

# OBJE TABANLI YAKLAŞIMDA MAKİNE ÖĞRENME ALGORİTMALARININ SINIFLANDIRMA PERFORMANSININ ANALİZİ

T. Kavzoğlu, İ. Çölkesen, E.K. Şahin

Gebze Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Bölümü, 41400 Gebze-Kocaeli  
(kavzogl@gtu.edu.tr, icolkesen@gtu.edu.tr, e.sahin@gtu.edu.tr)

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** Makine Öğrenmesi, Destek Vektör Makineleri, Karar Ağaçları, Obje-tabanlı Sınıflandırma

## ÖZET:

Son yıllarda, yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında obje-tabanlı yaklaşım yaygın olarak kullanılmakta ve heterojen yapıdaki görüntü piksellerinin ayırt edilmesinde geleneksel piksel tabanlı yaklaşımlar göre daha güçlü olduğu ifade edilmektedir. Obje tabanlı yaklaşımda temel amaç homojen yapılu görüntü objelerin oluşturulması ve bu objelerin önceden belirlenen arazi örtüsü ve kullanım sınıfına atanmasıdır. Obje tabanlı görüntü sınıflandırmada çoğunlukla uzaklık esasına dayanan en yakın komşuluk (EYK) sınıflandırıcısı yaygın olarak kullanılmaktadır. Makine öğrenme algoritmalarının obje tabanlı yaklaşımda kullanımı son yıllarda önemli bir araştırma konusu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada destek vektör makineleri (DVM) ve karar ağaçları (KA) olarak bilinen iki makine öğrenme algoritmasının obje-tabanlı yaklaşımdaki sınıflandırma performansı karşılaştırılmış ve analiz edilmiştir. Uygulamada Kocaeli ili Darıca ilçe sınırları içerisinde yapılaşmanın yoğun olduğu ve kırsal alan özelliklerine sahip iki farklı çalışma alanı değerlendirilmeye alınmıştır. Sınıflandırma işleminin gerçekleştirilmesinde hem obje tabanlı hem de klasik piksel tabanlı yaklaşım değerlendirilmeye alınarak makine öğrenme algoritmalarının objektif olarak karşılaştırılması sağlanmıştır. DVM ve KA algoritmalarının sınıflandırma performanslarının karşılaştırılması amacıyla geleneksel EYK algoritması da değerlendirilmeye alınmıştır. Çalışma sonuçlarında hem obje hem de piksel tabanlı yaklaşımda DVM algoritmasının KA ve EYK algoritmalarından daha yüksek sınıflandırma performansı sergilediği görülmüştür. Buna karşın KA algoritmalarıyla EYK ile benzer sınıflandırma sonuçları elde edildiği görülmüştür. Sonuç olarak, istatistiksel kabullere dayanmayan makine öğrenme algoritmalarının obje tabanlı sınıflandırma işleminin gerçekleştirilmesinde kullanımı ile sınıflandırma doğruluğunun önemli derecede arttığı ifade edilebilir.

**KEYWORDS:** Machine Learning, Support Vector Machine, Decision Trees, Object-based Classification

## ABSTRACT:

Recently, object-based approach has been widely used for the classification of high-resolution imagery and it has been founded robust in discriminating heterogenous image pixels compared with the traditional pixel based approaches. The main purpose of the object-based approach is to determine homogenous image objects and then classifying them into one of the one specified land use land cover classes. So far, distance based nearest neighbor algorithm has been the most popular classifier used in object-based image classification. The use of machine learning algorithms for the object-based classification has become hot research topic in remote sensing field. In this study, the classification performances of two well-known machine learning algorithms namely, support vector machines (SVMs) and decision trees (DTs) were employed in object-based classification process and the results were compared with nearest neighbor (NN) classifier. Two study sites were located in Darıca district of Kocaeli having intense urbanization and rural characteristics were considered in performance evaluation. Both pixel and object-based approach were evaluated for the objective comparison of machine learning algorithms. In order to compare the classification performances of SVM and DT algorithms, traditional NN algorithm was also applied to dataset. Results showed that SVM algorithm produced higher classification performances than NN and DT algorithm in both pixel and object-based approaches in term of overall classification accuracy. On the other hand, it was observed that DT and NN algorithms showed similar classification performances. It can be concluded that, the classification accuracy was significantly increased by the use of non-parametric machine learning algorithm in object based classification.

## 1. GİRİŞ

Uzaktan algılanmış görüntüler yardımıyla yeryüzünün farklı özelliklerini temsil eden tematik haritaların üretilmesi uzaktan algılama alanında önemli bir araştırma konusudur. Özellikle son yıllarda algılayıcı sistemlerinde yaşanan iyileşmeler neticesinde uzaktan algılanmış görüntülerin kullanıcılara sunduğu bilgi içeriği türü ve miktarı değişime uğramıştır. Nitekim yeni nesil yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ile yeryüzü nesnelere özellikleri ve konumsal olarak dağılımlarına ilişkin çok daha detaylı bilgiler elde edilebilmektedir.

