

Çamalan, G., ve Çetin, S. (2022). Türkiye Kuraklık Projeksiyonları. V. M. Coşkun, H. Doğan, H. Eroğlu (Ed.) Çevre ve Meteoroloji içinde (s. 97-137). Sonçağ Yayıncılık

TÜRKİYE KURAKLIK PROJEKSİYONLARI

Gülten ÇAMALAN

Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara

Sinan ÇETİN

Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara

1 GİRİŞ

Kuraklık yavaş başlayan ve gelişen, etkileri uzun bir zaman periyodu boyunca birikerek (kümülatif) daha sonra ortaya çıkan olumsuz etkileriyle süreklilik gösteren ve tahmini en zor olan klimatolojik olaylardan biridir (Çamalan vd., 2017a-b; Çamalan vd., 2019a-b). Doğal ekosistemler, su kaynakları, tarım üretimi ve toplum üzerinde ciddi etkilere sahiptir (Burton vd., 1978; Wilhite ve Glantz, 1985; Wilhite, 1993). İnsanlığın tüm dünyada tanık olduğu en büyük ve yıkıcı olayların başında gelmektedir. Dünyanın her iklim bölgesinde ve hatta yağışlı alanlarda dahi görülebilen iklimsel bir olaydır (Çamalan vd., 2019b-c). Küresel sıcaklık artışı ile birlikte yaşanan geniş ölçekteki değişim, tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de iklim değişikliğine hassas ülkeler için tedbir alınması gerektiğini göstermektedir (Çamalan vd., 2019a). Ülkemiz, tarihi boyunca birçok kuraklık sorunuyla karşı karşıya kalmış ve kalmaya da devam edecektir. Özellikle iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden en fazla etkilenecek bir bölge olan Akdeniz havzasında yer almasından dolayı su kaynaklarının zayıflaması, orman yangınları, kuraklık ve çölleşme ile bunlara bağlı ekolojik bozulmalar riski ile karşı karşıyadır (IPCC, 2014).

Kuraklık, meteorolojik olarak, ilk önce yetersiz yağışla başlar. Ardından toprak neminin ve bitkinin ihtiyaç duyduğu en düşük su kapasitesinin azalmasıyla tarımsal kuraklık, akarsulardaki ve barajlardaki suların azalmasıyla hidrolojik kuraklık, insan yaşamını ve ekonomiyi olumsuz etkileyecek boyuta getirmesiyle de sosyo-ekonomik kuraklık olarak kendini gösterir (Wilhite vd., 1985). Kuraklığın etkileri; şiddete, süreye, yoğunluğa ve coğrafi boyutlara bağlı olduğu

kadar, insan faaliyetlerinin taleplerine, bölgenin su deposu ve arzının esnekliğine, dağıtım sisteminin kurumlarına bağlıdır (Yevjevich vd.,1983; Wilhite ve Glantz, 1987; Wilhite, 1993).

Kuraklık ekonominin birçok sektörünü etkilese de tarım bu doğal afetten en çok etkilenen sektörlerin başında gelmektedir. Kuraklık karakteristiğini anlamak, iyi hazırlanmış kuraklık yönetim planlarında önemli bir unsurdur (Çamalan vd., 2019a-b). Kuraklığın izlenmesi ve analizi, çeşitli gösterge ve indisler sayesinde yapılmaktadır. Bu gösterge ve indisler kuraklık koşullarını belirlemek, sınıflandırmak ve izlemek amacıyla şiddeti, yeri, süresi ve zamanlaması hakkında bilgiler vererek kuraklığın karakterize edilmesini sağlar (WMO, 2016).

İklim değişikliği;volkanik faaliyetler, presesyon hareketi, yörünge düzlemindeki değişimler, atmosfer salınımları, Güneş yüzeyindeki aktiviteler gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Bahsi geçen etkenler genellikle doğal faktörleri oluştururken atmosferi etkileyen karbon salınımı daha çok beşeri etkiler sonucu iklimsel değişime neden olmaktadır (Kadioğlu, 2001). Sanayi devriminin gelişimiyle beraber yeryüzünde karbon salınımının artışı hız kazanmıştır. Küresel iklim modelleri 21'inci yüzyılda sıcaklıklarda belirgin bir artış öngörmekte ve bu artışın etkileri gelecekte yaşanması muhtemel kuraklıklar üzerinde daha kötü sonuçlara yol açabileceği öngörüsünü kuvvetlendirmektedir. Türkiye'nin büyük çoğunluğu yarı kurak iklim şartlarının etkisi altında olduğundan, kuraklık ciddiye alınması gereken önemli bir doğal afettir (Kadioğlu, 2012).

Küresel ısınma nedeniyle, doğrudan veya dolaylı olarak sıcaklık girdilerine dayanan bir kuraklık indisinin önemi dikkate alınarak çalışmada Standartlaştırılmış Yağış-Evapotranspirasyon İndisi (the Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index – SPEI) yöntemi kullanılmıştır. 12 aylık ölçekte Türkiye'de yaşanmış ve yaşanması muhtemel kuraklık olaylarının analizi (şiddet, süre, yoğunluk) incelenmiştir. Türkiye geneli 123 meteoroloji gözlem istasyon verisi (1971 – 2015) ile HadGEM2-ES (the Hadley Centre Global Environment Model version 2), MPI-ESM-MR (Max Planck Institute for Meteorology Earth System Model MR), GFDL-ESM2M (GFDL's ESM2 Global Coupled Climate–Carbon Earth System Models) bölgesel iklim projeksiyonlarının (RCP4.5) senaryolarının aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık verileri (2016 – 2098) kullanılmıştır.

İklim değişikliği projeksiyonlarının kuraklık yönetiminde faydalı bir araç olarak kullanılması, kurum ve kuruluşların ileriye yönelik daha sağlıklı plan ve programlama yapmalarına olanak sağlayacaktır.

2 METOD

Uzun yıllardır kuraklık analizi ve izlemesi amacıyla farklı teknikler üzerinde çalışılmaktadır. Bu tekniklerde kullanılan yaklaşımlardan en yaygın olanı nicel indislerin tanımlanmasıdır. Ancak kuraklık tanımındaki öznellik, eşsiz ve evrensel bir kuraklık indisinin oluşturulmasını zorlaştırmıştır (Heim, 2002) Kuraklık analizi ve izleme sistemleri ile ilgili birçok çalışma, toprak suyu dengesi denklemine dayanan Palmer Kuraklık Şiddet İndisi (Palmer Drought Severity Index - PDSI) (Palmer, 1965) ve/veya bir yağış olasılığı yaklaşımına dayanan Standartlaştırılmış Yağış İndisi (Standardized Precipitation Index - SPI) (McKee vd. 1993) yöntemlerini kullanmaktadır.

Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO), meteorolojik kuraklıkları karakterize etmek için dünya çapında ulusal meteorolojik ve hidrolojik hizmetler tarafından kullanılacak SPI indisini kabul etmiştir (WMO, 2012). Düşük veri gereksinimleri ve sadeliği, kuraklık izleme ve analizi için SPI gibi yağış temelli indislerin yaygın kullanımını açıklamaktadır. İklim değişikliğine bağlı olarak kuraklık projeksiyonları çalışmalarında özellikle içerisinde sıcaklık verisini barındıran kuraklık indislerinin (PDSI, SPEI vb.) kullanılması tercih edilir (Vicente-Serrano vd. 2010; Çamalan vd., 2018; Çamalan vd., 2019a-b-c).

SPI, gelecekteki kuraklık koşullarında sıcaklık artışının rolünü ve küresel ısınma senaryolarından bağımsız olarak sıcaklık değişkenliğinin ve sıcak hava dalgalarının rolünü açıklayamamaktadır. Buna karşılık SPEI, sıcaklık değişkenliği ve sıcaklık aşırılıklarının küresel ısınmanın ötesinde olası etkilerini açıklayabilmektedir. SPEI, buharlaşma isteğindeki değişimlere karşı PDSI'nin duyarlılığına ve SPI'nin doğal alansal dağılımına sahiptir. SPEI küresel ısınmanın kurak şartlar üzerindeki sonuçlarını açıklama konusunda etkin olduğundan kuraklığı belirleme ve izlemede önerilen bir indistir (Çamalan vd., 2018; Çamalan vd., 2019b). SPEI, kuraklığı şiddetine, yoğunluğuna ve süresine göre ölçülebilir ve kurak dönemlerin başlangıcını ve sonunu belirleyebilir. SPEI geniş bir iklim yelpazesi üzerinden hesaplanabildiği için zaman ve mekân boyunca kuraklık şiddetinin karşılaştırılmasına izin verir (URL1; URL2).

Çalışmada, 12 aylık ölçekte SPEI indis yöntemiyle Türkiye'de yaşanmış ve yaşanması muhtemel meteorolojik kuraklık olaylarının analizi alansal ve zamansal boyutta ele alınarak kuraklaşma eğilimi ve kuraklık projeksiyonlarının karşılaştırmaları incelenmiştir. Mevcut durum ve projeksiyon dönemlerinin SPEI-12 aylık ölçekte oluşturulan kuraklık şiddet, süre ve yoğunluk haritaları ArcGIS (10.4) harita programında Ters Mesafe Ağırlıklı (Inverse Distance Weighting – IDW) metodu kullanılarak oluşturulmuştur. Ayrıca gözlem ve bölgesel iklim

projeksiyon verisinin yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık toplam yağış dizilerindeki eğilimler, Mann-Kendall sıra korelasyon katsayısı yöntemine göre test edilerek sonuçlar paylaşılmıştır.

2.1 SPEI Kuraklık Algoritması:

SPEI indisi, iklimsel su dengesine (Yağış - Evapotranspirasyon) dayanmakta ve kurak dönemlerin tanımlanmasında önerilmektedir (Vicente-Serrano vd.2010). SPEI, hali hazırda operasyonel olarak kullanılmakta olan SPI gibi uzun dönemli gözlemlere uygun olasılık dağılımının tespit edilerek normal dağılıma dönüştürülmesine dayanan bir yöntemdir. SPI'nın yalnızca aylık yağış verisini girdi olarak kullanmasına karşılık, SPEI yağış ve potansiyel evapotranspirasyon (Potential Evapotranspiration – PET) arasındaki fark verisini kullanmaktadır. SPEI çözümlerinde kullanılan PET değerleri Thornthwaite (1948) yöntemi ile elde edilmiştir. Meteoroloji istasyonlarında ölçülen meteorolojik parametrelerden farklı yöntemlerle dolaylı olarak PET hesaplamaları yapılabilir. Ancak Penman-Monteith gibi fiziksel temele dayalı yöntemler ve deneysel (ampirik) ilişkileri temel alan modeller oldukça fazla ölçüm verisine gerek duymaktadır. Örneğin, Penman-Monteith metodu güneş radyasyonu, sıcaklık, rüzgar hızı ve bağıl nem parametrelerini kullanmaktadır ki dünyanın çoğu bölgelerinde bu meteorolojik veri mevcut değildir. Buna karşılık PET hesaplamaları için alternatif olarak ampirik eşitlikler önerilmiştir (Allen vd., 1998). Mavromatis (2007) çalışmasında, ister basit ister karmaşık hesaplanmış olsun, elde edilen PET değerlerinin PDSI gibi kuraklık indisi hesaplamalarında benzer sonuçları verdiğini göstermiştir. PET hesaplamalarında en basit yaklaşım Thornthwaite metodudur. Yalnızca aylık ortalama sıcaklığı dikkate alan yöntemin formülü aşağıdaki gibidir (1).

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514} \quad (1)$$

i: Aylık sıcaklık indisi

t: Aylık ortalama sıcaklık

I: Yıllık sıcaklık katsayısı (12 aylık “*i*” değerlerinin toplamı)

PET hesaplamaları (2) eşitliğinde verilmektedir.

$$PET = 16 * K * \left[\frac{10 * T(I)}{I} \right]^A \quad (2)$$

I'ya bağılı A katsayısı (3) eşitliğinde verilmektedir.

$$A = 6.75 * 10^{-7} * I^3 - 7.71 * 10^{-5} * I^2 + 1.79 * 10^{-2} * I + 0.492 \quad (3)$$

K, istasyonların enlemlerine ve aylara göre hesaplanmış düzeltme katsayısı (4) eşitliğinde verilmiştir.

$$K = \left(\frac{N}{12} \right) \left(\frac{NDM}{30} \right) \quad (4)$$

$$N = \left(\frac{24}{\pi} \right) \omega_s \quad \omega_s = \arccos(-\tan\phi \tan\delta) \quad \delta = 0,4083 \sin \left(\frac{2\pi J}{365} - 1,405 \right) \quad (5)$$

K: istasyonların enlemlerine ve aylara göre hesaplanmış düzeltme katsayısı

NDM: ayın gün sayısı

N: maksimum güneş saati sayısı

ω_s : Güneşin saatlik doğuş açısı

ϕ : radyan cinsinden enlem

δ : radyan cinsinden güneş sapması

J: ayın ortalama jülyen günü

Herhangi bir aya ait PET değerleri ile yağış arasındaki fark su fazlası veya su noksanı miktarını vermektedir (6).

$$D_i = P_i - PET_i \quad (6)$$

Hesaplanan D_i değerleri SPI ile aynı prosedür izlenerek farklı zaman ölçeklerinde bir araya getirilir. Tsakiris vd. (2007) P/PET (aylık toplam yağış miktarının aylık potansiyel buharlaşma değerine oranı) oranının da küresel ısınma sürecini dikkate alan kuraklık indisini elde etmek için uygun bir parametre olduğunu göstermiştir. Ancak P/PET oranları ele alındığında özellikle kış aylarında PET'nin "0" olduğu durumlar tanımlanmamıştır. SPI hesaplamalarında iki parametrelili gamma dağılımı uygulanmasına rağmen SPEI hesaplamalarında üç parametrelili Log-lojistik dağılım tercih edilmektedir. 3 parametrelili dağılımların parametre tahminlerinde L moment yöntemi uygulanmıştır.

D_i serisinin L momentleri olasılık ağırlık momentlerinden elde edilmiştir.

