YAPAY BAĞIŞIKLIK TABANLI SINIFLANDIRMA YÖNTEMİYLE UZAKTAN ALGILANMIŞ GÖRÜNTÜLERİN SINIFLANDIRILMASI

T. Kavzoğlu[1], İ. Çölkesen[2]
Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze, Kocaeli
[1]kavzoglu@gyte.edu.tr ,[2] icolkesen@gyte.edu.tr

ÖZET

Küresel ve çevresel değişimlerin izlenmesi, arazi kullanımının planlanması gibi birçok çalışmada uydu görüntülerinin sınıflandırılmasıyla üretilen tematik haritalar temel veri kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bu haritaların doğru ve güvenilir olması yapılacak yorum ve değerlendirmeler için büyük önem taşımaktadır. Literatürde uydu görüntülerinin sınıflandırılması amacıyla birçok yöntem geliştirilmiş ve sınıflandırma performansları analiz edilmiştir. İnsan bağışıklık sisteminin çalışma prensibini esas alan yapay bağışıklık tabanlı sınıflandırıcı uzaktan algılanmış görüntülerin sınıflandırılmasında önerilen fakat sınırlı sayıda test edilmiş bir yöntemdir. Yapay bağışıklık tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanıcı tarafından belirlenen ve sınıflandırma doğruluğuna etki eden altı farklı parametrenin belirlenmesini gerektirmektedir. Bu çalışmada, yapay bağışıklık tabanlı sınıflandırma (YBTS) yöntemiyle 2002 tarihinde kaydedilmiş Terra Aster uydu görüntüsü kullanılarak Gebze ve çevresindeki arazi kullanımının belirlenmesi amaçlanmıştır. Kullanıcı tarafından belirlenmesi gereken en uygun parametreler belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Son olarak yöntemin sınıflandırma performansı, en çok benzerlik sınıflandırma yönteminin performansıyla karşılaştırılmıştır. Performans analizi neticesinde YBTS yönteminin en çok benzerlik yöntemine göre daha yüksek sınıflandırma doğruluğu (%2) ürettiği tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar YTBS yönteminin uzaktan algılanmış görüntülerin sınıflandırılmasında kullanılabilecek etkili ve alternatif bir yöntem olabileceğini göstermektedir.

Anahtar Sözcükler: Arazi Örtüsü, Sınıflandırma, Tematik Harita, Yapay Bağışıklık Tabanlı Sınıflandırıcı, En Çok Benzerlik.

CLASSIFICATION OF REMOTELY SENSED IMAGES USING ARTIFICIAL IMMUNE BASED CLASSIFIER

ABSTRACT

Thematic maps produced by classification of remotely sensed images are used as a basic data sources in various studies such as land use planning, monitoring global and environmental changes. Accurate and reliable thematic maps are crucial for the explication and evaluating of them. In the literature various classification methods have been developed to classify remotely sensed images and their classification performances were analyzed. Among these methods, maximum likelihood classifier based on statistical assumptions is the commonly used method. Artificial immune based (AI) classifier based on working principle of human immune system has been recently proposed method for the classification of satellite images but tested limited number of studies. The AI classifier needs six user-defined parameters affecting classification accuracy to be set. In this study, AI classifier was used to determine general land use types of Gebze district and it's surrounding using Terra Aster satellite image acquired in 2002. Optimum user-defined parameters were determined and the results were analyzed. In conclusion, classification performance of AI classifier was compared with maximum likelihood classifier. As a result of performance analysis it was determined that AI classifier produced higher classification results by about 2% than the maximum likelihood classifier. Results produced in this research show that artificial immune based classifier can be effective and alternative method for the classification of remotely sensed images.

Keywords: Land cover, Classification, Thematic map, Artificial immune based classifier, Maximum likelihood.

1. GİRİŞ

Uzaktan algılanma sistemleri belirli zaman aralıklarında, yeryüzünü farklı konumsal ve spektral çözünürlüklerde görüntüleyebilmekte, yersel yöntemlere göre işgücü, zaman ve maliyet açısından avantajlar sağlamaktadır. Sahip olduğu bu önemli özellikler uzaktan algılanmış görüntüleri birçok çalışma için temel veri kaynağı durumuna getirmiştir. Uydu görüntüleri üzerinden yeryüzüne ait verilerin elde edilmesinde en sık kullanılan yöntem görüntülerin sınıflandırılmasıdır. Genel olarak görüntü sınıflandırma işlemi görüntüyü oluşturan piksellerin belirli arazi örtüsü sınıflarından birine atanması olarak ifade edilebilir. Sınıflandırma sonucunda yeryüzünün çeşitli özelliklerini gösteren farklı ölçeklerde tematik haritalar üretilmektedir. Sınıflandırma yöntemleri sınıflandırmanın piksellerin

parlaklık ve yansıma değerlerine göre otomatik olarak yapıldığı kontrolsüz sınıflandırma ve kullanıcı tarafından oluşturulan eğitim veri setinin kullanıldığı kontrollü sınıflandırma olarak iki grup altında incelenmektedir (Mather, 1987). Eğitici veri seti kullanılarak sınıflandırma işlemini gerçekleştiren kontrollü sınıflandırma yaklaşımı daha yüksek doğruluklar elde edildiğinden en çok tercih edilen yöntemdir.

