan kıyı şeridinde negatif eğim değerleri görülmektedir. Modifiye Mann-Kendall trend analiz sonuçlarına göre İç Ege'nin orta ve kuzey bölümünde

negatif yönde önemli trend bulunurken sadece Datça istasyonunda pozitif yönde önemli trend bulunmuştur. *Di* serisinde önemli azalan (kurak yönde) trend Denizli, Nazilli, Sultanhisar, Kütahya, Simav, Gediz, Tavşanlı ve Dikili’de hesaplanmıştır. *Di* serisinde azalan trend gösteren bu istasyonların Sen’in Eğim Tahmincisi analizine göre eğim büyüklükleri -5.20 (Tavşanlı) ile -9.10 (Simav) mm/yıl değişmiştir. P serisi eğim değerleri ile *Di* serilerinin eğim değerleri arasındaki fark ile *Di* serisinde daha fazla istasyonda trend görülmesinin nedeni son yıllarda yaşanan sıcaklık artışı ile evapotranspirasyonda görülen artış ve *Di* serisinin evapotranspirasyonun etkisini içermesinden kaynaklandığı görülmektedir.

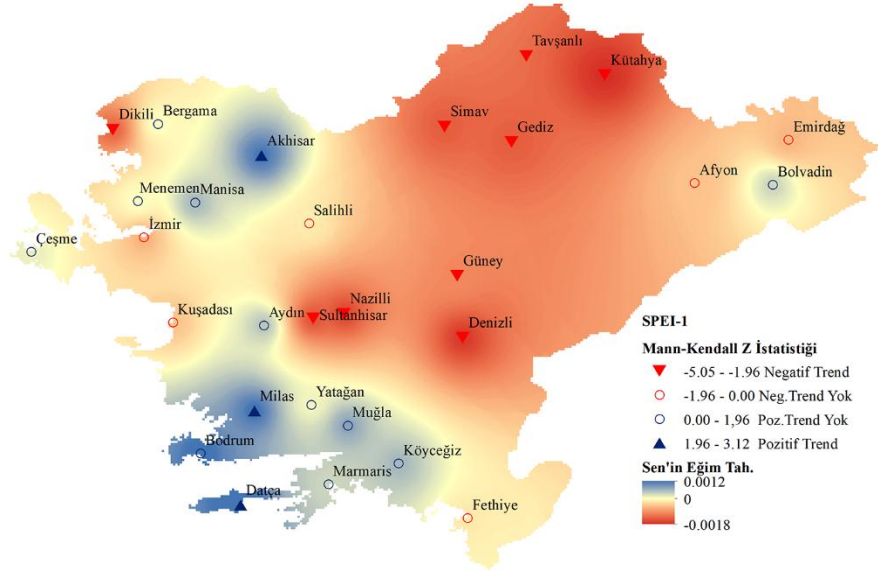
Demircan vd. (2013), tüm Türkiye’de 96 meteoroloji istasyonunun 1961-2010 yılları arasındaki sıcaklık verileri ile trendi ve uzamsal dağılımlarını inceledikleri çalışmada, 1981-2010 arasındaki dönemde ortalama sıcaklık serisinde %95 anlamlılık düzeyinde pozitif yönde önemli trendin olduğunu, özellikle yaz mevsiminde önemi düzeyde sıcaklık artışının olduğunu bildirmişlerdir. Mengü vd. (2015) Ege Bölgesi’nde klimatolojik yağış açığı indisi ile kuraklık çalışmasında, Ege Bölgesi’nde çalışmaya alınan 31 meteoroloji istasyonundan, Mann-Kendall trend analiz yöntemine göre 25 istasyonda artan yönde trend olduğunu ve bunlardan 9 istasyonun (Denizli, Dikili, Gediz, Güney, Kütahya, Nazilli, Simav, Sultanhisar, Tavşanlı istasyonları) %95 güven düzeyinde istatistiksel olarak artan yönde önemli trende sahip olduğunu belirlemişlerdir. Geriye kalan 4 istasyonda (Afyon, Bolvadin, Bodrum ve Datça istasyonları) azalan yönde trend olduğunu ve bunlardan sadece Bolvadin istasyonunda %95 güven düzeyinde azalmanın anlamlı olduğunu saptamışlardır. Yağış açığı miktarında artış trendinin Güney, Nazilli ve Sultanhisar istasyonlarında gerçekleştiğini belirlemişlerdir. Bu çalışmalardan farklı olarak SPEI değerleri ile yapılan trend analizi sonuçları kısmen benzer olmakla birlikte artış trendinin 1 ve 3 aylık ölçekte Akhisar, Datça ve Milas istasyonlarında; 6, 12 ve 24 aylık ölçekte sadece Datça istasyonunda önemli artış trendi bulunmuştur. Kuraklık bakımından azalan yönde trend benzer olarak, Kütahya, Simav, Tavşanlı, Gediz, Dikili, Denizli, Güney, Nazilli, Sultanhisar, Emirdağ, Salihli olarak bulunmuştur. SPEI değerlerinin trend analiz sonuçları, *Di* serisinin trend analizine göre Güney, Emirdağ ve Salihli istasyonlarında azalan yönde trend varlığı elde edilmiştir. Buna göre, farklı zaman ölçeklerinde kuraklık değerlendirilmesinin, tarımsal kuraklık ve hidrolojik kuraklığın hassas olarak irdelenmesi bakımından avantaj sağlamaktadır.

IDW jeoistatistiksel yöntem ile oluşturulan, SPEI değerlerine ait Sen’in Eğim Tahmincisi haritaları Şekil 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10’da verilmiştir. Modifiye Mann-

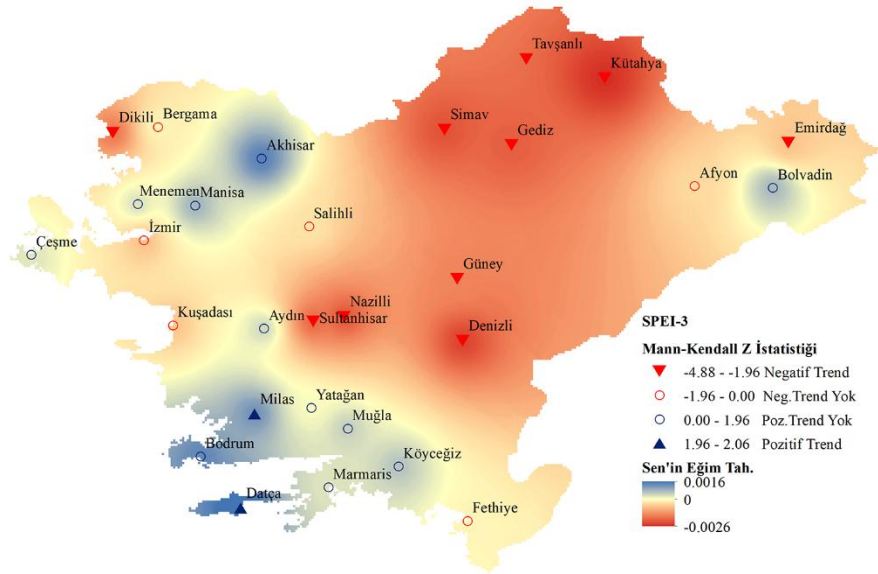
Kendall trend testi Z istatistiği değerleri, Sen'in Eğim Tahmincisi haritaları üzerinde noktasal simge veri olarak gsterilmiştir. Farklı zaman ölçeklerinde SPEI değerlerinin pozitif yönde artma eğiliminin, zaman ölçeği arttıkça alansal olarak daraldığı ve negatif yönde eğilim gösteren alanların arttığı görölmektedir. Akhisar, Manisa, Aydın, Muğla ile Bolvadin'de negatif eğim değerleri elde edilirken, diğer bölgelerde pozitif eğim değerleri görölmektedir. Denizli ve Kütahya illerini içine alan İç Ege ile Dikili, İzmir, Kuşadası istasyonlarını içine alan kıyı şerisinde negatif eğim değerleri elde edilmiştir ve zaman ölçeği arttıkça alansal olarak negatif eğim değerlerine sahip alanlar artış göstermektedir.

1 ve 3 aylık SPEI haritalarında, Manisa, Aydın, Muğla illerini içine alan kuzey ve güney kıyı Ege ile Bolvadin ilçesinde pozitif eğim değerleri görölürken, iç ve kıyı şerisinde negatif eğim değerleri gösteren alanlar tahminlenmiştir. 6, 12 ve 24 aylık SPEI haritalarında bölgenin genelinde negatif eğim değerlerine sahip alanların fazla olduğu ve zaman ölçeği arttıkça negatif eğim değerlerine sahip alanların arttığı görölmektedir. 6, 12 ve 24 aylık haritalarda, pozitif eğim değerine sahip istasyonlar; Manisa, Akhisar, Menemen, Bodrum, Datça, Milas ve Bolvadin istasyonları olarak bulunmuştur. Bölge genelinde negatif eğim değerlerinin, uzun zaman ölçeğine göre, kısa ve orta zaman ölçeğinde alansal olarak daha düşük olduğu görölmektedir. Dikili, Aydın, Nazilli, Salihli, Sultanhisar, Güney, Denizli, Gediz, Simav, Tavşanlı, Kütahya, Emirdağ istasyonlarında önemli negatif eğim değerlerinin varlığı dikkat çekmektedir.

