

## **SPEI İNDİSİNE GÖRE TÜRKİYE GENELİ KURAKLIK DEĞİŞİM VE EĞİLİM PROJEKSİYONLARI**

**Gülten ÇAMALAN<sup>1</sup>, A.Serap AKGÜNDÜZ<sup>1</sup>, Hanifi AYVACI<sup>1</sup>, S.ÇETİN<sup>1</sup>, H.ARABACI<sup>1</sup>,  
M.ÇOŞKUN<sup>1</sup>**

**Meteoroloji Genel Müdürlüğü-Ankara**

[gcamalan@mgm.gov.tr](mailto:gcamalan@mgm.gov.tr)<sup>1</sup>; [sakgunduz@mgm.gov.tr](mailto:sakgunduz@mgm.gov.tr)<sup>1</sup>; [hayvaci@mgm.gov.tr](mailto:hayvaci@mgm.gov.tr)<sup>1</sup>; [sinancetin@mgm.gov.tr](mailto:sinancetin@mgm.gov.tr)<sup>1</sup>  
[harabaci@mgm.gov.tr](mailto:harabaci@mgm.gov.tr)<sup>1</sup>; [mustafacoskun@mgm.gov.tr](mailto:mustafacoskun@mgm.gov.tr)<sup>1</sup>

### **ÖZET**

Bu çalışmada Türkiye’den seçilen 123 meteoroloji gözlem istasyonununun 1971-2015 aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış gözlem verileri ile küresel iklim modellerinden HadGEM2-ES modelinin RCP4.5 senaryosununun 2016 – 2098 periyodu bölgesel iklim projeksiyon çıktıları kullanılarak SPEI kuraklık şiddet indisi 1, 3 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde hesaplanmış ve SPEI indisi kuraklık sınıflarına göre olasılıkları (oluşum sıklıkları) elde edilmiştir. Yapılan çalışmayla kuraklığın oluşum sıklığının zamansal ve mekansal değişimleri incelenmiş ve geçmiş dönemlerdeki klimatolojisi referans alınarak gelecekte de var olabilecek kuraklaşma eğiliminin klimatolojik açıdan değerlendirmesi amaçlanmıştır. Bu şekilde, özellikle tarım, hayvancılık, özellikle toprağa bağlı üretim ve çevre açısından; yöneticilere, araştırmacılara, kamu kurumları ve tüm ilgililere, ileriye yönelik planlama çalışmalarında bilimsel destek sunacağı için projeksiyon modellerinin kuraklık yönetiminde faydalı bir araç olarak kullanılması hedeflenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** SPEI, Kuraklık, HadGEM2-ES

### **ABSTRACT**

In this study, the monthly average temperature and monthly total rainfall data of the 1971-2015 period of the 123 meteorology observation stations with different climate characteristics selected from Turkey, and the regional climate projection data of the RCP 4.5 scenario of HADGEM2-ES model for 2016-2098 period were used. SPEI drought severity indices were calculated at 1, 3 and 12 month time scales with this data and the frequency of occurrence according to drought classes was obtained. The temporal and spatial changes of the frequency of occurrence of drought with the calculated SPEI values were examined and it was aimed to evaluate the climatic tendency which may exist in the future with reference to the climatology in the past periods. In this way, it is aimed to use projection models as a useful tool in the management of drought in order to provide scientific support for managers, researchers, public institutions and all interested parties, especially for agriculture, animal husbandry, agricultural production and environment.

