

LOJİK FİLTRELERİN UZAKTAN ALGILAMADA KULLANIMI: V-I-S MODEL ÜZERİNDE BİR UYGULAMA ÖRNEĞİ

Şinasi Kaya¹, Fikret Pekin²

¹İTÜ, Geomatik Mühendisliği.Bölümü, Maslak, İstanbul, kayasina@itu.edu.tr
²İTÜ, Bilişim Enstitüsü, Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Programı, Maslak,İstanbul

ÖZET

Bu çalışmada, uydu görüntülerinden hareketle geliştirilen ve görüntülenen kentsel alanlardaki gelişimi, değişimi izlemekte kullanılan Bitki, Su Geçirmez Alan, Toprak bileşim modelinin(VIS: Vegetation, Impervious, Soil) kullanıcı tarafından seçilecek daha küçük bölgeler üzerinde uygulanmasını sağlayacak ve mevcut uydu görüntüsünün farklı bölgeleri için yapılan analizlerin ilişkilendirilmesini kolaylaştıracak bir otomasyon algoritması geliştirme amaçlanmıştır. Bu amaçla çok bantlı uydu görüntülerinden üç bant(yakın kızılötesi, kırmızı ve yeşil) seçilerek elde edilen görüntü üzerinde Matlab&Simulink programı aracılığıyla V-I-S modeli oluşturulmuş, ve modelin görüntü üzerinde kullanıcı tarafından belirlenen daha küçük boyuttaki yüzeyler üzerinde uygulanmasını sağlayan algoritmalar geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma ile elde edilen sonuçlar kontrolsüz sınıflandırma sonuçlarıyla kıyaslanmış ve sonuçların doğruluğu ortaya konulmuştur. Geliştirilen otomasyon algoritması orta mekansal çözünürlüğe sahip görüntülerde uygulanabilirliğini kanıtlamış ve kullanıcıya seçilen alanda hedeflendiği üzere hızlı bir şekilde analiz yapma imkanı vermiştir.

Anahtar Sözcükler: Uzaktan Algılama, VIS Model, Matlab&Simulink, Lojik Filtre

ABSTRACT

USAGE OF LOGIC FILTERS IN REMOTE SENSING: AN EXAMPLE ON V-I-S MODEL

In this study, it is aimed to develop an algorithm automating Vegetation, Impervious and Soil (V-I-S) model; generally be used to observe change and progress on urban regions via satellite images, to be applied interactively on user selected regions and will ease the process to correlate informations from different regions within an image. For this purpose, a three band image(green, red and near infrared) is extracted from a multispectral image and a Vegetation, Impervious and Soil model using Matlab&Simulink based algorithms is created for selection of areas and application of the model. Results obtained by the use of the developed algorithm were compared with the results of unsupervised classification applied and comparison proved the validity of new algorithm's results. Developed automation algorithm proved its applicability on image data with medium spatial resolution, and it provides user the opportunity to perform a fast analysis.

Keywords: Remote Sensing, VIS Model, Matlab&Simulink, Logic Filter.

1. GİRİŞ

Uzaktan algılama verileri yeryüzü arazi kullanımı ve arazi örtüsü sınıflandırmada önemli yere sahip veri tiplerindedir. Çoğu uygulama ve çalışma, yeryüzü üzerinde ne gibi yüzeyler olduğu veya bu yüzeylerin ne oranda bulunduğu gibi bilgilere ihtiyaç duyar. Bir çok araştırmacı kentsel alanlarda yeryüzü arazi kullanımı ve arazi örtüsü bilgisinin elde edilmesi ve elde edilen sonuçların analizi üzerine çalışmalarda bulunmuşlardır(Welch ve Ehlers, 1987; Pathan ve diğ., 1993; Muh Dimyati ve diğ., 1996). Kentsel alanların analizinde uzaktan algılama verileri geniş kullanım alanına sahiptir. Bir çok kentsel morfoloji çalışması uzaktan algılama verilerini kullanarak yeryüzü bilgisini elde edip bu bilgileri analizlerinde kullanmaktadır(Jensen ve Toll, 1982; Forster ve Jones, 1988; Kaya ve diğ., 2004). Bu bilgilerin toplanması ve sayısal olarak kullanıcının önüne konulabilmesi analizi açısından büyük öneme sahiptir. Görsel olarak bir yeryüzü parçası üzerinde gözlemlenebilen veri sayısal karşılık bulduğunda değişimlerin takibi kolaylaşır ve anlaşılabilirliği artar. Bitki Örtüsü, Su Geçirmez Alan, Toprak (Vegetation-Impervious-Soil) modeli bu amaçla kullanılan yöntemlerden biridir.