Olasılık ağırlıklı momentler ise; (7) formülü ile elde edilir.

$$w_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (1 - F_i)^s * D_i \quad (7)$$

$$\lambda_1 = w_0; \lambda_2 = w_0 - 2 * w_1; \lambda_3 = w_0 - 6 * w_1 + 6 * w_2;$$

$$\lambda_4 = w_0 - 12 * w_1 + 30 * w_2 - 20 * w_3$$

$F_i \rightarrow$ Frekans tahmin edicisi (8) formülü ile hesaplanır.

$$F_i = \frac{i - 0.35}{N} \quad (\text{Hosking, 1990}) \quad (8)$$

i : D_i değerlerinin artan dizi oluşturacak şekilde sıralanması ile verilen sıra numaraları

N : Gözlem sayısı

Bununla birlikte Begueria vd. (2013) yaptıkları çalışmada Olasılık ağırlıklı momentlerinin (9) formülü ile elde edilmesinin birtakım sorunları ortadan kaldırdığını belirtmişler ve Olasılık ağırlıklı momentlerin hesaplamasında bu eşitliği önermişlerdir. Yöntem aynı zamanda dünyanın bazı bölgelerinde SPEI modelinin çözümü için bulunmayan sorunu da çözmektedir.

$$w_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\binom{N-i}{s} * D_i}{\binom{N-1}{s}} \quad (\text{Hosking, 1986}) \quad (9)$$

Çalışma alanında yer alan 123 istasyonun $D_i = (P_i - PET_i)$ serilerini standardize etmek için 3 parametrelili log-lojistik dağılım uygulanmıştır. 3 parametrelili log-lojistik dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu; (10) eşitliğinde verilmiştir.

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left[1 + \left(\frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta} \right]^{-2} \quad (10)$$

Log-lojistik dağılımın parametreleri farklı şekillerde elde edilebilir. Ancak L-moment yöntemi en kolay yaklaşımdır (Ahmad vd.1988).

L-momentler hesaplandıktan sonra Pearson Tip III dağılımının parametreleri elde edilir. Bu dağılım fonksiyonunda α , ölçek; β , şekil ve γ , konum parametresidir ($\gamma > D_i < \alpha$). (11) eşitliğinde formüle edilmiştir.

$$\beta = \frac{2w_1 - w_0}{6w_1 - w_0 - 6w_2}, \alpha = \frac{(w_0 - 2w_1) * \beta}{\Gamma(1 + \frac{1}{\beta}) \Gamma(1 - \frac{1}{\beta})}, \gamma = w_0 - \alpha \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \Gamma\left(1 - \frac{1}{\beta}\right) \quad (11)$$

Burada $\Gamma(\beta)$; betanın gamma fonksiyonudur.

Log- lojistik dağılım tüm zaman ölçeklerinde D_i serisini çok iyi şekilde temsil etmektedir.

Log- lojistik dağılıma göre D_i serisinin olasılık dağılım fonksiyonu (12) eşitliğinde;

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x - \gamma} \right)^\beta \right]^{-1} \quad (12)$$

$F(x)$ ile SPEI $F(x)$ ' in standardize değişkeni (13) formülasyonunda hesaplanır;

$$SPEI = w - \frac{C_0 + C_1 w + C_2 w^2}{1 + d_1 w + d_2 w^2 + d_3 w^3} \quad (13)$$

Burada $w = \sqrt{-2 \ln(P)} \rightarrow P \leq 0.5$

P belirli bir D değerinin aşılma olasılığı olmak üzere $P = 1 - F(x)$ 'tir.

Eğer $P > 0,5$ ise o zaman P , $1-p$ ile yer değiştirir ve SPEI'nin işareti tersine alınır. Bu formülasyonda sabitler;

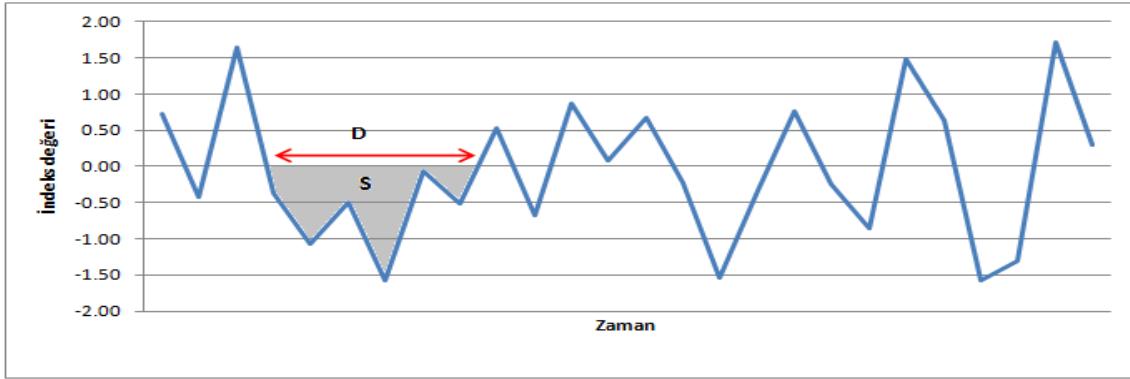
$$C_0 = 2,515517; C_1 = 0,802853; C_2 = 0,010328 \\ d_1 = 1,432788; d_2 = 0,189269; d_3 = 0,01308$$

SPEI'nin ortalaması 0; standart sapması 1'dir. SPEI normalleştirilmiş değişken olduğu için alan zaman boyutunda diğer SPEI değerleri ile ilişkilidir.

2.2 Kuraklık Şiddet, Süre ve Yoğunluk Haritaları

Geniş kapsamlı bir kuraklık tanımı yapılmasına olanak sağlayan ve kuraklık özelliklerinin belirlemede kullanılan kriterlerden olan Kuraklık Şiddeti (Severity - S), Kuraklık Süresi (Duration - D) Şekil 1’de gösterilmiştir (Çamalan vd., 2019b-c; Oğuz vd., 2021).

Şekil 1. Kuraklık Şiddet ve Kuraklık Süresi grafiği



SPEI’de her bir istasyon kendine özgü iklim karakterine göre hesaplanmaktadır. Her bölgenin kuraklık süresini, kuraklık şiddetini ve yoğunluğunu hesaplayarak kuraklık olaylarının özelliklerini ve bir bölgenin diğerine olan farkını tanımlayabiliriz.

Kuraklık, SPEI değerleri sıfırın altına düştüğünde tanımlanır. Kuraklık süresi (D), SPEI indis değerlerinin negatif olduğu değerlerden başlayarak (başlangıç ay dâhil) ardışık olarak 0 (sıfıra)'a eşit olduğu zaman sona erdiği (bitiş ay dâhil değil) dönem uzunluğudur. Kuraklık şiddeti (S) ise kuraklık süresi (D) içinde kalan indis değerlerinin toplanmasıyla elde edilen kümülatif SPEI değerleridir ve kuraklığın büyüklüğünü ifade eder (Yevjevich, 1967; Spinoni vd., 2014) ve (14) eşitliği ile verilmektedir.

$$S = - \sum_{i=1}^D \text{SPEI}_i \quad (14)$$

Kuraklık şiddetinin kuraklık süresine oranı Yoğunluk (Intensity) I olarak tanımlanmakta ve (15) eşitliğinde verilmektedir.

$$I = \frac{S}{D} \quad (15)$$

Yoğunluğun büyüklüğü, bir kuraklık periyodunda ortalaması yüksek bir şiddete ve kısa süreye sahip olduğunu gösterir.

Çalışmada; kuraklık şiddet, süre ve yoğunluk hesaplamalarında indisin kurak/nemli eşiği olan sıfır değeri kabul edilmiştir (Çamalan vd., 2019a-b-c; Oğuz vd., 2021). Her istasyon için SPEI-12 aylık ölçekte kuraklık şiddet indis hesapları yapıldıktan sonra, indisin tüm zaman serisi içinde kurak dönemlerin şiddet süre ve yoğunluk değerleri hesaplanarak her birinin en ekstrem olduğu olumsuz değerler seçilmiştir. Sonuçlar ArcGIS (10.4) harita programında IDW metodu kullanılarak haritalandırılmıştır. Kuraklık yoğunluk haritaları SPEI kuraklık sınıf kategorisine göre renklendirilmiş ve Türkiye'deki ortalama yoğunluğu göstermektedir (Çamalan vd., 2019a-b-c).

3 VERİ

Çalışmada Türkiye'yi temsil uzun süreli aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık ölçümlerine sahip 123 meteoroloji gözlem istasyon verisi ile Meteoroloji Genel Müdürlüğü İklim ve Zirai Meteoroloji Dairesi Başkanlığı bünyesinde üretilen HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve GFDL-ESM2M bölgesel iklim projeksiyonlarının (RCP4.5) senaryosunun çıktıları kullanılmıştır.

1971-2015 dönemi mevcut durum değerlendirmesi indis hesaplamalarında meteoroloji gözlem istasyon verisi, 2016 - 2098 gelecek öngörüler için HadGEM2-ES (RCP4.5), MPI-ESM-MR (RCP4.5) ve GFDL-ESM2M (RCP4.5) bölgesel iklim projeksiyonlarının 20 km çözünürlüklü verileri kullanılmıştır. Projeksiyon verileri üç dönem halinde (2016 - 2040, 2041 - 2070, 2071 - 2098) çalışılmıştır. 2016-2098 yılları için bölgesel iklim projeksiyon verileri (aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış) elde edilirken; istasyonlara en yakın gridlerin anomali değerlerine, istasyonların 1971 - 2000 referans dönemi normalleri eklenerek üretilmiştir. Projeksiyon dönemleri, başlangıç verisi 1971 olan gözlem verileri ile beraber çalıştırılıp incelenmiş ve kuraklık analizinde sürekliliği temin etmek amaçlanmıştır. Böylece kuraklığın geçmiş klimatolojisi referans alınarak gelecekte de var olabilecek kuraklaşma eğiliminin klimatolojik açıdan değerlendirilmesi yapılmıştır (Çamalan vd., 2017a-b; Çamalan vd., 2018; Çamalan vd., 2019a-b-c).

3.1 HadGEM2-ES Küresel Modeli

HadGEM2-ES, küresel iklim modeli İngiltere Meteoroloji Servisi (Met Office)'ne bağlı bir araştırma kuruluşu olan Hadley Merkezi tarafından geliştirilmiştir. HadGEM2 serisi birleştirilmiş atmosfer-okyanus yapılandırması ile içerisinde dinamik vejetasyon, okyanus biyolojisi, atmosfer kimyasının bulunduğu bir kara-sistem yapılandırmasını içeren 2'inci nesil

bir modeldir. HadGEM2-ES küresel model verilerinin RegCM4 dinamik ölçek küçültme yöntemi kullanılarak Türkiye için üretilen bölgesel iklim projeksiyon çıktıları (2016 - 2098) 20 km çözünürlükte elde edilmiştir. Çalışmada Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 5. Değerlendirme Raporu'nda da en fazla tercih edilen senaryolardan bir tanesi olan (RCP4.5) senaryosu kullanılmıştır (MGM Yayınları, 2005).

3.2 MPI-ESM-MR Küresel Modeli

MPI-ESM-MR, Merkezi Almanya Hamburg'da bulunan Enstitü tarafından sürdürülen, Avrupa Merkezi Hamburg Modeli (ECHAM5) atmosfer modeli ile MPIOM okyanus genel sirkülasyon modelleri kullanılarak geliştirilmiş yeni nesil yer sistemi modelidir. MPI-ESM hem kara modelini hem de okyanus modelinin aynı anda çalıştırıldığı bütünleşmiş bir küresel iklim modelidir. Çalışmada atmosferin katmanlarını daha detaylı bir şekilde aldığı için MPI-ESM-MR sürümü tercih edilmiştir. MPI-ESM küresel model verilerinin RegCM4 dinamik ölçek küçültme yöntemi kullanılarak, Türkiye için üretilen bölgesel iklim projeksiyon çıktıları 20 km çözünürlükte elde edilmiştir (MGM Yayınları, 2005).

3.3 GFDL-ESM2M Küresel Modeli

GFDL-ESM2M küresel iklim modeli, Amerika Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA)'ne bağlı Jeofizik Akışkanlar Dinamiği Laboratuvarı (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory - GFDL) tarafından geliştirilmiştir. Bu iklim modeli dünyadaki madde döngüleri (karbon, su vb.) ile insan aktivitelerinin iklim sistemleri üzerine etkileşimini bir arada inceleyen birleştirilmiş bir sistemdir. GFDL-ESM2M ve GFDL-ESM2G olmak üzere iki sürümü bulunmaktadır. Projeksiyon çalışmasında GFDL-ESM2M modeli tercih edilmiştir. GFDL-ESM2M küresel model verilerinin RegCM4 dinamik ölçek küçültme yöntemi kullanılarak, Türkiye için üretilen bölgesel iklim projeksiyonları çıktıları 20 km çözünürlükte elde edilmiştir (MGM Yayınları, 2005).

3.4 Türkiye Sıcaklık-Yağış Dağılımları ve Eğilimleri

Ülkemizde yağışların alansal ve zamansal dağılımı oldukça düzensizdir. Kuzey ve güney arasındaki yağış değişkenliği oldukça farklıdır. Türkiye yıllık toplam alansal yağış ortalaması (1981 - 2010) 574 mm'dir (MGM, 2019). Türkiye yıllık toplam yağışları bölgeler arası farklılık göstermekle beraber yaklaşık %38'ini kış aylarında, %27'sini ilkbahar, %24'ünü sonbahar ve %11'ini yaz mevsiminde alır. (Çamalan vd., 2019c). Bu durum, genel atmosfer sirkülasyonu

ve Türkiye'yi etkileyen hava kütleleri ile yakından ilgilidir. Yağışların; yıl içinde ne zaman, nereye ne kadar düştüğü önemlidir. Mevsiminde ve miktarında alınamayan eksik yağışlar veya aşırı yağışlar kuraklık, sel veya taşkın gibi olayların oluşumunda etkili olmaktadır. Ayrıca mevsiminde ve miktarında alınamayan eksik yağışlar kurak dönemlerin oluşumu, süresi, yoğunluğu ve şiddetinde etkili olmaktadır. Yıllık yağış dizilerindeki artış eğilimi izlenen istasyonlarda da zaman zaman kuraklık görülebilmesinin başlıca nedeni yıllar arası ve yıl içindeki çeşitliliktir.