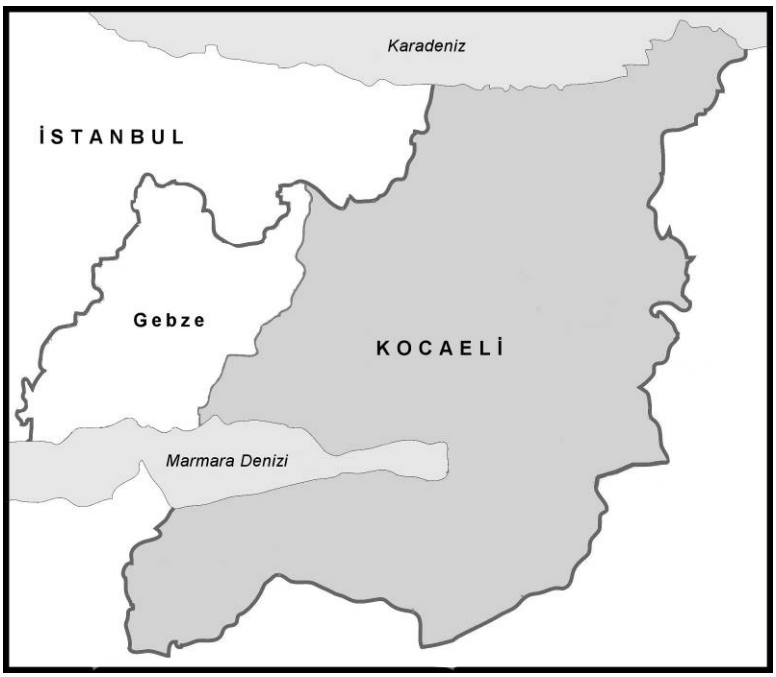
Uzaktan algılanmış görüntülerin sınıflandırılması amacıyla günümüze kadar birçok sınıflandırma yöntemi geliştirilmiş ve uygulamalarda kullanılmıştır (Lu and Weng, 2007). Söz konusu yöntemlerden en çok benzerlik (EÇB) yöntemi matematiksel olarak ifadesi kolay ve hızlı problem çözme yeteneği nedeniyle kullanımı yaygın bir kontrollü sınıflandırma yöntemidir. EÇB yöntemi sınıflandırmada kullanılan eğitim veri setini oluşturan piksellerin normal dağılımda olduğu kabulünü yapmaktadır. Bu nedenle karmaşık yapıdaki verilerin ve spektral ayrımın zor olduğu görüntülerin sınıflandırılması problemlerinde yöntemin sınıflandırma performansı olumsuz olarak etkilenebilmektedir (Bruzzone et al., 1997). Son dönemde bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak ve değişik yapıdaki verilerin yüksek doğrulukla sınıflandırılmasına yönelik bulanık mantık, karar ağaçları ve destek vektör makineleri gibi parametrik olmayan sınıflandırma yaklaşımları ile uydu görüntülerinin sınıflandırılması konusunda yoğun çalışmalar yürütülmektedir (Pal and Mather, 2003; Kavzoglu and Colkesen, 2009). Söz konusu ileri sınıflandırma algoritmalarının yanında son yıllarda sürü zekası ve biyolojik bağışıklık sistemlerinden esinlenerek oluşturulan algoritmalar da uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında başarıyla kullanılmaktadır (Zhang et al., 2004; Liu et al., 2008; Zhong et al., 2006). Bunlar arasında yapay sinir ağlarının uzaktan algılanmış görüntülerde olduğu gibi karmaşık yapıdaki verilerin sınıflandırılmasındaki etkinliği birçok çalışma ile ortaya koyulmuştur (Atkinson and Tatnall, 1997; Kavzoglu and Mather, 2003). Yapay bağışıklık sistemi tabanlı kontrollü sınıflandırma yöntemi biyolojik bağışıklık sisteminin çalışma prensibinden esinlenerek geliştirilmiş bir öğrenme algoritmasıdır (Watkins and Timmis, 2002; Watkins et al., 2004). Bu sınıflandırıcılar antijen/antikor bağlayıcısı diğer bir ifadeyle antijenik gösterim olarak bilinen fikri kullanırlar. Klonal büyüme ve çekim olgunlaşması düşünceleri yapay bağışıklık sistemleri içerisinde hafıza hücrelerinin oluşturulmasında kullanılırlar. Bu hafıza hücreleri test veri setinin sınıflandırılmasında kullanılan eğitim veri setini temsil etmektedir. Literatürde yapay bağışıklık tabanlı sınıflandırıcının uzaktan algılanmış görüntülerin sınıflandırılmasında kullanımına yönelik çalışmalar mevcuttur (Zhong et al., 2007; Pal, 2008; Tong et al., 2009).