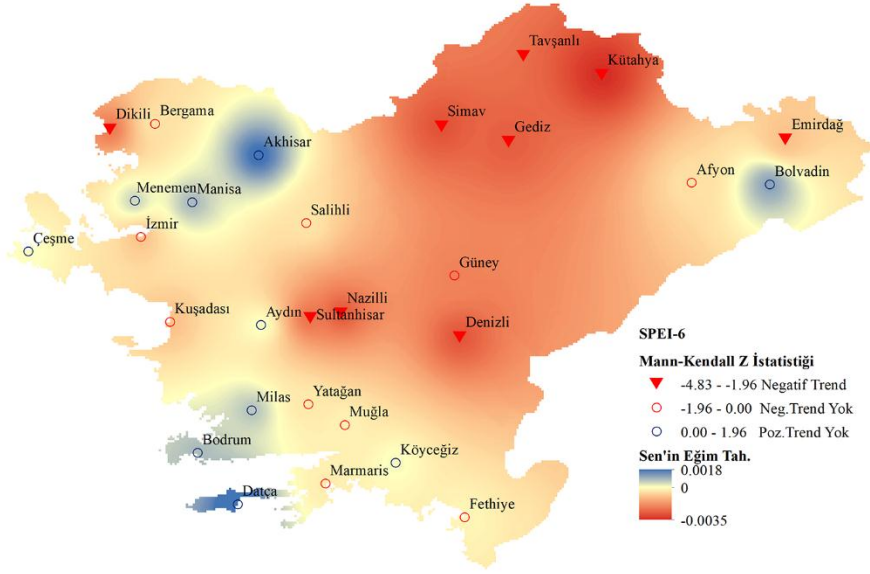
Mengü vd. (2015), yağış açığı parametreleri ile jeoistatistiksel değerlendirmesinde Ege Bölgesinin iç kısımlarında artış olduğunu, güney ve batı kısmında artış değerlerinin daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada Mengü vd.'inde bulunan sonuçlara paralel olarak son yıllarda kuraklık bakımından artan yönde trendin varlığına, SPEI trend analizi ve jeoistatistiksel değerlendirme sonuçlarına göre Kütahya, Denizli ve Dikili bölgelerinde trendin negatif yönde azaldığına, Manisa, Akhisar, Muğla ve komşu istasyonları ile Bolvadin istasyonunda trendin pozitif yönde arttığı sonucuna ulaşılarak benzer yönde bulgular elde edilmiştir.



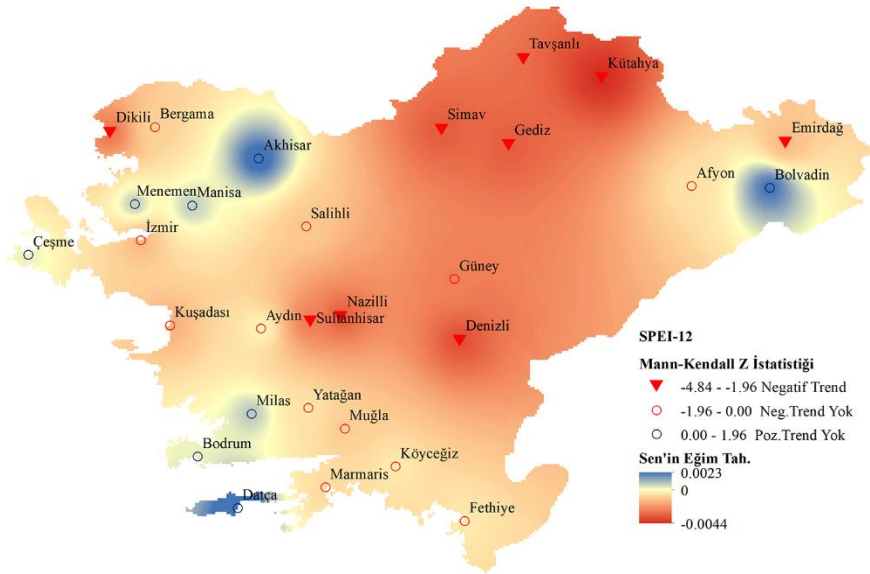
Şekil 4.6 SPEI-1 Sen'in eğim değerleri tahmin haritası (1975-2014)



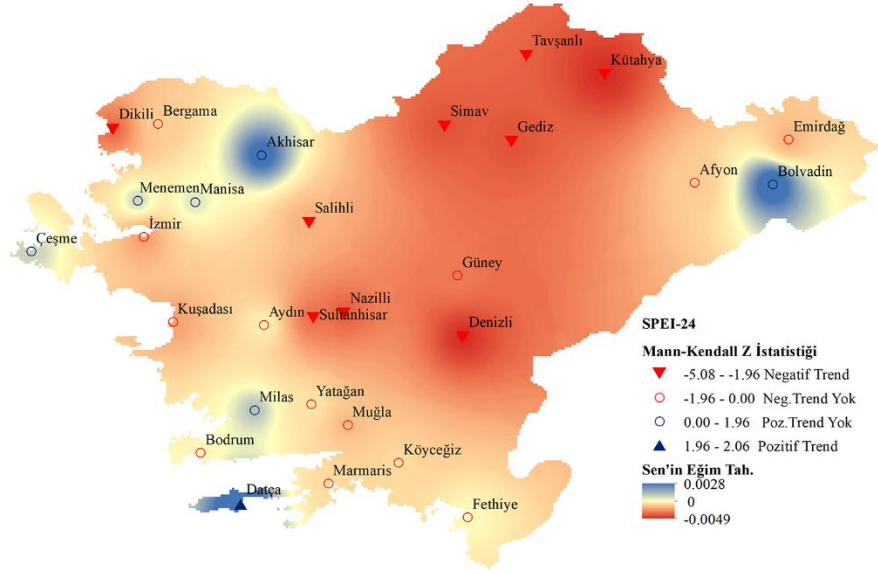
Şekil 4.7 SPEI-3 Sen'in eğim değerleri tahmin haritası (1975-2014)



Şekil 4.8 SPEI-6 Sen'in eğim değerleri tahmin haritası (1975-2014)



Şekil 4.9 SPEI-12 Sen'in eğim değerleri tahmin haritası (1975-2014)



Şekil 4.10 SPEI-24 Sen'in eğim değerleri tahmin haritası (1975-2014)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Ege Bölgesi'nde bulunan 29 meteoroloji istasyonuna ait 1975-2014 yılları arasındaki iklim verileri kullanılarak, Standart Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) ile tarımsal kuraklığın incelenmesi, zamansal ve mekânsal olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca SPEI indisinin hesaplanması için önemli bir parametre olan iklimsel su dengesi açığının (Di) değişimi değerlendirilmiştir. Zamansal olarak kuraklık şiddeti ve frekansı SPEI değerleri ile irdelenmiş ve Modifiye Mann-Kendall trend testi ile Sen'in Eğim Tahmincisi yöntemleri kullanılarak trendin varlığı ve büyüklüğü belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca jeoistatistiksel bir yöntem olan IDW enterpolasyon yöntemi ile mekânsal değişimi incelenmiştir.

Bölgenin 1975-2014 döneminde yıllık toplam yağış ortalaması 380-1164 mm arasında değişim göstermiştir. Bölgenin ortalama yıllık toplam yağış ortalaması 632 mm olarak hesaplanmıştır. Ortalamanın altında gerçekleşen yağışların bu dönemde toplam 16 yılda gerçekleştiği görülürken, en düşük iki yağış miktarı 2008 ve 2011 yıllarında tespit edilmiştir. Yıllık toplam yağışlarda 1975 den günümüze Bölge de birkaç istasyonda önemli azalış trendi bulunmasına karşın, yağışlarda Bölge genelinde bir azalma eğilimi bulunmuştur.

Penman-Monteith (FAO 56) yöntemine göre hesaplanan referans evapotranspirasyon (ET_o) değerlerinin yıllık toplamı 910-1593 mm arasında değişirken ve bölge ortalaması 1201 mm'dir. En yüksek ET_o 1593 mm ile Datça istasyonunda, en düşük ise 920 mm ile Kütahya istasyonunda gerçekleşmiştir. Diğer yandan en yüksek ET_o ortalaması sırasıyla 2007 ve 2008 yıllarında gerçekleşmiştir.

İklimsel su dengesi açığı -65 ile -930 mm arasında değişiklik göstermiştir. Bölge ortalaması -569 mm olarak bulunmuştur. Di değerleri en düşük Muğla, en yüksek Datça istasyonunda elde edilmiştir. Bölgede yıllar bazında en yüksek açık -820 mm ile 2008 ve -816 m ile 2007 yıllarını içine alan 2005-2014 arasındaki 10 yıllık dönemde bulunmuştur. En yüksek ET_o 2007, 2008 yıllarında, en düşük yağış 2008, 2011 yıllarında gerçekleşirken en yüksek açık değeri 2007 ve 2008 yıllarında görülmüş ve 2005-2014 arasındaki 10 yıllık dönem en şiddetli kuraklığın yaşandığı dönem olarak kayda geçmiştir. En uzun kuraklığın yaşandığı dönem ise, 8 yıl ortalamasının altında yağış ve ortalamasının üzerinde ET_o ile 9 yıl ortalamasının

üzerinde açık değeri elde edilen 1985-1994 yılları arasındaki 10 yıllık dönem olarak bulunmuştur.

Farklı zaman ölçeklerinde (1, 3, 6, 12 ve 24 aylık) en düşük SPEI değerleri; SPEI-1 için -4.32 ile Afyon, SPEI-3 için -6.67 ile Çeşme, SPEI-6 için -3.70 ile Fethiye, SPEI-12 için -2.74 ile Salihli, SPEI-24 için -2.59 ile İzmir istasyonlarında, en yüksek (nemli) SPEI değerleri; SPEI-1 için 3.70 ile Milas, SPEI-3 için 3.11 ile Menemen, SPEI-6 için 2.95 ile Güney, SPEI-12 için 2.69 ile Milas, SPEI-24 için 3.22 ile Dikili istasyonlarında bulunmuştur. En düşük negatif (kurak) SPEI değerleri istasyonların çoğunluğunda 2007 yılı yaz ve sonbahar aylarında, 24 aylık da ise 2008 ve 2012 yılı sonbahar ve kış aylarında gözlenmiştir. Buna göre, SPEI kısa zaman ölçeğinde tarımsal açıdan kuraklığı daha iyi ifade ederken, zaman ölçeği arttıkça hidrolojik açıdan kuraklığı daha iyi ifade ettiği söylenebilir. En düşük negatif SPEI değerlerinin 1 aylıktan 12 aylığa kadar sadece 12 aylıkta -1.95 ile Emirdağ istasyonu hariç, tüm istasyonlarda ($SPEI \leq -2$) şiddetli kurak değerlerin olduğu görülmüştür. 24 aylık SPEI değerlerinde ise -1.81 ile -2.59 arasında değiştiği ve şiddetli kuraklık sınır değerine yakın ve üstünde değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Bu nedenle şiddetli kuraklıkların yaşanması bakımından bölgemizin ciddi risk altında olduğu değerlendirilmektedir.