Uydu görüntülerinin konumsal çözünürlüğündeki iyileşmeler, beraberinde görüntülerin analiz edilmesi ve yeryüzü nesnelere ilişkin bilgi çıkarımında önemli problemler ortaya çıkmıştır. Bunların başında çözünürlük artışı ile birlikte aynı yeryüzü nesnesini ifade eden komşu pikseller arasındaki spektral benzerliğin azalmasına neden olarak görüntüdeki karışık piksellerin sayısının artmasıdır. Bu durum yeryüzündeki arazi örtüsü sınıflarına ait piksellerin kendi içerisinde veya birbirleriyle olan farklılıklarının ayırt edilmesi ve sınıflandırılması problemi karmaşık bir hale getirmektedir (Zhang et al., 2014). Bu nedenle yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin sınıflandırılması ve doğruluğu yüksek tematik harita üretiminde probleminde klasik

piksel tabanlı sınıflandırma yaklaşımı yetersiz kalmaktadır. Son yıllarda özellikle yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında piksel tabanlı yaklaşım yerine obje tabanlı yaklaşımın kullanılmasının sınıflandırma doğruluğunu arttırdığı ve karmaşık yapıdaki sınıflandırma probleminin çözümünde önemli derecede başarı sağladığı birçok çalışmada vurgulanmıştır (Blaschke, 2010; Myint et al., 2011). Objeye tabanlı sınıflandırmada yaklaşımda temel düşünce benzer spektral özelliklere sahip görüntü piksellerinden oluşan homojen yapıları görüntü objelerinin oluşturulması ve objeler için tanımlanan spektral, istatistiksel, doku ve geometrik özellikler dikkate alınarak görüntü objelerinin sınıflandırılmasıdır (Baatz and Schape, 2000).

Uzaktan algılamada uydu görüntülerinin sınıflandırılmasının günümüze kadar birçok sınıflandırma algoritması geliştirilmiş ve uygulamada kullanılmıştır (Lu and Weng, 2007; Tso and Mather, 2009). Objeye tabanlı yaklaşımda görüntü objelerinin sınıflandırma işleminin gerçekleştirilmesinde geleneksel sınıflandırıcı olarak bilinen en yakın komşuluk algoritması yoğun bir kullanıma sahiptir. Literatürde parametrik sınıflandırıcıların yüksek çözünürlüklü görüntülerde olduğu gibi karmaşık yapıdaki veri setlerinin sınıflandırılmasında yetersiz kaldığı ifade edilmektedir (Kavzoglu and Reis, 2008). Söz konusu eksikliğin giderilmesinde destek vektör makineleri, karar ağaçları ve yapay sinir ağları gibi parametrik olmayan sınıflandırma algoritmaları başarıyla kullanılmaktadır (Çölkesen, 2009). Piksel tabanlı sınıflandırma yaklaşımında başarısı birçok çalışmada ifade edilen ileri sınıflandırma algoritmalarının, objeye tabanlı sınıflandırma yaklaşımındaki etkinliği son yıllarda önemli bir araştırma konusu olarak ortaya çıkmıştır (Heuman, 2011; Ghosh and Joshi, 2014; Qian et al., 2015).

Bu çalışmada, sahip olduğu teknik özellikler ile birçok çalışmaya konu olan WorldView-2 uydu görüntüsünün objeye tabanlı yaklaşımla sınıflandırılması problemi esas alınmıştır. Çalışmanın temel amacı, objeye tabanlı sınıflandırma işleminin gerçekleştirilmesinde son yıllarda birçok sınıflandırma ve görüntü tanımlama probleminin çözümünde başarıyla kullanılan destek vektör makineleri (DVM) ve karar ağaçları (KA) algoritmalarının sınıflandırma performanslarının analiz edilmesidir. Bu amaca yönelik olarak Kocaeli ile Darıca ilçe sınırları içerisinde yoğun yapılaşmanın görüldüğü ve kırsal alan özelliklerine sahip iki çalışma bölgesi belirlenmiştir. Sınıflandırma algoritmalarının performansının objektif olarak analiz edilmesi amacıyla seçilen bölgelere ait tematik harita üretiminde hem piksel hem de objeye tabanlı yaklaşımdan yararlanılmıştır. Bununla birlikte makine öğrenme algoritmalarının performans karşılaştırılmasında klasik en yakın komşuluk algoritması da değerlendirilmeye alınmıştır.

## 2. ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN VERİ

Kocaeli ili Darıca ilçesi içerisinde Şekil 1'de görülen kentsel (a) ve kırsal (b) alanları temsil eden iki pilot bölge çalışma alanları olarak belirlenmiştir. Şekil 1a'da gösterilen ve kentsel alan olarak isimlendirilen bölge, Kocaeli ilinin önemli turizm merkezlerinden biri olan ve yoğun yapılaşmanın bulunduğu Darıca burnunu içerisine alan yaklaşık 70 hektarlık bir alanı kapsamaktadır. Diğer pilot bölge (Şekil 1b) Darıca ilçesi içerisinde kırsal alanların yoğunlukta bulunduğu ve yaklaşık 95 hektarlık bir alanı kapsamaktadır.

