

Türkiye’de tarımsal kuraklığın uzaktan algılama verileri ile Google Earth Engine üzerinden izlenmesi

Monitoring of agricultural drought in Turkey with remote sensing data by use of Google Earth Engine

Gülşay ONUŞLUEL GÜL^{1*} 

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
gulay.onusluel@deu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 16.06.2022
Kabul Tarihi/Accepted: 15.03.2023

Düzeltilme Tarihi/Revision: 16.02.2023

doi: 10.5505/pajes.2023.41762
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Birbiryle ilişkili birçok etkene bağlı olduğundan oldukça karmaşık ve yıkıcı etkileri olabilen kuraklıkla ilgili çalışmalar, bu doğal afetin sonuçlarının bertaraf edilebilmesi ve önlemlerin zamanında alınarak harekete geçilebilmesini kolaylaştırmak amacıyla bir süreklilik gösterecek şekilde gelişmektedir. Bütünsel çerçevede gerçekleştirilen bu çalışmada, kuraklık olgusunun zamansal ve mekânsal olarak, uzaktan algılama verileri kullanılarak Google Earth Engine (GEE) platformunda hesaplanmasına dayanmaktadır. Bu amaçla, Sıcaklık Durum İndisi (TCI), Bitki Örtüsü Durumu İndisi (VCI) ve Bitki Örtüsü Sağlığı İndisi (VHI), yakın geçmiş dönem (2018-2021) ile geçmiş dönemler (2002, 2005, 2010 ve 2015 yılları) için temmuz ve ocak ayları bazında incelenmiş ve böylece tarımsal kuraklık durumu ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler: Kuraklık, Uzaktan algılama, Google Earth engine (GEE), Sıcaklık Durum İndisi (TCI), Bitki örtüsü durum indisi (VCI), Bitki örtüsü sağlığı indisi (VHI).

Abstract

Studies on drought, which can have quite complex and devastating effects due to a number of interrelated factors, are developing continuously in order to eliminate the consequences of such a natural disaster and even further to facilitate actions for taking timely measures. This study, which is carried out in this holistic framework, is based upon the temporal and spatial assessment of drought phenomenon on the Google Earth Engine (GEE) platform through the use of remotely-sensed data. For this purpose, Temperature Condition Index (TCI), Vegetation Condition Index (VCI) and Vegetation Health Index (VHI) were calculated both for the recent period (2018-2021) and the previous periods (the years 2002, 2005, 2010 and 2015) examined through July and January months and the agricultural drought situation was revealed in this way.

Keywords: Drought, Remote sensing, Google Earth Engine (GEE), Temperature condition index (TCI), Vegetation condition index (VCI), Vegetation health index (VHI).

1 Giriş

Kuraklık, iklim değişikliği nedeniyle etkilerinin giderek artan şiddette yaşandığı ve sonuçlarının farklı sektörlerde farklı zamanlarda görülebildiği doğal bir afettir. Temmuz ayından başlayarak hemen hemen tüm illerimizde ortalamanın altında yağış yaşandığı, ayrıca Ekim – Aralık dönemindeki ortalama yağışın da 1981-2010 ortalamasının yarısına karşılık geldiği 2020 yılı, 2015 yılından beri yaşanan Türkiye'nin en kurak yılı olarak belirlenmiştir [1]. Kuraklığın sonuçlarının bertaraf edilebilmesi, planlama ve adaptasyon çalışmalarının yapılabilmesi ve gerekli önlemlerin alınabilmesi için kuraklığın doğru bir şekilde ifade edilmesi ve anlaşılması gerekmektedir [2]. Bu amaçla geliştirilmiş, farklı girdilerle hesaplanabilen, basitten karmaşığa uzanan birçok kuraklık indisi bulunmaktadır [3]. Meteorolojik/tarımsal değerlendirmeler için geçmişte yapılan kuraklıkla ilgili çalışmalar sadece noktasal ölçümlere dayanmaktadır. Ancak ölçüm ağının yeterince yoğun olmadığı tarımsal alanlarda veya ölçümlerin uzun vadede (en az 30 yıl) tutarlılığının sorgulandığı, meteoroloji istasyonlarındaki verilerin uzunluğunun ve kalitesinin de aynı olmadığı bölgelerde, kuraklıkla ilgili parametrelerin alansal dağılımı sağlanamadığından güvenilir sonuçlar elde edilememektedir. Bu sebeplerle ya uzaktan algılama ya da noktasal ölçüm ve uzaktan algılama entegrasyonu ile elde edilen veriler kullanılarak kuraklık indislerinin hesaplanması

ve kuraklık analizlerinin gerçekleştirilmesi yoluna gidilmektedir [3].

Uzaktan algılama gözlemleri, kapsadıkları alan nedeniyle mekansal açıdan avantaj sunmasının yanısıra artık uzun süreli gözlemler de içerdiklerinden kuraklıkla ilgili çalışmalarda kullanılmaları vazgeçilmez olmakta [4], kuraklıkla ilgili değişkenlerin izlenmesinde ve ekosistem açısından kuraklık etkilerinin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır [3]. Uzaktan algılama veri setlerinin kuraklık izleme, değerlendirme ve etki çalışmalarındaki rolü birçok araştırmada ortaya konmuş [1],[3]-[8]; kuraklık çalışmalarında doğal bitki örtüsü ve/veya tarımsal alanlardaki kuraklık etkileri bölgesel çalışmaları içerdiği gibi global ölçekte de incelenmiştir [9]-[15]. Ülkemizde uzaktan algılama verilerinin kuraklık analizi çalışmalarında kullanımını ise çok yaygın olmamakla birlikte havza bazında veya daha çok tarımsal ürünler üzerinden değerlendirme araştırmalarında görülmektedir [16]-[21].

Bitki örtüsü sağlığı indisi (VHI), tarımsal kuraklığın izlenmesinde sıklıkla kullanılan uydu tabanlı indislerden birisidir [22],[23]. Bitki Örtüsü Durumu İndisi (VCI) ve Sıcaklık Durum İndisi (TCI) bileşenleriyle birlikte değerlendirilen VHI, tarımsal kuraklığın etkin bir şekilde izlenmesine olanak tanımaktadır [24]-[28]. VHI indisine TCI ve VCI indislerinin katkıları verilen formüllerde eşit olarak alınmakta, ancak karasal yüzey sıcaklığının ve NDVI indisinin; konuma, bitki

*Yazışılan yazar/Corresponding author

örtüsü çeşidine ve araştırma yapılan bölgenin iklim durumuna bağlı olması nedeniyle, VHI indisine VCI ve TCI indisinin katkılarının bu etkenlere göre değerlendirilmesi önerilmektedir. VHI, toprak, eğim ve iklim koşullarını dikkate aldığından çeşitli tarımsal alanlar için kuraklığın izlenmesinde sıklıkla kullanılan uydu tabanlı indislerden birisidir [28]. Özellikle tarımsal ürünlerin gelişmesi aşamasında, VHI indisi ile ürün verimliliği arasındaki ilişkinin oldukça kuvvetli olduğu ortaya konmuş [29], VHI indisinin tarımsal kuraklığın mekansal ve zamansal boyutunu belirlemede faydalı olduğu bulunmuştur [30]. Sunulan çalışmada kuraklıkla ilgili ülkemizde yapılan çalışmalardan farklı olarak; TCI, VCI ve VHI kuraklık indisleri uydu gözlemlerinden elde edilerek Google Earth Engine (GEE) platformunda hesaplanmış ve Türkiye'deki tarımsal kuraklık durumu bu indislere bağlı olarak ortaya konmuştur.

2 Veriler ve yöntem

2.1 Veriler

Çalışmada kullanılan NASA uyduları, gözlem aralıkları ve uydu ürünleri Tablo 1'de verildiği gibi özetlenebilir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan NASA uyduları, gözlem aralıkları ve ürünler.

Table 1. NASA satellites, observation ranges and products used in the study.

Uydu Adı	Gözlem Aralığı	Ürünler
Terra	12/1999- günümüz	MODIS (MOD13Q1)
Terra	12/1999- günümüz	MODIS (MOD11A2)

MODIS verileri, bitki örtüsü göstergeleri ile zaman serisi analizleri yardımıyla bitki örtüsü durumunun ve olası değişikliklerin izlenmesine olanak tanımaktadır.

