

Kadastro parsel sınırlarının obje olarak kullanılarak arpa ve buğday ürünlerinin çok zamanlı Sentinel-2 uydu görüntüleri ile belirlenmesi

Mapping barley and wheat crops using cadastral parcel boundaries as objects and multi-temporal Sentinel-2 satellite images

Oğuzhan Yaşar¹, Ali Levent Yağcı^{1*}

¹Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 41400, Kocaeli/Türkiye.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Ali Levent Yağcı
alyagci@gtu.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.1309618

Yayın süreci

Geliş tarihi: 04.06.2023
Kabul tarihi: 16.10.2023
Basım tarihi: 28.03.2024

Özet

Ülkemizde buğday ve arpa sırasıyla en önemli iki tahıl ürünüdür ve her yıl arpa ve buğday eken çiftçiler T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından çiftçi beyanları temel alınarak maddi olarak desteklenmektedir. Ancak çiftçilerin bu destekleri amacına uygun kullanıp kullanmadığının kontrolü, klasik yöntemler ile mümkün değildir. Bu nedenle, bu çalışmada Sentinel-2-tabanlı Normalize Edilmiş Bitki Fark İndeksi (NDVI) zaman serileri ve Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) parsel sorgu uygulamasından indirilen parsel sınırları kullanılarak tam otomatik bir kontrol sistemi kurulması amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, tahıl üretimini yoğun olduğu Yozgat ilinin Merkez ilçesinde toplanan yersel kalan çalılık, otluk, çorak alan, toprak yol, sulama kanalı ve ağaç gibi arazi kullanımı ve örtüsü sınıfları arpa ve buğday parsellerin NDVI eğrilerine genellikle küçük etki yarattığı için sonuçların doğruluğunu etkilememiştir. Ancak, bir parselde iki farklı ürün dikildiğinde yöntem hatalı sonuçlar vermektedir.

Anahtar kelimeler: Uzaktan algılama, Python, TKGM parsel sınırları, NDVI

Abstract

Wheat and barley are the most important two grains in Türkiye. The wheat and barley farmers are annually funded through agricultural support programs by the Ministry of Agriculture and Forestry based on their declaration. However, control of these farmers' declarations is not possible with classical methods. Therefore, this study aimed to establish a fully automated control system using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) images acquired by Sentinel-2 satellites and official parcel boundaries distributed via the Parcel Inquiry Application by the General Directorate of Land Registry and Cadastre. The results were compared to the ground validation data collected in the Central District of Yozgat Province. The results indicated that although NDVI curves of wheat and barley fields were somewhat changed due to the land use and land cover classes such as scrubs and shrubs, barren areas, unpaved roads, irrigation canals and trees within the parcel boundaries, it didn't impact the accuracy of classification results. However, the method produced inaccurate results when wheat and barley were planted together with other crop types in the same field.

Keywords: Remote sensing, Python, TKGM parcel boundaries, NDVI

1. Giriş

Tarım sektörü, artan dünya nüfusunun gıda talebini karşılamak için tarımsal üretimi sürekli arttırmak zorundadır. Bundan dolayı ülkeler kendi içlerindeki tarımsal üretimi canlandırmak için çiftçilere düzenli olarak finansal destekler vermektedir. Böylece tarım alanındaki finansal desteklerin amacına uygun kullanıldığının kontrolü önem kazanmaktadır.

Son yıllarda birçok tarımsal uygulamalarda uzaktan algılama teknolojisi sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Uzaktan algılama teknolojisinin tarım alanında kullanılmasıyla iş gücü, maliyet ve zaman tasarrufu sağlanarak tarımsal alanların daha etkin biçimde yönetilmesi mümkün olabilmektedir.

Ülkemizde daha önce uydu görüntüleri kullanılarak tarım ürün desenlerinin belirlenmesi, ürün rekolte tahmini ve ürünlerin büyüme evrelerinin takip edilmesi gibi tarım üzerine birçok çalışma yapılmıştır (Weiss vd., 2020). Tarım ürün desenlerinin belirlenmesi üzerine yapılan bir çalışmada IKONOS uydu görüntülerinin kullanılmasıyla Bursa ilinin Karacabey ilçesinde bulunan bir alandaki pirinç, biber, şeker pancarı, buğday ve mısır ürünleri çoklu-çözünürlük segmentasyon yöntemiyle sınıflandırılmıştır (Tavus vd., 2019). Farklı bir çalışmada ise Kahramanmaraş ili Kartalkaya Sol Sahil Sulama Birliği sahasını kapsayan Landsat-8, Spot-5 ve Spot-6 uydu görüntülerinin kullanılmasıyla alandaki mısır, mera, sarımsak, ayçiçeği ve hububat ürünleri kontrollü ve kontrolsüz olarak sınıflandırılmıştır (İspir & Aybek, 2022). Kırklareli ilinde yapılan bir diğer çalışmada ise ayçiçeği ekili alanları kapsayan Sentinel-2A uydu görüntülerinden üretilen Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü (NDVI) indeksinin kullanımıyla zaman serileri oluşturulmuş, sonrasında parsel bazında nesne tabanlı sınıflandırma yöntemiyle erken ve geç ekim olarak iki sınıfa ayrılan ayçiçeği ürünleri sınıflandırılmıştır (Karabulut vd., 2021). Büyüme evrelerin incelenmesi ve ürün rekolte tahmini üzerine yapılan bir çalışmada ise Şanlıurfa'da bulunan Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü'ne (TİGEM) ait alanda buğday ekili parseller için tahmini rekolte hesabı Landsat-8 uydu görüntülerinden üretilen vejetasyon indeksleri kullanılarak hesaplanmış ve buğday ekilen parsellerin fenolojik evreleri incelenmiştir (Kaya & Polat, 2021). Ürün rekolte tahmini üzerine yapılan farklı bir çalışmada ise Malatya ili Battalgazi ve Yeşilyurt ilçelerinde bulunan kayısı bahçelerinin Sentinel-2 uydu görüntülerinden üretilen NDVI indeksinin kullanılmasıyla 2018 ve 2019 yıllarına ait rekolte tahmini yapılmış, mayıs ayındaki NDVI değerlerinin kayısı ürünü için rekolte tahmininde kullanılabileceği tespit edilmiştir (Şentürk, 2020).

Dünya genelinde tarımsal üretimin önemli bir kısmını tahıl üretimi içermektedir. Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (USDA) verilerine göre 2020/2021 üretim döneminde dünya genelindeki tahıl üretimi 2,7 milyar ton olmuştur (United States Department of Agriculture, 2021). Ton cinsinden en çok üretilen 1. tahıl 775 milyon ile buğday ve en çok üretilen 4. tahıl ise 159 milyon ile arpa olmuştur. Bu iki ürünün toplam tahıl üretimindeki payı %34 olmuştur. Türkiye'de ise 2020/2021 üretim dönemi dikkate alındığında, 20,5 milyon ton buğday ve 8,3 milyon ton arpa üretilmiştir. Bu iki ürünün toplam tahıl üretimindeki payı %73 olmuştur ve en çok üretilen tahıllar arasında ilk iki sırada yer almıştır (Türkiye İstatistik Kurumu, 2021a). Aynı dönemde, Türkiye'de en fazla buğday üretimi sırasıyla Konya, Şanlıurfa ve Tekirdağ'da, arpa üretimi de sırasıyla Konya, Ankara ve Afyonkarahisar illerinde gerçekleşmiştir (Eğilmez, 2022; Polat, 2022).

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Türkiye'de çiftçilere sertifikalı tohum desteği, gübre desteği, mazot desteği ve fark ödeme desteği gibi başlıklarla tarımsal destek ödemeleri yapmaktadır (Eğilmez, 2022; Polat, 2022). Tarımsal destekler, tarım sektörünün sürdürülebilirliğini ve kalkınmasını amaçlarken, üretimde verimliliğinin artırılması ve çiftçilerin üretim maliyetlerini düşürmeyi de hedeflemektedir. Destek ödemeleri, çiftçi ürün beyanları temel alınarak çiftçilere yapılmaktadır. 2021 yılı için arpa ve buğday bitkilerinin sertifikalı tohum desteği dekar başına 16 TL, gübre desteği dekar başına 20 TL, mazot desteği dekar başına 22 TL ve fark ödeme desteği kilogram başına 10 TL olmuştur (Eğilmez, 2022; Polat, 2022). Beyan edilen ürün için verilen maddi desteklerin kontrolü çiftçi sayısının fazlalığı, personel eksikliği ve ekim alanların çok büyük bir alana yayılması nedeniyle mümkün değildir.

Ancak, uzaktan algılama uyduları ile toplanan görüntüler kullanılarak tarımsal desteklerin kontrolü daha az iş gücü ve zaman harcanarak sağlanabilir. Örneğin, literatürde Çiftçi Kayıt Sistemi'ne (ÇKS) beyan edilen ürünlerin uydu görüntüleriyle incelenmesi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. IKONOS uydu görüntüleri ile Trabzon ili Akçaabat ilçesi Işıklar Beldesi ve Trabzon ili Merkez ilçesi Bengisu Köyü'nde yapılan bir çalışmada ÇKS sisteminin tutarlılığı incelenmiş ve bazı beyan edilen parsellerin tarımsal amaç dışında kullanıldığı, bazı parsellerde ise tarım ürünü yetiştirilmesine rağmen ÇKS sisteminde kaydedilmediği tespit edilmiştir (İnan & Yomralıoğlu, 2006). Farklı bir çalışmada Denizli ilinde bulunan Çivril-Baklan Ovası'ndaki ÇKS beyanlı parsellerde bulunan her tarım ürünü için Sentinel-2 uydu görüntülerinden üretilen NDVI değerlerinin kullanılmasıyla zaman serileri oluşturulmuş ve uyumsuzluk olduğu belirlenen 16021 adet ÇKS parseli çalışma öncesinde referans verisinden çıkarılmış, sonrasında sınıflandırma işlemi yapılmıştır (Şimşek & Durduran, 2023). Mardin ili Kızıltepe ilçesinde yapılan farklı bir çalışmada ise 2018 yılına ait Sentinel-2 uydu görüntüleri ve ÇKS parsellerinin kullanılmasıyla ürün deseni belirlenmiş, çalışma sonucunda beyan edilen ürünlerin kontrolünün uydu görüntülerinin kullanımı ile mümkün olabileceği ortaya konmuştur (Altun & Türker, 2021). Şanlıurfa ili Harran ilçesinde yapılan başka bir çalışmada ise ÇKS'ye kayıtlı mısır ve pamuk parselleri için yapılan tarımsal destek ödemelerinin kontrolü Landsat TM uydu görüntüleri ile gerçekleştirilmiştir (Aydoğdu vd., 2011).