Bu çalışmada genel arazi kullanımı ve arazi örtüsünün belirlenmesi amacıyla 2013 tarihinde kaydedilen Worldview-2

(WV-2) uydu görüntüsü kullanılmıştır. Uydu görüntüsünün geometrik düzeltilmesi ve UTM koordinat sistemine dönüşümünde mevcut hâlihazır haritalar ve bölgeye ait yüksek çözünürlüklü görüntülerden yararlanılmıştır. Mevcut uydu görüntüsünün 2m çözünürlüğündeki 8 multispektral bantı 0,5m çözünürlüğündeki pankromatik bantla kaynaştırılarak 0,5m çözünürlüğünde multispektral bantlar elde edilmiştir. Kaynaştırma işleminin gerçekleştirilmesinde Gram-Schmidt algoritması kullanılmış, 3x3 görüntü yumuşatma filtresi uygulanarak, yeniden örnekleme işleminde bilineer enterpolasyon tekniğinden yararlanılmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanları: (a) Kentsel Alan, (b) Kırsal Alan.

Uydu görüntüsüne ilave olarak görüntü pikselleri arasındaki spektral ayrımın artırılması amacıyla, WV-2 uydu görüntüsünün yakıncızilotesi-1 ve kırmızı bantları kullanılarak normalleştirilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) hesaplanarak yardımcı veri seti olarak değerlendirilmeye alınmıştır.

## 3. OBJE TABANLI SINIFLANDIRMA

Objeye tabanlı sınıflandırma yaklaşımında Şekil 2'den de görüleceği üzere dört temel kritik işlem adımı mevcuttur. Bunlardan ilki çeşitli algoritmalar ve yaklaşımlar yardımıyla görüntü piksellerinden homojen görüntü objelerinin üretilmesi olarak bilinen segmentasyon işlemi, ikincisi üretilen görüntü objeleri için farklı özelliklerin tanımlanması, üçüncü olarak kontrollü sınıflandırma işleminin esas olan arazi örtüsü ve kullanım sınıflarına ilişkin örnekleme veri setlerinin oluşturulması ve son olarak tanımlanan özellikler yardımıyla görüntü objelerinin sınıflandırılmasıdır (Belgiu et al., 2014).



Şekil 2. Objeye tabanlı yaklaşımda temel işlem adımları.

Objeye tabanlı sınıflandırma işlemi piksel tabanlı sınıflandırma tekniğinde olduğu gibi görüntü üzerindeki her bir pikseli değerlendirmeyerek piksellerin bir araya gelerek oluşturduğu objelerle ilgilidir. Bu sayede objeye tabanlı sınıflandırma ile milyonlarca pikselden oluşan görüntüler değerlendirilmesi yerine bunları temsil eden objelerin değerlendirilmesi söz

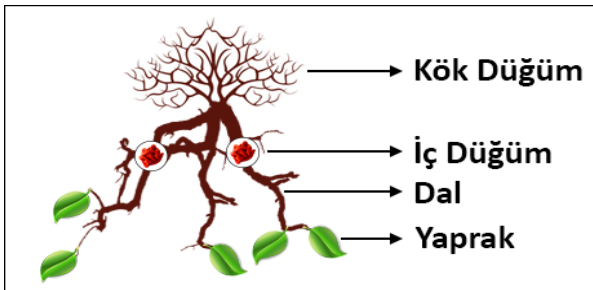
konusudur. Görüntü objelerinin oluşturulması olarak bilinen görüntü segmentasyonu satranç tahtası, dörtlü ağaç, spektral farklılık, kontrast ayırma, çok eşik segmentasyonu ve çoklu çözünürlüklü segmentasyon gibi çok çeşitli teknikler gerçekleştirilmektedir (eCognition Developer 8.7). Bu segmentasyon analizleri içerisinde literatürde en çok kullanılan ve popüler tekniklerden biri çoklu çözünürlüklü segmentasyondur. Bu teknikle başlangıçta her bir piksel bir görüntü objesi olarak göz önüne alınarak, iteratif bir yaklaşımla homojen görüntü objeleri elde edilir (Baatz and Schape, 2000). Çoklu çözünürlük segmentasyonu algoritma yardımıyla görüntü segmentasyonun gerçekleştirilmesinde temel olarak ölçek, şekil ve yoğunluk olarak adlandırılan üç farklı parametrenin kullanıcı tarafından belirlenmesi gerekmektedir. Bunlardan en önemlisi ölçek parametresi olarak ifade edilmektedir (Myint et al, 2011; Belgiu et al., 2014).

#### 4. SINIFLANDIRMA ALGORİTMALARI

##### 4.1. Karar Ağaçları Algoritması

Karar ağaçları (KA) matematiksel olarak kolay ve anlaşılabilir yapıyla son yıllarda arazi kullanımı ve sınıflandırma problemlerinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir (Kavzoğlu ve Çölkesen, 2010). KA arazi örtüsünün sınıflandırılması işleminde çok aşamalı veya ardışık bir yaklaşım tekniği kullanılmaktadır. Yöntemin temel işlem yapısı genel olarak karmaşık yapıdaki bir sınıflandırma probleminin çözülmesinde çok aşamalı bir hale getirilerek basit bir karar verme işlemi gerçekleştirir (Safavian and Landgrebe, 1991; Kavzoğlu ve Çölkesen, 2010).