TCI indisi hesabında kullanılan MODIS MOD11A2 değerleri, 1 km. mekansal çözünürlükle piksel başına 8 günlük ortalama yüzey sıcaklığını göstermektedir [31].

VCI hesabında kullanılan MOD13Q1 verileri, her 16 günde bir 250 m. mekansal çözünürlükte oluşturulmaktadır [32]. MOD13Q1 MODIS ürünü, iki ana bitki katmanını bünyesinde barındırmaktadır. Bunlardan ilki, Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndisi (NDVI), ikincisi ise Geliştirilmiş Bitki Örtüsü İndisidir (EVI). Kullanılan algoritmada, 16 günlük dönemdeki tüm gözlemlerden mevcut en iyi piksel değeri seçilmektedir.

2.2 Kuraklık indislerinin hesaplanması

2.2.1 Normalleştirilmiş fark bitki örtüsü indisi (NDVI)

Uzaktan algılama verilerinden elde edilen ve tarımsal kuraklık çalışmalarında kullanılan bir parametre olan NDVI, bitki örtüsünün görünür ve yakın kızılötesi yansımaları arasındaki farkı tanımlayan boyutsuz bir indis olup, bir alandaki yeşil bitki örtüsü yoğunluğunu tahmin etmek için kullanılmaktadır [33]-[38]. Sağlıklı bitki örtüsü kırmızı ışığı (RED) emmekte ve yakın kızılötesi (NIR) radyasyonunu yansıtmaktadır. Genellikle, NIR aralığında görünenden daha fazla yansıyan radyasyon varsa, bitki örtüsü sağlıklı (yoğun) olmaktadır. NDVI değerleri -1.00-1.00 aralığında değer alabilmekte, sıfıra kadar olan negatif değerler yeşil yaprak olmadığını, değerlerin 1.00'e yaklaşması da yeşil yaprak yoğunluğunun yüksek olduğunu göstermektedir. Uydu görüntülerinden doğrudan elde edilen NDVI değerlerini -1.00-1.00 aralığına taşıyabilmek için gözlemlerin 0.0001 ölçek faktörü ile çarpılması gerekmektedir. Kaya, kum ve kar alanları 0.1 değerinden küçük NDVI değerleri üretirken, çalı ve otlaklar tipik olarak 0.2-0.3 NDVI değerleri

üretmektedir. Ilıman ve tropik yağmur ormanları alanlarında 0.6-0.8 aralığında değerler alan NDVI, aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır:

$$NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED) \quad (1)$$

2.2.2 Sıcaklık durum indisi (TCI)

Kuraklığın sıcaklık etkisi, Kogan [22], [23] tarafından önerilen TCI indisi kullanılarak belirlenmiştir. Su stresi ve kuraklığın ilk göstergesi olarak kullanılan TCI indisi, aşağıda verilen formül kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$TCI_j = (T_{maks} - T_j)/(T_{maks} - T_{min}) * 100 \quad (2)$$

Burada, T_{maks} ve T_{min} , çok yıllık bir veri kümesindeki maksimum ve minimum yüzey sıcaklığı değerleridir; j , hesap yapılan ay; T_j , hesap yapılan aya ait yüzey sıcaklığı değerini göstermektedir.

Değerleri 0 ile 1 arasında değişen TCI'nın düşük değerleri şiddetli kuraklık durumunu, yüksek değerler ise nemli durumu belirtmektedir.

2.2.2 Bitki örtüsü durum indisi (VCI)

VCI, belirli bir ekosistem için uzun yıllar boyunca karşılaşılan NDVI değerlerinin minimum ve maksimumlarının bir fonksiyonu olarak bitki örtüsü durumunun bir göstergesidir. Su stresi durumunu ortaya koymak açısından NDVI'dan daha fazla tercih edilen bir kuraklık indisi. Bitki örtüsü durumundaki değişiklik ve kuraklığın bitki büyümesi üzerindeki etkisinin bir göstergesi olan VCI, aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$VCI_j = (NDVI_j - NDVI_{min})/(NDVI_{maks} - NDVI_{min}) * 100 \quad (3)$$

$NDVI_{maks}$ ve $NDVI_{min}$, uzun süreli veriler kullanılarak elde edilen maksimum ve minimum NDVI değerleri; j , hesap yapılan ay; $NDVI_j$, hesap yapılan aya ait NDVI değerini göstermektedir [24],[25],[29].

2.2.3 Bitki Örtüsü Sağlığı İndisi (VHI)

VCI ve TCI'nın bir kombinasyonu olan VHI, tarımsal kuraklık değerlendirmeleri çalışmalarında etkin bir şekilde kullanılmaktadır. VHI indisinin hesabı aşağıda verilen formül kullanılarak gerçekleştirilmektedir [24],[25].

$$VHI = \alpha * VCI + (1 - \alpha) * TCI \quad (4)$$

Burada, α , kuraklık durumunu değerlendirmek amacıyla VCI ve TCI'nın katkısını göstermek için verilen ağırlık katsayısıdır. Hem yağış hem sıcaklık koşullarını yansıtan ve bitki büyümesi boyunca su talebinin bir göstergesi olan NDVI değerlerine göre hesaplanan VCI ile yüzey sıcaklığı değerleri ile bulunan TCI indisinin VHI indisine katkıları eşit kabul edilmekte ve genellikle 0.5 olarak alınmaktadır [24]-[27].

Tablo 2 kuraklık değerlendirme çalışmalarında kullanılan TCI, VCI ve VHI indisleri için uygulanan kuraklık sınıflarını göstermektedir .

Tablo 2. TCI, VCI ve VHI için çalışmada kullanılan kuraklık sınıfları [26].

TCI, VCI, VHI	Kuraklık Sınıfı
<10	Aşırı kurak
<20	Şiddetli kurak
<30	Orta kurak
<40	Hafif kurak
>40	Kuraklık yok

2.3 Google Earth Engine (GEE) üzerinden TCI, VCI ve VHI değerlerinin hesaplanması

Kuraklıktan etkilenen bölgedeki kuraklığın boyutunu ve şiddetini belirlemek amacıyla kuraklık indisleri kullanılmaktadır. Bu bilgiler, karar vericiler tarafından, kuraklıktan etkilenen bölgelerdeki hafifletme, kurtarma ve yardım faaliyetleri için oldukça etkili olmaktadır [5].

Sunulan çalışmada kuraklık indisleri hesaplamaları, Birleşmiş Milletler UN-SPIDER tarafından önerilen GEE tabanlı uygulamalar üzerinden gerçekleştirilmiştir [30]. GEE, gezegen ölçeğinde çevresel verilerin analizi amacıyla tasarlanmış, gelişmiş bir bulut tabanlı jeo-uzamsal işleme platformu olarak tanımlanabilir. Kullanıcılar tarafından uzamsal verilerin kolay ve oldukça hızlı bir şekilde görselleştirilmesi, değiştirilmesi, düzenlenmesi ya da oluşturulması; bünyesinde depolanan çok petabaytlık uydu görüntüleri ve jeo-uzamsal veri kümeleri ile mümkün olmaktadır. Dünya yüzeyindeki değişiklikleri tespit etmek, eğilimleri haritalamak ve olası farklılıkları ölçebilmek için oldukça fazla uzamsal işleme araçlarına sahiptir. GEE, açık kaynaklı verilere dayalı olarak büyük ölçekli analizlerin gerçekleştirilebilmesine olanak sağlamaktadır. GEE'nin en büyük avantajı, Google'ın kullanıcı açısından genellikle yüksek performanslı bilgi işlem sistemleri gerektirmeyen kapsamlı hesaplama yeteneklerini, kaynaklarını ve veri kümelerini kullanması özelliğidir. GEE ayrıca, uygulama programlama arayüzü ile Python ve JavaScript ile entegrasyonu mümkün kılmaktadır. Web tabanlı kod düzenleyici ile algoritmalar geliştirilebilmektedir. GEE, süper bilgisayarları veya bulut bilgi işlem kaynaklarını kullanmak için gerekli teknik kapasitenin olmadığı durumlarda veri işlenmesi ve analizlerinin gerçekleştirildiği, entegre bir platform olarak karşımıza çıkmaktadır [30].