V-I-S modeli kentlerin morfolojik yapılarını çıkarmak amacıyla ortaya atılmıştır. Model kentsel arazilerin temelde üç bileşenin lineer kombinasyonlarından oluştuğunu belirtmektedir. Ridd (1995), V-I-S modelinin kentsel morfoloji, biyofiziksel ve insansal sistemlerin analizlerinde uygulanabileceğini ortaya koymuştur. V-I-S modeli analizlerinde uzaktan algılama verilerinden yararlanır. Uzaktan algılama verileri V-I-S modeli gibi analiz edilen alanlardaki arazi kullanımı ve arazi örtüsü ile ilgilenen modellerde zamana bağlı değişimin ortaya konmasında pratik kolaylık sağlar. Bir bölgenin farklı zamanlı verileri analiz edildiğinde bölgenin verilerin alındığı zamanlar arasında geçirdiği değişimler rahatlıkla ortaya konabilir. Benzer şekilde deprem, sel gibi doğal afetlerin bir bölge üzerindeki etkileri uzaktan algılama verilerinden çıkartılabilir. Ek olarak, çoğu zaman analizi geniş çaplı bir saha çalışması yapmaksızın bilgisayar vasıtasıyla bir yeryüzü alanının uzaktan algılama yöntemleriyle elde edilmiş dijital verisi üzerinde analizlerini gerçekleştirir ve elde ettiği sonuçları kolaylıkla ortaya koyar. V-I-S modeli uygulamaları bu nedenlerle uzaktan algılama verilerinden yararlanır.

V-I-S modeli ilk olarak Ridd(1995) tarafından Salt Lake City’de uygulanmış, sonrasında Ward ve diğ.,2000; Madhavan ve diğ., 2001; Setiawan ve Mathieu, 2006; tarafından farklı şehirlerde de test edilmiştir. Yöntem farklı metodlarla eş zamanlı kullanılarak kentlerin değişimi üzerinde somut veriler elde edilmesini sağlamıştır. Her ne kadar metodolojiler, farklı uygulamalar için değişse de kullanılan çoğu yöntemle sonuç elde etmek önemli zaman almaktadır. Arazi kullanımı ve arazi örtüsü sınıflandırmada yaygın kullanımı olan yöntemler kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma yöntemleridir. Kontrollü sınıflandırma, kullanıcının görüntü işleme yazılımına sınıflandırmada kullanılacak belirli özellikleri girerek yazılımı yönlendirdiği bir sınıflandırma metodudur. Bu yönlendirme test poligonlarının kullanımı ile gerçekleşir. Kontrolsüz sınıflandırmada ise görüntü yazılım tarafından işlenir ve kullanıcı ortaya çıkan sınıfların nasıl kategorize edileceğine karar verir. Fakat tüm bu yöntemler, farklı arazi örtüsü tiplerinin aynı piksel içerisinde yer alabileceği riskini göze alır. Bu nedenle düşük mekansal çözünürlüğe sahip verilerde çıkarılan sonuçlar çok yüksek doğruluk içermez.

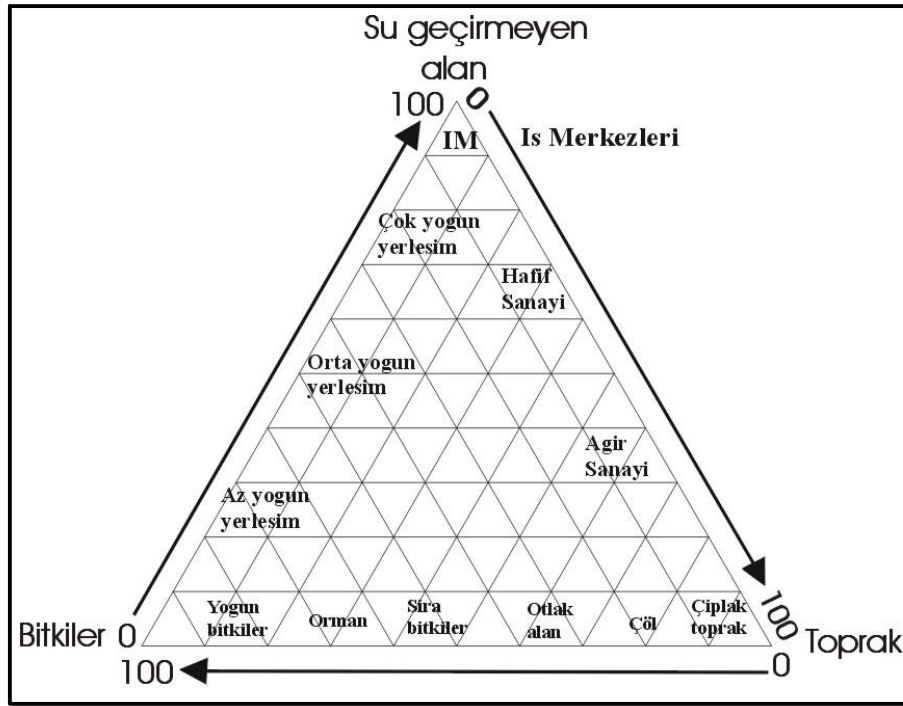
Piksel problemini çözebilmek için, Fuzzy Sınıflandırma, ve Lineer Spektral Karışım Analizi(LSMA) kullanılan yöntemlerden bazılarıdır. LSMA modeli deterministik olarak bir pikseli içerisinde barındırdığı son elemanlara ayırmak amacıyla kullanılır (Boardman ve diğ. 1995). Son elemanlar, görüntü boyunca homojen spektral karakter gösteren arazi materyelleridir. Bu özellikleri sebebiyle LSMA, bitki örtüsü tahmini(Lee ve Lathrop 2005), su geçirmez alan tahmini ve kentsel morfoloji analizi(Lu ve Weng, 2006; Wu ve diğ., 2005), bitki örtüsü ve yeryüzü sınıflandırması (Lu ve Weng, 2004) ve değişim takibi (Rashed ve diğ., 2005; Powell ve diğ., 2007) gibi uygulamalarda kullanılmıştır. Arazi kullanımı ve arazi örtüsü sınıflandırma uygulamalarında bir diğer önemli nokta kullanıcının ilgilendiği belirli alanların seçimidir. Bir çok uygulama, kullanıcıya üzerinde çalışılan veri setinin belirli alanlarında analiz yapmak söz konusu olduğunda kısıtlı çalışma alanı vermektedir. Halbuki kullanıcı aynı veri setinin içinde belirli alanların seçilmesi ve analizlerin seçilen alanlarda ayrı bir şekilde gerçekleşmesi ihtiyacını duyabilmektedir.

