

## MPI-ESM-MR MODELİ TEMELİNDE RCP4.5 SENARYOSUNA GÖRE İÇ ANADOLU BÖLGESİNDE KURAKLIK PROJEKSİYONLARI VE KURAKLIK ETKİLERİNİN UZAKTAN ALGILAMA VERİLERİ İLE İZLENMESİ

Gülten Çamalan

Meteoroloji Genel Müdürlüğü ANKARA, gcamalan@mgm.gov.tr

### ÖZET

Karasal iklim özelliklerinin hakim olduğu İç Anadolu Bölgesi, Türkiye’de kuraklıktan en fazla etkilenen bölgelerden biridir. Kuraklık özellikle tarımda ürün verimini ciddi şekilde azaltabilir ve bu durum yerel, bölgesel ve küresel ölçekte gıdaya ulaşımı etkileyebilir. Bu çalışmada iklim değişikliğinin MPI-ESM-MR modeli temelinde RCP4.5 senaryosuna göre İç Anadolu Bölgesi’nde yaşanmış ve yaşanması muhtemel kuraklıklar incelenmiştir. Kuraklık değerlendirmesi, standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indis (SPEI) ve standartlaştırılmış yağış indis (SPI) yöntemleriyle 3 ve 12 aylık ölçeklerde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, bölgeye bağlı 26 meteoroloji gözlem istasyonunun verileri ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü bünyesinde üretilen 20 km çözünürlüklü MPI-ESM-MR RCP (4.5) bölgesel iklim projeksiyon verileri kullanılmıştır. Kullanılan gözlem verileri 1969-2023 yıllarını kapsamaktadır. Projeksiyon verileri ise başlangıç yılı 1969 olan gözlem verileri ile çalıştırılarak iki dönem halinde (2024-2060 ve 2061-2098) incelenmiştir. Yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama sıcaklık dizilerindeki eğilimler Mann-Kendall sıra korelasyon katsayısı yöntemine göre test edilmiştir. Bölgede tarımsal kuraklık etkileri, Birleşmiş Milletler Tarım ve Gıda Örgütü (FAO)-Küresel Bilgi ve Erken Uyarı Sistemi’nin (GIEWS) uzaktan algılama verilerinden elde edilen Tarımsal Stres İndisi (ASI), bitki örtüsü sağlığı indisi (VHI) ile zamansal ve mekansal olarak incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Kuraklık, SPI, SPEI, MPI-ESM-MR (RCP4.5).

### GİRİŞ

İnsan kaynaklı iklim değişikliği, günümüzde dünyanın her bölgesinde birçok hava ve iklim aşırılığını etkilemektedir. Bu durum gıda ve su güvenliği, insan sağlığı, ekonomiler ve toplum üzerinde yaygın olumsuz etkilere yol açmakta ve buna bağlı olarak doğa ve insanlarda kayıp ve hasarlara sebep olmaktadır (IPCC, 2023). Dünya Meteoroloji Örgütü’nün (WMO) 2023 iklim raporu; uzun vadeli ısınma eğiliminin hızlandığını, ekstrem sıcaklıkların giderek daha şiddetli hale geldiğini, eriyen buzulların gelecekte su güvenliğini tehdit ettiğini, okyanus ve deniz yüzeyi sıcaklıklarının rekor düzeylere çıktığını vurgulamaktadır. Raporda ayrıca, iklim değişikliğinin ekstrem hava ve iklim olaylarının sıklığını ve şiddetini artırdığı, bu olayların topluları, ekonomileri ve en önemlisi insan hayatını ve içinde yaşadığımız çevreyi derinden etkilediği belirtilmektedir. 2023 yılında yaşanan başlıca olaylar arasında sel, fırtınalar, kuraklık, sıcak hava dalgaları ve bunlara bağlı kontrol edilemeyen yangınlar yer almaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), her yıl dünya genelinde yaklaşık 55 milyon insanın kuraklıktan etkilendiğini vurguluyor. Kuraklık, insanların geçim kaynaklarını tehdit etmekte, hastalık ve ölüm riskini artırmakta ve kitlesel göçü körüklemektedir. Ayrıca, su kıtlığı dünya nüfusunun %40’ını etkilemekte ve 2030 yılına kadar 700 milyon kadar insanın kuraklık nedeniyle yerinden edilme riskiyle karşı karşıya kalabileceği belirtilmektedir (Web-1).

Kuraklık, tarım başta olmak üzere ekonominin her sektörünü etkileme potansiyeline sahiptir. Azalan yüzey ve yeraltı suyu kaynakları ile birlikte ortalamanın altındaki yağışlar, mahsul verimini düşürebilir ve sulama faaliyetlerini olumsuz etkileyebilir. Ayrıca, ortalamanın üzerindeki sıcaklıklar, mahsuller ve hayvanlar üzerinde ek stres yaratabilir. Bu hidrolojik ve biyofiziksel etkiler, mahsul ve hayvan satışlarında düşümlere, üretim maliyetlerinde artışlara veya her ikisine birden yol açabilir (Kuwayama vd., 2018). Kuraklık bölgesel bir olgu olduğu için iklim değişikliğinin kuraklık üzerindeki etkileri dünya çapında farklılık gösterebilmektedir. İklim değişikliğinin dünya genelinde yadsınamaz etkileriyle birlikte, değişen iklimin bir sonucu olarak küresel ölçekte kuraklık şiddetinin zamansal ve mekansal değişkenliğini incelemek giderek daha gerekli hale gelmiştir. 21. yüzyılın ikinci yarısında yoğunluğu, süresi, sıklığı ve mekânsal kapsamı bakımından önemli ölçüde artması beklenmektedir (Chen vd., 2021). Kuraklık yerel, bölgesel ve küresel ölçekte gıda ve su güvenliği açısından ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Ülkemiz de iklim değişikliğiyle birlikte artan kuraklık riskiyle karşı karşıyadır (Çamalan ve Çetin, 2022; Kurnaz, 2023). Çamalan vd. (2023) çalışmalarında; İç Anadolu Bölgesi'nde iklim değişikliğinin yaşanmış ve yaşanması muhtemel kurak koşullar üzerindeki etkilerini HadGEM2-ES RCP (4.5) modeline göre ele almışlardır. Bu çalışmada, 1994 yılından sonraki sıcaklık artışının potansiyel evapotranspirasyon (PET) üzerinde yarattığı etki ve düzensiz yağış değişiklikleri ile birlikte 1995-2021 dönemi ve projeksiyon döneminde SPEI-3 ve SPEI-12 ölçeklerinde kuraklık etkileri açıkça görülmüştür. Ancak, yağış eksikliğinden kaynaklanan SPI-3 ve SPI-12 ölçeklerindeki kuraklıklar üzerinde önemli bir değişim gözlenmemiştir. İç Anadolu Bölgesi, Türkiye'de tarım ve hayvancılık bakımından en önemli bölgelerden biridir. Bu çalışma İç Anadolu Bölgesinde 1969-2023 dönemi kuraklıkları ile iklim değişikliğinin MPI-ESM-MR modeli temelinde RCP4.5 senaryosuna göre 2024-2098 yaşanması muhtemel kuraklıkları SPI ve SPEI yöntemleriyle 3 ve 12 aylık ölçeklerde incelemiştir. Bölgede tarımsal kuraklık etkileri FAO-GIEWS uzaktan algılama verilerinden elde edilen ASI, VHI indisi kullanılarak değerlendirilmiştir (Web-2). Uydu tabanlı veriler kuraklıkla ilgili değişkenlerin izlenmesi ve ekosistem açısından kuraklık etkilerinin belirlenmesi açısından önemli bir araçtır (Kogan, 1995; Kogan, 1998; Svoboda, Fuchs, 2016).