**Keywords:** SPEI, Drought, HadGEM2-ES

### **GİRİŞ**

İnsan yaşamında doğal afetler, geçmişten günümüze önemli yer tutmaktadır. Bu afetlerin geniş kitleleri etkileyen en önemlilerinden biri kuraklıktır. Kuraklık yavaş başlayan ve gelişen bir afet olmasına karşılık, etkileri uzun bir zaman periyodu boyunca birikerek (kümülatif) daha sonra ortaya çıkan olumsuz etkileriyle süreklilik gösteren ve tahmini en zor

#### **IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, TİKDEK 2017 5 – 7 Temmuz 2017, İstanbul**

olan klimatolojik bir olaydır. Tüm kuraklıklar ilk önce meteorolojik olarak, yani yetersiz yağışla başlar. Bu durumu toprak neminin azalması ve bitkinin ihtiyaç duyduğu minimum su kapasitesinin azalmasıyla tarımsal kuraklık takip eder. Daha sonra ise akarsulardaki ve barajlardaki suların azalmasıyla hidrolojik kuraklık takip eder ve bu durum en sonunda kendini sosyo-ekonomik kuraklık olarak gösterir. Kuraklık indisleri, iklimsel değişkenler ve iklim ile ilişkili süreçler (örn. toprak nemi ya da su içeriği) arasındaki karmaşık etkileşimleri özetleyerek görece daha kolay anlaşılmasını sağladığı için, kuraklığın ölçülmesi ve izlenmesinde yararlı yöntem ve yaklaşımlar olarak kabul edilir. Kuraklık indislerinin kullanılması, iklimsel anomalilerin şiddet, coğrafi yayılım ve oluşum sıklığı açısından niceliksel olarak değerlendirilmesine izin vermesinin yanı sıra, hem karar vericiler hem de toplum ve yurttaşlar arasında kuraklık koşulları konusunda bilgi değişimini sağlar [1]. Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO), meteorolojik kuraklıkları karakterize etmek için dünya çapında ulusal meteorolojik ve hidrolojik hizmetler tarafından kullanılacak Standartlaştırılmış Yağış indisini (SPI) kabul etmiştir. Bununla birlikte SPI [2]; sıcaklık, bağıl nem, buharlaşma, rüzgar hızı, vs. gibi kuraklık koşullarını da belirleyen diğer değişkenleri dikkate almayan sadece yağış verisine dayalıdır. Bununla birlikte, bazı çalışmalar yağışın, kuraklığın süresi, yoğunluğu ve bitişini belirleyen ana unsur olduğunu ortaya koymuştur. Son 150 yılda küresel sıcaklık artışının sonucu olarak iklim değişikliği modelleri 21. Yüzyılda sıcaklıkta belirgin bir artış öngörmektedir. Küresel sıcaklıktaki bu artış trendi kuraklık koşullarında daa dramatik sonuçların ortaya çıkabileceği beklentisini güçlendirmektedir. Özellikle sanayi devrimiyle birlikte yeryüzünde sera gazı olarak adlandırılan karbon salınımının artması, küresel ısınmayı tetikleyici bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sebeple küresel ısınmadaki bu artışı yavaşlatmak için karbon salınımını azaltmaza yönelik tedbirlere başvurulmaktadır. Bir taraftanda bu sıcaklık artışının otaya çıkaracağı kuraklığın şiddeti ve etkileri ampirik ve istatistiki yaklaşımlar yardımı ile tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Yapılan hesaplamalarda Palmer Kuraklık İndisi (PDSI) [3] gibi sıcaklık verilerini içeren kuraklık indislerinin kullanılması, özellikle gelecek iklim senaryolarını içeren uygulamalar için tercih edilir. Bununla birlikte PDSI, hem farklı hidrolojik sistemler ile ilişkili kuraklık değerlendirmesi hem de farklı kuraklık tiplerini ayırt etmek için gerekli çok ölçekli (multi-scalar) kriterler konusunda yetersizdir. Bu nedenle, yeni bir kuraklık indisi olan Normalleştirilmiş Yağış-Buharlaşma İndisi (SPEI), yağış ve PET'e dayalı olarak formüle edilmiştir. SPI, gelecekteki kuraklık koşullarında sıcaklık artışının rolünü ve küresel ısınma senaryolarından bağımsız olarak sıcaklık değişkenliğinin ve sıcak hava dalgalarının rolünü açıklayamamakta 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. İndis Vincente-Serrano ve ark.