Quinlan (1993)'e göre bir karar ağacının temel yapısı düğüm, dal ve yaprak olarak adlandırılan üç temel kısımdan oluşur (Şekil 3). Bu ağaç yapısında her bir öznelik bir düğüm tarafından temsil edilir. Dallar ve yapraklar ağaç yapısının diğer elemanlarıdır. Ağaçta en son kısım yaprak en üst kısım ise kök olarak adlandırılır. Kök ve yapraklar arasında kalan kısımlar ise dal olarak ifade edilir. Eğitim verileri ve bu verilere ait öznelik bilgilerinden yararlanılarak bir karar ağacı yapısı oluşumunda temel prensip verilere ilişkin bir dizi sorular sorulması ve elde edilen cevaplar doğrultusunda karar kuralları oluşturulmasıdır. Ağacın ilk düğümü olan kök düğümünde verilerin sınıflandırılması ve ağaç yapısının oluşturulması için sorular sorulmaya başlanır ve dalları olmayan düğümler ya da yapraklara gelene kadar bu işlem devam eder (Pal and Mather, 2003).



Şekil 3. Düzüm, dal ve yapraklardan oluşan basit bir karar ağacı yapısı.

##### 4.2. En Yakın Komşuluk Algoritması

Genel arazi kullanımı ve arazi örtüsünün belirlenmesi amacıyla sıklıkla kullanılan popüler metotlardan biri en yakın komşuluk (EYK) algoritmasıdır. Algoritmanın temel işleme mantığı, sınıfları belli olan bir örnek kümesindeki piksel değerlerinden yararlanarak, örneğe katılacak yeni bir pikselin hangi sınıfa ait

olduğunu belirlenmesidir (Lillesand et al., 2007). Algoritma eğitim bir pikselin hangi sınıfa ait olduğunun belirlenmesinde karar kuralı olarak Eşitlik (1)'de verilen Öklit uzaklığını kullanılmaktadır. Eşitlikte  $i$  aday pikselin parlaklık değerlerini,  $j$  ise sınıflara ait ortalama parlaklık değerini göstermektedir.

$$d(i, j) = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (1)$$

##### 4.3. Destek Vektör Makineleri Algoritması

Parametrik olmayan yapısı ve sınıflandırma probleminin çözümündeki etkinliği nedeniyle son yıllarda uzaktan algılanmış görüntülerin sınıflandırılmasında başarıyla kullanılan destek vektör makineleri (DVM), iki sınıfa ait pikselleri birbirinden optimum şekilde ayırt edebilen bir hiperdüzlemin bulunması esasına dayanmaktadır (Vapnik, 1995; Mountrakis et al., 2011). DVM ile doğrusal olarak ayrılmayan veri seti özelliğini taşıyan uydu görüntülerinin sınıflandırılması probleminde, sınıflandırmaya esas karar kurallarını ifade eden hiperdüzlemlerin belirlenmesinde kernel fonksiyonları kullanılmaktadır. DVM'nin kullandığı bu fonksiyonlar doğrusal olmayan dönüşümler yapılabilmekte ve verilerin yüksek boyutta doğrusal olarak ayrılabilmesine imkân sağlamaktadır (Mathur and Foody, 2008). Literatürde birçok kernel fonksiyonu tanımlanmış olmasına rağmen, radyal tabanlı fonksiyon (RTF) problem çözümündeki etkinliği ve yüksek sınıflandırma doğruluğu üretmesi nedeniyle en çok tercih edilen kernel fonksiyonudur (Kavzoğlu and Colkesen, 2009).

#### 5. UYGULAMA

Çalışma alanı olarak belirlenen iki bölge içerisinde yapılan arazi çalışmaları neticesinde bölgeleri temsil eden arazi örtüsü ve kullanım sınıfları tespit edilmiştir. Yoğun yerleşim ve yapılaşma alanlarını içeren pilot bölge içerisinde geniş yaprak, iğne yaprak, bozkır, kırmızı bina, gri bina, yol, su, havuz, beton, toprak-taş ve gölge olmak üzere 11 arazi örtüsü ve kullanım sınıfı belirlenmiştir. İkinci pilot bölgede ise geniş yaprak, kırmızı bina, gri bina, bozkır, taş-toprak, yol, gölge, su ve beton olmak üzere 9 arazi örtüsü ve kullanım sınıfı tespit edilmiştir. Tespit edilen arazi örtüsü ve kullanım sınıflarına ilişkin sınıflandırma işlemine esas teşkil edecek örnekleme alanlarının belirlenmesinde mevcut uydu görüntüleri, hava fotoğrafları ve tematik haritalardan yararlanılmıştır.

Obje-tabanlı sınıflandırma işleminin gerçekleştirilmesinde eCognition yazılımında sunulan çoklu çözünürlük segmentasyonu algoritması kullanılmıştır. Optimum ölçek parametresinin tespitinde üretilen görüntü objelerinin lokal varyansındaki değişimleri esas alan ESP tool (Dragut et al., 2010) programından faydalanılmıştır. Program yardımıyla her iki pilot bölge için ayrı ayrı çoklu segmentasyon algoritmasına ilişkin ölçek parametresi tespit edilmiştir. Tablo 1'de her iki bölge için tespit optimum segmentasyon parametreleri, bu parametrelerle üretilen görüntü objelerinin sayısı ve pilot bölgelerdeki toplam piksel sayısı verilmiştir. Tablodan da görüleceği üzere ayrık yüzey nesnelerini (örneğin binalar) içeren kentsel alan için optimum ölçek parametresi 40 olarak belirlenirken, tarımsal alanlar gibi bütünlük gösteren ikinci pilot bölge için 70 olarak seçilmiştir. Kentsel alan için daha küçük ölçek parametresi seçilmesinde alan içerisindeki yoğun yapılaşma, ağaç türleri ve gölge gibi farklı sınıflardan kaynaklanan heterojen veri yapısının etkili olduğu düşünülmektedir. Çalışmada kullanılan çoklu çözünürlüklü