1971-2015 dönemi Türkiye yıllık toplam yağışların Mann-Kendall eğilim analizinde, anlamlı olmasa da bir artış eğilimi olmasına karşılık yağışlardaki değişimin düzensiz bir rejim izlediği göze çarpmaktadır (Çamalan vd., 2019b-c).

Türkiye'nin uzun yıllar (1981 - 2010) sıcaklık ortalaması 13,5 °C'dir (MGM, 2019). Türkiye yıllık ortalama sıcaklık Mann-Kendall test uygulamasında anlamlı bir artış trendi söz konusudur. 1994 yılında başlayan artış trendi, 2005 yıllarından itibaren oldukça belirginleşmiştir (Çamalan vd., 2019 b-c).

3.5 HadGEM2-ES (RCP4.5), MPI-ESM-MR (RCP4.5) ve GFDL-ESM2M (RCP4.5) Projeksiyonlarının Sıcaklık ve Yağış Eğilimleri

HadGEM2-ES (RCP4.5), MPI-ESM-MR (RCP4.5) ve GFDL-ESM2M (RCP4.5) bölgesel iklim projeksiyonların yıllık ortalama sıcaklıkların Mann-Kendall eğilim analizlerinde yurdumuzun ortalama sıcaklıklarında sürekli bir artış eğilimi öngörülmektedir.

HadGEM2-ES (RCP4.5) senaryosunda yüzyılın ortalarına kadar sınırlı olan ısınma trendinin 2050'lerden itibaren yükseldiği görülmektedir (Çamalan vd., 2019c). MPI-ESM-MR (RCP4.5) senaryosunda yüzyılın ortalarına kadar sınırlı olan ısınma trendinin özellikle 2047'lerden itibaren yükseldiği, yüzyılın son çeyreğinde daha düzensiz bir yapıda olacağı göze çarpmaktadır. GFDL-ESM2M (RCP4.5) senaryosunda ısınma trendinin ilk döneminde 2030'lardan itibaren yükseldiği görülmektedir.

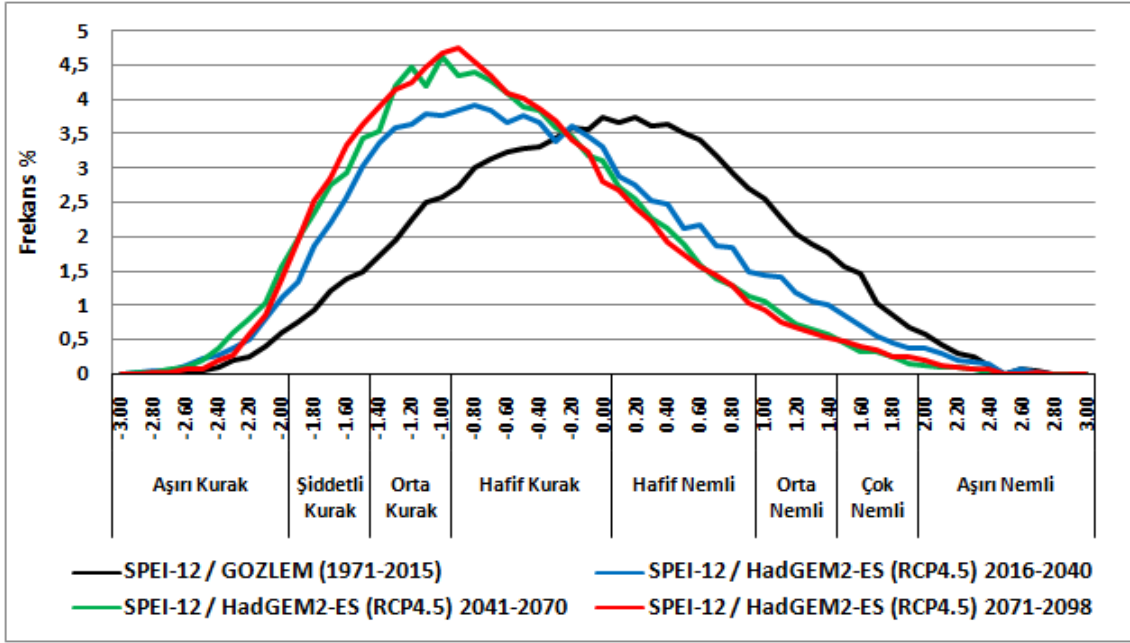
MPI-ESM-MR, GFDL-ESM2M projeksiyonların (RCP4.5) senaryosunda dönem boyunca Türkiye geneli ortalama sıcaklıklardaki artış 1,5 °C ve HadGEM2-ES (RCP4.5) projeksiyonunda 2,5 °C'dir (MGM Yayınları, 2005).

Her üç projeksiyonun yıllık toplam yağışların Mann-Kendall eğilim analizlerinde anlamlı olmasa da bir azalış trendine rağmen yağışlardaki değişimin düzensiz bir rejim izlediği görülmektedir.

3.6 SPEI-12 Aylık Ölçekte Projeksiyonların İndis Değişimlerinin Eğilimleri

Her üç projeksiyon verilerinin sıcaklıklarda beklenen belirgin artış ve yağıştaki azalış trendi (yıllar arası ve yıl içindeki düzensiz yağış değişiklikleri) ile birlikte Şekil-2 HadGEM2-ES (RCP4.5) Modeli örneğinde olduğu gibi kuraklık sınıflarında bir üst kuraklık sınıfına doğru kayma eğilimi göstermesi öngörülmektedir (Çamalan vd., 2017a-b).

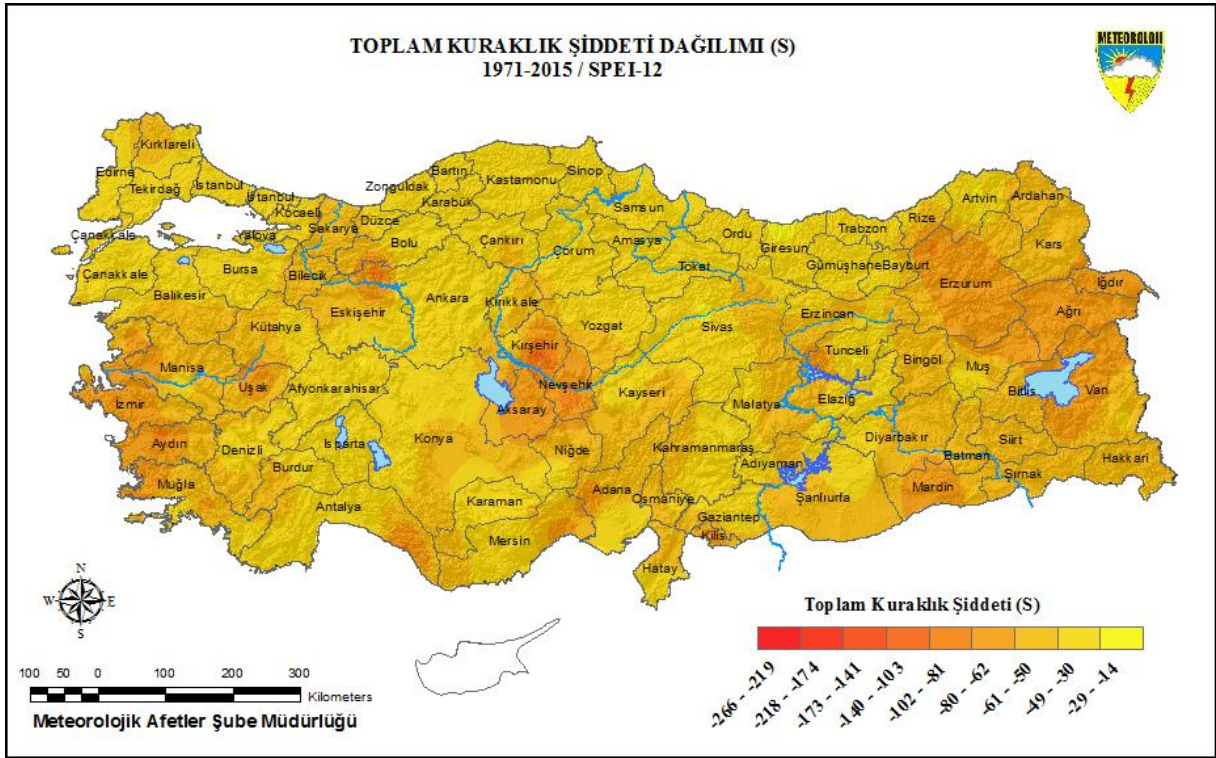
Şekil 2. Türkiye Geneli SPEI-12 Aylık Ölçekte HadGEM2-ES (RCP4.5) Kuraklık Şiddet İndis Değişim Grafiği



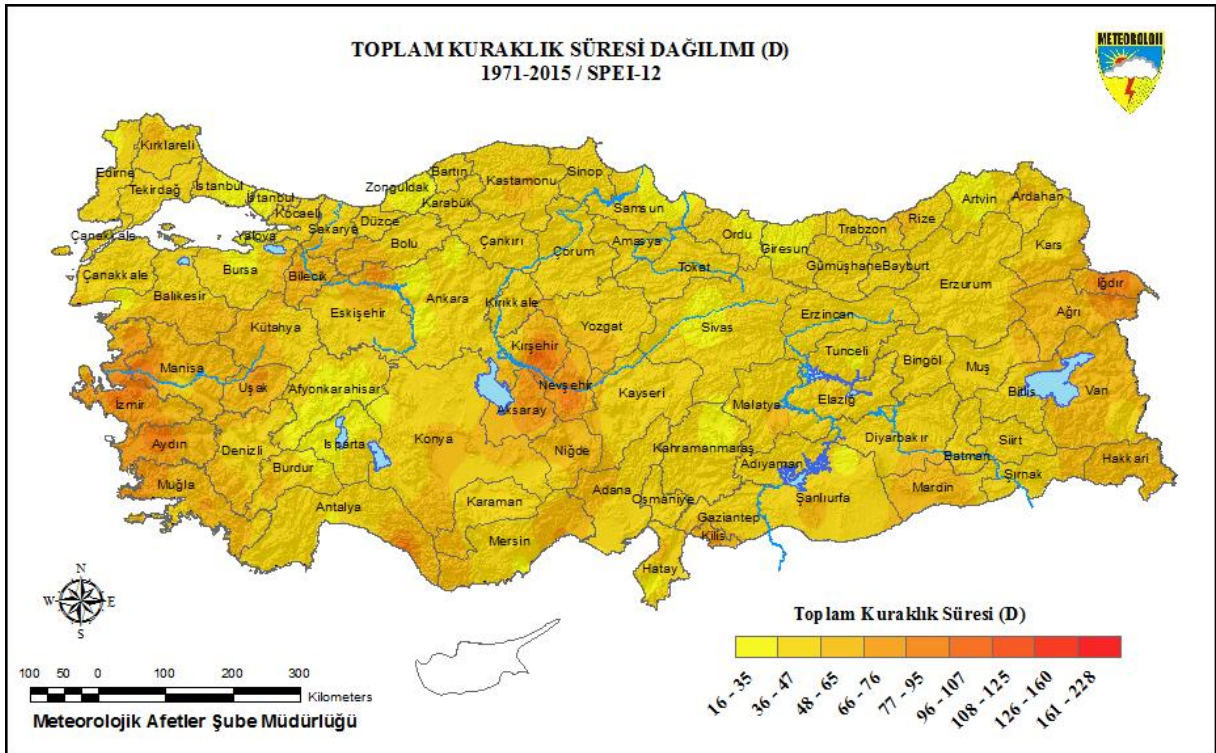
3.7 SPEI-12 Aylık Ölçekte Mevcut Durum Kuraklık Şiddet, Süre ve Yoğunluk Haritaları

SPEI-12 Aylık Ölçekte; toplam kuraklık şiddet ve süre haritaları hemen hemen benzerlik göstermektedir. 1971-2015 döneminde; İç Anadolu, Ege Bölgesi, Marmara'nın doğusu, Doğu Anadolu Bölgesi, Güneydoğu Anadolu Bölgesi ile Orta ve Doğu Akdeniz bölgeleri 70 ve üzeri şiddetteki güçlü kuraklıklara maruz kalmıştır. Kıyı Ege ve İç Anadolu bölgelerinde kuraklıkların etki süreleri 70 ay ve üzeri iken Doğu Anadolu bölgesinde kuraklıkların etki süreleri daha düşüktür (Şekil 3-4).

Şekil 3. SPEI-12 (1971-2015) Toplam Kuraklık Şiddeti



Şekil 4. SPEI-12 (1971-2015) Toplam Kuraklık Süresi



Şekil 5. SPEI-12 (1971-2015) Kuraklık Yoğunluğu



Bu dönemde en uzun kuraklık İç Anadolu Bölgesinde 17160 numaralı Kırşehir istasyonunda 98 ay ve en güçlü kuraklık ise yine aynı istasyonda yaşanmıştır (-105,91). Bu istasyona ait en yüksek kısa süreli kuraklık ortalaması -1,38 ile orta şiddet yoğunlukta görülmektedir.

Türkiye’de kısa süren şiddetli kuraklıkların büyüklüğü genel olarak orta şiddetli yoğunlukta olmasına karşılık; Trakya, Doğu Karadeniz (Rize hariç), Doğu Anadolu’nun kuzeyi ve Van civarları, Güneydoğu Anadolu’nun güneybatısı, Doğu Akdeniz, İç Anadolu’nun doğusu şiddetli yoğunlukta görülmektedir (Şekil 5).