#### **IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, TİKDEK 2017 5 – 7 Temmuz 2017, İstanbul**

Tarafından geliştirilmiştir [4]. SPEI özellikle kuraklığı belirleme, izleme ve küresel ısınmanın kurak şartlar üzerindeki sonuçlarını açıklama konusunda etkindir. [5;6;7]

#### **MATERYAL VE YÖNTEM :**

Bu çalışmada SPEI metodu kullanılarak Türkiye genelinde 123 meteoroloji istasyonuna ait 1971 -2015 yılları gözlem verileri ile küresel iklim modellerinden HadGEM2-ES RCP4.5 senaryosunun 2016 – 2098 bölgesel iklim projeksiyon verileri kullanılarak 1, 3 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde kuraklığın oluşum sıklığının alansal değişimleri ile SPEI değerlerinin zamana bağlı değişimleri incelenmiştir (zamansal değişimler burada verilmedi).

2016-2098 yılları için iklim veri projeksiyonları (aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış), istasyonlara en yakın gridlerin anomali değerlerine, modeller çalıştırılırken kullanılan istasyonların gözlem referans periyodu olan 1971-2000 dönemi normalleri eklenerek üretilmiştir. Projeksiyon zaman aralığı üç dönem halinde incelenmiştir (2016-2040, 2041-2070, 2071-2098). Dönemler çalıştırılırken her dönem için başlangıç verisi 1971 olan gözlem verileri ile beraber çalıştırılmıştır. Amaç kuraklık analizinde sürekliliği temin etmektir. Çalışılan dönem için incelenen seride gelecek datasının bir etkisi olmamasına karşılık başlangıç datası önemlidir. Buna karşılık gelecek öngörülerinin gözlem datasını etkilememesi adına SPEI kuraklık şiddet indis hesaplarında seriler; 1971-2040 periyodunda çalıştırılıp 2016-2040 dönemi, 1971-2070 periyodunda çalıştırılıp 2041-2070 dönemi ve 1971-2098 periyodunda çalıştırılıp 2071-2098 dönemi incelenmiştir. Dönemlerin SPEI kuraklık şiddet indis hesapları yapıldıktan sonra kuraklık sınıflarının oluşum sıklıkları (frekans olasılıkları) tespit edilmiş ve kuraklığın geçmiş klimatolojisi referans alınarak gelecekte de var olabilecek kuraklaşma eğiliminin klimatolojik açıdan değerlendirmesi yapılmıştır.

SPEI indisi, iklimsel su dengesine (yağış-buharlaşma) dayanmakta ve kurak periyotların tanımlanmasında önerilmektedir. Negatif değerlerin fazlalığı dikkate alınarak verinin standardizasyonunda 3 parametrelili log-lojistik dağılım kullanılmıştır. Buharlaşma (ETP) ise Thorntwaite [8].metodu ile hesaplanmaktadır. SPEI çözümlenmesi Pearson tip III dağılımına göre hesaplanmıştır. Bu dağılımın  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$  parametreleri ise L-momentler metodu ile elde edilmiştir. L- momentler Greenwood [9] tarafından belirtilen ve gözlemlerin artan ya da azalan dizi haline getirilmesi ile elde edilen olasılık ağırlıklı momentlerin doğrusal bileşimidir.

$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$  i= aylık sıcaklık indisi ve t aylık ortalama sıcaklıktır. 12 aylık “i” değerlerinin toplamı yıllık sıcaklık katsayısı olan I değerini vermektedir.

$A = 6.75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7.71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1.79 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0.492$  ve PET için istasyon enlemine göre güneşlenme süreleri ile çarpılarak elde edilir.

#### **IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, TİKDEK 2017 5 – 7 Temmuz 2017, İstanbul**

$PET = 16 * K * \left[ \frac{10 * T(I)}{I} \right]^A$  K= İstasyonların enlemlerine ve aylara göre hesaplanmış düzeltme katsayısı.  $D_i = P_i - PET_i$

Hesaplanan  $D_i$  değerleri SPI ile aynı prosedür izlenerek farklı zaman ölçeklerinde bir araya getirilir. Tsakiris (2007)  $P/PET$  (aylık toplam yağış miktarının aylık potansiyel buharlaşma değerine oranı) oranının da küresel ısınma sürecini de 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.