segmentasyon işleminde iki bölge için farklı ölçek ve yoğunluk parametreleri seçilmiştir. Tablodan da görüleceği üzere obje tabanlı yaklaşımla kentsel ve kırsal alanda milyonlarca piksel yerine bu veri setlerinin yaklaşık %2 si kadar görüntü objesi üretilmiştir. Bu nedenle obje tabanlı sınıflandırma yaklaşımı ile sınıflandırma ve tematik harita üretimi için ihtiyaç duyulan işlem zamanını ve sınıflandırma algoritmalarının karşı karşıya kaldığı problemdeki hesap karmaşıklığını önemli ölçüde azaltmaktadır.

Tablo 1. Uygulamada kullanılan segmentasyon parametreleri.

	Kentsel Alan	Kırsal Alan
Ölçek	40	70
Şekil	0,3	0,3
Yoğunluk	0,8	0,5
Toplam obje sayısı	44.959	23.301
Toplam piksel sayısı	2.913.256	3.826.959

Tespit edilen optimum segmentasyon parametreleri ile çoklu segmentasyon işlemi gerçekleştirilmiş ve her iki bölge için görüntü objeleri üretilmiştir. Objeye tabanlı yaklaşımda görüntü objelerine ilişkin spektral, istatistiksel, geometrik ve dokuya ilişkin özellikler tanımlanabilmektedir. Bu çalışmada objelere ait temel spektral özellikler olarak bilinen ortalama, maksimum piksel, minimum piksel, parlaklık ve maksimum fark değerleri WV-2 uydusunun 8 spektral bandı ve NDVI için hesaplanmıştır. Sonuç olarak sınıflandırmaya esas veri seti olarak 29 özelliği (bandı) içeren veri seti elde edilmiştir.

Segmentasyon sonucunda üretilen ve temel spektral özellikleri tanımlanan görüntü objelerinin sınıflandırılması işleminde kullanılmak üzere, arazi çalışmaları neticesinde tespit edilen örnekleme alanları göz önüne alınarak segmente edilen görüntü üzerinden her bir pilot bölge için ayrı ayrı eğitim ve test alanları seçilmiştir. Eğitim ve test alanları farklı örnekleme bölgelerinden tespit edilerek bağımsız veri setleri oluşturulmuş ve sınıflara ilişkin örnek seçiminde her bir sınıf için yaklaşık aynı sayıda obje seçilerek objektif karşılaştırma yapılması hedeflenmiştir. Sonuç olarak kentsel alan olarak tanımlanan ilk pilot bölge için toplam 394 obje eğitim 252 obje test verisi olarak seçilirken, kırsal alan olarak tanımlanan ikinci bölge için eğitim verisi olarak toplam 296 test verisi olarak 154 görüntü objesi seçilmiştir.

Piksel tabanlı sınıflandırma işleminin gerçekleştirilmesinde objektif karşılaştırmalar yapılabilmesi amacıyla obje tabanlı yaklaşımda kullanılan eğitim ve test objelerinden yararlanılmıştır. Söz konusu objeler WV-2 ve NDVI görüntüsünün entegrasyonu sonucunda elde edilen 9 bantlı veri seti ile ilişkilendirilmiş ve rastgele örnekleme prensibinden hareketle her bir arazi örtüsü sınıfı için eğitim ve test pikselleri seçilmiştir. İlk pilot bölgede her bir sınıf için eşit sayıda piksel içerecek şekilde toplam 3.300 piksel eğitim, 2.750 piksel test veri seti olarak belirlenmiştir. Aynı prensiple ikinci pilot bölge için 1.800 piksel eğitim, 1.350 piksel test veri seti olarak tespit edilmiştir.

Oluşturulan eğitim ve test veri setleri DVM, KA ve EYK algoritmaları kullanarak hem obje hem de piksel tabanlı sınıflandırma modelleri oluşturulmuştur. DVM ile sınıflandırmaya esas model oluşumunda kullanıcı tarafından belirlenen parametreler (düzenleme parametresi ve kernel genişliği) 10 katlı çapraz geçerlilik yaklaşımıyla tespit edilmiş ve belirlenen optimum parametreler ile sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan sınıflandırma modellerinin test veri setlerine uygulanmasıyla elde edilen genel sınıflandırma doğrulukları Tablo 2'de verilmiştir. Tablo incelendiğinde,