En yüksek kısa süreli şiddetli kuraklık büyüklüğü -1,90 ile Karadeniz Bölgesinde 17034 numaralı Giresun istasyonuna aittir. Yoğunluğun yüksek olduğu bölgelerde başlama ve bitiş tarihlerine baktığımızda, istasyonlardaki yıllık toplam yağışlardaki düşüşler ve yıl içinde mevsiminde alınamayan eksik yağışların etkili olduğunu görmekteyiz. Bu istasyonda yaşanan en yüksek kuraklık yoğunluk zamanı 2010 yılı Temmuz ayında başlayıp 2011 yılı Temmuz ayında bitmiştir. Yine aynı istasyona ait ekstrem maksimum şiddetli kuraklık 2010 yılı Aralık ayında Aşırı kurak şiddette (-3.03) yaşanmıştır (Tablo 1).

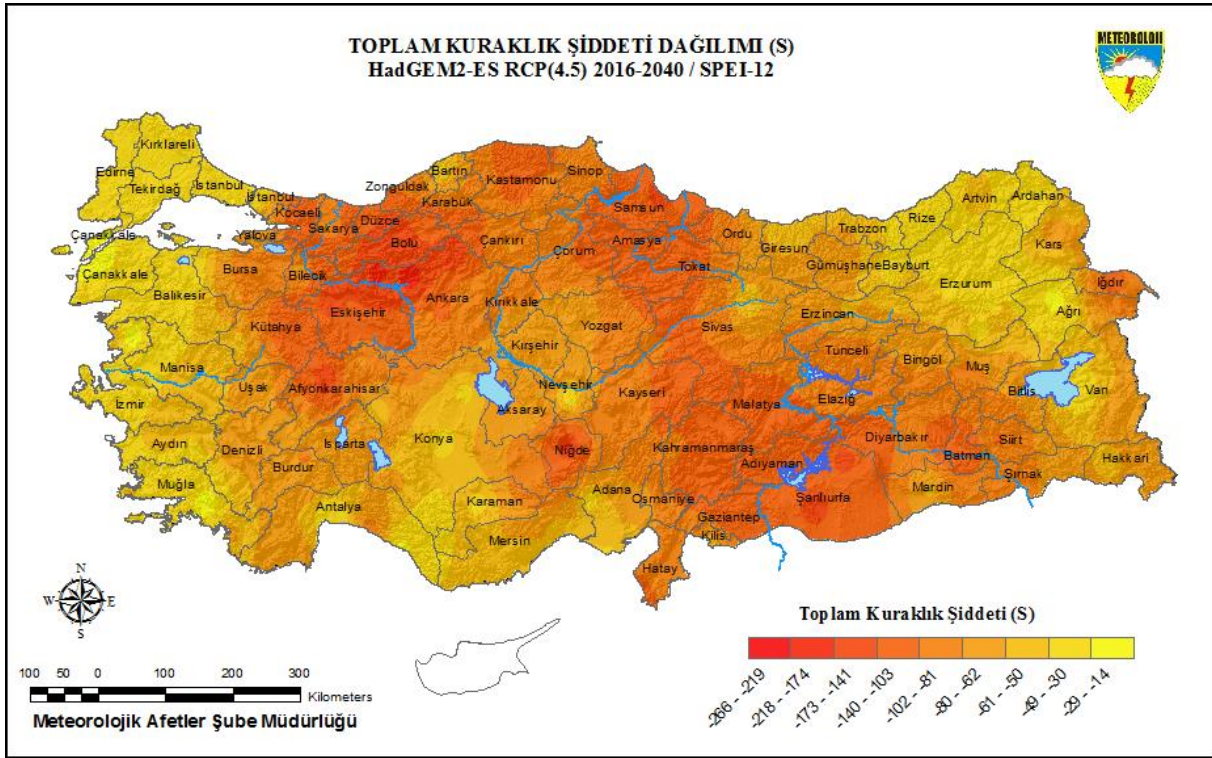
Tablo 1. SPEI-12 Aylık Ölçekte Mevcut Durumda (1971-2015) Örnek 5 İstasyona Ait Yaşanan Kuraklık Özelliklerinin Başlama ve Bitiş Tarihleri

SPEI-12 (1971-2015)											
İST NO	En güçlü		En uzun		En yüksek		Ext. Max. Şiddet				
	S Şiddet	Başlama-Bitiş Yıl/Ay	D Süre	Başlama-Bitiş Yıl/Ay	I Yoğunluk	Başlama-Bitiş Yıl/Ay	S Şiddet	Başlama Yıl/Ay			
17034	-25.78	1993 11 1995 08	25	2012 10 2014 10	-1.90	2010 7 2011 07	-3.03	2010 12			
17160	-105.91	2001 2 2009 03	98	2001 2 2009 03	-1.38	1994 5 1995 06	-2.51	2008 4			
17193	-89.76	2001 1 2007 11	83	2001 1 2007 11	-1.25	2013 2 2015 02	-2.13	2014 4			
17234	-88.56	1987 8 1994 12	89	1987 8 1994 12	-1.05	1999 5 2001 11	-2.20	2007 9			
17310	-84.92	2002 12 2009 09	82	2002 12 2009 09	-1.29	1990 10 1991 11	-2.26	2007 11			

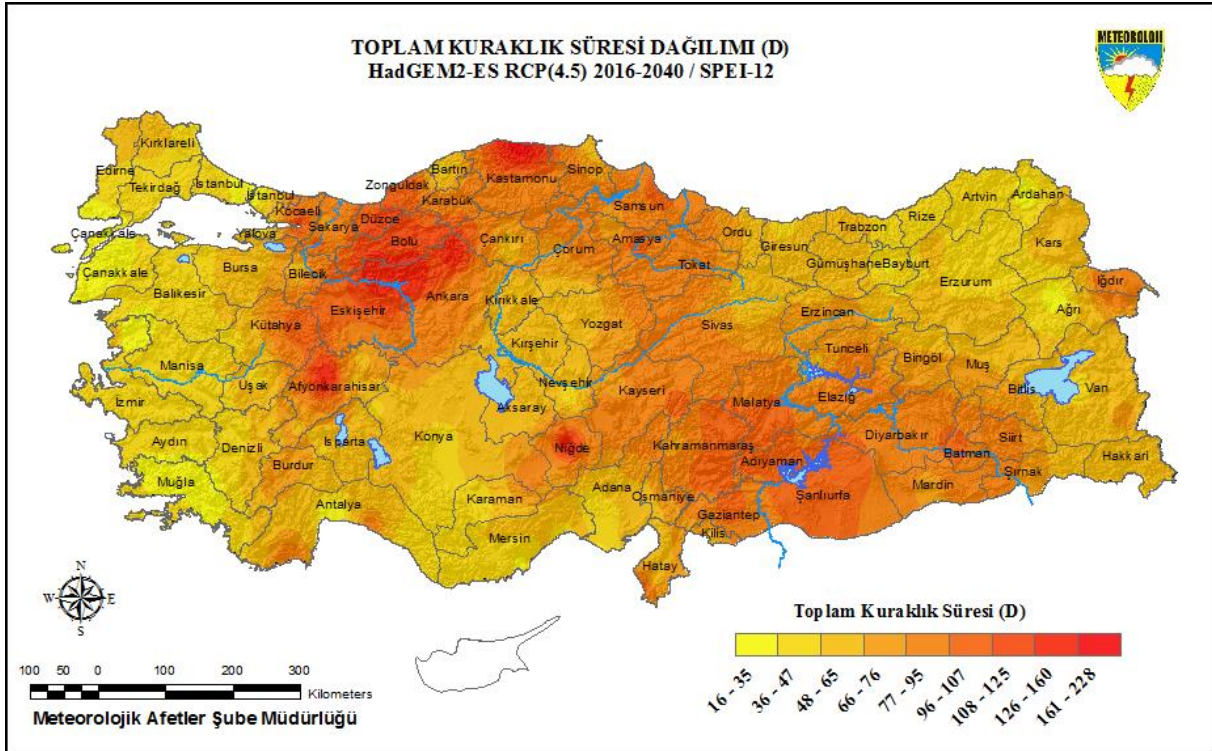
3.8 SPEI-12 Aylık Ölçekte HadGEM2-ES (RCP4.5) Projeksiyonun Kuraklık Şiddet, Süre ve Yoğunluk Haritaları

HadGEM2-ES RCP4.5 senaryosundaki sıcaklıklarda beklenen artış ve yağışlardaki azalış (yıllar arası ve yıl içindeki düzensiz rejim dağılımı) ile birlikte, projeksiyon dönemlerinde SPEI-12 aylık ölçekte kuraklık şiddet ve sürelerinde artışlara sebep olacağı öngörülmektedir (Şekil 6-14). 2016 - 2040 döneminde; İç Ege, Akdeniz ve Marmara'nın doğusu, Güneydoğu Anadolu bölgesi, Batı ve Orta Karadeniz, İç Anadolu'nun kuzeybatısı ve Niğde civarlarında kuraklık şiddet ve sürelerinde artışlar, Kıyı Ege, Doğu Karadeniz ve Doğu Anadolu Bölgesinin doğusunda azalışlar öngörülmektedir (Şekil 6-7). Bu dönemde kısa süreli şiddetli kuraklıkların büyüklüğü; Türkiye geneli orta şiddetli yoğunlukta öngörülmekle beraber; Trakya Marmara'nın güneyi ve kıyı Ege ile Erzincan, Mersin, Denizli Kırşehir, Amasya civarları şiddetli yoğunlukta öngörülmektedir (Şekil 8).