Olasılık ağırlıklı momentler ise;  $w_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (1 - F_i)^s * D_i$  formülü ile elde edilir.

$\lambda_1 = w_0$  ;  $\lambda_2 = w_0 - 2w_1$  ;  $\lambda_3 = w_0 - 6w_1 + 6w_2$  ;  $\lambda_4 = w_0 - 12w_1 + 30w_2 - 20w_3$

$F_i = \frac{i-0.35}{N}$  (Hosking 1990) formülü ile hesaplanır.  $F_i \rightarrow$  Frekans tahmin edicisi,  $N \rightarrow$  Gözlem sayısı,  $i \rightarrow D_i$  değerlerinin artan dizi oluşturacak şekilde sıralanması ile verilen sıra numaraları. 3 parametrelili log-lojistik dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu;

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

Bu dağılım fonksiyonunda  $\alpha$ , ölçek ;  $\beta$ , şekil ve  $\gamma$ , konum parametresidir ( $\gamma > D_i < \alpha$ )

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

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

Log- lojistik dağılıma göre  $D_i$  serisinin olasılık yoğunluk fonksiyonu

$F(x) = \left[ 1 + \left( \frac{\alpha}{x-\gamma} \right)^{\beta} \right]^{-1}$   $F(x)$  ile SPEI  $F(x)$ ' in standardize değişkeni olarak aşağıdaki şekilde

hesaplanır;  $SPEI = w - \frac{C_0 + C_1 w + C_2 w^2}{1 + d_1 w + d_2 w^2 + d_3 w^3}$  burada  $w = \sqrt{-2 \ln(P)} \rightarrow P \leq 0.5$  için

$P$  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 formulasyonda 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. SPEI kuraklık indis hesaplamaları yapıldıktan sonra kuraklık sınıf aralıklarına göre (Tablo:2) her istasyon için frekans olasılıkları hesaplanmıştır. Olasılıklar, her sınıftaki kuraklıkların, toplamda meydana gelen kuraklıklara oranlanmasıyla elde edilmiştir [10]

$P(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n_a}{n}$   $P(A)$ : Bağlı olasılık (frekans olasılığı),  $n_a$  :İstenilen olayın meydana gelme sayısı,  $n$ : tüm olayların sayısıdır.

#### IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, TİKDEK 2017 5 – 7 Temmuz 2017, İstanbul

Normal kuraklık sınıfı (Tablo:1) aslında hafif kurak ve hafif nemli kuraklık sınıflarının toplamını gösterir. Bu nedenle çalışmanın amacı doğrultusunda bu sınıf aralığı Tablo: 2’de ki gibi düzenlenmiştir.

**Tablo:1** SPEI kuraklık sınıfı değer aralıkları

SPEI	Kuraklık Sınıfı
2.00 ve üzeri	Aşırı nemli (extremely wet)
1.50 – 1.99	Çok nemli (very wet)
1.00 – 1.49	Orta nemli (moderately wet)
(-0.99) – 0.99	Normal (normal)
(-1.00) – (-1.49)	Orta kurak (moderately dry)
(-1.50) – (-1.99)	Şiddetli kurak (severely dry)
(-2.00) ve alt	Aşırı kurak (extremely dry)

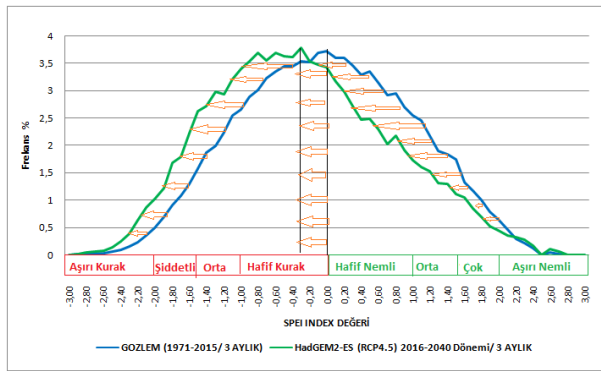
**Tablo:2** Normal sınıfın düzenlenmiş hali