## **2. DATA VE METHOD**

### **2.1 Çalışmada Kullanılan Data:**

Çalışmada, İç Anadolu Bölgesi'ni temsil eden 26 meteoroloji gözlem istasyonunun 1969-2023 yıllarına ait verileri ile Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından üretilen 20 km çözünürlüklü MPI-ESM-MR RCP4.5 senaryosunun bölgesel iklim projeksiyon verileri (2024-2098) kullanılmıştır. Projeksiyon verileri, iki dönem halinde (2024-2060 ve 2061-2098) incelenmiştir. 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 (MGM, 2015). Yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık toplam yağış verilerindeki eğilimler Mann-Kendall yöntemi ile test edilmiştir. Tarımsal kuraklıkların değerlendirilmesi için FAO-GIEWS tarafından geliştirilen Tarımsal Stres İndis Sistemi (ASIS) kullanılmıştır. ASIS, Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) ve Meteorolojik Operasyonel Uydulardaki (METOP) Gelişmiş Çok Yüksek Çözünürlüklü Radyometre (AVHRR) sensörlerinden gelen verilerle özellikle kuraklıktan etkilenen tarım bölgeleri hakkında bilgi sağlamaktadır. ASIS, tarımsal kuraklığın şiddetini (yoğunluk, süre ve mekansal kapsam) değerlendirir ve sonuçları idari birimlere göre sunar, bu sayede ülkenin tarımsal istatistikleriyle karşılaştırma yapılmasına olanak tanır (Van Hoolst vd., 2016). NOAA-AVHRR uydusu 1984'ten beri 16 km çözünürlüklü veriler üretmekte olup, METOP-AVHRR uydusu ise 2007'den beri 1 km çözünürlüklü veriler sağlamaktadır.

### **2.2 Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) ve Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI)**

İndisler, iklimsel veya hidrometeorolojik gösterge ve girdiler kullanılarak değerlendirilen kuraklık şiddetinin tipik olarak hesaplanmış sayısal gösterimleridir. Belirli bir zaman dilimi için arazideki kuraklığın niteliksel durumunu ölçmeyi amaçlarlar. İklimin çeşitli zaman ölçeklerinde izlenmesi, uzun

vadeli kuraklıklar içindeki kısa vadeli ıslak dönemlerin veya uzun vadeli ıslak dönemler içindeki kısa vadeli kurak dönemlerin tanımlanmasına olanak tanır.

SPI (McKee vd., 1993) dünya çapında yaygın olarak kullanılan bir kuraklık göstergesidir ve yalnızca yağış verilerine dayanmaktadır. Belirli bir sabit zaman aralığındaki toplam yağış miktarını uzun vadeli ortalamayla karşılaştırır (1).

$$SPI = (x_i - x_{ort})/\sigma \quad (1)$$

Burada,  $x_i$ : ölçülen yağış,  $x_{ort}$ : yağış ortalaması,  $\sigma$ : ise standart sapma'dır.

Uzun dönemli gözlemlere 2 parametrelili Gamma olasılık dağılımı uygulanarak o yer ve istenen süre için ortalama SPI "0" ve standart sapma "1" olacak şekilde normal dağılıma dönüştürülür.

SPEI, yağış ve potansiyel evapotranspirasyon (PET) arasındaki fark verisini kullanır (Vicente-Serrano vd., 2010; Begueria vd., 2014) (2).

$$D_i = P_i - PET_i \quad (2)$$

PET, Thorntwaite metodu ile hesaplanmaktadır.  $D_i$  olasılıkları için SPI'daki gibi ters-standart normal dağılım fonksiyonu kullanılarak standartlaştırılmış ( $D_i$ ) dizisi, yani SPEI değerleri elde edilir (3). SPEI'de 3 parametrelili Log-logistic olasılık dağılımı kullanılır.

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

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.

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 ve SPI kuraklık sınıflarına ait değer aralıkları Tablo1'de gösterilmektedir.

**Tablo 1.** SPEI ve SPI Kuraklık Sınıfları

SPEI-SPI	Kuraklık sınıfı
$\geq 2.00$	Aşırı Nemli
1.50 - 1.99	Çok Nemli
1.00 - 1.49	Orta Nemli
0.99 - (-0.99)	Normal
(-1.00) - (-1.49)	Orta Kurak
(-1.50) - (-1.99)	Şiddetli Kurak
$\leq (-2.00)$	Aşırı Kurak

