

Sentinel-2 Multispektral Zaman Serileri Kullanarak 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremi Sonrası Tarımda Değişim Tespiti

Change Detection in Agriculture Following the February 6, 2023 Kahramanmaraş Earthquake Using Sentinel-2 Multispectral Time Series

Tuğcan Dündar

 0000-0003-1374-8651

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi
Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye
tugcandundar@mersin.edu.tr

Özet

6 Şubat 2023'te gerçekleşen Kahramanmaraş depremleri, çok sayıda can kaybına ve hasara neden olmuştur. Bunlara bağlı olarak, depremden etkilenen bölgelerde tarımsal faaliyetler azalmıştır. Bu çalışmada, Hatay ilinin Kumlu ilçesinde yer alan bir tarım bölgesinin, deprem öncesi ve sonrası kullanımı incelenerek resmi veriler ile karşılaştırılmıştır. 2022-2024 yıllarının Nisan-Eylül arası aylarına ait Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılarak, ilgili ay ve yıllardaki ekim durumları karşılaştırılmıştır. İlk aşamada, hesaplanan NDVI indekslerine k-ortalama++ kümeleme algoritması uygulanarak araziler boş veya ekili olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır. Ardından, ekili kategorisindeki pikseller hesaplanarak ay ve yıl bazında karşılaştırılmıştır. Son olarak, simetrik yerel eş-kayıt ayarlaması (SYEKA) adı verilen yöntem ile değişim haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen sayısal gözlemler, 2022-2023 ve 2023-2024 yılları arasında bölgedeki tarımsal faaliyetlerde sırasıyla % 8.28'lik bir azalma ve % 0.80'lik bir artış olduğunu; ayrıca bu bulguların resmi verilerle uyumlu olduğunu doğrulamıştır. Sayısal verilerle birlikte değişim haritaları, aynı aylara ait yıllar arasında tarımsal faaliyetlerde tutarlılık olmadığını göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Sentinel-2, Multispektral, Değişim Tespiti, Deprem, Tarım

Abstract

The Kahramanmaraş earthquakes that occurred on February 6, 2023 caused numerous loss of life and damages. Consequently, agricultural activities declined in the regions affected by the earthquake. In this study, the pre- and post-earthquake usage of an agricultural area located in Kumlu district of Hatay province was examined and compared with official data. Sentinel-2 satellite images from April to September for the years 2022–2024 were used to compare the cultivation status across corresponding months and years. In the first stage, the k-means++ clustering algorithm was applied to the calculated NDVI indices, and the lands were divided into two classes as vacant or cultivated. Subsequently, pixels in the cultivated category were quantified and compared on a monthly and yearly basis. Finally, change maps were created with the method called symmetric local co-registration adjustment (SLCRA). The obtained numerical observations confirmed that there was a decrease of 8.28%

and an increase of 0.80% in agricultural activities of the region between the years 2022-2023 and 2023-2024, respectively; and these findings are also consistent with official data. The change maps together with the numerical data showed that there was no consistency in agricultural activities across the years for the same months.

Keywords: Sentinel-2, Multispectral, Change Detection, Earthquake, Agriculture

1. Giriş

Bilindiği üzere, yeryüzündeki tektonik ve volkanik hareketlilikler depremlere sebep olmaktadır [1]. Levhalarda biriken enerjinin ve stresin boşalmasıyla meydana gelen tektonik depremler, oldukça yıkıcı güçteki enerjilere sahip olabilmektedir [2]. Sırasıyla $M_w = 7.7$ ve $M_w = 7.6$ moment büyüklüklerine sahip olan 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri de tektonik yapıdaki depremlerdir [3]. Birkaç saat ara ile gerçekleşen ve 11 ili etkileyen bu depremler, çok fazla sayıda binanın yıkılmasına ve binlerce can kaybına sebep olmuştur [4]. Bahsi geçen doğrudan sonuçların yanı sıra, depremler dolaylı olarak da çeşitli etkilere sebep olmuştur. Bunlar ekonomik, sosyal ve çevresel faktörler [5] olarak genelleştirilebilir. Kahramanmaraş depremleri sonrası kırsal bölgelerde olan can kayıpları ve hasarlı yapıdaki yerlerden göç dolayısıyla tarımsal faaliyetler de ciddi ölçüde etkilenmiştir [6]. Kamu Araştırmaları Vakfı tarafından yayımlanan raporda [7], tarım bölgelerinde depremlerin sebep olduğu can kayıpları, ekonomik zararlar ve altyapı tahribatları ile bu etkilerin azaltılmasına yönelik alınması gereken önlemler kapsamlı bir şekilde ele alınmaktadır. Depremlerin, tarım sektörü üzerinde yaklaşık olarak 5 milyar dolarlık ekonomik zarara, tahminen 270 bin çiftçinin olumsuz yönde etkilenmesine ve tarımsal üretimde %30 dolayında azalmalara neden olduğu belirtilmektedir [8]. Aynı zamanda, hasar ve kayıplardan kaynaklı etkilerin yanında yaralanmalar, üretimde isteksizlik ve psikolojik etkenlerin de çiftçiler üzerinde etkili olduğu ve bu unsurların da üretimde azalmaya yol açtığı vurgulanmaktadır. Altyapı tahribatları açısından incelendiğinde [9], toplanan mahsullerin işlendiği ve depolandığı tesislerin ağır, orta veya az hasarlı olarak etkilenmesinden kaynaklı üretim kayıplarının da olduğu belirtilmiştir.

Depremin etkili olduğu illerin başında gelen Hatay'da ise çok fazla sayıdaki yıkım ve hasar durumundan dolayı can kayıpları

ve başka illere göçler olmuştur [10]. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) web sitesinden erişilen verilere göre [11] 2022, 2023 ve 2024 yıllarında Hatay toplam nüfusu sırasıyla 1.686.043, 1.544.640 ve 1.562.185 olarak belirlenmiştir. Yine bu yıllarda net göç hızları yıllara göre sırasıyla % -4.77, % -79.08 ve %1.51 olarak tespit edilmiştir. Görüldüğü üzere özellikle 2023 yılında toplam nüfus sayısı ve net göç hızında ciddi değişiklikler olup 2024 yılında ufak artışlar başlamıştır. Bunlarla paralel olarak Hatay iline ait tarımsal veriler incelendiğinde ise örtü altı sebze ve meyve üretim miktarı belirtilen yıllara göre sırasıyla 58.225, 46.205 ve 50.866 ton iken tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerin üretim miktarı 1.126.180, 1.005.983 ve 1.017.947 ton olarak rapor edilmiştir. Sayısal veriler incelendiğinde, toplam nüfus ve net göç hızları ile benzer şekilde 2023 yılında bir önceki yıla göre azalmalar varken, 2024 yılında artışların başladığı anlaşılmaktadır. Bu yıllarda Türkiye'nin toplam örtü altı sebze ve meyve üretim miktarı incelendiğinde ise sırasıyla 9.329.382, 8.956.951 ve 8.984.760 ton iken tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerin üretim miktarı sırasıyla 137.422.726, 147.147.025 ve 141.861.299 ton olarak belirlenmiştir.

Hatay İl Tarım ve Orman Müdürlüğü tarafından yayınlanan 2022, 2023 ve 2024 tarımsal veriler faaliyet raporlarına göre [12] Hatay ili toplam 120.222 hektar (ha) tarımsal ova alanına sahip olup bunun büyük çoğunluğu (%87) Amik Ovası üzerindedir. Bu verimli topraklarda ise genellikle ülke üretiminde ilk üç sırada Hatay ilinin bulunduğu tatlı patates, pazu, maydanoz, dere otu, mandalina, limon, portakal, havuç ve yeni dünya gibi meyve ve sebzelerin üretimi yapılmaktadır. Bunların haricinde arpa, buğday, nohut, fasulye, mercimek ve mısır gibi tahıl ürünlerinin ekimi de yapılmaktadır. Bu üretimlerin büyük bir kısmı ise yüzölçümüne (19.300 ha) kıyasla %77 (14.703 ha/19.300 ha * %100) tarım alanı oranına sahip Kumlu ilçesinde basınçlı sulama sistemleri kullanılarak yapılmaktadır. Kumlu nüfusu incelendiğinde [13], 2022-2024 yılları arasında sırasıyla 13.333, 14.971 ve 15.155 olarak kaydedilmiştir. Hatay ilinin genel durumunun aksine, 2023 yılında bir önceki yıla kıyasla nüfusta önemli bir artış olmuştur. 2024 yılında ise bu artış çok az da olsa devam etmiştir. Bunun olası iki nedeni; şehir merkezinde hasar gören konutları bulunan ve güvenlik açısından varsa Kumludaki evlerine taşınan bireyler ile bu bölgede inşa edilen deprem konutlarına yerleşen kişiler olarak değerlendirilebilir. Fakat, TÜİK Merkezi Dağıtım Sistemi (MEDAS) [13] tarafından sağlanan tarımsal veriler incelendiğinde ise popülasyonun artmasıyla beraber özellikle 2023 yılında dekar (daa) cinsinden ekili tarım arazisi alanının azaldığı gözükmemektedir. Tablo 1'de sunulduğu üzere 2022 yılında 113.260 daa olan ekili alanlar toplamı, 2023 yılında 108.572 daa düşerken, 2024 yılında az bir artışla 109.581 daa yükselmiştir. Bu sayısal veriler de Hatay ilinin 2022-2024 yılları arası toplam nüfus ve net göç hızı değişimleri ile örtüşmektedir.