SPEI	Kuraklık Sınıfı
2.00 ve üzeri	Aşırı nemli
1.50 – 1.99	Çok nemli
1.00 – 1.49	Orta nemli
0.0 – 0.99	Hafif nemli
0.0 – (-0.99)	Hafif kurak
(-1.00) – (-1.49)	Orta kurak
(-1.50) – (-1.99)	Şiddetli kurak
(-2.00) ve alt	Aşırı kurak

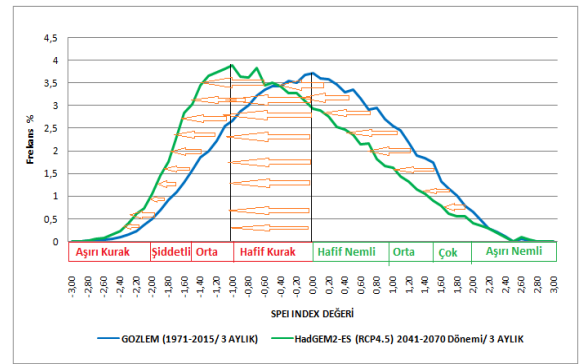
#### ANALİZ VE BULGULAR:

Analizler periyot arttıkça kuraklığın daha az tekrar ettiği ama süre olarak daha uzun etkili olduğunu göstermektedir. 1 ve 3-ay zaman periyodunda kuraklık daha sık ama daha kısa süreli olmakta ve periyot arttıkça 12 ay zaman periyodunda kuraklığın süresi artmakta ama sıklığı azalmaktadır.

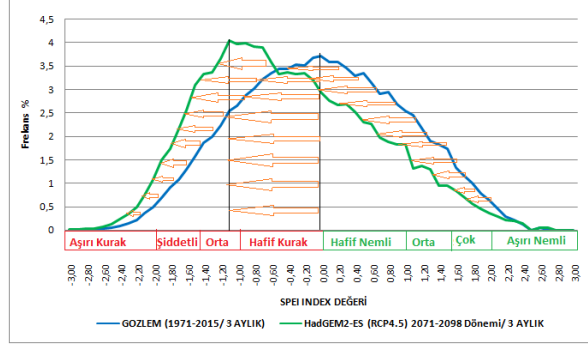
3 ay bazında Türkiye geneli mevcut gözlemlerde normal sınıfın Hafif Nemli bölümünde yoğunlaşan SPEI kuraklık şiddet frekans olasılıklarının, HadGEM2-ES RCP4.5 model projeksiyon iklim verilerinde 2016-2098 periyodu için sıcaklıkta beklenen artış ve yağıştaki azalış trendi [11] ile birlikte, 2016-2040 periyodunda hafif kurak (Şekil:1), 2041-2070 ve 2071-2098 periyodunda ise orta kurak sınıfta yoğunlaşacak şekilde sınıflarda bir üst kuraklık sınıfına doğru kayma eğilimi göstermesi öngörülmektedir (Şekil:2-3).



**Şekil-1** Türkiye Geneli Gözlem (1971-2015) ve HadGEM2-ES RCP4.5 3 Aylık Ölçekte (2016-2040 Dönemi) SPEI Frekans Olasılık Değişimi



**Şekil-2** Türkiye Geneli Gözlem (1971-2015) ve HadGEM2-ES RCP4.5 (2041-2070 Dönemi) 3 Aylık Ölçekte SPEI Frekans Olasılık Değişimi