Ülkemizde tarımsal destek alan çiftçilerin beyanlarının tamamıyla sahada kontrolü geleneksel yöntemlerle mümkün olmaması nedeniyle bahsedilen bu çalışmada uydu görüntüleri ve görüntü işleme teknikleri kullanılarak yanlış ya da eksik beyanda bulunan ÇKS parsellerinin tespit edilebileceği ortaya konmuştur. Çiftçi beyanlarının kontrolünün uydu görüntüleri ile gerçekleştirilebilmesi için çiftçilerin ekim yaptığı alanların sınırları bilinmelidir. Bu sınırlar ÇKS verilerinde bulunmasına rağmen bu veriye erişim mümkün değildir. Ayrıca ÇKS parselleri eksik bilgi ve veri uyumsuzluğu içermesi nedeniyle manuel düzenlemeler yapıldıktan sonra çalışmada kullanılabilmektedir (Altun & Türker, 2021; Şimşek & Durduran, 2023).

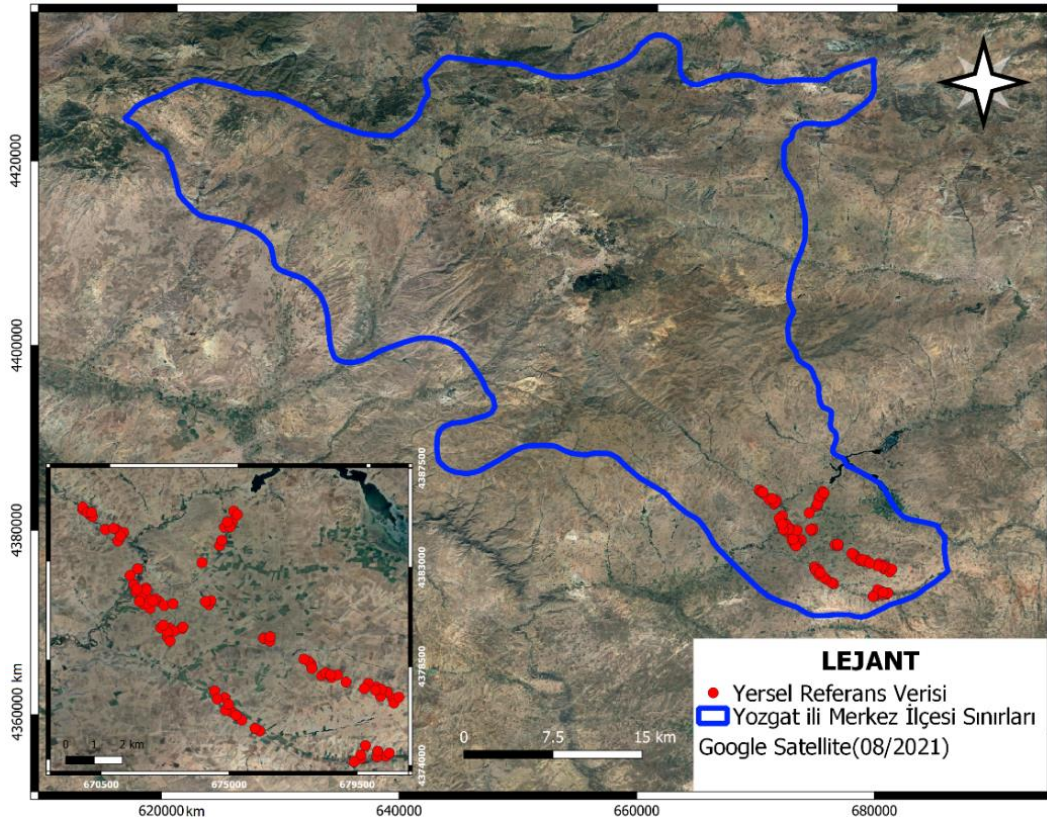
Çiftçi sayısının fazla olması ve geniş tarım alanlarının bulunması nedeniyle arazi çalışmaları yapılarak alan sınırlarının tespit edilebilmesi zamansal olarak mümkün değildir. Segmentasyon yöntemlerinin kullanılmasıyla tarım alanı sınırlarının yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleriyle çıkarımı (Li, 2022) mümkündür fakat bu görüntüler ücretli temin edildiğinden dolayı geniş alanlarda yapılacak çalışmalar için sürdürülebilir değildir. Ücretsiz servis edilen Sentinel-2 uydu görüntülerinin mekânsal çözünürlüğünün düşük olması nedeniyle obje tabanlı segmentasyon sonucunda üretilen parsel sınırlarının bazı alanlarda yetersiz olduğu görülmüştür (Zhang vd., 2021). Yukarıda bahsedilen yöntemlerin yetersiz olmasından dolayı erişime açık ve ücretsiz olan kadastro parsel sınırlarının çiftçi beyan kontrolü için kullanılması maliyet, zaman ve doğruluk açısından daha avantajlı olabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada, Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılarak çiftçilerin arpa ve buğday ürünleri için beyanlarını tam otomatik olarak kontrol eden bir yöntem geliştirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, bu yöntemde kadastro parsel sınırlarının obje olarak kullanılabilirliği test edilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, Yozgat ilinin Merkez ilçesinde, özel bir firma tarafından saha çalışmaları sonucunda toplanmış arpa ve buğday ürünlerini içeren yersel veriler ile doğrulanmıştır. Özetle, çiftçi beyanlarının kontrolünün tam otomatik olarak nasıl gerçekleştirilebileceği ortaya konmuştur.

2. Çalışma alanı, Materyal ve Yöntem

2.1 Çalışma Alanı

Çalışma alanı Yozgat ili Merkez ilçesine bağlı Battal, Bayatören, Osmanpaşa, Özlüce, Sarınınören ve Yudan köylerinde yer alan arpa ve buğday ekili bazı tarım alanlarını kapsamaktadır (Şekil 1). Merkez ilçesinde ton cinsinden en çok yetiştirilen ilk iki tahıl ürünü arpa ve buğdaydır (Türkiye İstatistik Kurumu, 2021b). Köppen – Geiger iklim sınıflandırmasına göre Merkez ilçesinde arpa ve buğday parsellerinin bulunduğu köyler “Bsk” tipi iklime sahiptir (Beck vd., 2018). Kurak iklim alt tipi olan Bsk iklim tipi, yıllık ortalama sıcaklığın 18°C’den küçük olduğu bölgelerde hâkim olan yarı kurak step bir iklimidir. Bu iklim türünde yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve kar yağışlı geçmektedir.

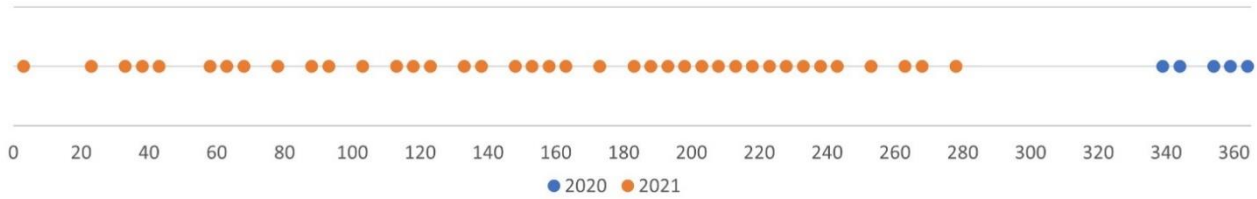


Şekil 1. Çalışma alanı (Merkez, Yozgat, Türkiye)

2.2 Materyal

2.2.1 Uydu görüntüleri

Sentinel-2 uydu misyonu, 5 günde bir yeryüzü gözlemi toplayan iki uydudan oluşmaktadır. Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından yürütülen bu program kapsamında toplanan veriler, Copernicus servisi aracılığıyla ücretsiz olarak kullanıcılara sunulmaktadır. Bu çalışmada, çalışma alanını kapsayan T36SXJ çerçeve numaralı Level-2 Sentinel-2 uydu görüntüleri temin edilmiştir. Görüntü tarihleri, arpa ve buğday bitkilerinin ekim ile hasat tarihleri göz önüne alınarak belirlenmiştir. Yozgat ilinde arpa ve buğday ekimi ekim-kasım aylarında tamamlanırken, ürünlerin hasat edilmesi ise temmuz ayının ikinci haftasına kadar sürmektedir (Yozgat İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 2021). Bu nedenle 4 Aralık 2020 – 5 Ekim 2021 tarihleri arasında, bulutluluk oranı %'90'dan az olan 47 adet görüntü Copernicus Open Access Hub aracılığıyla temin edilmiştir. Görüntülerin tarihsel dağılımı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Çalışma için temin edilen günlerin dağılımı (sayılar yılın gününü ifade etmektedir)

2.2.2 Yersel referans verileri

Çalışma kapsamında kullanılan yersel referans veriler, saha çalışmaları ile veri toplayan özel bir firmadan temin edilmiştir. 2021 yılı mayıs ayının son haftası ile haziran ayının ilk haftası arasında saha çalışmalarında gözlem yapılan parsellerin içine nokta atılarak bilgi toplanmıştır. Her nokta, enlem ve boylam bilgisini, parselin bulunduğu il, ilçe ve mahalle bilgisini, gözlem tarihini ve parsel ekilen ürün bilgisini içermektedir. Ayrıca her nokta verisi kendine özgü bir numara ile veri setinde temsil edilmektedir. Yersel veri setinin içinde toplamda 98 tane nokta verisi bulunmaktadır. Ancak, 5 tane parsel için iki kere nokta atıldığı tespit edilmiştir ve bu noktaların bir tanesi silinmiştir. Bundan dolayı, bu çalışmada 39 adet arpa ve 54 adet buğday olmak üzere toplamda 93 adet nokta verisi kullanılmıştır.