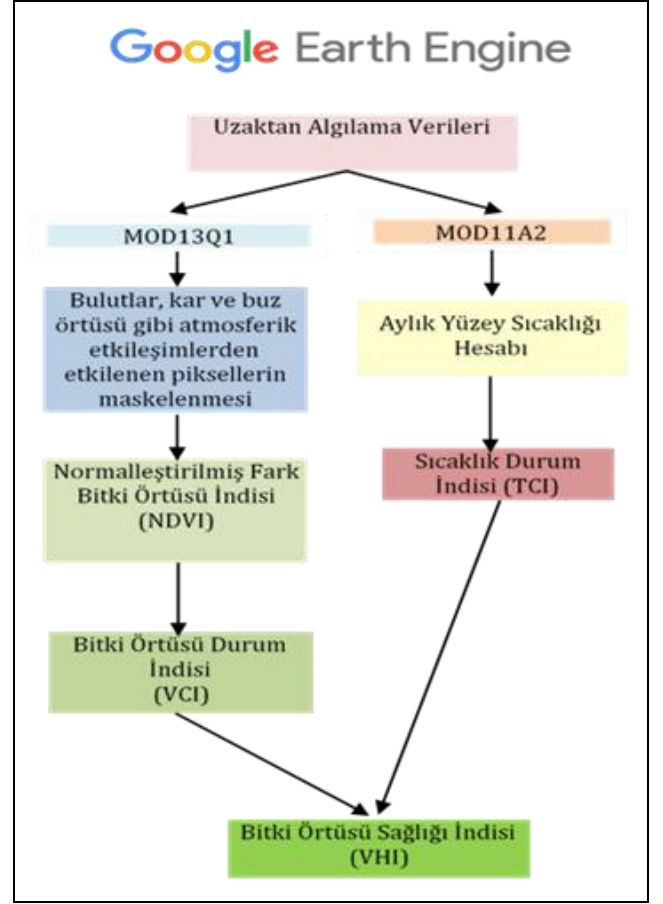
Ücretsiz olarak elde edilebilen MODIS verileri, kullanıcı girişinden sonra USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) veya AppEARS'tan (<https://lpdaacsvc.cr.usgs.gov/appears/>) indirilebilir. GEE üzerinden yapılan bu çalışma için verileri indirmeye gerek kalmadan verilere ulaşım online olarak sağlanmıştır. Çalışmada izlenen adımlar Şekil 1'de sunulmuştur.

VCI hesabı için önce MOD13Q1 verilerinin olası bulut, kar ve buz örtüsü gibi etkilerinin piksellerden maskelenmesi gerekmektedir. Çoğu uydu görüntüsü, kullanıcının her pikselin kalitesini değerlendirmesine ve amaca uygun pikselleri çıkarmasına olanak tanıyan bir veya daha fazla Kalite Değerlendirme (QA) bandına sahiptir. QA bantları ile bulutlu, kar veya buzla kaplı piksellerin belirlenmesi ve maskelenmesi mümkündür. Tipik olarak QA bantlarında yer alan bilgiler 2 bitte saklanır ve dört olası değer alma olasılığı vardır. Bu değerler aşağıda sunulmuştur [39],[40].

- 0 : İyi veriler, güvenle kullanılabilir,
- 1 : Marjinal veriler, yararlı ancak daha fazla bilgi için QA bandına bakılmalı,
- 2 : Kar/buzla kaplı piksel,
- 3 : Piksel bulutlu.

Çalışmada iyi kalitede verileri seçmek için bit değerleri sadece 0 veya 1 olan pikseller tutularak maskeleyme işlemi gerçekleştirilmiştir.

NDVI değerleri -1.00-1.00 aralığında değer alabilmekte, sıfıra kadar olan negatif değerler yeşil yaprak olmadığını, değerlerin 1.00'e yaklaşması da yeşil yaprak yoğunluğu olasılığının yüksek olduğunu göstermektedir.



Şekil 1. Çalışmada izlenen hesaplama adımları.

Figure 1. Computation steps followed in the study.

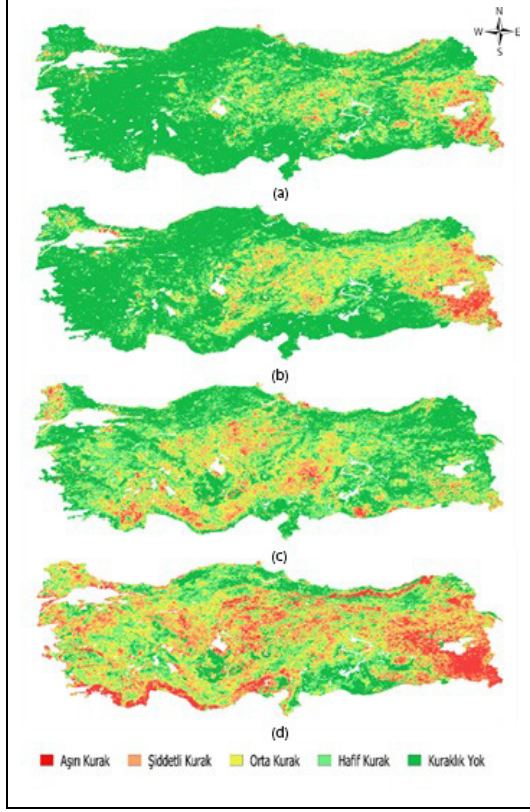
Maskeleyme işleminin ardından NDVI değerlerini -1.00-1.00 aralığına taşıyabilmek için maskelenen değerler 0.0001 ölçek faktörü ile çarpılmıştır. Daha sonra bu NDVI değerleri kullanılarak her ay için ortalama NDVI değeri ile minimum ve maksimum NDVI değerleri Denklem (3) kullanılarak VCI indisi hesabı gerçekleştirilir. TCI hesabı için ise, öncelikle 8 günlük ortalama yüzey sıcaklığını gösteren MOD11A2 değerlerinden her aydaki gün sayısı ile ağırlıklandırılmak suretiyle hesaplanan aylık ortalama yüzey sıcaklığı ile hesap aralığındaki maksimum ve minimum yüzey sıcaklığı değerleri hesaplanır. Ardından Denklem (2) kullanılarak TCI değerleri elde edilir. Son olarak VHI indisi, Denklem (4) uygulanarak VCI ve TCI değerleri üzerinden hesaplanır. TCI, VCI ve VHI hesaplamalarında, çalışma alanı olarak seçilen Türkiye'nin sınırlarını gösteren dijital harita GEE kodlarında değişken olarak tanımlanmıştır. Sunulan çalışmada, yakın geçmiş dönem (2018-2021) ile geçmiş dönemler (2002, 2005, 2010 ve 2015 yılları) inceleme aralıkları olarak seçilmiş; bu aralıklar da temmuz ve ocak ayları üzerinden kuraklık değerlendirmeleri sunulmuştur.

3 Bulgular ve tartışmalar

Çalışmada, yakın dönemdeki tarımsal kuraklık durumu ile geçmiş yıllardaki durumu ortaya koymak ve karşılaştırma sağlamak amacıyla, 2018-2021 aralığını kapsayan dönem ile 2002, 2005, 2010 ve 2015 yıllarını kapsayan iki dönem ele alınmış, ülkemizdeki tarımsal kuraklığın izlenmesi ve değerlendirilmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir.

3.1 Temmuz ayı TCI değerleri karşılaştırmaları

Şekil 2’de verilen sonuçlara göre, 2018 yılında İç Anadolu, Doğu Anadolu ve kısmen Doğu Karadeniz bölgelerinde görülen kuraklığın, 2019, 2020 ve özellikle 2021 yıllarında hem şiddetini hem de alansal genişliğini arttırdığı gözlemlenmektedir.