Kuraklık süresi bakımından (n/m oranı) ardışık kurak ve şiddetli kurak ($SPEI \leq -1$) dönemleri belirlemek için SPEI değerleri incelendiğinde, frekansı en yüksek dönem 2005-2014 yılları arasındaki 10 yıllık dönem olarak bulunmuştur. İkinci en yüksek dönem 1985-1994 yılları arasındaki 10 yıllık dönem olurken, frekansı en düşük periyot 1975-1984 arasındaki dönemdir. Kuraklık şiddet ve süresi bakımından 2005-2014 yılları arasındaki 10 yıllık dönem yüksek SPEI değerlerinin elde edildiği ve en uzun sürdüğü dönem olarak gözükmektedir.

SPEI değerlerinin Mann-Kendall trend analizi sonuçlarına göre tüm zaman ölçeklerinde Nazilli, Sultanhisar, Denizli, Kütahya, Gediz, Simav ve Tavşanlı istasyonları azalan yönde önemli trend bulunmuş ve bu istasyonlarda kuraklık etkisinin önemli bir artış eğiliminde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bununla beraber Güney, Emirdağ ve Salihli istasyonları da bir veya birkaç zaman ölçeğinde azalan yönde önemli trend gösterirken, Akhisar, Datça ve Milas istasyonlarında artan yönde trendin varlığı görülmüştür.

P, ETo, Di, SPEI değerlerine ait Sen'in Eğitim Tahmincisi sonuçları deterministik yöntem olan Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon (IDW) yöntemi ile mekânsal olarak değerlendirilmiş ve tahmin haritaları oluşturulmuştur.

SPEI değerlerine ait Sen'in Eğitim Tahmincisi haritalarına göre, Denizli ve Kütahya illerini içine alan bölgede en yüksek negatif eğim değerleri elde edilmiştir. 6, 12 ve 24 aylık zaman ölçeğinde bölge genelinde negatif eğim değerine sahip alanların artma eğiliminde olduğu, İç Ege ile Kıyı Ege bölümüne doğru negatif eğilim olduğu görülmektedir. Kıyı Ege bölümünde zaman ölçeği arttıkça pozitif eğim değeri gösteren alanların azalarak negatif eğim değeri gösteren alanların arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Bölge genelinde yağışlarda birkaç istasyonda görülen azalış trendine karşı, referans evapotranspirasyon değerlerindeki görülen artış, özellikle son 10 yıllık dönemde (2005-2014) elde edilen yüksek SPEI değerleri ile kendisini göstermiş ve kuraklık şiddet ve süresi bakımından çok şiddetli kurak dönemler yaşanmasına neden olmuştur. 1980'den günümüze Avrupa'da görülen güneş radyasyonundaki artış (global aydınlanma) ile sıcaklıklarda yaşanan yükselme sonucunda dünya hızlı bir ısınma dönemine girmiştir (Wild, 2012). Global aydınlanma ile referans evapotranspirasyonda yaşanan düşüş ve artış; sıcaklık, rüzgar ve solar radyasyonda görülen değişimler ile açıklanmıştır (Kitsara et al., 2013). Yaşanan bu global aydınlanma ile özellikle yaz aylarında belirgin sıcaklık artışlarına karşın yaz yağışlarının yıllık toplam içerisinde düşük kalması sonucu (Yeşilirmak, 2015), ETo'da belirgin yükselişlere neden olarak kurak periyotların oluşmasında etkili olduğu görülmektedir. Bu nedenle, sıcaklık ve solar radyasyon gibi etkenlerin evapotranspirasyon üzerindeki yükseliş baskısını daha iyi yansıtan SPEI'nin tarımsal kuraklık analizinde daha etkili bir indis olduğu söylenebilir.

Özellikle kısa ve uzun vadede Ege Bölgesi genelinde yüksek oranda elde edilen kuraklık eğiliminin, önümüzdeki yıllarda bölgede yaşanabilecek kuraklıklara karşı risk altında olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda Dünya Kaynakları Enstitüsü su stresi yaşayan ülkeler raporuna göre Türkiye 164 ülke arasında 32. sırada yer alarak, su kıtlığı bakımından önlemlerin alınması gerektiği vurgulanmıştır (WRI, 2019). Bu nedenle bölgemiz için önümüzdeki süreçte var olan su kaynaklarının daha etkin kullanımı bakımından gereken önlemlerin alınması gerekmektedir. Bununla birlikte yeni sulamaya açılacak alanlarda olanaklar ölçüsünde su kayıplarını azaltıcı yöntem ve sulama metotlarının seçilmesi ve desteklenmesi gerekmektedir.

Bölgemizde, MGM tarafından oluşturulan otomatik meteoroloji istasyonlarının havza bazında büyük ova ve tarımsal üretim alanlarında da konumlandırılması, tarımsal kuraklığın analizi ve izlenmesi açısından fayda sağlayacaktır.

