Küresel Isınmanın Kuraklığa Etkilerinin Değerlendirilmesinde SPI ve SREI İndislerinin Karşılaştırılması

Kadri Yürekli[1], Ali Ünlükara[2]

1 Prof. Dr.; Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, TOKAT
kadriyurekli@yahoo.com

2 Doç. Dr, Erciyes Üniversitesi Seyrani Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği, KAYSERİ

ÖZET

Küresel ısınma nedeniyle önümüzdeki 100 yıl içerisinde dünya ortalama sıcaklığının 3-5°C artacağını çeşitli çalışmalar öne sürmektedir. Yapılan bazı çalışmalar artan sıcaklığın kuraklık şiddetini belirgin şekilde artıracağını belirtmektedir. Dünyada yaygın şekilde kabul gören Standart Yağış İndisi (SPI) ise hesaplamalarında yağışı dikkate alırken sıcaklığı dikkate almamaktadır. FAO 56 Penman-Monteith Referans Evapotranspirasyon (ET_0) kullanılarak hesaplanan Standart Referans Evapotranspirasyon İndisi içerisinde ise sıcaklık dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada Kayseri için sıcaklığın 3°C (Senaryo I) ve 5°C (Senaryo II) artacağı farz edilmiş ve 35 yıllık veriler kullanılarak SREI indisi 1, 3, 6, 12, 18 ve 24 aylık dönemler için hesaplanmıştır. Aynı dönemler için hesaplanan SPI sonuçları ile SREI sonuçları arasındaki farklılık ortaya konulmaya çalışılmıştır. SREI indisi SPI indisi gibi farklı zaman periyotlarında kurak dönemlerin belirlenmesi için kullanılabilmesi yanında SPI indisinden farklı olarak artan sıcaklıkların kuraklık üzerine etkilerini de ortaya koyabilme üstünlüğüne sahip olduğunu açıkça göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Referans bitki su tüketimi, FAO56 Penman-Monteith, Standart Yağış İndisi, Standart Referans Evapotranspirasyon İndisi.

Comparing of SPI and SPEI For Evaluating of Global Warming Effects on Drought

ABSTRACT

The various studies suggest that the average temperature of Earth's atmosphere due to global warming in the next 100 years is likely to rise a further 3 to 5 ℃. Some studies have reported that the sever ity of the drought will significantly increase with increasing temperature. Standardized Precipitation Index (SPI) widely accepted in measuring drought considers only precipitation. Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) can take into account for possible of temperature variability and temperature extremes. In the study, the SPI and SPEI indices for Kayseri province are calculated using 35 years of data (from 1975 to 2009) for time scales (3-12 months). Additionaly, the SPEI were calculated with a progressive increase of 3ºC (Scenario one) and 5ºC (Scenario two) throughout the analyzed period. The SPI and SPEI indexes for the studied period were compared with. The SPEI index

can identify drought for different time scales like the SPI, but the SPEI has advantage to reveal the effect of incresing temperature on drought according to the SPI.

Key Words: Reference evapotranspiration, FAO56 Penman-Monteith, standardized precipitation index, standardized precipitation evapotranspiration index.

GİRİŞ

Kuraklık, diğer doğal afetler gibi ani olarak ortaya çıkmasına rağmen, insanoğlunu ve yaşadığı ekosistemi diğerlerinden daha fazla tehdit eden ve yıllık ortalama zararı 8–10 milyar doları bulan dünyanın en yüksek maliyetli afetlerindendir (Wilhite, 1985). Kuşkusuz kuraklığın etkisini artıran diğer bir faktör de hızlı nüfus artışı ve bunun bir sonucu olan suya olan talepteki artıştır.

Kuraklığın çoklu zaman ölçekli bir olay olduğu yaygın şekilde kabul edilmektedir. Suyun kıt olduğu zaman aralığı son derece önemlidir ve hidrolojik kuraklık, çevresel kuraklık, tarımsal kuraklık ve diğer tür kuraklıkları fonksiyonel olarak birbirinden ayırmaktadır. Bu nedenle kullanılabilir çeşitli su kaynaklarının izlenmesi ve yönetiminde kuraklık indisleri kullanılabilir özel zaman ölçekleriyle ilişkilendirilmelidir. Standart Yağış İndeksinin (SPI) farklı zaman ölçeklerinde elde edilebilir olması, zaman ve mekan boyutunda karşılaştırılabilir olan SPI'nın yaygın şekilde kabul görmesinin nedenini açıklamaktadır. Nitekim Edwards and McKee 1997 ve Redmond 2000 tarafından da SPI yönteminin zaman ölçeğinde geniş bir uygulamaya fırsat vermesi nedeniyle kuraklığın kısa ve uzun dönemli takiplerinde daha esnek bir yapıya sahip olduğu belirtilmektedir (Vicente-Serrano 2013).

