Arazi Örtüsü ve Kullanımının Haritalanmasında WorldView-2 Uydu Görüntüsü ve Yardımcı Verilerin Kullanımı

(The Use of Worldview-2 Imagery and Auxiliary Data for Land Cover and Land Use Mapping)

İsmail ÇÖLKESEN[1], Tahsin YOMRALIOĞLU[2]
[1]Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Gebze, Kocaeli
[2]İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak, İstanbul
icolkesen@gyte.edu.tr

ÖZET

Uzaktan algılama teknolojilerindeki son gelişmeler uydu görüntülerinin analizinde ve yorumlanmasında yeni araştırma olanakları ortaya çıkarmıştır. Yüksek konumsal ve spektral çözünürlüklü sensörler tarafından kaydedilen görüntüler belirli bir alandaki farklı yeryüzü objelerine ilişkin daha detaylı bilgiler sağlamaktadır. Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri yardımıyla şehir ağaçları, orman türleri ve su geçirmeyen yüzeyler gibi arazi kullanımı ve arazi örtüsü tiplerinin belirlenmesi son yıllarda uzaktan algılama alanında öne çıkan araştırma konularındandır. Bu çalışmanın temel amacı, çok yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında yardımcı verilerin etkisinin araştırılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda, 8 spektral banda sahip yüksek çözünürlüklü Worldview-2 (WV2) görüntüsü arazi kullanımı ve arazi örtüsü haritası üretilmesinde kullanılmıştır. Söz konusu spektral bantlara ilave olarak 12 vejetasyon indeksi, ilk iki ana bileşen ve gri düzey eş oluşum matrisinden hesaplanan doku özellikleri yardımcı veri seti olarak uygulamada kullanılmıştır. Yardımcı veri setlerinin sınıflandırma doğruluğuna etkilerinin incelenmesi amacıyla, WV2 ve yardımcı verilerin farklı kombinasyonlarını içeren 8 veri seti destek vektör makineleri (DVM) sınıflandırıcı ile sınıflandırılmıştır. Sonuçlar, DVM sınıflandırıcısı ile hesaplanan en yüksek genel sınıflandırma doğruluğunun (%94,43) WV2'nin 8 spektral bandı ve doku özelliklerini içeren veri seti ile elde edildiğini göstermektedir. Genel olarak ele alındığında, bu çalışma yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında yardımcı veri setlerinin kullanımının etkinliğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: *Worldview-2, destek vektör makineleri, yardımcı veri, doku özellikleri, vejetasyon indeksleri görüntü sınıflandırma.*

ABSTRACT

Recent developments in remote sensing technology have provided new research opportunities for analyzing and interpreting satellite imagery. Imagery acquired by high spatial and spectral resolution sensors provides more detailed information about the Earth's surface objects in a specified area. In recent years, determination of land use and land cover types including urban trees, forest types and impervious surfaces using very high resolution imagery have been one of the hot topics in remote sensing arena. The main purpose of this study is to explore the effect of auxiliary data in the classification of the very high resolution satellite images. For this purpose, Worldview-2 (WV2) imagery having high spatial resolution with eight spectral bands was utilized to produce the land use and land cover map in this study. In addition to spectral bands, 12 vegetation indices, first two principal components and texture features calculated by using gray-level co-occurrence matrix were also considered as an auxiliary data. 8 data sets consisting of different combinations of WV2 and the auxiliary data were classified using support vector machine classifier (SVM) to investigate the effect of auxiliary data sets on the classification accuracy. Results showed that the SVM classifier produced the highest classification accuracy of 94.43% with the data set including the spectral bands of WV2 imagery and textural features. Overall, this study verifies the effectiveness of using auxiliary data set in the classification of very high resolution satellite imagery.

Key Words: *Worldview-2, support vector machine, auxiliary data, texture features, vegetation indices, image classification.*

1. GİRİŞ

Uzaktan algılanmış görüntülerin sınıflandırılması ve analizi neticesinde farklı spektral özelliklere sahip doğal ve yapay nesneler tespit edilebilmekte ve mevcut durumlarına ilişkin tematik haritalar üretilebilmektedir. Elde edilen tematik haritalar global ve lokal ölçekli bir çok çalışmada temel altlık olarak değerlendirmeye alınmaktadır. Son yıllarda uzaktan algılama teknolojileri ve uydu sensörlerinin tasarımında yaşanan gelişmeler beraberinde uzaktan algılama alanında yeni araştırma konularının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Özellikle yüksek çözünürlüğe sahip uydu görüntülerinin varlığı ile birlikte yeryüzü nesnelerine ilişkin gerek konumsal gerekse spektral açıdan daha detaylı bilgiler elde edilebilmektedir. Söz konusu görüntüler başta detaylı arazi örtüsü veya kullanımının haritalanması olmak üzere benzer spektral özelliklere sahip doğal ve yapay nesnelerin

birbirinden ayırt edilmesi amacıyla kullanılabilmektedir. Literatürde ekolojik envanter ve sürdürülebilir çevre açısından büyük öneme sahip meşcere tiplerinin ve orman ağaç türlerinin belirlenmesi, orman hastalıklarının tespiti ve biyokütle hesaplamalarında yüksek çözünürlüğe sahip uydu görüntülerinin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir (Pu, vd., 2012; Fernandes, vd., 2013; Garrity, vd., 2013; Hirata, vd., 2014). Yeni nesil uzaktan algılama teknolojilerinin yoğun olarak kullanıldığı bir diğer çalışma alanı ise yapılaşmış bölgelerdeki benzer spektral özelliklere sahip yapay nesnelerin ayırt edilmesidir. Son yıllarda şehir alanlarının haritalanması, arazi kullanımındaki değişiklerin izlenmesi, su geçirimsiz yüzeylerin belirlenmesi, otomatik bina ve yol çıkarımı ile ilgili uygulamalarda yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin temel veri seti olarak kullanıldığı görülmektedir (Patino, vd., 2013; Xu 2013; Huang, vd., 2014; Zhang, vd., 2014).

Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanıcılara yeryüzü ile ilgili detaylı bilgiler sağlamasına karşın, görüntüdeki yoğun piksel sayısı, komşu pikseller arasındaki spektral benzerlik ve gölge alanlarındaki artış nesnelerin birbirinden ayırt edilmesi ve sınıflandırılması noktasında önemli problemler olarak ortaya çıkmaktadır (Zhou, vd., 2009; Lu, vd., 2011). Nesneler arasındaki spektral ayrımın daha kolay geçekleştirilmesi ve sınıflandırma doğruluğunun arttırılması amacıyla uydu görüntüleri ile birlikte yardımcı verilerin kullanılması söz konusudur. Literatürde uydu görüntülerinin spektral bantları yardımıyla üretilen vejetasyon indeksleri, ana bileşenler ve doku özellikleri en sık kullanılan yardımcı veri setleri arasındadır. Örneğin, Franklin, vd., (2000) yüksek çözünürlüklü görüntülerinin doku özellikleriyle entegrasyonu sonucunda sınıflandırma doğruluğunun önemli derecede arttığını ifade etmişlerdir. Ghosh, vd., (2014) Worldview-2 uydu görüntüsü yardımıyla Bamboo ağaçlarının tespit edilmesinde yardımcı veri olarak gri düzey eş oluşum matrisinden hesaplanan doku özelliklerini ve ilk üç ana bileşeni kullanmıştır. Löw, vd., (2013) tarımsal ürünlere ait tematik harita üretiminde Rapideye uydu görüntüsünün mevcut multispektral bantlarına ilave olarak vejetasyon indeksleri, doku özellikleri, ana bileşenler ve semi-variogramlardan oluşan 71 yardımcı veri setini sınıflandırma işleminde değerlendirmeye almıştır. Shamsoddini, vd., (2013) Worldview-2 uydu görüntüsü üzerinden iğne yapraklı ağaçların haritalanması probleminin çözümünde çeşitli bant oranlamalarını, ana bileşenleri, doku özelliklerini ve 26 farklı vejetasyon indeksini yardımcı veri seti olarak kullanmıştır.