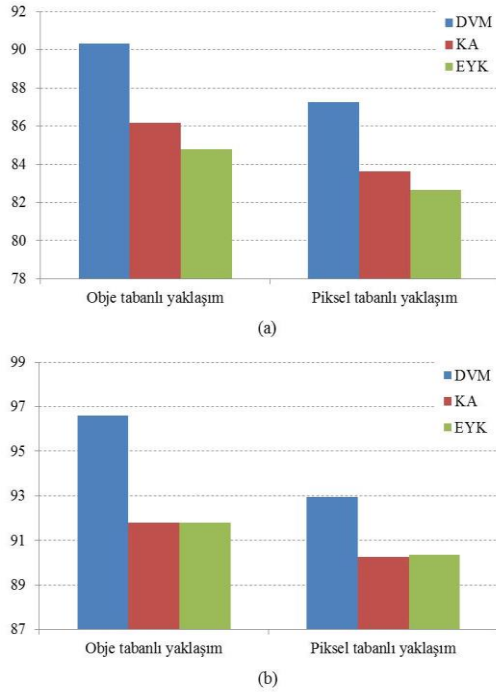
kentsel ve kırsal alan olarak isimlendirilen çalışma alanlarına ilişkin veri setleri için elde edilen en yüksek sınıflandırma doğruluklarının obje tabanlı yaklaşımla DVM algoritmasının kullanımıyla elde edildiği görülmektedir. Kentsel alan için en düşük sınıflandırma doğruluğu (%82,64) piksel tabanlı EYK algoritması ile elde edilirken, kırsal alan için KA ve EYK algoritmalarının piksel tabanlı sınıflandırmada kullanımı ile elde edildiği görülmektedir.

Tablo 2. Objeye ve piksel tabanlı yaklaşımlar için elde edilen sınıflandırma sonuçları.

	Kentsel Alan		Kırsal Alan	
	Objeye tabanlı	Piksel tabanlı	Objeye tabanlı	Piksel tabanlı
DVM	<b>90,32</b>	87,27	<b>96,59</b>	92,93
KA	86,18	83,64	91,78	90,26
EYK	84,79	82,64	91,79	90,34

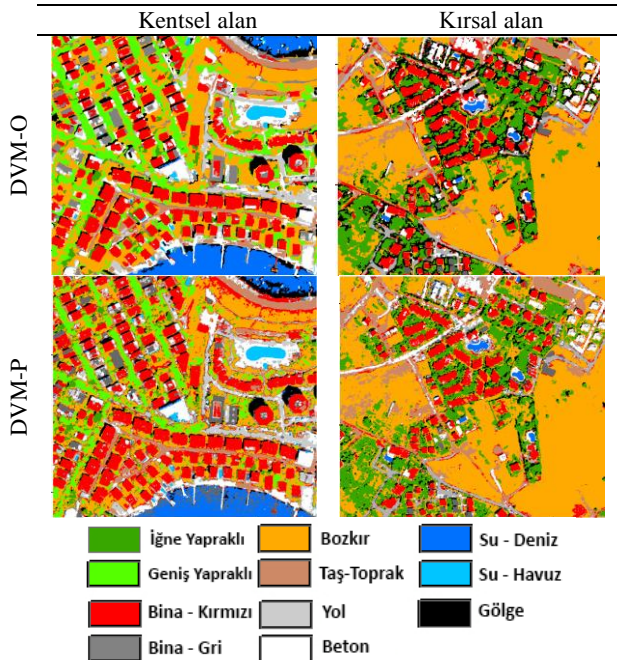
Sınıflandırma algoritmalarının objeye ve piksel tabanlı yaklaşımdaki performansları analiz edildiğinde, kentsel alan için tüm algoritmaların sınıflandırma performanslarının objeye tabanlı yaklaşımla arttığı açıkça görülmektedir (Şekil 4a). Sınıflandırma doğruluğundaki bu iyileşme DVM için %3 olarak hesaplanırken, KA için %2,5 EYK algoritması için %2 seviyelerinde olduğu görülmektedir. Kırsal alan için elde edilen sonuçlar incelendiğinde (Şekil 4b), objeye tabanlı yaklaşımla DVM algoritmasının performansında %3,6'lık bir artış görülürken, KA ve EYK algoritmaları için %1,5 seviyelerindedir. Şekil incelendiğinde makine öğrenme algoritması olarak çalışmada değerlendirmeye alınan algoritmalarından özellikle DVM algoritmasının objeye tabanlı yaklaşımda yoğun olarak kullanılan EYK algoritmasından çok daha üstün bir yaklaşım olduğu görülmektedir. Çalışmada değerlendirmeye alınan iki pilot bölge için DVM benzer sınıflandırma performansları göstererek diğer algoritmalarından %4-5 oranında daha yüksek sınıflandırma doğruluğuna ulaşmıştır. Diğer taraftan, çalışma sonuçları DVM'nin piksel tabanlı yaklaşımda klasik sınıflandırıcılara göre daha yüksek performans sergilediğini doğrular niteliktedir.

Çalışmada değerlendirmeye alınan diğer bir makine öğrenme algoritması olan KA'nın objeye tabanlı yaklaşımdaki sınıflandırma performansı en yakın komşuluk algoritması ile karşılaştırıldığında, kentsel alan olarak tanımlanan bölgede (Şekil 4a) yaklaşık %1 daha yüksek sınıflandırma doğruluğu elde ettiği, diğer pilot bölgede EYK ile benzer sınıflandırma performansı sergilediği görülmektedir (Şekil 4b). KA algoritmasının performansındaki bu davranış, karmaşık yapıdaki görüntü verilerinin analizinde EYK algoritmasından daha iyi olduğunu, daha homojen görüntülerin sınıflandırılmasında benzer performans gösterdiği şeklinde yorumlanmıştır. KA algoritmasının piksel tabanlı yaklaşımda da benzer sonuçlar ürettiği görülmektedir.