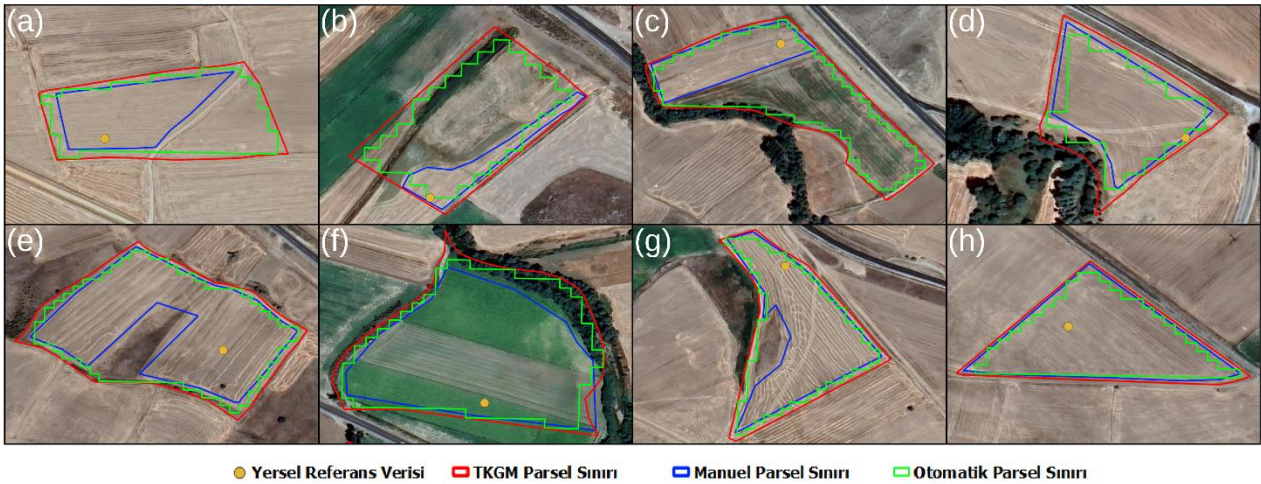
2.2.3 Parsel sınırları

Yersel referans verileri nokta formatında toplandığından dolayı analiz yapılabilmesi için parsellerin sınırlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Uydu görüntüsü kullanılarak bu parsel sınırlarının bir operatör tarafından elle çizilmesi çok zaman alıcı ve sürdürülebilir bir yöntem değildir. Ayrıca, bu yöntemde operatörün parsel sınırlarını hatalı belirleme riski de bulunmaktadır. Ancak, yersel referans verilerinin coğrafi koordinatları kullanılarak kesiştiği parselin sınırları Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) parsel sorgu uygulaması ile temin edilmesi mümkündür. Bu yöntem ile çok kısa bir zamanda tüm parsellerin sınırları TKGM parsel sorgu sitesinden (<https://parselsorgu.tkgm.gov.tr/>) otomatik olarak indirilebilir. Bu çalışma kapsamında, yersel referans verilerinin coğrafi koordinatları kullanılarak yapılan parsel sorgu işlemleri sonucunda toplam 93 adet kadastro parseli poligon formatında vektör verisi olarak indirilmiştir.

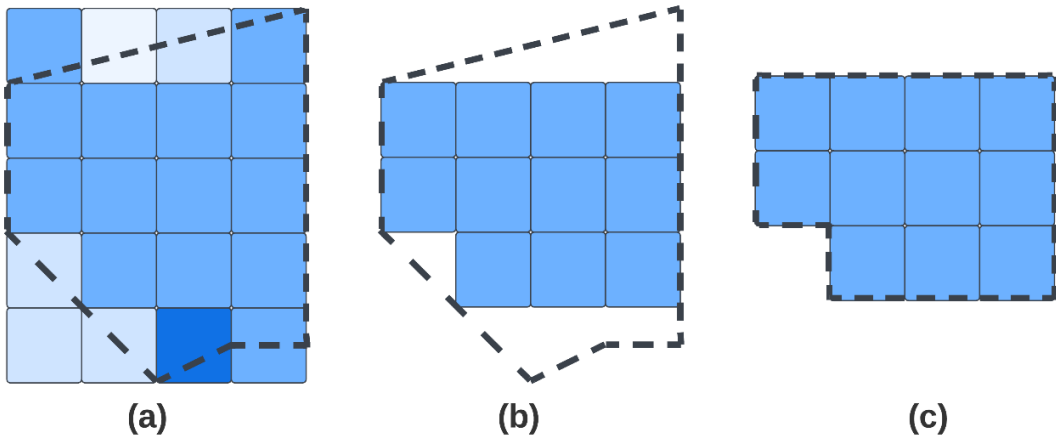
Parsel sınırları, mülkiyet sınırlarını temsil eden poligon formatında olan vektör verilerdir. Parsel sınırları içerisindeki alanlar, tarım dışında farklı amaçlar için kullanılabilir. Örneğin, tarım amacıyla kullanılan parselin sınırları içinde traktör yolu, su kanalı, kulübe gibi yapılar olabilmektedir. Ayrıca, Türkiye'de çiftçiler tüm parseli yayılacak şekilde ekim yapmayabilirler ya da parseli parçalara ayırarak birden fazla ürün ekimi yapabilirler (Yaşar & Yağcı, 2023). Ek olarak, parsel sınırlarının daha belirgin olması amacıyla Türkiye'de parseller arasında ağaç ve çalılık dikimi veya duvar ve çit örülmesi yaygın bir uygulamadır. Bu nedenlerden dolayı parsel sorgudan indirilen parsel sınırları tarım ürünü dışındaki ağaç, çalılık, yol, bina, duvar, çit ve su kanalı gibi farklı arazi kullanımı ve arazi örtüsü sınıflarının sinyallerini içerebileceği için yapılan analizlerin sonuçlarını etkilememesi adına sınırların düzenlenmesi gerekebilir. TKGM parsel sorgu uygulamasından indirilen kadastro parselleri Sentinel-2 NDVI ve Google Earth uydu görüntüleri yardımıyla görsel olarak incelendiğinde yukarıda bahsedilen durumlar tespit edilmiştir. Örneğin, Şekil 3a'da bulunan 11 numaralı parselin tam ortasından yol geçtiği ve parseli ikiye ayırdığı, Şekil 3b'de bulunan 63 numaralı parselin içinde ekili olmayan büyük bir çorak alan olduğu, Şekil 3c'de bulunan 101 numaralı parsel bölünerek iki parçaya ayrıldığı ve her parçada farklı ürünler yetiştirildiği görülmektedir. Ayrıca, bu parselin güney sınırlarında ağaçlar da bulunmaktadır.

Benzer şekilde, Şekil 3d’de bulunan 105 numaralı parcel sınırları içinde ağaçlar olduğu, Şekil 3e’de bulunan 109 numaralı parcelin orta kısmında ekim yapılmayan çukur bir bölgenin olduğu, Şekil 3f’de bulunan 119 numaralı parcel sınırları içinde hem su kanalı hem de ağaçlar bulunduğu, Şekil 3g’de bulunan 133 numaralı parcelin bir kısmında ekim yapılmayan çorak bir bölgenin olduğu ve Şekil 3h’de bulunan 156 numaralı parcel sınırından toprak yol geçtiği görülmektedir.

Parcel içindeki tarım dışı alanların modele ve NDVI zaman serilerine etkisini araştırmak amacıyla kadastro parcel sınırları ile ilk aşamada tarım dışı alanlar dışarıda kalacak şekilde elle düzenlenmiştir. Elle düzenlenmiş parcel sınırları, NDVI ve Google Earth uydu görüntüleri yardımıyla çizilmiştir. İkinci aşamada, parcel sınırı ile çakışan Sentinel-2 10 m çözünürlüğündeki pikselleri %100 olarak içermeyen kısımların çıkarıldıktan sonra oluşan alanın sınırları, parcel sınırı olarak alınmıştır (Şekil 4). Çalışma kapsamında, bu sınırlar otomatik düzenlenmiş parcel sınırları olarak isimlendirilmiştir ve Python dilinde geliştirilen bir program ile kullanıcının herhangi bir elle müdahalesi olmadan oluşturulabilmektedir. Bu program, TKGM Parcel Sorgu sitesinden indirilen parcel sınırları ve herhangi bir tarihli Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanarak yeni bir sınır verisi oluşturmaktadır (Şekil 4). Programda öncelikle parcel sınırlarıyla örtüşen pikseller görüntüden kesilmektedir. Sonrasında bu piksellerin alanları tek tek hesaplanmaktadır. Eğer piksel alansal olarak tamamiyle parcel sınırları içinde bulunmuyorsa görüntüden çıkarılmaktadır. Son aşamada ise, parcel sınırlarıyla örtüşen ve alansal olarak tamamiyle parcel sınırları içerisinde bulunan bu pikseller kullanılarak parcel sınırı tekrardan çizilmektedir. Bu yöntemin aşamalarının örnek gösterimi Şekil 4’te verilmiştir. İlk olarak, parcel sınırıyla örtüşen tüm pikseller kesilmektedir (Şekil 4a). İkinci olarak, alansal olarak tamamiyle parcel sınırları içerisinde yer almayan pikseller çıkarılmaktadır (Şekil 4b). En son aşamada, geriye kalan piksellerden parcel sınırı oluşturulmaktadır (Şekil 4c). Burada, parcelin sınır bölgesinde bulunan karışık piksellerin NDVI zaman serilerine olan etkisini azaltmak amaçlanmıştır. Özetle, bu çalışmada TKGM’den indirilen parcel sınırları (TKGM), elle çizilen parcel sınırları (manuel) ve otomatik olarak yeniden düzenlenen TKGM parcel sınırları (otomatik) olmak üzere 3 çeşit parcel sınırı kullanılmıştır.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan veri setlerinin Google Earth uydu görüntüsü üzerinde gösterimi



Şekil 4. Tarla parcel sınırlarından otomatik olarak yeni parcel sınırı oluşturma aşamaları

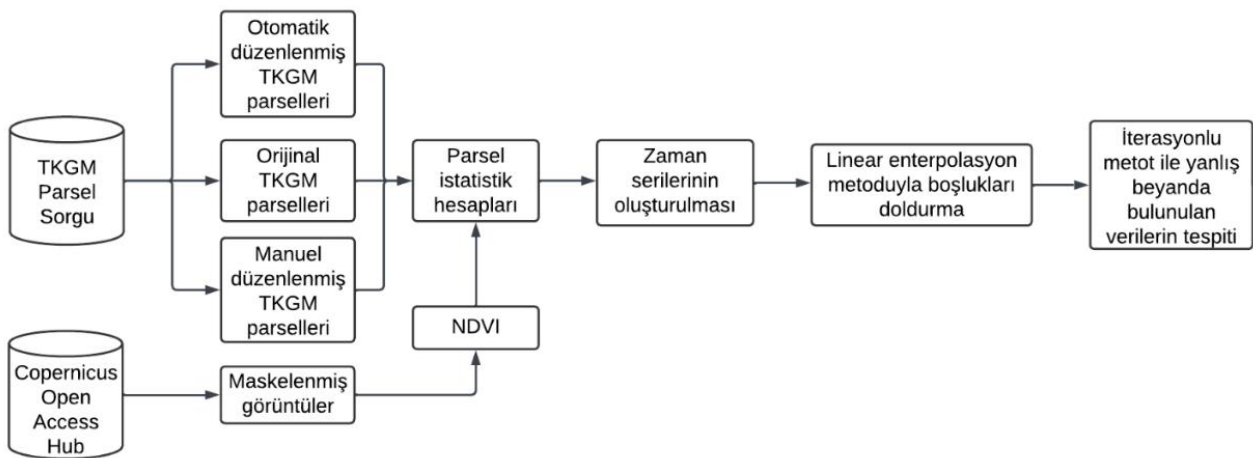
2.3 Yöntem

Bu çalışmada zamansal çözünürlüğü arttırmak adına %90'dan az bulutlu tüm Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Bundan dolayı, görüntülerindeki bulutlu kısımların analizi etkilememesi için hesaplamalardan çıkarılması gerekmektedir. Çalışma kapsamında NDVI bitki indeksi kullanılacağı için kırmızı (4.) ve yakın kızılötesi (8.) bantlardan sınıflandırma katmanı kullanılarak bitki örtüsü ve çıplak arazi dışındaki tüm pikseller maskelenmiştir. Böylelikle bulutlu, bulut gölgeli ve kar veya buz olarak işaretlenmiş pikseller analizden çıkarılmıştır. Daha sonra maskelenmiş 4. ve 8. bantlar kullanılarak her görüntü için NDVI verisi üretilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında TKGM, manuel ve otomatik düzenlenmiş parsel sınırları kullanılarak 47 adet NDVI görüntüsünden her parsel için NDVI zaman serileri oluşturulmuştur. Ancak hem bulut maskeleymesi hem de çalışma zamanı (4 Aralık 2020 – 5 Ekim 2021) içinde bulutluluk oranı %90'dan fazla olan uydu görüntüleri kullanılmadığı için zaman serilerinde boşluklar bulunmaktadır. Bundan dolayı, parsel zaman serileri her 5 günde bir NDVI değeri olacak şekilde lineer enterpolasyon yöntemiyle doldurulmuştur.