Bu çalışmanın temel amacı yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin sınıflandırılması probleminde yardımcı verilerin sınıflandırma doğruluğu üzerindeki etkisinin incelenmesidir. Bu amaca yönelik olarak benzer spektral özelliğe sahip doğal ve yapay nesnelerin sınıflandırılması ve tematik harita üretiminde yüksek konumsal (0,5m pankromatik ve 2m multispektral) ve spektral çözünürlüğe (8 spektral bant) sahip tek uydu görüntüsü olan WorldView-2 görüntüsü kullanılmıştır. Sınıflandırma doğruluğunun arttırılması amacıyla 12 farklı vejetasyon indeksi, ilk iki ana bileşen ve gri düzey eş oluşum matrisinden hesaplanan doku özellikleri yardımcı veri seti olarak uygulamada dikkate alınmıştır. Uydu görüntüsü ve yardımcı verilerin farklı kombinasyonlarından oluşturulan veri setlerinin sınıflandırılması ve tematik harita üretiminde son yıllarda birçok uygulamada başarı ile kullanılan destek vektör makineleri sınıflandırıcısından yararlanılmıştır. Yardımcı verilerin sınıflandırma doğruluğuna etkilerinin incelenmesinde sınıflandırma sonucu hesaplanan genel sınıflandırma doğruluklarının yanında kullanıcı ve üretici doğruluklarından da faydalanılmıştır. Hesaplanan genel sınıflandırma doğrulukları arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı Ki-kare (χ^2) dağılımını esas alan McNemar testi kullanılarak analiz edilmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN VERİ

Kocaeli ili Gebze ilçe sınırları içerisinde Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü kampüsünü de kapsayan 334 hektarlık bölge çalışma alanı olarak belirlenmiştir (Şekil 1). Çalışma alanı iğne ve geniş yapraklı ağaç türlerinin bir arada bulunduğu bir floraya sahiptir. Şekil incelendiğinde özellikle pilot bölgenin kuzey bölümünde iğne yapraklı çam ağaçlarının yoğunlaştığı görülmektedir. Bölgedeki bitki örtüsü incelendiğinde benzer spektral özelliklere sahip aynı familyadan fıstık çamı (*Pinus Pinea*) ve kızılçam (*Pinus Brutia Ten.*) ağaçlarının varlığı tespit edilmiştir. Çalışma alanının batı kesiminde ise zeytin (*Olea Europaea*) ve fıstık çamı (*Pinus Pinea*) ağaçlarının bulunduğu görülmüştür. Alanın doğu kısmında ise çınar (*Platanus orientalis L.)* ve fıstık çamı (*Pinus Pinea*) ağaçlarının birbirine komşu şekilde konumlandığı görülmektedir. Çalışma alanı doğal olmayan obje türleri veya su geçirmeyen yüzeylerin varlığı açısından ele alındığında kırmızı, beyaz ve gri çatı rengine sahip binalar ve asfalt yolların

bölgenin temel arazi kullanım sınıflarını oluşturduğu tespit edilmiştir. Çalışma bölgesinde yapılan detaylı arazi incelemeleri sonucunda bölgede 12 temel arazi örtüsü/kullanım sınıfı olduğuna karar verilmiştir. Bu sınıflar içerisinde benzer spektral özelliklere sahip geniş yapraklı ağaç türlerinden çınar ve zeytin sınıfları, iğne yapraklı ağaç türlerinden fıstık çamı ve kızılçam sınıfları oluşturulmuştur. Yapılaşmış alanlar veya geçirimsiz yüzey olarak tanımlanan bina sınıfı içerisine kırmızı, beyaz ve gri çatıya sahip olan yapılar dahil edilirken ana ve ara yollar yol sınıfı içerisinde değerlendirmeye alınmıştır.

Şekil 1. Çalışma alanının konumu ve uygulamada kullanılan Worldview-2 görüntüsü.

Yüksek konumsal çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri yardımıyla arazi örtüsü/kullanımını gösteren tematik harita üretiminde karşılaşılan en büyük problemlerden birisi de gölge sorunudur. Gölge alanları içerisinde kalan pikseller koyu veya gri bina çatıları ve su gibi diğer yeryüzü özellikleri ile benzer spektral özellikler sergileyebilmektedir (Aguilar, vd., 2013; Lu, vd., 2010;). Bu spektral benzerlik özellikle piksel tabanlı sınıflandırıcılar kullanılması durumunda gölge alanlardaki piksellerin hatalı sınıflandırılmasına dolayısıyla sınıflandırma doğruluğunda düşüşe neden olmaktadır. Bu nedenle arazi örtüsü/kullanımını temsil eden sınıflar içerisine gölge sınıfının dahil edilmesi söz konusu problemin çözümünde kullanılan bir yaklaşımdır (Shackelford, vd., 2003). Bu çalışmada gölge probleminden kaynaklanabilecek sınıflandırma hatalarının azaltılması amacıyla gölge sınıfı tanımlanmıştır. Bunun yanında çalışma alanı içerisinde temel arazi örtüsü sınıfları olarak kabul edilen toprak, su ve bozkır alanları mevcut olduğundan ilgili sınıflar değerlendirmeye alınmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Belirlenen çalışma alanına ait arazi örtüsü/kullanımını temsil eden tematik harita üretiminde 12 Temmuz 2012 tarihinde kaydedilen Worldview-2 (WV2) uydu görüntüsü kullanılmıştır. 2009 yılında uzaya gönderilen WV2 uydusu 11 bit radyometrik çözünürlüğe sahip olup 8 multispektral bantta görüntüleme yapmaktadır. WV2 sensörleri klasik kırmızı (630-690 nm), yeşil (510-580 nm), mavi (450-510 nm) ve yakın kızılötesi (770-895 nm) bantlarına ilave olarak kıyı (400-450nm), sarı (585-625 nm), kırmızı-kenar (705-745 nm) ve ikinci bir kızıl ötesi (860-1040 nm) bantlara sahiptir. Üretici firma tarafından radyometrik düzeltmesi yapılarak kullanıcıya sunulan WV2 görüntüsünün atmosferik olarak düzeltilmesi ENVI (5.1) programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Görüntünün geometrik olarak düzeltmesi ve UTM koordinat sistemine dönüşümünde tüm çalışma alanına homojen olarak dağılan 20 yer kontrol noktası kullanılarak birinci derece Afin dönüşümü yardımıyla yaklaşık 0,5 piksel karesel ortalama ile düzeltme işlemi gerçekleştirilmiştir. WV-2 görüntüsünün sahip olduğu pankromatik görüntü ile multispektral görüntülerin kaynaştırılması işlemi için literatürde yaygın olarak kullanılan Gram-Schmidt algoritması kullanılmıştır. Kaynaştırma sırasında 3x3 boyutlu yumuşatma filtresi uygulanmış ve yeniden örnekleme işleminde Bilineer enterpolasyon algoritması kullanılmıştır.