Son zamanlarda, uzaktan algılama alanındaki çalışmalar sayesinde uydu görüntüleri kullanılarak sınıflandırma, hedef tespiti ve değişim analizi gibi çalışmalar yapılmaktadır. Bu kapsamda, Kahramanmaraş depremleri sonrası yapılan çalışmalar [14], [15], [16], [17], çoğunlukla hasarlı binaların tespiti üzerinedir. Bu araştırmalarda, uydu görüntüleri üzerinde algoritmalar uygulanarak, hasar alan veya yıkılan binaların tespiti yapılmaktadır. Literatür incelendiğinde, Kahramanmaraş depremlerinin tarımsal üretimdeki değişim analizini uzaktan algılama yöntemleriyle inceleyen çalışmaların [18], [19] sınırlı sayıda olduğu gözlemlenmiştir. Hatay ilinin Antakya ilçesine ait arazi kullanım ve arazi örtüsü

Tablo 1: Kumlu ilçesi 2022-2024 yılları arası ekili alanlar cinsinden bitkisel üretim istatistikleri

2022 yılı ekili alanlar - Dekar	
Meyveler, içecek ve baharat bitkileri alanı	8.013
Sebze alanı	7.374
Tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerin alanı	97.873
TOPLAM:	113.260
2023 yılı ekili alanlar - Dekar	
Meyveler, içecek ve baharat bitkileri alanı	9.457
Sebze alanı	10.410
Tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerin alanı	88.705
TOPLAM:	108.572
2024 yılı ekili alanlar - Dekar	
Meyveler, içecek ve baharat bitkileri alanı	9.786
Sebze alanı	12.103
Tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerin alanı	87.692
TOPLAM:	109.581

değişimleri, hazır bir platform tarafından işlenen Sentinel-2 uydu görüntüleri sayesinde [18]'de tespit edilmiştir. Çalışmada, 2022 ve 2023 yıllarına ait Mart ayı uydu görüntüleri kullanılarak, deprem öncesi ve sonrasını kapsayacak şekilde değişim analizi yapılmıştır. Elde edilen bulgular, Antakya ilçesindeki tarım alanları kullanımının deprem öncesi yıla göre önemli ölçüde azaldığını göstermiştir. Benzer bir çalışma [19] ise, depremlerden etkilenen 11 ili kapsayacak şekilde 2022-2023 yılları arasındaki arazi kullanımı ve arazi örtüsündeki değişimleri analiz etmektedir. Söz konusu çalışmada analizler, hazır bir platform ve önceden sınıflandırılmış bir veri seti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, tarımsal değişimin iller arasında farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. 2022 ve 2023 yıllarına ait verilerin karşılaştırılması sonucunda, Adana-Hatay illerinde herhangi bir değişiklik tespit edilemezken, Adıyaman-Elazığ-Kahramanmaraş-Osmaniye illerinde tarım alanı kullanımında azalma gözlemlenmiştir. Buna karşılık, Diyarbakır-Malatya-Gaziantep-Şanlıurfa-Kilis illerinde ise artış eğilimlerinin olduğu belirlenmiştir. Bahsi geçen çalışmalarda, seçilen referans bölgeler için değişim analizi yapılmakta, fakat, elde edilen veriler ile resmi veriler arasında bir bağlantı bulunmamaktadır. Yalnızca, çalışma kapsamında elde edilmiş olan deprem öncesi ve sonrası sonuçlar arasında karşılaştırma yapılmaktadır. Bu durum ise, önerilen metodların uygulanabilirliğini kısıtlamaktadır. Ayrıca, 2023 yılında gerçekleşen depremlerden sonraki döneme dair herhangi bir analiz çalışmalarda bulunmamaktadır.

Bu çalışmada, resmi veriler ile önerilen yöntem arasındaki sonuçların tutarlılık durumunu karşılaştırmak amacıyla, Kumlu ilçesi sınırları içerisinde bulunan bir tarım bölgesi referans çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Deprem öncesi ve sonrası değişimin tespiti için ise ekim ve hasat zamanının yoğun olduğu Nisan-Eylül arasındaki ayları kapsayan 2022, 2023 ve 2024 yıllarına ait açık erişimli Sentinel-2 multispektral uydu görüntüleri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında ilk olarak, her görüntünün bitki örtüsü yoğunluk durumunu analiz etmek amacıyla spektral bant kombinasyonları kullanılarak normalleştirilmiş fark bitki örtüsü indeksi (normalized difference vegetation index, NDVI) [20] hesaplanmıştır. Bu sayede tarım alanları ekim yoğunluğu durumlarına göre farklı yansıma/piksel değerlerine atanmıştır. NDVI indeksi, yakın kızılötesi ve kırmızı spektral bant bilgilerini kullanarak hesaplanan tek bantlı bir indeks

olup bitki örtüsü haritalaması ve sınıflandırması çalışmalarında kullanılır. Örneğin, uydu görüntüleri kullanarak arazi örtüsü sınıflandırması için [21]'de, görüntülere ait NDVI indeksleri oluşturulmuş ve basit yapıdaki bir derin öğrenme ağı ile yüksek doğrulukta bir sınıflandırma işlemi yapılmıştır. [22]'de yapılan çalışmada çok zamanlı Sentinel-2 verilerine ait NDVI indeksleri hesaplanarak orman haritası oluşturulmuştur. Gazzea vd. [23] ise mevcut spektral bantlara ek olarak NDVI indeksini hesaplamış ve eğitilen bir derin öğrenme ağı ile ağaç türlerini sınıflandırmışlardır.

Önerilen yöntemin ikinci kısmında ise her görüntü için elde edilen NDVI bantları üzerinde k -ortalamlar++ (k -means++) [24] algoritması uygulanmıştır. Bu yöntem, veri kümesi içerisinde rastgele bir başlangıç noktası seçerek, verileri yinelemeli olarak gruplamaktadır. Literatür incelendiğinde, söz konusu algoritmanın uzaktan algılama çalışmalarında farklı amaçlar için kullanıldığı gözükmemektedir. Çalışma [25]'de, belirlenen bir Sentinel-2 görüntüsü üzerinde algoritma uygulanarak tarım arazilerinin segmentasyon işlemi yapılmıştır. Piksellere ait farklı özneliklerin çıkartıldığı [26]'de ise bu öznelikler kullanılarak pikseller, algoritma yardımıyla gruplandırılmıştır. Başka bir çalışmada [27], spektral eşleştirme ve k -ortalamlar yöntemleri kullanarak uydu görüntüleri üzerinde mineral haritalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında ise elde edilen ilgili ay ve yıla ait NDVI görüntüsündeki pikseller, k -ortalamlar++ algoritması yardımıyla boş veya ekili olmak üzere 2 kategoriye ayrılmıştır. Ekili kümesi bitkisel yoğunluğun olduğu ekim yapılan arazileri temsil ederken, boş kümesi ekim yapılmayan tarım arazilerini temsil etmektedir. Bu gruplandırma işlemi sonucunda, ekili kategorisine ait piksellerin toplam sayısı belirlenmiş ve bu değer, görüntü boyutlarına oranlanarak söz konusu kategorinin yüzdelik dağılımı hesaplanmıştır. Daha sonra, bu yüzdelik değerler ilgili ay için yıllar bazında karşılaştırılarak deprem öncesi ve sonrası analizlerde kullanılmıştır.

Son olarak, SYEKA [28] değişim tespiti yöntemi yardımıyla, ilgili ay için yıl bazlı değişim haritaları oluşturulmuş ve nicel verilerin yanında görsel çıktılar da analiz için sunulmuştur. Bu yöntem, bir konumun iki farklı zamana ait görüntüsü arasındaki lokal değişimleri tespit edebilmek amacıyla, piksellerin çevrelerinde lokal pencereler oluşturarak değişim analizi gerçekleştirmektedir. Aynı zamanda, iki görüntü arasındaki olası lokal kayma hataları algoritma tarafından optimize edilmekte ve dolayısıyla değişim tespiti hataları en aza indirilmektedir. Bu sebeple, literatürdeki çalışmalar [29], [30] tarafından kullanılmakta olup, basit fakat etkili bir yöntem olduğu vurgulanmaktadır.

Bu makalenin kalanı şu şekilde devam etmektedir. Deneyisel çalışmalarda kullanılan veriseti hakkında bilgiler ve görseller Bölüm 2'de verilmiştir. NDVI indeksinin hesaplanması, k -ortalamlar++ algoritması ve SLCRA yöntemine ait teorik bilgiler Bölüm 3'de anlatılmıştır. Bölüm 4 nicel ve nitel verilerin elde edilerek yorumlandığı ve tartışıldığı deneyel çalışmaları kapsamaktadır. Genel sonuçlar ve ileriye yönelik planlanan çalışmalar ise Bölüm 5'de sunulmuştur.

2. Veriseti

Şekil 1'den görüldüğü üzere, Hatay ili toplamda 15 ilçeden oluşmaktadır. Belirtilen gibi, çalışma kapsamında Amik Ovası üzerinde geniş tarım arazilerine sahip olan Kumlu ilçesi ele alınmaktadır. Bu ilçeyi kapsayan Sentinel-2 uydu görüntülerine, Copernicus Veri Uzay Ekosistemi tarafından

sağlanan tarayıcı [31] üzerinden erişim sağlanmıştır. 2022-2024 yılları arasında, Nisan-Eylül arasındaki ayları kapsayacak şekilde ve her ayın ortasına denk gelecek tarihler esas alınarak, çalışma alanına ait Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Tarayıcı üzerinden görüntülere erişim sağlanırken, bulutluluk oranı için %15 üst sınırı belirlenmiş ve sistem tarafından Sen2Cor ile atmosferik düzeltilmesi otomatik olarak gerçekleştirilmiş veriler kullanılmıştır.



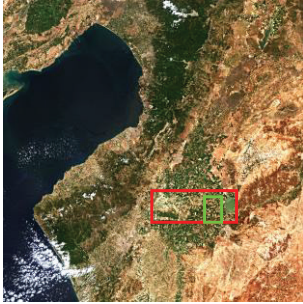
Şekil 1: Hatay ilinde bulunan ilçeler [32].

Sentinel-2 sistemi [33], Avrupa Uzak Ajansı (European Space Agency, ESA) tarafından sağlanmaktadır. Bu sistem, aynı yörüngede bulunan iki özdeş uydudan (Sentinel-2A ve Sentinel-2B) oluşmakta olup ilk olarak Sentinel-2A ile 23 Haziran 2015 tarihinde faaliyetlerine başlamıştır. Daha sonra ise 7 Mart 2017 tarihinde özdeş Sentinel-2B uydusu ile beraber veri alma sıklığı artırılmıştır. Yakın zamanda (5 Eylül 2024) ise üçüncü özdeş uydu olan Sentinel-2C göreve başlamış olup henüz tarayıcı üzerinden erişimi bulunmamaktadır. Bu uydular elektromanyetik spektrumun 443 nm-2190 nm aralığında 5 günlük ziyaret sıklığıyla veriler toplamakta olup toplamda 13 adet spektral bant sağlamaktadırlar. Sentinel-2 uydusunun bantları, üç farklı mekânsal çözünürlük seviyesine sahiptir. Tablo 2'den görüleceği üzere, bantlar 10, 20 ve 60 metre mekânsal çözünürlük değerlerine sahiptir.