Şekil 6. SPEI-12 (2016-2040) HadGEM2-ES (RCP4.5) Toplam Kuraklık Şiddeti



Şekil 7. SPEI-12 (2016-2040) HadGEM2-ES (RCP4.5) Toplam Kuraklık Süresi

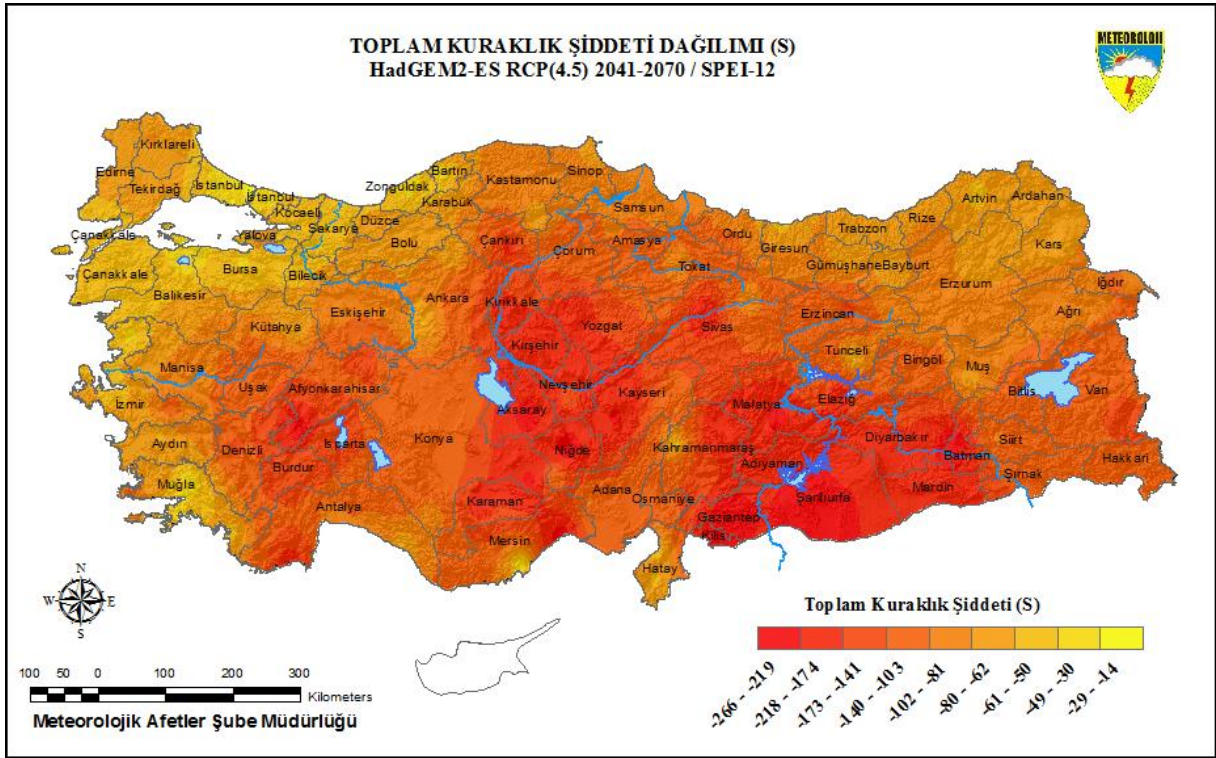


Şekil 8. SPEI-12 (2016-2040) HadGEM2-ES (RCP4.5) Kuraklık Yoğunluğu

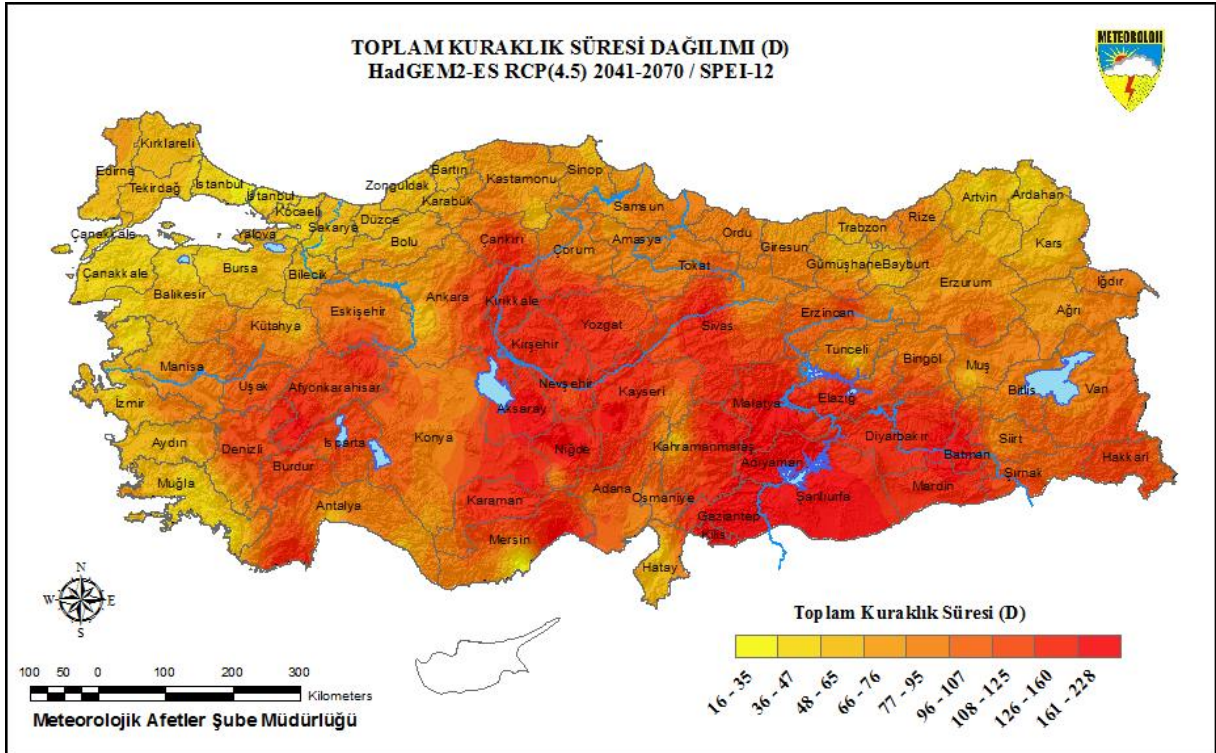


2041 - 2070 dönemi özellikle başta İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu, İç Ege ve Akdeniz olmak üzere Türkiye genelinde uzun süren güçlü kuraklıkların yaşanacağı öngörülmektedir. Kıyı Ege için ilk dönemde kuraklık şiddet ve sürelerinde öngörülen azalışların birkaç mahalli yerle sınırlı kalması, Doğu Anadolu'nun doğusunda ise azalışların yerini artışların alması öngörülmektedir (Şekil 9-10). Kısa süreli şiddetli kuraklıkların büyüklüğü Türkiye geneli orta şiddetli yoğunlukta öngörülmekle beraber; Doğu Karadeniz'in doğusu, Doğu Anadolu'nun kuzeydoğusu ve iç kesimleri, Akdeniz'in doğusu, Marmara'nın batısı ile birkaç mahalli yerde şiddetli yoğunlukta öngörülmektedir (Şekil 11).

Şekil 9. SPEI-12 (2041-2070) HadGEM2-ES (RCP4.5) Toplam Kuraklık Şiddeti



Şekil 10. SPEI-12 (2041-2070) HadGEM2-ES (RCP4.5) Toplam Kuraklık Süresi

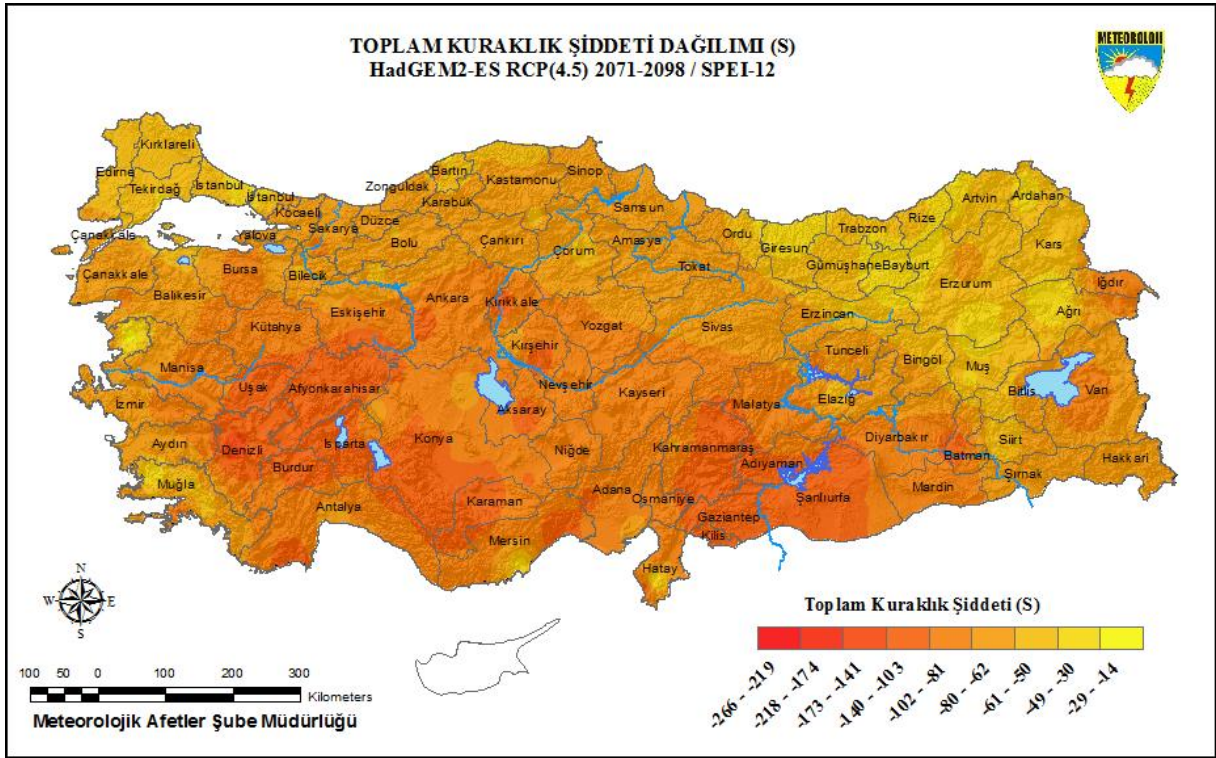


Şekil 11. SPEI-12 (2041-2070) HadGEM2-ES (RCP4.5) Kuraklık Yoğunluğu

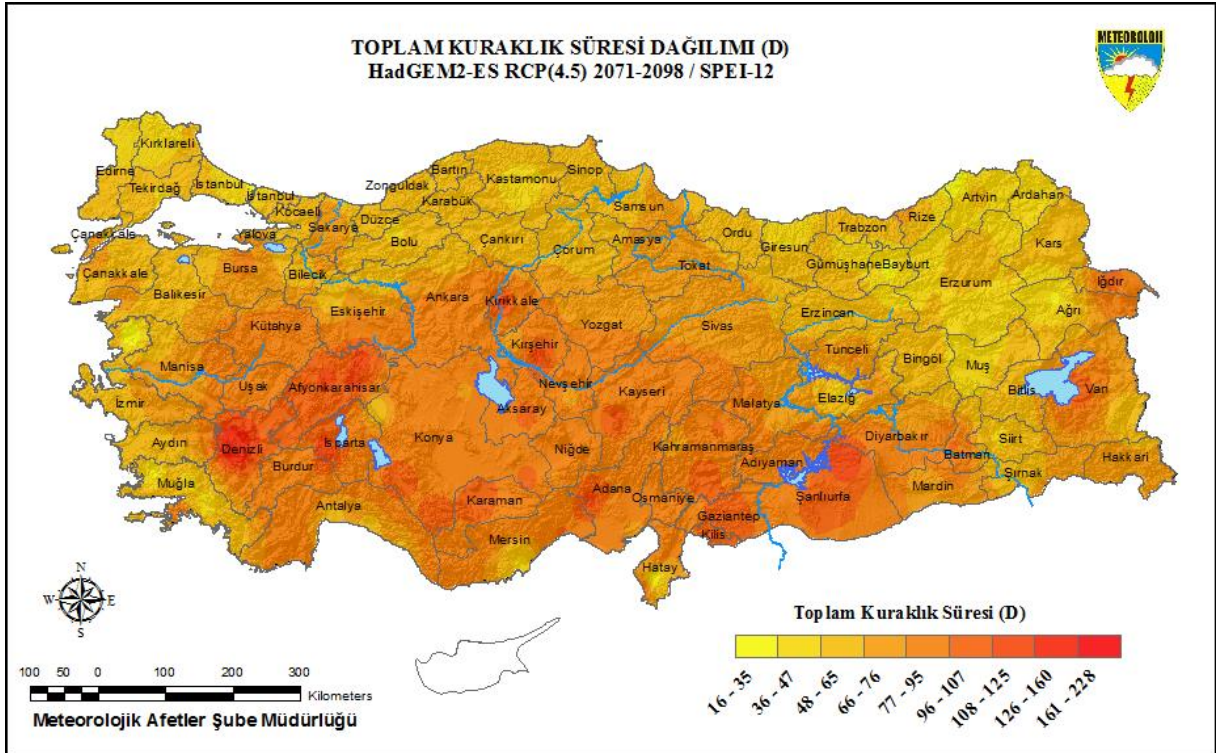


2071-2098 döneminde Türkiye Geneli projeksiyonun ikinci dönemdeki şiddetini azaltarak artışlarına devam edeceği buna karşılık Doğu Anadolu'nun doğusu için ilk dönemde öngörülen kuraklık şiddet ve sürelerindeki azalışların devam etmesi ve Kıyı Ege için özellikle birkaç mahalli yerle sınırlı kalması öngörülmektedir (Şekil 12-13). Bu dönemde kısa süreli şiddetli kuraklıkların büyüklüğü; Türkiye geneli orta şiddetli yoğunlukta öngörülmekle beraber; Kıyı Ege, Marmara'nın batısı, kuzeyi ve doğusu, Orta Karadeniz'in iç kesimleri, İç Anadolu'nun doğusu, Doğu Anadolu bölgesinde birkaç mahalli yerde şiddetli yoğunluktadır (Şekil 14).

Şekil 12. SPEI-12 (2071-2098) HadGEM2-ES (RCP4.5) Toplam Kuraklık Şiddeti



Şekil 13. SPEI-12 (2071-2098) HadGEM2-ES (RCP4.5) Toplam Kuraklık Süresi



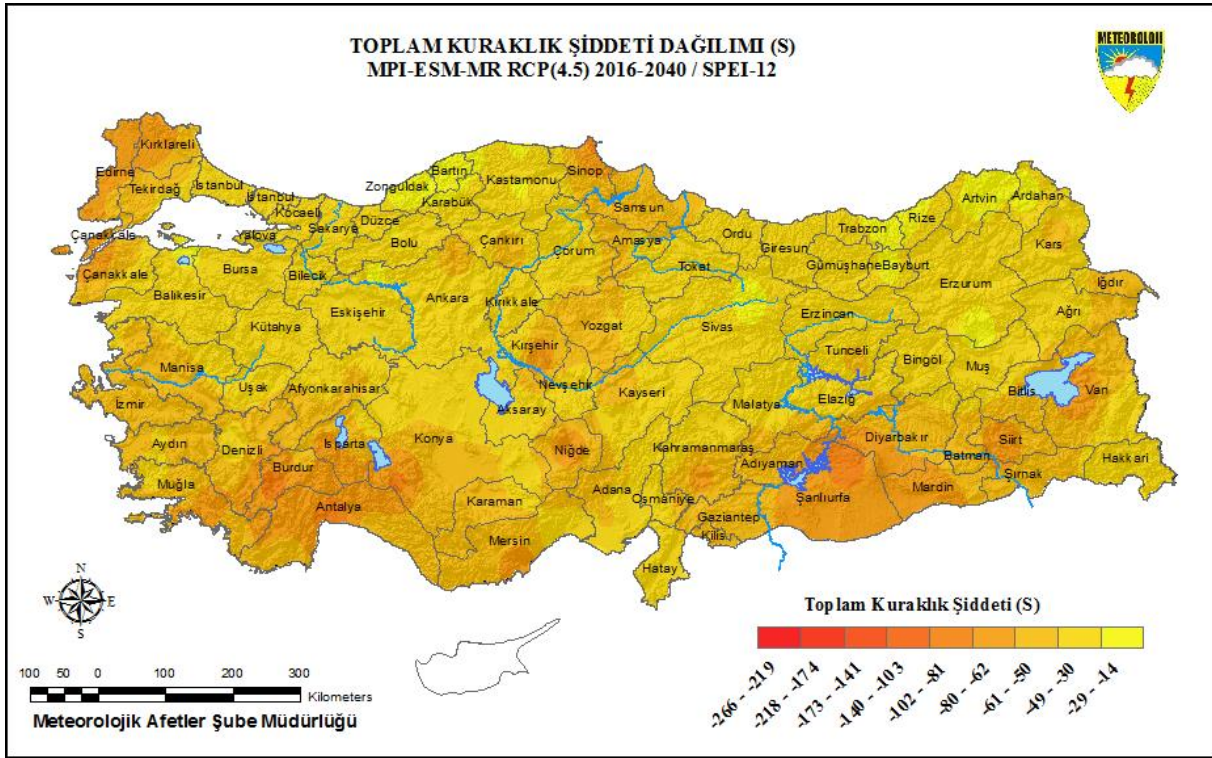
Şekil 14. SPEI-12 (2071-2098) HadGEM2-ES (RCP4.5) Kuraklık Yoğunluğu



