

UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN SINIFLANDIRILMASINDA YENİ BİR YAKLAŞIM: PİKSEL VE NESNE TABANLI TEKNİKLERİN FÜZYONU

Muhammed Yusuf ÖZTÜRK¹, İsmail ÇÖLKESEN¹,

¹Arş. Gör., Gebze Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze, Kocaeli, m.ozturk2020@gtu.edu.tr

¹Doç. Dr., Gebze Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze, Kocaeli, icolkesen@gtu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımı ile görüntü sınıflandırma işleminde temel sorunlardan birisi olan yetersiz bölütleme (under segmentation) sorununun çözümü noktasında piksel ve nesne tabanlı sınıflandırma tekniklerinin bir arada kullanılmasını esas alan eşik tabanlı hibrit sınıflandırma yaklaşımı önerilmiştir. Belirtilen tekniğin performansının analiz edilmesinde yüksek mekânsal çözünürlüklü WorldView-2 görüntüsü kullanılmış olup sınıflandırma işlemleri Aşırı Gradyan Artırma (XGBoost) ve Kategorik Artırma (CatBoost) algoritmaları ile gerçekleştirilmiştir. %60 ve %80 eşik değeri kullanılarak elde edilen hibrit sınıflandırma modelinin istatistiksel ve görsel sonuçları geleneksel piksel ve nesne tabanlı tekniklerle elde edilen tematik haritalar ile karşılaştırılmış olup elde edilen sonuçlar önerilen yaklaşımın uygulanmasıyla tematik harita doğruluğunda istatistiksel olarak anlamlı iyileşmeler ortaya çıktığı görülmüştür. Nitekim, %60 eşik değeri uygulanarak gerçekleştirilen hibrit esaslı tematik harita üretimi, piksel tabanlı sınıflandırma sonuçlarına kıyasla yaklaşık %3 daha doğru genel doğruluk üretirken, obje tabanlı haritalama sonuçları ile kıyaslandığında genel doğrulukta artış yaklaşık %1.5 olarak hesaplanmıştır. Diğer yandan, %80 eşik değeri kullanıldığında önerilen tekniğin, sırasıyla piksel ve nesne tabanlı tekniklere kıyasla yaklaşık %4 ve %2 daha yüksek genel haritalama doğruluğu üreterek daha üstün performansa sahip olduğu görülmüştür. Elde edilen bu değerler arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu McNemar's testi kullanılarak doğrulanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Hibrit Sınıflandırma, Eşik Değeri, Nesne Tabanlı Sınıflandırma, Piksel Tabanlı Sınıflandırma, WorldView-2.

ABSTRACT

A NOVEL APPROACH IN THE CLASSIFICATION OF SATELLITE IMAGERY: FUSION OF PIXEL- AND OBJECT-BASED TECHNIQUES

In this study, a threshold-based hybrid classification approach depending on the integration of pixel and object-based classification techniques is proposed to overcome the under-segmentation problem. The high spatial resolution WorldView-2 image was utilized to analyze the performance of the specified technique, and classification processes were performed with Extreme Gradient Boosting (XGBoost) and Categorical Boosting (CatBoost) algorithms. The statistical and visual results of the hybrid classification approach, obtained using 60% and 80% threshold values, were compared with the traditional pixel- and object-based mapping results, and it was seen that the proposed technique outperformed others. In other words, the hybrid-based technique applying a threshold value of 60% produced approximately 3% higher overall accuracy compared to pixel-based mapping results, while this value was obtained at about 1.5% compared to object-based mapping results. On the other hand, when the 80% threshold value is evaluated, the suggested technique showed superior classification performance, producing approximately 4% and 2% higher overall mapping accuracy compared to pixel and object-based techniques, respectively. McNemar's test verified that differences among these obtained outcomes were statistically significant.

Keywords: Hybrid Classification, Threshold Value, Object-Based Classification, Pixel-Based Classification, WorldView-2.

1. GİRİŞ

Yeryüzü üzerindeki doğal ve yapay nesnelerin coğrafi dağılımlarını temsil eden arazi kullanımı ve arazi örtüsü (AKAÖ) bilgileri, çevre yönetimi ve planlaması gibi çok sayıda araştırmada önemli bir rol oynamaktadır. Küresel ve yerel ölçekte AKAÖ bilgilerinin toplanmasında üstün avantajlar sağladığından uzaktan algılama teknikleri kullanılarak elde edilen uydu ve hava görüntüleri birçok çalışmada temel veri kaynağı olarak kullanılmaktadır. AKAÖ tiplerinin görüntü sınıflandırması ile belirlenmesi uzaktan algılamanın en önemli konularından biridir. Görüntü sınıflandırmasında kritik faktörlerden biri, çalışma alanının karakteristik yapısını ve bu alan için kullanılacak olan sayısal görüntünün özelliklerini dikkate alarak en uygun sınıflandırma tekniğini belirlemektir. İlk uzaktan algılama uydusunun fırlatılmasından günümüze kadar, arazi örtüsü haritalarının üretiminde piksel ve nesne tabanlı teknikler sınıflandırma işlemlerini gerçekleştirmek için uzaktan algılanan görüntülere başarılı bir şekilde uygulanmıştır (Salah, 2017; Kete vd., 2019).