### 2.3 Tarımsal Stres İndisi (ASI) ve Bitki Sağlığı İndisi (VHI)

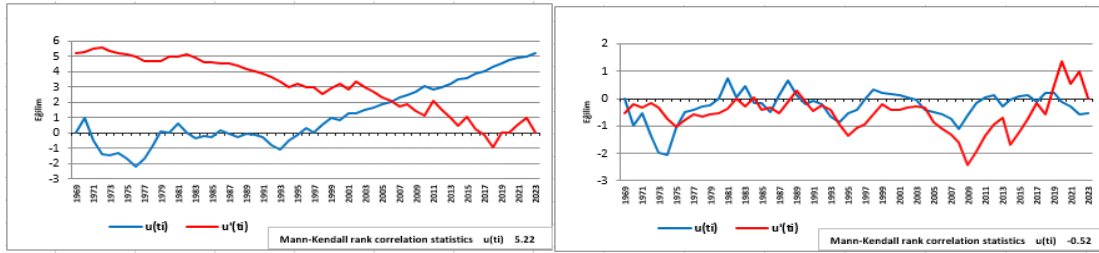
Uzaktan algılama ürünleri, yerel, bölgesel ve küresel ölçekte kuraklık izleme, değerlendirme ve ekosistem üzerindeki kuraklık etkilerini birtakım indisler yardımıyla izleme imkânı sunar. Bu indislerden Tarımsal Stres İndisi (ASI) ve Bitki Sağlığı İndisi (VHI), bitkilerin sağlık durumunu, kuraklık ve diğer çevresel streslerin tarımsal üretim üzerindeki etkilerini izlemek için kullanılan iki önemli göstergedir. ASI, tarımsal üretim süreçlerinde su eksikliği ve kuraklık gibi streslerin bitkiler üzerindeki etkisini hesaplar ve FAO tarafından özellikle gıda güvenliği izleme ve erken uyarı sistemlerinde kullanılır. ASI, tarımsal kuraklık olaylarının değerlendirmesinde, Bitki Örtüsü Sağlığı İndisi'nin (VHI) zamansal ve mekânsal entegrasyonuna dayanır. İndis, kurak dönemlerin zamansal yoğunluğunu ve süresini değerlendirir ve kuraklıktan etkilenen ekilebilir arazinin yüzdesini hesaplar. VHI değeri %35'in altında olan pikseller, kuraklığın kapsamını değerlendirmek için kritik seviye olarak tanımlanmıştır. VHI,

tarımsal kuraklığı izlemek için kullanılan bir indistir. Bitki Örtüsü Durumu İndisi (VCI) ve Sıcaklık Durumu İndisi (TCI) bileşenlerinden oluşur (Web- 2; Web-3). Tarımsal kuraklıklar yoğunluklarına göre aşırı, şiddetli, orta ve hafif olmak üzere dört sınıfa ayrılır. Kuraklık yoğunluğu, ağırlıklandırılmış ortalama VHI ile hesaplanır; bitki sağlığı ne kadar zayıfsa kuraklık o kadar şiddetlidir. Kuraklık yoğunluğunun yıllık özeti, kullanıcının tüm bir büyüme sezonu boyunca kuraklığın genel yoğunluğunu değerlendirmesine olanak tanır. Ortalama VHI değeri %42'nin üzerinde olan alanlar, su stresi olmadığı kabul edilen bölgeler olarak tanımlanır. ASI, su stresi ve bitki gelişimi gibi tarımsal üretimi doğrudan etkileyen faktörleri izlerken, VHI daha genel bitki sağlığı durumunu ve çevresel streslerin uzun vadeli etkilerini izler. ASI, daha çok tarımsal üretime odaklanırken, VHI geniş kapsamlı bitki sağlığı ve çevresel değişimlerin izlenmesinde kullanılır.

### 3. ANALİZLER

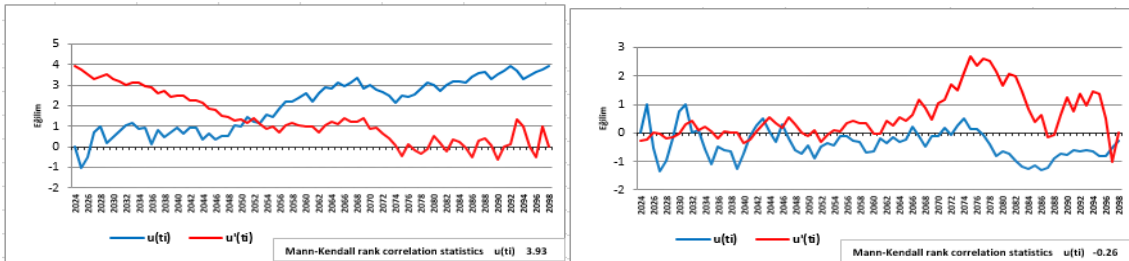
#### 3.1 İç Anadolu Bölgesinin Mevcut Durum ve MPI-ESM-MR (RCP4.5) Projeksiyonun Sıcaklık ve Yağış Değerlendirmesi

Bölgenin 1969-2023 döneminde yıllık toplam yağış ortalaması 426,4 mm, sıcaklık ortalaması 11,1°C'dir. Bölge; yıllık toplam yağışların %31'ini kış, %34'ünü ilkbahar, %21'ini sonbahar ve %14'ünü yaz mevsiminde almaktadır. Yaz yağışlarında anlamlı olmasa da bir artış eğilimi, kış, ilkbahar ve sonbahar yağışlarında anlamlı olmasa da bir azalış eğilimi gözlemlenmiştir. Aynı dönemde, yıllık ortalama sıcaklıklarda ve yıllık toplam PET değerlerinde önemli bir artış, kullanılabilir su miktarında (P-PET) ise önemli olmasa da bir azalma eğilimi olduğu belirtilmiştir (Çamalan, 2023). 1969-2023 dönemi boyunca, bölgedeki yağışlarda anlamlı olmayan bir azalma eğilimi, ortalama sıcaklıklarda ise anlamlı bir artış gözlemlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. İç Anadolu Bölgesi Mevcut Durum Yıllık Ortalama Sıcaklık ve Yıllık Toplam Yağış M-K Eğilimi

MPI-ESM-MR (RCP4.5) projeksiyonuna göre, bölgede yıllık ortalama sıcaklıklarda sürekli bir artış eğilimi öngörülmekte ve bu eğilim 2050'lerden itibaren belirginleşmektedir. Yağış miktarlarında ise önemli bir değişim tespit edilmemiş olup, düzensiz bir rejim izlediği ve istatistiksel olarak anlamlı olmasa da (%5 anlamlılık düzeyinde kritik z değeri  $\pm 1.96$ ) azalan bir eğilim gösterdiği görülmektedir (Şekil 2).