Çalışma alanı içerisindeki geniş ve iğne yapraklı ağaç türlerine ilişkin spektral özelliklerin belirlenmesi ve bölgedeki ağaç türlerine ilişkin örnekleme alanlarının tespitinde kullanılmak üzere arazide spektral ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla tespit edilen ağaç türleri arasından rastgele belirlenen alt örnekleme bölgelerinin her birinden numuneler toplanmıştır. Söz konusu numuneler 350nm ile 2500nm spektral aralığında algılama özelliğine sahip ASD FieldSpec3 spektroradyometresi yardımıyla uydu görüntü geçişleriyle yaklaşık eş zamanlı olarak 15 tekrarlı yansıtım değeri ölçülmüştür. Arazide toplanan örneklerin ölçümünde güneş ışığına ihtiyaç duymadan ve ilgi duyulan nesneye temas edilerek spektral ölçümlerin gerçekleştirilmesi prensibine dayalı ASD High Intensity Contact

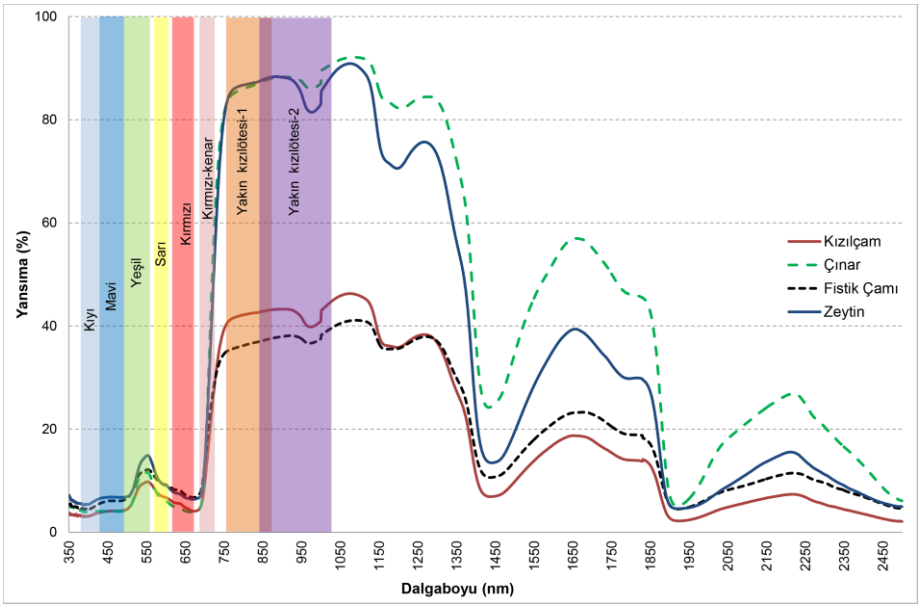
Probe cihazı kullanılmıştır. Bu cihazın uygulamalarda kullanılmasının en büyük avantajı güneş enerjisine ihtiyaç duymayıp kendi aydınlatma özelliğini kullanarak ilgi duyulan nesneye direkt temas ile kullanılmasıdır. Cihaz sahip olduğu optik tasarımı ile dağınık şekilde gelen yansıma hatalarının minimize edilmesine ve örneklerin laboratuvar ortamında da değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Geniş ve iğne yapraklı ağaç sınıfları için hesaplanan ortalama spektral yansıma eğrileri Şekil 2'de verilmiştir.

Şekilde WV2'nin multispektral algılama yaptığı dalga boyu aralıkları ilgili spektral bant adıyla gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde kızılötesi bölgede iğne ve geniş yapraklı ağaç türlerinin spektral olarak birbirlerinden kolaylıkla ayırt edilebildikleri ve WV2 uydu görüntüsünün kızılötesi bantlarının bu ayrımda önemli katkı sağladığı görülmektedir. İğne yapraklı ağaç türlerinden fıstık çamı ve kızılçam ağaçları kızılötesi bölgede birbirlerinden farklı yansıtıma sahip iken, geniş yapraklı ağaç türlerinden çınar ve zeytin bu bölgede benzer spektral davranış sergilemektedir. Bu durum geniş yapraklı ağaçların sınıflandırılması sırasında hatalı sınıflandırılmış piksellere neden olabileceği düşülmektedir. Geniş ve iğne yapraklı ağaç türleri için elde edilen spektral yansıma eğrilerinden yararlanılarak WV2 görüntüsü üzerinden örnekleme alanları belirlenmiştir. Diğer sınıflar için örnekleme alanları farklı tarihlerde çekilmiş hava fotoğrafları, uydu görüntüleri ve arazide el GPS aleti ile belirlenen noktalar yardımıyla tespit edilmiştir.

Sınıflandırma sonucu elde edilen performansların değerlendirilmesinde öncelikli olarak genel sınıflandırma doğrulukları kullanılmıştır. Bu değerlendirmelerin yanı sıra bant sayısının artışı ile birlikte elde edilen genel doğruluklar arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlılığı McNemar testi kullanılarak analiz edilmiştir. Ki-kare dağılımını esas alan McNemar testi hesaplamalarda 2x2 boyutlu bir hata matrisi kullanmaktadır (Foody, 2004). Eşitlik (1) yardımıyla hesaplanan istatistik değer ki-kare tablo değerinden (%95 güven aralığında $\chi^2 = 3{,}84$) büyük olduğunda iki sınıflandırma performansı arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu söylenebilir. Bu sonuç iki sınıflandırma sonucunun birbirinden farklı olduğunun istatistiksel bir göstergesidir. Hesaplanan istatistik değerinin kritik tablo değerinden küçük olduğunda ise iki sınıflandırma sonucunun istatistiksel olarak benzer olduğunu ifade edilebilir.

$$\chi^2 = \frac{\left(n_{ij} - n_{ji}\right)^2}{n_{ij} + n_{ji}} \qquad (1)$$

Eşitlikte n_{ij}, *i.* sınıflandırıcı tarafından hatalı *j.* sınıflandırıcı tarafından doğru sınıflandırılan piksel sayısını gösterirken n_{ji}, *j.* sınıflandırıcı tarafından hatalı *i.* sınıflandırıcı tarafından doğru sınıflandırılan piksel sayısını ifade etmektedir.



Şekil 2. İğne ve geniş yapraklı ağaç türlerine ilişkin spektral yansıma eğrileri.

4. YARDIMCI VERİLERİN OLUŞTURULMASI

Yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin analizinde nesneler arasındaki spektral ayrımın arttırılması ve sınıflandırma doğruluğunun iyileştirilmesi amacıyla yardımcı veri setlerinden yararlanılmaktadır. Bu çalışmada Worldview-2 (WV2) uydu görüntüsü ile arazi örtüsü/kullanımına yönelik tematik harita üretiminde yardımcı veri seti olarak çeşitli vejetasyon indeksleri, ana bileşenler analizi sonucu elde edilen özellikler ve gri düzey oluşum matrisi yardımıyla hesaplanan doku özellikleri kullanılmıştır. İlk uzaktan algılama görüntüsünün elde edilmesinden günümüze kadar vejetasyon indeksleri başta arazi örtüsü/kullanımı tespitinde olmak üzere ormancılık, rekolte tahmini ve ürün sağlığı gibi bir çok uygulamada temel veri kaynağı olarak kullanılmaktadır. Günümüze kadar literatürde birçok vejetasyon indeksi tanımlanmış ve uygulamalarda kullanılmıştır (Bannari, vd., 1995). Bu çalışmada WV2 uydu görüntüsünün yeni bantlarını da kullanan 12 farklı vejetasyon indeksi yardımcı veri seti olarak hesaplanmış ve sınıflandırmada kullanılmıştır. Tablo 1'de verilen vejetasyon indekslerinin hesaplanmasında atmosferik olarak düzeltilen ve yansıma değerleri hesaplanan WV2 görüntüsü kullanılmıştır.