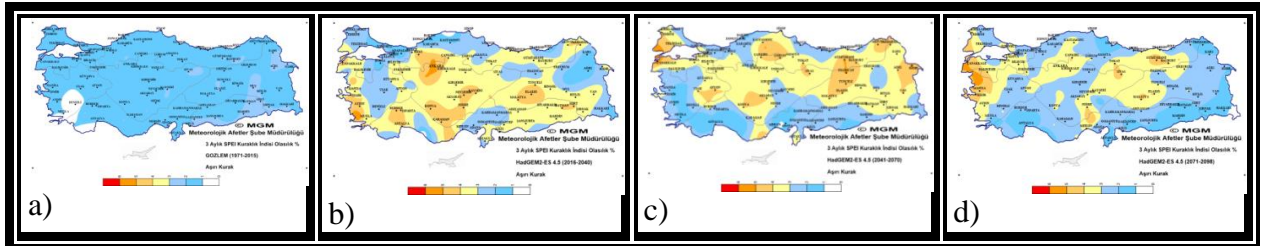


**Şekil-3** Türkiye Geneli Gözlem (1971-2015) ve HadGEM2-ES (RCP4.5) (2071-2098 Dönemi) 3 Aylık Ölçekte SPEI Frekans Olasılık Değişimi

Mekansal dağılımda 3 ay bazında kurak dönemlerin mevcut değerlendirmeleri ve öngörülleri aşağıda verilmiştir.

Türkiye’de en çok Hafif Kurak ve Hafif Nemli sınıfları içine alan normal sınıf frekans olasılıkları yüksektir. Doğu Anadolu Bölgesi Hafif Kurak dağılımlarda en yüksek, Hafif Nemli sınıf dağılımında ise en düşük aralığa sahiptir.

Gözlemlerde %0-3 aralığında dağılım gösteren (Şekil:4a) aşırı kurak frekans olasılıkları, projeksiyonun 2016-2040 periyodunda, Ege, Batı Akdeniz, İç Anadolu ile Batman, Elazığ ve Malatya civarlarında daha yüksek olmak üzere Türkiye’nin tamamında bir artış göstermesi (%2-5) öngörülmektedir (Şekil:4b). 2041-2070 periyodunda İç Anadolu’nun güneydoğusu ile Güneydoğu Anadolu ve Ege Bölgesinde frekans olasılıklarında hafif azalışlar, Doğu Anadolu’da yükselişler, diğer yerlerde ise 2016-2040 periyodundaki olasılık değerlerini koruması öngörülmektedir (Şekil:4c). 2071-2098 periyodu Ege, İç Anadolu’nun kuzeyi ve doğusu ile Doğu Karadeniz’in iç kesimlerinin bir artış göstermesi öngörülmektedir (%1-6) (Şekil:4d).



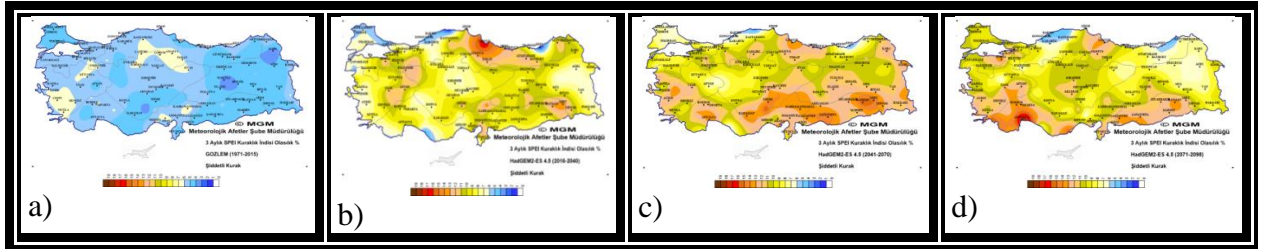
**Şekil-4** 3 aylık SPEI Aşırı Kurak sınıfı frekans olasılıklarının Türkiye üzerindeki coğrafi dağılımı

a) Gözlem b) HagGEM2-ES 4.5 (2016-2040) c) HagGEM2-ES 4.5 (2041-2070) d) HagGEM2-ES 4.5 (2071-2098)

Şiddetli kurak frekans olasılıkları, gözlemlerde Ege, Orta Batı Karadeniz’in iç kesimleri, İç Anadolu’nun kuzey kesimleri ile Kütahya, Eskişehir, Adana ve Kahramanmaraş civarlarında en yüksek değerlere ulaşmıştır (Şekil:5a). Projeksiyonun 2016-2040 periyodunda