Çalışmanın son aşamasında ise hatalı etiketlenen arpa ve buğday parselleri, NDVI zaman serilerinin iteratif olarak karşılaştırılması ile bulunmuştur. İterasyonlu metot, parselin NDVI zaman serisi ile ortalama ürün NDVI zaman serisi arasındaki Pearson korelasyon katsayısı (r) ve ortalama en yakın mesafe (d) hesabına dayanmaktadır (Yaşar & Yağcı, 2023). Bu metotta, iterasyonun ne zaman biteceğini belirlemek için r ve d için eşik değerler kullanılmaktadır. Her iterasyonda, ilgili ürünün ortalama NDVI eğrisine göre en küçük r değerini alan parsel veri setinden çıkarılmaktadır. Benzer şekilde, ilgili ürünün ortalama NDVI eğrisine göre en büyük d değeri alan parsel veri setinden çıkarılmaktadır. Örneğin, ilk aşamada, arpa parsellerinden ortalama arpa NDVI eğrisi oluşturulmaktadır. İlk iterasyonda her arpa parselinin NDVI eğrisi ile ortalama NDVI eğrisi arasındaki r değeri hesaplanır ve en düşük r değerine sahip olan parsel veri setinden çıkarılmaktadır. İkinci iterasyona geçmeden, geriye kalan arpa parsellerinden tekrar ortalama NDVI eğrisi oluşturulmaktadır. İkinci iterasyonda, her parsel ile ortalama NDVI eğrisi arasındaki r değerleri tekrar hesaplanmaktadır ve en düşük r değerini alan parsel veri setinden çıkarılmaktadır. Eğer eşik değerinin altında r değeri kalmayınca iterasyon r değeri için bitirilmektedir. Daha sonra, benzer şekilde d değeri için de iterasyon yapılmaktadır. Bu iterasyonda, ortalama arpa NDVI eğrisine göre en büyük d değeri alan parseller çıkarılmaktadır. Her iki iterasyonda veri setinden atılmayan parseller gerçek arpa parselleri olarak değerlendirilmektedir. Aynı iki iterasyon, buğday parselleri içinde yapılmaktadır. Bu eşik değerler, r ve d için sırasıyla 0,60 ve 0,02 olarak belirlenmiştir (Yaşar & Yağcı, 2023).

Uydu görüntülerinin temin edilme aşaması dışındaki tüm aşamalar, Python programlama dili üzerinde yazılan programlar ve ücretsiz kütüphaneler ile gerçekleştirilmiştir. Görüntülerin maskelenmesi ve NDVI bantlarının üretilmesi aşamalarında Numpy (Harris vd., 2020) ve Rasterio (Gillies, 2013) kütüphaneleri kullanılmıştır. Toplamda 47 dakikada (47 görüntü x 1 dakika) tüm görüntüler için maskeleyme ve NDVI hesabı işlemi tamamlanmıştır. Şekil 4'te verilen yöntem ile otomatik düzenlenmiş kadastral parsel sınırlarının üretilmesi aşamasında, Rasterio, Shapely (Gillies vd., 2022), Geopandas (Jordahl vd., 2022) ve Numpy kütüphaneleri kullanılarak yazılan program ile tamamlanmıştır. NDVI bantları kullanılarak parsel ortalama değerlerinin çıkarılma işlemi Rasterstats (Perry, 2015) kütüphanesinde, zaman serilerinin oluşturulması ve enterpolasyon metoduyla doldurulması ise Pandas (The Pandas Development Team, 2023) kütüphanesinde yapılmıştır. İterasyonlu metot ile r ve d değerlerinin hesaplanması ve eşik değerler kullanılarak parsellerin elenmesi, Numpy, Pandas ve SciPy (Virtanen vd., 2021) kütüphaneleri kullanılarak yapılmıştır. Çalışmanın iş akışı Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Çalışmanın iş akışı

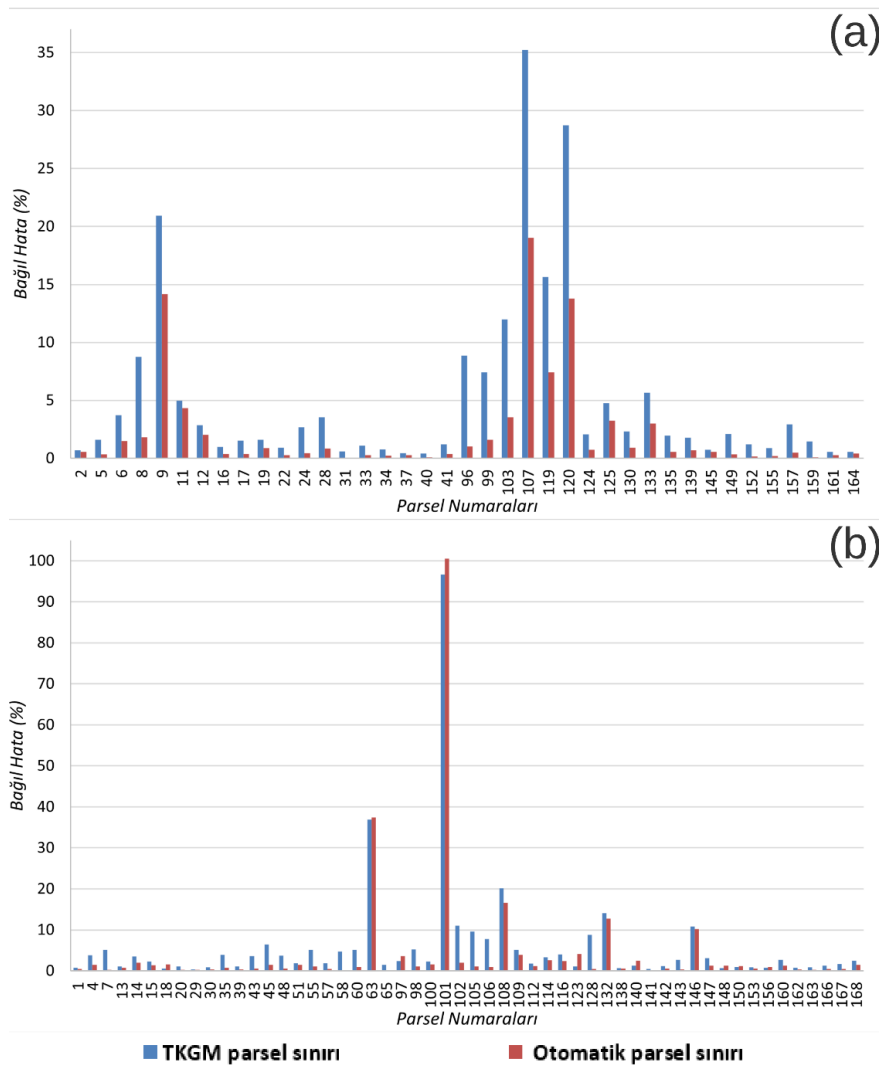
3. Bulgular

Çalışma kapsamında elde edilen bulgular iki başlık altında anlatılmıştır. İlk bölümde, elle çizilen parcel sınırlarından oluşturulan NDVI zaman serileri diğer iki parcel sınırlarından elde edilen NDVI zaman serileri ile karşılaştırılmıştır. İkinci bölümde, yöntem ile 3 farklı NDVI zaman serilerinden elde edilen sonuçlar ortaya koyulmuş ve parcel sınırlarının yöntemin doğruluğuna etkisi araştırılmıştır.