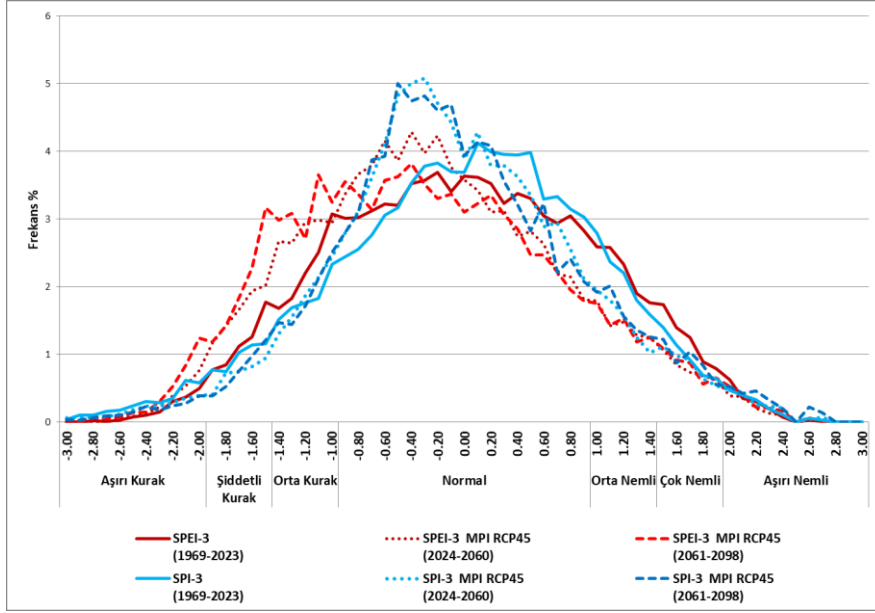


Şekil 2. İç Anadolu Bölgesi MPI-ESM-MR RCP (4.5) Projeksiyonun Yıllık Ortalama Sıcaklık ve Yıllık Toplam Yağış M-K Eğilimi

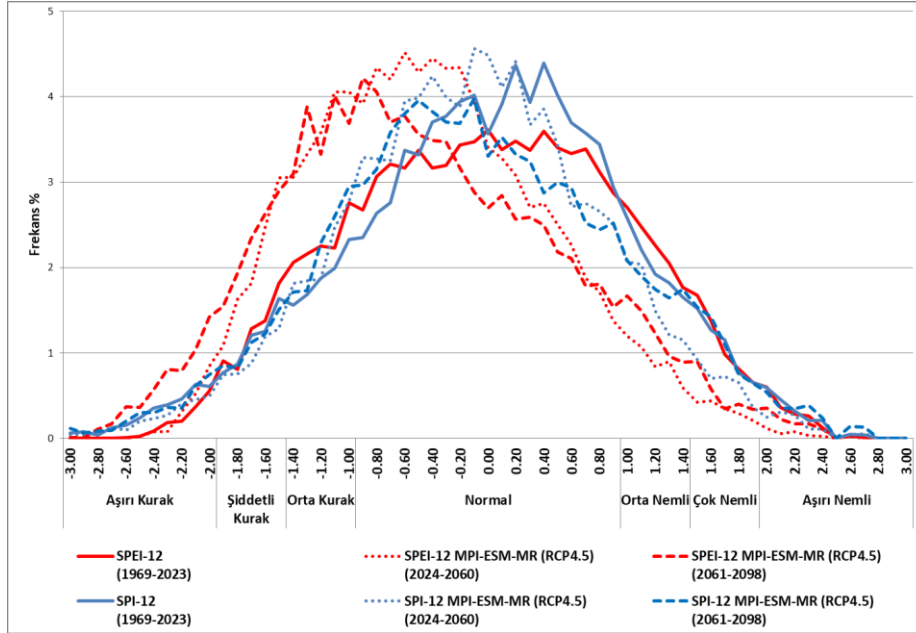
#### 3.2 İç Anadolu Bölgesinin Kuraklaşma Eğilimi

Projeksiyon verilerine göre, yağışlarda önemli bir değişim tespit edilmemiş olup, düzensiz bir rejim izlediği görülmektedir. Bunun yanı sıra, sıcaklık artışının PET üzerindeki etkisi, projeksiyonun her iki döneminde ve ölçeğinde SPEI'nin kuraklaşma eğilimi göstermesine neden olmaktadır. Buna karşılık,

yağış azlığından kaynaklanan kuraklıkları tanımlayan SPI'de bu eğilim öngörülemezdir. Özellikle kısa süreli kuraklıklarda, SPI-3'de kuraklık şiddetinin daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 3-4).



Şekil 3. İç Anadolu Bölgesi Mevcut Durum ve MPI-ESM-MR RCP(4.5) Projeksiyon SPEI-3 ve SPI-3 İndis Değişim Grafikleri

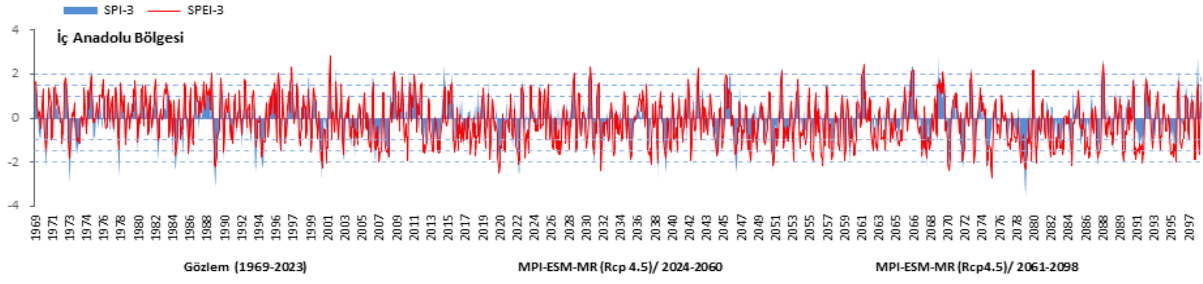


Şekil 4. İç Anadolu Bölgesi Mevcut Durum ve MPI-ESM-MR RCP(4.5) Projeksiyon SPEI-12 ve SPI-12 İndis Değişim Grafikleri

Çamalan vd. (2023), HADGEM2-ES RCP(4.5) projeksiyonunun her iki döneminde de SPEI-3 ve SPEI-12 kuraklaşma eğiliminin, SPI-3 ve SPI-12'ye göre daha belirgin olduğunu belirtmişlerdir.

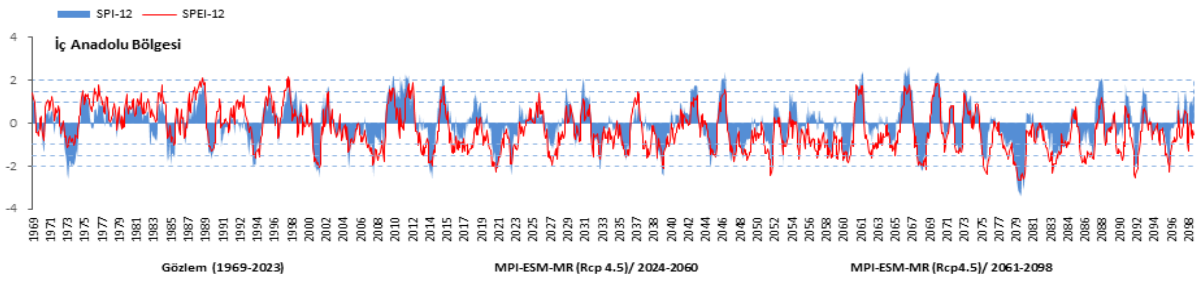
### 3.3 İç Anadolu Bölgesinin Kurak Dönemleri

3 aylık ölçekte indislerin değişimi daha sık gerçekleşmektedir (Şekil 5). Bu nedenle, kuraklığın tespitinde 12 aylık ölçekler daha iyi performans göstermektedir.