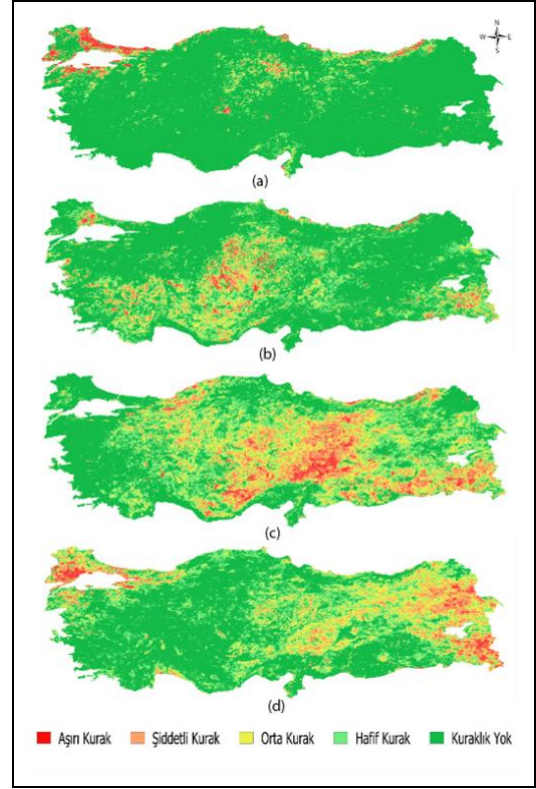
Şekil 2. 2018, (a): 2019, (b): 2020, (c): 2021, (d): Yılları temmuz ayına ait TCI değerleri.

Figure 2. TCI values for July 2018, 2019, 2020 and 2021.

Şekil 3’te verilen, 2002, 2005, 2010 ve 2015 yılları temmuz ayı için elde edilen sonuçlara bakıldığında 2002 yılında özellikle Marmara ve Doğu Karadeniz Bölgesinde TCI değerlerinin yüksek olduğu, 2005 yılında İç Anadolu ve Akdeniz Bölgesinde, 2010 yılında Marmara, Ege ve Orta Karadeniz Bölgesi hariç diğer tüm bölgelerimizde kuraklığın etkili olduğu, 2015 yılında da özellikle Marmara ve Doğu Anadolu Bölgelerinde kuraklık yaşandığı görülmektedir.

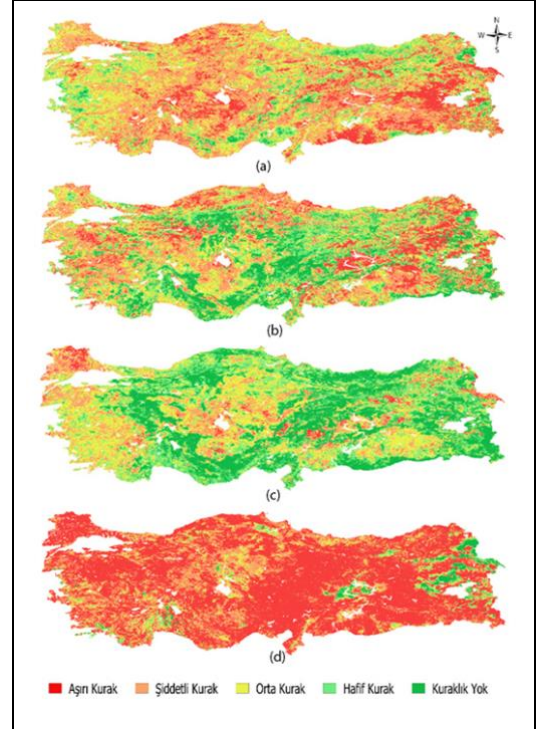
3.2 Ocak ayı TCI değerleri karşılaştırmaları

Yakın geçmiş ocak ayı göz önüne alındığında, Şekil 4’te verildiği gibi, 2018 yılındaki hemen hemen tüm ülkeyi kapsayan kuraklığın, 2019 ve 2020 yıllarında kısmen iyileşme görüldüyse de, 2021 yılında 2018 yılından çok daha şiddetli ve tüm yurda yayılmış bir hal almış olduğu görülmektedir. 2002, 2005, 2010 ve 2015 yılları ocak ayı için elde edilen sonuçlar (Şekil 5), 2002 yılında Marmara, Ege, kıyı Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde aşırı kurak durumun 2005 yılında şiddetini bir miktar azaltarak İç Anadolu Bölgesini de kapsadığı, 2010 yılında kuraklığın hemen hemen tüm bölgelerde hissedildiği ve 2015 yılına varıldığında etkisini Kuzey Marmara ve Batı Karadeniz Bölgelerinde sürdürürken diğer bölgelerde kısmi iyileşmelerin yaşandığını göstermektedir.



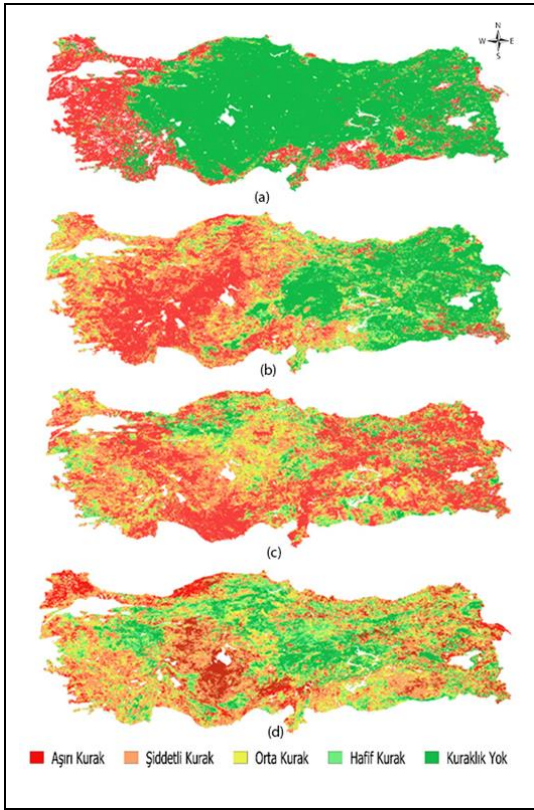
Şekil 3. 2002, (a): 2005, (b): 2010, (c): 2015, (d): Yılları temmuz ayına ait TCI değerleri.

Figure 3. TCI values for July 2002, 2005, 2010 and 2015.



Şekil 4. 2018, (a): 2019, (b): 2020, (c): 2021, (d): Yılları ocak ayına ait TCI değerleri.

Figure 4. TCI values for January 2018, 2019, 2020 and 2021.



Şekil 5. 2002, (a): 2005, (b): 2010, (c): 2015, (d): Yılları ocak ayına ait TCI değerleri.

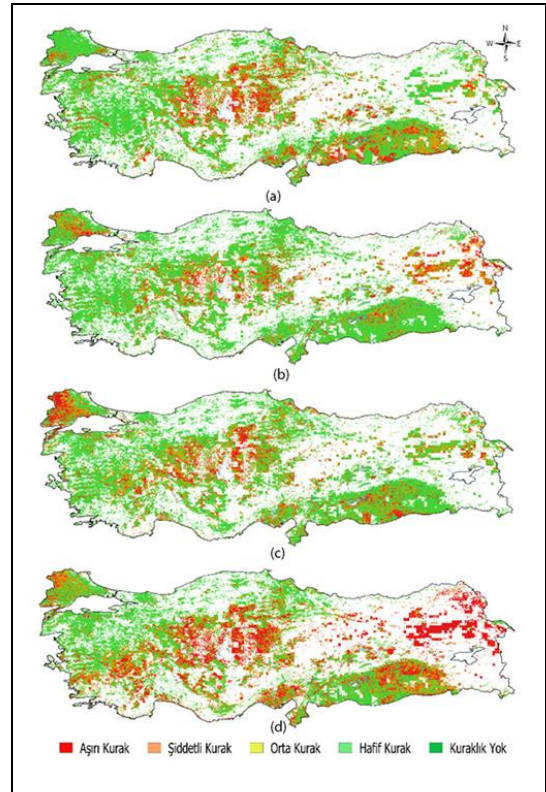
Figure 5. TCI values for January 2002, 2005, 2010 and 2015.