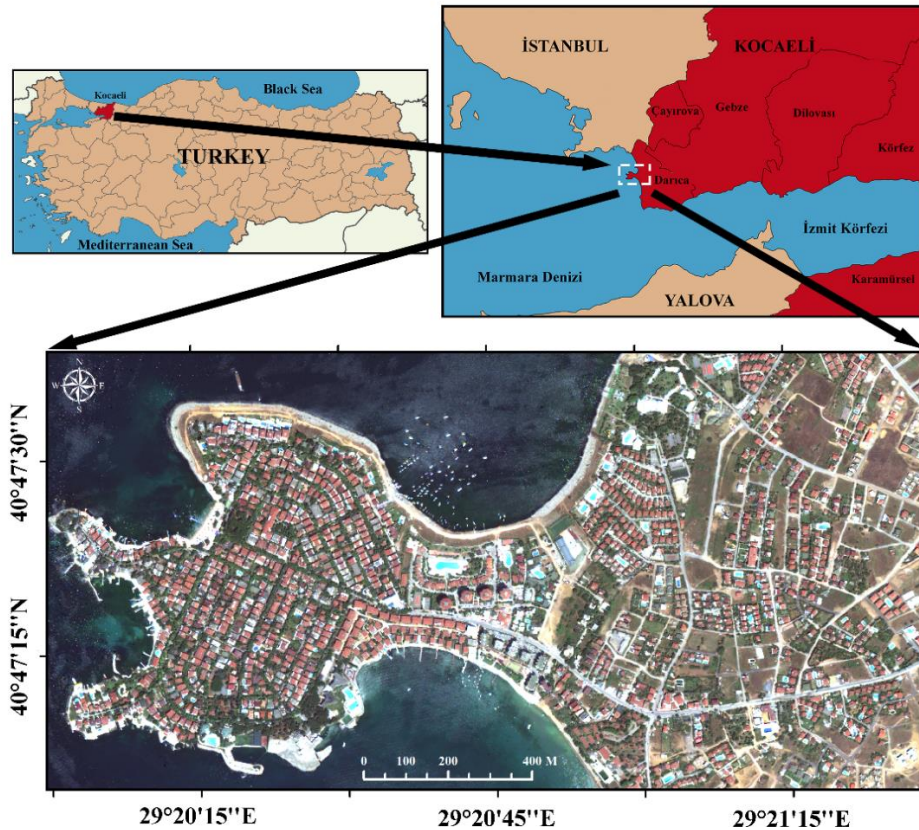
2000'li yılların başından itibaren sensör teknolojisindeki gelişmelerle birlikte yeryüzü nesnelerinin yüksek çözünürlüklü görüntüler kullanılarak izlenmesi ve analizi mümkün hale gelmiştir. Orta ve düşük çözünürlüklü görüntülerin sınıflandırılmasında başarıyla kullanılan geleneksel piksel tabanlı sınıflandırma tekniği her pikselin spektral özelliklerine göre sınıf etiketini belirlemesi esasına dayanmaktadır. Ancak piksel tabanlı görüntü analizi

kullanılarak yüksek çözünürlüklü uzaktan algılanmış görüntülerin sınıflandırılmasında bazı dezavantajlar ve sınırlamalar vardır. Başka bir ifadeyle yüksek çözünürlüklü görüntülerin piksel tabanlı olarak sınıflandırılmasında tuz-biber etkisi meydana gelmesinin yanı sıra veri boyutunun artması ve dolayısıyla ekstra donanım ihtiyacı duyulmasına neden olmaktadır (Wu vd., 2016). Bu problemlerin üstesinden gelmek için, spektral olarak benzer piksellerin bir araya getirilmesi ile oluşturulan anlamlı görüntü objelerinin (segment) AKAÖ sınıfı etiketlerinin belirlenmesi esasına dayanan (segmentasyon/bölütme) nesne tabanlı görüntü analizi yüksek çözünürlüklü görüntülerin sınıflandırılmasında sıklıkla kullanılır hale gelmiştir (Delen ve Balık Şanlı, 2017; Sabuncu ve Sunar, 2017, Tavus vd., 2019). Nesne tabanlı sınıflandırma işleminde segment boyutlarını belirleyen ideal ölçek parametresi değerinin tanımlanması üretilcek olan tematik haritaların başarısını doğrudan etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Yüksek çözünürlüklü görüntüler, farklı spektral ve uzamsal özelliklere sahip birçok yeryüzü nesnesi içerdiğinden ve bölütme işleminde tüm görüntü için yalnızca bir ölçek parametre değeri tanımlanamadığından, yeryüzü nesnelerinin optimum boyutta segmentler ile temsil edilmesi zorlaşmaktadır (Yang vd., 2015). Başka bir ifadeyle, daha küçük ölçek parametre değeri tanımlanması durumunda, bir yeryüzü objesi birden fazla görüntü objesi ile temsil edilirken (aşırı bölütme/over segmentation), daha büyük ölçek değerleri ise bu yeryüzü objesinin daha büyük boyuttaki segment ile temsil edilmesine (yetersiz bölütme/under segmentation) ve dolayısıyla tematik harita üretiminde detay kayıplarına neden olmaktadır (Liu ve Xia, 2010; Chen vd., 2018). Bu nedenle daha doğru AKAÖ haritalarının üretilmesinde son zamanlarda çeşitli hibrit sınıflandırma teknikleri önerilmiş ve uzaktan algılama çalışmalarında kullanılmaya başlanmıştır (Wang vd., 2004; Costa vd., 2014).

Bu çalışmada obje tabanlı sınıflandırmada meydana gelen yetersiz bölütme sorunun çözülmesi ve piksel tabanlı sınıflandırmada meydana gelen tuz-biber etkisinin azaltılması amacıyla her iki sınıflandırma tekniğinin füzyonunu baz alan eşik değeri tabanlı yeni bir sınıflandırma yaklaşımı önerilmiş ve bu yaklaşımın performansı bilinen tekniklerle görsel ve istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI VE VERİSETİ

Kocaeli'nin Darıca ilçesinde yer alan ve yaklaşık 225 hektarlık bir alanı kapsayan Bayramoğlu Yarımadası, önerilen sınıflandırma yaklaşımının performansının diğer tekniklere karşı test edilmesinde çalışma alanı olarak belirlenmiştir. İstanbul'un güneyinde yer alan ve Marmara Denizi'ne kıyısı olan bu yarımada, Marmara Bölgesi'nin en önemli turistik yerlerinden biridir (Şekil 1). Çalışma alanı içerisinde farklı vejetasyon türleri, özel havuzu olan binalarla birlikte çeşitli yapılar ve deniz bulunmaktadır. Bu alanın sınıflandırılmasında toprak, orman, geçirimsiz yüzey (örneğin asfalt ve gri renkli çatılar), mera, havuz, deniz, gölge, bozkır, kiremit çatı ve beyaz yüzey (beyaz çatı ve havuz fayansları) olmak üzere toplam 10 farklı AKAÖ sınıfı tanımlanmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanının konumu

7 Temmuz 2013 tarihinde çekilen geometrik ve radyometrik olarak düzeltilmiş WorldView-2 görüntüsü sınıflandırma işleminde girdi veri seti olarak kullanılmıştır. Bu görüntü 0.40-1.04 μm dalga boyu arasında değişen ve 2 metre konumsal çözünürlüğe sahip 8 multi-spektral bant ile 0.63 μm merkez dalga boyunda algılanan 0.5 metre konumsal çözünürlükteki pankromatik banttan oluşmaktadır. Daha düşük konumsal çözünürlüğe sahip multi-spektral bantların konumsal çözünürlüğünün iyileştirilmesi için bu bantlar Gram-Schmidt pan-keskinleştirme yöntemi uygulanarak pankromatik bant ile füzyon edilmiş ve sonuçta 0.5 m çözünürlükte ve toplam 8 bantlı yeni bir görüntü elde edilmiştir.