Şekil 4. Sınıflandırma doğruluklarının analizi (a) kentsel alan ve (b) kırsal alan.

Uygulamada değerlendirmeye alınan tüm sınıflandırma algoritmaları için gerek piksel gerekse obje tabanlı yaklaşımda en yüksek sınıflandırma doğruluğuna ulaştıkları sınıflandırma modelleri yardımıyla her iki çalışma bölgesine ilişkin tematik haritalar üretilmiştir. Üretilen tematik haritalara örnek olarak DVM algoritması ile üretilen obje ve piksel tabanlı haritalar içerisinde Şekil 5’de gösterilen alt bölgeler tespit edilerek, sınıflandırma farklılıkları analiz edilmiştir.



Şekil 5. Destek vektör makineleri sınıflandırıcısı ile obje ve piksel tabanlı yaklaşımlara ait tematik haritalar.

Şekil incelendiğinde piksel tabanlı yaklaşımla üretilen tematik haritalarda literatürde tuz-biber (salt-pepper) olarak bilinen gürültü oranının daha fazla olduğu bu nedenle görüntülerin

daha karmaşık bir yapıda olduğu görülmektedir. Piksel tabanlı sınıflandırmada arazi örtüsü ve kullanım sınıfları arasındaki temel karışıklığın toprak ve bina-kırmızı olarak isimlendirilen sınıflar arasındaki hatalı sınıflandırılan piksellerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kırsal alan olarak belirlenen bölgede ise temel sınıflandırma hatalarının ise toprak-taş sınıfına ait pikseller ile bozkır sınıfına ait pikseller arasında olduğu görülmektedir. Diğer taraftan obje tabanlı yaklaşımla üretilen tematik haritalardaki sınıflandırma hatalarının dolayısıyla gürültü etkisinin daha az olduğu ve görüntü üzerinde arazi örtüsü ve kullanım sınıflarının dağılımlarının daha kolay yorumlanabileceği görülmektedir.

## 6. SONUÇLAR

Uydu görüntülerin sınıflandırılması ve tematik harita üretimi uzaktan algılama alanında üzerinde en yoğun çalışmaların yapıldığı bir çalışma konudur. Son yıllarda uydu sensörlerinin gelişmesi ve elde edilen uydu görüntüsünün kullanıcılara sağladığı bilgi içeriğindeki artış bu alanda yeni çalışma konularının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Özellikle güncel uydu görüntülerinin yoğun ve karmaşık yapıda piksellere sahip oluşu, sınıflandırma ve tematik harita üretiminde yeni yaklaşım ve algoritmaların kullanılması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır.

Bu çalışmada, yüksek çözünürlüklü görüntülerin sınıflandırılması probleminin çözümünde obje tabanlı yaklaşım ve makine öğrenme algoritmalarının kullanımı incelenmiştir. Makine öğrenme algoritmalarından destek vektör makineleri (DVM) ve karar ağaçları (KA) algoritmalarının performansı geleneksel en yakın komşuluk (EYK) algoritması ile karşılaştırılmıştır. Objeye tabanlı sınıflandırma yaklaşımının sınıflandırma işlemindeki etkinliğinin ortaya koyulması amacıyla piksel tabanlı sınıflandırma işleminde gerçekleştirilmiş ve sonuçlar analiz edilmiştir.

Çalışma sonuçları obje tabanlı yaklaşımın yüksek çözünürlüklü görüntülerin sınıflandırılmasında tematik harita doğruluğunu %4’e varan seviyelerde artırdığını göstermektedir. Değerlendirmeye alınan tüm algoritmaların obje tabanlı yaklaşımda piksel tabanlı yaklaşıma göre daha yüksek sınıflandırma doğruluğuna ulaştıkları tespit edilmiştir. Bu durum yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında obje tabanlı yaklaşımın etkinliğini doğrular niteliktedir.

Makine öğrenme algoritmalarının obje tabanlı yaklaşımdaki performansları açısından sonuçlar ele alındığında, özellikle DVM algoritmasının EYK algoritmasına göre %5, KA ağaçlarına göre %4 daha yüksek sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Elde edilen bu bulgu, DVM algoritmasının obje tabanlı sınıflandırmadaki etkinliğini göstermektedir. Bununla birlikte, segmentasyon sonucu üretilen görüntü objelerine ait farklı özelliklerin tanımlanmasıyla ortaya çıkan yüksek boyutlu veri seti için DVM’nin yüksek performans sergilemesi DVM’nin yüksek boyutlu veri setlerinin sınıflandırmadaki başarısını da doğrulamaktadır.