Bu çalışmada, yapay bağışıklık tabanlı sınıflandırıcı (YBTS) ile 2002 tarihinde kaydedilen Terra ASTER uydu görüntüsü kullanılarak Gebze ve çevresindeki genel arazi kullanımının belirlenmesi amaçlanmıştır. YBTS'nın sınıflandırma performansı en çok benzerlik sınıflandırma yöntemi ile karşılaştırılarak analiz edilmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN VERİ

Gebze, Kocaeli endüstrisinin büyük bir bölümünü bünyesinde barındıran, Marmara Denizi´nin kuzeyi ile İstanbul´un doğusunda yer alan bir ilçedir (Şekil 1). Gebze, Anadolu´nun İstanbul´a ve Avrupa´ya bağlantı konumunda bulunan limanlar, havalimanı, demir yolları ve E-5 ve TEM karayolları çevresinde kurulmuştur (www.gebze.bel.tr).

Bu çalışmada 2002 yılında kaydedilen Terra ASTER uydu görüntüsü kullanılarak Gebze ilçesinin genel arazi kullanımının ve arazi örtüsünü gösteren tematik haritanın üretilmesi amaçlanmıştır. Uydu görüntüsünün geometrik olarak düzeltilmesinde 1/25.000 ölçekli haritalar kullanılmış ve görüntünün UTM koordinat sisteminde yeniden örneklemesi yapılmıştır. Sınıflandırmada kullanılacak örnekleme alanları mevcut halihazır haritalar, hava fotoğrafları ve el-GPS'i ile araziden toplanan veriler yardımıyla tespit edilmiştir. Elde edilen veriler ışığında, çalışma alanını temsil eden altı temel sınıfın (su, iğne yapraklı orman, geniş yapraklı orman, bozkır, toprak ve yerleşim) mevcut olduğu belirlenmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı (Gebze) ilçe sınırları.