Bu çalışmada, bütün bu noktalardan hareketle V-I-S modelinin Matlab&Simulink programı kullanılarak uzaktan algılama verileri üzerinde kullanıcı tarafından seçilen alanlarda otomasyonu yapılmış ve ilgili görüntüler üzerinde tek tek bileşenlerin haritaları çıkarılmıştır. Bu amaçla görüntü bantlara ayrılmış ve her bant teker teker içerdiği bileşen bilgileri açısından sorgulanmış ve bantlara ait görüntüler bitki örtüsü, su geçirmez alan ve toprak alan bileşenlerine sınıflandırılmıştır. Sonrasında, aynı görüntü kontrolsüz sınıflandırma yöntemiyle sınıflandırılmış ve bitki örtüsü, su geçirmez alan ve toprak alan bileşenleri bu yöntem yardımıyla bulunmuştur. Son olarak her iki yöntemle elde edilen sonuçlar karşılaştırmıştır. Elde edilen sonuçlar; oluşturulan programın, orta mekansal çözünürlüğe sahip görüntüler için uygunluğunu ve kontrolsüz sınıflandırma gibi yöntemlerle yaklaşık sonuçlara daha hızlı bir şekilde ulaştığını göstermektedir.

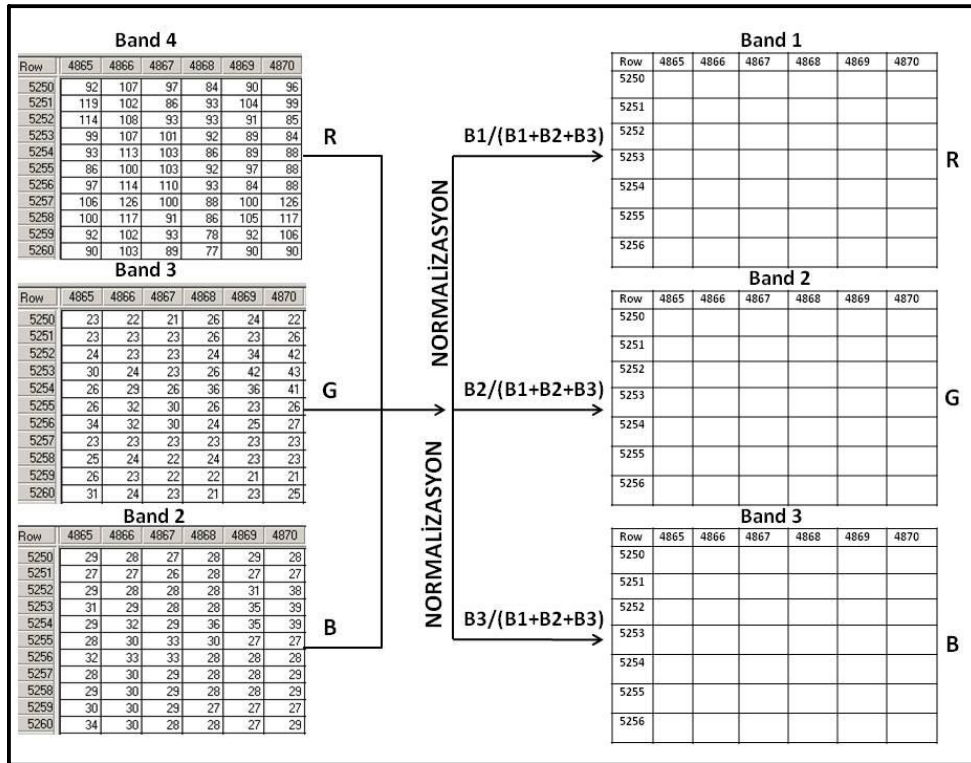
2. V-I-S MODEL VE METHOD

V-I-S modeli (Vegetation, Bitki örtüsü; Impervious, Su geçirmeyen alan; Soil, Toprak) bir bölgedeki yeryüzü değişimlerini uydu görüntü verileri kullanılarak elde edilen üç bileşeni yüzde ağırlıkları ile ifade eder. Litolojik değişimlerin ortaya konması V-I-S modeli ile mümkündür. Model, uydu görüntü verilerinden yararlanılarak kentsel morfolojinin bu üç ana bileşenine indirgenmesi ve basitleştirilmesi amacıyla önerilmiştir (Ridd, 1995). Şekil 1’de gösterilen modele göre, her bir eksen üç bileşenden birini göstermektedir. Eksenler üzerindeki değerler ise ilgili bileşenlerden söz konusu veri içerisinde hangi yüzdede bulunduğunu ifade