Uzaktan algılanmış görüntülerin sınıflandırılmasında kullanılan bir diğer yardımcı veri seti doku özellikleridir. Düzenli bir frekansta tekrar eden desen ve/veya desen kombinasyonu olarak tanımlanan doku bir görüntüdeki ilgi duyulan objeleri tanımlanmasında kullanılan önemli bir karakteristiktir (Haralick, vd., 1973). Doku özellikleri iki komşu piksel arasındaki uzaklık ve açı ilişkilerinin bir fonksiyonu olarak tanımlanan gri düzey oluşum matrislerinden hesaplanmaktadır. Doku özellikleri arasında en sık kullanılanları ortalama, varyans, homojenlik, zıtlık, farklılık, entropi, ikinci moment ve korelasyon olarak sıralanabilir. Bu çalışmada söz konusu doku parametrelerinin hesaplanmasında 3x3 pencere boyutu dört farklı açıda (0°, 45°, 90° ve 135°) görüntüye uygulanmış ve WV2 görüntüsünün tüm bantları için 8 doku parametresi ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Tablo 1. Uygulamada kullanılan vejetasyon indeksleri ve açıklamaları.

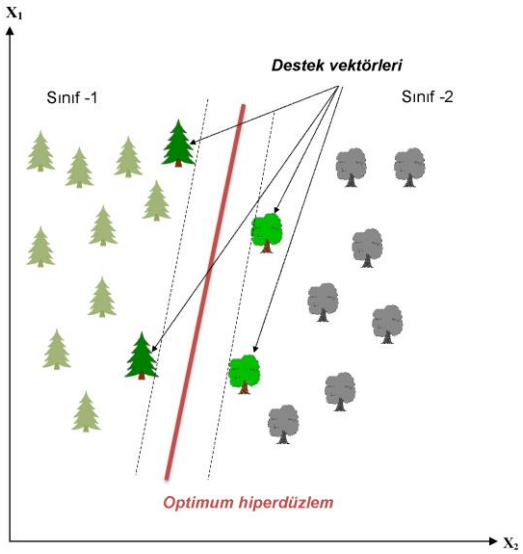
Özellik	Tanımlama/Formül
Normalleştirilmiş fark bitki örtüsü indeksi- 1	$NDVI-1=\frac{NIR2-Kırmızı}{NIR2+Kırmızı}$
Normalleştirilmiş fark bitki örtüsü indeksi - 2	$NDVI\text{ - }2=\frac{NIR1\text{-}Kırmızı}{NIR1+Kırmızı}$
Normalleştirilmiş fark bitki örtüsü indeksi - 3	$NDVI-3=\frac{NIR2-Kırmızı\ kenar}{NIR2+Kırmızı\ kenar}$
Normalleştirilmiş toprak indeksi	$NDSI=\frac{Sarı-Yeşil}{Sarı+Yeşil}$
Homojen olmayan özellik farkı	$NHFD=\frac{Kırmızı\ kenar-Kıyı}{Kırmızı\ kenar+Kıyı}$
Geliştirilmiş bitki örtüsü indeksi	$EVI=2.5\times\frac{NIR2-Kırmızı}{NIR2+6\times NIR2-7.5\times Mavi+1}$
Düzenlenmiş toprak etkisi azaltılmış vejetasyon indeksi	$MSAVI=\frac{2\times NIR2+1-\sqrt{(2\times NIR2+1)^2-8\times(NIR2-Kırmızı)}}{2}$
Orman ve bitki indeksi	$FCI=\frac{NIR1-Kırmızı\ kenar}{NIR1+Kırmızı\ kenar}$
Toprak etkisi azaltılmış vejetasyon İndeksi	$SAVI=(1+L)\times\frac{NIR2-Kırmızı}{NIR2+Kırmızı+L}$
Atmosferik koşullara dayanıklı bitki indeksi	$ARVI=\frac{NIR2-2\times Kırmızı+Mavi}{NIR2+2\times Kırmızı-Mavi}$
Optimize edilmiş toprak etkisi azaltılmış vejetasyon indeksi	$OSAVI=\frac{NIR2-Kırmızı}{NIR2+Kırmızı+0.16}$
Ana bileşen ve kızılötesi bant ile normalleştirilmiş indeks	$PCABI=\frac{PCA1+NIR2}{PCA1\text{ - }NIR2}$

Çalışma kapsamında ele alınan son yardımcı veri seti ana bileşenler analizi ile elde edilen özelliklerdir. Ana bileşenler analizinde amaç değişimi ifade edecek yeni bir koordinat sistemi tanımlamaktır. Ham uydu görüntüsünün ana bileşenler analiziyle yapılan dönüşümü sonucunda, elde edilen yeni görüntünün yorumlanabilirliği orijinal görüntüye göre daha yüksektir (Jensen, 2005). Bu nedenle ana bileşenler analizi özellikle görüntüdeki korelasyonlu bantların elemine edilmesi ve veri setinin boyutunun azaltılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ana bileşenler analizi sonucunda WV2 görüntüsüne ait ilk iki bileşenin toplamda %90,59 varyansa sahip olduğu görülmüş ve uygulamada söz konusu bileşenler dikkate alınmıştır.

5. DESTEK VEKTÖR MAKİNELERİ SINIFLANDIRMA YÖNTEMİ

Destek vektör makineleri (DVM) son yıllarda uzaktan algılanmış görüntülerin sınıflandırılması ve tematik harita üretiminde kullanılan ve sınıflandırma etkinliği birçok çalışmada ortaya konulan istatistiksel olmayan bir sınıflandırma yöntemidir (Huang, vd., 2002; Kavzoğlu, vd., 2010; Mountrakis, vd., 2011). DVM ile sınıflandırma işleminin gerçekleştirilmesinde temel prensip Şekil 3'te de gösterildiği üzere iki sınıfa ait verileri birbirinden en uygun şekilde ayıran optimum bir hiperdüzlem belirlenmesidir (Vapnik, 1995).

Doğrusal yapıya sahip veri setlerinin sınıflandırılmasında lineer fonksiyonları kullanan DVM, doğrusal olmayan veri setleri olması durumunda kernel fonksiyonları olarak bilinen fonksiyonlar kullanılmaktadır. Söz konusu kernel fonksiyonları ile doğrusal olmayan veri seti yüksek boyutlu bir uzaya dönüştürülerek sınıflar arasında doğrusal olarak ayrımların yapılabilmesine olanak sağlamaktadır (Mathur, vd., 2008). Literatürde uzaktan algılanmış görüntüler gibi doğrusal olmayan yapıya sahip veri setlerinin sınıflandırılması amacıyla farklı kernel fonksiyonu tanımlanmıştır. Kernel fonksiyonları içerisinde radyal tabanlı fonksiyon problem çözümündeki etkinliği ve yüksek sınıflandırma doğruluğu üretmesi nedeniyle en çok tercih edilen fonksiyon olma özelliğine sahiptir (Kavzoglu, vd., 2009).



Şekil 3. Destek vektör makinelerinin temel çalışma prensibi.

6. UYGULAMA

Çalışma alanını kapsayan WV2 görüntüsünün sınıflandırılmasında kullanılmak üzere tespit edilen örnekleme alanları içerisinden rastgele örnekleme prensibinden hareketle ayrı ayrı eğitim (9.000 piksel) ve test (5.400 piksel) alanları belirlenmiştir. Uydu görüntüsü ve görüntü üzerinden hesaplanan yardımcı veri setleri bir araya getirilerek 86 banda sahip yeni bir veri seti oluşturulmuştur. Öncelikli olarak WV2 görüntüsüne sırasıyla vejetasyon indeksleri, ana bileşenler ve doku özellikleri ayrı ayrı ilave edilerek sınıflandırma doğruluğuna olan etkileri incelenmiştir. Bununla birlikte WV2 görüntüsünün klasik (kırmızı, yeşil, mavi ve yakın kızılötesi-1) ve yeni (kıyı, sarı, kırmızı-kenar ve yakın kızılötesi-2) bantları ayrı ayrı bir veri seti olarak ele alınıp sınıflandırma doğruluğundaki değişimler analiz edilmiştir. Sonuç olarak sınıflandırmaya esas veri seti olarak WV2 multispektral bantları ve çalışmada dikkate alınan yardımcı verilerin değişik kombinasyonlarını içeren 8 farklı veri seti oluşturulmuştur (Tablo 2). Tabloda gösterilen 8 farklı veri seti için ilgili bantları içerecek şekilde eğitim ve test verileri ayrı ayrı düzenlenerek sınıflandırma işleminde kullanılmıştır.