3. METEDOLOJİ

Bu çalışmada değerlendirmeye alınan nesne-tabanlı sınıflandırma işleminin doğruluğunu sınırlayan yetersiz bölütleme sorunun çözümü için hibrit bir sınıflandırma yaklaşımı önerilmiştir. Söz konusu yaklaşımın tematik harita üretimindeki performansı literatürde sıklıkla kullanılan piksel ve nesne tabanlı tekniklerle karşılaştırmalı olarak analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda i) piksel tabanlı sınıflandırma, ii) nesne tabanlı sınıflandırma, iii) piksel ve nesne tabanlı sınıflandırma sonuçlarının belirlenen bir eşik değerine bağlı olarak füzyon edilmesi yaklaşımıyla sınıflandırma ve iv) sınıflandırma sonuçlarının karşılaştırılmasını içeren dört temel işlem adımı takip edilmiştir.

3.1. Sınıflandırma Teknikleri

Geleneksel piksel tabanlı sınıflandırma, uzaktan algılanmış görüntülerden AKAÖ bilgilerinin elde edilmesinde sıklıkla kullanılan tekniklerden biridir. Bu sınıflandırma tekniğinin uygulanmasında her bir piksele ait spektral yansıma değerlerinin bir AKAÖ sınıfını temsil ettiği kabulü vardır ve bu yansıma değerleri ile birlikte bahsi geçen değerlerden türetilen yardımcı veri setleri (spektral indisler, temel bileşenler analizi vb.) kullanılarak bir tahmin algoritması yardımıyla tematik haritalar üretilir.

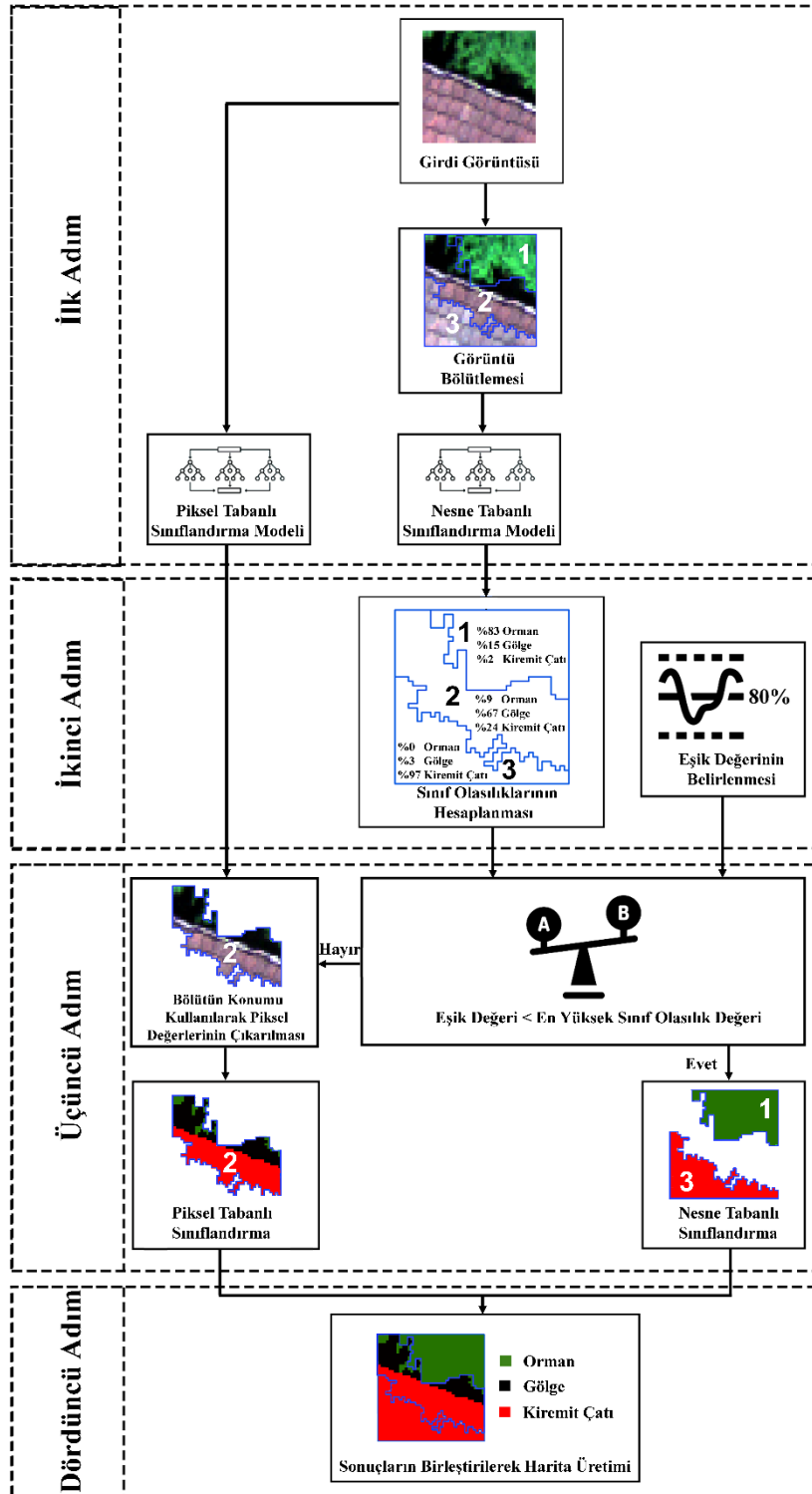
Son yıllarda sensör teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak yeryüzü nesnelerinin daha küçük boyutta pikseller ile temsil edilmesine rağmen birçok konumsal ayrıntıya sahip yüksek boyutlu görüntülerin işlenmesi yüksek kapasiteli donanımlar ve daha fazla süre gerektirmektedir. Bu olumsuzlukların üstesinden gelmek için nesne tabanlı görüntü analizi önerilmiş ve geleneksel piksel tabanlı tekniğe kıyasla sunduğu üstün performans nedeniyle uzaktan algılamada çok sayıda uygulamada başarıyla kullanılmıştır. Nesne tabanlı sınıflandırma tekniğinin piksel tabanlı sınıflandırmadan en temel farkı bölütleme işlemi olarak da bilinen benzer özelliklere sahip piksellerin bir araya getirilerek anlamlı görüntü parçalarının oluşturulması işlemidir. Bu amaç doğrultusunda literatürde birçok bölütleme algoritması geliştirilmiş ve uzaktan algılanmış görüntülerin sınıflandırılmasında başarıyla uygulanmıştır (Kaplan ve Avdan, 2017; Kavzoglu ve Tonbul, 2018). Bu çalışmada, obje tabanlı ve önerilen hibrit sınıflandırma tekniklerinin uygulanmasında diğer bölütleme algoritmalarına kıyasla daha üstün performans sunan çoklu-çözünürlük algoritması kullanılmıştır. Nesne tabanlı sınıflandırma tekniğinin başarısı kullanılan görüntüdeki AKAÖ obje sınırlarını temsil eden optimum bölüt boyutlarının belirlenmesi işlemidir. Çoklu çözünürlük algoritması ölçek, biçim ve bütünlük olmak üzere üç farklı parametreye bağlı olarak bölütleme işlemi gerçekleştirirse de ideal bölüt boyutunun belirlenmesi seçilecek ölçek parametresi değerine bağlıdır. Ölçek parametresinin tespit edilmesi amacıyla çeşitli algoritmalar geliştirilmiş ve obje tabanlı sınıflandırma işlemlerini içeren birçok çalışmada kullanılmıştır. Bu algoritmalarından birisi olan ve Drăguț vd. (2014) tarafından önerilen ESP-2 çoklu-çözünürlük algoritması ile gerçekleştirilecek bölütleme işleminde kullanılacak ölçek parametresi değerinin tespit edilmesi için tercih edilmiştir.