eder. Bitkiler %100 iken su geçirmeyen alan % 0, su geçirmeyen alan %100 iken toprak % 0, toprak %100 iken bitkiler % 0 olarak modelde tanımlanır. V-I-S modeli zamana bağlı olarak oluşan çevresel ve doğal değişikliklerin takibinin yapılabilmesi için de önemli veriler sağlar. Bu sayede mevcut yerleşim alanının gelişimini, gittiği noktayı ve yönünü analiz etmek mümkün olabilmektedir (Pekin ve Kaya, 2010).

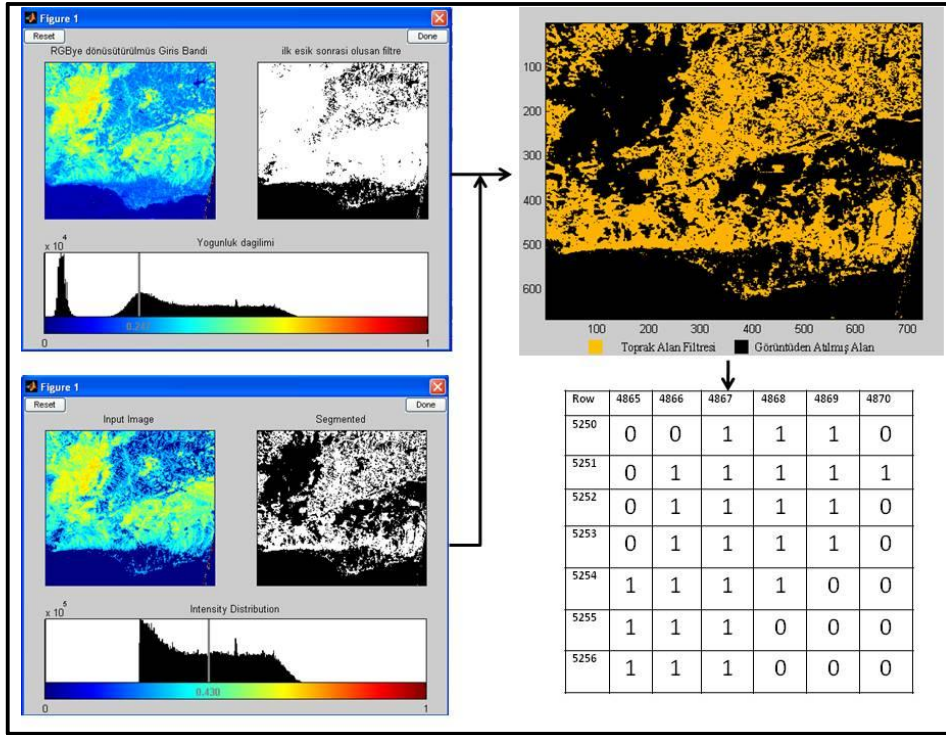
Lojik filtreler için geliştirilen model sadece seçilen üç bantlı verilerin analizi için geliştirilmiştir. Kullanılan bantların normalizasyonu tek bir banttaki verinin tüm bantlardaki verinin toplamına bölümü ile elde edilmiştir. Bu bantlar RGB olarak kaydedilmiştir (Şekil 2). Her bir bantın histogramı üzerinden minimum ve maksimum eşik değerleri her bir bileşen için belirlenmiştir. Belirlenen bu bileşenler görüntüde mevcut ise “1” görüntüde mevcut değilse “0” değeri olarak yeni ortaya çıkan görüntüye kaydedilmiştir (Şekil 3). Seçilen her bir bantta bu işlem tekrar edilmiştir. Her bir bileşen için çıkan sonuçlar kendi aralarında da karşılaştırılmıştır. Bu işlem sonucunda yeni piksel değerleri “0”, “1”, “2”, “3” değerlerini içermektedir. Çalışma sonucunda piksel değerleri “2” ve “3” olan piksellerin ilgili bileşeni taşıdığı sonucuna varılmıştır. Burada analizi yapılacak bantların doğru seçimi çok önemlidir. Çünkü istenilen bilgilerin hepsi aynı ağırlıkta tek bir bantta bulunmaz. Bu nedenle analizlerin farklı bantlar üzerinde birlikte yapılması çok önem taşır. Geliştirilen algoritma ile elde edilen sonuçlar kontrolsüz sınıflandırma sonuçlarıyla kıyaslanmış ve sonuçların doğruluğu ortaya konulmuştur.