Tablo 2: Sentinel-2 uydusu spektral bant bilgileri

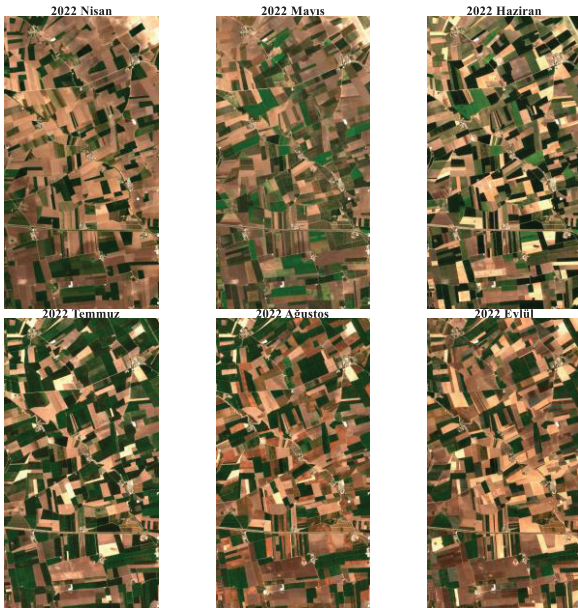
Bant İsmi	Dalga Boyu (nm)	Uzamsal Çözünürlük (m)
B1 - Kıyı aerosol	443	60
B2 - Mavi	490	10
B3 - Yeşil	560	10
B4 - Kırmızı	665	10
B5 - Kırmızı kenar	705	20
B6 - Kırmızı kenar	740	20
B7 - Kırmızı kenar	783	20
B8 - Yakın kızılötesi	842	10
B8A - Kırmızı kenar	865	20
B9 - Su buharı	945	60
B10 - Kısa dalga kızılötesi sirus	1375	60
B11 - Kısa dalga kızılötesi	1610	20
B12 - Kısa dalga kızılötesi	2190	20

Sentinel-2 uyduları, 290 km'lik şerit genişliği sayesinde tek seferde oldukça geniş bir alanı görüntüleme kapasitesine sahiptir. Bu nedenle, çalışmanın yapılacağı referans bölgenin uydu görüntüsünün alt bölgesine denk gelmesi halinde, analiz öncesinde ilgili bölgenin, görüntüden uygun şekilde kırılması

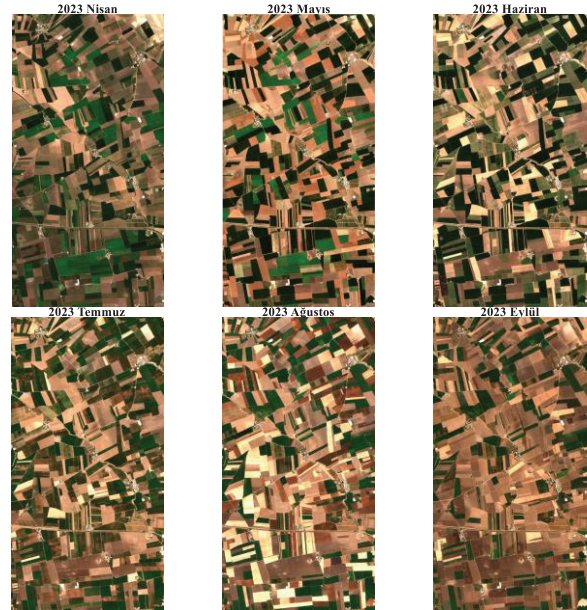


Şekil 2: Kumlu ilçesini kapsayan Sentinel-2 uydu görüntüsü, yaklaşık ilçe sınırları (kırmızı) ve çalışma yapılacak referans tarım bölgesi (yeşil).

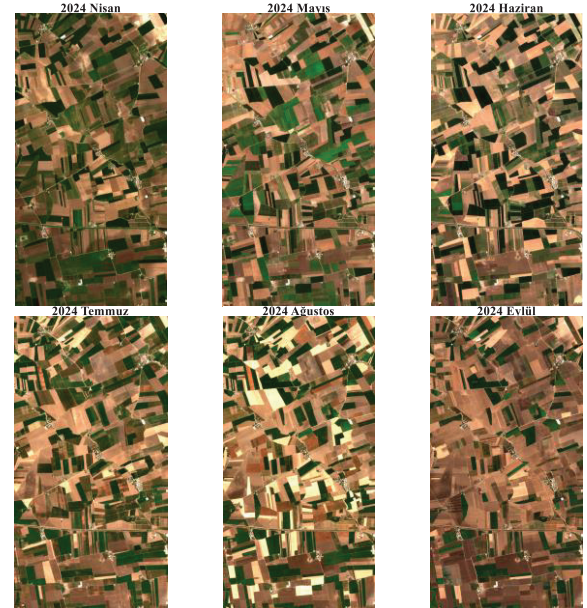
gerekmektedir. Örneğin Şekil 2, Sentinel-2 tarafından kaydedilen gerçek renkli görüntüyü (B4 + B3 + B2) temsil etmektedir. Kırmızı olarak gösterilen alan ise Kumlu ilçesinin yaklaşık sınırlarını belirtmektedir. Esas çalışmanın yapılacağı ve tarım arazilerinin yoğun olduğu bölge ise yeşil olarak işaretlenmiştir. Dolayısıyla, sadece bu alanın kırılarak Nisan-Eylül arası 2022-2024 yılı görüntülerinin oluşturulması gerekmektedir. Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'te sırasıyla 2022, 2023 ve 2024 yıllarına ait, 1300×680 piksel boyutunda kırılarak elde edilmiş referans tarım alanı görüntüleri sunulmaktadır. Şekillerden gözüktüğü üzere, bu çalışma kapsamında seçilen referans bölge tamamen tarım arazilerinden oluşmakta olup verilen her ay için arazilerde mahsuller bulunmaktadır. Çalışma kapsamında, belirtilen aylar haricindeki görüntülerin kullanılmama sebepleri ise mevsimlerden dolayı hem ekili alan sayısının oldukça az olması hem de uydu görüntülerinde oldukça fazla bulutluluk olmasıdır. Elde edilen görüntüler ve spektral bant yansıma bilgileri sayesinde, seçilen alan içerisinde ekim yapılan veya boş bırakılan alanların sayısal ve yüzdesel dağılımları ay ve yıl bazlı olarak tespit edilerek incelenebilir. Ek olarak, nicel verilerin yanında değişim haritaları da çıkartılarak ilgili ayların deprem öncesi ve sonrası karşılaştırmaları yapılabilir.



Şekil 3: Kumlu ilçesi referans tarım bölgesi için 2022 yılı Nisan-Eylül arası Sentinel-2 uydu görüntüleri.



Şekil 4: Kumlu ilçesi referans tarım bölgesi için 2023 yılı Nisan-Eylül arası Sentinel-2 uydu görüntüleri.



Şekil 5: Kumlu ilçesi referans tarım bölgesi için 2024 yılı Nisan-Eylül arası Sentinel-2 uydu görüntüleri.

3. Yöntem

Bu bölüm NDVI, k -ortalamalar++ ve SYEKA ile ilgili teorik bilgileri ve detaylı açıklamaları içermektedir.

3.1. NDVI Hesaplaması

Yöntem kısmının ilk aşamasında, ilgili ay ve yıllara ait verilere erişimin ardından, görüntülerdeki bitkisel yoğunluğu gözlemleyebilmek amacıyla NDVI indeksleri hesaplanmaktadır. Bu indeks değeri -1 ile 1 arasında değişmekte olup, bitki yoğunluğunun görece az olduğu yerler -1 değerine ve çok olduğu yerler 1 değerine yakınsamaktadır.

NDVI indeksi, B8 (yakın kızılötesi) ve B4 (kırmızı) bantları yardımıyla elde edilen bir indeks olup, takip eden denklem kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4} \quad (1)$$

Denklem (1) sayesinde 13 adet spektral banta ek olarak, aynı uzamsal boyutlarda yeni bir indeks bilgisi elde edilmiş olur. Bahsedildiği üzere, bu indekse ait yeni piksel değerleri bitkisel yoğunluk durumunu yansıtmaktadır. Çalışmanın devamında ise bu piksel değerleri, k -ortalamalar++ algoritması yardımıyla iki kümeye ayrıştırılmaktadır. Bu sayede, bir küme boş olan arazileri temsil ederken, diğer küme bitkisel yoğunluğa bakmaksızın ekim yapılan arazileri içermektedir.

3.2. k -ortalamalar++ Kümeleme Algoritması

Girdi olarak sağlanan verileri, herhangi bir eğitim verisine gerek duymaksızın kümelerle ayrıştıran k -ortalamalar++ algoritması, temel k -ortalamalar algoritmalarının [34], [35] geliştirilmiş bir versiyonudur. Klasik k -ortalamalar algoritmalarının aksine, optimum başlangıç merkezi seçimi sayesinde, ayrıştırma sonuçlarının daha etkili ve kararlı yapıda olmasını sağlamaktadır. İlk zamanlarda önerilen k -ortalamalar algoritmalarının başlıca sorunu, başlangıç küme merkezlerinin rastgele seçilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu durum ise, verilerin yanlış kümelerle atanmasına neden olabilmektedir. Bahsedilen soruna bir çözüm üretebilmek için k -ortalamalar++ algoritması, başlangıç merkez noktalarını rastgele seçmek yerine, olasılıksal bir yaklaşımla seçmektedir. Bu sayede veriler, tanımlanan k parametresi kadar kümeye optimum düzeyde ayrılmaktadır. Klasik k -ortalamalar yöntemleri ile karşılaştırıldığında, kümeler daha düşük varyans değerine sahip olmaktadır. Takip eden kısımda, k -ortalamalar++ yöntemine ait hesaplamalar ve bilgiler detaylı olarak sunulmuştur.

Denklem (1) yardımıyla elde edilen NDVI indeksine ait gözlem $\mathbf{M}_{NDVI} \in \mathbb{R}^{rc}$ olarak gösterilsin. Burada $\mathbf{M}_{NDVI}$ notasyonu elde edilen NDVI haritasını, r ve c ise sırasıyla satır ve sütun sayısını göstermektedir. k -ortalamalar++ algoritması uygulanmadan önce, matris formatındaki $\mathbf{M}_{NDVI}$ vektörel forma ($\mathbf{m}_{NDVI} \in \mathbb{R}^{rc \times 1}$) dönüştürülmekte ve ardından z -skoru normalizasyonu yapılmaktadır. Dolayısıyla bu vektör, NDVI haritasındaki normalize edilen piksel değerlerini içermekte olup, $\mathbf{m}_{NDVI} = (m_1, m_2, \dots, m_{rc})^T \subset \mathbb{R}^1$ olarak gösterilebilir.