3.2. Önerilen Hibrit Sınıflandırma Yaklaşımı

Hibrit sınıflandırma yaklaşımın ilk aşamasında, çoklu-çözünürlük algoritması ile görüntü bölütleme işlemi gerçekleştirilir ve seçilen makine/toplu öğrenmesi algoritması tarafından piksel ve obje tabanlı sınıflandırma modelleri ayrı ayrı oluşturulur. Teorik olarak sınıflandırma modeli tarafından tahmin edilen belirli bir görüntü nesnesinin sınıf olasılık değeri 1 ise, o segmentin (bölütün) belirsizliği sıfırdır. Bu nedenle, “homojen segment” olarak isimlendirilen görüntü objesi yalnızca bir AKAÖ sınıfına ait olabilir. Ancak pratikte, obje tabanlı görüntü analizinde görüntü objeleri için hesaplanan ve segmentlerin belirli bir arazi örtüsü sınıfına ait olma olasılığı, bölütleme işlemindeki yetersiz bölütleme hataları gibi nedenlerden dolayı nadiren 1 değerini alır. Bu amaçla önerilen yaklaşımın uygulanmasında ikinci olarak, bir görüntü nesnesinin belirsizliğini tespit etmek için her bir görüntü nesnesinin sınıf olasılıkları hesaplanmış ve hangi segmentlerin homojen kabul edileceğini belirlemek için bir eşik değeri seçilmiştir. Sonraki aşamada, bölütün en yüksek sınıf olasılığı, eşik değeri ile karşılaştırılmıştır. Bu olasılık değeri eşik değerinden büyükse segmentin etiketi nesne tabanlı sınıflandırma ile belirlenir. Aksi takdirde, görüntü nesnesini sınıflandırmak yerine segment içindeki pikseller tek tek sınıflandırılır ve sınıf etiketleri piksel tabanlı görüntü analizi ile atanır. Son adımda ise sonuçlar AKAÖ haritasını oluşturmak için füzyon edilir (Ozturk, 2022).

Yukarıda bahsedilen hibrit sınıflandırma tekniğinin bir örnek üzerinden daha detaylı açıklanması Şekil 2’de görselleştirilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, önerilen yöntemin ilk aşamasında nesne tabanlı sınıflandırma için girdi görüntüsü bölütlere ayrılır ve sınıflandırma algoritması kullanılarak nesne tabanlı sınıflandırma modeli kurulur. Diğer yandan ise homojen olmadığı tespit edilen bölütlerin piksel değerlerine dönülerek sınıflandırılması için piksel tabanlı sınıflandırma modeli oluşturulur. İkinci aşamaya geçildiğinde ise her bir bölütün bir sınıfa ait olma olasılıkları

hesaplanır. Şekilde de görüldüğü üzere girdi görüntüsü üzerinde orman, gölge ve kiremit çatı AKAÖ sınıfları tespit edilmiş ve her bölütün bu sınıflara ait olma olasılıkları hesaplanmıştır. Ayrıca bu aşamada, kullanıcı tarafından bir eşik değeri belirlenir. Değerlendirilen görüntünün ve tespit edilen arazi örtüsü sınıflarının spektral özellikleri göz önüne alınarak yüksek bir eşik değeri (%80) seçilmiştir. Hibrit tekniğin diğer aşamasında ise belirlenen eşik değeri ile en yüksek sınıf olasılık değeri karşılaştırılır. Şekilde bir ve üç numaralı bölütte en yüksek olasılık değerleri %83 ve %97 olarak hesaplanmış olup bu değerler belirlenen eşik değerinden büyüktür. Dolayısıyla bu bölütlere klasik nesne tabanlı sınıflandırma ile sırasıyla orman ve kiremit çatı etiketleri atanarak bu bölgeler haritalandırılmıştır. Diğer yandan ikinci bölütün sınıf olasılıkları atanmış eşik değerinden daha küçük olduğu için bu bölütün konumu kullanılarak girdi görüntüsünden piksel yansıma değerleri çıkarılır ve bu piksellerin etiketleri piksel tabanlı sınıflandırma modeli ile belirlenir. Son aşamada ise piksel ve nesne tabanlı olarak sınıf etiketi belirlenen alanlar birleştirilerek tematik harita üretilir.



Şekil 2. Önerilen hibrit sınıflandırma tekniğinin işlem adımları.

3.3. Sınıflandırma Algoritmaları

Tematik harita üretiminde kullanılacak olan sınıflandırma tekniği kadar sınıflandırma algoritma seçimi de elde edilecek sonuçlar üzerinde önemli etkileri vardır. Son yıllarda birden çok sınıflandırıcının bir araya getirilmesi ile oluşturulan toplu öğrenme algoritmaları sundukları hızlı, doğru ve üstün sınıflandırma performans nedeniyle birçok çalışmada araştırmacılar tarafından uzaktan algılanmış görüntülere başarıyla uygulanmıştır. Bu çalışmada karar ağacı esaslı toplu öğrenme algoritmalarında Aşırı Gradyent Hızlandırma (XGBoost) ve Kategorik Hızlandırma (CatBoost) piksel, obje ve önerilen sınıflandırma tekniğinin gerçekleştirilmesinde kullanılmıştır.