Şekil 1: V-I-S Model (Kaya ve diğ., 2004)



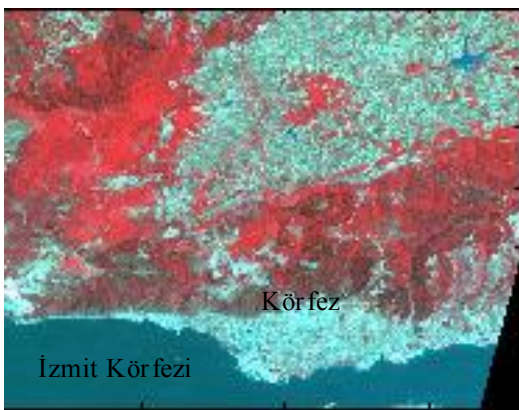
Şekil 2: Seçilen bantlar ve normalizasyonu



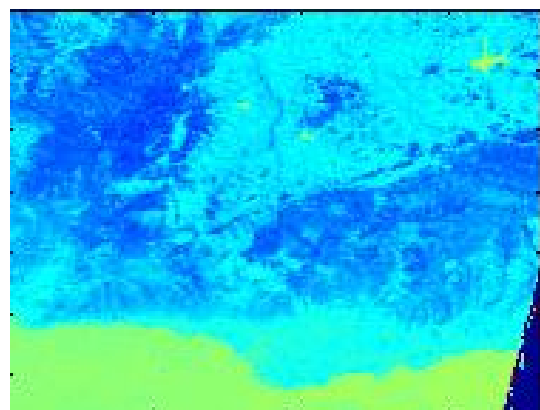
Şekil 3: Eşik değerlerinin tesbiti ve lojik filtre

3. SONUÇLAR

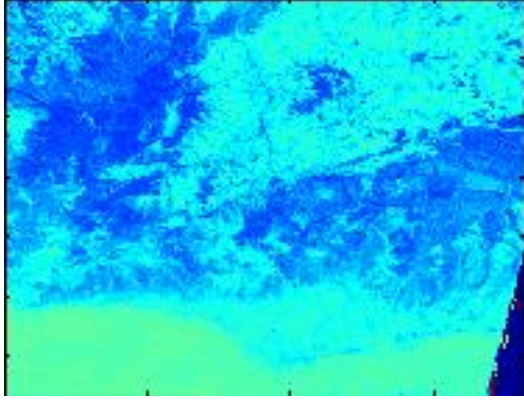
Bu çalışmada, İstanbul Anadolu Yakasının ve İzmit İlinin bir kısmını içine alan Landsat 5 TM yedi bantlı örnek bir uydu görüntü verisi kullanılmıştır. Bu uydu görüntüsünün Yeşil, Kırmızı ve Kızıl ötesi bantları geliştirilen algoritma ile analiz edilmiştir (Şekil 4). Analiz sonucunda her bir bant için histogram üzerinden dinamik olarak seçilen iki eşik değeri üstündeki ve altındaki değerler çıkartılarak “0” ve “1” değeri olarak kodlanmıştır. Bu filtreler içindeki pikseller “1” değerine dışındakilerde “0” değerine atanmıştır. “1” değerleri görüntüde filtrelenmek istenen bileşenin var olduğunu “0” değeri ise bileşenin mevcut olmadığını göstermektedir. Analiz edilmek istenen bileşenlerin hepsi aynı bantta aynı ağırlıkta bulunmaz. Bu nedenle analizlerin farklı bantlar üzerinde yapılması çok sepektrumlu verilerin değerlendirilmesi açısından önem taşır. İlişkilendirme için her bileşenin üç bant üzerinden elde edilen filtreleri üst üste eşleştirilerek yapılan analizlerde en az iki bant için örtüşen pikseller bileşenin mevcut olduğu pikseller olarak kabul edilmiştir. Bu örtüşme işlem sonucu ortaya çıkan yeni filtreler piksel değerleri olarak “0”, “1”, “2” ve “3” değerlerini içerir (Pekin ve Kaya, 2010, Pekin, 2010). Analiz, piksel değerleri “2” ve “3” olan piksellerin ilgili bileşeni taşıdığı sonucunu ortaya koyar (Şekil 5). Her bir banttan alınan bileşenlerin ortalaması alınarak bir sonuca varılabilir veya bu üç bileşen birleştirilerek elde edilen arazi kullanım örtüsü, sınıflandırma yöntemleri ile elde edilenlerle kıyaslanarak doğruluğu test edilebilir. Tablo 1’de Matlab&Simulink programı vasıtasıyla geliştirilen modelin sonucu ile kontrolsüz ve kontrollü sınıflandırma sonucu elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Bitki örtüsü, Su geçirmeyen alan, Toprak bileşenleri ve çalışma bölgesi özelliğine sahip Su bileşeninin % değerleri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