#### **IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, TİKDEK 2017 5 – 7 Temmuz 2017, İstanbul**

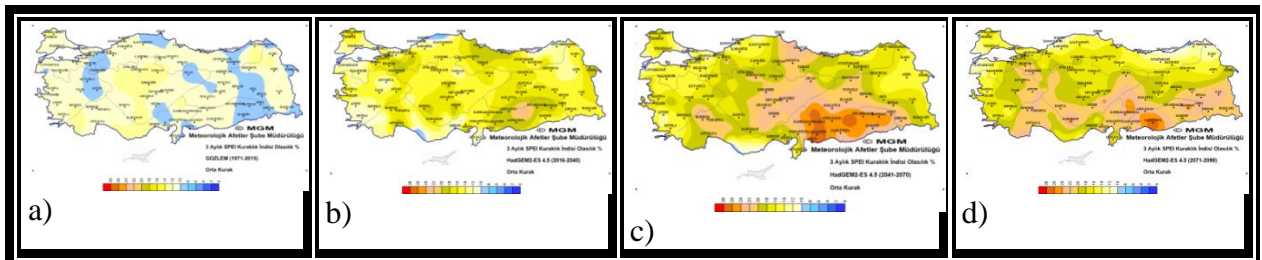
Trakya, Batı Karadeniz'in kıyı kesimleri ile Rize çevreleri ve 2041-2070 / 2071-2098 periyotlarında ise Batı Karadeniz'in kıyı kesimleri ve Rize çevreleri gözlemlerdeki durumunu koruması öngörülürken, 2016-2040 periyodunda bu bölgelerin dışında kalan diğer yerlerin bir artış göstermesi ve en yüksek artışın ise Orta Karadeniz, Güneydoğu Anadolu'nun doğusu, Ege'nin doğusu ile Bursa ve Kahramanmaraş civarlarında olması öngörülmektedir (%8-18) (Şekil:5b). 2041-2070 periyodunda Orta Karadeniz, Ege, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu ile Doğu Anadolu'nun doğusu, Kars ve Iğdır çevreleri daha yüksek olmak üzere bir artış trendi öngörülmektedir (%8-18) (Şekil:5c). 2071-2098 periyodunda Akdeniz, Marmara'nın güneydoğusunda, Orta Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu'da daha yüksek olmak üzere artışların devam etmesi öngörülmektedir (%8-19) (Şekil:5d).



**Şekil-5** 3 aylık SPEI Şiddetli Kurak sınıfı frekans olasılıklarının Türkiye üzerindeki coğrafi dağılımı

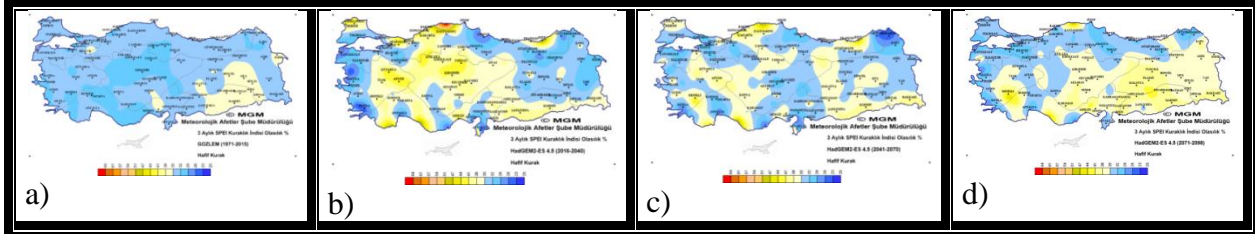
a) Gözlem b) HagGEM2-ES 4.5 (2016-2040) c) HagGEM2-ES 4.5 (2041-2070) d) HagGEM2-ES 4.5 (2071-2098)