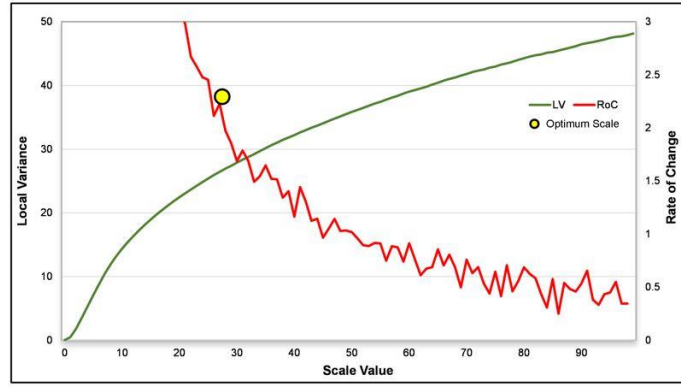
XGBoost, gradiyent hızlandırma esaslarına bağlı bir ileri sınıflandırma algoritması olarak Chen ve Guestrin (2016) tarafından sunulmuş ve gösterdiği hızlı ve yüksek doğruluklu performansı sayesinde bir çok çalışmada kullanılmıştır. XGBoost sınıflandırma modelinin oluşturulmasında iteratif olarak karar ağaçlarını kurar ve her bir iterasyonda bir önceki iterasyonun güçsüz sınıflandırıcısına (weak classifier) odaklanarak mevcut iterasyonda bu sınıflandırıcıları daha da güçlü hale (strong classifier) dönüştürmeye çalışır. Diğer bir ifadeyle, ilk iterasyonda eğitim verisindeki her örneğe eşit ağırlık verilir ve sınıf etiketleri tahmin edilir. Sonraki iterasyona geçildiğinde ise yanlış olarak sınıflandırılan örneğin sınıf etiketini düzeltmek için bu örneğe daha yüksek ağırlık değerleri verilerek iterasyon devam ettirilir. Son adımda ise güçlü öğrenciler bir araya getirilerek sınıflandırma modeli kurulur (Georganos vd., 2018; Rumora vd., 2020). Bir diğer toplu öğrenme algoritmalarından olan CatBoost kategorik değişken içeren veri setlerinin üstesinden gelmek için açık kaynak kodlu bir kütüphane olarak Dorogush vd. (2018) tarafından geliştirilmiştir. CatBoost eğitim sürecinde kategorik özelliklere ait sınıf etiketlerini sırasıyla tam sayı ve numerik değerlere çevirerek sınıflandırma modelini kurar. Ayrıca aşırı uyumluluk (overfitting) sorunun üstesinden gelmek ve kurulan modelin sağlamlılığını arttırmak için rasgele permütasyon tekniğini ve gradiyentleri kullanır.

3.2. Doğruluk Analizi

Doğruluk analizi, üretilen tematik haritaların doğruluklarını, kalitesini ve güvenilirliğini nicel olarak analiz etmek için uzaktan algılama uygulamalarının önemli bir bileşenlerinden biridir (Congalton, 2001). Diğer bir ifade ile AKAÖ haritaları ve referans veriler arasındaki istatistiksel tutarlılığın yorumlanması, uygun sınıflandırma tekniklerinin ve modellerinin belirlenmesi için görüntü işleminin önemli adımlarından biridir. Sınıflandırma sonuçlarının yorumlanmasında en sık kullanılan yöntem hata matrisinin kurulmasıdır (Congalton ve Green, 1999). Bu çalışmada, önerilen sınıflandırma tekniğinin tematik harita üretimindeki performansının literatürde sıklıkla kullanılan iki tekniğe karşı analiz edilmesinde genel doğruluk, kappa katsayısı ve F-skor gibi hata matrisi esaslı doğruluk analizi metrikleri kullanılmıştır. Ek olarak, elde edilen sınıflandırma sonuçlarının rastlantısal olup olmadığının değerlendirilmesinde McNemar's testi kullanılmıştır. McNemar's testi sınıflandırıcılar tarafından tahmin edilen sonuçlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olup olmadığının analiz edilmesinde kullanılan ve χ^2 dağılımına bağlı olan testlerden biridir. McNemar's testi kullanılarak elde edilen sonuçların %95 güven aralığına karşılık gelen tablo değeri (3.84) karşılaştırılarak analizlerin yapıldığı belirtilmelidir.

4. UYGULAMA

Bu çalışmada piksel tabanlı sınıflandırma tekniğinde karşılaşılan tuz-biber etkisinin minimuma indirilmesi ve obje tabanlı görüntü analizinde meydana gelen yetersiz bölütleme sorunun çözülmesi için hibrit sınıflandırma tekniği önerilmiş olup elde edilen sonuçlar bu iki sınıflandırma tekniğinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. WorldView-2 görüntüsünün piksel tabanlı olarak sınıflandırılması işleminde görüntü üzerine uygun olarak dağılan toplamda 30.000 eğitim pikseli (her bir AKAÖ sınıfı için 3,000 piksel) sınıflandırma modellerinin kurulması için toplanmıştır. En uygun sınıflandırma modellerinin kurulması için gerekli olan parametre optimizasyonu için toplamda 15,000 piksel (her sınıf için 1,500 piksel) test verisi olarak kullanılmıştır. Diğer yandan obje tabanlı sınıflandırma işlemi için kullanılan çoklu-çözünürlük algoritmasında şekil ve bütünlük parametreleri için sırasıyla 0.1 ve 0.5 değerleri kullanılmış olup, ölçek parametresi değerinin belirlenmesi için ise ESP-2 algoritması kullanılmıştır. WorldView-2 görüntüsünün bölütleme işleminde tanımlanan şekil ve bütünlük parametre değerlerine bağlı olarak ESP-2 algoritması tarafından elde edilen sonuç Şekil 3'te gösterilmiş olup optimum ölçek değeri 28 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre çoklu çözünürlük algoritması ile toplamda 48,260 bölüt üretilmiştir. Elde edilecek olan sonuçların objektif olarak analiz edilebilmesi için nesne tabanlı sınıflandırma işleminde kullanılacak olan eğitim ve test segmentleri piksel tabanlı sınıflandırmada kullanılan eğitim ve test piksellerine yakın bölgelerden toplanmıştır. Hibrit esaslı sınıflandırma işleminde ise obje tabanlı sınıflandırma modeli kullanılarak her bir segmentin bir sınıfa ait olma olasılıkları hesaplanmış olup bu segmentlerin homojen olup olmadığının analiz edilmesi için %60 ve %80 olmak üzere iki farklı eşik değeri kullanılmıştır. Bahsi geçen sınıflandırma teknikleri kullanılarak üretilen tematik haritaların doğruluk analizlerinin yapılabilmesi için ise toplamda 110,000 doğrulama verisi (her sınıf için 11,000) kullanılmış olup elde edilen sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 3. ESP-2 tarafından üretilen LV-RoC grafiği