SPI indisini de içine alan yağış esaslı kuraklık indisleri iki kabule dayanmaktadır: i) Yağış değişkenliğinin sıcaklık ve potansiyel evapotranspirasyon gibi diğer değişkenlerin değişkenliğinden çok daha yüksek olduğu ve ii) bu diğer değişkenler durağan (zamansal bir trende sahip değildir) olduğu kabulleridir. Bu yaklaşımda bu diğer değişkenlerin önemi göz ardı edilmekte ve kuraklık yağıştaki zamansal değişkenlik ile kontrol edilmektedir (Vicente-Serrano 2013). Aslında bilim adamları tarafından kuraklık farklı şekillerde tanımlansa da, kuraklıkta ana etkenin yağışlarda meydana gelen ciddi düşüşlerin oluşturduğu belirtilmektedir. Dolayısı ile kuraklık, tarımsal, hidrolojik ve meteorolojik kuraklık olarak sınıflandırılsa da, kuraklık denilince akla yağıştaki azalmadan dolayı meteorolojik kuraklık gelmektedir. Bu nedenle kuraklık ile ilgili çalışmaların çoğunda yağış en önemli parametre olmuştur (Yürekli et al. 2010).

Buna karşın, bazı araştırıcılar kurak şartlar üzerine sıcaklığın önemli etkisinin sistematik şekilde ihmal edilmesine karşı uyarılarda bulunmaktadırlar. Sıcaklık artışlarının kuraklığın şiddetini belirgin şekilde etkilediği deneysel çalışmalar ile ortaya konmuştur. Son 150 yılda genel bir sıcaklık artışı (0.5-2°C) bulunmaktadır ve iklim değişiklik modelleri 21. Yüzyılda belirgin sıcaklık artışları tahmin etmektedir. Evapotranspirasyon nedeniyle su tüketiminde artışlar ile birlikte sıcaklık artışlarının kurak şartlar için dramatik sonuçlara sahip olacağı beklenilmektedir (Vicente-Serrano 2013). Küresel ısınma tehdidinin tarım sektörünü iki şekilde etkileyeceği ifade edilmektedir. Birincisi bitkinin ihtiyaç duyduğu suyun karşılanamaması, diğeri ise bitki su tüketimini artırmasıdır. Bu anlamda bitkinin aleyhine işleyen böylesine önemli bir sürecin zaman içindeki değişimlerinin incelenmesi gerekmektedir.

Bu nedenle Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi (PDSI) gibi formülasyonunda sıcaklık verisi içeren kuraklık indislerinin kullanımı ön plana çıkmaktadır. Fakat PDSI, farklı kuraklık tipleri arasında ayrım yapılması ve farklı hidrolojik sistemler ili ilişkili kuraklık değerlendirmeleri için esas olan çoklu zaman ölçekli özellikten yoksundur. Bundan dolayı yeni bir kuraklık indeksi (Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi, SPEI) yağış ve potansiyel evapotranspirasyona dayalı olarak geliştirilmiştir. SPEI indeksi PDSI indeksinin sıcaklık dalgalanmaları ve evapotranspirasyon değişikliklerine duyarlılığı ile SPI indeksinin çoklu-zaman ölçekli karakterleri ve hesaplamadaki kolaylığını birleştirmektedir (Vicente-Serrano 2013).

SPI gelecekteki kuraklık şartlarında sıcaklık artışlarının rolünü ortaya koyabilme ve küresel ısınma senaryolarından bağımsız olarak sıcaklık değişiminin etkisini ve ısı dalgalarının rolünü hesaba katabilme özelliğine sahip değildir. SPEI ise küresel ısınmanın ötesinde sıcaklık değişimlerinin ve ekstrem sıcaklıkların mümkün etkilerini hesaba katabilmektedir. Bu özellikler dünyanın herhangi bir iklim bölgesinde kuraklığın teşhis edilmesi, analizi ve izlenmesi için SPEI kullanımının tercih sebeplerindendir (Vicente-Serrano 2013).