SPEI kuraklık indisi çalışmalarının ve alansal enterpolasyon yöntemlerinin diğer bölge ve istasyonlar içinde yapılarak, tarımsal kuraklığın izlenmesi ve analizinin geniş ölçekte gerçekleştirilmesi; kuraklığa karşı riskli bölgelerin belirlenmesi, riskli alanlarda su kaynaklarının daha etkin kullanımı ve kuraklık eylem planlarının bunlara göre oluşturulması yarar sağlayacaktır.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Aguilar, E., Auer, I., Brunet, M., Peterson, T.C. and Wieringa, J.**, 2003, Guidelines on Climate Metadata and Homogenization, No. 53., World Meteorological Organization, Geneva, 51 p.
- Akkuzu, E. ve Mengü, G.P.**, 2010, Küçük Menderes Ovasında Klimatolojik Yağış Açığı İndisinin Zamansal ve Mekansal Değişiminin İrdelenmesi, I.Ulusal Sulama ve Tarımsal Yapılar Sempozyumu, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, 27-29 Mayıs 2010, Kahramanmaraş.
- Akyürek, M., Önöz, B., Bayazit, M. ve Cıgızoğlu, K.**, 2004, Türkiye Yıllık Ortalama Akımlarının Trend Analizi, IV. Ulusal Hidroloji Kongresi, Haziran 2004, İstanbul., 21-25 s.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M.**, 1998, Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements, *FAO Irrigation and Drainage Paper 56*, Rome.
- Alexandersson, H.**, 1986, A Homogeneity Test Applied to Precipitation Data, *Journal of Climatology*, Vol: 06, 661–675 pp.
- Anlı, A.S., Polat, H.E., Apaydın, H., Selenay, M.F. ve Öztürk, F.**, 2014, Kuraklığın Değerlendirmesi Açısından Standart Yağış İndeksi (SPI) ve Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) Yöntemlerinin Ege Bölgesi Şehirlerinde Karşılaştırması, 12.Ulusal Kültürteknik Kongresi, 21-23 Mayıs 2014, Tekirdağ, 354-357 s.
- Anonim**, 2018a, “Kuraklık”, <https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/brosurler/kuraklik.pdf> (Erişim tarihi: 27 Ağustos 2018).
- Anonim**, 2018b, “Ege Bölgesi Tarım Çalıştayı”, <https://www.tarimorman.gov.tr/SGB/TARYAT/Belgeler/Faaliyet%20Kitaplar%C4%B1/Ege%20Tar%C4%B1msal%20%C3%87al%C4%B1%C5%9Ftay.pdf>, (Erişim Tarihi: 27 Ağustos 2018).
- Apak, E.**, 2009, Standart Yağış İndeksi Yöntemi ile Ege Bölgesinde Kuraklık Analizi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2009 İzmir.
- Aydın, O. ve Çiçek, İ.**, 2013, Ege Bölgesinde Yağışın Mekansal Dağılımı, *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 2013 CBD 11 (2), 101-120 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Bartels, R.**, 1982, The Rank Version of von Neumann's Ratio Test for Randomness, *Journal of the American Statistical Association* 77, 40–46 pp.
- Begueria, S. ve Vicente-Serrano, S.M.**, 2017, Package 'SPEI' – Calculation of the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, Version:1.7, 2017-06-07, <https://cran.r-project.org/web/packages/SPEI/SPEI.pdf>.
- Brus, D.J., De Gruijter, J.J., Marsman, B.A., Visschers, R., Bregt, A.K., Breeuwsma, A. and Bouma, J.**, 1996, The Performance of Spatial Interpolation Methods and Choropleth Maps to Estimate Properties at Points: A Soil Survey Case Study, *Environmetrics*, 7: 1-16 pp.
- Burrough, P.A. and McDonnell, R.A.**, 1998, Creating Continuous Surfaces From Point Data, Principles of Geographic Information Systems, *Oxford University Press*, Oxford, UK.
- Buishand, T. A.**, 1982, Some Methods for Testing the Homogeneity of Rainfall Records, *Journal of Hydrology*, 58, 11–27 pp.
- Coll, J.R., Agiular, E. and Ashcroft, L.**, 2017, Drought variability and change across The Iberian Peninsula, *Theor Appl Climatol*, DOI.10.1007/s00704-016-1926-3, 2017, 130: 901-916 pp.
- Demircan, M., Arabcaı, H., Bölük, E., Akçakaya, A. ve Ekici, M.**, 2013, İklim Normalleri: Üç Sıcaklık Normalinin İlişkileri ve Uzamsal Dağılımları, III.Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, TİKDEK, 2013, İstanbul.
- Deng, S., Chen, T., Yang, N., Lean, Q., Manchun, L. and Chen, D.**, 2018, Spatial and Temporal Distribution of Rainfall and Drought Characteristics Across the Pearl River Basin, *Science of the Total Environment*, 619–620; 2018; 28–41 pp.
- Erinç, S.**, 1965, Yağış Müesseriyeti Üzerine Bir Deneme ve Yeni Bir İndis, İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü, 41, İstanbul.
- Erinç, S.**, 1969, Klimatoloji Metodları, İstanbul Üniversitesi Yayınları, No:994, İstanbul, 538 s.
- Franke, R. and Nielson, G.**, 1980, Smooth Interpolation of Large Sets of Scattered Data, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 15, 1691–1704 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- GTHB**, 2015, “Ege Bölgesi Tarımsal Yatırım Fırsatları Çalıştayı, Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, 19-20 Kasım 2015”, <https://www.tarimorman.gov.tr/SGB/TARYAT/Belgeler/Faaliyet%20Kitaplar%C4%B1/Ege%20Tar%C4%B1msal%20%C3%87al%C4%B1%C5%9Ftay.pdf> (Erişim Tarihi:27 Kasım 2018)
- Goovaerts, P.**, 2000, Geostatistical Approaches For Incorporating Elevation Into The Spatial Interpolation of Rainfall, *Journal of Hydrology*, 228, 113–129 pp.
- Güler, M.**, 2010, Tarımsal Uygulamalarda Kullanılan Bazı İklim Verilerinin Kestirimi Ve Veri Tabanının Oluşturulması, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Doktora Tezi, Samsun.
- Güner, Ü.**, 1996, Büyük Menderes Havzası Kuraklık Çözümlemesi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisan Tezi, Denizli, 76 s.
- Hamed, K.H. and Rao, A.R.**, 1998, A Modified Mann-Kendall Trend Test for Autocorrelated Data, *Journal of Hydrology*, 204, 182-196 pp.
- Heim, R.R.**, 2002, A Review of Twentieth-Century Drought Indices Used in the United States, *American Meteorological Society*, 83, 1149-1165 pp.
- Hınıs, M.A.**, 2016, 5. Dünya Su Forumu Türkiye Bölgesel Su Toplantıları-Konya Kapalı Havzası Yeraltısuyu ve Kuraklık Konferansı, Konya, Türkiye, 2008, 238-245 s.
- Hosseini, E., Gallichand, J. and Caron, J.**, 1993, Comparison of Several Interpolators for Smoothing Hydraulic Conductivity Data in South West Iran, *American Society of Agricultural Engineers*, 36(6): 1687-1693 pp.
- Hui-Mean, F., Yusop, Z. and Yusof, F.**, 2018, Drought Analysis and Water Resource Availability Using Standardised Precipitation Evapotranspiration Index, *Atmospheric Research* 201, 2018, 102-115 s.
- IPCC**, 2007, Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (ed. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M.Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kendall, M.G.**, 1975, Rank Correlation Methods, Fourth ed. Charles Griffin & Co. Ltd, London, UK.
- Kitsara, G., Papaioannou, G., Papathanasiou, A. and Retalis, A.**, 2013, Dimming/brightening in Athens: Trends in Sunshine Duration, Cloud Cover and Reference Evapotranspiration, *Water Resour Manage*, 2013:27 DOI 10.1007/s11269-012-0229-4, 1623-1633 pp.
- Kömüşçü, A.U.**, 2001. An Analysis of Recent Drought Conditions in Turkey in Relation to Circulation Patterns, *Drought Network News*, (13) 5–6 p.
- Kömüşçü, A.Ü., Erkan, A. ve Turgu, E.**, 2002, Normalleştirilmiş Yağış İndeksi Metodu ile Türkiye’de Kuraklık Oluşumunun Coğrafik Analizi, DMİ Genel Müdürlüğü Araştırma ve Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı Yayını, Ankara.
- Kukul, Y.S., Anaç, S., Yeşilirmak, E. and Moraes, J.M.**, 2007, Trends of Precipitation and Stream-flow in Gediz River Basin, Western Turkey, *Fresenius Enviromental Bulletin*, Vol.16, No.5, 2007.
- Kutieli, H. ve Türkeş, M.**, 2017, Spatial and temporal variability of dryness characteristics in Turkey, *International Journal of Climatology*, Volume 37, Issue S1, August 2017, 818–828 pp.
- Lloyd, C.D.**, 2005, Assessing The Effect of Integrating Elevation Data Into The Estimation of Monthly Precipitation in Great Britain, *Journal of Hydrology*, 308, 128–150 pp.
- Macana, E. ve Yeşilirmak, E.**, 2015, Büyük Menderes Havzasında Ortalama, Maksimum ve Minimum Sıcaklık Eğilimleri, *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2015; 12(1), 73-80 s.
- Mann, H.B.**, 1945, Nonparametric Tests Against Trend, *Econometrica*, 13, 245–259 pp.
- McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J.**, 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., Özgürel, M. ve Topçuoğlu, K.**, 2004, Standart Yağış İndisi (SPI) ile Ege Bölgesinde Kuraklık Analizi, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, ISSN 1018-8851, İzmir, 2004 – 41 (1), 99-106 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Mengü, G.P., Anaç, S., and Topçuoğlu, K.,** 2009, Analysis of Drought In The Marmara Region Using The Standardized Precipitation Index, *Fresenius Environmental Bulletin*, Volume 18-No.5, 2009, 633-641 pp.
- Mengü, G.P., Anaç, S., Akkuzu, E. ve Özçakal, E.,** 2015, Ege Bölgesinde Klimatolojik Yağış Açığı İndisinin Zamansal ve Mekansal Değişimi, Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Raporu, İzmir, P.No: 2010-ZRF-024.
- Mengü, G.P., Yıldırım, T., Özçakal, E. and Akkuzu, E.,** 2018, Temporal Change of Climatological Precipitation Deficit Index in The Buyuk Menderes Basin, Turkey, *Climatology and Water Management, Agronomy Journal*, Volume III, Issue I, 336-342 pp.
- Mishra, A.K. and Singh, V.P.,** 2010, A review of drought concepts, *Journal of Hydrology*, 391: 202–216 pp.
- MGM,** 2018a, “Türkiye Meteorolojik Verilerinin İstatistiksel Değerlendirmesi”, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2018 Ankara.
- MGM,** 2018b, “Türkiye İklim Verileri”, <https://www.mgm.gov.tr/index.aspx>, (Erişim tarihi: 27 Kasım 2018).
- Moorhead, Y.E., Gowda, P.H., Marek, T.H., Porter, D.O., Howell, T.A., Singh, V.P. and Stewart, B.A.,** 2013, Use Of Crop-Specific Drought Indices For Determining Irrigation Demand In The Texas High Plains, *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, ISSN 0883-8542, Vol. 29 (6): 905-916 pp.
- Mulla, D.J. and Mc Bratney, A.B.,** 2001, Soil Spatial Variability, *Handbook of Soil Science*, CRS Press, 321-352 pp.
- Ölgen, K.,** 2010, Türkiye’de Yıllık ve Mevsimsel Yağış Değişkenliğinin Alansal Dağılımı, *Ege Coğrafya Dergisi*, 19/1 (2010), İzmir, 85-95 s.
- Özgürel, M., Mengü, G.P. ve Topçuoğlu, K.,** 2003, Ege Bölgesi Koşullarında Farklı İki Kuraklık İndisinin Karşılaştırılması, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, ISSN 1018-8851, İzmir, 2003-40 (1), 95-102 s.
- 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 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Pohlert, T.**, 2018, Trend Package: Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection, Version.1.1.0, 2018-01-02, <https://cran.r-project.org/web/packages/trend/index.html>
- Potop, V. and Mozny, M.**, 2011, The Application a new drought index- Standardized Precipitation Evapotranspiration Index in the Czech Republic, Mikroklima a mezoklima krajinných struktúr a antropogenních prostředí, 4.2. 2011, ISBN 978-80-86690-87-2.
- Resmi Gazete**, 2007, 2007 Yılı İlkbahar Döneminde Türkiye'nin Çeşitli İllerinde Meydana Gelen Kuraklık Nedeniyle Zarar Gören Çiftçilere Nakdi Desteğin Hibe Olarak Verilmesi ve Bu Çiftçilerin T.C. Ziraat bankası A.Ş. ile Tarım Kredi Kooperatiflerine Olan Tarımsal Kredi Borçlarının Ertelemesine İlişkin Karar, Tarih:04/07/2007, Sayı:2007/12339.
- Sen, P.K.**, 1968, Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau, *Journal of the American Statistical Assosiation*, 63, 1379-1389
- Smith, M.**, 1992, CROPWAT-A Computer Program For Irrigation Planning and Management, FAO Irrigation and Drainage Paper 46, Rome, ISBN 92-510306-1.
- Şen, Ö.L.**, 2013, Türkiye'de İklim Değişiminin Bütünsel Resmi, III. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, İstanbul, 3-5 Haziran 2013.
- Şen, Z.**, 2014, Trend identification simulation and application, *J. Hydrol. Eng.*, 19 (3), 635-642 s.
- Teltik, İ.**, 2008, Van Gölü Su Seviyesinin Stokastik Modellenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tong, S., Lai, Q., Zhang, J., Bao, Y., Lusi, A., Ma, O., Li, X. and Zhang, F.**, 2018, Spatiotemporal Drought Variability on The Mongolian Plateau From 1980–2014 Based on The SPEI-PM, *Intensity Analysis and Hurst Exponent*, *Science of the Total Environment*, 615 (2018), 1557–1565 pp.
- Topçuoğlu, K.**, 2005, Farklı kuraklık indislerinin Türkiye vejetasyonu özelinde irdelenmesi ve vejetasyon dağılımını ifade edecek indisin belirlenmesine yönelik bir araştırma, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 501.04.01.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Topçuoğlu, K., Mengü, G.P. ve Anaç, S.,** 2008, Ege Bölgesi Meteorolojik Kuraklık Analizi, Konya Kapalı Havzası Yeraltı Suyu ve Kuraklık Konferansı, 11-12 Eylül 2008, Konya.
- Trangmar, B.B., Yost, R.S. and Uehara, G.,** 1985, Application of Geostatistics to Spatial Studies of Soil Properties, *Advances in Agronomy*, San Diego Academic Press, Vol:36, 45-94 pp.
- Türkeş, M.,** 2011, Akhisar ve Manisa Yörelerinin Yağış ve Kuraklık İndisi Dizilerindeki Değişimlerin Hidroklimatolojik ve Zaman Dizisi Çözümlemesi ve Sonuçların Çölleşme Açısından Coğrafi Bireşimi, *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 2011 CBD 9 (1), 79-99 s.
- Türkeş, M.,** 2014, Kuraklık Olaylarının İklim Değişikliği ve Çölleşme Açısından Önemi ve Türkiye'deki 2013-2014 Kuraklığının Sinoptik Klimatolojik/Meteorolojik ve Atmosferik Bağlantıları., 3 Mart 2014, Hidropolitik Akademi İklim Değişikliği ve Kuraklık Çalışmaları, Ankara.
- TÜİK,** 2014, İller bazında GSYH değerleri, <http://tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist> (Erişim Tarihi:27 Kasım 2018)
- TZOB,** 2018, Zirai ve İktisadi Rapor 2007-2010, <http://www.tzob.org.tr/zirai-iktisadi-raporlar#>, (Erişim tarihi: 02 Temmuz 2019)
- Vicente-Serrano, S.M., Begueria, S. and Lopez-Moreno, J.,** 2010, A Multi-Scalar Drought Index Sensitive To Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), *Journal of Climate*, 23:1696-1718 pp.
- Vicente-Serrano, S.M., Schrier, G.V., Begueria, S., Azorin-Molina, C. and Lopez-Moreno, J.,** 2015, Contribution of Precipitation and Reference Evapotranspiration to Drought Indices Under Different Climates, *Journal of Hydrology*, 526 (2015), 42-54 pp.
- Vieira, S.R., Hatfield, J.L., Nielsen, D.R. and Biggar, J.L,** 1983, Geostatistical Theory and Application to Variability of Some Agronomical Properties, *Hilgardia*, v.51, No.3, 75 p.
- Webster, R. and Oliver, M.A.,** 2001, Geostatistics for Enviromental Scientisti, Jhon Wiley&Sons Ltd, England.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Wijngaard, J.B., Klein Tank, A.M. and Können, G.P.**, 2003, Homogeneity of 20th Century European Daily Temperature And Precipitation Series, *International Journal of Climatology*, Vol:23, DOI: 10.1002/joc.906, 679-692 pp.
- Wild, M.**, 2012, Enlightening Global Dimming and Brightening, *American Meteorological Society*, Ocak 2012, DOI:10.1175/BAMS-D-11-00074.1, 27-38 pp.
- Wilhite, D.A. and Glantz, M.A.**, 1985, Understanding the drought phenomenon the role of definitions, *Water International*, Vol.10, 111-120 pp.
- WRI**, 2019, World Water Stress by Country Report, <https://www.wri.org/resources/charts-graphs/water-stress-country> (Erişim Tarihi: 08 Ağustos 2019)
- Yeşilirmak, E., Akçay, S. ve Dağdelen, N.**, 2011, Büyük Menderes Havzasında Yıllık Toplam Yağışların Zamansal Değişimleri, *ADÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2011; 8(1), 37-46 s.
- Yu, Y.S., Zou, S. and Whitemore, D.**, 1993, Non-parametric Trend Analysis of Water Quality Data of Rivers in Kansas., *J. Hydrol. (Amst.)*, 150 (1), 61–80 pp.
- Yürekli, K. ve Anlı, A.S.**, 2016, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ile Karaman İli Kuraklığının Analizi, 246-251 s.
- Zhao, H., Gao, G., An, W., Zou, X., Li, H. and Hou, M.**, 2017, Timescale differences between SC-PDSI and SPEI for drought monitoring in China, *Physics and Chemistry of the Earth, Physics and Chemistry of the Earth*, 102 (2017), 48-58 pp.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince her türlü yardım ve desteğini gördüğüm eşim Filinta Yıldız ÖZÇELİK ile kızlarım Elif Masal ve Gül GÖKSU ÖZÇELİK'e, meteorolojik verilerin temin edilmesinde gösterdikleri incelik ve sağladıkları kolaylık için Meteoroloji Genel Müdürlüğü çalışanlarına, özellikle kıymetli görüşlerinden yararlandığım ve yakın ilgisini esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Gülay Pamuk MENGÜ'ye ve değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Erhan AKKUZU'ya teşekkürü bir borç bilirim.