Kümeleme algoritmasının amacı ise bu verileri, parametre olarak tanımlanan k adet kümeye atamaktır. Çalışma kapsamında, tarım arazileri ekili veya boş olmak üzere iki kümeye ayrıştırılacağı için k parametresi, $k = 2$ olarak belirlenmiştir. İlgili ön işlem adımlarından sonra, k -ortalamalar++ algoritması, ilk olarak $\mathbf{m}_{NDVI}$ içerisinde bir adet veriyi başlangıç merkezi (p_1) olarak rastgele seçmektedir. Sonrasında ise, $\mathbf{m}_{NDVI}$ içerisindeki her veri noktası ile p_1 merkezi arasında olan uzaklık, aşağıdaki denklem aracılığıyla hesaplanmaktadır:

$$D(m_i, p_1) = (m_i - p_1)(m_i - p_1)^T \quad (2)$$

Burada $D(m_i, p_1)$ ifadesi, veri noktaları ile p_1 merkezi arasındaki mesafeyi temsil etmektedir. Transpoz gösterimi ise

$(\bullet)^T$ ile sembolize edilmektedir. Daha sonra, elde edilen uzaklıklar yardımıyla veri noktaları için olasılık dağılımları (3) ile bulunmaktadır:

$$P(m_i) = \frac{(D(m_i, p_1))^2}{\sum_{i=1}^{rc} (D(m_i, p_1))^2} \quad (3)$$

Denklemde $P(m_i)$ ifadesi, her veri noktası için hesaplanan olasılık değerini temsil etmektedir. Denklem (2) ile hesaplanan merkeze olan uzaklıkların karesi, her bir veri noktası için toplam uzaklıkların karesel oranlarıyla normalize edilerek, bir olasılık dağılımı elde edilmiştir. Bu denklemden şu çıkarım yapılabilir. Bir veri noktası mevcut merkeze yakınsa, seçim olasılığı daha düşük olurken; merkezden uzak olan veri noktaları, daha yüksek seçim olasılıklarına sahip olmaktadır. Başka bir deyişle, mevcut merkeze en uzak konumda bulunan veri noktası, yeni merkez seçimi için optimum aday olmaktadır. Bu prensibi baz alarak çalışan k -ortalamalar++ algoritması, bir sonraki merkez noktasını (p_2) belirlerken rastgele seçmek yerine, en yüksek olasılık değerine sahip olan veriyi seçmektedir. Bu yöntemle, küme merkezlerinden en uzakta yer alan veriler tercih edilerek farklı kategorilere ait olma olasılığı artırılmış olur. Bir sonraki p_2 merkez noktası seçiminin ardından, $k = 2$ olarak belirlenen parametre kriteri sağlanmış olacaktır.

Merkezler belirlendikten sonra algoritmanın kalan kısmı, klasik k -ortalamalar algoritması ile aynı şekilde devam etmektedir. Veri noktaları ile merkezler arasındaki mesafe (2) numaralı denklemde olduğu gibi hesaplanarak, veriler kendilerine en yakın merkeze atanmaktadır. Bu işlemin ardından, her bir küme içerisindeki verilerin ortalaması alınarak kümelerin merkez noktaları güncellenmektedir. Daha sonra, veriler ve yeni merkezler arasındaki mesafeler tekrar hesaplanarak minimum mesafeye göre yeni kümeler oluşturulmaktadır. İşlemler, merkez noktalarında gözlemlenen yer değiştirmeleri ihmal edilebilir düzeye ulaşana kadar yinelenmektedir. Kullanılan k -ortalamalar++ algoritmasının k -ortalamalar yöntemine göre avantajı, başlangıçtaki merkez noktalarının rastgele seçilmesi yerine bir kural düzeninde belirlenmesidir. İlk aşamada merkez noktaları daha doğru belirlendiği için, sonraki atamaların daha doğru olma olasılığı artmakta ve kümeleme işlemi daha hızlı olmaktadır.

Kümeleme süreci tamamlandıktan sonra, veri setinde yer alan farklı zamanlara ait her bir NDVI haritası iki kümeye ayrılarak, ilgili kümeleme haritaları oluşturulmuştur. Bu haritalarda pikseller, boş {Küme 1} ve ekili {Küme 2} alanları temsil etmektedir. Ekili alan yoğunluğu ise yüzdesel olarak takip eden formülle hesaplanmaktadır:

$$\% \{Küme 2\} = \frac{\sum_{i=1,2,\dots,rc} \mathbb{I}_{\{Küme 2\}}}{rc} \times \%100 \quad (4)$$

Denklem (4)'de $\% \{Küme 2\}$ ifadesi {Küme 2}'ye ait yüzdesel dağılımı, $\mathbb{I}_{i=1,2,\dots,rc}$ gösterimi $\mathbb{I}_{i=1,2,\dots,rc} \in \{1,2\}$ olmak üzere her bir pikselin hangi kümeye ait olduğunu, $\sum_{i=1,2,\dots,rc} \mathbb{I}_{\{Küme 2\}}$ ifadesi {Küme 2}'ye atanan toplam piksel sayısını ve $rc = r \times c$ ise toplam piksel sayısını göstermektedir. Verilen denklem, tüm kümeleme haritalarına uygulanarak 2022-2024 yılları arasındaki Nisan-Eylül aylarına

ait ekim yoğunlukları yüzde cinsinden hesaplanmıştır. Bu değerler, resmi verilerle karşılaştırma yapmak amacıyla kullanılmaktadır.

3.3. Simetrik Yerel Eş-Kayıt Ayarlaması (SYEKA)

İki farklı zamanda veya cihazla çekilmiş görüntüler karşılaştırıldığında, aynı nesne ya da bölge tam olarak aynı yerde bulunmayabilir. Başka bir tabirle, küçük konum farklılıkları meydana gelebilir. Bu türden uyumsuzluklara, literatürde kayıt katası (misregistration) [36] adı verilir ve SYEKA [28] metodu, bu hataların tespitinde kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, ilgili ay ve yıllara göre tarım arazisi örtüsündeki değişimi analiz edebilmek amacıyla, değişim tespiti yöntemi olarak SYEKA tercih edilmiştir. Çünkü, bir görüntü içerisinde boş durumda olan bir tarım arazisi, başka bir görüntüde ekili halde olabilir. Bu durum, konumsal bir farklılık şeklinde ele alınarak, SYEKA yöntemi aracılığıyla değişim tespiti gerçekleştirilebilir. Bazı anomali tespiti yöntemleri, hizalama hatalarını bir değişim gibi algılamaktadır. SYEKA ise, geometrik kayma hatalarını minimize ederek değişim tespiti yapmaktadır. SYEKA, görüntüdeki her bir piksel ve çevresindeki komşuluk bölgesi için, karşılaştırma yapılacak diğer görüntüye kıyasla ilgili bölgedeki konumsal kaymayı en aza indirecek yerel düzeltmeler uygulamaktadır. Bu yerel ayarlamalar sonrasında, kayıttan kaynaklı hatalar azaltılarak daha doğru bir değişim haritası elde edilmektedir. Yönteme ait teorik altyapı ve bilgiler takip eden kısımda açıklanmaktadır. Farklı zamanlara ait 3-boyutlu Sentinel-2 multispektral verileri, sırasıyla $\mathcal{M}_1 \in \mathbb{R}^{r \times c \times 13}$ ve $\mathcal{M}_2 \in \mathbb{R}^{r \times c \times 13}$ olarak gösterilsin. Veriler içerisinde, (x, y) koordinatlarında bulunan $\mathbf{s}$ ve $\mathbf{t}$ pikselleri ise vektörel olarak $\mathcal{M}_1(x, y) = \mathbf{s} \in \mathbb{R}^{13 \times 1}$ ve $\mathcal{M}_2(x, y) = \mathbf{t} \in \mathbb{R}^{13 \times 1}$ olarak temsil edilmektedir. Değişim tespiti yöntemlerinin amacı, iki farklı veri içerisinde bulunan pikseller arasındaki değişimi belirleyerek, bir değişim haritası oluşturmaktır. Bu işlemi yapan bir operatör ve oluşturulan değişim haritası sırasıyla $\mathcal{F}(\mathbf{s}, \mathbf{t})$ ve $\mathbf{H} \in \mathbb{R}^{r \times c}$ olmak üzere, ifade

$$\mathbf{H}(x, y) = \mathcal{F}(\mathbf{s}, \mathbf{t}) \quad (5)$$

olarak verilebilir. Burada $\mathbf{H}(x, y)$ gösterimi, (x, y) koordinatlarındaki değişim değerini temsil etmektedir. $\mathcal{F}(\mathbf{s}, \mathbf{t})$ operatörü ise $\mathbf{s}$ ve $\mathbf{t}$ pikselleri arasındaki benzerliği Öklid uzaklığı ile hesaplamaktadır. $\mathcal{M}_1(x, y) = \mathbf{s}$ pikseli koordinatında bulunan bir nesnenin, $\mathcal{M}_2(x, y) = \mathbf{t}$ pikseli konumunda yer almaması durumunda, $\mathbf{H}(x, y)$ değeri büyük olacaktır. SYEKA, bir değişim olduğu takdirde değişimin sadece ilgili pikseller arasında olmadığını, piksel komşuluklarının da bundan etkileneceğini önermektedir. Dolayısıyla, piksel komşuluklarındaki değişim değerleri de büyük olmak durumundadır. Ancak bu yaklaşım, görüntüler arasında herhangi bir kayıt hatasının (kaymanın) bulunmadığı varsayımı altında geçerliliğini korumaktadır.