Çizelge-1 incelendiğinde her iki algoritmanın piksel tabanlı harita üretiminde yaklaşık %88 genel doğruluk değerine ulaştığı, obje tabanlı sınıflandırmada bu değer yaklaşık olarak %1 artış ile ortalama %90 olarak elde edildiği görülmektedir. Diğer yandan çalışma kapsamında önerilen hibrit yaklaşımın geleneksel piksel tabanlı ve obje tabanlı sınıflandırma tekniklerine göre üstünlük sağladığı görülmektedir. Diğer bir ifadeyle hibrit sınıflandırmada %60 eşik değeri baz alındığında tematik harita üretim doğruluğunun %91 üzerine çıktığı görülürken, daha yüksek eşik değeri (%80) uygulandığında bu doğruluğun %92'nin üzerinde olduğu görülmüştür. Sınıf bazlı doğrulukları ifade eden F-skör değerleri incelendiğinde ise toprak, havuz ve beyaz yüzey sınıfları haricinde kalan diğer sınıfların sınırları önerilen yöntem ile gerçekleştirilen sınıflandırma işleminde daha başarılı bir şekilde sınıflandırıldığı tespit edilmiştir.

Çizelge incelendiğinde WorldView-2 görüntüsünün piksel tabanlı olarak AKAÖ sınıf etiketlerinin belirlenmesinde XGBoost algoritması kullanılarak %88.31 genel doğruluk (Kappa katsayısı=0.87) değeri elde edilirken, CatBoost algoritması %88.54 (Kappa katsayısı=0.87) harita doğruluğu üretmiştir. Diğer yandan, XGBoost algoritması kullanılarak gerçekleştirilen obje tabanlı sınıflandırma sonuçları analiz edildiğinde, genel doğruluk değerlerinin piksel tabanlı sınıflandırma sonuçlarına kıyasla yaklaşık olarak %2 arttığı (%90.38 ve Kappa katsayısı=0.89) görülmüş olup bu artış değeri CatBoost algoritması tarafından yaklaşık %1 (89.61 ve Kappa katsayısı=0.88) olarak sonuçlanmıştır. Çalışma kapsamında önerilen sınıflandırma sonuçları analiz edildiğinde tematik harita üretim doğruluklarının %60 eşik değeri kullanıldığında %91 ve %80 eşik değeri kullanıldığında ise yaklaşık %1 artış ile %92 üzerine çıktığı görülmüştür. Her bir tematik haritanın genel harita doğrulukları birlikte analiz edildiğinde ise, hibrit sınıflandırma tekniğinden elde edilen sonuçların genel sınıflandırma tekniklerinden daha yüksek olduğu görülürken, XGBoost algoritmasının CatBoost algoritmasına piksel tabanlı görüntü analiz sonuçları haricinde üstünlük sağladığı görülmüştür. Sınıf bazlı doğrulukları ifade eden F-skör değerleri incelendiğinde ise toprak, havuz ve beyaz yüzey sınıfları haricinde kalan diğer sınıfların sınırları önerilen yöntem ile gerçekleştirilen sınıflandırma işleminde daha başarılı bir şekilde sınıflandırıldığı tespit edilmiştir. Dahası, AKAÖ sınıf etiketlerinin daha yüksek eşik değeri kullanılarak gerçekleştirilen hibrit sınıflandırma ile daha doğru bir şekilde belirlendiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 1. Tematik harita üretiminde sınıflandırma tekniklerinin istatistiksel sonuçları

AKAÖ Sınıfı	XGBoost F-skör Değerleri (%)				CatBoost F-skör Değerleri (%)			
	Piksel	Obje	Hibrit (%60)	Hibrit (%80)	Piksel	Obje	Hibrit (%60)	Hibrit (%80)
Toprak	85.40	88.96	88.04	90.22	86.16	88.31	89.11	89.93
Orman	84.84	86.21	88.41	90.01	84.51	84.74	87.78	88.99
Geçirimsiz Yüzey	82.53	88.18	88.65	89.95	83.05	86.22	87.97	89.36
Mera	83.26	88.70	89.39	90.12	83.49	85.73	87.62	88.96
Havuz	96.80	95.20	95.80	96.83	96.85	96.64	96.99	97.05
Deniz	92.01	96.84	97.55	98.02	91.88	97.64	98.28	98.28
Gölge	88.92	88.97	90.77	92.71	89.18	89.60	91.06	92.07
Bozkır	83.25	87.04	87.37	87.24	83.62	84.09	87.41	88.40
Kiremit Çatı	91.24	92.16	94.62	94.68	91.37	90.97	93.78	94.53
Beyaz Yüzey	95.07	92.08	94.71	95.74	95.44	92.64	94.74	95.46
Genel Doğruluk (%)	88.31	90.38	91.50	92.54	88.54	89.61	91.44	92.27
Kappa Katsayısı	0.87	0.89	0.90	0.82	0.87	0.88	0.90	0.91

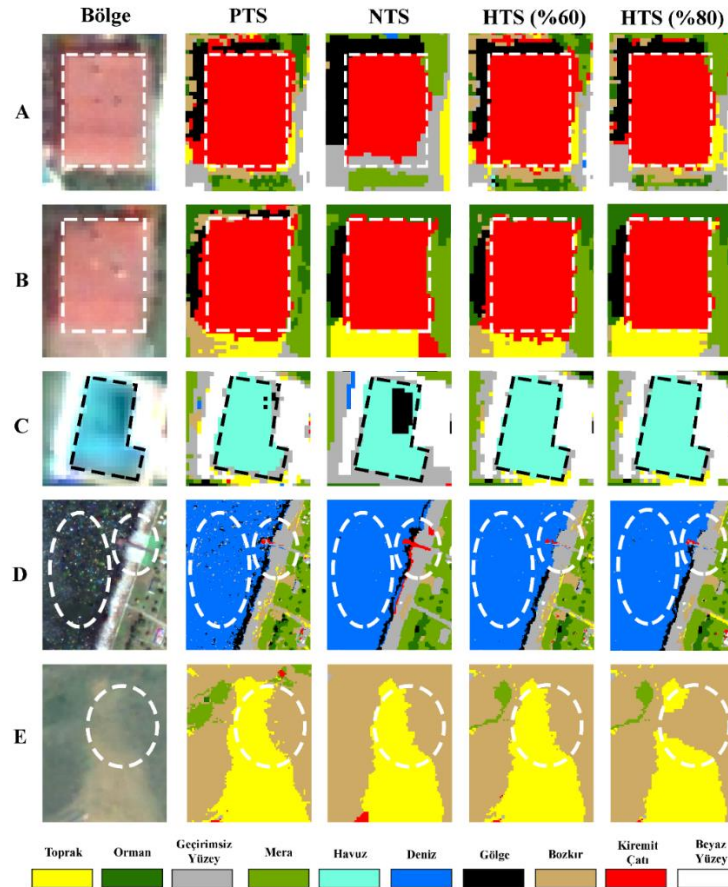
Yüksek çözünürlüklü WorldView-2 görüntüsünden farklı sınıflandırma teknikleri kullanılarak üretilen AKAÖ haritalarının istatistiksel sonuçları arasında anlamlı bir fark olup olmadığının analiz edilmesi için McNemar's testi uygulanmıştır. Bunun için her bir haritadaki tahmin sonuçları %95 güven aralığındaki χ^2 tablo değeri (3.84) ile