Şekil 5. İç Anadolu Bölgesi SPEI-3 ve SPI-3 Zamansal Değişim

Bölgenin 12 aylık ölçeğinde; SPI' de 1971, 1973-1974, 1984-1985, 1989-1990, 1993-1995, 2001, 2005, 2007, 2014, 2021-2023 yıllarında farklı aylarda farklı şiddetlerde kuraklıklar gözlemlenmiştir. SPEI'de ise 1973-1974, 1989-1990, 1994-1995, 2001, 2005, 2007-2008, 2013-2014, 2016-2018 ve 2020-2023 yıllarında farklı aylarda farklı şiddetlerde kuraklıklar gözlemlenmiştir (Şekil 6).



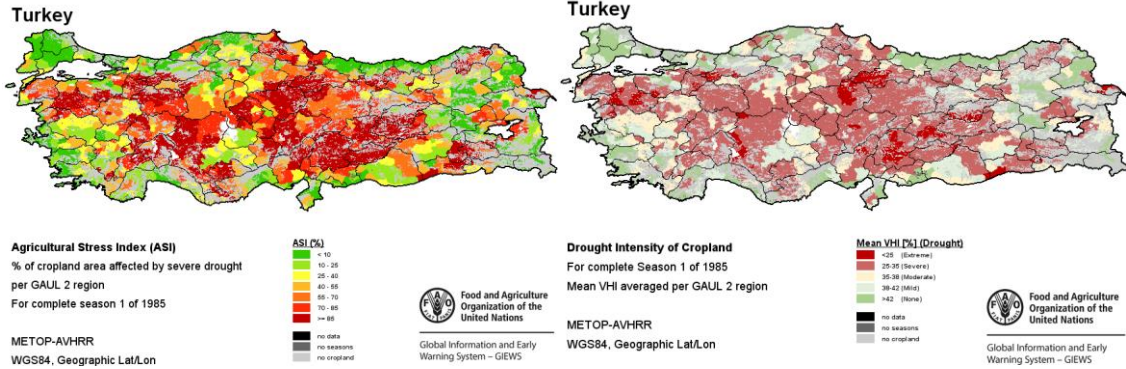
Şekil 6. İç Anadolu Bölgesi SPEI-12 ve SPI-12 Zamansal Değişim

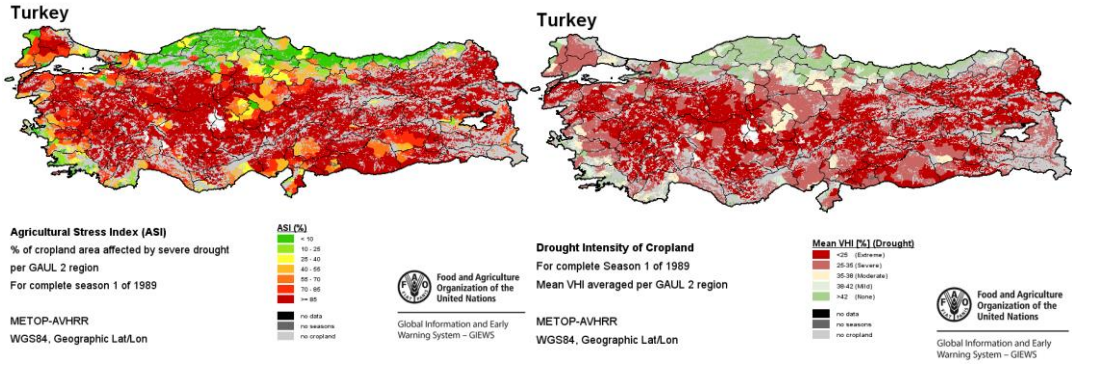
Her iki indis benzer kuraklıkları farklı şiddetlerde tespit etmiştir. 2005'lerden önce, yağış eksikliklerinden kaynaklanan kuraklıklar SPI-12'de daha yüksek şiddette tespit edilirken, 2005'lerden sonra sıcaklık artışının belirginleşmesiyle birlikte PET kaynaklı uzun süreli ve şiddetli kuraklıklar SPEI-12'de daha yüksek şiddette tespit edilmiştir.

### 3.4 İç Anadolu Bölgesinde Kuraklık Etkilerinin Uydu Tabanlı İndislerle Değerlendirmesi

İç Anadolu Bölgesi'nde yaşanan kuraklıkların etkileri, 1984-2023 yılları arasında uzaktan algılayma verilerine dayalı kuraklık indisleri kullanılarak zamansal ve mekânsal açıdan incelenmiştir (yer sınırlamasından dolayı bazı yılların haritalarına yer verilmedi).

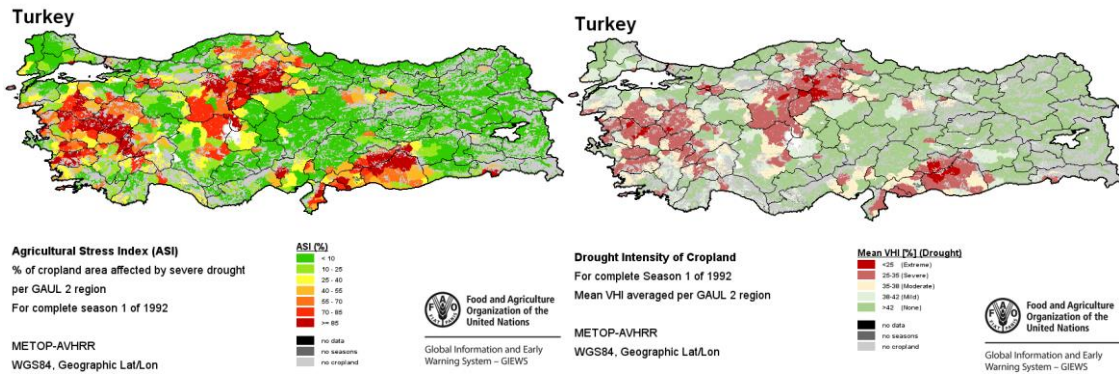
1985 ve 1989 yıllarında İç Anadolu Bölgesi'nde tarımsal stresin arttığı ve şiddetli kuraklığın etkili olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 7). 1986 ve 1987 yıllarında bölgede birkaç lokal yer dışında tarımsal kuraklığın etkisi izlenmemiştir.