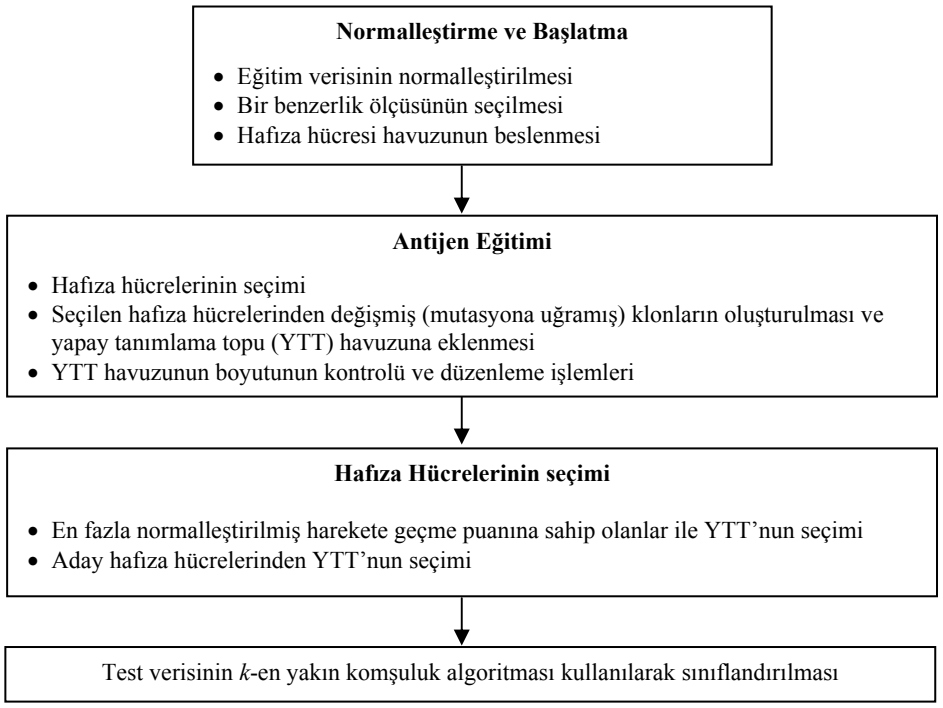
3. İNSAN BAĞIŞIKLIK SİSTEMİ

İnsan bağışıklık sistemi insan vücudunu virüsler, bakteriler, mantarlar ve parazitler gibi bulaşıcı maddelerden korumaktadır. İnsan vücudunda yabancı maddelerin tanınması ve yok edilmesini gerçekleştiren doğal ve edinilmiş (adaptive) bağışıklık sitemleri mevcuttur. Doğal bağışıklık sistemi belirli antijenleri tanıyabilmektedir. Edinilmiş bağışıklık sistemi ise daha önce hiç karşılaşılmamış bir antijeni tanıma ve ona karşı koyabilme işlemini gerçekleştirmektedir. Lenfositler veya beyaz kan hücreleri bağışıklık sisteminin temel elemanlarıdır. Lenfositlerin B ve T hücreleri olmak üzere iki temel formu vardır. Bu iki hücre çeşidi antijenleri tanıma ve gerçekleştirdikleri fonksiyonlar açısından farklılık göstermektedir. B hücresi yüzeyi üzerindeki antikorlar (Ab) olarak bilinen reseptör (algılayıcı) molekül antijenleri tanır ve kendisini üzerindeki epitoplar adı verilen moleküllerle antijenlere bağlanırken T hücreleri antijenlerin tanımlanmasında başka hücrelerin desteğine ihtiyaç duymaktadır. Bu antijenik tanıma, bağışıklığın oluşması için bağışıklık sisteminin ilk gereksinimidir. Hücrelerin üzerindeki reseptör molekülleri belirli bir benzeşme ile bir antijeni tanırlar ve bu güçlü benzerlikle orantılı olarak antijen ile bağlanırlar. Bu benzerlik bir antijen ve antikor arasındaki benzerliğin ölçüsü olarak belirlenir. Bağışıklık sistemi eğer benzerlik verilen benzerlik eşik değerinden büyük ise aktif hale geçer ve ilgili B hücreleri klonal genişleme ile plazma hücrelerine dönüşür. Doğal bağışıklık sisteminde B hücreleri antijeni etkisiz hale getirmek için antijen-antikor bağlanmasına neden olan bağışıklık cevabı üretir. Bu anijen-antikor bağlantısı önemli ölçüde olursa B hücreleri uyarılır ve uyarılmış hücreler klonlanır. Söz konusu klonlama büyüklüğü uyarılma seviyesi ile orantılıdır (Parmaksızoğlu, 2005). Belirli bir eşik seviyesinin altında uyarılan hücreler klonlanmayarak belirli bir süre sonra ölürler. Klonal genişleme süresince B hücreleri antijenler ile eşleşmek için hızlı bir şekilde kopyalamaya maruz kalırlar. Bu kopyalamalar benzerlik olgunlaşana kadar devam eder. Bu olgunlaşma işlemi antikorlardan meydana gelen yapay tanımlama topunun (YTT) rastgele değişimleri ve en az uyarılan yapay tanımlama toplarının ayrılması işlemi olarak açıklanır. Yapay tanımlama topunun özdeş B hücrelerinin sayısını gösterdiği düşünülebilir.

4. YAPAY BAĞIŞIKLIK TABANLI SINIFLANDIRICI

Yapay bağışıklık tabanlı kontrollü sınıflandırma yönteminin esası sınıflandırmada kullanılacak eğitim veri setinin (hafıza hücrelerinin) insan bağışıklık sisteminin çalışma prensibinden yola çıkarak yeniden düzenlenmesidir. Yeniden oluşturulan eğitim veri seti ile sınıflandırıcının eğitimi tamamlanır ve test veri seti için sınıflandırıcının performansı analiz edilir. Yapay bağışıklık tabanlı sınıflandırıcı (YBTS) ile sınıflandırma genel olarak eğitim veri setinin normalleştirilmesi (başlatma), antijen eğitimi, hafıza

hücresi seçimi ve test verisinin sınıflandırılması işlemlerini içermektedir (Pal, 2008). Şekil 2'de yapay bağışıklık tabanlı sınıflandırma algoritmasına ait iş akış diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2. Yapay bağışıklık tabanlı sınıflandırıcının genel çalışma prensibi.

Şekilden de görüleceği üzere YBTS eğitiminde normalleştirme ve başlatma aşamasında eğitim veri setinin normalleştirilmesi, eğitim pikselleri arasındaki benzerliğin ölçümü ve yüksek benzerliğe sahip olan piksellerin hafıza hücresi havuzunda toplanması işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bir yapay bağışıklık tabanlı kontrollü sınıflandırma algoritmasının oluşturulmasındaki ilk adım, veri setinin hazırlanması ve kullanıcı tarafından belirlenen parametrelerin tespiti işlemlerini içerir. Eğitim verileri (antijenler) [0–1] aralığında yeniden düzenlenerek normalleştirilir. YBTS'da her bir yapay tanımlama topu bir sınıfa ait verilerin bulunduğu n boyutlu bir vektöre karşılık gelmektedir. Eğitim sırasında tüm eğitim verisi için benzerlik eşik değerini hesaplamak amacıyla benzerlik ölçüleri kullanılır. Hesaplanan benzerlik eşik değeri yeni bir hafıza hücresinin var olan bir hafıza hücresi ile değişimi için o hücreye yeterince yakın olup olmadığını belirlemede kullanılır. Benzerlik eşik değeri eğitim verisine ait örneklerden veya tüm eğitim veri setinden hesaplanır (Watkins et al., 2004). Başlatma işleminin son adımı hafıza hücre havuzunun beslenmesidir. Başka bir ifadeyle eğitim işlemi sonrasında elde edilen ve doğrulanan eğitim piksellerinin toplanması adımıdır ve eğitim setinden hafıza hücresi olacak antijenlerin (piksellerin) sayısının rastgele seçilmesini içermektedir.