Bahsedildiği üzere SYEKA yöntemi, aynı bölgeye ait iki farklı görüntü arasındaki kayma hatalarını en aza indirmektedir. Çalışma kapsamında kullanılan multispektral görüntüler arasında kaymalar olabileceği için SYEKA metodu tercih edilmiştir. Olası bir kayma durumunda, değişimin

olduğu $\mathcal{M}_1$ verisinin (x, y) konumundaki bir piksel, $\mathcal{M}_2$ verisinde (x, y) koordinatına denk gelmesi gerekirken, komşuluğundaki başka bir piksele karşılık gelmektedir. Bu durum, yüksek düzeyde bir değişim tespit edilse bile, kayma etkisi nedeniyle bazı komşuluk bölgelerinde düşük değişim değerlerinin elde edilmesine ve dolayısıyla hatalı değişim tespitine yol açabilir. SYEKA yöntemine göre, kayıt hatasından kaynaklı gerçek dışı bir değişim olduğu takdirde, minimizasyon işleminin yönünden bağımsız olarak, her iki görüntü yönünde $(\mathcal{M}_1 \rightarrow \mathcal{M}_2; \mathcal{M}_2 \rightarrow \mathcal{M}_1)$ değişim değeri düşük olmalıdır. İlgili optimizasyon işlemi takip eden denklemde verilmektedir:

$$\mathbf{H}(x, y) = \max \left\{ \min_{(k, l) \in \omega} \mathcal{F}(\mathcal{M}_1(x, y), \mathcal{M}_2(x + k, y + l)), \min_{(k, l) \in \omega} \mathcal{F}(\mathcal{M}_1(x + k, y + l), \mathcal{M}_2(x, y)) \right\} \quad (6)$$

Burada (k, l) gösterimi, merkezinde (x, y) olan kare bir pencere (ω) içerisindeki komşu piksel noktalarını belirtmektedir. Denklem (6) incelendiğinde, her iki görüntü içerisinde (x, y) pozisyonunda bulunan piksel ile $(x + k, y + l)$ koordinatlarında yer alan pikseller arasındaki benzerlikler $\mathcal{F}$ operatörü ile hesaplanmaktadır. Daha sonra, her iki operatörün hesaplamış olduğu benzerlik sonuçları arasından, minimum olan değerler belirlenmektedir. Son aşamada, elde edilen iki minimum değer arasından maksimum olanı seçilerek değişim tespiti yapılmaktadır. Bu sayede, görüntüler arasındaki piksel ve piksel komşulukları arasındaki ilişkiler karşılıklı olarak incelenerek, kaymalardan kaynaklanabilecek değişim tespiti hataları en aza indirgenmektedir.

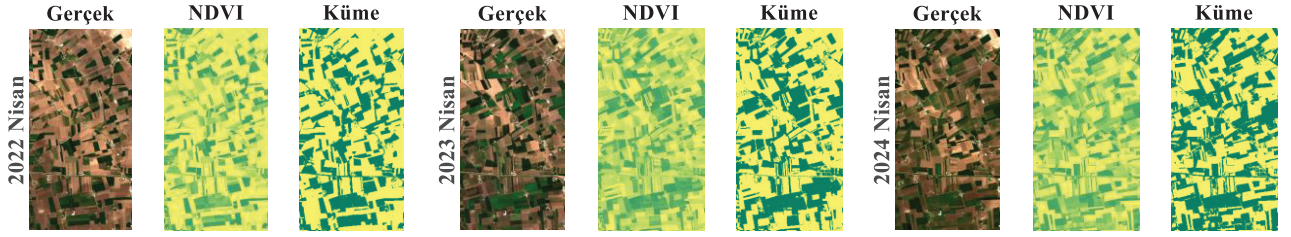
SYEKA yönteminde ayarlanması gereken tek parametre, kare bir pencere olan ve piksel komşuluklarını kapsayan ω 'nin boyutudur. [28]'de bahsedildiği üzere pencere boyutunun büyük seçilmesi, hem hesaplama zamanının artmasına hem de gerçek değişimlerin tespit edilememesine sebep olmaktadır. Bu nedenle ω için en ideal boyut 3×3 olarak belirtilmiş olup, önerilen çalışma kapsamında bu değer kullanılmıştır.

4. Deneysel Bulgular ve Tartışma

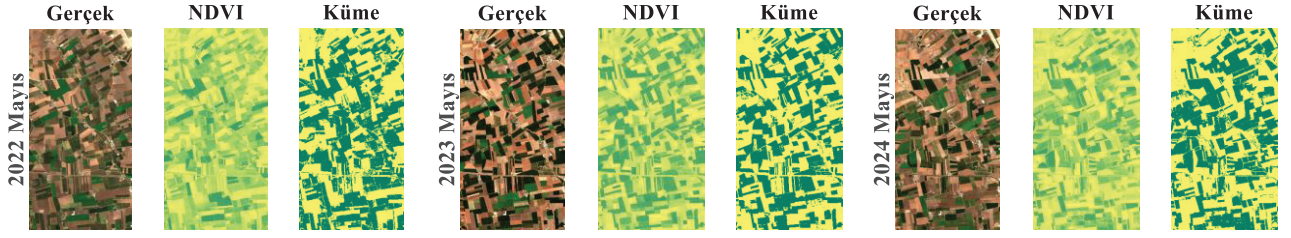
Bu bölümde, NDVI indeksi yardımıyla oluşturulan haritalar ve k -ortalamalar++ ile elde edilen kümeleme sonuçları görsel olarak sunulmuştur. Kümelennmiş veriler kullanılarak ekili alanların yüzdesel dağılımları ve yıllara göre değişimleri verilmiştir. Sayısal verilere ek olarak, SYEKA ile elde edilen yıl bazlı değişim haritaları da bulunmaktadır.

4.1. NDVI Haritalarının Oluşturulması ve Kümelennmesi

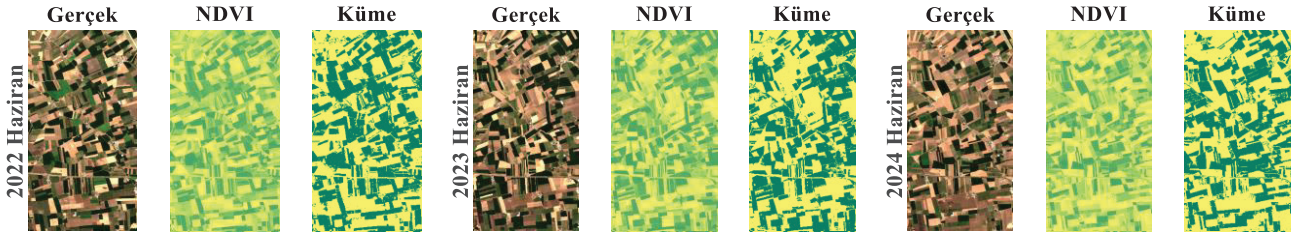
İlgili aylarda yıl bazlı olarak oluşturulan NDVI haritaları ve bu haritalardan yola çıkarak k -ortalamalar++ ile kümelendirilen tarım alanları Şekil 6 ile Şekil 11 arasında bulunmaktadır. NDVI haritalarından görüleceği üzere tarım arazilerinin boş, seyrek veya dolu olmasına göre sarıdan yeşil renge doğru bir renklendirme bulunmaktadır. Buradan yola çıkarak, NDVI indeksinin bitkisel/tarımsal durum analizi ile ilgili önemli bir bilgi olduğu anlaşılmaktadır. NDVI indeksinin -1 ile 1 arasında değişen değerlerinin k -ortalamalar++ algoritması ile kümelennmesi neticesinde, 2 ayrı kümenin ($\{Küme\ 1\}$ ve $\{Küme\ 2\}$) elde edildiği gözükmemektedir.



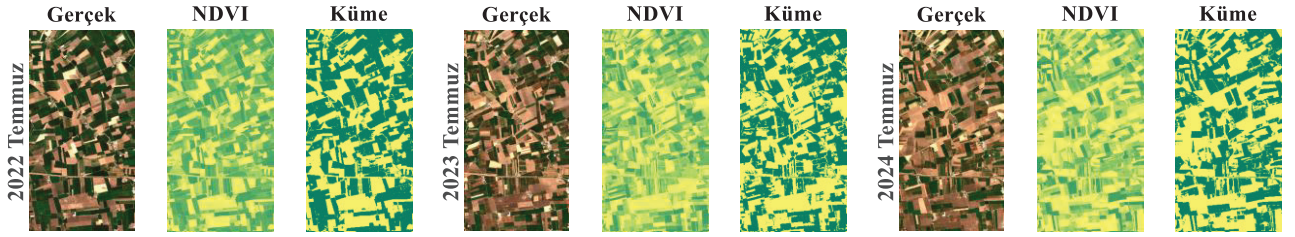
Şekil 6: 2022-2024 yılları arasında Nisan ayına ait gerçek Sentinel-2 uydu görüntüleri, NDVI ve kümeleme haritaları.



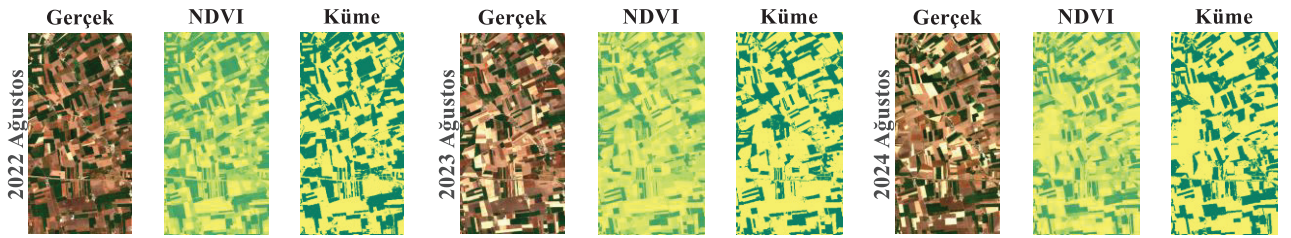
Şekil 7: 2022-2024 yılları arasında Mayıs ayına ait gerçek Sentinel-2 uydu görüntüleri, NDVI ve kümeleme haritaları.



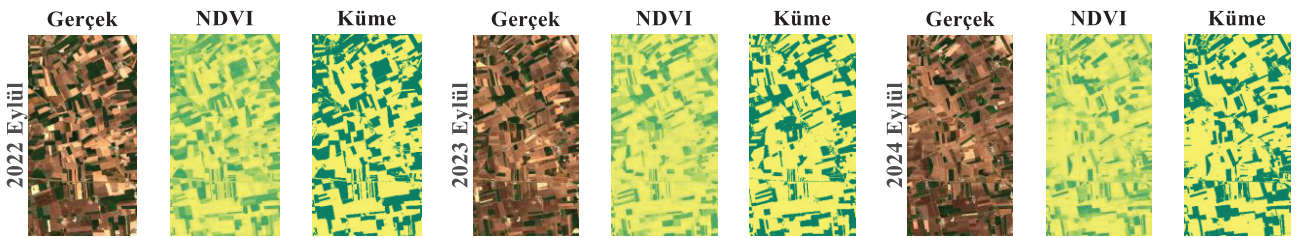
Şekil 8: 2022-2024 yılları arasında Haziran ayına ait gerçek Sentinel-2 uydu görüntüleri, NDVI ve kümeleme haritaları.