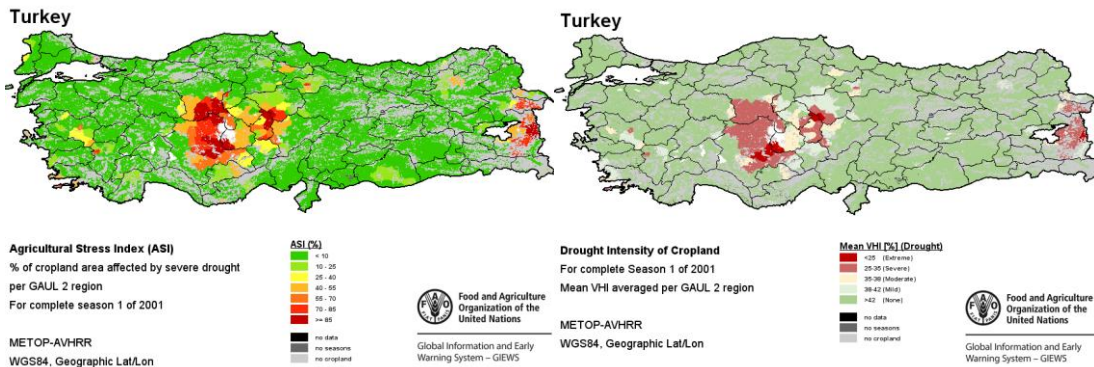
Şekil 7. Türkiye 1985, 1989 Yılları Tarımsal Stres İndisi (ASI) ve Kuraklık Yoğunluk Haritaları

1990 yılında İç Anadolu Bölgesi'nin Konya bölümü ve güneydoğusunda, 1992 yılında Konya bölümü ve kuzeybatısında tarımsal stresin arttığı ve şiddetli kuraklığın etkili olduğu gözlemlenmiştir (şekil 8).



Şekil 8. Türkiye 1992 Yılı Tarımsal Stres İndisi (ASI) ve Kuraklık Yoğunluk Haritaları

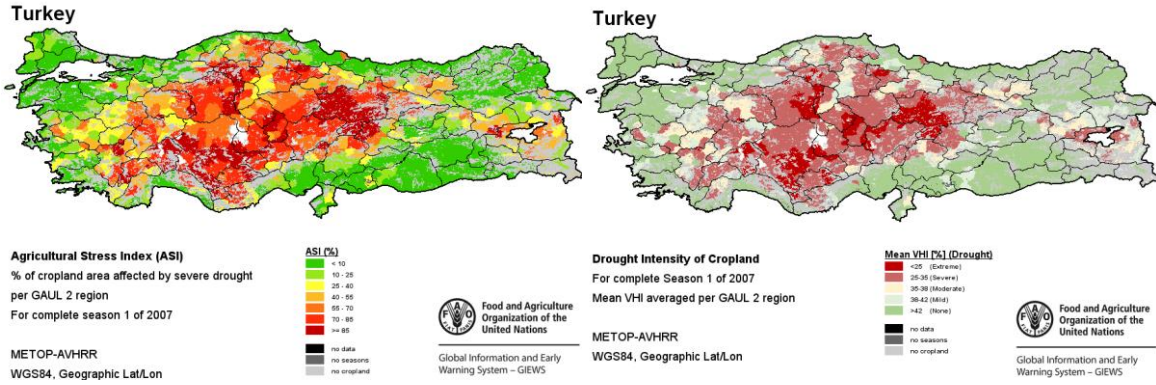
1992 yılında bölgede gözlemlenen tarımsal kuraklıklar, bölgesel ağırlıklı ortalama SPEI/SPI-12 zamansal değişiminde belirgin şekilde ortaya çıkmamış olsa da, özellikle Konya bölümü ve kuzeybatısındaki istasyonlarda farklı aylarda ve şiddetlerde yağış azlığından kaynaklanan kuraklıklar SPI-3 ve SPI-12'de görülmüştür. 1991 yılında, bölgenin güneyinde birkaç lokal bölgede tarımsal kuraklık etkileri izlenmiştir. 1995 yılında ise Konya bölümü ile bölgenin kuzeybatısı ve doğusunda hafif tarımsal stres yaşanmış, sınırlı alanlarda hafif kuraklıklar gözlemlenmiştir. 1996 ve 1997 yıllarında, bölgenin doğusu ve Konya bölümünde kuraklık etkileri gözlemlenirken, 2001 yılında bölgenin iç kesimlerinde yüksek tarımsal stresin yanı sıra aşırı ve şiddetli kuraklık etkili olmuştur (Şekil 9).



Şekil 9. Türkiye 2001 Yılı Tarımsal Stres İndisi (ASI) ve Kuraklık Yoğunluk Haritaları

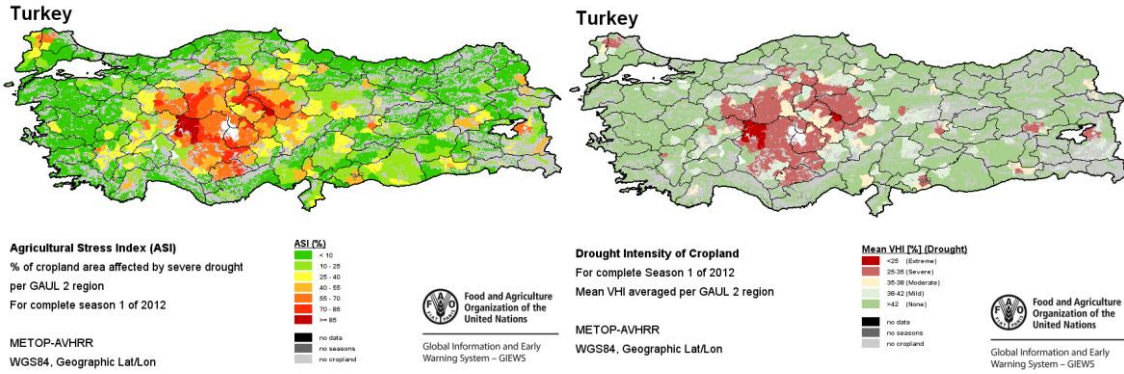
2002 yılında bölgenin iç ve doğu kesimlerinde hafif tarımsal stres ve kuraklık yaşanmıştır. 2003 yılında bölgenin doğusunda ve 2004 yılında bölgenin kuzeybatısı ve güneydoğusunda yüksek tarımsal stresin yanısıra şiddetli kuraklık etkili olmuştur. 2005 ve 2006 yıllarında, bölgenin Konya bölümünde yer yer hafif tarımsal stres izlenmiş ve birkaç lokal bölgede orta ile hafif şiddetli kuraklıklar görülmüştür. 2007

ve 2008 yıllarında bölgede tarımsal stresin yüksek olduğu ve aşırı ile şiddetli kuraklığın etkili olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 10).