3.3 Temmuz ayı VCI değerleri karşılaştırmaları

Şekil 6, 7, 8 ve 9 hesaplanan VCI değerlerini göstermekte olup, tarıma elverişli bölgeler için maskelenerek haritalar sunulmuştur. 2018 yılı temmuz ayında İç Anadolu Bölgesi ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde kısmi kuraklık görülürken, alanın %65'i hafif/kuraklık olmayan koşullardayken, %16'sı aşırı/şiddetli kurak, %19'u da orta kurak durumdadır (Şekil 6). 2019 yılında kuraklık bölgelerinde alansal azalmalar görülmüş ve aşırı/şiddetli kurak alan oranı %13, orta kurak olan alan oranı %16, hafif kurak/kuraklık olmayan alan oranı da %71 mertebesine ulaşmıştır. 2020 yılında kurak alanlarda bir miktar artış görülmüş, aşırı ve şiddetli kurak alan oranı %15, orta kurak durumda olan alan oranı %19 ve hafif kurak/kuraklık olmayan alan oranı ise %66 olmuştur.

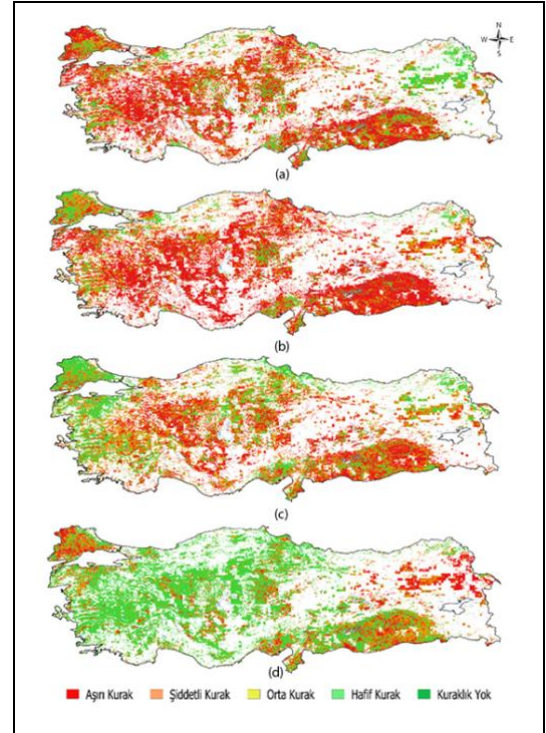
2021 yılında kurak alanlarda artış artmış, bu artış özellikle İç Anadolu, Doğu Anadolu Bölgelerinde gözlenmiş, elde edilen oranlar ise aşırı/şiddetli kurak durumda olan alanlar için %29, orta kurak durumda alanlar %21 ve hafif kurak/kuraklık olmayan durumda olan alanlar %50 mertebesinde olmuştur.

Geçmiş dönem temmuz ayı için hesaplanan VCI değerleri incelendiğinde (Şekil 7), 2002 yılından 2015 yılına doğru bitki durumunda önemli düzelmelerin olduğu görülmektedir. 2002 yılında %53 mertebesinde olan aşırı kurak/şiddetli kurak alan yüzdesi, 2005 yılında %62 civarına ulaşmış, 2010 yılında azalarak %36'ya ve 2015 yılında da %18'e düşmüştür. Hafif kurak/Kuraklık olmayan durumda olan tarımsal alan yüzdeleri de 2002, 2005, 2010 ve 2015 yılları için sırasıyla %23, %16, %32 ve %61 olarak elde edilmiştir.



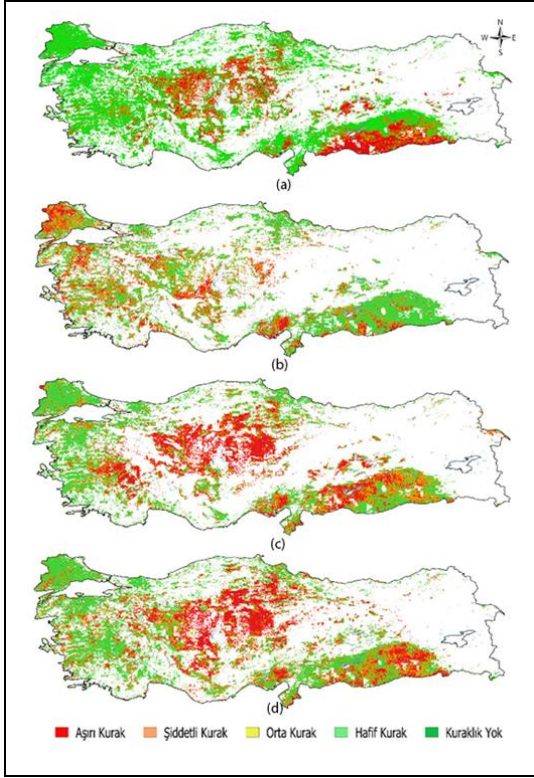
Şekil 6. 2018, (a): 2019, (b): 2020, (c): 2021, (d): Yılları temmuz ayına ait VCI değerleri.

Figure 6. VCI values for July 2018, 2019, 2020 and 2021.



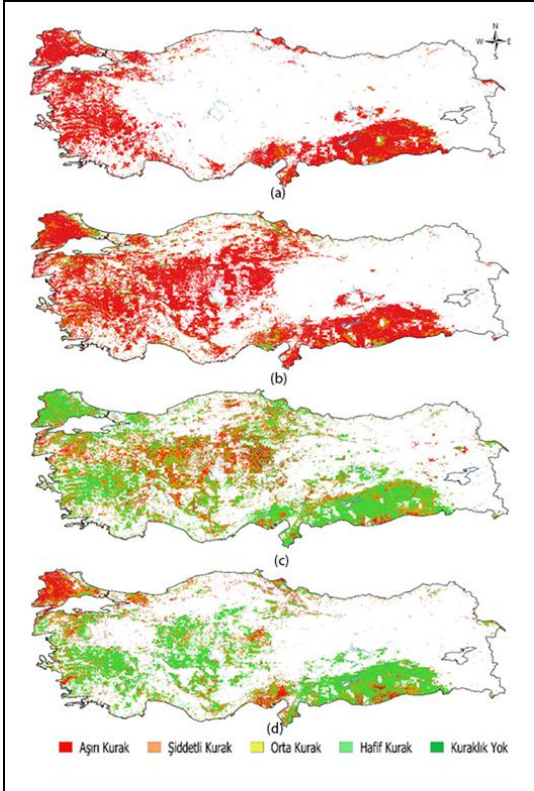
Şekil 7. 2002, (a): 2005, (b): 2010, (c): 2015, (d): Yılları temmuz ayına ait VCI değerleri.

Figure 7. VCI values for July 2002, 2005, 2010 and 2015.



Şekil 8. 2018 (a): 2019, (b): 2020, (c): 2021, (d): Yılları ocak ayına ait VCI değerleri.

Figure 8. VCI values for January 2018, 2019, 2020 and 2021.



Şekil 9. 2002 (a): 2005, (b): 2010, (c): 2015, (d): Yılları ocak ayına ait VCI değerleri.

Figure 9. VCI values for January 2002, 2005, 2010 and 2015.

3.4 Ocak ayı VCI değerleri karşılaştırmaları

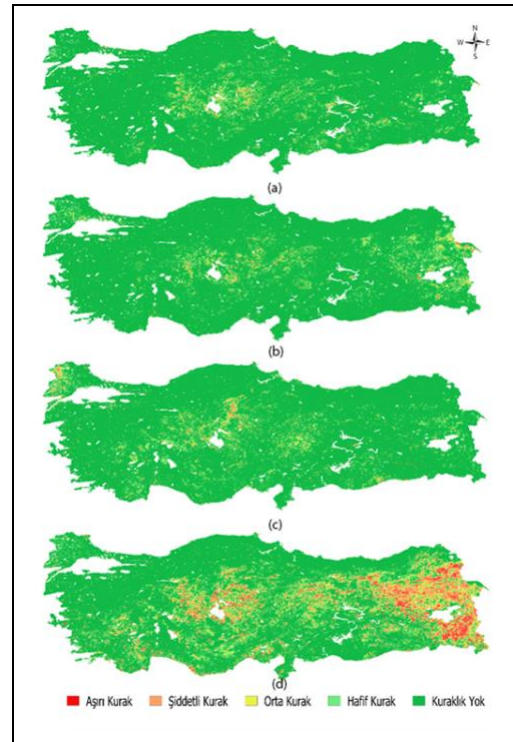
2018, 2019, 2020 ve 2021 yılları ocak ayı VCI değerleri sonuçlarına göre bitki durumunun Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve İç Anadolu Bölgesinde aşırı/şiddetli kurak durumda olduğu, kısmen Ege ve Marmara Bölgelerinde de kuraklığın olduğu görülmektedir (Şekil 8). Aşırı/şiddetli kurak durumda olan alan yüzdesi 2018 ve 2019 yılında yaklaşık aynı ve %21 civarında iken, 2020 ve 2021 yıllarında artarak %35 mertebesine ulaşmıştır. Hafif kurak ya da kuraklığın olmadığı alan yüzdeleri de 2018, 2019, 2020 ve 2021 yılları için sırasıyla %60, %55, %43 ve %46 değerlerinde olmuştur.