07/08/2019



Şener ÖZÇELİK

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER	
Adı Soyadı	Şener ÖZÇELİK
Ünvan	Ziraat Mühendisi
Doğum Tarihi	1980
E-mail	sener.ozcelik@tarimorman.gov.tr
EĞİTİM BİLGİLERİ	
Lisans	
Üniversite Adı	Ege Üniversitesi
Akademik Birim / Mezuniyet Yılı	Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü / 2004
MAKALELER & BİLDİRİLER & YAYINLAR	

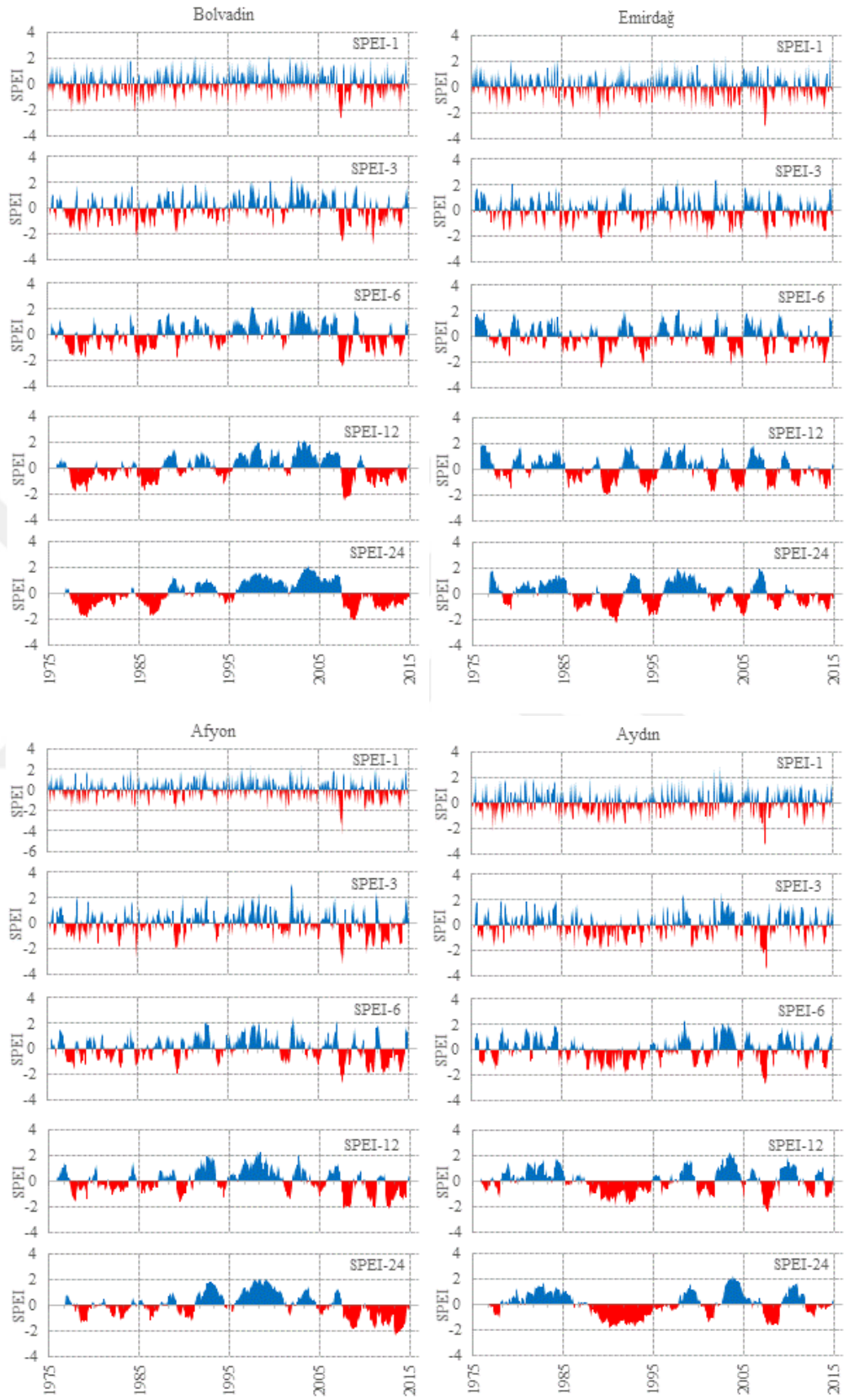
EKLER

Ek.1 SPEI Diyagramları

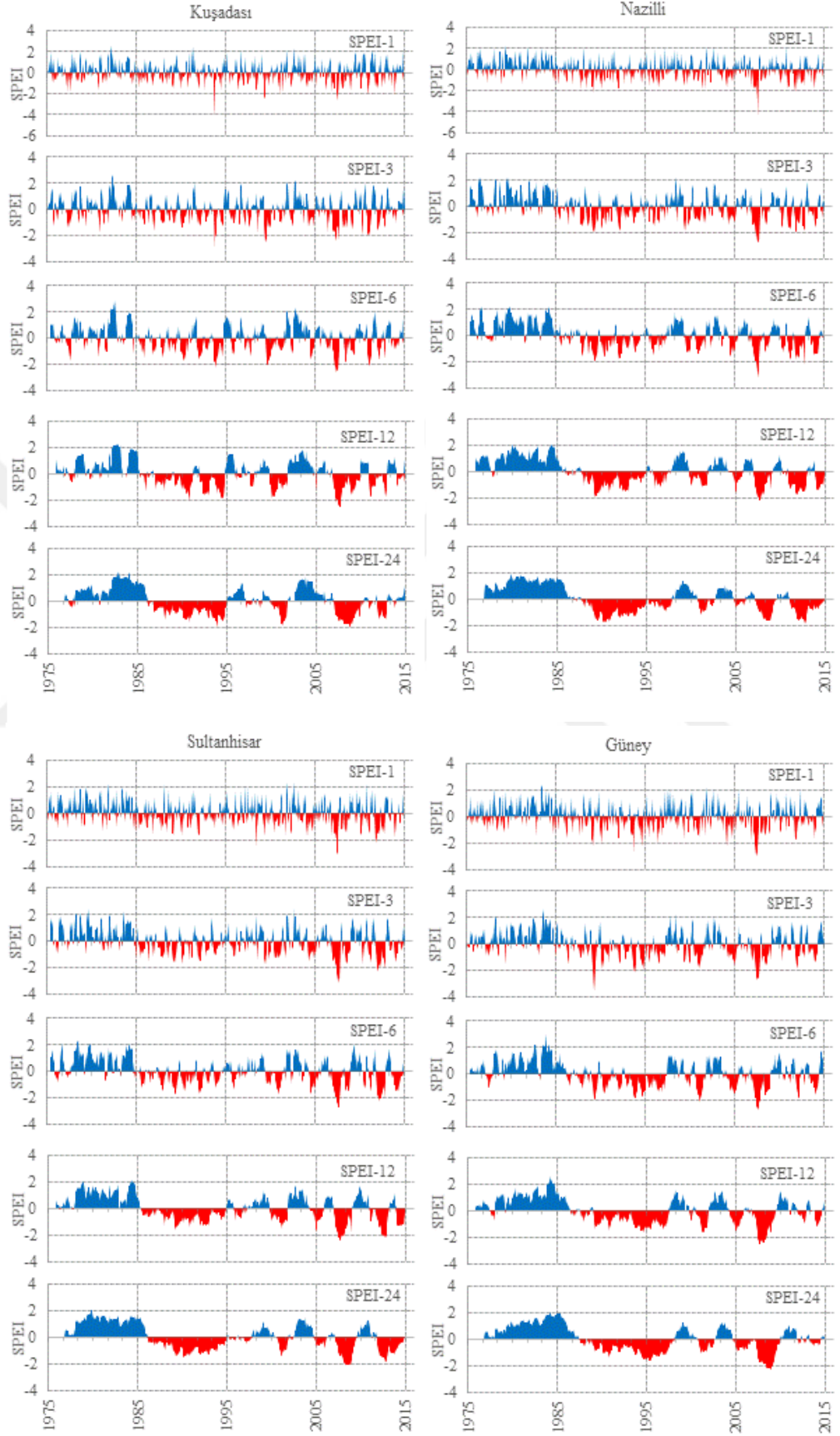
Ek.2 SPEI n/m oran tablosu



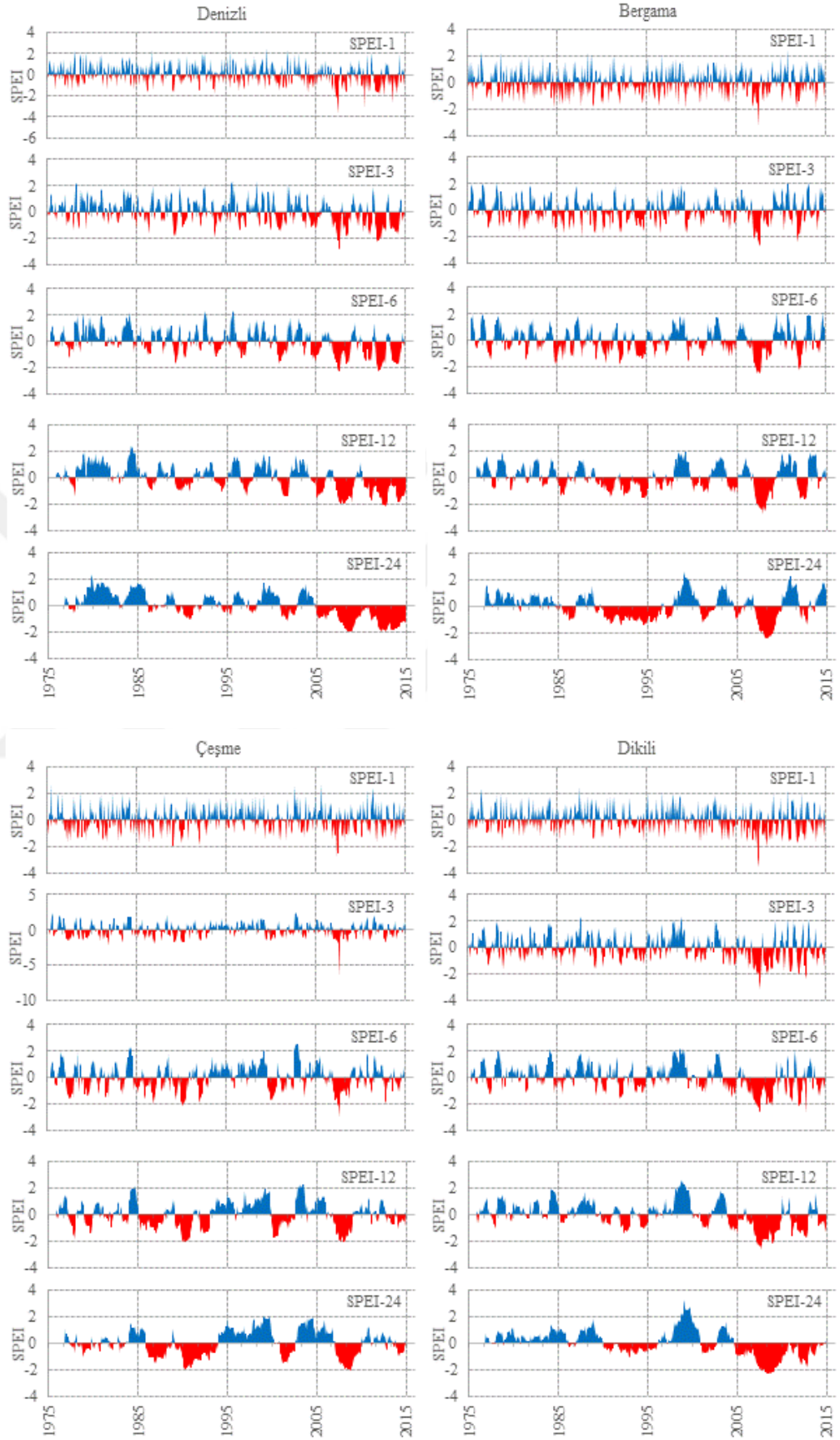
Ek.1 SPEI Diyagramları



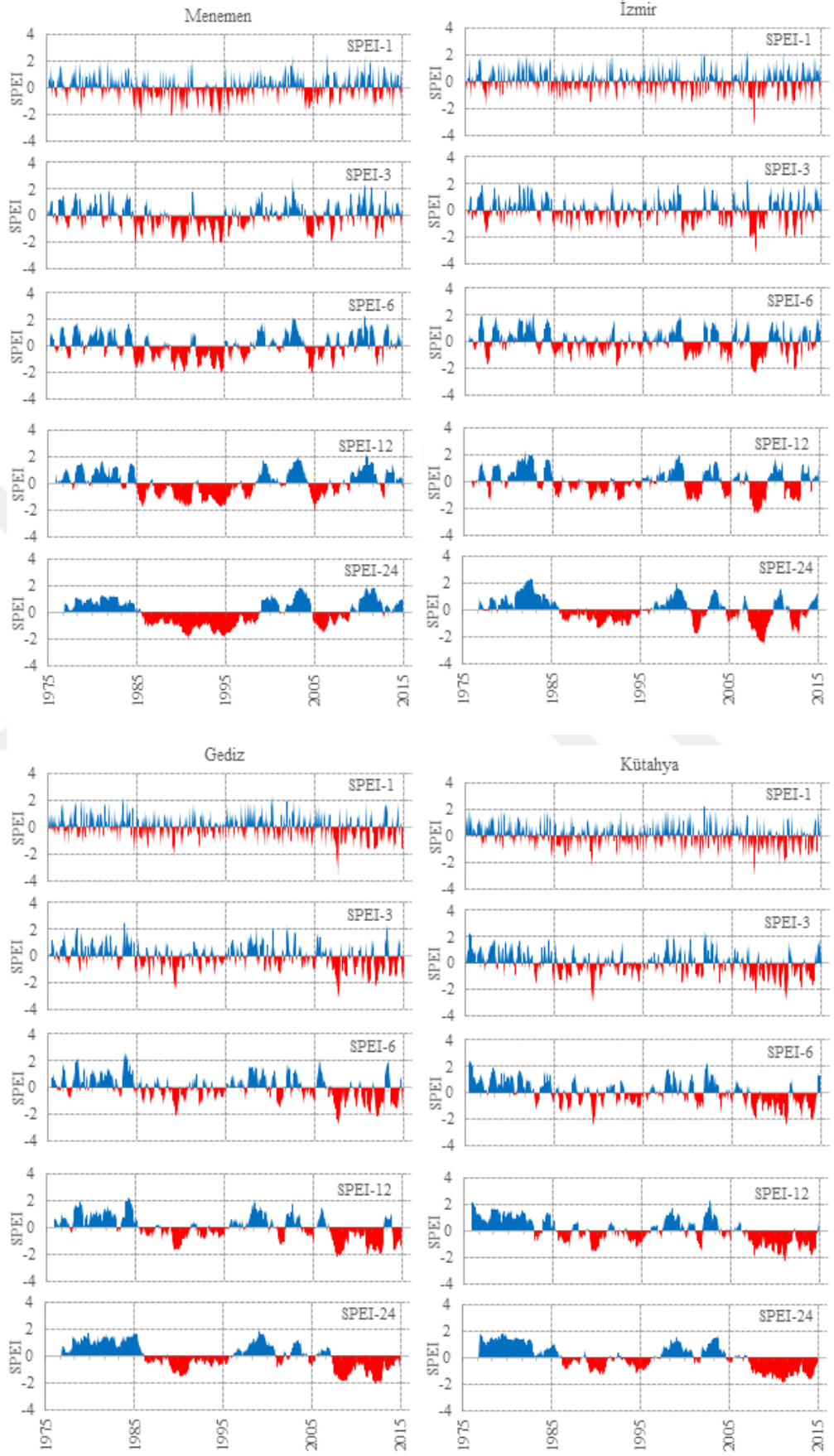
Ek.1 Devamı: SPEI Diyagramları



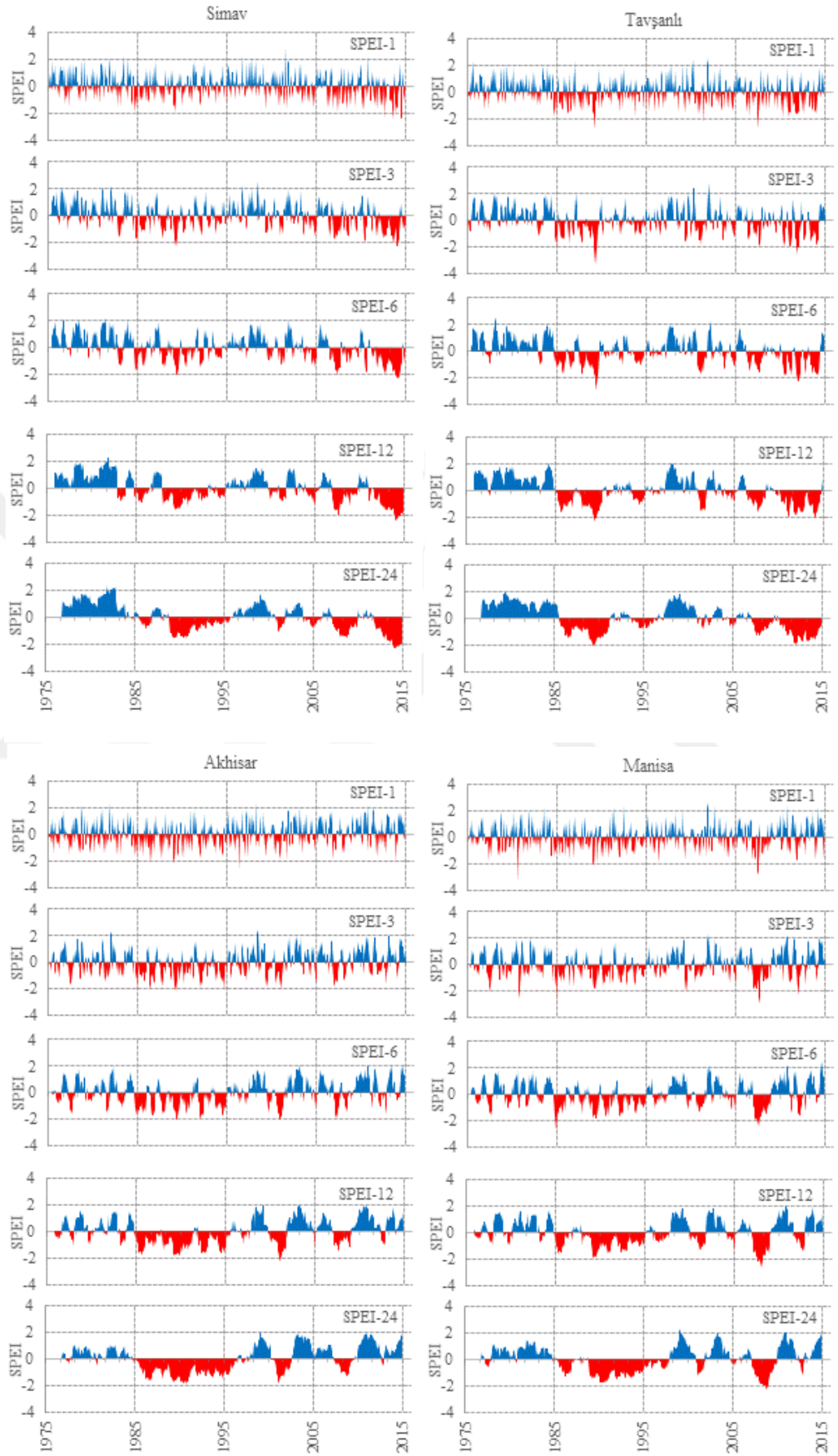
Ek.1 Devamı: SPEI Diyagramları



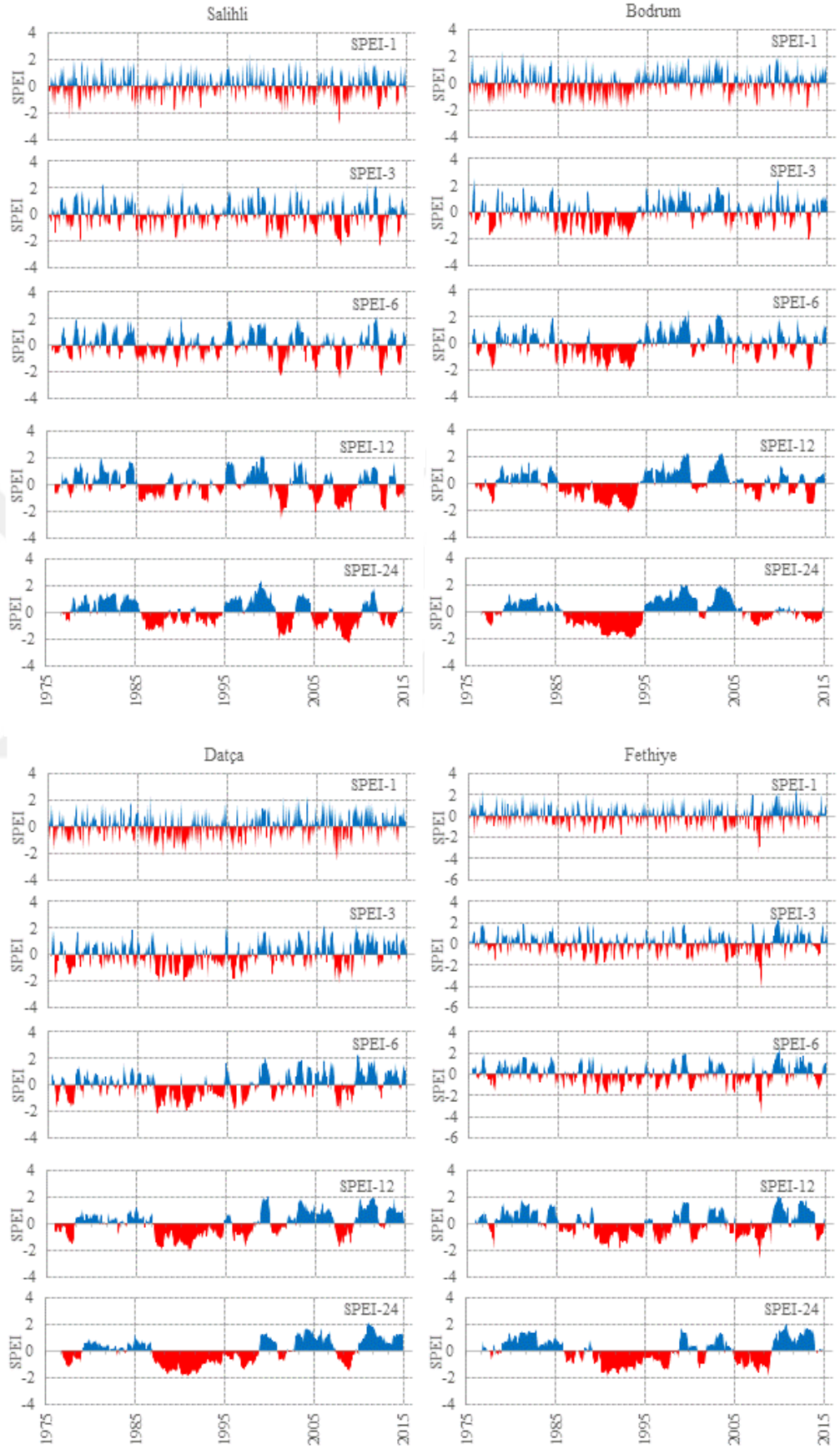
Ek.1 Devamı: SPEI Diyagramları



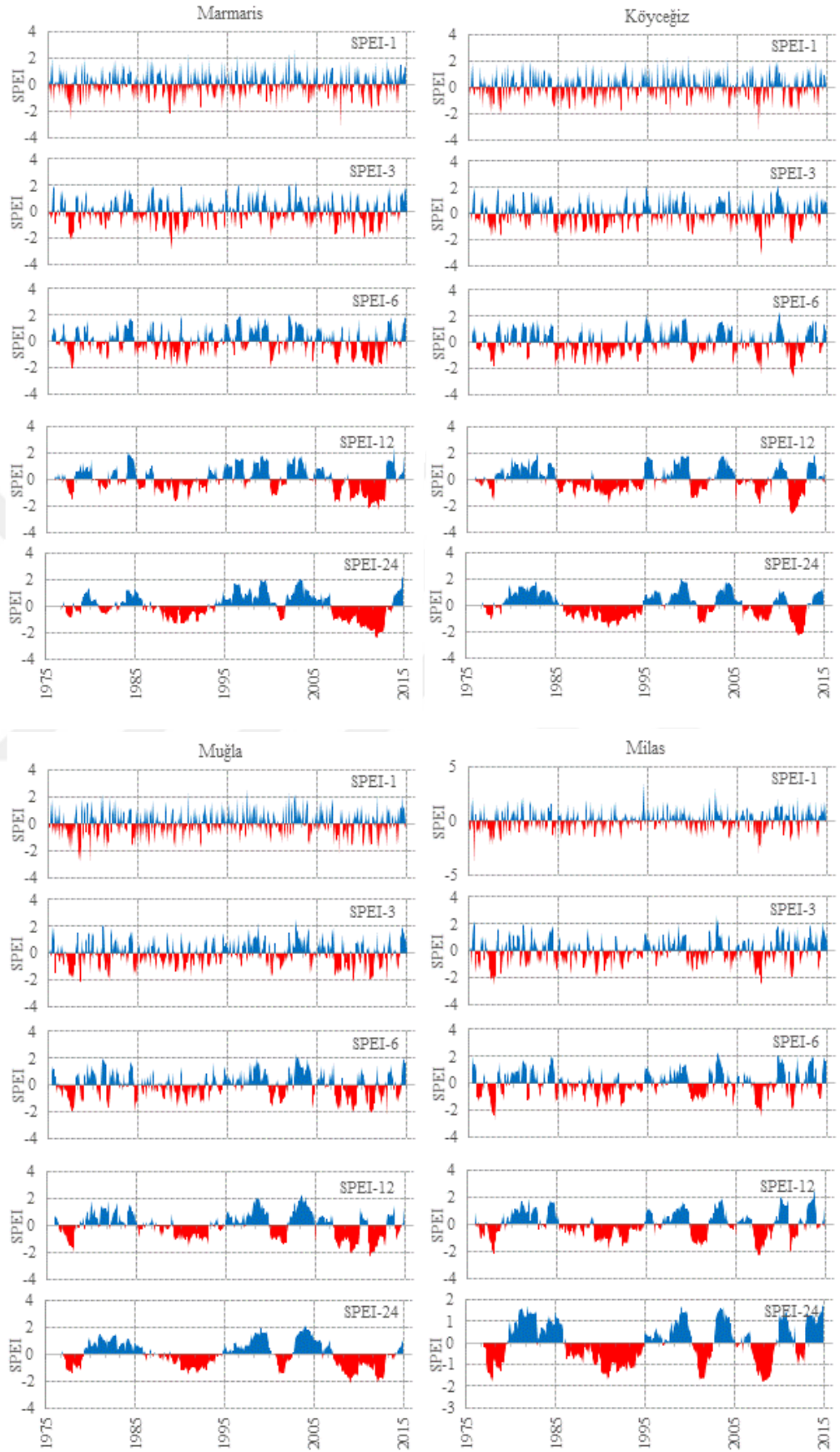
Ek.1 Devamı: SPEI Diyagramları



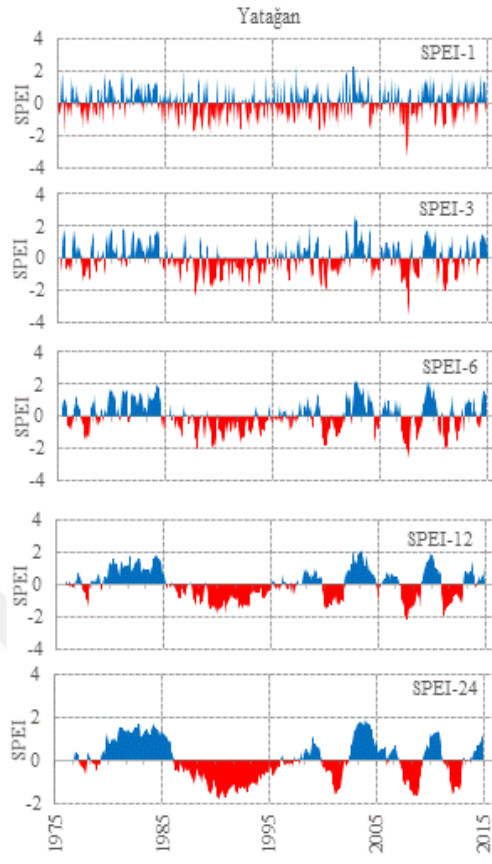
Ek.1 Devamı: SPEI Diyagramları



Ek.1 Devamı: SPEI Diyagramları



Ek.1 Devamı: SPEI Diyagramları



Ek.2 SPEI n/m oran tablosu

İstasyon Adı	1975-1984	1985-1994	1995-2004	2005-2014
	SPEI-1			
Bolvadin	0.03	0.03	0.02	0.05
Emirdağ	0.02	0.04	0.02	0.03
Afyon	0.02	0.03	0.02	0.03
Aydın	0.02	0.02	0.02	0.04
Kuşadası	0.01	0.02	0.03	0.03
Nazilli	0.01	0.02	0.02	0.03
Sultanhisar	0.01	0.02	0.02	0.06
Güney	0.01	0.04	0.03	0.06
Denizli	0.01	0.03	0.02	0.05
Bergama	0.02	0.03	0.03	0.04
Çeşme	0.02	0.03	0.01	0.03
Dikili	0.01	0.02	0.02	0.04
Menemen	0.03	0.05	0.03	0.02
İzmir	0.01	0.02	0.03	0.04
Gediz	0.01	0.03	0.02	0.04
Kütahya	0.02	0.03	0.02	0.04
Simav	0.02	0.03	0.01	0.03
Tavşanlı	0.02	0.03	0.02	0.04
Akhisar	0.02	0.03	0.02	0.02
Manisa	0.02	0.02	0.02	0.03
Salihli	0.03	0.02	0.03	0.03
Bodrum	0.03	0.03	0.02	0.03
Datça	0.02	0.06	0.02	0.02
Fethiye	0.01	0.03	0.04	0.03
Köyceğiz	0.02	0.02	0.02	0.04
Marmaris	0.02	0.03	0.02	0.03
Muğla	0.03	0.02	0.02	0.03
Milas	0.03	0.02	0.02	0.03