Vicente-Serrano (2013) tarafından Hindistan Indore, New Mexico Abuquerque ve İspanya Valencia için SPEI ile Palmer Kuraklık Şiddet İndeksi (PDSI) ve Standartlaştırılmış Yağış İndeksi karşılaştırılmıştır. Tüm indislerin yağışlarda olabilecek olası değişimleri yansıttığı bildirilen çalışmada SPI ve SPEI indislerinin çoklu-zaman ölçeğine sahip olması nedeniyle PDSI indisine göre daha kısa ve daha uzun süreli kuraklıkları belirleyebildiği belirtilmiştir. PDSI ve SPEI indislerinin sıcaklığı dikkate almaları nedeniyle küresel ısınma veya ısı dalgaları ve ekstrem sıcaklıkların kuraklık etkilerini hesaba kattığı belirtilmiştir. Söz konusu çalışmada Potansiyel Evapotranspirasyon Thornthwaite (1948) yöntemine göre hesaplanmıştır.

Günümüzde Potansiyel Evapotranspirasyon yerine Referans Evapotranspirasyon kavramı kullanılmaktadır. FAO 56 tarafından referans evapotranspirasyonun hesaplanmasında tek yöntem olarak FAO 56 Penman-Monteith yönteminin kullanılması önerilmektedir. Bu yöntemde referans bitki olarak büyük bir alanda hastalık etkilerinin olmadığı, su ve besin maddelerinin yeterli olduğu, etkin şekilde yetişen, 12-15 cm bitki boyuna sahip, 70 $s.m^{-1}$ yüzey direnci gösteren, albedosu %23 olan teorik bir çim bitkisi dikkate alınmaktadır. Hesaplamalarda güneşten gelen enerji, maksimum ve minimum sıcaklık, maksimum ve minimum bağıl nem, rüzgar hızı ve hava basıncı verileri kullanılmaktadır. Bitki su tüketimi tahmininde kullanılan FAO 56 Penman-Monteith yönteminde atmosfer şartlarındaki değişim referans bitki su tüketimiyle (ET_0) ifade edilirken bitkilere göre değişen şartlar ise bitki katsayılarıyla ifade edilmektedir. Bu nedenle iklim veya atmosferik şartlarda meydana gelen değişim doğrudan referans bitki su tüketimine yansıyacaktır. Allen et al., (1998), atmosferin buharlaşma talebini gösteren referans bitki su tüketimi veya referans evapotranspirasyonun (ET_0), yılın farklı dönemlerinde karşılaştırmalar yapılabilmesine izin vermesi yanında başka bölgeler arasında da karşılaştırmalar yapılabilmesine imkân tanıyan bir standart olduğunu bildirmiştir. FAO 56 Penman-Monteith Yöntemi'nde tek bitki katsayısı (k_c) veya çift bitki katsayısı ($k_e + k_{cb}$) ile referans bitki su tüketimi düzeltildikten sonra bitkilerin su tüketimleri (ET_c) belirlendiği gibi kuraklık, tuzluluk, hastalık ve diğer etmenlerden kaynaklanan çeşitli stresler nedeniyle bitki su tüketiminde meydana gelen değişim de stres katsayısı (k_s) kullanılarak belirlenebilmektedir (Allen et al., 1998).