Şekil 9'da verilen ocak ayı VCI değerleri 2002 ve 2005 yıllarında aşırı/şiddetli kurak sınıfında olup, alansal olarak da kurak bölgelerde genişlemeler yaşanmıştır. Bu durum 2010 yılında büyük oranda düzelmeye göstermiş olsa da 2015 yılında Marmara ve Doğu Akdeniz Bölgesi kuraklıktan etkilenen bölgeler olmuştur.

2002 yılında aşırı/şiddetli kurak durumda olan tarımsal alan yüzdesi %90, orta kurak durumda olan alan %7 iken sadece %3'lük bir kısmının hafif kurak/kuraklık olmayan durumda olduğu gözlemlenmiştir. 2010 ve 2015 yıllarında bitki durumunda düzelmeler yaşanmış, hafif kurak/kuraklık olmayan durumda olan tarımsal alan yüzdesi 2010 ve 2015 yılları için sırasıyla %51 ve %61 olarak bulunmuştur.

3.5 Temmuz ayı VHI değerleri karşılaştırmaları

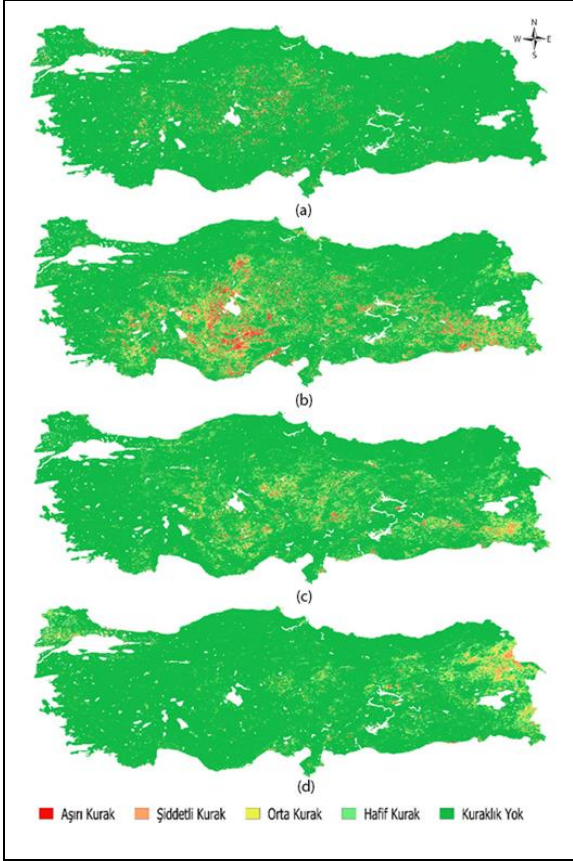
Şekil 10'da verilen VHI değerlerine göre 2018, 2019 ve 2020 yıllarında temmuz ayında kısmen Marmara Bölgesi, Doğu Anadolu ve İç Anadolu Bölgesinde orta kurak bölgelerin olduğu, ancak 2021 yılında özellikle Akdeniz Bölgesi, İç Anadolu Bölgesi ve Doğu Anadolu Bölgesinde aşırı kurak bölgelerin ortaya çıktığı gözlemlenmiştir.



Şekil 10. 2018 (a): 2019, (b): 2020, (c): 2021, (d): Yılları temmuz ayına ait VHI değerleri.

Figure 10. VHI values for July 2018, 2019, 2020 and 2021.

Şekil 11'de verilen VHI sonuçlarına göre, 2002 yılı tarımsal kuraklığın çoğunlukla İç Anadolu Bölgesinde kısmen yaşandığı bir sene olurken, 2005 yılında İç Anadolu Bölgesi, Doğu Anadolu Bölgesi ile Akdeniz Bölgesinde şiddetli kuraklığın olduğu söylenebilir. 2010 yılı Akdeniz Bölgesi, İç Anadolu Bölgesi ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde; 2015 yılı da çoğunlukla Doğu Anadolu Bölgesi olmak üzere Marmara Bölgesinde kuraklık yaşanan yıllar olmuştur.



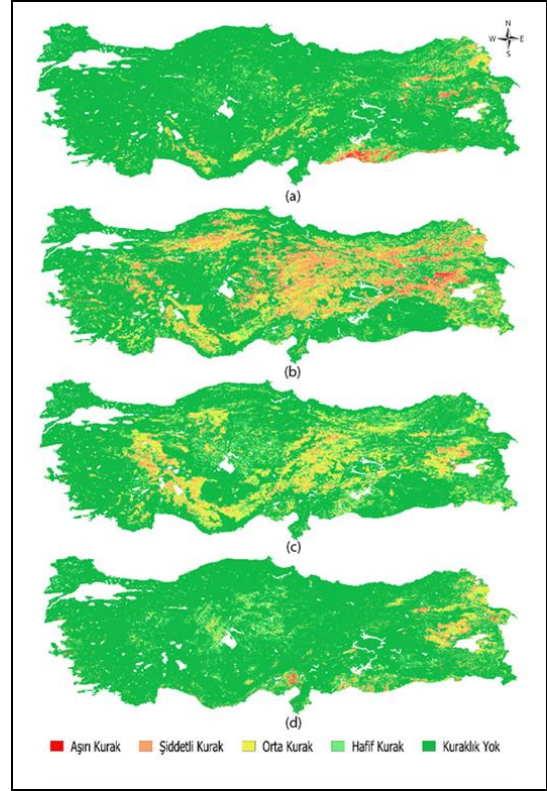
Şekil 11. 2002 (a): 2005, (b): 2010, (c): 2015, (d): Yılları temmuz ayına ait VHI değerleri.

Figure 11. VHI values for July 2002, 2005, 2010 and 2015.

3.6 Ocak ayı VHI değerleri karşılaştırmaları

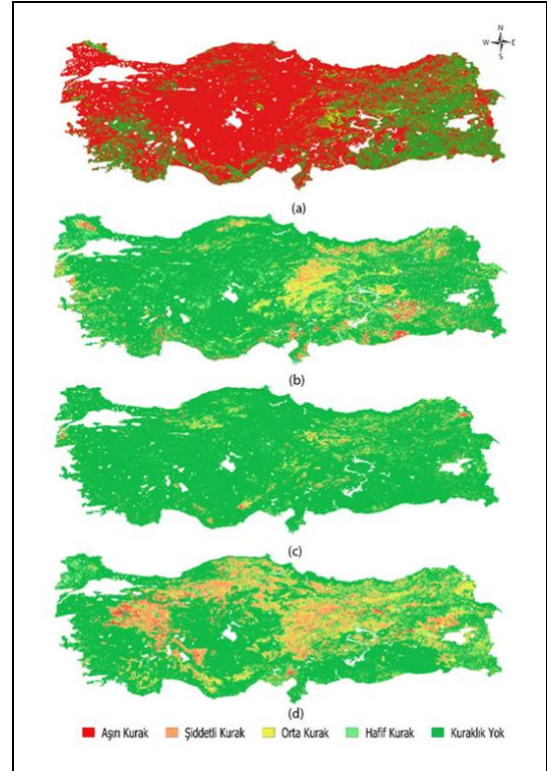
2018-2020 dönemi ocak ayı VHI değerlerine göre (Şekil 12) 2018 yılı kısmi orta kurak alanlara ek olarak Güneydoğu Anadolu Bölgesinde aşırı kurak durumun yaşandığı bir sene olmuştur. 2019 yılında kuraklığın alansal bir yayılma gösterdiği ve özellikle orta kurak alanların oluştuğu görülmektedir. 2020 yılında orta kurak alanların yüzdesinde artış yaşanmış ve 2021 yılında ise İç Anadolu, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde orta kurak, şiddetli kurak ve aşırı kurak alanlarda artış meydana gelmiştir.