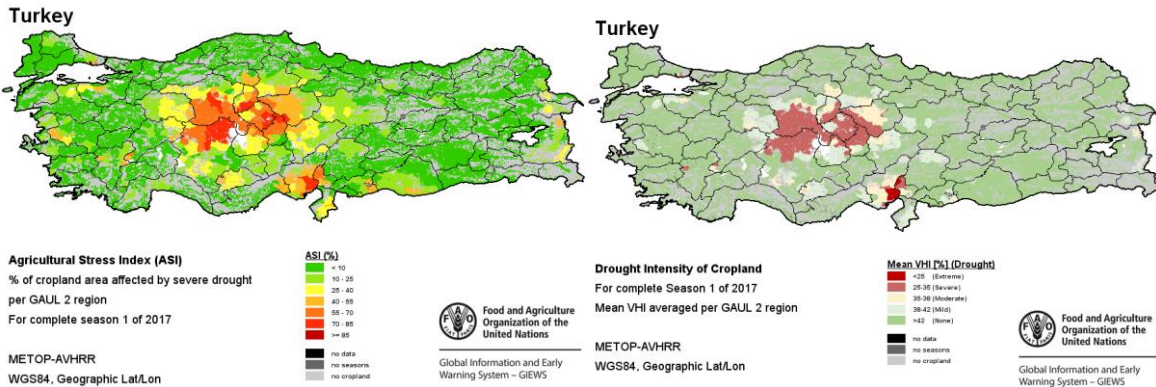
Şekil 10. Türkiye 2007 Yılı Tarımsal Stres İndisi (ASI) ve Kuraklık Yoğunluk Haritaları

2010 ve 2013 yıllarında bölgenin iç kesimlerinde yer yer hafif tarımsal stres yaşanmış ancak şiddetli kuraklık tespit edilmemiştir. 2012 ve 2014 yıllarında ise bölgede tarımsal stresin yüksek olduğu, aşırı ile şiddetli kuraklıkların etkili olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. Türkiye 2012 Yılı Tarımsal Stres İndisi (ASI) ve Kuraklık Yoğunluk Haritaları

2016 yılında, özellikle Konya bölümü ile iç kesimlerinde ve 2017 yılında ise iç kesim başta olmak üzere bölgenin tamamında tarımsal stresin yüksek olduğu ve aşırı ile şiddetli kuraklığın etkili olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 12).

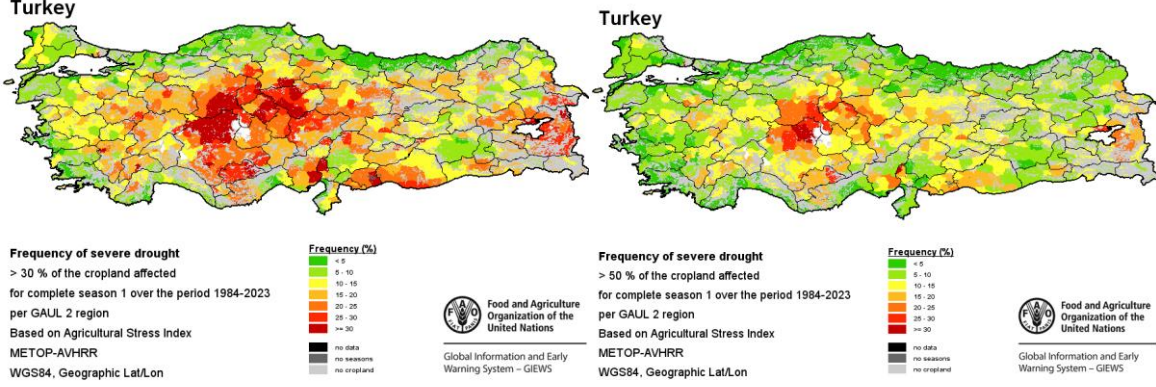


Şekil 12. Türkiye 2017 Yılı Tarımsal Stres İndisi (ASI) ve Kuraklık Yoğunluk Haritaları

2018 yılında bölgenin Yozgat, Kayseri ve Ankara civarlarında; 2019 yılında ise Konya bölümü ile iç kesimlerinde hafif tarımsal stres yaşanmış, ancak aşırı ve şiddetli kuraklıklar izlenmemiştir. 2020 yılında bölgenin genelinde hafif tarımsal stres izlenmiş, ancak şiddetli kuraklık gözlemlenmemiştir. 2021 ve 2022 yıllarında, bölgenin iç kesimlerinde tarımsal stresin yüksek olduğu ve aşırı ile şiddetli kuraklıkların



etkili olduğu gözlemlenmiştir. 2023 yılında ise bölgenin birkaç lokal yerinde hafif tarımsal stres izlenmiş, ancak şiddetli kuraklık gözlemlenmemiştir. Ancak aylık bazda incelendiğinde 2023 yılında bölgede yaşanan kuraklık etkileri daha net bir şekilde görülebilmektedir. Türkiye'nin tarımsal kuraklık sıklık haritalarına göre; İç Anadolu Bölgesi'nin tarım alanlarının %30'undan fazlası ve iç kesimlerinin %50'sinden fazlası şiddetli kuraklıklardan etkilenmiştir (şekil 13).