Bu çalışma, ülkemizin yıllık yağış ortalamasının en düşük olduğu Orta Anadolu bölgesi içerisinde yer alan Kayseri ilinin, FAO 56 Penman-Monteith ilişkisinden yararlanılarak elde edilen aylık referans bitki su tüketimi değerleri dikkate alınarak hesaplanan Standartlaştırılmış Yağış Referans Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) ile SPI karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Küresel ısınma nedeniyle giderek artan sıcaklığın kuraklık üzerine etkilerinin SPEI tarafından nasıl yansıtılabileceği incelenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma artan küresel ısınma nedeniyle kuraklık şiddetinde meydana gelebilecek değişimlerin yansımasını ortaya konulabilmesinde Standart Referans Evapotranspirasyon İndisinin (SPEI) kullanılabilirliği üzerine yapılmıştır. Bu amaçla Standart Yağış İndisi (SPI) ile Standart Referans Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) Kayseri ili için karşılaştırılmıştır. Söz konusu indisler 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman periyotları için 1975-2009 yılları arası 35 yıllık meteoroloji verileri kullanılarak elde edilmiştir. Çeşitli iklim modelleri sonuçlarına göre önümüzdeki 100 yıllık dönem sonunda artan sera gazlarının etkisi nedeniyle dünya ortalama sıcaklığının 3-5 °C artacağı belirtilmektedir (Ahrens 2009). Bu 100 yıllık sıcaklık artışının SPEI ile kuraklığa yansıyıp yansımadığını görebilmek için Kayseri ili sıcaklık verileri 35 yıllık dönem için I. Senaryoda 1.05 °C ve II. Senaryoda 1.75 °C tedricen artırılmıştır. Her yıla düşen sıcaklık artış oranının aylara paylaştırılmasında her bir ayın yıllık sıcaklık toplamına göre oranı dikkate alınmıştır. Uzun yıllar aylık sıcaklık ortalamaları Kelvin ölçeğine çevrildikten sonra yıllık sıcaklık toplamına göre aylık sıcaklık oranları hesaplanmıştır.

İç Anadolu yukarı Kızılırmak bölgesinde 34° 56′ ve 36° 59′ doğu boylamlarıyla 37° 45′ ve 38° 18′ kuzey enlemleri arasında yer alan Kayseri ili 16.917 km^2 yüzölçümü ile ülke topraklarının yüzde 2,2'lik bir bölümünü kaplamaktadır. İl merkezinin denizden yüksekliği 1094 metredir. Kayseri ili topraklarının %53.4 tarım arazisidir. Kayseri İli, Kızılırmak ve Seyhan havzaları arasında kalmaktadır. İldeki en önemli akarsular Kızılırmak havzasında kalan Kızılırmak ve Sarımsaklı, Seyhan havzasında kalan ve kaynağını il sınırları içinde alan Zamantı ırmağıdır. Bunların dışında irili ufaklı birçok dere ve çay da bulunmaktadır. Kayseri karasal bir iklime sahiptir (Anonymous, 2002). Kayseri ili 1975-2009 yılları için yıllık ortalama aylık ve yıllık yağmur miktarları sırası ile 33.09 mm ve 397.08 mm, uzun yıllar sıcaklık ortalaması ise 10.4°C'dir.

Referans bitki su tüketimi (ET_0) hesaplanmasında Kayseri ili 1975-2009 yılları arası Kayseri Meteoroloji Bölge Müdürlüğü tarafından kaydedilen meteorolojik verilerden aylık ortalamalar şeklinde maksimum ve minimum sıcaklıklar, maksimum ve minimum bağıl nem değerleri, güneş radyasyonu ve rüzgâr hızı verileri kullanılmıştır. Kayseri Meteoroloji Bölge Müdürlüğü rasat parkı rakımı dikkate alınarak hesaplanan hava basıncı değeri ET_0 tahminlerinde dikkate alınmıştır. Atmosferin buharlaşma talebini gösteren referans bitki su tüketimi (ET_0), Allen et al. (1998)'de belirtilen yöntemler takip edilerek aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır:

$$ET_0 = \frac{0.408\,\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273}\,u_2\,(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma\,(1 + 0.34\,u_2)} \qquad (1)$$

Eşitlikte;

ET_0 : Referans evapotranspirasyon (mm gün^{-1}),

R_n : Bitki yüzeyindeki net radyasyon (MJ m^{-2} gün^{-1}),

G : Toprak ısı akış yoğunluğu (MJ m^{-2} gün^{-1}),

T : 2 m yükseklikte ortalama günlük hava sıcaklığı (°C),

U_2 : 2 m yükseklikte rüzgar hızı (m s^{-1}),

e_s : Doygun buhar basıncı (kPa),

e_a : Gerçek buhar basıncı (kPa),

e_s-e_a : Doygun buhar basıncı açığı (kPa),

Δ : Buhar basıncı eğrisinin eğimi (kPa °C^{-1}),

γ : Psikrometrik sabit (kPa °C^{-1}).