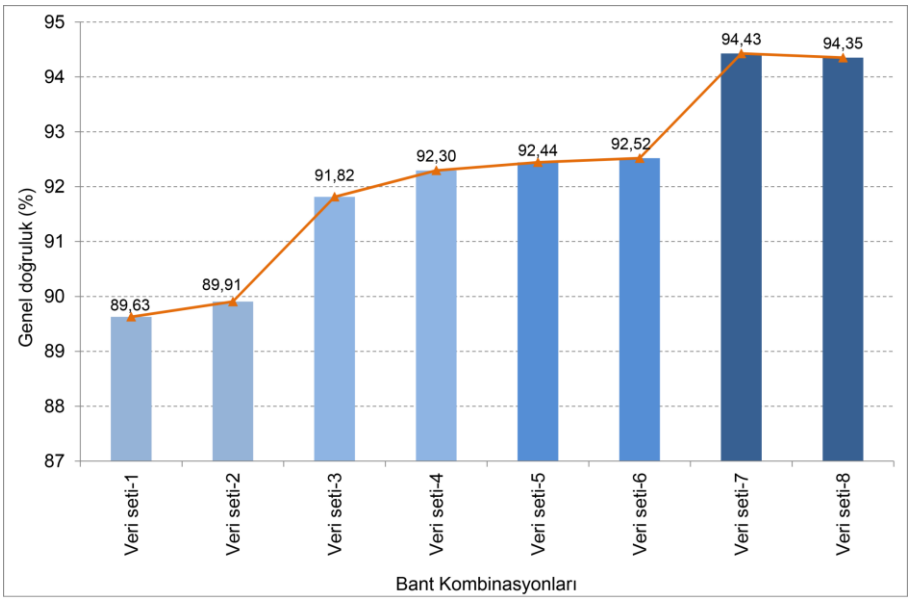
Destek vektör makineleri ile sınıflandırma işleminde radyal tabanlı kernel fonksiyonu tercih edilmiş ve optimum parametre değerleri her bir model için çapraz geçerlilik yöntemi ile belirlenmiştir. Elde edilen DVM modellerinin sınıflandırma performansı test veri setleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 2. Destek vektör makineleri ile sınıflandırmada esas alınan veri setleri.

Veri Seti	Bant Sayısı	Açıklama
1	4	WV2 görüntüsünün kırmızı, yeşil, mavi ve yakın kızılötesi-1 bantları
2	4	WV2 görüntüsünün kıyı, sarı, kırmızı-kenar ve yakın kızılötesi-2 bantları
3	8	WV2 görüntüsünün tüm multispektral bantları
4	10	WV2 ve ilk iki ana bileşen
5	20	WV2 ve vejetasyon indeksleri
6	22	WV2, ilk iki ana bileşen ve vejetasyon indeksleri
7	72	WV2 ve doku özellikleri
8	86	WV2 ilk iki ana bileşen, vejetasyon indeksleri ve doku özellikleri

Şekil 4'de test veri setleri için DVM ile elde edilen genel doğruluklar bir grafik üzerinde gösterilmiştir. Söz konusu genel doğruluklar arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak anlamlılığının analizi amacıyla McNemar testi uygulanmış ve elde edilen test sonuçları Tablo 3'te bir matris formunda gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde en yüksek sınıflandırma doğruluğunun (%94,43) WV2 görüntüsünün spektral bantları ile her bir bant için hesaplanan doku özelliklerini içeren veri seti ile elde edildiği görülmektedir. WV2 görüntüsünün klasik spektral bantları (1 nolu veri seti) kullanılarak elde edilen genel sınıflandırma doğruluğunun diğer veri setleri içerisinde en düşük düzeyde olduğu belirlenmiştir. WV2'nin yeni bantları (2 nolu veri seti) kullanılarak elde edilen sınıflandırma doğruluğu ile klasik bantları için elde edilen doğruluk arasında %0,28'lik fark bulunmaktadır. Tablo 3'den de görüleceği üzere bu farkın istatistiksel anlamlılığının belirlenmesi için hesaplanan McNemar test değeri (0,27) kritik tablo değerinden (3,84) küçüktür. Elde edilen bu sonuç iki sınıflandırma doğruluğu arasındaki %0,28'lik farkın istatistiksel olarak anlamsız olduğunu, dolayısıyla söz konusu veri setleri kullanılarak elde edilen genel doğrulukların benzer olduğunu ifade etmektedir.

WV2'nin tüm spektral bantlarını içeren 3 nolu veri seti sınıflandırma işlemine tabi tutulduğunda klasik ve yeni bantların ayrı ayrı kullanımına göre sınıflandırma doğruluğundaki artışın %2 seviyelerinde gerçekleştiği görülmektedir. Sınıflandırma doğruluğundaki bu iyileşme McNemar test sonuçlarına göre (1 nolu veri seti ile karşılaştırıldığında 6,72 ve 2 nolu veri set ile karşılaştırıldığında 6,17) istatistiksel olarak anlamlı bir değişim olup, WV2'nin tüm spektral bantlarının bir arada kullanılmasıyla sınıflar arasındaki spektral ayrımın daha iyi yapılabileceğini destekler niteliktedir.



Şekil 4. Destek vektör makineleri ile elde edilen genel sınıflandırma doğrulukları.

Tablo 3. McNemar istatistik test sonuçlarının matris gösterimi.

Veri Seti	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	**0,27**	6,72	8,11	7,75	8,20	11,18	10,92
2	**0,27**	-	6,17	7,18	7,09	7,55	10,51	10,76
3	6,72	6,17	-	**2,51**	3,86	3,89	6,87	7,13
4	8,11	7,18	**2,51**	-	**0,53**	1,10	5,66	5,86
5	7,75	7,09	3,86	**0,53**	-	**0,26**	5,08	5,34
6	8,20	7,55	3,89	1,10	**0,26**	-	4,89	5,12
7	11,18	10,51	6,87	5,66	5,08	4,89	-	**0,22**
8	10,92	10,76	7,13	5,86	5,34	5,12	**0,22**	-