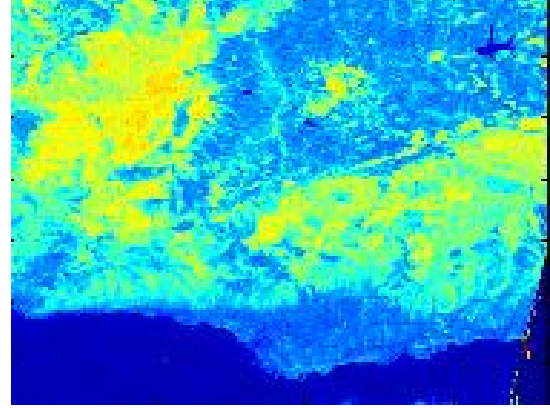
a) Seçilen alan



b) Seçilen alana ait yeşil bant

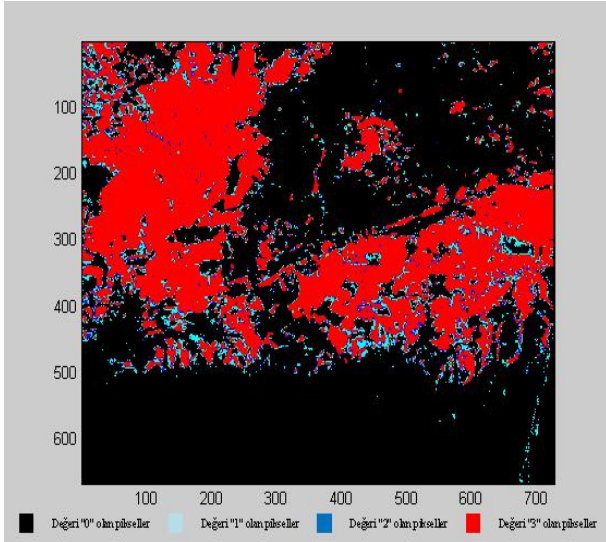


c) Seçilen alana ait kırmızı bant

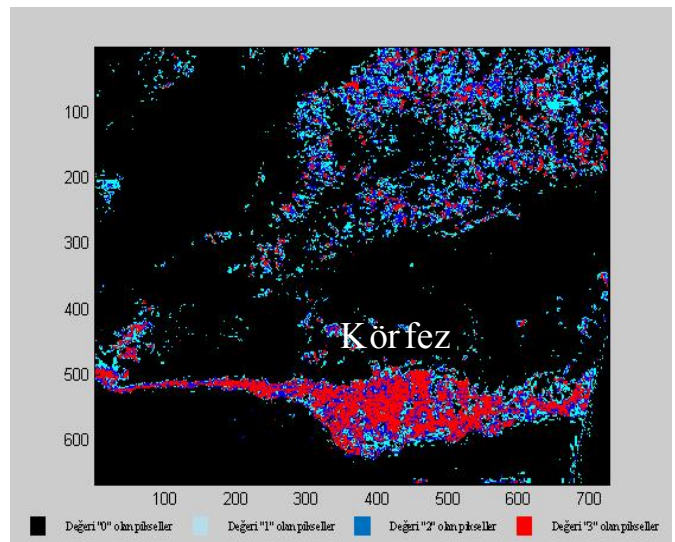


d) Seçilen alana ait yakın kızılötesi bant

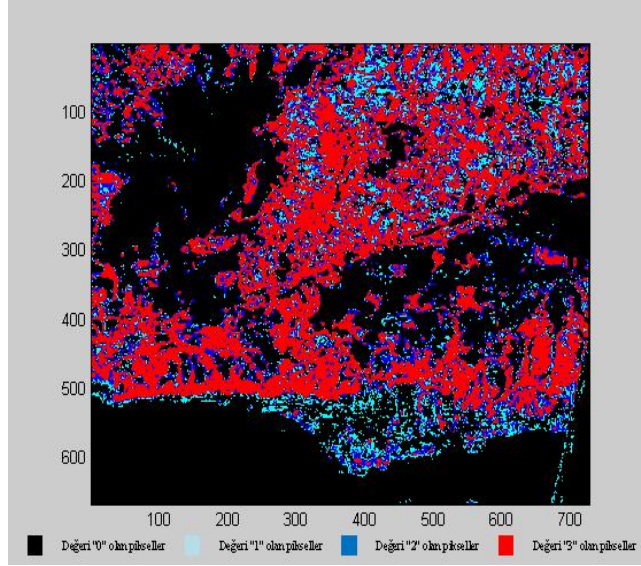
Şekil 4: Seçilen alan ve bantlara ayrılmış görüntü (Pekin ve Kaya, 2010).