Yatağan	0.01	0.03	0.03	0.04
Ortalama	0.02	0.03	0.02	0.04

Ek.2 Devamı: SPEI n/m oran tablosu

İstasyon Adı	1975-1984	1985-1994	1995-2004	2005-2014
	SPEI-3			
Bolvadin	0.04	0.04	0.03	0.06
Emirdağ	0.03	0.04	0.05	0.05
Afyon	0.03	0.04	0.01	0.05
Aydın	0.03	0.04	0.03	0.08
Kuşadası	0.02	0.04	0.03	0.08
Nazilli	0.01	0.04	0.03	0.08
Sultanhisar	0.01	0.04	0.03	0.09
Güney	0.01	0.05	0.04	0.06
Denizli	0.01	0.04	0.06	0.11
Bergama	0.03	0.03	0.02	0.08
Çeşme	0.06	0.05	0.03	0.09
Dikili	0.03	0.03	0.03	0.09
Menemen	0.02	0.05	0.08	0.08
İzmir	0.04	0.03	0.03	0.08
Gediz	0.02	0.04	0.04	0.06
Kütahya	0.02	0.04	0.02	0.07
Simav	0.03	0.04	0.03	0.07
Tavşanlı	0.03	0.05	0.04	0.05
Akhisar	0.03	0.04	0.04	0.05
Manisa	0.03	0.03	0.03	0.08
Salihli	0.03	0.04	0.08	0.08
Bodrum	0.07	0.08	0.02	0.05
Datça	0.05	0.07	0.04	0.03
Fethiye	0.02	0.04	0.05	0.08
Köyceğiz	0.03	0.05	0.03	0.06
Marmaris	0.06	0.05	0.03	0.04
Muğla	0.07	0.03	0.03	0.05
Milas	0.08	0.04	0.03	0.08
Yatağan	0.03	0.07	0.03	0.08
Ortalama	0.03	0.04	0.03	0.07

Ek.2 Devamı: SPEI n/m oran tablosu

İstasyon Adı	1975-1984	1985-1994	1995-2004	2004-2014
	SPEI-6			
Bolvadin	0.08	0.06	0.01	0.08
Emirdağ	0.02	0.05	0.07	0.05
Afyon	0.04	0.05	0.02	0.10
Aydın	0.03	0.08	0.06	0.08
Kuşadası	0.03	0.05	0.06	0.06
Nazilli	0.00	0.07	0.05	0.08
Sultanhisar	0.00	0.05	0.06	0.10
Güney	0.01	0.05	0.08	0.08
Denizli	0.02	0.03	0.05	0.11
Bergama	0.03	0.08	0.03	0.11
Çeşme	0.08	0.07	0.06	0.08
Dikili	0.03	0.05	0.02	0.11
Menemen	0.01	0.08	0.05	0.06
İzmir	0.05	0.05	0.05	0.10
Gediz	0.00	0.07	0.05	0.08
Kütahya	0.01	0.05	0.03	0.08
Simav	0.05	0.07	0.03	0.11
Tavşanlı	0.00	0.08	0.07	0.10
Akhisar	0.03	0.08	0.07	0.04
Manisa	0.03	0.06	0.02	0.11
Salihli	0.03	0.03	0.08	0.07
Bodrum	0.05	0.16	0.02	0.06
Datça	0.09	0.13	0.06	0.05
Fethiye	0.02	0.05	0.07	0.07
Köyceğiz	0.06	0.03	0.05	0.08
Marmaris	0.04	0.03	0.05	0.07
Muğla	0.08	0.03	0.06	0.07
Milas	0.08	0.05	0.04	0.10
Yatağan	0.06	0.06	0.06	0.08