karşılaştırılıp elde edilen sonuçlar Çizelge 2’de sunulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde, her bir test sonucunun tablo değerlerinden büyük olduğu gözlemlenmiş olup üretilen harita doğrulukları arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla elde edilen istatistiksel sonuçlar, nesne tabanlı sınıflandırmanın klasik piksel tabanlı sınıflandırma yaklaşımına göre daha yüksek doğrulukta sonuçlar ürettiğini doğrularken, önerilen hibrit tabanlı sınıflandırma yaklaşımı ile nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımın performansında istatistiksel olarak anlamlı düzeylerde iyileşmeler olduğunu göstermektedir.

Çizelge 2. McNemar’ test sonuçları (PTS: Piksel Tabanlı Sınıflandırma, NTS: Nesne Tabanlı Sınıflandırma, HTS (%60): %60 eşik değeri kullanılarak gerçekleştirilen Hibrit Tabanlı Sınıflandırma, HTS (%80): %80 eşik değeri kullanılarak gerçekleştirilen Hibrit Tabanlı Sınıflandırma)

Algoritma	Sınıflandırma Tekniği	PTS	NTS	HTS (60%)	HTS (80%)
XGBoost	PTS	-	288.09	713.43	990.42
	NTS	-	-	148.09	138.54
	H-B (60%)	-	-	-	53.77
	H-B (80%)	-	-	-	-
CatBoost	PTS	-	257.91	734.15	1086.64
	NTS	-	-	370.53	514.38
	HTS (60%)	-	-	-	143.74
	HTS (80%)	-	-	-	-

Çalışma kapsamında önerilen hibrit tabanlı sınıflandırma tekniğinin diğer tekniklere karşı istatistiksel performansının yanı sıra görsel performansı da analiz edilmiştir. Görüntü üzerinde seçilen 5 farklı bölgede elde edilen tematik harita üretim sonuçları Şekil 4’te verilmiştir. Görsel sonuçların objektif olarak değerlendirilebilmesi için Bölge A ve B’de kesikli beyaz çizgi ile gösterilen bina sınırları OpenStreetMap platformundan elde edilmiş olup, Bölge C’de siyah kesikli çizgi ile gösterilen havuz sınırları piksel değerlerindeki ton farklılıkları da dikkate alınarak manuel olarak çizilmiştir.



Şekil 4. Sınıflandırma tekniklerinin görsel performanslarının analizi. (PTS: Piksel Tabanlı Sınıflandırma, NTS: Nesne Tabanlı Sınıflandırma, HTS (%60): %60 eşik değeri kullanılarak gerçekleştirilen Hibrit Tabanlı Sınıflandırma, HTS (%80): %80 eşik değeri kullanılarak gerçekleştirilen Hibrit Tabanlı Sınıflandırma)

Şekil 4'e göre, Bölge A için üretilen tematik haritalar incelendiğinde kiremit çatı sınıfının piksel tabanlı sınıflandırma ile olması gerekenden daha büyük olarak sınıflandırıldığı görülürken bu sınırların nesne tabanlı sınıflandırma tekniği ile de tam olarak tespit edilemediği gözlemlenmiştir. %80 eşik değeri kullanılarak gerçekleştirilen hibrit sınıflandırma tekniğinin ise en uygun sonuçları ürettiği görülmüştür. Bölge B'ye ait sonuçlar ait görsel sonuçlar analiz edildiğinde, piksel ve nesne tabanlı olarak üretilen tematik haritalarda kiremit çatı sınıfının sınırlarının daha geniş alanlara yayıldığı, buna karşın önerilen tekniğin kullanılması ile bu sınıfa ait sınırların gerçek sınırlara en yakın görsel performanslar ile sonuçlandırıldığı gözlemlenmiştir. Bölge C'de yer alan havuz sınıfa ait sınırlar içerisinde piksel ve nesne tabanlı olarak üretilen tematik haritalarda sınıflandırma hataları gözlemlenirken, bu iki tekniğin entegrasyonu ile gerçekleştirilen hibrit esaslı tematik haritada havuz sınıfının sınırlarının daha doğru bir şekilde görselleştirildiği tespit edilmiştir. Bölge D'de yer alan kesitte ise piksel tabanlı sınıflandırma sonucu gözlemlenen tuz-biber etkisinin önerilen teknik ile üretilen haritalarda minimuma indirildiği görülürken, nesne tabanlı olarak üretilen haritada meydana gelen yanlış sınıflandırma hatalarının düzeltildiği gözlemlenmiştir. Son olarak ise hem piksel hem de nesne tabanlı olarak üretilen haritalarda bozkır sınıfının mera olarak etiketlendiği, ancak yüksek eşik değeri kullanılarak gerçekleştirilen piksel ve nesne tabanlı sınıflandırma tekniğinin bozkır sınıfını doğru bir şekilde etiketlediği görülmektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada yüksek çözünürlüklü görüntülerden piksel tabanlı sınıflandırma tekniği kullanılarak tematik haritalar üretilmesinde gözlemlenen tuz-biber etkisinin en aza indirilmesi ve nesne tabanlı görüntü analizinde meydana gelen yetersiz bölütleme sonucu tematik haritalarda gözlemlenen detay kayıplarının üstesinden gelmek için yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşımın istatistiksel ve görsel performansları diğer tekniklerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmış ve aşağıdaki önemli bulgular elde edilmiştir.