KA algoritmasının performansı incelendiğinde, algoritmanın yoğun yapılaşmanın olduğu pilot bölgede EYK algoritmasından %1 daha doğru sonuçlar verdiği, diğer pilot bölgede benzer sonuçlar ürettiği görülmüştür. Elde edilen bu sonuç KA algoritmasının obje tabanlı sınıflandırmada kullanımıyla sınıflandırma doğruluğunda önemli bir değişim ortaya çıkarmadığını göstermektedir. KA ve EYK algoritmalarının performanslarının DVM’ne göre düşük seviyelerde kalışının önemli bir nedeni olarak söz konusu yüksek boyutlu veri seti

olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle görüntü objeleri için tanımlanacak tüm objelerin kullanılması yerine uygun bir özellik seçimi yaklaşımıyla algoritmaların performanslarının artırılabilirliği öngörülmektedir. Bu nedenle KA algoritmasının tekil kullanımı yerine, toplu öğrenme algoritmaları ile birlikte obje tabanlı sınıflandırmada işleminde kullanımının sınıflandırma doğruluğunu arttıracakı düşünülmektedir. Tüm sonuçlar bir arada değerlendirildiğinde, obje tabanlı yaklaşımda görüntü objeleri için tanımlanacak yüzlerce özellikten oluşan veri setinin sınıflandırılmasında geleneksel EYK algoritmasının yerine DVM gibi ileri sınıflandırma tekniklerinin kullanımı üretilecek tematik harita doğruluğunun artırılmasında büyük rol oynamaktadır.

## KAYNAKLAR

- Baatz, M., Schäpe, A., 2000. Multiresolution segmentation - an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In: Strobl, J., Blaschke, T., Griesebner, G. (Eds.), *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII*. Wichmann Verlag, Karlsruhe, Germany, pp. 12-23.
- Belgiu, M., Dragut, L. 2014. Comparing supervised and unsupervised multiresolution segmentation approaches for extracting buildings from very high resolution imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 96, pp. 67-75.
- Blaschke, T., 2010. Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65(1), pp.2-16.
- Çölkesen, İ., 2009. *Uzaktan algılamada ileri sınıflandırma tekniklerinin karşılaştırılması ve analizi*, (Yüksek lisans tezi), Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Dragut, L., Tiede, D., Levick, S.R., 2010. ESP: a tool to estimate scale parameter for multiresolution image segmentation of remotely sensed data. *International Journal of Geographical Information Science*, 24 (6), pp. 859-71.
- eCognition Developer. eCognition Developer 8.7 User Guide. Munich, Germany: Trimble Germany GmbH, Trappentreustr.; 2011b.
- Ghosh, A., Joshi, P.K., 2014. A comparison of selected classification algorithms for mapping bamboo patches in lower Gangetic plains using very high resolution WorldView 2 imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26, pp. 298-311.
- Heumann, B.W. 2011. An Object-Based Classification of Mangroves Using a Hybrid Decision Tree-Support Vector Machine Approach. *Remote Sensing*, 3 (11), pp. 2440-60.
- Kavzoglu, T., Colkesen, I., 2009. A kernel functions analysis for support vector machines for land cover classification. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11(5), pp. 352-359.
- Kavzoglu, T., Reis, S., 2008. Performance analysis of maximum likelihood and artificial neural network classifiers for training sets with mixed pixels. *GIScience & Remote Sensing*, 45(3), pp. 330-342.
- Kavzoglu, T., Çölkesen, İ. (2010), Karar ağaçları ile uydu görüntülerinin sınıflandırılması: Kocaeli örneği, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2, pp. 36-45.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., Chipman, J.W., 2007. *Remote Sensing and Image Interpretation*. Sixth edition, New York, USA: John Wiley & Sons.
- Lu, D., Weng, Q., 2007. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing*, 28(5), pp. 823-870.
- Mathur, A., G. M. Foody, 2008. Multiclass and binary SVM classification: Implications for training and classification users. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 5 (2), pp. 2227-2240.
- Mountrakis, G., Im, J., Ogole, C., 2011. Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(3), pp. 247-259.
- Myint, S. W., Gober, P., Brazel, A., Grossman-Clarke, S., Weng, Q. H., 2011. Per-pixel vs. object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery. *Remote Sensing of Environment*, 115(5), pp. 1145-1161.
- Pal M., Mather P.M., 2003. An assessment of the effectiveness of decision tree methods for land cover classification. *Remote Sensing of Environment*, 86(4), pp. 554-565.
- Qian, Y. G., W. Q. Zhou, J. L. Yan, Li, W.F., L. J. Han. 2015. Comparing Machine Learning Classifiers for Object-Based Land Cover Classification Using Very High Resolution Imagery. *Remote Sensing*, 7 (1), pp. 153-68.
- Quinlan J.R., 1993. *C4.5: Programs for Machine Learning*, Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, 302 p.
- Safavian S.R., Landgrebe D., 1991. A survey of decision tree classifier methodology, *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics*, 21(3), pp. 660-674.
- Tso B., Mather, P.M. (2009). *Classification Methods for Remotely Sensed Data*. Second edition, Boca Raton, FL: CRC Press.
- Vapnik, V. N., 1995. *The nature of statistical learning theory*. New York, USA: Springer-Verlag.
- Zhang, L., Jia, K., Li, X. S., Yuan, Q. Z., Zhao, X. F. (2014). Multi-scale segmentation approach for object-based land-cover classification using high-resolution imagery. *Remote Sensing Letters*, 5(1), pp. 73-82.