Şekil 13'te verilen 2002 ocak ayına ait VHI haritası, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri dışında neredeyse tüm yurttaki kuraklık yaşandığını göstermektedir. 2005 yılında özellikle Marmara ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde kısmi kuraklık olduğu, 2010 yılında kurak alanlarda yaşandığı görülmektedir. 2015 yılına gelindiğinde ise Ege, Güneydoğu Anadolu Bölgeleri ile İç Anadolu Bölgesinin büyük bir kısmı haricinde hemen hemen tüm bölgelerimizde çoğunlukla orta şiddette kuraklık tespit edilmiştir.



Şekil 12. 2018 (a): 2019, (b): 2020, (c): 2021, (d): Yılları ocak ayına ait VHI değerleri.

Figure 12. VHI values for January 2018-2019-2020 and 2021.



Şekil 13. 2002 (a): 2005, (b): 2010, (c): 2015, (d): Yılları ocak ayına ait VHI değerleri.

Figure 13. VHI values for January 2002-2005-2010 and 2015.

4 Sonuçlar

Sunulan çalışmada, doğal bir afet olan ve geniş kapsamda etkileri bulunan tarımsal kuraklık analizi Türkiye için, uzaktan algılama verileri kullanılarak ve GEE platformunda hesaplamaların yapılmasıyla TCI, VCI ve VHI indisleri bazında gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar yakın geçmiş dönem (2018-2021) ve geçmiş dönem (2002, 2005, 2010, 2015 yılları) için Temmuz ve Ocak ayları bazında karşılaştırıldığında, ocak ayında da yaygın ve şiddetli kuraklıkların yaşandığı görülmektedir. Bölgesel farklılıklar göstermekle birlikte iklim değişikliği etkisiyle oluşan kış mevsimlerindeki sıcaklık artışı ve ayrıca yağışların da azalması sebebiyle bu sonuçların görüldüğü söylenebilir. Bunlara ilaveten, diğer kuraklık sebepleri arasında yer alan doğal nedenler, ormansızlaşma, toprak bozulması, yağış ve sıcaklık paternlerindeki değişiklikler, baraj varlığı, insan etkisi gibi sebeplerin etki dereceleri de çok daha detaylı olarak gerçekleştirilebilecek bölgesel çalışmalarla ortaya çıkarılabilir.

Sunulan çalışmada kullanılan yöntemler, yağmurla beslenen tarım alanları için oldukça iyi sonuç vermekte, sulama yapılan alanlar için değerlendirmeler yapılırken ilave indislerin kullanılması önerilmektedir. Ayrıca göz önüne alınacak bölgenin MODIS veri setini kapsaması gerekeceğinden yeterince büyük seçilmesi ya da daha küçük alanlar için çözünürlüğü yüksek veri setlerinin kullanılması gerekmektedir.

Çalışmanın, tüm aylara ait verilerle genişletilerek ve standardize yağış indisi (SPI), standardize yağış evapotranspirasyon indisi (SPEI) gibi indislerin de dahil edilmesiyle çok daha detaylandırılması ve böylelikle daha sağlıklı ve karşılaştırılabilir sonuçlar elde edileceği düşünülmektedir. Ayrıca uydu gözlemlerinden hareketle yapılan bu türden çalışmaların, noktasal gözlemlerle yapılacak çalışmalarla desteklenmesi elde edilecek sonuçların daha gerçekçi olmasını da sağlayacaktır.

Özellikle noktasal gözlemlerin yeterince yapılamadığı, teknik açıdan problem yaşanan ancak kuraklık probleminin ön plana çıktığı bazı bölgelerde uzaktan algılama verilerinin GEE ortamında kullanılmasıyla yapılan bu türden çalışmalar; kuraklık izleme, değerlendirme ve yönetimi kapsamında karar destek aracı olarak önerilmektedir. Tarımsal kuraklık çalışmalarında VHI sonuçlarının kullanılması, tarımsal kuraklığın izlenmesine katkı sağlayacağı gibi risk değerlendirilmelerinin yapılmasına da olanak tanıyacaktır.

5 Conclusions

In the presented study, the analysis of agricultural drought, which is a natural disaster and has wide-ranging effects, was carried out for Turkey on the basis of TCI, VCI and VHI drought indices, using remote sensing data and doing calculations in the GEE platform.

When the results obtained are compared on the basis of July and January for the recent period (2018-2021) and the past period (2002, 2005, 2010, 2015), it is seen that there are widespread and severe droughts are experienced in January as well. Although there are regional differences, it can be said that these results are seen due to the increase in temperature in winter seasons due to the effect of climate change and also the decrease in precipitation. In addition to these, the degree of impact of other causes of drought, such as natural causes, deforestation, soil degradation, changes in precipitation and

temperature patterns, presence of dams, and human influence, can be revealed with more detailed regional studies.

The methods used in the presented study give very good results for rain fed agricultural areas, it is recommended to use additional indices when making evaluations for irrigated areas. In addition, since the region to be considered will need to cover the MODIS dataset, it should be chosen large enough or datasets with high resolution should be used for smaller areas.

It is thought that the study will be expanded with the data of all months and by including indices such as standardized precipitation index (SPI), standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI), and thus more reliable and comparable results will be obtained. In addition, supporting such studies based on satellite observations with point-based observations will make the results more realistic.

In some regions where point-based observations cannot be performed adequately or where there are technical problems, and drought problems arise; such studies using remote sensing data in the GEE environment are recommended as a decision support tool within the scope of drought monitoring, evaluation and management. The use of VHI results in agricultural drought studies will both contribute to the monitoring of agricultural drought and enable risk assessments.

6 Yazar katkı beyanı

Sunulan çalışmada, Gülay ONUŞLUEL GÜL, fikrin oluşması, literatür taraması, kullanılan verilerin toplanması, analizlerin yapılması, sonuçların değerlendirilmesi ve makalenin yazım işlerinin tümünü gerçekleştirmiştir.

7 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Sunulan makale için etik kurul izni alınmasına gerek bulunmamaktadır. Sunulan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması yoktur.

8 Kaynaklar

- [1] Earth Org. "Severe Drought in Turkey Visualized by NASA Satellite". https://earth.org/data_visualization/severe-drought-in-turkey-visualized-by-nasa-satellite/ (10.06.2021).
- [2] Luo L, Apps D, Arcand S, Xu H, Pan M, Hoerling M. "Contribution of temperature and precipitation anomalies to the California drought during 2012–2015". *Geophysical Research Letters*, 44, 3184–3192, 2017.
- [3] Svoboda MD, Fuchs BA. *Handbook of Drought Indicators and Indices*. Editors: Wilhite D, Pulwarty RS. Drought and Water Crises: Integrating Science, Management, and Policy 2nd, Boca Raton, CRC Press, 2017.
- [4] AghaKouchak A, Farahmand A, Melton FS, Teixeira J, Anderson M C, Wardlow BD, Hain CR. "Remote sensing of drought: Progress, challenges and opportunities, *Reviews of Geophysics*, 53, 452-480, 2015.
- [5] Sun S, Chen H, Ju W, Wang G, Sun G, Huang J, Ma H, Gao C, Hua W, Yan G. "On the coupling between precipitation and potential evapotranspiration: contributions to decadal drought anomalies in the Southwest China". *Climate Dynamics*, 48, 3779-3797, 2017.
- [6] Sohn SJ, Tam CY, Ashok K, Ahn JB. "Quantifying the reliability of precipitation datasets for monitoring large-scale East Asian precipitation variations". *International Journal of Climatology*, 32(10), 1520-1526, 2012.