3.1 NDVI zaman serilerindeki değişim

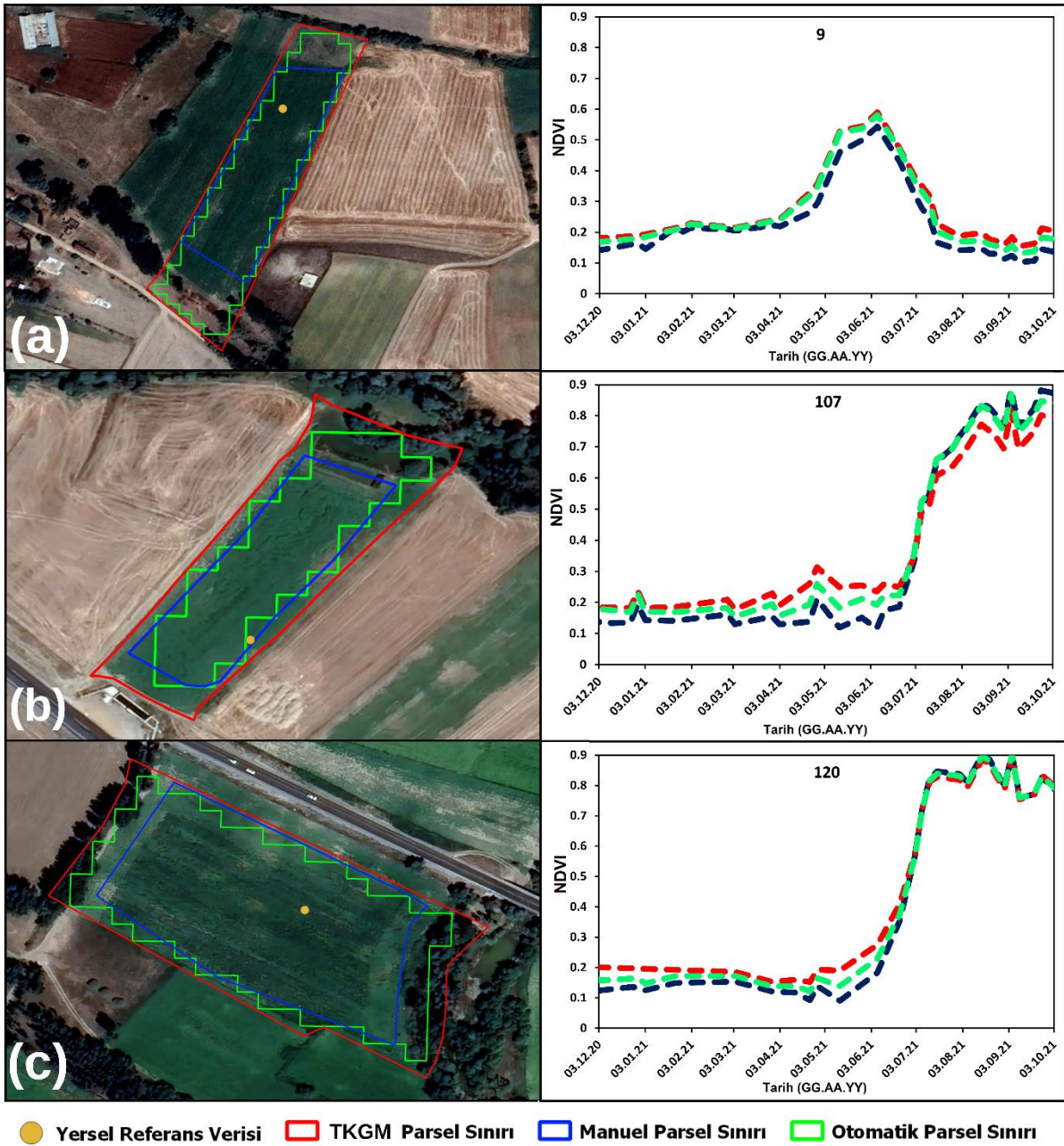
Çalışma kapsamında 39'u arpa ve 54'ü buğday ekili olduğu belirtilen toplam 93 adet parcel için TKGM, manuel ve otomatik parcel sınırları kullanılarak 3 adet NDVI zaman serileri oluşturulmuştur. Daha sonra, TKGM ve otomatik parcel sınırlarından elde edilen NDVI zaman serileri, manuel parcel sınırlarından elde edilen NDVI zaman serileri ile karşılaştırılmıştır ve her parcel için bağıl hata hesabı denklem (1) kullanılarak hesaplanmıştır. Denklemde gerçek değer, manuel parcel sınırlarına göre elde edilen NDVI zaman serileri olurken, gözlenen değer ise otomatik veya TKGM parcel sınırlarına göre elde edilen NDVI zaman serileri olmuştur. Manuel parcel sınırlarının gerçek değer seçilmesinin nedeni, sınırların elle ve hassas biçimde tekrardan çizilerek oluşturulmasından dolayıdır. Her arpa ve buğday parceli için elde edilen bağıl hatalar sırasıyla Şekil 6a ve Şekil 6b'de verilmiştir.

$$\text{Bağıl Hata} = \left| \frac{\text{NDVI}_{\text{TKGM/OTOMATİK}} - \text{NDVI}_{\text{MANUEL}}}{\text{NDVI}_{\text{MANUEL}}} \right| \times 100 \quad (1)$$



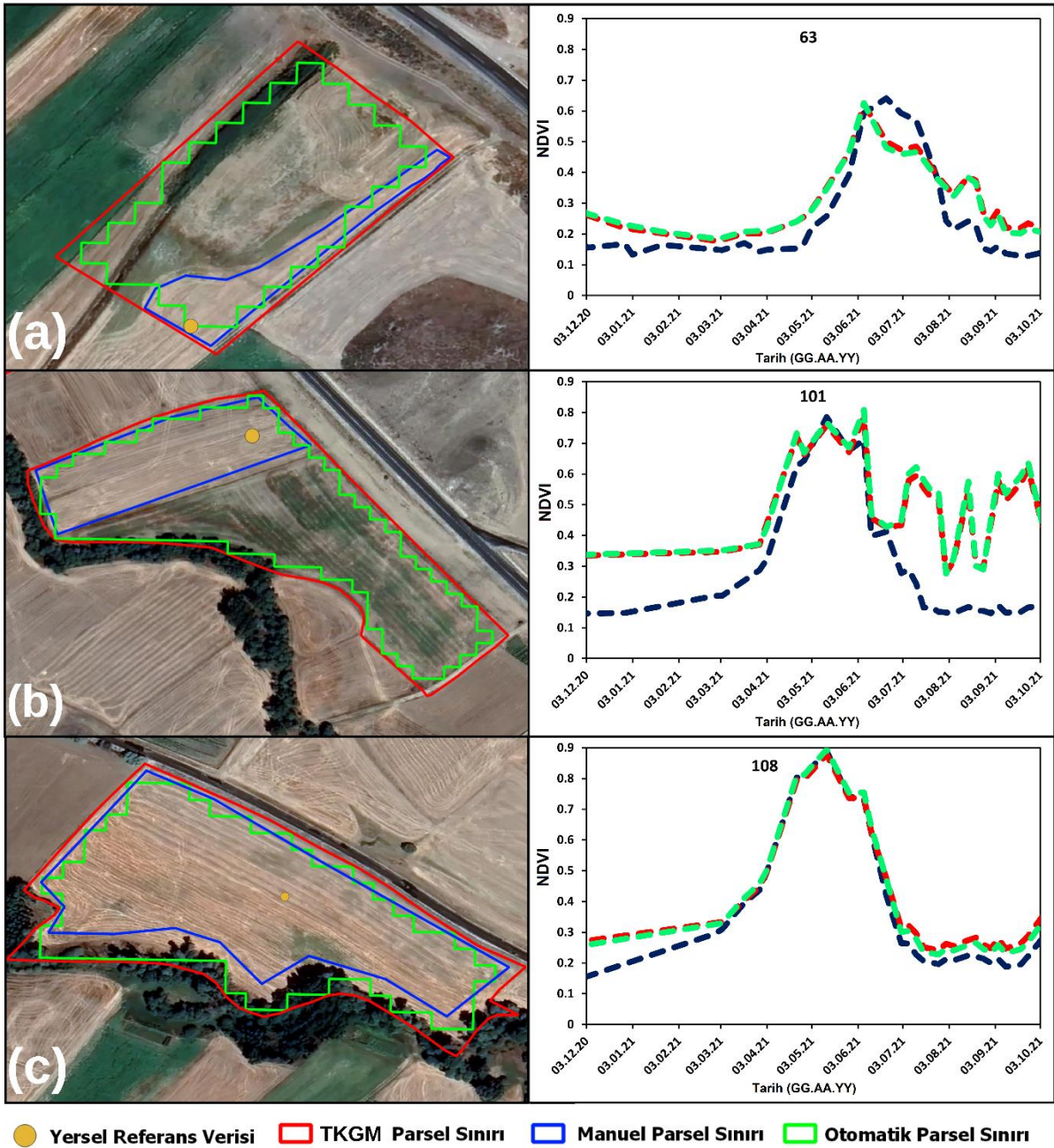
Şekil 6. Referans veride arpa (a) ve buğday (b) olarak etiketlenen parsellerde elde edilen bağıl hatalar

Şekil 6a’da arpa ekildiği belirtilen parsellerin zaman serileri incelendiğinde, 9, 107 ve 120 numaralı parsellerin diğer arpa parsellerine göre daha yüksek bağıl hataya sahip olduğu görülmüştür. Bu parsellerin bağıl hataları incelendiğinde, TKGM parcel sınırlarına göre sırasıyla %20, %35 ve %28, otomatik parcel sınırlarına göre sırasıyla %14, %19 ve %13 olmuştur. Geriye kalan 36 parseldeki değişim oranı %15’i aşmamıştır. Çoğunluk olarak arpa parselleri arasında çok küçük farklar mevcuttur. Parseller ayrıntılı olarak incelendiğinde, 9 numaralı parselin bazı alanlarına ekim yapılmadığı (Şekil 7a), 107 numaralı parselin sınırları içerisinde ağaçlar olduğu ve bir kısmına ise ekim yapılmadığı (Şekil 7b) ve 120 numaralı parselin sınırları içerisinde de ağaçlar olduğu (Şekil 7c) görülmüştür. Buna göre zaman serileri arasındaki en büyük farkı yaratan nedenin ağaçlar görülmüştür. Otomatik çizilen parcel sınırından elde edilen NDVI zaman serilerinde bağıl hata oranı TKGM parcel sınırından elde edilen NDVI zaman serilerine göre daha düşüktür. Bağıl hata dışında, tüm parsellerin zaman serileri görsel olarak incelendiğinde zaman serileri arasında çok büyük değişiklik görünmemektedir. Özetle, arpa olarak etiketlenen parsellerin NDVI zaman serilerinde TKGM parcel sınırı kullanıldığında %35’e varan ve otomatik üretilen sınırlar kullanıldığında ise %19’a varan değişim oluşmuştur.



Şekil 7. 9, 107 ve 120 numaralı parsellerin NDVI zaman serileri ve Google Earth uydu görüntüsü üzerinde gösterimi

Şekil 6b’de buğday ekildiği belirtilen parsellerin zaman serileri incelendiğinde, diğer parsellere göre 63, 101 ve 108 numaralı parsellerin en yüksek bağıl hataya sahip parseller olduğu tespit edilmiştir. Bu parsellerin bağıl hataları incelendiğinde, TKGM parcel sınırlarına göre sırasıyla %36, %96 ve %20, otomatik parcel sınırlarına göre sırasıyla %37, %100 ve %16 olmuştur. Geriye kalan 51 parseldeki değişim oranı %15’i aşmamıştır. Parseller ayrıntılı olarak incelendiğinde, 63 numaralı parselin büyük bir bölümüne (yaklaşık %80) ekim yapılmadığı (Şekil 8a), 101 numaralı parselin farklı kullanım amacıyla ikiye bölündüğü ve farklı çeşitlerde ürünler yetiştirildiği (Şekil 8b) ve 108 numaralı parselin sınırlarında sıralı ağaçlar olduğu (Şekil 8c) görülmüştür. 101 numaralı parsel hariç, otomatik parcel sınırına göre hesaplanan bağıl hata, TKGM parcel sınırına göre hesaplanan bağıl hatadan daha düşük çıktığı görülmüştür. Bağıl hata dışında, tüm parsellerin zaman serileri görsel olarak incelendiğinde 101 numaralı parsel hariç zaman serileri arasında çok büyük değişiklik görünmemektedir. 101 numaralı parseldeki büyük değişikliğin nedeni parselin ikiye bölünerek iki farklı tarım ürünü dikilmesidir. Özetle, 101 numaralı parsel dikkate alınmadığında, buğday olarak etiketlenen parsellerin NDVI zaman serilerinde, TKGM parcel sınırı kullanıldığında %35’e varan ve otomatik üretilen sınırlar kullanıldığında ise %36’a varan değişim oluşmuştur.