Şekil 9: 2022-2024 yılları arasında Temmuz ayına ait gerçek Sentinel-2 uydu görüntüleri, NDVI ve kümeleme haritaları.



Şekil 10: 2022-2024 yılları arasında Ağustos ayına ait gerçek Sentinel-2 uydu görüntüleri, NDVI ve kümeleme haritaları.



Şekil 11: 2022-2024 yılları arasında Eylül ayına ait gerçek Sentinel-2 uydu görüntüleri, NDVI ve kümeleme haritaları.

Sarı ile gösterilen bölgeler boş alanları {Küme 1} simgelerken, yeşil ile belirtilen kısımlar ekili durumda {Küme 2} olan arazileri temsil etmektedir. Görüldüğü üzere, seyrek veya yoğun şekilde ekili olan araziler ekili kümesine atanırken, henüz ekili olmayan araziler boş kümesine atanmıştır. Ay ve yıl bazında ekili kümesinde olan piksellerin sayıları ve yüzdelikleri, (4) numaralı denklem yardımıyla hesaplanarak Tablo 3’de sunulmuştur. Burada yüzdelik hesapları yapılırken, kırılan referans tarım bölgesinin boyutunun 1300×680 olduğu dikkate alınmalıdır. Tablo 4’de 2022-2024 yılları arasında Hatay ilinin örtü altı sebze ve meyve üretimi ile tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerin üretim tonajlarının toplamı, Kumlu ilçesinin dekar cinsinden sebze, meyve, içecek, baharat bitkileri, tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerin alanları toplamı ve son olarak önerilen yöntem neticesinde Kumlu ilçesinin bir referans tarım bölgesindeki yalnızca Nisan-Eylül ayları arasında tespit edilen ekili alanların piksel cinsinden toplamaları verilmiştir. Son olarak ise, sayısal verilerin yüzdesel olarak yıl bazlı değişimleri ise Tablo 5’te bulunmaktadır.

Tablo 3: Nisan-Eylül ayları ve 2022-2024 yılları arası ekili kümesinde olan piksel sayıları ve yüzdelikleri

	2022	2023	2024
Nisan	324.900 % 36.7533	365.605 % 41.3580	416.123 % 47.0727
Mayıs	433.046 % 48.9871	398.313 % 45.0580	394.071 % 44.5781
Haziran	419.492 % 47.4538	420.730 % 47.5938	393.097 % 44.4679
Temmuz	504.907 % 57.1161	440.938 % 49.8798	415.997 % 47.0584
Ağustos	379.391 % 42.9175	303.132 % 34.2909	320.375 % 36.2415
Eylül	371.381 % 42.0114	303.210 % 34.2997	310.181 % 35.0883
Toplam piksel sayısı	2.433.117	2.231.928	2.249.844

Tablo 4: Yıllara göre tarımsal veriler

	2022	2023	2024
Hatay toplam üretim (ton)	1.184.405	1.052.188	1.068.813
Kumlu ekili alan (dekar)	113.260	108.572	109.581
Referans bölge ekili kümesindeki piksel sayısı	2.433.117	2.231.928	2.249.844

Tablo 5: Yıllara göre tarımsal verilerin yüzdesel değişimleri

	2022→2023	2023→2024	2022→2024
Hatay toplam üretim (ton)	% -11.17 (▼)	% 1.58 (▲)	% -9.75 (▼)
Kumlu ekili alan (dekar)	% -4.14 (▼)	% 0.93 (▲)	% -3.25 (▼)
Ekili kümesindeki piksel sayısı	% -8.28 (▼)	% 0.80 (▲)	% -7.53 (▼)

4.2. Arazi Kullanımı Değişim Tespiti

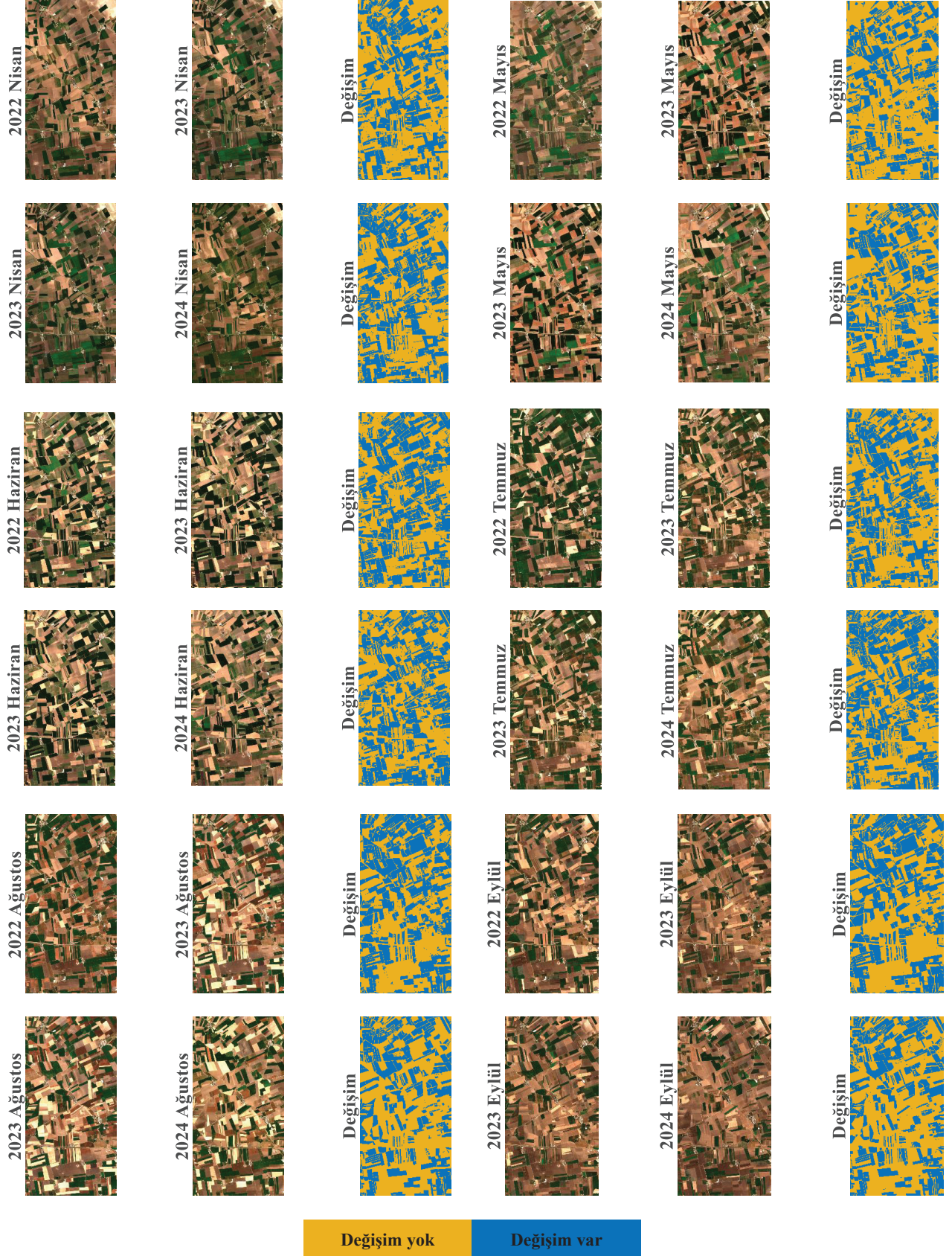
Sayısal olarak elde edilen bulgular neticesinde, ekim durumları ilgili aylar için yıl bazlı incelendiğinde, düzenli bir artış veya azalmanın olmadığı gözlemlenmiştir. Yalnızca sayısal verilere dayanarak, seçilen bir aya ait bir arazinin bir önceki yıla kıyasla ekilip ekilmediğine ya da boş bırakıldığına dair kesin bir bilgiye ulaşmak mümkün değildir. Bu durumun tespit edilebilmesi için değişim tespiti yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir. Çalışma kapsamında, SYEKA metodu yardımıyla değişim haritaları çıkartılarak bahsedilen durum hakkında gözlemler yapılmıştır. Daha önce bahsedildiği üzere, SYEKA yöntemi iki farklı multispektral veri arasındaki değişimi, spektral bantların bilgisini kullanarak tespit edebilmektedir. Multispektral verilere ait gerçek görüntüler ve değişim haritaları Şekil 12’de bulunmaktadır.

4.3. Değerlendirme ve Tartışma

Tablo 3, önerilen yöntemle tespit edilen ekili alan kategorisine ait piksel sayılarını ve bunlara karşılık gelen yüzdelik değerleri sunmaktadır. Görüldüğü üzere, Nisan ayında ekili alan sayısı 2022-2024 yılları arası artış göstermiştir. Mayıs ve Temmuz aylarında ise düzenli bir azalma gözükmektedir. Haziran ayında ise 2022 ve 2023 yılları ekim durumları benzer iken, 2024 yılında azalma olmaktadır. Ağustos ve Eylül ayları ise yüzdesel dağılım olarak birbirlerine benzemekte olup 2022-2023 arası azalma olurken, 2023-2024 arasında artış olmaktadır. Bu verilerden yola çıkarak, aylara göre yıl bazında standart bir durum olmadığı, bazı aylarda yıllara göre artış veya azalmalar olurken, bazı aylarda ise hem azalma hem artış durumlarının olduğu söylenebilir. Literatürde vurgulanan başlıca etkenler doğrultusunda [5], [6], [7], [8], [9], söz konusu durumun olası nedenleri aşağıda maddelenmiştir.