Şekil 2'de gösterilen akış diyagramında antijen eğitimi olarak ifade edilen ikinci aşama hafıza hücresi havuzunda toplanan piksellerin seçimi, benzer piksellerin sayısını arttırmak amacıyla mutasyona uğratılan piksellerle klonlama işleminin gerçekleştirilmesi ve yapay tanımlama topunun (YTT) oluşturulması işlemlerini içermektedir. Eğitim verisinin yeniden düzenlenmesinde her bir piksel (antijen) bir kez hafıza havuzuna maruz kalır. Bu aşamanın ilk adımı piksellerin (hafıza hücrelerinin) belirlenmesi ve YTT'nun oluşturulmasıdır. Antijenler hafıza havuzundaki doğrulanan (hatırlanan) hücreleri uyarır ve her hücre bir uyarılma değeri ile ayrılır. En yüksek uyarılma değerine sahip hafıza hücresi en uyumlu hafıza hücresi olarak seçilir ve çekim olgunlaşması işleminde kullanılır. Daha sonra seçilen hafıza hücrelerinden mutasyona uğramış klonlar oluşturulur ve YTT havuzuna eklenir. Sınıflandırma sistemi bu mutasyona uğramış klonları YTT havuzundaki özel antijenler için geliştirir. Klonal oran hafıza hücreleri ve YTT'ları tarafından üretilen klonların sayısını belirlemek için kullanılır. Hipermutasyon oranı hipermutasyona uğrayan bir hafıza hücresinin standart YTT de üretilen hücrelerden daha fazla yeni hücre üretmesini garanti eden bir çarpandır. Hem klonal oran hem de hipermutasyon oranı kullanıcı tarafından belirlenen parametrelerdir. En uygun hafıza hücresi çiftinin mutasyona uğramış bir dizi klonu YTT havuzuna eklendikten sonra, YTT üretim süreci ve rekabet başlar. Rekabet, YTT havuzunun boyutunu kontrol edilmesinde ve eğitimde

kullanılacak antijenlerin daha iyi uyarılmalarını sağlamak için gerçekleştirilir (Watkins, 2001). YTT geliştirme işlemi ortalama normalleştirilmiş uyarılama oluştuğunda yani kullanıcı tarafından belirlenen uyarılma eşik değerine ulaşıldığında sona erer.

Hafıza hücrelerinin seçimi olarak tanımlanan üçüncü aşamada ise sınıflandırmaya esas olacak yeniden düzenlenmiş eğitim setinin oluşturulmaktadır. YBTS eğitiminde kullanılmak üzere en fazla uyarılmış hafıza hücreleri diğer bir ifadeyle benzerliği en fazla olan pikseller ile eğitim veri seti yeniden oluşturulur. YTT geliştirme işleminin ardından, bir pikselin aday piksel (hafıza hücresi) olabilmesi için eşik değer antijen eğitimi sürecinde belirlenen en yüksek uyarılma sayısıdır. Aday pikselin uyarılma değeri bu eşik değerden fazla ise YTT havuzuna eklenir, eşik değerden az olduğunda ise YTT havuzundan çıkarılır. Sonuçta elde edilen eğitim veri seti azaltılmış sayıda veriyi içermektedir. Bu nedenle yapay bağışıklık tabanlı kontrollü sınıflandırıcısı veri azaltma işlemi gerçekleştirmektedir (Watkins 2001).

Son aşamada ise pikseller arasındaki spektral ayrımın en iyi yapıldığı aday piksellerin oluşturduğu eğitim veri seti k-en yakın komşuluk algoritması kullanılarak sınıflandırılır ve sınıflandırmaya esas model oluşturulur. Eğitim işleminin tamamlanmasını ardından, hafıza tanımlama hücreleri yapay bağışıklık tabanlı kontrollü sınıflandırıcısının çekirdeğini oluşturur. Test veri seti k'nın en uyumlu veri örneklerini ayıran ve sınıfları çoğunluk oyu ile belirlendiği k- en yakın komşuluk algoritması kullanılarak sınıflandırılır.

Yapay bağışıklık tabanlı sınıflandırıcı (YBTS)'nın kullanımında kullanıcı tarafından belirlenmesi gereken altı farklı parametre söz konusudur. Bu parametrelerden ilki hafıza hücresi yenilenmesi için eşik değer olan ve 0 ile 1 arasında değerler alan benzerlik eşik çarpanıdır. İkinci parametre mutasyona uğrayacak klonların sayısını belirleyen klonal orandır. YBTS kullanımında üçüncü olarak dikkate alınan parametre hipermutasyon oranıdır. Bu parametre değeri [0, klonal oran] aralığında değerler alır ve mutasyona uğrayan klonların içerisinde hafıza hücreleriyle en fazla benzerliğe sahip olanlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Hafıza havuzunu doldurulmasında kullanılacak eğitim pikselleri sayısını belirleyen birincil hafıza havuzu boyutu YBTS kullanımında dikkate alınan dördüncü parametredir. Bu parametrenin 0 veya 1 gibi küçük değerler alması ile sınıflandırıcının eğitiminde kullanılacak hafıza hücresi sayısı otomatik olarak belirlenir. Benzerlik eşik değerinin hesaplanmasında kullanılacak piksel sayısı ve yapay tanımlama toplarının sayısını sınırlayan toplam kaynaklar YBTS'nın eğitimi sırasında kullanılan diğer iki parametredir (Pal, 2008). Bu parametreler kullanılan veri setine göre değişiklik gösterdiğinden algoritmanın kullanımı belirli bir bilgi ve deneyim gerektirmektedir.