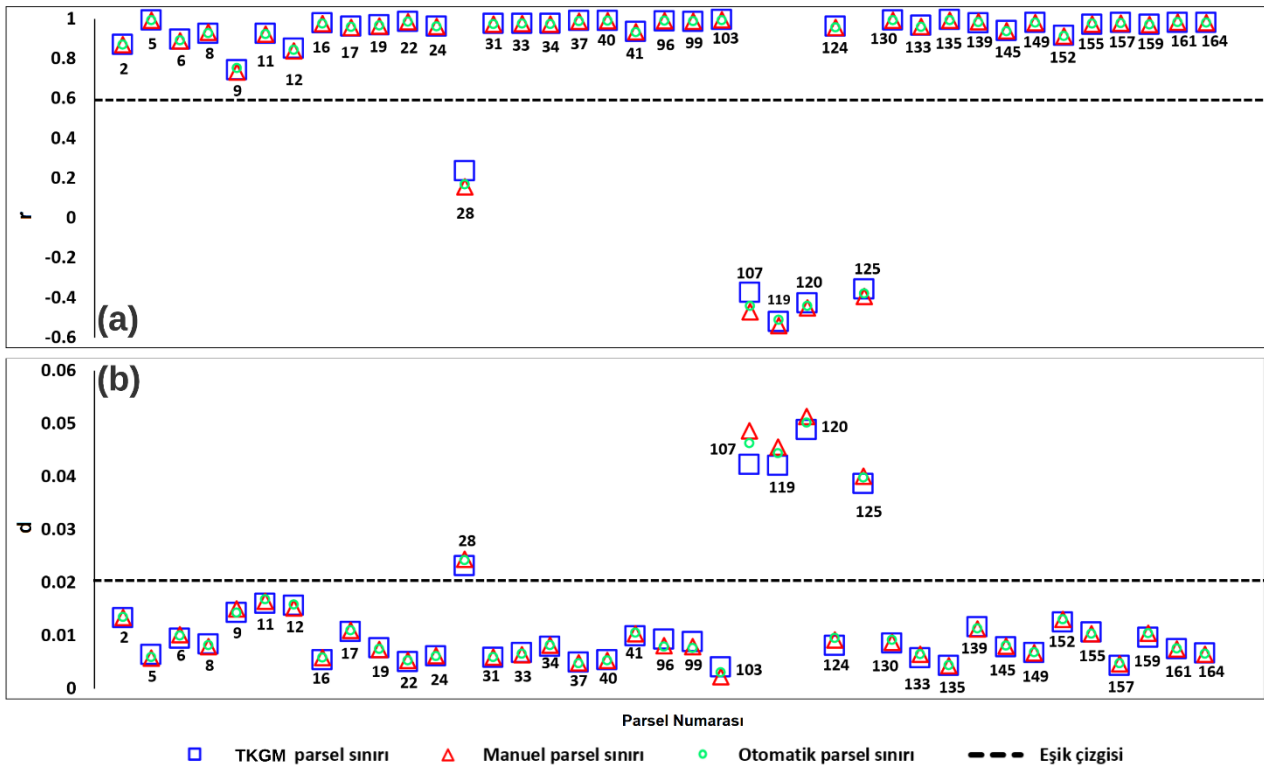
Şekil 8. 63, 101 ve 108 numaralı parsellerin NDVI zaman serileri ve Google Earth uydü görüntüsü üzerinde gösterimi

3.2 Model sonuçlarının karşılaştırılması

Çalışma kapsamında, 3 çeşit parcel sınırları kullanılarak oluşturulan parcel NDVI zaman serilerinden referans veride hatalı olarak etiketlenen arpa ve buğday parseller iterasyonlu yöntem ile bulunmuştur. Her bir parcelin r ve d değerleri ortalama arpa (Şekil 9) ve buğday (Şekil 10) NDVI eğrisine göre bulunmuştur. Bu çalışmada, r ve d için sırasıyla 0.6 ve 0.02 eşik değerleri kullanılmıştır (Yaşar & Yağcı, 2023).

Bir önceki yapılan çalışmada, 107, 119, 120 ve 125 numaralı parseller referans veride arpa ve 4, 35, 43, 45, 48, 51, 55, 57, 58, 60, 63, 65, 102, 112, 114 ve 123 numaralı parseller referans veride buğday olarak etiketlenmesine rağmen NDVI zaman serilerine bakıldığında gerçekte arpa ve buğday ekilmediği belirlenmiştir (Yaşar & Yağcı, 2023). Sonuçlara göre, bu parsellere ya hiçbir ekim yapılmadığı ya da kış döneminin pas geçilerek yaz ürünleri dikildiği belirlenmiştir (Yaşar & Yağcı, 2023).

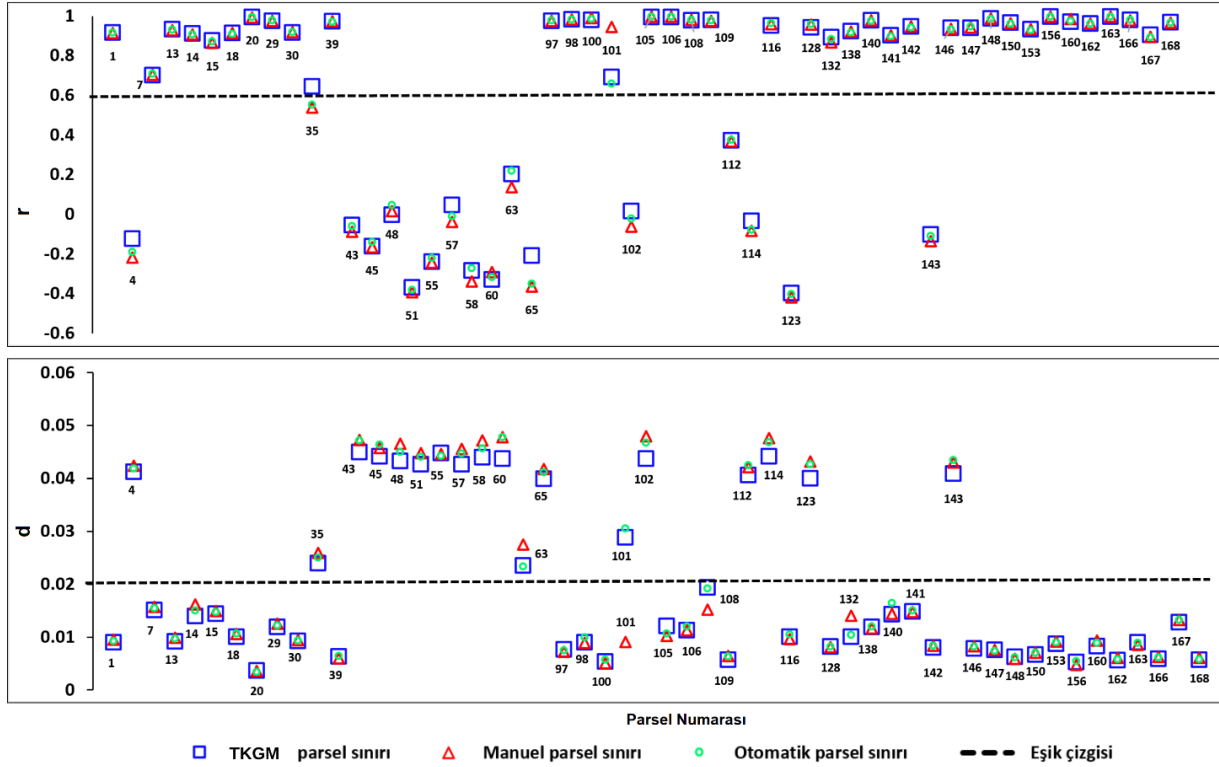
Arpa olarak etiketlenen parsellerin sonuçlarına göre, TKGM, otomatik ve manuel parcel sınırları kullanılarak elde edilen NDVI zaman serileri iterasyonlu yöntem ile kullanıldığında aynı sonuçları verdiği görülmüştür (Şekil 9). Tüm sonuçlarda, 107, 119, 120 ve 125 numaralı parsellerin başarılı bir şekilde arpa olmadığı belirtilmiştir ve hatalı arpa olarak tespit edilen parsellerin r değeri 0,60'tan düşük, d değeri ise 0,02'den yüksek çıkmıştır. TKGM parcel sınırlarının elle veya otomatik bir şekilde düzeltilerek ekim yapılmayan yerlerin veya sınırdaki karışık piksellerin çıkarılması, iterasyonlu yöntemde r ve d değerlerinde küçük oynamalara neden olmasına rağmen sonuçlara bir etkisi olmamıştır. Özetle, parcel sınırlarının seçiminin sonuçlara herhangi bir etkisi olmadığı görülmüştür.



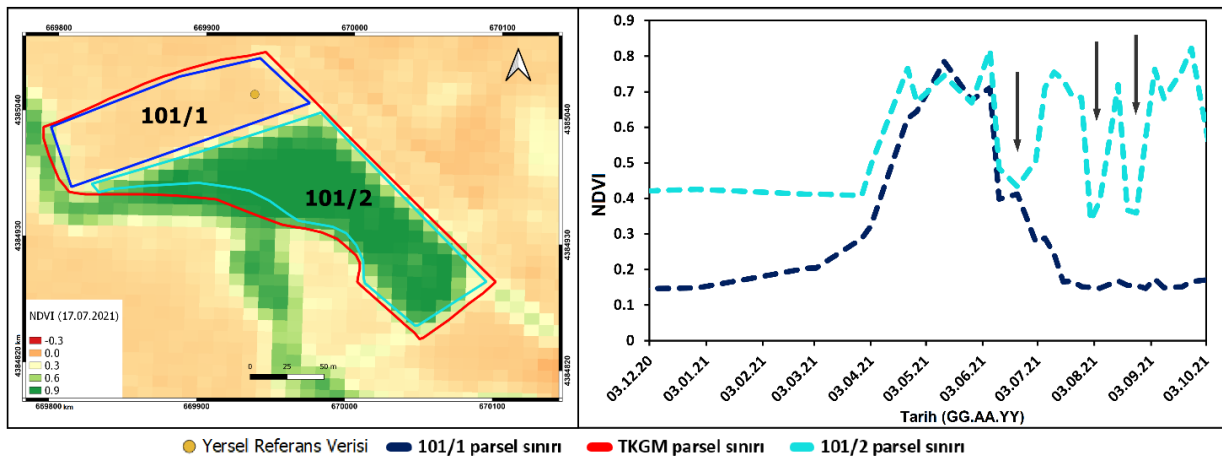
Şekil 9. Arpa olarak belirtilen parsellerin veri türüne göre korelasyon katsayısı (r) (a) ve ortalama yakın mesafe (d) (b) değerleri