- Depreme Bağlı Etkiler
 - Altyapı ve sulama sistemleri hasarı
 - İşgücü ve göç etkisi
 - Psikolojik ve sosyal etki
 - Can kayıpları
- Tarımsal ve Çevresel Etkenler
 - İklim koşulları (kuraklık, don, aşırı yağış vb.)
 - Ürün deseni ve ekim tercihleri
 - Tarım desteklerindeki değişiklikler

Dolayısıyla, üretimde tespit edilen düzensizlikler sadece deprem faktörüne bağlanmamalıdır. Fakat genel olarak incelendiğinde, 2022 ile 2023 yılları arasındaki dönemde Mayıs-Temmuz-Ağustos-Eylül aylarındaki azalmaların, diğer etkenlerin yanında yüksek oranda deprem kaynaklı olduğu söylenebilir. 2023’ten 2024 dönemine geçişte bazı aylarda gözlemlenen artışlar, alternatif bir geçim kaynağının bulunmaması nedeniyle çiftçilerin yeniden ekim faaliyetlerine yönelmesi şeklinde değerlendirilebilir. Bu etkenler olası nedenler olarak değerlendirilse de, daha doğru gözlemler için saha araştırmalarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Çalışmanın başlangıcında sunulan Hatay ili ve Kumlu ilçesine ait tarımsal verilerle karşılaştırma yapabilmek amacıyla Tablo 4’e yer verilmiştir. Görüldüğü üzere, Hatay ili genelinde 2022-2023 yılları arasında üretim miktarında belirgin bir azalma meydana gelmiştir. Kumlu ilçesindeki ekili alanlar da benzer şekilde azalma eğilimi göstermektedir. Aynı dönemde, önerilen yöntemle elde edilen sonuçlar incelendiğinde, ekili kategorisine karşılık gelen piksel sayısında da bir düşüş gözlemlenmektedir. 2023’ten 2024 yılına geçişte, Hatay ili genelindeki toplam tarımsal üretimde ve Kumlu ilçesindeki ekili alanlarda hafif bir artış meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 12: Kumlu ilçesi referans bölgedeki tarım arazisi kullanımının Nisan-Eylül ve 2022-2024 arası görsel değişimleri.

Önerilen yönteme ilişkin veriler değerlendirildiğinde, ekili alan kategorisinde bulunan piksel sayılarında az düzeyde bir artış olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular doğrultusunda, önerilen yöntem ile resmi veriler arasında anlamlı bir tutarlılık olduğu görülmektedir.

Son olarak, Tablo 4'te sunulan sayısal verilerdeki değişimlerin yüzdelik karşılıkları Tablo 5'te yer almaktadır. 2022-2023 yılları arasında Hatay ilindeki toplam üretim tonajında % 11.17 azalma olurken, Kumlu ilçesindeki ekili alanlarda % 4.14 azalma meydana gelmiştir. Bunlara karşılık, önerilen yöntem neticesinde elde edilen ekili alan kategorisindeki piksel sayılarında % 8.28 azalma tespit edilmiştir. 2023-2024 dönemi arasında ise bir önceki yıldaki azalmaların aksine, hafif artışlar meydana gelmiştir. Deprem öncesi ve sonrasındaki yıllara ait 2022 ve 2024 verileri karşılaştırıldığında ise, Hatay genelindeki toplam üretim tonajı % 9.75, Kumlu ilçesindeki ekili alanlar toplamı % 3.25 ve önerilen yönteme ait ekili sınıftaki piksel sayıları toplamı % 7.53 azalmıştır. Tablo 4'e dair gözlemlerde belirtilmiş olduğu üzere, Tablo 5'te yer alan bulgular da önerilen yöntemle resmi veriler arasındaki tutarlılığı göstermektedir. Elde edilen sayısal bulgular neticesinde şu çıkarımlar yapılabilir:

- Resmi kaynaklar ve önerilen yöntem yardımıyla elde edilen veriler, bir önceki yıla kıyasla depremin gerçekleştiği 2023 senesinde üretimlerin azaldığını, fakat 2024 yılında ise hafif artışların başladığını göstermektedir.
- Hatay ilindeki toplam üretim tonajı değişimlerine kıyasla, Kumlu ilçesinin ekili alan değişimleri daha az yüzdeliklerle gerçekleşmiştir.
- Daha önceden belirtildiği üzere, önerilen yöntemde kullanılan çalışma alanı, Kumlu ilçesi sınırları içerisindeki bir tarım alanı bölgesini kapsamaktadır. Tablo 4 ve Tablo 5 incelendiğinde, Kumlu ilçesine ait resmi verilerle, önerilen yöntem arasındaki sonuçların arasında farklılık olduğu görülmektedir. Bu durum, Kumlu ilçesindeki tüm tarım arazilerinin çalışma kapsamında kullanılmamasından kaynaklanmaktadır. Ancak, yalnızca seçilen bölgeye ait uydu görüntülerine dayalı olarak gerçekleştirilen uzaktan algılama çalışmasıyla dahi, resmi verilerle benzer artış ve azalış eğilimlerinin tespit edilebildiği görülmektedir. Bu durum, önerilen yöntemin tutarlı ve geçerli olduğunu doğrulamaktadır. Resmi verilerle daha yüksek düzeyde örtüşmenin sağlanabilmesi için, ilçeye ait sınırların kesin olarak belirlenip uydu görüntüleri üzerinden elde edilmesi ve ayrıca görüntülerde yer alan tarım arazisi dışındaki alanların görüntü ön işleme teknikleri kullanılarak çıkarılması gerekmektedir. Ayrıca, ekim yoğunluğunun görece düşük olduğu Nisan-Eylül dönemi dışındaki aylara ait verilerin de analiz edilmesi, elde edilen sonuçların doğruluk ve güvenilirliğini artırmaya katkı sağlayacaktır.

Tablo 3'ten görüldüğü üzere, tarım arazilerinin kullanım durumları ilgili aylarda yıl bazlı olarak değişiklik göstermektedir. İlgili bir ayda boş bırakılan tarım arazisi diğer senelerde ekilebilmektedir veya ekili olan bir alan diğer yıllarda boş kalabilmektedir. Dolayısıyla Tablo 3'te ay bazlı verilen ekili alanların yüzdelik dağılımları ve Tablo 5'teki yıllık yüzdelik değişimler, sadece aynı tarım arazilerinin kullanım durumlarının değişiminden kaynaklanmamakta olup, başka tarım arazilerinin ekim durumlarının değişikliğinden de kaynaklanabilmektedir. Bunun sebepleri ise daha önceden

açıklandığı üzere çiftçilerin tarım arazilerini nadasa bırakması, maddi sorunlardan dolayı arazisinin belirli bir kısmını ekebilmesi, deprem durumundan kaynaklı olarak tarım arazisini işleyebilecek durumda bireylerin kalmamış olması veya depremden dolayı su ile altyapı kaynaklarının etkilenmesi olarak değerlendirilebilir. Bu durumu daha iyi gözlemleyebilmek adına, Şekil 12'de bulunan değişim haritaları oluşturulmuştur. Görsellerden anlaşılabileceği üzere, tarım arazilerinin kullanımında bir düzen söz konusu değildir. Başka bir ifadeyle, ilgili ay ve yılda ekim yapılan bir tarım arazisi, takip eden yılda boş durumda olabilir. Bu tespitlerin yanında, değişim haritaları sayesinde aylar arasındaki ekim faaliyetleri de incelenebilir. Örneğin, Tablo 3 verileri incelendiğinde, Ağustos ve Eylül aylarında bulunan ekili alan sınıftaki piksel yoğunluklarının oldukça benzer olduğu görülmektedir. Şekil 12 üzerinden bu aylara ait değişim haritaları incelendiğinde, birbirlerine oldukça benzer değişim haritalarının elde edildiği görülmektedir.

Yapılan değerlendirmeler neticesinde, önerilen çalışmanın literatüre katkıları şu şekilde sıralanabilir:

- Önceki literatür çalışmalarında, yalnızca önerilen yöntemler doğrultusunda elde edilen sonuçlar karşılaştırılırken, bu çalışmada resmi verilerle de kıyaslama yapılarak bulguların tutarlılığı ve güvenilirliği güçlendirilmiştir.
- Belirtildiği üzere, mevcut çalışmalar 2022 ve 2023 yılları arasındaki değişimleri incelemekte olup, deprem sonrası yılı kapsayan değişimler kapsam dışında bırakılmıştır. Önerilen çalışmada bu durum da dikkate alınarak, 2024 yılına ait veriler de analiz edilmiştir.
- Oluşturulan değişim haritaları sayesinde, arazi kullanım ve arazi örtüsü değişimlerinin izlenebilir olması sağlanmıştır.

5. Sonuç

Bu çalışmada, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinin tarım üzerine olan etkileri Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılarak incelenmiştir. Referans bölge olarak Hatay ili Kumlu ilçesinin bir kısmındaki tarım arazileri seçilmiştir. Tarım faaliyetlerinin yoğun olduğu Nisan-Eylül arası aylara ve 2022-2024 arası yıllara ait uydu görüntüleri toplanmıştır. Bitkisel faaliyetlerinin analizi için kullanılan NDVI indeksi ile arazilerin bitkisel yoğunluk durumları belirlenmiştir. Daha sonra k -ortalama++ algoritması ile NDVI değerleri boş veya ekili olmak üzere iki kategoriye bölünmüştür. Ekili kümesindeki piksellerin tüm görüntüye olan yüzdelik dağılımları her bir veri seti için hesaplanmıştır. Elde edilen sayısal bulgular ile Hatay ili ve Kumlu ilçesine ait resmi tarım verileri karşılaştırılmıştır. Resmi verilere uyumlu olarak, uydu görüntüleri ve önerilen yöntem ile bulunan sonuçlar, bir önceki yıla kıyasla 2023 senesinde tarımsal faaliyetlerde önemli sayılabilecek düzeyde bir azalma olduğunu doğrulamıştır. 2024 yılında ise bir önceki yıla kıyasla tarımsal faaliyetlerde az bir artış olduğunu göstermiştir. Sayısal verilere ek olarak, SYEKA algoritması yardımı ile Nisan-Eylül arası ayların yıl bazındaki tarımsal durum değişimleri tespit edilmiştir. Elde edilen değişim haritaları, tarımsal faaliyet değişimlerinin yalnızca belirli araziler üzerinden olmadığını göstermiştir. Deprem, nadasa bırakma veya ekonomik sebepler yüzünden yıllara göre ekim faaliyetlerinin değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir.

Yapılan analizler ve elde edilen bulgular doğrultusunda, araştırmanın kapsamı gelecekteki çalışmalarla genişletilecektir. Mevcut haliyle yalnızca tek bir bölgeye odaklanan çalışma, ilerleyen süreçte depremden etkilenen diğer illerdeki tarım bölgeleri için de uygulanacaktır. Ayrıca, resmi verilerle daha yüksek düzeyde örtüşme sağlamak amacıyla, güncel makine öğrenimi ve derin öğrenme tabanlı

algoritmalar tercih edilecektir. Gerçekleştirilecek kapsam genişletme ve sonuç iyileştirme çalışmalarıyla beraber, uzaktan algılama temelli tarımsal değişim tespiti deprem öncesi ve sonrası analizlerde genelleştirilebilir bir yaklaşım olarak kullanılması hedeflenmektedir.