ET_0 hesaplamalarında Microsoft Office Excel 2010 programı kullanılmıştır. SPEI serilerini elde etmek amacıyla Eşitlik 2'de aylık yağışlar ile ET_0 arasındaki fark alınarak D_i serileri hesaplanır. SPEI serilerini elde etmek için D_i serilerine en iyi uyan dağılım saptanır. Vicente-Serrano et al. (2010) da D_i serilerine en iyi uyan dağılımın log-logistik dağılımı olduğunu belirtmiştir.

$$D_i = P_i - ET_{0i} \quad (2)$$

Log-logistik dağılımının parametreleri Hosking and Wallis (1997) de verilen l-moment yaklaşımına göre saptanmıştır. Farklı zaman dilimleri için elde edilen D_i değerlerinin log-logistik dağılımından olasılıkları saptanmış ve bu olasılıkların standart normal dağılımdaki karşılığı olan z-değerleri (SPEI) belirlenmiştir.

SPI indeksi, bir *i* istasyonunda seçilmiş bir zaman dilimi içindeki yağmur miktarının (X_i) ortalama yağmur miktarından ($\overline{X_i}$) olan farkının standart sapmaya (σ) bölünmesi ile normalleştirilerek elde edilir (Eşitlik 3). Aşağıda verilen ilişki yağmur verisinin normal dağılım göstermesi durumunda kullanılmaktadır.

Thom (1958) de yağmur serilerinin genellikle gama dağılımına uyduğunu belirtmiştir. Çalışmada farklı zaman dilimleri için elde edilen yağmur serileri iki parametreli gama dağılıma uydurularak bu dağılımdan gözlemlere karşılık gelen olasılıkların standart normal dağılımdaki karşılığı olan z-değerleri (SPI) belirlenmiştir (Edwards and McKee 1997; Redmond 2000).

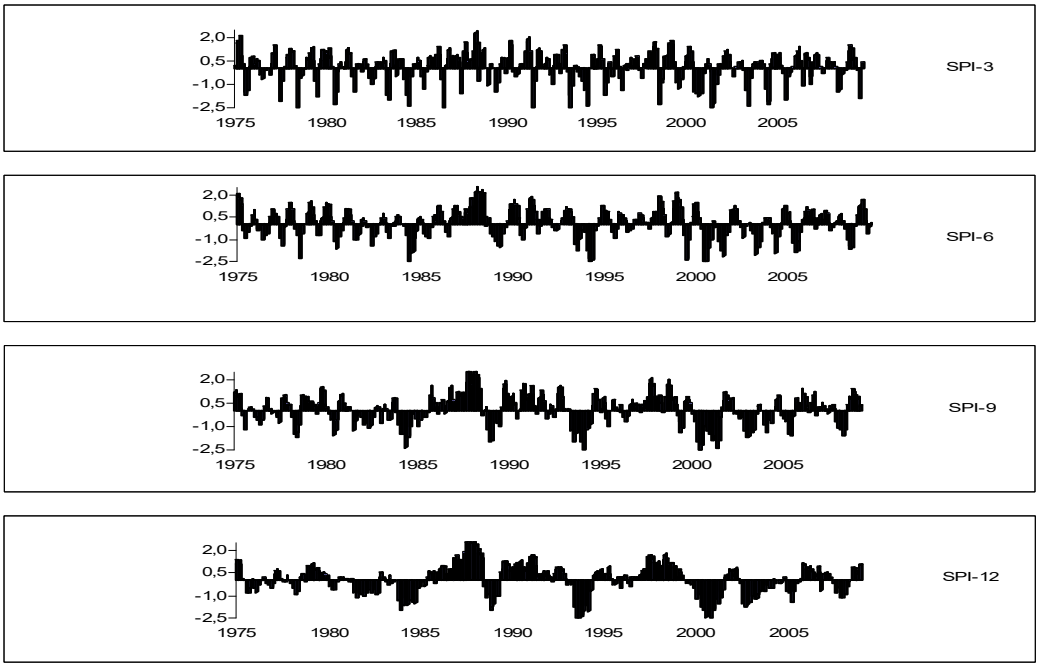
$$SPI = \frac{X_i - \overline{X_i}}{\sigma} \quad (3)$$

SPI değerleri negatif olduğu zaman "kurak dönemi", pozitif olduğu zaman "nemli dönemi" belirtir. SPI değerleri sıfırın altına düştüğü ay kuraklığın başladığını, pozitif değere yükseldiğinde kuraklığın bitimi olarak değerlendirilir (McKee ve ark. 1995).