5. UYGULAMA

Kontrollü sınıflandırma işlemini gerçekleştirmek için öncelikli olarak Gebze ilçesinin mevcut arazi örtüsü sınıflarını temsil eden örnekleme alanları tespit edilmiştir. Belirlenen örnekleme alanları 2002 tarihli uydu görüntüsü ile birleştirilerek sınıflandırma işleminde kullanılmak üzere eğitim ve test veri setleri oluşturuldu. Sonuç olarak altı arazi örtüsü sınıfı (su, iğne yapraklı orman, geniş yapraklı orman, bozkır, toprak ve yerleşim) için Terra Aster eğitim verisi olarak toplam 2.400 piksel (her bir sınıf için 400 piksel), eğitim verisi olarak toplam 1.350 (her bir sınıf için 225 piksel) seçilmiştir.

Yapay bağışıklık tabanlı sınıflandırıcının sınıflandırma performansının incelenmesi amacıyla çalışma alanını kapsayan uydu görüntüsü en çok benzerlik (EÇB) yöntemi kullanılarak sınıflandırılmıştır. EÇB ile sınıflandırma işlemi Matlab yazılımında hazırlanan bir program ile gerçekleştirilmiştir. Eğitim sonucunda oluşturulan EÇB modeli kullanılarak gerçekleştirilen sınıflandırma işlemi için hesaplanan hata matrisi Tablo 1'de verilmiştir. Tablodan da görüleceği üzere Terra ASTER uydu görüntüsünün EÇB yöntemi ile sınıflandırılması sonucunda sınıflandırma doğruluğu %88 olarak hesaplanmıştır. Hata matrisi incelendiğinde özellikle iğne yapraklı orman ve geniş yapraklı orman sınıflarının düşük doğrulukla sınıflandırıldığı görülmektedir. Bu durum toprak ve yerleşim sınıflarına ait piksellerin sınıflandırılmasında da ortaya çıkmaktadır. EÇB için elde edilen sonuçlar benzer spektral özelliklere sahip piksellerin sınıflandırılmasında yöntemin performansının düştüğünü göstermektedir.

Tablo 1. En çok benzerlik sınıflandırıcısı için hesaplanan hata matrisi.

Sınıf	1	2	3	4	5	6
1	224	0	0	0	0	1
2	0	189	23	10	1	2
3	0	24	195	6	0	0
4	0	9	7	199	4	6
5	0	2	1	12	190	20
6	0	0	2	8	24	191
Genel Doğruluk : %88.00 Kappa: 0.85						

1: Su, 2: İğne yapraklı orman, 3: Geniş yapraklı orman, 4: bozkır, 5: Toprak, 6: Yerleşim

Yapay bağışıklık tabanlı sınıflandırıcının eğitiminde kullanıcı tarafından belirlenmesi gereken parametreler çapraz geçerlilik yöntemi ile tespit edilmiştir. Çapraz geçerlilik sonucunda; en uygun parametre değerleri olarak benzerlik eşik çarpanı için 0.1, klonal oran için 14, hipermutasyon oranı için 2, birincil hafıza havuzu boyutu için 1, benzerlik eşik değerinin hesaplanmasında kullanılacak piksel sayısı için 2 ve toplam kaynaklar parametresi için 375 değerleri belirlenmiş ve sınıflandırmaya esas olacak YBTS modeli oluşturulmuştur.