Orta kurak frekans olasılıkları, gözlemlerde İç Ege, İç Anadolu'nun doğusu, Orta Karadeniz'in iç kesimleri, Doğu Akdeniz, Siirt ve Gaziantep civarlarında düşük, diğer yerlerde daha yüksektir (%8-14) (Şekil:6a). Projeksiyonun 2016-2040 periyodunda Batı Karadeniz'in kıyı kesimlerinin gözlemlerde durumu koruması öngörülürken, Güneydoğu Anadolu'da daha yüksek olmak üzere bir artış trendi göstermesi (%10-24) (Şekil:6b) ve bu artış trendinin 2041-2070 periyodunda da devam etmesi ve Güneydoğu Anadolu'da daha belirgin olmak üzere, Batı Akdeniz, Orta Karadeniz ve İç Anadolu'nun doğusunda devam etmesi öngörülmektedir (%10-28) (Şekil:6c). 2071-2098 periyodunda, Güneydoğu Anadolu'da daha yüksek olmak üzere Doğu Anadolu, İç Anadolu'nun batısı ve Akdeniz Bölgesi'nde artış eğiliminin devam etmesi öngörülmektedir (%14-28) (Şekil:6d).



**Şekil-6** 3 aylık SPEI Orta Kurak sınıfı frekans olasılıklarının Türkiye üzerindeki coğrafi dağılımı

a) Gözlem b) HagGEM2-ES 4.5 (2016-2040) c) HagGEM2-ES 4.5 (2041-2070) d) HagGEM2-ES 4.5 (2071-2098)



**Şekil-7** 3 aylık SPEI Hafif Kurak sınıfı frekans olasılıklarının Türkiye üzerindeki coğrafi dağılımı

a) Gözlem b) HagGEM2-ES 4.5 (2016-2040) c) HagGEM2-ES 4.5 (2041-2070) d) HagGEM2-ES 4.5 (2071-2098)

Hafif Kurak frekans olasılığı gözlemlerde %20-38 aralığında seyrederken (Şekil:7a), projeksiyonun 2016-2040 periyodunda Batı Karadeniz'in kıyı kesimleri daha yüksek olmak üzere Trakya, İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu ile Ege'nin doğusu, Doğu Anadolu'nun doğusu ve Doğu Karadeniz'in kıyı kesimlerinde artış göstermesi öngörülmektedir (%20-64) (Şekil:7b). 2016-2040 periyodunda görülen bu değerlerin 2041-2070 periyodunda biraz azalması (%20-47) ve özellikle İç Anadolu'da gözlemlerdeki seviyelerine gelmesi (Şekil:7c) öngörülmektedir. 2071-2098 periyodunda ise İç Ege, Batı Karadeniz kıyıları Doğu Akdeniz, İç Anadolu, Doğu ve Güneydoğu Anadolu ile Rize çevrelerinde artışın devam etmesi öngörülmektedir (Şekil:7d).

## KAYNAKLAR

1. Türkeş, M. ve Tatlı , H. (2010). "Kuraklık ve Yağış Etkinliği indislerinin Çölleşmenin Belirlenmesi, Nitelenmesi ve izlenmesindeki Rolü" Çölleşme ile Mücadele Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 245-263, Çorum.
2. Mckee,T.B.,N.J.Doesken, and J.Kleist, 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scales. Eight of Con.on Applied Climatology, Anaheim,CA, Amer.Met.Soc. 179-184
3. Palmer, W.C., (1965). Meteorological Drought Research Paper No. 45. Office of Climatology U.S. Weather Bureau, Washington.
4. Vicente-Serrano, Sergio M. A Multi-Scalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index–SPEI,2009
5. <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/standardized-precipitation-evapotranspiration-index-spei>
6. <http://spei.csic.es/index.html>
7. <http://spei.csic.es/home.html>
8. Thorntwaite, C.W.1948: an approach toward a rational classification of climate. Geogr.Rev.328,55-94
9. 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
10. Chow , V. T., D.R.Maidment , ve L.R. Mays , Applied Hydrology, McGraw-Hill Inc., Newyork,1988.
11. Yeni Senaryolar ile Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği, MGM Yayınları, Ankara,2015