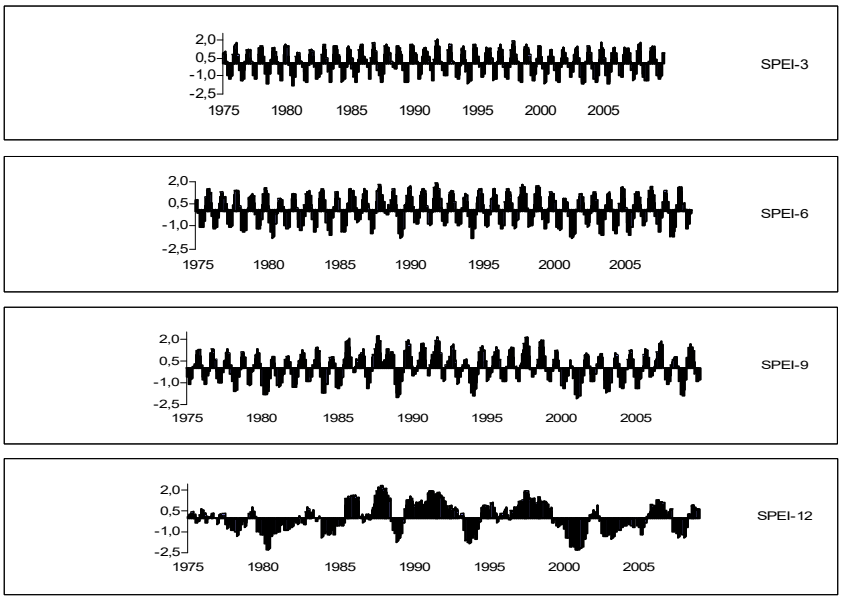
ARAŞTIRMA BULGULARI

Çalışmada farklı zaman periyotlarındaki SPI ve SPEI indislerini hesaplamak için Kayseri ili merkez meteoroloji istasyonunda 1975-2009 yıllarında elde edilmiş aylık toplam yağmur miktarları ile Referans bitki su tüketimi (ET_0) hesaplanmasında kullanılan meteorolojik verilerden kullanılmıştır. Çalışmada, 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman periyotları için SPI ve SPEI indisleri hesap edilmiştir. Elde dilen SPI ve SPEI indislerinin zamana bağlı değişimlerinin grafikleri sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.

Şekillerden anlaşılacağı üzere 1985, 1990, 1995, 2000 ile 2002-2005 arasında ciddi kuraklıklar gözükmüş. Bu durum daha çok 9 ve 12 aylık süreler için elde edilen grafiklerden daha net anlaşılmaktadır. Bu grafiklerden kuraklığın şiddet ve süresinin daha uzun olduğu gözlenmektedir. Ancak 9 aylık süre için elde edilen SPEI grafiğinde, aynı süre için elde dilen SPI grafiğine göre kuraklıkların süresi daha az ancak daha sık tekrarlanmış. SPEI ve SPI için 3 ve 6 aylık sürelerde elde edilen grafiklerde kuraklıklar sık aralıklarla yaşanmış ancak daha kısa süre devam etmiştir. Özellikle bu durum 3 aylık süre için elde edilen grafikten daha açık bir şekilde belli olmaktadır. Buradan gerek SPI indisi gerekse SPEI indisi için elde edilen grafiklerden her iki yönteme göre kuraklığın saptanabileceği gözükmektedir. Ancak 12 aylık süre için elde edilen SPEI ve SPI grafikleri incelendiğinde 1980 yılında SPEI grafiğine göre önemli bir kuraklık yaşanmış gözükürken SPI grafiğinde bu durum gözükmemektedir.