6. Kaynaklar

- [1] G. Beroza, "Investigating the Causes and Consequences of Earthquakes", *Journal of Geography & Natural Disasters*, c. 13, sy 1, ss. 1-1, Mar. 2023, doi: 10.35841/2167-0587.23.13.266.
- [2] H. Yang ve S. Yao, "Shallow destructive earthquakes", *Earthquake Science*, c. 34, sy 1, ss. 15-23, Şub. 2021, doi: 10.29382/eqs-2020-0072.
- [3] A. Demir vd., "Destructive impact of successive high magnitude earthquakes occurred in Türkiye's Kahramanmaraş on February 6, 2023", *Bull Earthquake Eng*, c. 23, sy 3, ss. 893-919, Şub. 2025, doi: 10.1007/s10518-024-01865-5.
- [4] Y. A. Arıkan ve U. Arıkan, "Kahramanmaraş'ta Meydana Gelen Depremlerin Saha İncelemesi ve Değerlendirilmesi", *OneHealth P.*, c. 2, sy 1, Art. sy 1, Haz. 2024.
- [5] M. Marangoz ve Ç. İzci, "Doğal Afetlerin Ekonomik, Sosyal ve Çevresel Etkilerinin 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Merkezli Depremler Bağlamında Girişimciler Açısından Değerlendirilmesi", *SOBBIAD*, c. 24, sy 52, Art. sy 52, Haz. 2023.
- [6] B. Aydın Can, S. Gerdan, ve R. Aslan, "The Effects of 6 February 2023 Earthquakes on the Production and Marketing Process of Firms in the Agriculture and Food Sector: The Case of Malatya Province, Türkiye", *Sustainability*, c. 16, sy 21, Art. sy 21, Oca. 2024, doi: 10.3390/su16219479.
- [7] "KAV_DDR_2023-1-1.pdf". Erişim: 17 Haziran 2025. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.kav.org.tr/wp-content/uploads/2023/02/KAV_DDR_2023-1-1.pdf
- [8] "6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Merkezli Depremler Sonrası Tarım ve Gıda Arz Güvenliğinin Değerlendirilmesi", ResearchGate. Erişim: 17 Haziran 2025. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/371959825_6_Subat_2023_Kahramanmaraş_Merkezli_Depremler_Sonrası_Tarım_ve_Gıda_Arz_Guvenliginin_Degerlendirilmesi
- [9] M. Paksoy, "Bir Felaketin Anatomisi: Kahramanmaraş Depremlerinin Ekonomi ve Tarım Üzerine Etkileri".
- [10] M. Duruel, "Afetlerde Göçmen Olmak: 6 Şubat Depremi Hatay Örneği", *Mukaddime*, c. 14, sy 2, Art. sy 2, Kas. 2023, doi: 10.19059/mukaddime.1381750.
- [11] "TÜİK Gösterge". Erişim: 22 Nisan 2025. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://biruni.tuik.gov.tr/ilgosterge/?locale=tr>
- [12] "Tarımsal Veriler". Erişim: 22 Nisan 2025. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://hatay.tarimorman.gov.tr/Menu/55/Tarimsal-Veriler>
- [13] "biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr". Erişim: 22 Nisan 2025. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>
- [14] X. Wang vd., "Evaluating Urban Building Damage of 2023 Kahramanmaraş, Turkey Earthquake Sequence Using SAR Change Detection", *Sensors*, c. 23, sy 14, Art. sy 14, Oca. 2023, doi: 10.3390/s23146342.
- [15] Z. Hong vd., "Rapid Fine-Grained Damage Assessment of Buildings on a Large Scale: A Case Study of the February 2023 Earthquake in Turkey", *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, c. 17, ss. 5204-5220, 2024, doi: 10.1109/JSTARS.2024.3362809.
- [16] E. Altunsu, O. Güneş, S. Öztürk, S. Sorosh, A. Sarı, ve S. T. Beeson, "Investigating the structural damage in Hatay province after Kahramanmaraş-Türkiye earthquake sequences", *Engineering Failure Analysis*, c. 157, s. 107857, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.engfailanal.2023.107857.
- [17] A. Demir vd., "Destructive impact of successive high magnitude earthquakes occurred in Türkiye's Kahramanmaraş on February 6, 2023", *Bull Earthquake Eng*, c. 23, sy 3, ss. 893-919, Şub. 2025, doi: 10.1007/s10518-024-01865-5.
- [18] N. CiVekek, M. İnalpulat, ve L. Genç, "Evaluation of Earthquake Impacts on Land Use and Land Cover (LULC) Using Google Earth Engine (GEE), Sentinel-2 Imageries, and Machine Learning: Case Study of Antakya", *JAES*, Eyl. 2023, doi: 10.35229/jaes.1349826.
- [19] C. Yağcı ve M. G. Gümüş, "Provincial-level analysis of land use changes following the 2023 Kahramanmaraş earthquakes using sentinel-2 land use/land cover time series data", *NÖHÜ Müh. Bilim. Derg.*, c. 14, sy 2, ss. 775-790, Nis. 2025, doi: 10.28948/ngumuh.1653751.
- [20] F. J. Kriegler, W. A. Malila, R. F. Nalepka, ve W. Richardson, "Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition", *Proceedings of the Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment*, ss. 97-131, 1969.
- [21] T. T. Sasidhar, S. K., V. M.T., S. V., ve S. K.P., "Land Cover Satellite Image Classification Using NDVI and SimpleCNN", içinde *2019 10th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, Tem. 2019, ss. 1-5. doi: 10.1109/ICCCNT45670.2019.8944840.
- [22] G. L. Spadoni, A. Cavalli, L. Congedo, ve M. Munafò, "Analysis of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) multi-temporal series for the production of forest cartography", *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, c. 20, s. 100419, Kas. 2020, doi: 10.1016/j.rsase.2020.100419.
- [23] M. Gazzea, L. M. Kristensen, F. Pirotti, E. E. Ozguven, ve R. Arghandeh, "Tree Species Classification Using High-Resolution Satellite Imagery and Weakly Supervised Learning", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, c. 60, ss. 1-11, 2022, doi: 10.1109/TGRS.2022.3210275.
- [24] D. Arthur ve S. Vassilvitskii, "k-means++: the advantages of careful seeding", içinde *Proceedings of the eighteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms*, içinde SODA '07. USA: Society for Industrial and Applied Mathematics, Oca. 2007, ss. 1027-1035.

- [25] M. A. Hamada, Y. Kanat, ve A. E. Abiche, "Multi-Spectral Image Segmentation Based on the K-means Clustering", *IJITEE*, c. 9, sy 2, ss. 1016-1019, Ara. 2019, doi: 10.35940/ijitee.K1596.129219.
- [26] A. SAĞLAM ve N. BAYKAN, "Evaluating the attributes of remote sensing image pixels for fast k-means clustering", *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, c. 27, sy 6, ss. 4188-4202, Oca. 2019, doi: 10.3906/elk-1901-190.
- [27] Z. Ren, L. Sun, ve Q. Zhai, "Improved k-means and spectral matching for hyperspectral mineral mapping", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, c. 91, s. 102154, Eyl. 2020, doi: 10.1016/j.jag.2020.102154.
- [28] J. Theiler ve B. Wohlberg, "Local Coregistration Adjustment for Anomalous Change Detection", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, c. 50, sy 8, ss. 3107-3116, Ağu. 2012, doi: 10.1109/TGRS.2011.2179942.
- [29] P. C. Hytla, E. J. Balster, J. R. Vasquez, ve R. M. Neuroth, "Multi-ratio fusion change detection", içinde *2016 IEEE National Aerospace and Electronics Conference (NAECON) and Ohio Innovation Summit (OIS)*, Tem. 2016, ss. 54-61. doi: 10.1109/NAECON.2016.7856774.
- [30] C. Wu, Y. Lin, B. Du, ve L. Zhang, "A Study for Hyperspectral Anomaly Change Detection on 'Viareggio 2013 Trial' Dataset", içinde *2019 10th International Workshop on the Analysis of Multitemporal Remote Sensing Images (MultiTemp)*, Ağu. 2019, ss. 1-4. doi: 10.1109/Multi-Temp.2019.8866969.
- [31] "Copernicus Browser", Copernicus Browser. Erişim: 24 Nisan 2025. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://browser.dataspace.copernicus.eu/>
- [32] "Genel Bilgiler". Erişim: 24 Nisan 2025. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://hatay.ktb.gov.tr/TR-201494/genel-bilgiler.html>
- [33] "Sentinel-2". Erişim: 24 Nisan 2025. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2
- [34] J. MacQueen, "Some methods for classification and analysis of multivariate observations", içinde *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Volume 1: Statistics*, c. 5.1, University of California Press, 1967, ss. 281-298.
- [35] S. Lloyd, "Least squares quantization in PCM", *IEEE Transactions on Information Theory*, c. 28, sy 2, ss. 129-137, Mar. 1982, doi: 10.1109/TIT.1982.1056489.
- [36] X. Dai ve S. Khorram, "The effects of image misregistration on the accuracy of remotely sensed change detection", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, c. 36, sy 5, ss. 1566-1577, Eyl. 1998, doi: 10.1109/36.718860

Özgeçmişler



Tuğcan DÜNDAR, 1993 yılında Gaziantep'te doğmuştur. Lisans eğitimi 2016 yılında Gaziantep Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde tamamlamıştır. 2019 yılında “İnsansız hava araçları için hiperspektral görüntü sınıflandırma algoritmalarının geliştirilmesi” başlıklı tezi ile Gaziantep Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. Doktora eğitimini ise 2024 senesinde “Uzaktan algılanan hiperspektral görüntülerin iyileştirilmesi ve sınıflandırılması için makine öğrenmesi algoritmalarının geliştirilmesi” başlıklı tez ile Gaziantep Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde tamamlamıştır. 2017-2019 yılları arasında Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Havacılık ve Uzay Mühendisliği bölümü ve Gaziantep Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmıştır. 2021-2024 yılları arasında Gaziantep Üniversitesi Naci Topçuoğlu Meslek Yüksekokulu Kontrol ve Otomasyon Teknolojisi programında Öğretim Görevlisi olarak çalışmıştır. 2025 yılından itibaren Mersin Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde Dr. Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır. Çalışma alanları arasında uzaktan algılama, makine öğrenmesi, sinyal ve görüntü işleme konuları yer almaktadır.