Çalışmada kullanılan yardımcı verilerin sınıflandırma doğruluğu üzerindeki etkileri analiz edildiğinde, en yüksek doğruluk artışının %2,6 ile WV2 görüntüsü ile doku özelliklerinin bir arada kullanıldığı 7 nolu veri seti ile elde edildiği görülmektedir. Sınıflandırma doğruluğundaki bu artış diğer yardımcı veri setleri için hesaplanan doğruluk artışlarına göre Tablo 3'de verilen McNemar test sonuçlarına göre istatistiksel olarak anlamlı bir iyileşme olup, diğer yardımcı veri setleri kullanımına göre daha doğru sonuçlara ulaşıldığını desteklemektedir. Ana bileşenler ve vejetasyon indekslerinin ayrı ayrı kullanılması durumunda (4 ve 5 nolu veri setleri) WV2'nin sadece spektral bantlarının kullanıldığı (3 nolu veri seti) duruma göre sınıflandırma doğruluklarında %0,6 seviyelerinde artış olduğu görülmüştür. McNemar testi sonuçları 3 ve 4 nolu veri setleri açısından ele alındığında hesaplanan test değerinin (2,51) kritik tablo değerinden küçük, 3 ve 5 nolu veri setleri açısından ele alındığında hesaplanan test değerinin (3,86) kritik tablo değerinden büyük olduğu görülmektedir. Elde edilen bu sonuç yardımcı veri olarak sadece vejetasyon indisleri kullanıldığında sınıflandırma doğruluğundaki artışın istatistiksel olarak anlamlı, sadece ana bileşenler kullanıldığında ise doğruluk artışının istatistiksel olarak anlamsız olduğunu ifade etmektedir. WV2 ve tüm yardımcı verilerin bir arada dikkate alındığı 86 bantlı veri seti (8 nolu veri seti) ile elde edilen genel sınıflandırma doğruluğu %94,35 olarak hesaplanmıştır. Sınıflandırma doğruluğundaki %2,5'lik artış McNemar testi sonuçlarına göre (10,92) istatistiksel olarak anlamlı olmasına rağmen, WV2 ve doku özelliklerinin (7 nolu veri seti) kullanılması ile elde edilen genel doğruluktan %0,08 daha düşüktür. Söz konusu 7 ve 8 nolu veri setleri ile elde edilen sonuçların McNemar testi ile analizi neticesinde hesaplanan test değeri 0,22 kritik tablo değerinden düşük olduğu için iki sınıflandırma sonucu arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamsız olduğu tespit edilmiştir. Diğer bir ifadeyle veri seti boyutunun 72'den 86'ya çıkarılması ile sınıflandırma doğruluğunda anlamlı bir değişme görülmemiştir. Literatürde bu durum Hughes fenomeni ya da boyutsallık problemi olarak bilinen kavramla açıklanmaktadır (Hughes, 1968).

Çalışma kapsamında ele alınan arazi örtüsü/kullanımı sınıflarının ayırt edilebilirliğini incelemek amacıyla WV2'nin multispektral bantları ve doku özelliklerini içeren 7 nolu veri setinin sınıflandırılması sonucunda hesaplanan hata matrisi Tablo 4'te gösterilmiştir. Tabloda verilen hata matrisinde kullanıcı ve üretici doğrulukları içerisinde en düşük değerlerin su ve gölge sınıfları için hesaplandığı ve temel olarak söz konusu iki sınıf arasındaki spektral ayrımın en düşük düzeyde olduğu ifade edilebilir. Tablo incelendiğinde özellikle su geçirmeyen yüzeyler olarak isimlendirilen bina sınıfı içerisinde kırmızı ve beyaz çatı sınıflarına ait piksellerin tamamının doğru sınıflandırıldığı görülmektedir. Buna karşın gri çatılı binalara ait piksellerin bir kısmının yol bir kısmının ise toprak sınıfına ait piksellerle karıştığı tespit edilmiştir. Ana ve ara yolları içeren yol sınıfına ait piksellerin spektral olarak benzer özelliklere sahip gri çatılı bina sınıfına ait piksellerle karıştığı söylenebilir.

Orman türlerine ait sınıflandırma sonuçları analiz edildiğinde çınar ağacı sınıfına ait kullanıcı ve üretici doğruluklarının %100 olduğu, dolaysıyla test piksellerin tamamının doğru sınıflandırıldığı görülmüştür. Geniş yapraklı ağaç türlerinden zeytin ağacı sınıfına ait piksellerin bir kısmının bozkır ve çınar sınıfına atanarak hatalı sınıflandırıldığı görülmektedir. Elde edilen bu

bulgu arazide gerçekleştirilen spektroradyometre ölçümleri ile elde edilen sonuçları destekler niteliktedir. İğne yapraklı ağaç türlerine ait sınıflandırma sonuçları analiz edildiğinde fıstık çamı ve kızılçam sınıflarına ait piksellerin genellikle birbirlerine karıştığı görülmektedir. Temel arazi örtüsü sınıflarından kabul edilen bozkır sınıfına ait piksellerin %94,89 kullanıcı doğruluğuyla sınıflandırıldığı, hatalı sınıflandırılan piksellerin ise geniş yapraklı ağaç türlerine (çınar ve zeytin) ait sınıflara atandığı tespit edilmiştir. Geniş yapraklı ağaç türlerinden zeytin ağacı sınıfına ait piksellerin bir kısmının bozkır ve çınar sınıfına atanarak hatalı sınıflandırıldığı görülmektedir. Elde edilen bu bulgu arazide gerçekleştirilen spektroradyometre ölçümleri ile elde edilen sonuçları destekler niteliktedir. İğne yapraklı ağaç türlerine ait sınıflandırma sonuçları analiz edildiğinde fıstık çamı ve kızılçam sınıflarına ait piksellerin genellikle birbirlerine karıştığı görülmektedir. Temel arazi örtüsü sınıflarından kabul edilen bozkır sınıfına ait piksellerin %94,89 kullanıcı doğruluğuyla sınıflandırıldığı, hatalı sınıflandırılan piksellerin ise geniş yapraklı ağaç türlerine (çınar ve zeytin) ait sınıflara atandığı tespit edilmiştir.

WV2'nin 8 spektral bandı ve doku özelliklerini içeren veri setinin sınıflandırılması sonucunda üretilen tematik harita Şekil 5'te gösterilmiştir. Tematik haritadan da görüleceği üzere çalışma alanı içerisindeki bezer spektral özelliklere sahip iğne ve geniş yapraklı ağaç türlerinin büyük ölçüde ayırt edilebildiği görülmektedir. Söz konusu ağaç türlerinden zeytin ağaçlarına ait piksellerin özellikle bozkır sınıfına ait pikseller ile karıştığı görülmektedir. Bu durumun zeytin ağaçlarının diğer ağaç türlerine göre çok küçük bir kanopiye sahip olması ve dolayısıyla örnek alanların toplanmasındaki zorluktan ileri geldiği ifade edilebilir. Bölge içerisinde en canlı ve spektral olarak en yüksek yansımaya sahip çınar ağacına ait piksellerin genel olarak doğru sınıflandırıldığı, tematik haritanın belirli kısımlarda bozkır sınıfı içerisindeki canlı bitki örtüsüne ait pikseller ile karıştığı görülmektedir. Çalışma alanının kuzey kesiminde yer alan yoğun iğne yapraklı orman yapısı içerisindeki kızılçam ve fıstık çamı türlerinin ayırt edilmesinin büyük ölçüde başarıldığı, ancak gölge etkisi ile birlikte bazı kesimlerde iki ağaç türununüm ayırt edilmesinde zorluklar yaşandığı görülmektedir. Çalışma alanının orta ve batı kesimlerinde bulunan genç fıstık çamlarının yüksek doğrulukla sınıflandırıldığı tespit edilmiştir. Çalışmada dikkate alınan bina türlerinden gri çatılı bina piksellerinin yol sınıfına ait pikseller ile karıştığı kolaylıkla görülmektedir. Kırmızı çatılı bina sınıfına ait piksellerin ise çalışma alanının bazı kesimlerinde toprak sınıfındaki pikseller ile karıştığı tespit edilmiştir.