Buğday olarak etiketlenen parsellerin sonuçlarına göre, TKGM, otomatik ve manuel parcel sınırları kullanılarak elde edilen NDVI zaman serileri iterasyonlu yöntem ile kullanıldığında 101 numaralı parcel hariç aynı sonuçları verdiği görülmüştür (Şekil 10). TKGM ve otomatik parcel sınırlarında elde edilen NDVI zaman serileri iterasyonlu yöntemde kullanıldığında 4, 35, 43, 45, 48, 51, 55, 57, 58, 60, 63, 65, 101, 102, 112, 114, 123 ve 143 numaralı parseller hatalı buğday olarak tespit edilmiştir. Manuel parcel sınırlarından elde edilen sonuçlarda ise 101 numaralı parselde buğday ekildiği, diğer parsellerde ise ekili olmadığı belirtilmiştir. 101 numaralı parcel hariç, parcel sınırlarının düzeltilmesi iterasyonlu yöntemde elde edilen r ve d değerleri arasında küçük farklar yaratmasına rağmen sonuçları etkilememiştir. İterasyonlu yöntemde hangi parcel sınırları kullanılırsa kullanılsın 92 parselde aynı sonuçları vermesine rağmen 101 numaralı olarak belirtilen bir tane parselde sonuçların birbiri ile uyuşmadığı görülmüştür. Bu parsel, çalışmada kullanılan bütün parcel sınırları ile 17 Temmuz 2021 tarihli NDVI görüntüsü karşılaştırılarak görsel olarak incelenmiştir (Şekil 11).

Ayrıca, çalışmada kullanılan bütün parsel sınırlarının, Ağustos 2021 tarihindeki Google doğal renkli kompozit görüntüsü de incelenmiştir (Şekil 8b). Bu iki şekle göre, parselin ikiye ayrılarak her bölümüne farklı bir ürün ekildiği görülmüştür. Bu iki bölüm 101/1 ve 101/2 adlandırılarak bölümlerin NDVI zaman serileri oluşturulmuştur (Şekil 11). 101/1 olarak adlandırılan bölümün parsel sınırları 101 numaralı parselin manuel sınırı ile aynıdır. Daha sonra, bu NDVI zaman serileri ile ortalama buğday NDVI zaman serisi arasında r ve d değerleri hesaplanmıştır. 101/1 numaralı bölümün r değeri (0.93) 0.6 eşik değerinden yüksek, d değerinin ise (0.007) 0.02 eşik değerden düşük olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara 101 numaralı parselin bu bölümünde buğday ekildiği tespit edilmiştir. Buna nazaran, 101/2 numaralı bölümün r değeri (0.41) 0.6 eşik değerinden düşük, d değerinin ise (0.035) eşik değerden yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca 101/2 numaralı bölümün zaman serileri incelendiğinde Şekil 11’de okla gösterilen bölgelerden 3 kez hasat edildiği görülmüştür. Bir büyüme evresinde yonca gibi yem bitkileri birden fazla hasat edildiği için bu bölüme yem bitkisi dikildiği düşünülmektedir.



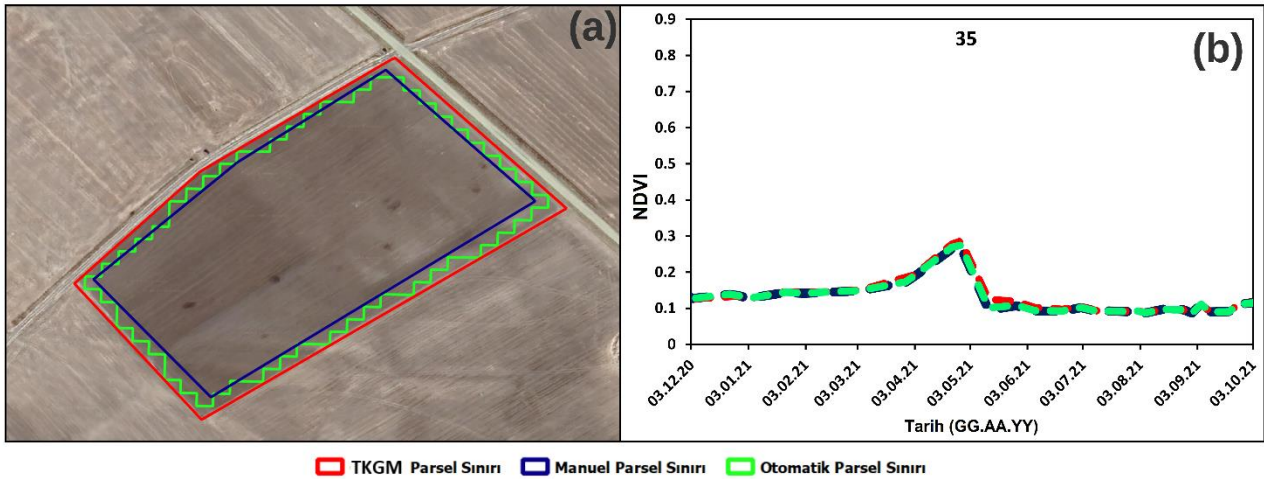
Şekil 10. Buğday olarak belirtilen parsellerin veri türüne göre korelasyon katsayısı (r) (a) ve ortalama en yakın mesafe (d) (b) değerleri



Şekil 11. 101 numaralı parselin 17 Temmuz 2021 Sentinel-2 NDVI görüntüsü ile gösterilmesi (solda) ve 101/1 ve 101/2 alanların NDVI zaman serileri (sağda)

4. Tartışma

Referans verinin doğruluğunu iterasyonlu yöntem ile araştırırken iki tane (r ve d) istatistik değerinin kullanılması önemlidir. Örneğin, referans veride buğday ekili olduğu belirtilen 35 numaralı parsel için hesaplanan r değeri, otomatik ve manuel parsel sınırlarına göre eşik değerinin altında kalmış fakat TKGM parsel sınırına göre eşik değerinin üstünde değer almıştır (Şekil 10). Bu parsel için hesaplanan d değerlerinin üç veri seti için de eşik değerden yüksek çıktığı görülmüştür (Şekil 10). Şekil 12b’de verilen NDVI zaman serisi incelendiğinde, 35 numaralı parselin Mayıs ayının ilk haftasında otlarının kesilerek nadasa bırakıldığı görülmektedir. Referans veride buğday ekildiği belirtilen bu parsel, buğday olarak kabul edilebilmesi için hem r değerinin 0.6’dan yüksek hem de d değerinin 0.02’den düşük olması gerekmektedir. Bundan dolayı bu parsel, üç veri seti için ayrı ayrı yapılan iterasyonlu değerlendirme sonrasında hatalı beyan edilen parsel olarak etiketlenmiştir. Eğer sadece r karar vermede kullanılsaydı iterasyonlu metot ile hatalı olarak 35 numaralı parselde buğday ekimi yapıldığı sonucunu verecektir.



Şekil 12. 35 numaralı parselin sınırları ve NDVI zaman serileri

Ayrıca çalışma kapsamında her parsel için hesaplanan bağıl hata hesapları sonucunda arpa parselleri arasında en yüksek 3. bağıl hataya sahip olan 9 numaralı parsel, iterasyonlu yöntem sonrasında güvenilir parsel olarak bulunmuştur. Şekil 7a’da 9 numaralı parselin sınırları incelendiğinde, parselin bir bölümünde ekilmeyen çorak aralar olduğu görülmüştür. Ekim yapılmayan alanlardan dolayı parselin bağıl hatası yüksek çıkmıştır. Ancak bağıl hatanın yüksek çıkması, parselin yanlış beyan edildiğini göstermemektedir. Şekil 7a’da verilen NDVI zaman serileri incelendiğinde, manuel parsel sınırına göre hesaplanan zaman serisi ile diğer iki parsel sınırına göre hesaplanan zaman serisinin benzer eğilimde olduğu görülmüştür. Buğday parselleri arasında ise en yüksek 3. bağıl hataya sahip olan 108 numaralı parsel de iterasyonlu yöntem sonrasında güvenilir parsel olarak bulunmuştur. Şekil 8c’de parselin sınırları incelendiğinde, parsel sınırları boyunca ağaçlar olduğu görülmüştür. Ayrıca parselin zaman serileri, üç veri seti için de benzer eğilim göstermiştir. Özetle, bağıl hatası çok yüksek çıkmasına rağmen bu parseller iterasyonlu yöntem sonucunda güvenilir parsel olarak belirlenmiştir.

Kutupsal yörüngeli Sentinel-2 ve Landsat gibi uydu misyonlarının artması ile dünya üzerindeki uydu görüntüsü toplanma sıklığı artmıştır. Bununla birlikte çok zamanlı uydu görüntülerinden tarım ürünlerinin belirlenmesinde mekânsal bilgi yerine tek başına bitki indeksi zaman serileri tercih edildiği görülmüştür. Örneğin, aynı çalışma alanında yersel referans tarım ürün deseni verilerinin doğruluğu çok zamanlı Sentinel-2 NDVI zaman serileri ile belirlenmiştir (Yaşar & Yağcı, 2023). Benzer bir çalışmada, tarım ürünlerinin fenolojik evreleri ve yeryüzünün topografik özellikleri, Sentinel-2-tabanlı NDVI zaman serileriyle beraber kullanılarak çeşitli tarım ürünlerinin deseni bulunmuştur (Luo vd., 2023). Aynı şekilde, Sentinel-2 görüntülerinden elde edilen NDVI ve 4 farklı bitki indeksinin zaman serileri kullanılarak tarım ürünleri belirlenmiştir ve bu çalışmada olduğu gibi zaman serilerini birbirinden ayırırken eşik değerler kullanılmıştır (Zhang vd., 2023). Bu çalışmada kullanılan NDVI bitki indeksinden farklı olarak Sentinel-2 görüntülerinden elde edilen Geliştirilmiş Bitki İndeksi (EVI) zaman serileri çeşitli tarım ürünlerini belirlemek için kullanılmıştır (Snevažs vd., 2022). Özetle, Landsat uydu misyonu ile karşılaştırıldığında Sentinel-2 uydu misyonundan elde edilen bitki indeksi zaman serileri tarım ürünü deseni çıkarma çalışmalarında tercih edildiği görülmüştür.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, saha çalışmaları ile arpa ve buğday olarak belirtilen referans verinin doğruluğu iterasyonlu yöntemle araştırılmıştır. Parsel sınırlarının elle çizilmesi aşamasının otomasyonu yapılmadığı için böyle bir çalışmada tüm işlem adımlarının baştan sonra otomasyonu engellemektedir. Ancak yöntemle birlikte orijinal TKGM parsel sınırları veya TKGM parsel sınırlarından otomatik çizilen parsel sınırları kullanılırsa tüm işlem adımlarının baştan sonra otomasyonu mümkündür. Bundan dolayı farklı parsel sınırlarının modele etkisi de araştırılmıştır. Uydu görüntülerinin temin edilmesi aşaması dışındaki tüm aşamalar Python programlama dilinde yazılan programlarla gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında 39'u arpa ve 54'ü buğday olmak üzere toplamda 93 adet yersel referans verisinin beyan doğruluğu farklı parsel sınırları kullanılarak araştırılmıştır. Çalışma TKGM, manuel ve otomatik olmak üç farklı parsel sınır verisi kullanarak yapılmıştır. Çalışma sonucunda 5 adet arpa ve 16 adet buğday verisi, üç parsel sınırı için de iterasyonlu yöntem sonucunda hatalı beyan edilen parsel olarak belirlenmiştir. Parsel içinde veya sınırlarında yol bulunması, parsel sınırlarında ağaçların veya çalılıkların bulunması, parselin tümüne yayılacak şekilde ekim yapılmaması ve parsel içinde çukur bulunması gibi etkenlerin sonuçlara etkisi olmadığı görülmüştür. Bundan dolayı sadece TKGM ya da otomatik parsel sınırları kullanılarak hatalı beyan edilen parsellerin tespit edilebilmesi mümkündür.