a) İlişkilendirilmiş bitki örtüsü



b) İlişkilendirilmiş su geçirmeyen alan

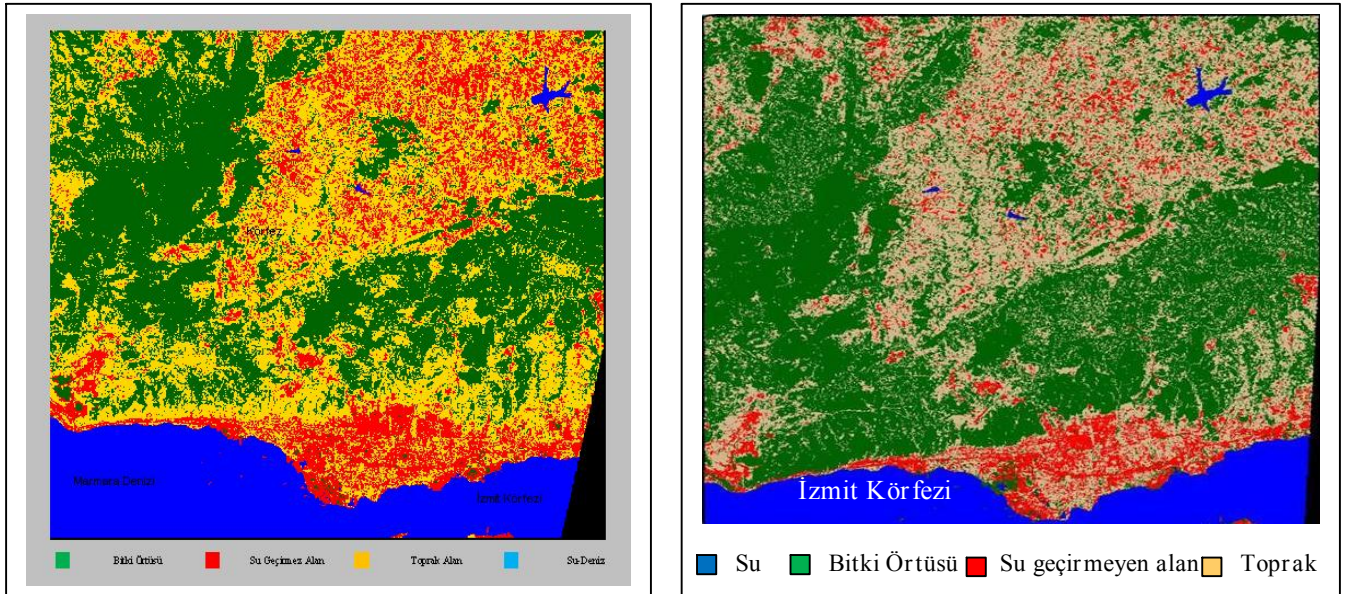


c) İlişkilendirilmiş toprak alan

Şekil 5: İlişkilendirildikten sonra V-I-S bileşenleri (Pekin, 2010)

Tablo 1: Kontrolsüz ve Kontrollü sınıflandırma sonuçları ile Matlab&Simulink Sonuçları Kıyaslaması

VIS Bileşenleri	Kontrolsüz sınıflandırma	Kontrollü sınıflandırma	Matlab&Simulink Sonuçları	Kontrolsüz sınıflandırma ile model farkı	Kontrollü sınıflandırma ile model farkı
	%	%		%	%
Bitki Örtüsü	35,3	34,3	33,0	2,3	1,3
Su Geçirmeyen Alan	14,9	11,9	12,1	2,8	0,2
Toprak	34,6	38,4	39,2	4,6	0,8
Su (VIS bileşen harici)	15,2	15,4	15,7	0,5	0,3