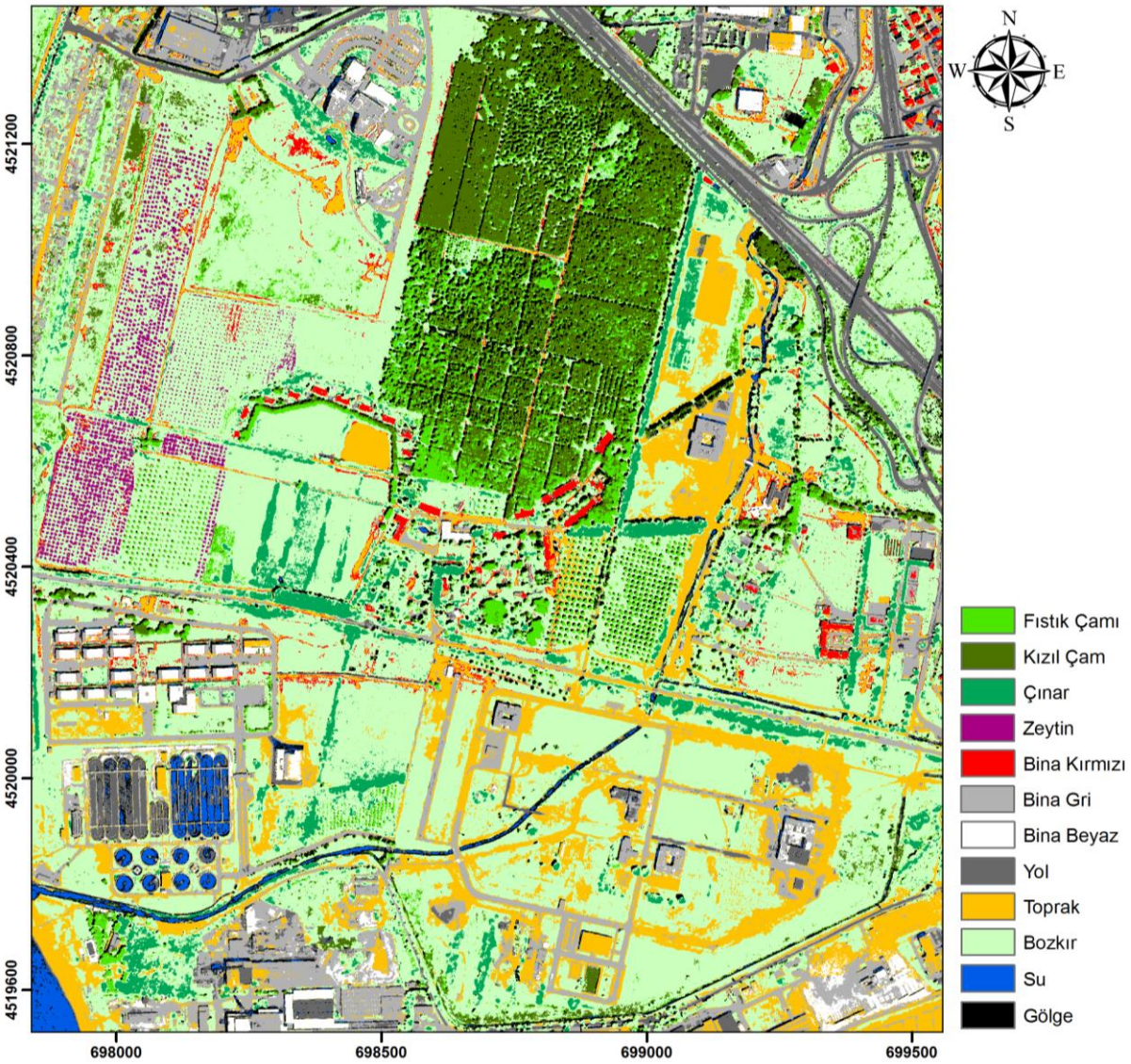
Tablo 4. WV2 ve doku özelliklerinin kullanıldığı veri seti için hesaplanan hata matrisi.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Kullanıcı (%)
A	***425***	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	10	94,44
B	0	***450***	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
C	5	0	***445***	0	0	0	0	0	0	0	0	0	98,89
D	0	0	0	***429***	0	10	0	0	0	11	0	0	95,33
E	0	0	0	0	***450***	0	0	0	0	0	0	0	100
F	0	0	0	0	0	***448***	0	0	0	0	2	0	99,56
G	0	0	0	0	0	0	***363***	87	0	0	0	0	80,67
H	0	0	0	0	0	0	88	***362***	0	0	0	0	80,44
I	0	0	0	0	10	0	0	0	***427***	0	0	13	94,89
J	0	0	0	41	0	0	0	0	0	***409***	0	0	90,89
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	***450***	0	100
L	0	0	0	0	4	0	0	0	5	0	0	***441***	98,00
Üretici (%)	98,84	100	96,74	91,28	96,98	97,82	80,49	80,62	98,84	97,38	99,56	95,04	

Genel doğruluk=94,43%; Kappa= 0,939

A: fıstık çamı; B: kırmızı çatı; C: kızıl çam.; D: gri çatı; E: çınar.; F: toprak; G: su; H: gölge; I: bozkır; J: yol; K: beyaz çatı; L: zeytin

WV2'nin 8 spektral bandı ve doku özelliklerini içeren veri setinin sınıflandırılması sonucunda üretilen tematik harita Şekil 5'te gösterilmiştir. Tematik haritadan da görüleceği üzere çalışma alanı içerisindeki bezer spektral özelliklere sahip iğne ve geniş yapraklı ağaç türlerinin büyük ölçüde ayırt edilebildiği görülmektedir. Söz konusu ağaç türlerinden zeytin ağaçlarına ait piksellerin özellikle bozkır sınıfına ait pikseller ile karıştığı görülmektedir. Bu durumun zeytin ağaçlarının diğer ağaç türlerine göre çok küçük bir kanopiye sahip olması ve dolayısıyla örnek alanların toplanmasındaki zorluktan ileri geldiği ifade edilebilir. Bölge içerisinde en canlı ve spektral olarak en yüksek yansımaya sahip çınar ağacına ait piksellerin genel olarak doğru sınıflandırıldığı, tematik haritanın belirli kısımlarda bozkır sınıfı içerisindeki canlı bitki örtüsüne ait pikseller ile karıştığı görülmektedir. Çalışma alanının kuzey kesiminde yer alan yoğun iğne yapraklı orman yapısı içerisindeki kızılçam ve fıstık çamı türlerinin ayırt edilmesinin büyük ölçüde başarıldığı, ancak gölge etkisi ile birlikte bazı kesimlerde iki ağaç türununüm ayırt edilmesinde zorluklar yaşandığı görülmektedir. Çalışma alanının orta ve batı kesimlerinde bulunan genç fıstık çamlarının yüksek doğrulukla sınıflandırıldığı tespit edilmiştir. Çalışmada dikkate alınan bina türlerinden gri çatılı bina piksellerinin yol sınıfına ait pikseller ile karıştığı kolaylıkla görülmektedir. Kırmızı çatılı bina sınıfına ait piksellerin ise çalışma alanının bazı kesimlerinde toprak sınıfındaki pikseller ile karıştığı tespit edilmiştir.