Çalışmada, sadece 101 numaralı parselde üç farklı sınır verisi için de farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bunun nedeni olarak parselin iki bölüme ayrılarak iki farklı ürün ekildiği görülmüştür. Sonuçlara göre parselin bir bölümünde buğday ekildiği, diğer bölümünde periyodik olarak hasat edilen yonca gibi bir yem bitkisinin ekildiği düşünülmektedir. Manuel düzeltilen parsel sınırı ile yöntemin doğru bir şekilde parselde buğday ekildiğini belirtmesine rağmen, TKGM veya otomatik parsel sınırları kullanıldığında yöntem parselde buğday ekilmediği belirtmiştir. Böylelikle modelin birden fazla ürün ekilen parsellerde hatalı sonuçlar verebileceği görülmüştür. İleride yapılacak çalışmalarda, bu konu üzerine yoğunlaşılması planlanmaktadır.

Çalışma kapsamında, geliştirilen yöntem ile görüntü sınıflandırma yöntemleri kullanılmadan arpa ve buğday için çiftçilerin ürün beyan kontrolü yapılabileceği, kullanıcı tarafından test verisi seçimi olmaksızın tam otomatik bir şekilde Python programlama dilinde yapılabileceği gösterilmiştir. TKGM Parsel Sorgu uygulaması üzerinden indirilen parsel sınırlarının herhangi bir düzeltme yapılmaksızın kullanılabilmesi öngörülmektedir. Ancak Şekil 6'da verilen bağıl hata sonuçları incelendiğinde, otomatik parsel sınırına göre hesaplanan bağıl hata değerlerinin TKGM parsel sınırına göre hesaplanan bağıl hata değerinden daha düşük çıktığı görülmüştür. Parsel sınırlarının otomatik olarak düzeltilmesi ile sınır piksellerinde bulunan yol, ağaç, su kanalı ve çalılık farklı arazi örtüsü gruplarının çıkarılmasından dolayı bağıl hatada düşüş görülmüştür. Bundan dolayı TKGM parsel sınırı yerine otomatik parsel sınırlarının beyan kontrolünde kullanılması daha hassas sonuçlar vereceği düşünülmektedir. Ancak, yöntemin güvenilirliğini pekiştirmek ve eşik değerlerinin genel geçerliliğini test etmek için farklı yıllarda ve iklim bölgelerinde yeni çalışmalar yapılması gerekmektedir. Benzer şekilde, daha büyük bir veri seti ile de yöntemi test etmek gerekmektedir. Ayrıca, aynı yöntem ile bölgesel bir çalışma yapılması durumunda bölgeler arası fenolojik evre ve hasat zamanı farklılıklarının dikkat edilmesi gerekmektedir.

Teşekkür

Projede kullanılan yersel referans verileri, Gebze Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü öğrencisi Yüsrarur Tanrıverdi'nin "Arpa ve Buğday Parsellerinin Uzaktan Algılama Veri ve Metotlarıyla Haritalanması" adlı TÜBİTAK 2209A projesi kapsamında (Proje danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ali Levent Yağcı) temin edilmiştir.

Kaynaklar

- Altun, M., & Türker, M. (2021). Çoklu Zamanlı Sentinel-2 Görüntülerinden Tarımsal Ürün Tespiti: Mardin – Kızıltepe Örneği. *Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering*, 21(4), 881–899.
- Aydoğdu, M., Akçar, H. T., & Çullu, M. A. (2011). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) Kullanılarak Çiftçi Kayıt Sistemi (ÇKS) Verilerinin Analizi ile Pamuk ve Mısır Primlerinin Ödenmesi (Şanlıurfa-Harran İlçesi Örneği). *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 104(Özel Sayı 1), 47–52.
- Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, 5(1), 180214. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- Eğilmez, S. (2022). *Tarım Ürünleri Piyasaları- Arpa*. Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü (TEPGE).
- Gillies, S. (2013). *Rasterio: Geospatial raster I/O for Python programmers*. Mapbox. 12 Aralık 2022'de <https://github.com/rasterio/rasterio> adresinden erişildi.
- Gillies, S., van der Wel, C., Van den Bossche, J., Taves, M. W., Arnott, J., Ward, B. C., & Others. (2022). *Shapely*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7428463>

- Harris, C. R., Millman, K. J., Van Der Walt, S. J., Gommers, R., Virtanen, P., Cournapeau, D., ... Oliphant, T. E. (2020). Array programming with NumPy. *Nature*, 585, 357-362. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>
- İnan, H. İ., & Yomraloğlu, T. (2006). Türkiye’de Tarım Reformu Uygulamalarının Konumsal Veri ve Bilgi İhtiyacı Açısından İrdelenmesi: Trabzon Örneği. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 12(4), 313–322.
- İspir, M. A., & Aybek, A. (2022). Kahramanmaraş İli Kartalkaya Sol Sahil Sulama Birliği Sahasında Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Teknikleri Kullanılarak Ürün Sınıflandırılması. *International Journal of Eastern Mediterranean Agricultural Research*, 5(1), 37–57.
- Jordahl, K., Van Den Bossche, J., Fleischmann, M., McBride, J., Wasserman, J., Richards, M., ... Mesejo-León, D. (2022). *geopandas/geopandas: v0.12.1 (v0.12.1)*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7262879>
- Karabulut, A. A., Ceylan, N., Bahar, E., & Kurşun, İ. (2021). Crop Phenology-Based, Object-Oriented Classification Approach Using SENTINEL-2A and NDVI Time Series: Sunflower Crops in Kırklareli TURKEY. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 8(3), 316–327. doi:10.30897/ijegeo.858456
- Kaya, Y., & Polat, N. (2021). Bitki indeksleri kullanarak buğday bitkisinin rekolte tahmini. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 12(1), 99–110. <https://doi.org/10.24012/dumf.860325>
- Li, B. (2022). Farm parcel extraction in high resolution remote sensing image based on hierarchical spectrum and shape features. Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1218962/v1>
- Luo, K., Lu, L., Xie, Y., Chen, F., Yin, F., & Li, Q. (2023). Crop type mapping in the central part of the North China Plain using Sentinel-2 time series and machine learning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 205, 107577. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107577>
- Perry, M. T. (2015). *Rasterstats*. <https://pythonhosted.org/rasterstats/> adresinden alındı.
- Polat, K. (2022). *Tarım Ürünleri Piyasaları- Buğday*. Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü (TEPGE).
- Snevajs, H., Charvat, K., Onckelet, V., Kvapil, J., Zadrazil, F., Kubickova, H., Seidlova, J., & Batrlova, I. (2022). Crop Detection Using Time Series of Sentinel-2 and Sentinel-1 and Existing Land Parcel Information Systems. *Remote Sensing*, 14(5), 1095. <https://doi.org/10.3390/rs14051095>
- Şentürk, Ü. G. (2020). *Uzaktan Algılama Teknikleri Kullanılarak Kayısı Bahçelerinin Tespiti ve Rekolte Tahmini; Malatya Battalgazi Örneği* [Yüksek lisans tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>.
- Şimşek, F. F., & Durduran, S. S. (2023). Açık kaynak kodlu Eo-learn kütüphanesi ve çok zamanlı Sentinel-2 görüntüleri ile tarımsal ürün sınıflandırması. *Journal of Geodesy and Geoinformation*, 10(1), 45-62. <https://doi.org/10.9733/JGG.2023R0004.T>
- Tavus, B., Karataş, K., & Türker, M. (2019). Tarımsal alanlarda yüksek çözünürlüklü IKONOS uydu görüntüsünden nesne-tabanlı ürün deseni tespiti. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(5), 603–614.
- The Pandas Development Team. (2023). *pandas-dev/pandas: Pandas*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.3509134>
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2021a). *Bitkisel Üretim İstatistikleri, 2021*. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). 19 Ekim 2021’de <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2021-37249> adresinden alındı.
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2021b). *Merkezi Dağıtım Sistemi*. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). 14 Kasım 2022’de <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr> adresinden alındı.
- United States Department of Agriculture. (2021). *Grain: World Markets and Trade*. United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service. <https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda-esmis/files/zs25x844t/h702r804t/02871x159/grain.pdf>
- Virtanen, P., Gommers, R., Burovski, E., Oliphant, T. E., Weckesser, W., Cournapeau, D., ... Striega, K. (2021). *scipy/scipy: SciPy 1.6.3*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4718897>
- Weiss, M., Jacob, F., & Duveiller, G. (2020). Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. *Remote Sensing of Environment*, 236, 111402. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111402>
- Yaşar, O., & Yağcı, A. L. (2023). Yersel referans verilerinin doğruluğunun çok zamanlı Sentinel-2 uydu görüntüleri ile araştırılması: Arpa ve Buğday örneği. *Geomatik*, 8(3), 277–292. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1210252>
- Yozgat İl Tarım ve Orman Müdürlüğü. (2021, 19 Eylül). *Yozgat’ta hububat ekimi*. 6 Ekim 2021’de <https://yozgat.tarimorman.gov.tr/Menu/18/Tarim-Takvimi> adresinden alındı.
- Zhang, H., Liu, M., Wang, Y., Shang, J., Liu, X., Li, B., Song, A., & Li, Q. (2021). Automated delineation of agricultural field boundaries from Sentinel-2 images using recurrent residual U-Net. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 105, 102557. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102557>
- Zhang, S., Yang, J., Leng, P., Ma, Y., Wang, H., & Song, Q. (2023). Crop type mapping with temporal sample migration. *International Journal of Remote Sensing*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/01431161.2023.2192881>