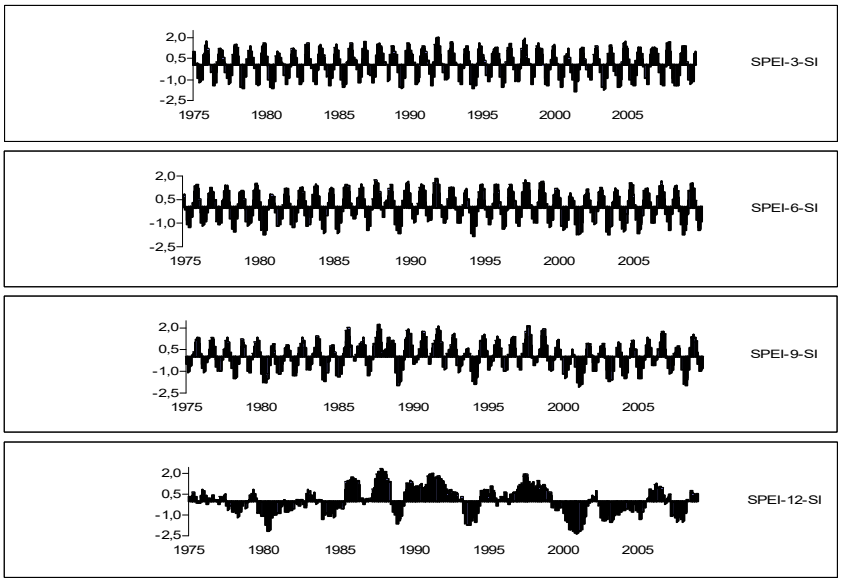


Şekil 1. Kayseri ili için 3, 6, 9 ve 12 aylık sürelerdeki SPI değişimi

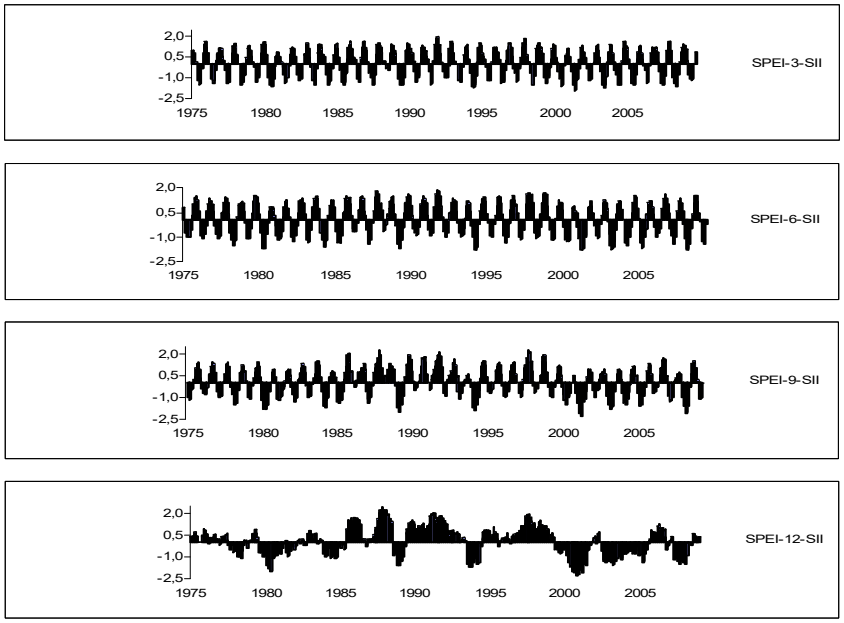


Şekil 2. Kayseri ili için 3, 6, 9 ve 12 aylık sürelerdeki SPEI değişimi

Küresel ısınma nedeniyle önümüzdeki 100 yıl içerisinde dünya ortalama sıcaklığının 3-5°C artacağını çeşitli çalışmalarda ön görülmektedir. Bu anlamda bu çalışmada ET_0 hesaplanırken iki senaryo (Senaryo I, sıcaklığın 3 °C artacağı varsayılmış; Senaryo II, sıcaklığın 5 °C artacağı varsayılmış) dikkate alınmış ve SPEI indisleri bu senaryolara göre saptanarak gelecekte Kayseri ilinde kuraklığın nasıl olacağı saptanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla Senaryo I'e göre elde edilen SPEI grafikleri Şekil 3'te verilmiştir. Senaryo I'e göre elde edilen SPEI grafikleri gerçek veriye göre elde edilen SPEI grafiklerinden önemli derecede farklılık göstermemiş. Senaryo II'ye göre elde edilen SPEI grafikleri Şekil 4'te verilmiştir. Bu senaryoya göre elde edilen SPEI grafikleri ile gerçek veriden elde edilen SPEI grafikleri arasında da önemli farklar bulunmamıştır. Gerçek veriden elde edilen SPEI grafikleri ile Senaryo I ve II'ye göre elde edilen SPEI grafiklerinde kuraklıkların süresi ve şiddeti önemli ölçüde değişmemiştir.