Şekil 6: Kontrolsüz ve Kontrollü sınıflandırma sonuçları

4. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Arazi kullanım\örtüsü bilgilerinin elde edilmesi kent mofolojisi ve bölge yönetimi için çok önemlidir. Çok spektrumlu olarak elde edilen uydu görüntü verileri kullanılarak bu bilgilerin üretimi hızlı ve ekonomik olarak temin edilebilir. Birçok yöntemle bu bilgilere ulaşılabilir. Bu çalışmada Matlab&Simulink ile uygulanan lojik filtreler farklı bantların analizleri için kullanılmıştır. Sonuçlar bantların spektral karakteristiklerine bağlı olarak değişken sonuçlar göstermiştir. Bu farklılıklar her bir bant için ortaya çıkan sonuçların ilişkilendirilmesi sonrasında ortadan kalkmakta ve sonuçların doğruluğu artmaktadır. Yine de yöntemin uygulanması sırasında doğruluk, kullanıcının görüntü üzerinde belirlediği eşik değerleriyle doğru orantılıdır. Elde edilen sonuçlar Erdas Imagine ile uygulanan kontrolsüz sınıflandırma sonuçları ile % 80 'nin üzerinde kontrollü sınıflandırma sonuçları ile kıyaslandığında % 90'in üzerinde benzerlik içermektedir. Matlab&Simulink'den elde edilen sonuçlarla kontrollü sınıflandırma sonucu elde edilen arazi kullanım\örtüsü sonuçları çok yakın çıkmıştır. Bu sonuçlarda önerilen modellen güvenilir olduğunu göstermektedir. Matlab&Simulink kullanılarak oluşturulan yöntem özellikle görüntü üzerinden farklı bölgelerin seçimi imkanı vermesi ve bu sayede aynı görüntünün farklı noktalarının analiz edilebilmesini sağlaması açısından büyük kolaylık sağlamaktadır. Özellikle karışık pikseli alanlarda bu piksellerin ayrışmadığı belirlenmiştir. Bu olumsuzluğun ortadan kaldırılması için belirlenen minimum eşik değeri ile maximum eşik değeri iterasyonlu olarak bulunmalıdır. Ayrıca istenen bileşenin sadece seçilen iki eşik arasında değil, kullanıcı tarafından seçilen farklı farklı eşik aralıklarında filtrelenmesi ve elde edilen verilerin toplamsal olarak daha doğru bir şekilde ifade edilmesi mümkün olabilir. Hafıza problemi nedeniyle yüksek çözünürlüklü uydu görüntü verilerinin işlenmesinde problemler ortaya çıkmıştır. Ancak çalışma bölgesinin arazi bileşenlerinin bulunmasında kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma yönteminden daha kısa sürede sonuçlara ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- Forster, B. C., Jones, C., 1988. *Urban Density Monitoring using High Resolution Space Borne System*, Com. VII (Kyoto: ISPRS), sayfa: 189-195.
- Jensen, J. R., ve Toll, D. L., 1982. *Detecting residential land-use development at the urban fringe*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 48, sayfa: 629-643.
- Kaya, Ş., Llewellyn, G., ve Curran, P.J., 2004. *Displaying Earthquake damage an Urban Area Using a Vegetation-Impervious-Soil Model and Remotely Sensed Data*, XXth Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), 2004, 12-25 July, Istanbul, Turkey.
- Madhavan, B.B., Kubo, S., Kurisaki, N.T., Sivakumar, V.L.N, 2001. *Appraising the anatomy and spatial growth of the Bangkok Metropolitan area using a vegetation-impervious-soil model through remote sensing*, International Journal of Remote Sensing, 22, sayfa: 789-806.
- Muh Dimyati, Kei Mizuno, Shintaro Kobayashi, Teitaro Kitamura, 1996. *An analysis of Land use/cover change using the combination of MSS Landsat and land use map - a case study in Yogyakarta, Indonesia*, International Journal of Remote Sensing, 17, sayfa: 931-944.
- Pathan, S. K., Sastry, S. V. C, Dhinwa, P. S., Rao, M., Mujumdar, K. L., Kumar, D. S., Patkar, V. N., Phatak, V. N., 1993. *Urban growth trend analysis using GIS techniques - a case study of the Bombay Metropolitan Region*, International Journal of Remote Sensing, 14, sayfa: 3169-3179.
- Pekin, F.H., 2010. *Matlab&Simulink Kullanılarak Bitki Örtüsü, Su Geçirmez Alan, Toprak Modelinin Otomasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Bilişim Enstitüsü, Maslak-İstanbul.
- Pekin, F.H., Kaya, Ş., 2010. *Matlab&Simulink Kullanılarak Bitki Örtüsü, Su Geçirmez Alan, Toprak Modelinin Otomasyonu*, III. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, 11-13 Ekim 2010, Gebze-Kocaeli, sayfa: 428-435.
- Ridd, M. K., 1995. *Exploring a V-I-S model for urban ecosystem analysis through remote sensing: comparative anatomy for cities*, International Journal Of Remote Sensing, 16, sayfa: 2165-2185.
- Setiawan, E., Mathieu, R., 2006. *Assessing the applicability of the V-I-S model to map urban land use in the developing world: Case study of Yogyakarta, Indonesia*, Computers, Environment and Urban Systems, 30(4), sayfa:503-522.
- Ward, D., Phinn, S. R., Murray. A.T., 2000. *Monitoring growth in rapidly urbanizing areas using remotely sensed data*, The Professional Geographer, 53, sayfa:371-386.
- Welch, R., ve Ehlers, M., 1987. *Merging multi-resolution SPOT HRV and Landsat TM data*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 52, sayfa: 301-303.
- Boardman, J.W.; Kruse, F.A., 1995. *Mapping target signature via partial unmixing of AVIRIS data*, Summaries of the Fifth JPL Airborne Earth Science Workshop; JPL Publication 95-1, NASA Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, Calif., sayfa: 23-26.

Lojik Filtrelerin Uzaktan Algılamada Kullanımı: V-I-S Model Üzerinde Bir Uygulama Örneği

- Lee, S.; Lathrop, R.G., 2005. *Sub-pixel estimation of urban land cover components with linear mixture model analysis and Landsat Thematic Mapper imagery*, International Journal of Remote Sensing, 26(22), sayfa: 4885-4905.
- Lu, D.; Weng, Q., 2004. *Spectral mixture analysis of the urban landscapes in Indianapolis with Landsat ETM+ imagery*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 70, sayfa: 1053-1062.
- Lu, D.; Weng, Q., 2006. *Use of impervious surface in urban land use classification*, Remote Sensing of Environment, 102(1-2), sayfa: 146-160.
- Powell, R.L.; Roberts, D.A.; Dennison, P. E.; Hess. L.L., 2007. *Sub-pixel mapping of urban land cover using multiple end-member spectral mixture analysis: Manaus, Brazil*, Remote Sensing of Environment, 106(2), sayfa:253-267.
- Rashed, T.; Weeks, J.R.; Stow, D.; Fugate, D., 2005. *Measuring temporal compositions of urban morphology through spectral mixture analysis: toward a soft approach to change analysis in crowded cities*, International Journal of Remote Sensing, 26(4), sayfa: 699-718.
- Wu, J.W.; Xu, J.H.; Yue, W.Z., 2005. *V-I-S model for cities that are experiencing rapid urbanization and development*, Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS'05. Proceedings, 3, sayfa: 1503–1506.