Şekil 13. Türkiye Tarihsel Kuraklık Sıklık Haritası

## SONUÇ

İç Anadolu Bölgesi'nde 1969-2023 döneminde yağışlarda anlamlı bir azalma eğilimi olmamakla birlikte, sıcaklıklarda belirgin bir artış yaşanmıştır. MPI-ESM-MR (RCP4.5) projeksiyonuna göre, bölgedeki yıllık ortalama sıcaklıkların sürekli artış göstermesi ve bu artışın 2050'lerden itibaren daha belirgin hale gelmesi öngörülmektedir. Yağış miktarında ise önemli bir değişiklik beklenmemekle birlikte, düzensiz bir yağış rejimi ve azalan bir eğilim söz konusudur. Sıcaklık artışı ile birlikte PET de artmakta, bu durum kuraklaşma eğilimini (SPEI-3, SPEI-12) arttırmaktadır. Her iki indis de benzer kuraklıkları farklı şiddetlerde tespit etmiştir. 2005'ten önce yağış eksikliklerinden kaynaklanan kuraklıklar SPI-12'de daha yoğun bir şekilde izlenirken, 2005 sonrasında sıcaklık artışına bağlı olarak PET kaynaklı uzun süreli ve şiddetli kuraklıklar SPEI-12'de artmıştır. Bu durum, azalan yağışlar ve artan PET eğilimleri sonucunda bölgede su açığının artmasının kaçınılmaz olduğunu göstermektedir. Gelecekte yaşanması muhtemel kuraklıkların, yağış azlığından ziyade sıcaklık artışına bağlı olarak artan PET kaynaklı olacağı öngörülmektedir. Bu da sıcaklık artışlarının su kayıplarını hızlandıracağı ve su kaynakları üzerindeki baskıyı daha da artıracığı anlamına gelmektedir. Bölgede yaşanan kuraklıkların tarımsal etkileri; uzaktan algılama verileriyle elde edilen yıllık ASI ve ortalama VHI indisleri ile zamansal ve mekânsal olarak örtüşmüştür. 1984-2023 döneminde İç Anadolu Bölgesi'nin tarım alanlarının %30'undan fazlası ve iç kesimlerinin %50'sinden fazlası şiddetli kuraklıklardan etkilenmiştir. Bölgenin yarı kurak iklimi, tarımda en büyük sorunun sulama olduğunu ortaya koymaktadır. Kuraklığı izlemek amacıyla sıcaklığa bağımlı SPEI ve uydu tabanlı indislerin kullanımı, tarımsal üretimi sağlıklı bir şekilde izlemek, kuraklık gibi çevresel streslerin erken tespiti ve tarımsal yönetim kararlarının iyileştirilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu indislerin kullanımı, ayrıca etkili planlama ve su yönetimi uygulamalarında da kilit bir rol oynar. İç Anadolu Bölgesi'nin geleceğinde, kuraklık ve sıcaklık artışlarının tarım ve su kaynakları üzerinde önemli baskılar yaratacağı açıktır. Ancak, bu zorlukların üstesinden gelmek için bazı stratejik adımlar atılması gerekmektedir. Etkili su yönetimi uygulamaları, suyun daha verimli kullanılması ve tarımsal üretimin suya olan bağımlılığının azaltılması gerekecektir. Aynı zamanda iklim dostu tarım uygulamaları, daha az suya ihtiyaç duyan tarım tekniklerine geçiş, sıcaklık artışlarına dayanıklı bitki türlerinin kullanımı önem kazanacaktır. Teknoloji kullanımı, özellikle uzaktan algılama ve dijital tarım uygulamalarıyla sulama ve tarımsal verimlilik optimize edilebilir. Ayrıca, iklim değişikliğine uyum politikaları, çiftçilerin desteklenmesi ve eğitim programlarının güçlendirilmesi, bölgenin tarımsal kapasitesini korumak için kritik olacaktır. Sonuç olarak, İç Anadolu Bölgesi'nin tarımsal üretim kapasitesini ve ekosistem sağlığını korumak için stratejik planlama, teknolojik yenilikler ve

sürdürülebilir su yönetimi büyük önem taşımaktadır. Bu önlemler, bölgede beklenen kuraklık ve iklim değişikliği etkilerini hafifletecek ve bölgenin gelecekteki gıda güvenliğini sağlamaya yardımcı olacaktır.

## REFERANSLAR

- Beguiría, S., Vicente-Serrano, S.M., Reig, F., Latorre, B., (2014), *Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring*, International Journal of Climatology, 34 (2014), pp. 3001-3023.
- Chen, L., Wang, G., Miao, L., Gnyawali, K.R., Li, S., Amankwah, S.O.Y., Huang, J., Lu, J., Zhan, M., (2021), *Future drought in CMIP6 projections and the socioeconomic impacts in China*, Int. J. Climatol., 41, pp. 4151-4170.
- Çamalan, G., Çetin, S., (2022). *Türkiye Kuraklık Projeksiyonları*. V.M.Çoşkun, H.Doğan, H.Eroğlu (Ed.) Çevre ve Meteoroloji içinde (s. 97-137). Sonçağ Yayıncılık.
- Çamalan, G., Oğuz, K., Akıl, S., 2023, *İklim Değişikliğinin İç Anadolu Bölgesi Kuraklık Koşullarına Etkisinin İncelenmesi*, Disaster Science and Engineering 2023, Cilt 9, Sayı: 1 Sayfa: 35- 55
- IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]*. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001
- Kurnaz, M.L., 2023, *İklim Değişikliği ve Uyum Süreçlerinde Türkiye*, Dirençlilik Dergisi 7(1) (199-208) ISSN: 2602-4667 DOI: 10.32569/resilience.1312684
- Kuwayama, Y., A. Thompson, R. Bernknopf, B. Zaitchik, and P. Vail. 2018. *Estimating the Impact of Drought on Agriculture Using the US Drought Monitor*. American Journal of Agricultural Economics 101(1): 193–210.
- Kogan, F.N., 1995, *Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA Polar-Orbiting Satellite data*, Bull. Am. Meteorol. Soc. 76, 655–668.
- Kogan, F.N., 1998, *Global drought watch from space*, Bull. Am. Meteorol. Soc. 78, 621–636
- McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J., 1993, *The relationship of drought frequency and duration to time scales*, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, American Meteorological Society, Boston, Mass, USA.
- MGM, 2015, *Yeni Senaryolar ile Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği*, TR2015-CC, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Svoboda M, Fuchs BA., *Handbook of Drought Indicators and Indices*. World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), 2016: Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva.
- WMO, 2023: *State of the Global Climate 2023* (WMO-No. 1347).
- Van Hoolst, R., Eerens, H., Haesen, D., Royer, A., Bydekerke, L., Rojas, O., Yanyun, L., Racionzer, P., 2016. *FAO's AVHRR-based Agricultural Stress Index System (ASIS) for global drought monitoring*. International Journal of Remote Sensing, 37(2), 418–439. <https://doi.org/10.1080/01431161.2015.1126378>
- Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., López-Moreno, J.I., 2010, *A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index*, Journal of Climate, 23, pp. 1696-1718

Web sitesi:

Web-1: [https://www.who.int/health-topics/drought#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/drought#tab=tab_1), Son erişim tarihi: 09 Ağustos 2024

Web-2:

<https://www.fao.org/giews/earthobservation/country/index.jsp?lang=en&type=1141&code=TUR>,  
Son erişim tarihi: 09 Ağustos 2024

Web-3: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/f638ff6c-9576-497f-89bc-896d5c620e6a/content>, Son erişim tarihi :09 Ağustos 2024