İlk olarak, XGBoost ve CatBoost algoritmalarıyla nesne tabanlı olarak sınıflandırma kullanılarak üretilen tematik haritaların piksel tabanlı olarak üretilen tematik haritalardan daha yüksek genel doğruluğa sahip olduğu tespit edilmiştir. İkinci olarak, piksel ve nesne tabanlı sınıflandırma tekniklerinin füzyonu ile elde edilen hibrit tekniğin diğer tekniklere kıyasla istatistiksel ve görsel olarak daha üstün performansa sahip olduğu gözlemlenmiştir. başka bir ifade ile, %60 eşik değeri uygulanarak gerçekleştirilen hibrit esaslı tematik harita üretimi, piksel tabanlı sınıflandırma sonuçlarına kıyasla yaklaşık %3 daha doğru genel harita doğruluğu üretirken, nesne tabanlı haritalama sonuçları ile kıyaslandığında genel doğrulukta artış yaklaşık %1.5 olarak elde edilmiştir. Diğer yandan, %80 eşik değeri kullanıldığında ise önerilen tekniğin, sırasıyla piksel ve nesne tabanlı tekniklere kıyasla yaklaşık %4 ve %2 daha yüksek genel haritalama doğruluğu ürettiği görülmüştür. Bu sonuçlar önerilen hibrit haritalama tekniğinin daha doğru sonuçlar ürettiğini destekler niteliktedir. Ek olarak daha yüksek eşik değeri kullanımına paralel olarak genel harita doğruluğunun da arttığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar önerilen hibrit tabanlı yaklaşımın çok yüksek mekânsal çözünürlüklü uydu ve hava kaynaklı insansız hava araçlarından elde edilen görüntülerin sınıflandırılmasında kullanılabilecek etkili ve alternatif bir sınıflandırma yaklaşımı olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan, XGBoost algoritmasının piksel tabanlı sınıflandırma haricindeki diğer senaryolarda CatBoost algoritmasından daha üstün performansa sahip olduğu gözlemlenmiştir. İleriki çalışmalarda, önerilen yaklaşımın geçerliliğinin yüksek mekânsal çözünürlüklü farklı veri setleri kullanılarak değerlendirilmesi planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Chen Y., Ming, D., Zhao, L., Lv, B., Zhou, K. and Qing, Y.,** 2018. "Review on High Spatial Resolution Remote Sensing Image Segmentation Evaluation. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 84(10), 629–646.
- Chen, T. and Guestrin, C.,** 2016. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. *22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. ACM, New York, NY, USA, pp. 785–794.
- Congalton, R.G.,** 2001. Accuracy Assessment and Validation of Remotely Sensed and Other Spatial Information. *International Journal of Wildland Fire*, 10(4), 321–328.
- Congalton, R.G. and Green, K.,** 1999. Assessing The Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. Boca Raton: Lewis Publishers.
- Costa, H., Carrão, H., Bação, F. and Caetano M.,** 2014. Combining Per-Pixel and Object-Based Classifications for Mapping Land Cover Over Large Areas. *International Journal of Remote Sensing*, 35(2), 738–753.
- Delen, A. ve Balık Şanlı, F.,** 2017. Pamuk Ekili Alanların Nesne Tabanlı Sınıflandırma Yöntemi İle Belirlenmesi: Menemen Örneği. *Journal of New Results in Engineering and Natural Science*, 6, 1-8.

- Drăguț, L., Csillik, O., Eisank, C. and Tiede, D.,** 2014. Automated Parameterisation for Multi-Scale Image Segmentation on Multiple Layers. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 88, 119–127.
- Georganos, S., Grippa, T., Vanhuysse, S., Lennert, M., Shimoni, M. and Wolff, E.,** 2018. Very High Resolution Object-Based Land Use–Land Cover Urban Classification Using Extreme Gradient Boosting. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 15(4), 607–611.
- Kaplan, G. and Avdan, U.,** 2017. Object-Based Water Body Extraction Model Using Sentinel-2 Satellite Imagery. *European Journal of Remote Sensing*, 50(1), 137-143.
- Kavzoglu, T. and Tonbul, H.,** 2018. An Experimental Comparison of Multi-Resolution Segmentation, SLIC and K-Means Clustering for Object-Based Classification of VHR Imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 39(12), 1-17.
- Kete, S.C.R., Suprihatin, Tarigan S.D. and Effendi, H.,** 2019. Land Use Classification Based on Object and Pixel Using Landsat 8 OLI in Kendari City, Southeast Sulawesi Province, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 284(1), 012019.
- Liu D. and Xia F.,** 2010. Assessing Object-Based Classification: Advantages and Limitations. *Remote Sensing Letters*, 1(4), 187–194.
- Nasiri, V., Deljouei, A., Moradi, F., Sadeghi, S.M.M. and Borz S.A.,** 2022. Land Use and Land Cover Mapping Using Sentinel-2, Landsat-8 Satellite Images, and Google Earth Engine: A Comparison of Two Composition Methods. *Remote Sensing*, 14(9), 1977.
- Ozturk, M.Y.** 2022. Novel Hybrid Classification Approach to Integrate Pixel- and Object-Based Image Analysis for Classification of Remotely Sensed Data, *M.Sc. Dissertation*, Gebze Technical University, Kocaeli. 112 sayfa.
- Rumora, L., Miler, M. and Medak, D.,** 2020. Impact of Various Atmospheric Corrections on Sentinel-2 Land Cover Classification Accuracy Using Machine Learning Classifiers. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 9(4), 277.
- Sabuncu, A. ve Sunar, F.,** 2017. Ortofotolar ile Nesne Tabanlı Görüntü Sınıflandırma Uygulaması: Van-Erciş Depremi Örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 3(1), 1-8.
- Salah, M.,** 2017. A survey of Modern Classification Techniques in Remote Sensing for Improved Image Classification. *Journal of Geomatics*, 11(1), 20.
- Tavus, B., Karataş, K. ve Türker, M.** 2019. Tarımsal Alanlarda Yüksek Çözünürlüklü IKONOS Uydu Görüntüsünden Nesne-Tabanlı Ürün Deseni Tespiti. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(5), 603,614.
- Wang, L., Sousa, W.P. and Gong, P.,** 2004. Integration of Object-Based and Pixel-Based Classification for Mapping Mangroves with IKONOS Imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 25(24), 5655–5668.
- Wu, M.F., Sun, Z.C., Yang, B. and Yu, S.S.,** 2016. A Hierarchical Object-Oriented Urban Land Cover Classification Using WorldView-2 Imagery and Airborne LiDAR Data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Beijing, China, 46(1), 012016.
- Yang, J., He, Y. and Weng, Q.,** 2015. An Automated Method to Parameterize Segmentation Scale by Enhancing Intrasegment Homogeneity and Intersegment Heterogeneity. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 12(6), 1282–1286.