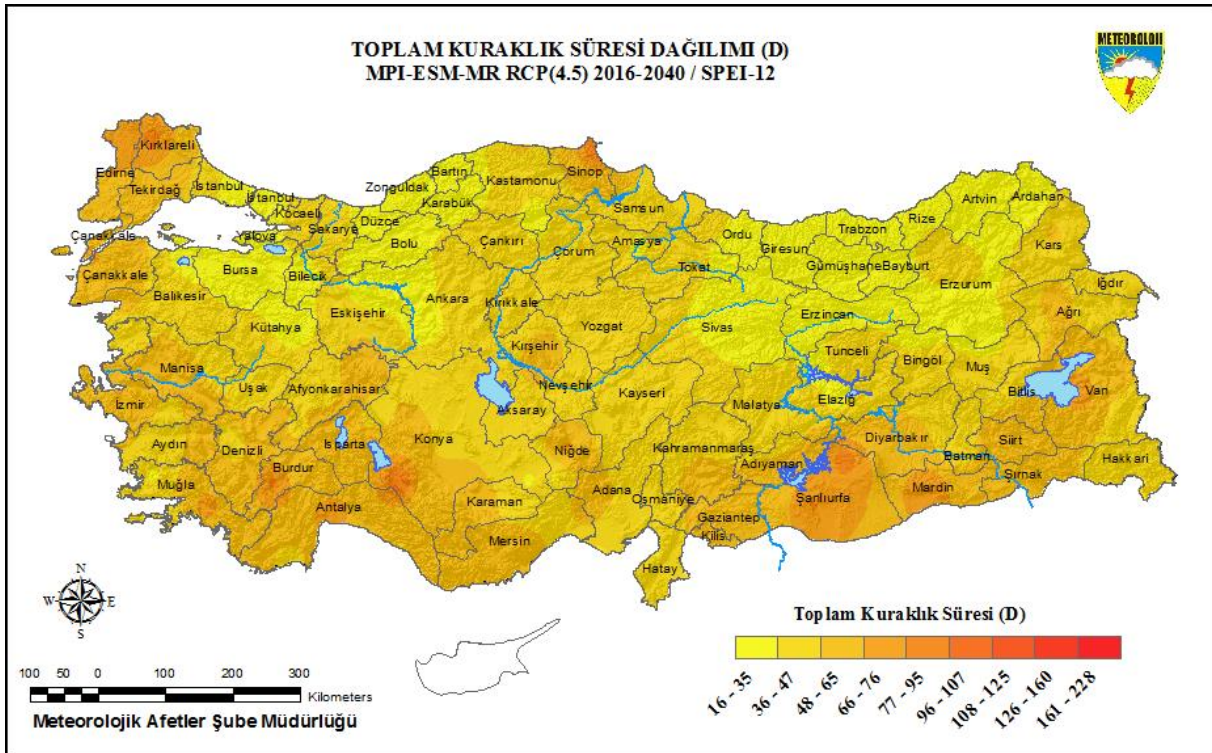
3.9 SPEI-12 Aylık Ölçekte MPI-ESM-MR (RCP4.5) Projeksiyonun Kuraklık Şiddet, Süre ve Yoğunluk Haritaları

Projeksiyonun 2016-2040 döneminde; kuraklık şiddet ve sürelerinde Marmara, İç Ege, Aydın ve Muğla civarları, Doğu ve Batı Karadeniz, Doğu Anadolu, İç Anadolu'nun iç kesimlerinde azalışlar, Trakya, Batı ve Orta Akdeniz, Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Orta Karadeniz'in kıyı ve iç kesimlerinde artışlar öngörülmektedir (Şekil 15-16). Kısa süreli şiddetli kuraklıkların büyüklüğü; Türkiye geneli orta şiddetli yoğunlukta olmakla beraber birkaç lokal yer şiddetli yoğunlukta öngörülmektedir. (Şekil 17).

Şekil 15. SPEI-12 (2016-2040) MPI-ESM-MR (RCP4.5) Toplam Kuraklık Şiddeti



Şekil 16. SPEI-12 (2016-2040) MPI-ESM-MR (RCP4.5) Toplam Kuraklık Süresi

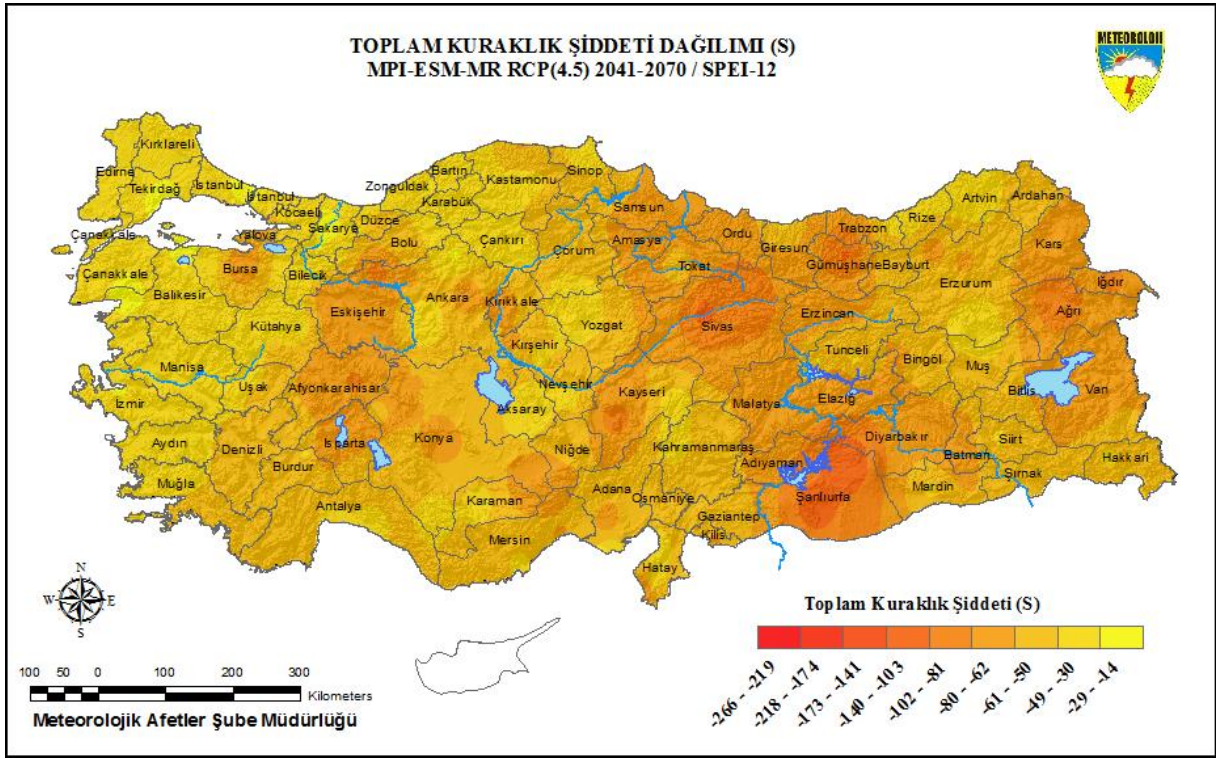


Şekil 17. SPEI-12 (2016-2040) MPI-ESM-MR (RCP4.5) Kuraklık Yoğunluğu

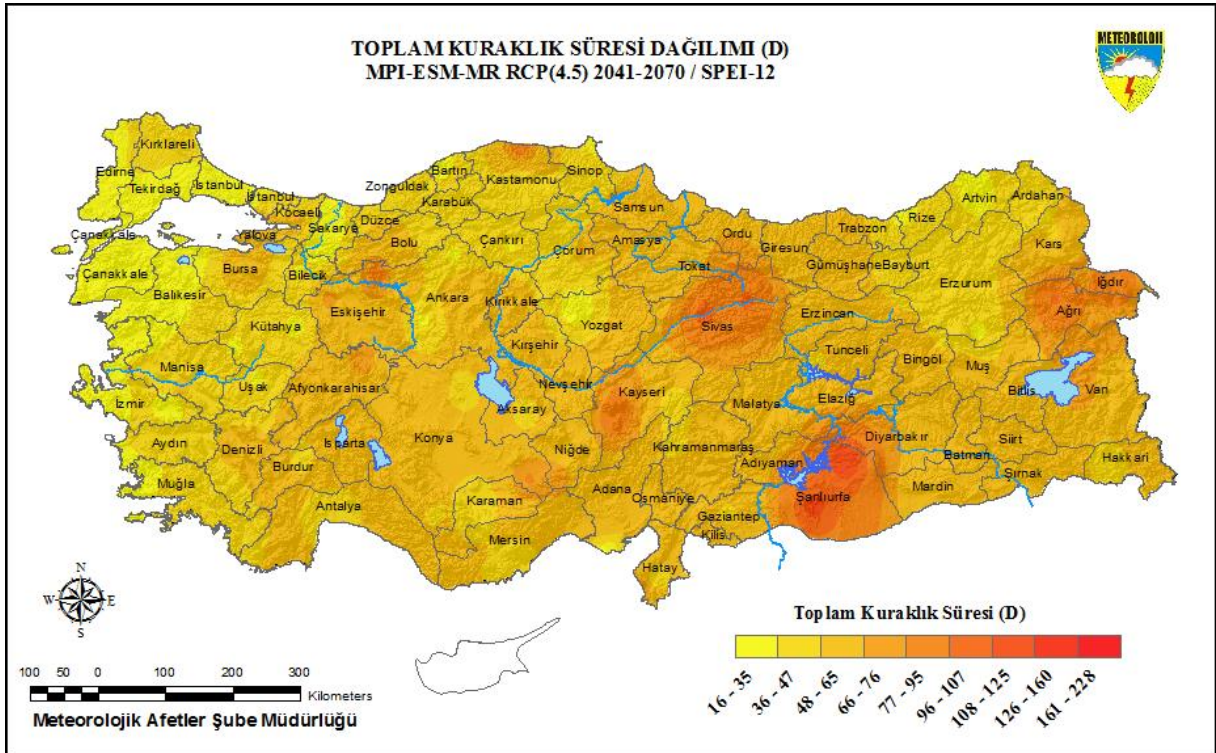


2041-2070 döneminde; başta Güneydoğu Anadolu, İç Anadolu'nun doğusu, İç Ege olmak üzere Orta Karadeniz'in kıyı ve iç kesimlerinde uzun süreli güçlü kuraklıkların şiddetinde artışlar, Kıyı Ege, Trakya bölgesi ve İç Anadolu'nun iç kesimlerinde azalışlar öngörülmektedir (Şekil 18-19). Kısa süreli şiddetli kuraklıkların büyüklüğü; Türkiye geneli orta şiddetli yoğunlukta olmakla beraber İç Ege, Aydın Muğla civarları, Batı ve Doğu Akdeniz, Doğu Anadolu'nun doğusu ve Trabzon ve Gümüşhane civarları şiddetli yoğunlukta öngörülmektedir (Şekil 20).