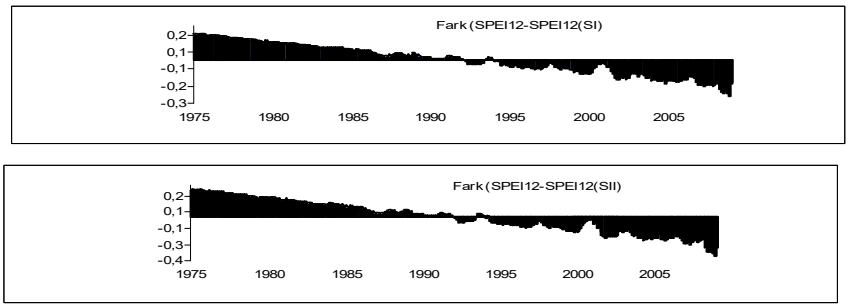


Şekil 3. Senaryo I için 3, 6, 9 ve 12 aylık sürelerdeki SPEI değişimi



Şekil 4. Senaryo II için 3, 6, 9 ve 12 aylık sürelerdeki SPEI değişimi

Gerçek veriden elde edilen SPEI indisleri ile Senaryo I ve Senaryo II'ye göre elde edilen SPEI indislerinin farklarının grafikleri Şekil 5'te verilmiştir. Her iki şekle bakıldığında 1990'lı yıllardan sonra Kayseri ilinde sıcaklığın 3-5°C derece artması halinde kuraklığa girildiğini göstermektedir. Özellikle Senaryo II'ye göre kuraklığın şiddetinin artarak devam edeceği gözükmektedir.



Şekil 5. Gerçek veri ile Senaryo I ve Senaryo II için elde edilen 12 aylık SPEI farkları

KAYNAKLAR

Ahrens C.D., 2009. Meteorology Today. An Introduction to Weather, Climate and The Environment. Brooks/Cole Cengage Learning, ninth edition, USA, 549 p.

Anonymous, 2002. Kayseri İl Gelişme Raporu. T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, 265s.

Allen, R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., 1998. Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements): FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56.

Dickey, D.A., Fuller, W. A., 1981. Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root: Econometrica, 49: 1057-1072.

Edwards D.C., McKee T.B., 1997. Charesteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Climo Report 97-2, Dept. of Atmos. Sci., CSU, Fort Collins, CO, May, 155 pp.

Hosking J.K.M., Wallis J.R., 1997. Regional frequency analysis, an approach based on L-Moments. Cambridge university press.

McKee T.B., Doeskin N.J., Kleist J., 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. Proc. 8th Conf. on Applied Climatology, January 17-22, American Meteorological Society, Boston, Massachusetts, pp. 179-184.

McKee T.B., Doeskin N.J., Kleist J., 1995. Drought Monitoring with Multiple Time Scales. Proc. 9th Conf. on Applied Climatology, January 15-20, American Meteorological Society, Boston, Massachusetts, pp. 233-236.

Redmond K.T., 2000. Integrated climate monitoring for drought detecting, in Drought: A Global Assessment, edited by Wilhite, D.A., Routledge, 145-158.

Thom H.C.S., 1958. A Note On The Gamma Distribution. Mon. Wea. Rev., 86: 117-122.

Vicente-Serrano, S., 2013. The Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index. http://sac.csic.es/spei/spei_index.html

Vicente-Serrano S. M., Beguería S., López-Moreno J.I., 2010. A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI. Journal of Climate 23 (7):1696-1718.

Yürekli K., Ünlükara A., Safi S., 2010. Kayseri İlinde Mevsimsel Bitki Su Tüketimindeki (ET_0) Değişimin Saptanması. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi 3 (2): 21-25.

Wilhite, D.A., Glantz, M.H., 1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions: Water International. 10: 111-120.