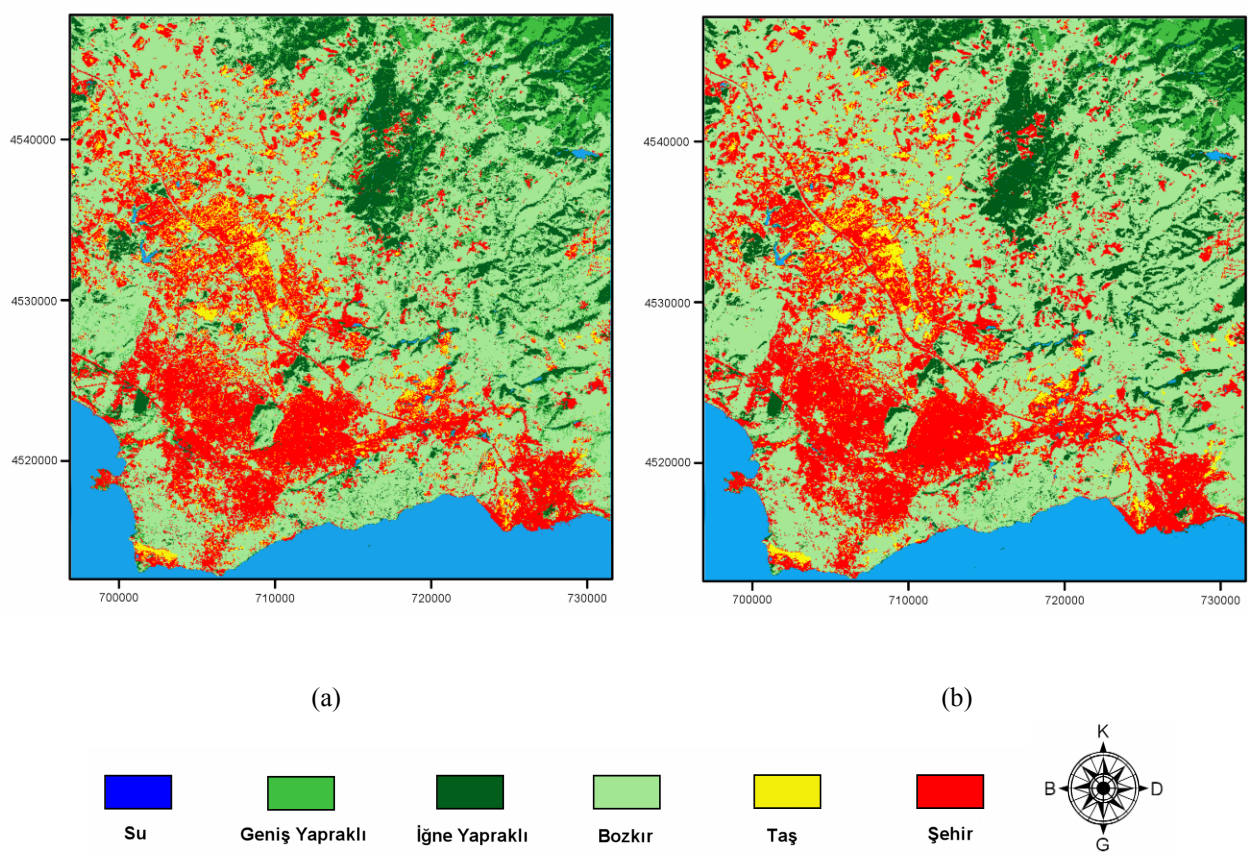
Oluşturulan modelin test veri setine uygulanması sonucunda sınıflandırma doğruluğu yaklaşık olarak %90 olarak hesaplanmıştır. YBTS için Tablo 2'de gösterilen hata matrisi analiz edildiğinde en düşük sınıflandırma doğruluğunun benzer spektral özelliklere sahip toprak ve yerleşim pikselleri için elde edildiği görülmektedir.

Tablo 2. Yapay bağışıklık tabanlı sınıflandırıcı için hesaplanan hata matrisi.

Sınıf	1	2	3	4	5	6
1	225	0	0	0	0	0
2	0	196	13	13	0	3
3	0	20	199	6	0	0
4	0	7	6	204	2	6
5	0	0	0	12	195	18
6	0	1	1	3	25	195
Genel Doğruluk : %89.93 Kappa: 0.88						

1: Su, 2: İğne yapraklı orman, 3: Geniş yapraklı orman, 4: bozkır, 5: Toprak, 6: Yerleşim

İki yöntem için oluşturulan sınıflandırma modelleri kullanılarak Terra ASTER görüntüsü sınıflandırılmış ve Gebze ilçesinin genel arazi kullanımını gösteren tematik haritalar elde edilmiştir (Şekil 3). Tematik haritalar incelendiğinde Gebze ilçesinde şehirleşmenin özellikle E-5 (D-100) ve E-6 (TEM) otoyolları etrafında yoğunlaştığı görülmektedir.



Şekil 3. Terra Aster görüntüsünün (a) EÇB yöntemi ile, (b) YBTS yöntemi ile sınıflandırılması sonucu elde edilen tematik haritalar.