Şekil 18. SPEI-12 (2041-2070) MPI-ESM-MR (RCP4.5) Toplam Kuraklık Şiddeti



Şekil 19. SPEI-12 (2041-2070) MPI-ESM-MR (RCP4.5) Toplam Kuraklık Süresi

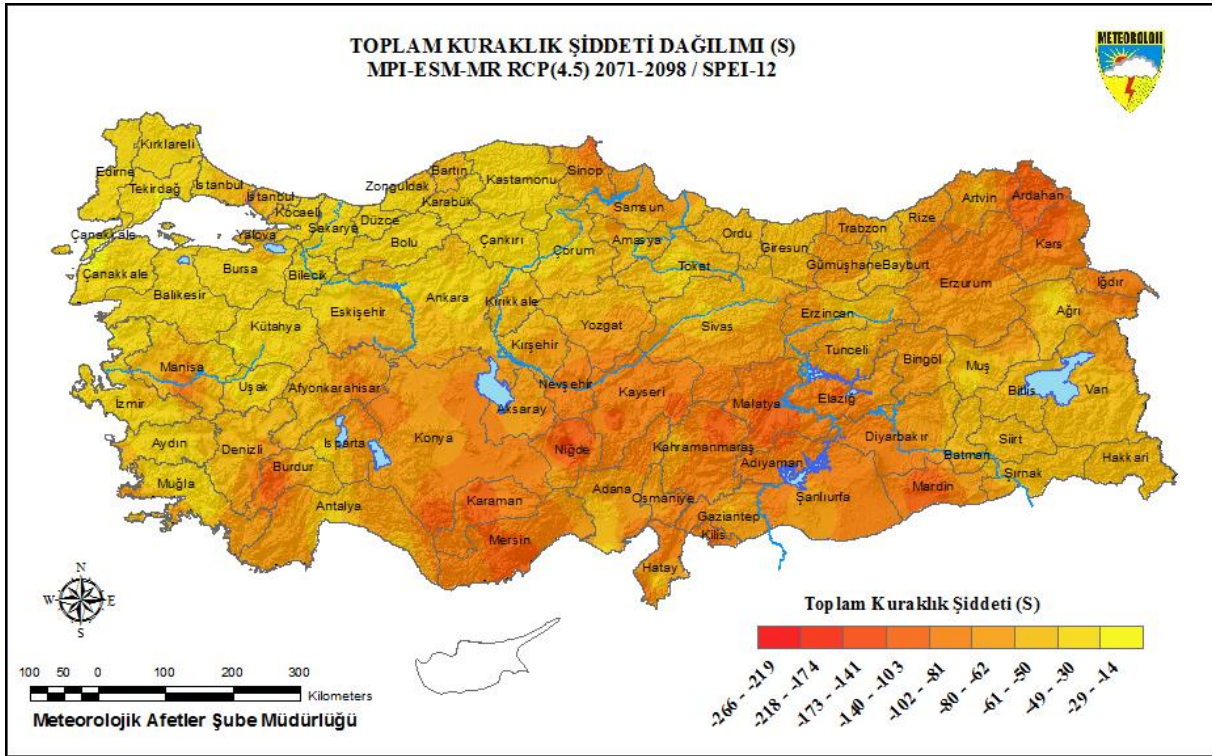


Şekil 20. SPEI-12 (2041-2070) MPI-ESM-MR (RCP4.5) Kuraklık Yoğunluğu

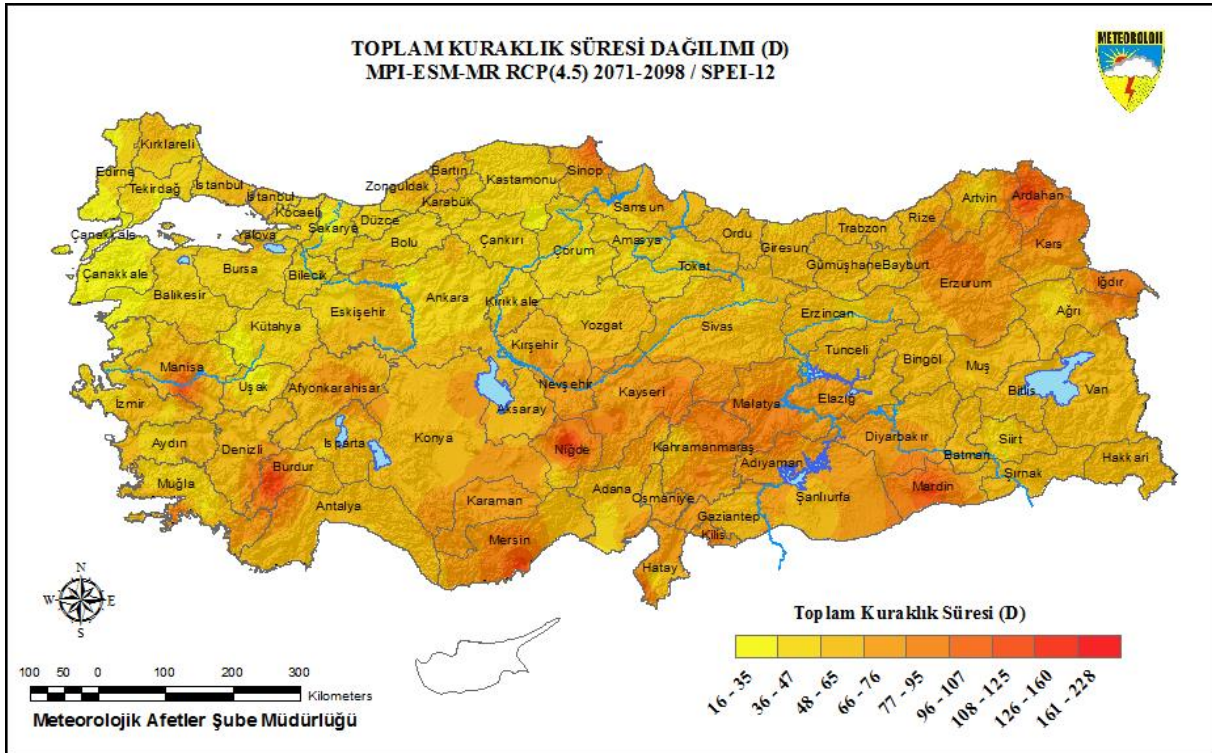


2071-2098 döneminde başta Akdeniz, Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Doğu Karadeniz, İç Anadolu'nun güneyi olmak üzere, Orta Karadeniz kıyıları ve Manisa civarları uzun süreli güçlü kuraklıkların şiddetinde artışlar, Ege Bölgesi, Marmara'nın doğusu ve İç Anadolu'nun iç kesimlerinde azalışlar öngörülmektedir (Şekil 21-22). Bu dönemde kısa süreli şiddetli kuraklıkların büyüklüğü; Ege Bölgesi, İç Anadolu'nun batısı ve doğusu, Doğu Akdeniz, Güneydoğu Anadolu'nun güneybatısı, Doğu Karadeniz ve Doğu Anadolu'nun doğusu şiddetli yoğunlukta; diğer yerler orta yoğunlukta öngörülmektedir (Şekil 23).

Şekil 21. SPEI-12 (2071-2098) MPI-ESM-MR (RCP4.5) Toplam Kuraklık Şiddeti



Şekil 22. SPEI-12 (2071-2098) MPI-ESM-MR (RCP4.5) Toplam Kuraklık Süresi



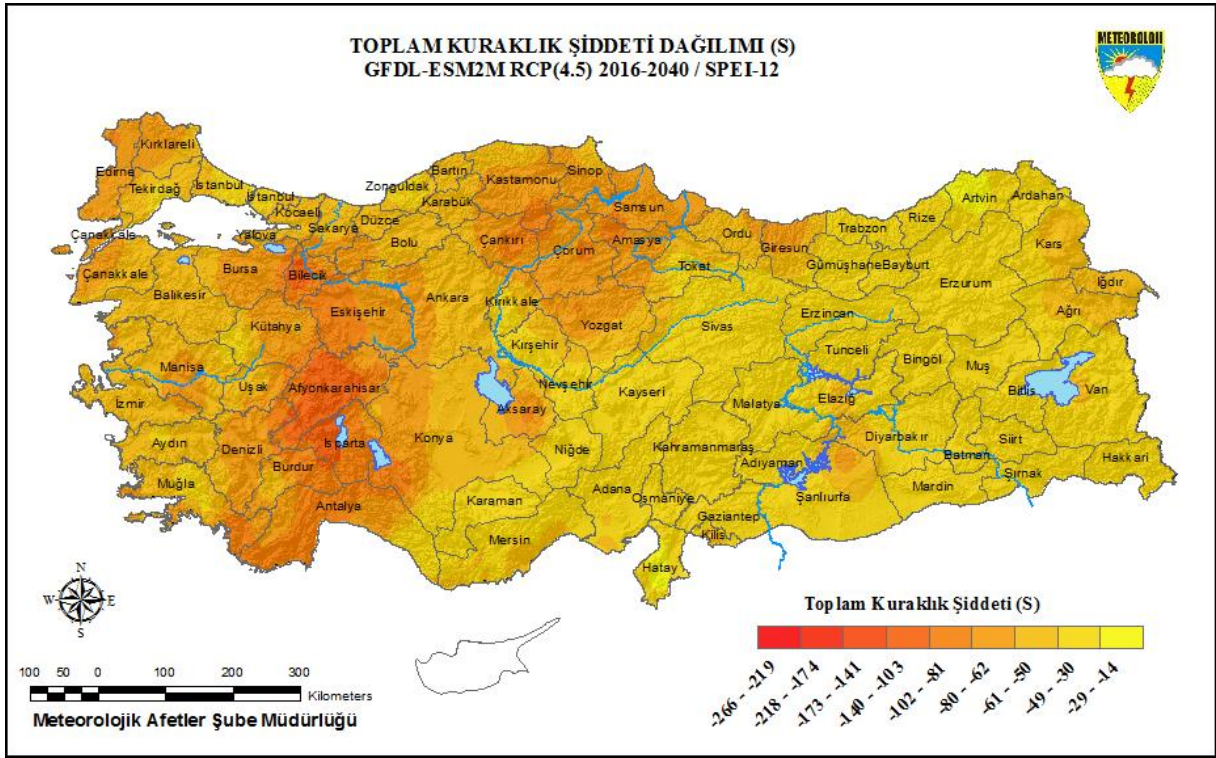
Şekil 23. SPEI-12 (2071-2098) MPI-ESM-MR (RCP4.5) Kuraklık Yoğunluğu



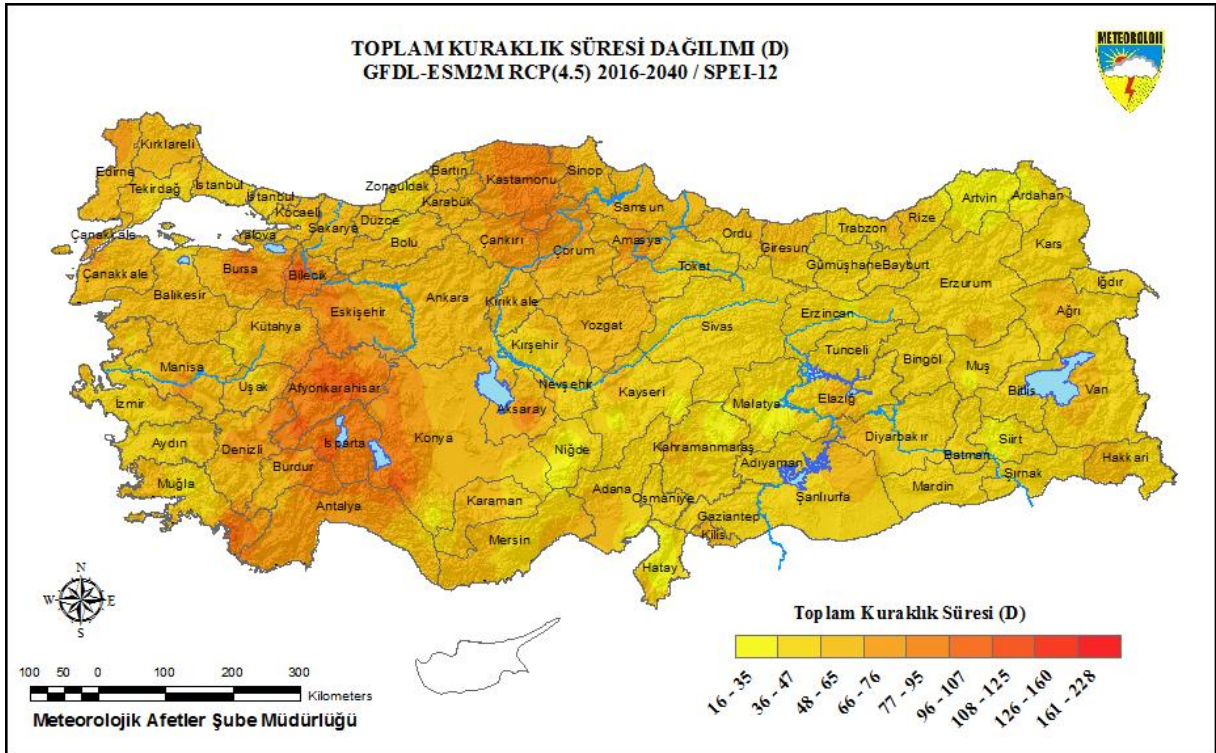
3.10 SPEI-12 Aylık Ölçekte GFDL-ESM2M (RCP4.5) Projeksiyonun Kuraklık Şiddet, Süre ve Yoğunluk Haritaları

2016-2040 döneminde kuraklık şiddet ve sürelerinde İç Ege, Batı Akdeniz, Marmara'nın güneydoğusu, Orta Karadeniz kıyıları ve iç kesimlerinde artışlar, Doğu Anadolu bölgesi, İç Anadolu'nun iç kesimleri ve kıyı Ege' de azalışlar öngörülmektedir (Şekil 24-25). Bu dönemde kısa süreli şiddetli kuraklıkların büyüklüğü; Türkiye geneli orta yoğunlukta olmakla beraber İç Anadolu'nun iç kesimlerinde, Batı Trakya'da, Doğu Karadeniz'in doğusunda ve Doğu Anadolu'nun batısında şiddetli yoğunlukta öngörülmektedir (Şekil 26).

Şekil 24. SPEI-12 (2016-2040) GFDL-ESM2M (RCP4.5) Toplam Kuraklık Şiddeti



Şekil 25. SPEI-12 (2016-2040) GFDL-ESM2M (RCP4.5) Toplam Kuraklık Süresi

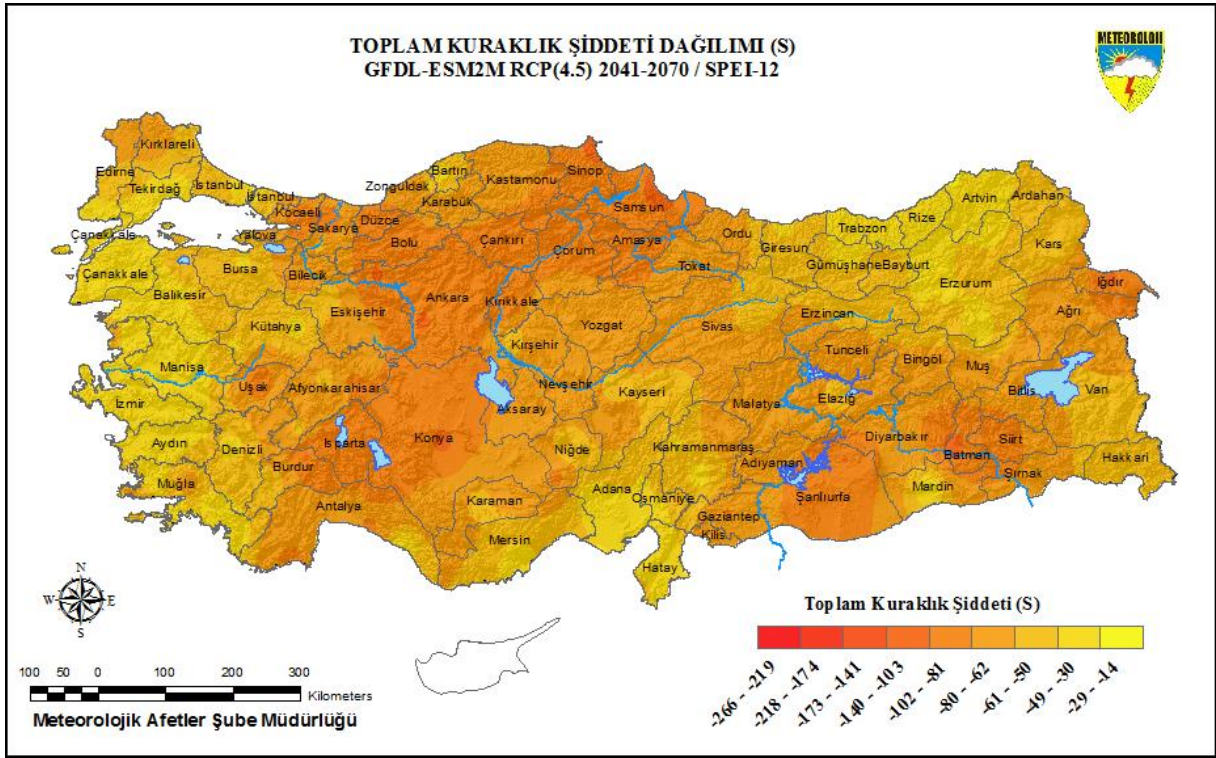


Şekil 26. SPEI-12 (2016-2040) GFDL-ESM2M (RCP4.5) Kuraklık Yoğunluğu



2041-2070 döneminde Kıyı Ege ve Doğu Anadolu'nun kuzeydoğusunda yaşanması muhtemel uzun süreli güçlü kuraklıkların şiddetinde azalışlar, yurdun diğer kesimlerinde artışlar öngörülmektedir (Şekil 27-28). Bu dönemde kısa süreli şiddetli kuraklıkların büyüklüğü; Türkiye geneli orta yoğunlukta olmakla beraber İç Anadolu'nun batısı ve doğusu, Doğu Akdeniz, Orta Karadeniz'in iç kesimleri Güneydoğu Anadolu bölgesi başta olmak üzere şiddetli yoğunlukta öngörülmektedir (Şekil 29).