- [7] West H, Quinn N, Horswell M. "Remote sensing for drought monitoring & impact assessment: Progress, past challenges and future opportunities". *Remote Sensing of Environment*, 232, 1-14, 2019.
- [8] Jiao W, Wang L, McCabe MF. "Multi-sensor remote sensing for drought characterization: current status, opportunities and a roadmap for the future". *Remote Sensing of Environment*, 256, 1-23, 2021.
- [9] Vicente-Serrano, SM., "Evaluating the impact of drought using remote sensing in a Mediterranean, Semi-arid Region". *Natural Hazards*, 40(1), 173-208, 2007.
- [10] Nicolai-Shaw N, Zscheischler J, Hirschi M, Gudmundsson L, Seneviratne S.I.. "A drought event composite analysis using satellite remote-sensing based soil moisture". *Remote Sensing of Environment*, 203, 216-225, 2017.
- [11] Vicente-Serrano SM, Cabello D, Tomás-Burguera M, Martín-Hernández N, Beguería S, Azorin-Molina C, Kenawy A El.. "Drought variability and land degradation in semi-arid regions: Assessment using remote sensing data and drought indices (1982-2011)". *Remote Sensing*, 7, 4391- 4423, 2015.
- [12] Smith WK, Dannenberg MP, Yan D, Herrmann S, Barnes M L, Barron-Gafford GA, Biederman J A, Ferrenberg S, Fox A M, Hudson A, Knowles J F, MacBean N, Moore DJP, Nagler PL, Reed SC, Rutherford WA, Scott RL, Wang X, Yang J. "Remote sensing of dryland ecosystem structure and function: Progress, challenges, and opportunities". *Remote Sensing of Environment*, 233, 1-23, 2019.
- [13] Hu T, Renzullo LJ, van Dijk AIJM, He J, Tian S, Xu Z, Zhou J, Liu T, Liu Q. "Monitoring agricultural drought in Australia using MTSAT-2 land surface temperature retrievals". *Remote Sensing of Environment*, 236, 1-13, 2020.
- [14] Sakamoto T. "Incorporating environmental variables into a MODIS-based crop yield estimation method for United States corn and soybeans through the use of a random forest regression algorithm". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 160, 208-228, 2020
- [15] Xu L, Abbaszadeh P, Moradkhani H, Chen N, Zhang X. "Continental drought monitoring using satellite soil moisture, data assimilation and an integrated drought index". *Remote Sensing of Environment*, 250, 1-17, 2020.
- [16] Özelkan E. "Uzaktan algılama ile belirlenen baraj gölü alanının zamansal değişiminin meteorolojik kuraklık ile değerlendirilmesi: Atıkhisar Barajı (Çanakkale) örneği". *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(4), 904-916, 2019.
- [17] Çelik MA, Karabulut M."Uydu tabanlı kuraklık indisi (svi) kullanılarak yarı kurak akdeniz ikliminde (Kilis) buğday bitkisinin kurak koşullara verdiği tepkinin incelenmesi". *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 15(1), 111-130, 2017.
- [18] Çakaroz D, Özelkan E, Karaman M. "Sulak alanlarda uzaktan algılama ile belirlenen zamansal değişime kuraklığın etkisinin incelenmesi: Umurbey Deltası (Çanakkale) örneği". *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 20, 898-916, 2020.
- [19] Kaya ÖA, Kaplan G. "Uzaktan algılama yöntemleri ile burdur gölü'ndeki alansal değişiminin belirlenmesi". *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(1), 1-12, 2021.
- [20] Dikici M, Aksel M. "Evaluation of two vegetation indices (NDVI and VCI) over Asi Basin in Turkey". *Teknik Dergi*, 32(4), 10995-11011, 2021.
- [21] Topçu E, Seçkin N, Açınal Haktanır N."Drought analyses of Eastern Mediterranean, Seyhan, Ceyhan, and Asi Basins by using aggregate drought index (ADI)". *Theory of Applied Climatology*, 147, 909-924 (2022).
- [22] Bento VA, Gouveia CM, DaCamara CC, Trigo IF. "A climatological assessment of drought impact on vegetation health index". *Agricultural and Forest Meteorology*, 259, 286-295, 2018.
- [23] Li Y, Strapasson A, Rojas O. "Assessment of El Niño and La Niña impacts on China: enhancing the early warning system on food and agriculture". *Weather and Climate Extremes*, 27, 1-13, 2020,
- [24] Kogan FN. "Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar orbiting satellite data". *Bulletin of American Meteorological Society*, 76, 655-668, 1995.
- [25] Kogan FN. "Global drought watch from space". *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 621-636, 1997.
- [26] Ghaleb F, Mario M, Sandra AN. "Regional Landsat-based drought monitoring from 1982 to 2014". *Climate*, 3, 563-577, 2015.
- [27] Hu T, van Dijk AIJM, Renzullo LJ, Xu Z, He J, Tian S, Zhou J, Li H. "On agricultural drought monitoring in Australia using Himawari-8 geostationary thermal infrared observations". *International Journal of Applied. Earth Observation Geoinformation*, 91, 1-13, 2020.
- [28] Zeng J, Zhang R, Qu Y, Bento V A, Zhou T, Lin Y, Wu X, Qi J, Shui W, Wei S, Wang Q. "Improving the drought monitoring capability of VHI at the global scale via ensemble indices for various vegetation types from 2001 to 2018". *Weather and Climate Extremes*, 35, 1-14, 2022.
- [29] Thenkabail PS. *Remote Sensing of Water Resources, Disasters, and Urban Studies*. 1th ed. Oca Racon, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2016.
- [30] United Nations. "In Detail: Agriculture Drought Monitoring and Hazard Assessment using Google Earth Engine". <https://www.un-spider.org/advisory-support/recommended-practices/recommended-practice-agriculture-drought-monitoring/in-detail> (05.04.2022).
- [31] United States Geological Survey. "MOD11A2 v006 MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity 8-Day L3 Global 1 km SIN Grid". (<https://lpdaac.usgs.gov/products/mod11a2v006/>) (01.03.2022).
- [32] United States Geological Survey. "MOD13Q1 v006 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250 m SIN Grid". (<https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13q1v006/>) (01.03.2022).
- [33] Drisya J, Kumar DS, Roshni T. *Global Case Studies in Mitigation and Recovery. Spatiotemporal Variability of Soil Moisture and Drought Estimation Using a Distributed Hydrological Model*. Editors: Samui P, Kim D, Ghosh C. Integrating Disaster Science and Management, 451-460, Elsevier, 2018.
- [34] Choubin B, Soleimani F, Pirnia A, Sajedi-Hosseini F, Alilou H, Rahmati O, Melesse A M, Singh V P, Shahabi H. *Effects of drought on vegetative cover changes: Investigating spatiotemporal patterns*, Editors: Melesse AM, Wossenu A, Senay G. Extreme Hydrology and Climate Variability Monitoring, Modelling, Adaptation, Mitigation, 213-222, Elsevier, 2019.

- [35] Xie F, Fan H. "Deriving drought indices from MODIS vegetation indices (NDVI/EVI) and Land Surface Temperature (LST): Is data reconstruction necessary?". *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 101, 1-16, 2021.
- [36] Nanzad L, Zhang J, Tuvdendorj B, Nabil M, Zhang S, Bai Y. "NDVI anomaly for drought monitoring and its correlation with climate factors over Mongolia from 2000 to 2016". *Journal of Arid Environments*, 164, 69-77, 2019.
- [37] Sruthi S., Aslam MAM. "Agricultural drought analysis using the NDVI and land surface temperature data; a case study of Raichur District". *Aquatic Procedia*, 4, 1258-1264, 2015.
- [38] Lakshmi V. *Remote Sensing of Hydrological Extremes*. 1th ed. Switzerland, Springer International Publishing, 2017.
- [39] Spatial Thoughts. "Working with QA Bands and Bitmasks in Google Earth Engine". <https://spatialthoughts.com/2021/08/19/qa-bands-bitmasks-gee/> (10.12.2022).
- [40] Google Earth Engine for Water Resources Management (Full Course Material). "Application-focused Introduction to Google Earth Engine". <https://courses.spatialthoughts.com/gee-water-resources-management.html> (10.12.2022).