5. SONUÇLAR

Yeryüzü ile ilgili yapılan çalışmaların birçoğunda güncel ve doğru bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Verilerin hızlı ve ekonomik bir şekilde elde edilmesi çalışmaların sonuçlanması açısından da son derece önemlidir. Bu noktada uzaktan algılama teknolojileri kullanıcılara sunduğu avantajlarla önemli bir veri kaynağı durumundadır. Uzaktan algılanmış görüntülerin işlenmesi ve kullanıcıların ihtiyaç duyduğu bilgiye dönüştürülmesinde en yaygın olarak kullanılan yöntem söz konusu görüntülerin sınıflandırılmasıdır. Sınıflandırma işleminde kullanılacak yöntem sınıflandırma doğruluğunu direkt olarak etkilediğinden bu konu üzerine yoğun çalışmalar yürütülmektedir. Son yıllarda biyolojik bağışıklık sistemi dayalı algoritmalar uzaktan algılanmış görüntülerin sınıflandırılması gibi karmaşık yapıdaki birçok farklı problemin çözümünde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada yapay bağışıklık tabanlı sınıflandırıcı (YBTS) uzaktan algılanmış görüntülerin sınıflandırılmasında kullanımı incelenmiş ve elde edilen sınıflandırma sonuçları en çok benzerlik yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Terra ASTER görüntüsünün YBTS ile sınıflandırılması sonucunda üretilen tematik haritanın doğruluğu %90 olarak hesaplanırken, en çok benzerlik (EÇB) yöntemi ile elde edilen doğruluk %88'dir. Elde edilen sınıflandırma sonuçları çalışmada kullanılan veri seti için YBTS yönteminin EÇB'den %2 daha doğru sonuçlar ürettiğini göstermektedir. Sınıflar bazında yöntemlerin performansları karşılaştırıldığında özellikle benzer spektral özelliklere sahip toprak ve yerleşim sınıflarına ait pikseller ile geniş ve iğne yapraklı orman piksellerinin sınıflandırılmasında YBTS'nın EÇB'ne göre daha iyi olduğu görülmüştür. Bu sonuç karışık piksellerin sınıflandırılmasında YBTS yönteminin gücünü destekler niteliktedir.

YBTS yönteminin en önemli özelliklerinden birisi algoritmanın eğitim aşamasında kullanılan veri setinin boyutunu azaltmasıdır. Hafıza hücreleri olarak tanımlanan azaltılmış sayıda veri seti ile eğitilen sınıflandırıcı test veri setinin sınıflandırılması için kullanılmaktadır. Diğer taraftan YBTS ile sınıflandırmaya esas model oluşumunda altı farklı parametrenin kullanıcı tarafından belirlenmesi

gerekmektedir. Söz konusu parametreler kullanılan veri setine göre değişiklik göstermekte dolayısıyla optimum değerler önceden bilinmemektedir. Bu nedenle yapay bağışıklık tabanlı sınıflandırıcı kullanımı belirli bir deneyim gerektirmektedir. Çalışmada kullanılan veri seti için elde edilen sonuçlar; yapay bağışıklık tabanlı sınıflandırıcının etkin bir yöntem olduğunu göstermiştir.

KAYNAKLAR

Atkinson, P. M., Tatnall, A. R. L., 1997, Neural networks in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 18, 699- 709.

Bruzzone, L., Conese, C., Maselli, F., Roli, F., 1997, Multisource classification of complex rural areas by statistical and neural network approaches, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63(5), 523-533.

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.

Kavzoglu, T., Mather, P.M., 2003, The use of backpropagating artificial neural networks in land cover classification, *International Journal of Remote Sensing*, 24(23), 4907-4938.

Liu, X. P., Li, X., Liu, L., He, J.Q., Ai, B., 2008, An innovative method to classify remote-sensing images using ant colony optimization, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(12), 4198–4208.

Lu, D., Weng, Q., 2007, A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance, *International Journal of Remote Sensing*, 28(5), 823-870.

Mather, P.M., 1987, *Computer Processing of Remote-Sensed Images*, John Wiley and Sons Inc., New York.

Pal, M., 2008, Artificial immune-based supervised classifier for land-cover classification, *International Journal of Remote Sensing*, 29(8), 2273–2291.

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), 554–565.

Parmaksızoğlu, S., 2005, Yapay bağışıklık algoritması kullanılarak lineer sistemlerin kimliklendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

Tong, H.J., Zhao, M., Li, X., 2009. Applications of computational intelligence in remote sensing image analysis. *In Computational Intelligence and Intelligent Systems*, Z. Chai, Z. Li, Z. Kang, Y. Liu (Ed.), 51, pp. 171–179 (Berlin: Springer-Verlag).

Watkins, A., 2001, AIRS: A resource limited artificial immune classifier, *MSc Thesis*, Department of Computer Science, Mississippi State University.

Watkins, A., Timmis, J., 2002, Artificial immune recognition system (AIRS): Revisions and refinements, *In Proceedings of 1st International Conference on Artificial Immune Systems, (ICARIS2002)*, University of Kent at Canterbury, 173–181.

Watkins, A., Timmis, J., Boggess, L., 2004, Artificial immune recognition system (AIRS): An immune-inspired supervised learning algorithm, *Genetic Programming and Evolvable Machines*, 5(3), 291–317.

Zhang, L.P., Zhong, Y.F., Li, P.X., 2004, Applications of artificial immune systems in remote sensing image classification, *In Proceedings of 20th Congress of International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, Istanbul, 35, 397–401.

Zhong, Y.F., Zhang, L. P., Gong, J.Y., Li, P.X., 2007, A supervised artificial immune classifier for remote-sensing imagery, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(12), 3957–3966.

Zhong, Y., Zhang, L., Huang, B., Li, P., 2006, An unsupervised artificial immune classifier for multi/hyperspectral remote sensing imagery, *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, 44(2), 420–431.