Şekil 27. SPEI-12 (2041-2070) GFDL-ESM2M (RCP4.5) Toplam Kuraklık Şiddeti



Şekil 28. SPEI-12 (2041-2070) GFDL-ESM2M (RCP4.5) Toplam Kuraklık Süresi



Şekil 29. SPEI-12 (2041-2070) GFDL-ESM2M (RCP4.5) Kuraklık Yoğunluğu

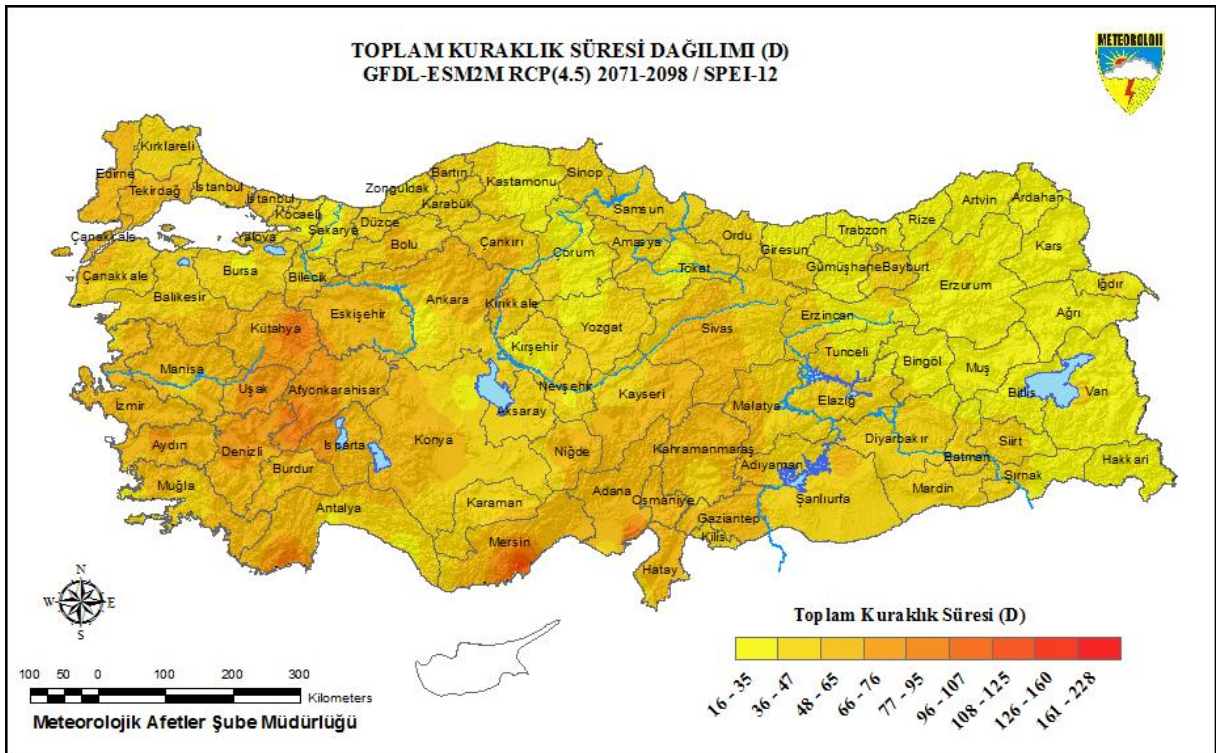


2071-2098 döneminde Marmara'nın doğusu, Doğu Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgesinde, İç Anadolu'nun iç kesimlerinde ve Güneydoğu Anadolu bölgesinde uzun süreli güçlü kuraklıkların şiddetinde azalışlar, İç Ege, Batı ve Orta Akdeniz de artışlar öngörülmektedir (Şekil 30-31). Bu dönemde kısa süreli şiddetli kuraklıkların büyüklüğü; Türkiye geneli orta yoğunlukta olmakla beraber Güneydoğu Anadolu bölgesi başta olmak üzere birkaç lokal yerde şiddetli yoğunlukta öngörülmektedir (Şekil 32).

Şekil 30. SPEI-12 (2071-2098) GFDL-ESM2M (RCP4.5) Toplam Kuraklık Şiddeti



Şekil 31. SPEI-12 (2071-2098) GFDL-ESM2M (RCP4.5) Toplam Kuraklık Süresi



Şekil 32. SPEI-12 (2071-2098) GFDL-ESM2M (RCP4.5) Kuraklık Yoğunluğu



4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Küresel ısınma nedeniyle, sıcaklık ve yağış parametrelerine dayalı SPEI kuraklık indis yöntemiyle Türkiye için 12 aylık ölçekte bölgesel iklim projeksiyon verileri kullanılarak kuraklık projeksiyonları çalışılmış ve kuraklaşma eğiliminin analizi incelenmiştir.

Ülkemizde yağışların alansal ve zamansal dağılımlarının düzensiz bir rejim izlemesi farklı şiddette kuraklık olaylarının yaşanmasına neden olmaktadır. Su miktarı açısından özellikle Türkiye'deki kış ve bahar yağışlarındaki değişimler (yağışın miktarı ve şekli) önemlidir. Küresel iklim değişimi sonucunda Türkiye ortalama sıcaklıklarda 1994 yılından itibaren bir artış trendine girmiş ve bu artış trendi 2005'lerden itibaren belirginleşmiştir (Çamalan, 2019b). İncelenen her üç projeksiyonda da; sıcaklıklarda beklenen artış ve yağıştaki azalış trendi (yıllar arası ve yıl içindeki düzensiz yağış değişiklikleri) ile birlikte SPEI-12 aylık ölçekte Türkiye genelinde kuraklık sınıflarının daha kurak bir üst sınıfa doğru kayma eğilimi göstereceği tespit edilmiştir. Özellikle HadGEM2-ES (RCP4.5) senaryosunun projeksiyon dönemlerinde yaşanması muhtemel uzun süren güçlü kuraklıkların MPI-ESM-MR (RCP4.5) ve GFDL-ESM2M (RCP4.5) projeksiyonlarının dönemlerine nazaran daha şiddetli olduğu öngörülmektedir. Buna karşılık kısa süren şiddetli kuraklıkların büyüklüğü MPI-ESM-MR

(RCP4.5) ve GFDL-ESM2M (RCP4.5) projeksiyonlarının özellikle ikinci döneminde ve MPI-ESM-MR (RCP4.5) projeksiyonunun son döneminde daha şiddetli yoğunlukta olacağı öngörülmektedir. HadGEM2-ES (RCP4.5) projeksiyonunun periyot boyunca sıcaklıkta beklenen artışın diğer iki projeksiyona göre daha fazla olması sıcaklığın kuraklık üzerinde yaratabileceği olumsuz etkileri ortaya koymaktadır.

Projeksiyonlarda yıllar arası ve yıl içindeki düzensiz yağış değişikliklerinin görülmesi ve özellikle projeksiyonların ilk dönemlerinden itibaren sıcaklıklarda beklenen belirgin artışın buharlaşma üzerindeki etkisi, yaşanması muhtemel kuraklıkların şiddet, süre, yoğunluk ve oluşum sıklığı üzerinde etkili olacağını göstermektedir.

Kısa süren şiddetli kurak dönemler ile daha uzun süren kurak dönemlerde ortaya çıkan sorunlar aynı olmasına rağmen, uzun süren kurak dönemlerde ortaya çıkan zararlar daha etkili olacaktır. Kuraklık için önlemlerde kuraklık olaylarının şiddeti, süresi, yoğunluğu, oluşma sıklığı ve alansal tutarlığı dikkate alınmalıdır.

Elde edilen sonuçlar ülkemizde gelecekte kuraklığın etkilerinin daha da fazla hissedilebileceğini ortaya koymaktadır (Çamalan vd., 2017a-b; Çamalan vd., 2018; Çamalan vd., 2019a-b-c). SPEI kuraklık indis yöntemiyle yaşanmış ve yaşanması muhtemel meteorolojik kuraklıkların özelliklerinin ortaya konması ve elde edilen sonuçların kuraklık yönetim planlamalarında çeşitli kullanıcılara ileriye yönelik daha sağlıklı plan ve programlama yapmalarına yarar sağlayacaktır (Çamalan vd., 2019a-b-c).

KAYNAKÇA

- Ahmad, M.I., Sinclair, C.D. ve Werritty, A., 1988: Log-logistic flood frequency analysis. *J. Hydrol.*, 98,205–224.
- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, ve M. Smith, 1998: Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper 56*, 300 pp
- Beguerra S., Vicente-Serrano S. M, Reigb F.ve Latorrea B., (2013). Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *International Journal Of Climatology Int. J. Climatol.* 34: 3001–3023 (2014)
- Burton, I., R. W. Kates, ve G. F. White, (1978). *The Environment as Hazard*. Oxford University Press, 240 pp.
- Çamalan G., Akgündüz S., Ayvacı H., Çetin S., Arabacı H.ve Coşkun M.; (2017-a). “SPEI indisine göre Türkiye Geneli kuraklık değişim ve eğilim projeksiyonları”, IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, (TİKDEK), İstanbul/TURKEY

- Çamalan G., Akgündüz S., Ayvacı H., Çetin S., Arabacı H. ve Coşkun M.; (2017-b). “SPEI kuraklık indisine göre Türkiye’de önümüzdeki yüzyılın kuraklık eğilim projeksiyonu”, 8. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu (ATMOS), İstanbul/TURKEY
- Çamalan G., Ayvacı H., Akgündüz A.S., Çetin S., Arabacı H. ve Coşkun M., (2018).“Ege Bölgesi Kuraklık Projeksiyonları ‘ Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği Bilimsel Kongresi (TUJJBBK), İzmir/TURKEY
- Çamalan G., Akgündüz A.S., Çetin S., Arabacı H., (2019-a).“ Türkiye Meteorolojik Kuraklık Projeksiyonları, idRC2019 Uluslararası Afet ve Dirençlilik “ Riskten Dirençliliğe, Eskişehir /TURKEY
- Çamalan G., Akgündüz A.S., Çetin S., Arabacı H., (2019-b).“SPEI Kuraklık İndisi İle Türkiye’de Kuraklık Olaylarının Analizi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi,10. Ulusal Hidroloji Kongresi, Muğla/TURKEY
- Çamalan G., Akgündüz A.S., Çetin S., Arabacı H., (2019-c). “Normalleştirilmiş Yağış-Evapotranspirasyon Kuraklık İndisi (SPEI) İle Türkiye İçin Kuraklık Projeksiyonları”, 9. Uluslararası Atmosfer Bilimleri Sempozyumu (ATMOS 2019), İstanbul/TURKEY
- Heim, R. R., 2002: A review of twentieth-century drought indices used in the United States. Bull. Amer. Meteor. Soc., 83, 1149–1165
- Hosking, J.R.M., (1986): The theory of probability weighted moments. Res. Rep. RC 12210 IBM Research Division, Yorktown Heights NY 10598.
- Hosking J.R.M.,1990: L-Moments: Analysis and estimation of distributions using linear combination of order statistics. J.Roy.Stat.Soc. 52B, 105-124
- IPCC, 2014. Climate Change 2014, Synthesis Report.
- Kadıoğlu, Mikdat, (2001), “Bildiginiz Havalarnın Sonu” Güncel Yayıncılık Ltd. Şti., İstanbul.
- Kadıoğlu, M. 2012. Türkiye’de İklim Değişikliği Risk Yönetimi.
- Mavromatis, T., 2007: Drought index evaluation for assessing future wheat production in Greece. Int. J. Climatol., 27, 911–924.
- Mckee,T.B., N.J.Doesken, ve J.Kleist, 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scales. Eight of Con.on Applied Climatology, Anaheim,CA, Amer.Met.Soc. 179-184
- MGM Yayınları, 2005, “Yeni Senaryolar ile Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği”, Ankara
- MGM Yayınları, 2019, “Yağış Değerlendirmesi”, Ankara
- MGM Yayınları, 2019, “İklim Değerlendirmesi”, Ankara

- Oğuz K., Pekin M. A., Çamalan G (2021). “Muğla İlinde 1960-2018 Dönemi Kuraklık Analizi” Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi- Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 2021; 7(1): 89-100, DOI: 10.21324/dacd.774955
- Palmer, W.C., (1965). Meteorological Drought Research Paper No. 45. Office of Climatology U.S. Weather Bureau, Washington
- Spinoni J., Naumann G., Carrao H., Barbosa P. ve Vogt J., (2014), World drought frequency, duration, and severity for 1951–2010, International Journal of Climatology, 34(8), 2792 – 2804.
- Tsakiris, G., Pangalou D. ve Vangelis, H. 2007: Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). Water Resour. Manage., 21, 821–833.
- Thorntwaite, C.W.1948: an approach toward a rational classification of climate. Geogr.Rev.328,55-94
- Vicente-Serrano, Sergio M., Begueria,s.,Lopez-Moreno, JuanI., 2010, A Multi-Scalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index
- Wilhite, D.A., Glantz M.H., (1985). Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. Water Int., 10, 111–120.
- Wilhite, David, ve Glantz, M.R.(1987). Understanding the drought phenomenon-The role of definitions, in Wilhite, David, Easterling, William, and Wood, David, eds., Planning for drought: Boulder, Colo., Westview Press, p. 11-27.
- Wilhite, D. A., (1993). Drought Assessment, Management, and Planning: Theory and Case Studies. Natural Resource Management and Policy Series, Vol. 2, Kluwer, 293 pp.
- Yevjevich V. (1967). An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. Hydrology Paper No. 23, Colorado State University, Fort Collins, 1967.
- Yevjevich, V. Luis da Cunha, & Evan Vlachos (eds.). (1983). Coping with Droughts. Littleton, Colorado: Water Resources Publications.
- World Meteorological Organization, 2012: Standardized Precipitation Index User Guide (M. Svoboda, M. Hayes and D. Wood). (WMO-No. 1090), Geneva.
- World Meteorological Organization (WMO),2016, Handbook of Drought Indicators and Indices
- URL 1 : <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/standardized-precipitation-evapotranspiration-index-spei>
- URL 2 : <http://spei.csic.es/index.html>