Ortalama	0.04	0.06	0.05	0.08

Ek.2 Devamı: SPEI n/m oran tablosu

İstasyon Adı	1975-1984	1985-1994	1995-2004	2005-2014
	SPEI-12			
Bolvadin	0.21	0.14	0.00	0.12
Emirdağ	0.03	0.13	0.08	0.10
Afyon	0.07	0.07	0.05	0.12
Aydın	0.02	0.18	0.04	0.12
Kuşadası	0.00	0.08	0.08	0.13
Nazilli	0.00	0.11	0.05	0.12
Sultanhisar	0.00	0.07	0.06	0.14
Güney	0.00	0.14	0.21	0.17
Denizli	0.01	0.01	0.08	0.19
Bergama	0.00	0.08	0.02	0.18
Çeşme	0.03	0.12	0.08	0.18
Dikili	0.01	0.07	0.03	0.30
Menemen	0.00	0.22	0.19	0.10
İzmir	0.03	0.08	0.08	0.19
Gediz	0.00	0.10	0.07	0.21
Kütahya	0.00	0.10	0.03	0.11
Simav	0.00	0.11	0.01	0.27
Tavşanlı	0.00	0.13	0.06	0.13
Akhisar	0.01	0.11	0.09	0.03
Manisa	0.00	0.10	0.04	0.18
Salihli	0.01	0.08	0.09	0.14
Bodrum	0.04	0.22	0.00	0.08
Datça	0.08	0.27	0.05	0.06
Fethiye	0.02	0.12	0.07	0.08
Köyceğiz	0.03	0.10	0.08	0.19
Marmaris	0.05	0.06	0.08	0.27
Muğla	0.09	0.04	0.07	0.12
Milas	0.09	0.08	0.18	0.14
Yatağan	0.02	0.20	0.08	0.13
Ortalama	0.03	0.11	0.07	0.15

Ek.2 Devamı: SPEI n/m oran tablosu

İstasyon Adı	1975-1984	1985-1994	1995-2004	2005-2014
	SPEI-24			
Bolvadin	0.19	0.13	0.00	0.14
Emirdağ	0.02	0.14	0.13	0.09
Afyon	0.10	0.02	0.00	0.14
Aydın	0.01	0.51	0.08	0.16
Kuşadası	0.00	0.15	0.09	0.23
Nazilli	0.00	0.13	0.02	0.13
Sultanhisar	0.00	0.10	0.03	0.18
Güney	0.00	0.06	0.23	0.21
Denizli	0.00	0.02	0.02	0.32
Bergama	0.00	0.08	0.03	0.23
Çeşme	0.01	0.21	0.08	0.18
Dikili	0.00	0.01	0.00	0.31
Menemen	0.00	0.19	0.30	0.10
İzmir	0.00	0.06	0.09	0.21
Gediz	0.00	0.19	0.00	0.21
Kütahya	0.00	0.05	0.01	0.43
Simav	0.00	0.23	0.01	0.23
Tavşanlı	0.00	0.21	0.00	0.15
Akhisar	0.00	0.23	0.09	0.04
Manisa	0.00	0.15	0.02	0.20
Salihli	0.00	0.10	0.11	0.16
Bodrum	0.02	0.47	0.00	0.02
Datça	0.07	0.28	0.08	0.08
Fethiye	0.00	0.39	0.08	0.09
Köyceğiz	0.01	0.23	0.08	0.17
Marmaris	0.00	0.06	0.03	0.32
Muğla	0.08	0.08	0.08	0.19
Milas	0.08	0.12	0.10	0.19
Yatağan	0.00	0.35	0.09	0.10
Ortalama	0.02	0.17	0.06	0.18