Şekil 5. WV2'nin 8 spektral bandı ve doku özelliklerini içeren veri setinin sınıflandırılması sonucunda elde edilen tematik harita.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yeryüzündeki doğal ve yapay nesnelerin yüksek spektral ve konumsal çözünürlüklerde görüntülenmesini sağlayan uzaktan algılama teknolojileri sayesinde büyük ölçekli birçok çalışmaya esas teşkil eden değerli bilgiler elde edilebilmektedir. Uydu görüntülerinin artan çözünürlüğü beraberinde çözüm bekleyen yeni problemleri ortaya çıkarmıştır. Bu problemler arasında nesneler arasındaki spektral benzerlik ve yüksek kolerasyona sahip piksellerin ayırt edilmesi gelmektedir. Bu problemlerin çözümüne yönelik olarak yardımcı verilerin uydu görüntüleri ile beraber kullanılması söz konusudur. Bu çalışmada benzer spektral özelliklere sahip arazi örtüsü ve kullanım sınıflarının tespit edilmesi probleminde günümüzde yüksek konumsal ve spektral çözünürlüğe sahip tek uydu olan WV2 görüntüsünün kullanımı ele alınmıştır. Arazi örtüsü sınıfları içerisindeki iğne ve geniş yapraklı ağaç türlerine ait spektral ölçümler gerçekleştirilerek ağaç türlerinin spektral özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen spektral ölçümler söz konusu ağaç türlerine ait örnekleme alanlarının tespitinde kullanılmıştır. Arazi örtüsü ve kullanımı sınıfları arasındaki spektral ayrımın arttırılması amacıyla üç farklı yardımcı veri seti (vejetasyon indeksleri, doku özellikleri ve ana bileşenler) oluşturulmuş ve sınıflandırma doğruluğuna olan etkileri incelenmiştir. Oluşturulan veri setlerinin sınıflandırılmasında destek vektör makineleri sınıflandırıcısı kullanılmıştır. Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri yardımıyla gerçekleştirilecek sınıflandırma işleminde yardımcı verilerin sınıflandırma doğruluğu üzerinde pozitif etkileri olduğu görülmüştür. Ana bileşenler analizi görüntü üzerindeki piksellerin varyans-kovaryans değerlerini, bitki indeksleri ise görüntüye ait spektral bantların çeşitli oranlarını dikkate alarak görüntü üzerindeki belirli objelerin (örneğin canlı bitki ve su geçirmeyen yüzeyler) diğer objelerden ayırt edilebilirliğini arttırmaktadır. Doku özellikleri ise görüntü üzerindeki piksellerin ortalama, varyans, kontrast, entopi ve korelasyon gibi farklı özelliklerini ortaya çıkarmaktadır.

Bu çalışmada dikkate alınan yardımcı veri setleri içerisinde özellikle doku özelliklerinin kullanımı ile sınıflandırma doğruluğunda %2,5'e varan artışlar olduğu görülmüştür. Sınıflandırma doğruluğundaki bu artışın McNemar testine göre istatistiksel olarak anlamlı olduğu dolayısıyla sınıflandırma performanslarının istatistiksel olarak birbirinden farklı olduğu görülmüştür. Bu bulgu çalışmada kullanılan WV2 görüntüsü ile doku özelliklerinin beraber değerlendirilmesi sonucunda daha yüksek doğruluğa sahip tematik harita üretildiğini doğrular niteliktedir. Doku özelliklerinin çalışmada dikkate alınan bitki indeksleri ve ana bileşenlere göre sınıflandırma performansı üzerinde daha etkili olmasının temel nedeninin sınıflandırmaya esas piksellerin farklı spektral özelliklerini ortaya çıkarması dolayısıyla sınıflar arasındaki ayrımın daha yüksek doğrulukla gerçekleştirilmesi olduğu düşünülmektedir.

Sonuç olarak; yapılan bu çalışma, spektral ölçüler ve yardımcı veriler ile desteklenen WV2 uydu görüntüsünün benzer spektral özelliklere sahip doğal ve yapay nesnelerin sınıflandırılmasında kullanılabilecek değerli ve önemli bir veri kaynağı olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

Aguilar, M.A., Saldana, M.M., Aguilar, F.J., (2013), **GeoEye-1 and WorldView-2 pan-sharpened imagery for object-based classification in urban environments**, International Journal of Remote Sensing, 34 (7):2583-606.

Bannari, A., Morin, D., Huette, A.R., Bonn, F., (1995), **A review of vegetation indices**, Remote Sensing Reviews, 13(1-2): 95-120.

Fernandes, M.R., Aguiar, F.C., Silva, J.M.N., Ferreira, M.T., Pereira, J.M.C., (2013), **Spectral discrimination of giant reed (Arundo donax L.): A seasonal study in riparian areas**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 80: 80-90.

Foody, G.M., (2004), **Thematic map comparison: Evaluating the statistical significance of differences in classification accuracy**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 70(5): 627-633.

Franklin, S.E., , R. J. Hall, L. M. Moskal, A. J. Maudie, M. B. Lavigne, (2000), **Incorporating texture into classification of forest species composition from airborne multispectral images**, International Journal of Remote Sensing, 21(1): 61-79.

Garrity, S.R., Allen, C.D., Brumby, S.P., Gangodagamage, C., McDowell, N.G., Cai, D.M., (2013), **Quantifying tree mortality in a mixed species woodland using multitemporal high spatial resolution**

satellite imagery, Remote Sensing of Environment, 129:54-65.

Ghosh, A., P. K. Joshi, (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: 298-311.

Haralick, R.M., Shanmugam, K., Dinstein, I., (1973), **Texture features for image classification**, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 8(6): 610-621.

Hirata, Y., Tabuchi, R., Patanaponpaiboon, P., Poungparn, S., Yoneda, R.and Fujioka, Y., (2014), **Estimation of aboveground biomass in mangrove forests using high-resolution satellite data**, Journal of Forest Research, 19(1): 34-41.

Huang, C., Davis, L.S., Townshend, J.R.G., (2002), **An assessment of support vector machines for land cover classification**, International Journal of Remote Sensing, 23(4):725-749.

Huang, X., Zhang, L.P., Zhu, T.T., (2014), **Building Change Detection From Multitemporal High-Resolution Remotely Sensed Images Based on a Morphological Building Index**, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 7(1): 105-115.

Hughes, G.F., (1968), **On the mean accuracy of statistical pattern recognizers**, IEEE Transactions on Information Theory, 14(1):55–63.

Jensen, J.R., (2005), **Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective**, 3rd edition, Pearson Prentice Hall.

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): 352-359.

Kavzoğlu, T., Çölkesen, İ., (2010), **Destek vektör makineleri ile uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında kernel fonksiyonlarının etkilerinin incelenmesi**, Harita Dergisi,144(7):73-82.

Löw, F., U. Michel, S. Dech, C. Conrad, (2013), **Impact of feature selection on the accuracy and spatial uncertainty of per-field crop classification using Support Vector Machines**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 85:102-109.

Lu, D.S., Hetrick, S., Moran, E., (2011), **Impervious surface mapping with Quickbird imagery**, International Journal of Remote Sensing, 32(9): 2519-2533.

Mathur, A. and Foody, G.M., (2008), **Multiclass and binary SVM classification: Implications for training and classification users**, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 5(2): 241-245.

Mountrakis, G., Im, J., Ogole, C., (2011), **Support vector machines in remote sensing: A review**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 66(3): 247-259.

Lu, D.S., Hetrick, S., Moran, E, (2010), **Land cover classification in a complex urban-rural landscape with Quickbird imagery**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 76 (10):1159-68.

Patino, J.E., Duque, J.C., (2013), **A review of regional science applications of satellite remote sensing in urban settings**, Computers Environment and Urban Systems, 37: 1-17.

Pu, R.L., Landry, S., (2012), **A comparative analysis of high spatial resolution IKONOS and WorldView-2 imagery for mapping urban tree species**, Remote Sensing of Environment, 124: 516-533.

Shackelford, A.K., Davis, C.H., (2003), **A combined fuzzy pixel-based and object-based approach for classification of high-resolution multispectral data over urban areas**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41 (10):2354-63.

Shamsoddini, A., Trinder, J.C., Turner, R., (2013), **Pine plantation structure mapping using WorldView-2 multispectral image**, International Journal of Remote Sensing, 34(11): 3986-4007.

Vapnik, V.N., (1995), **The Nature of Statistical Learning Theory**, Springer-Verlag, New York.

Xu, H.Q., (2013), **Rule-based impervious surface mapping using high spatial resolution imagery**, International Journal of Remote Sensing, 34(1): 27-44.

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): 73-82.

Zhou, W.Q., Huang, G.L., Troy, A., Cadenasso, M.L., (2009), **Object-based land cover classification of shaded areas in high spatial resolution imagery of urban areas: A comparison study**, Remote Sensing of Environment, 113(8): 1769-1777.