Yol Üst Yapısındaki Değişimlerin Uydu Görüntüleri ile Yarı-Otomatik Tespiti

Yunus Emre ŞEN, Taşkın KAVZOĞLU[1*], Müfit ÇETİN[1]

[1] *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Böl., Muallimköy Kampüsü, Gebze/Kocaeli*

Özet

Yerel yönetimlerin sunduğu en önemli hizmetlerinden birisi de asfalt kaplama çalışmalarıdır. Özellikle 1950'lerde başlayan ve gittikçe hızlanan köyden kente kitlesel göçün getirdiği şehirleşmeyle birlikte İstanbul gibi metropoliten şehirlerde ana arterlere ilişkin güncel ve hızlı bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde, yol üst yapı durumları uzmanların çıplak gözle yaptığı gözlemler sonucunda tespit edilmektedir. Bu çalışmada, yol üst yapılarında meydana gelen bozulmaların belirlenmesinde mevcut yöntemlere alternatif olarak uzaktan algılama yöntemi kullanılmıştır. Çalışma bölgesi olarak seçilen İstanbul il sınırları içindeki D–100 (E–5) karayolunun Maltepe-Pendik kesimi ile TEM otoyolunun Gaziosmanpaşa-Mahmutbey gişeler mevkii arası için asfalt kalitesindeki değişim incelenmiştir. İSFALT A.Ş.`de yapım tarihleri ve özellikleri kayıtlı olan D–100 ve TEM yollarından alınan asfalt karotlarının spektral yansıma değerleri laboratuar ortamında ASD spektroradyometre aletiyle yapılan ölçmeler temel alınarak Haziran 2005 tarihli IKONOS uydu görüntüleri işlenerek, yol üst yapılarında oluşan değişimler belirlenmeye çalışılmıştır. Asfalt kaplı alanlardaki değişimlerin özellikle kavşak yaklaşımlarında, bağlantı kollarında ve yan yollarda gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu çalışma ile uzaktan algılama tekniği kullanılarak ana arterlerdeki asfalt kalitesinin izlenmesinin önemi ve etkinliği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Yol üst yapısı, IKONOS, spektroradyometre, uzaktan algılama, asfalt.*

Semi-automatic detection of changes occurring on road infrastructure using satellite images

Abstract

The migration from the rural areas to the urban has been gradually increasing from 1950's and caused the irregular urbanization in the world. The collection of up to date and accurate data is essential to evaluate the conditions of the road infrastructure in the metropolitan cities such as Istanbul. One of the most important services of the local governments is to rehabilitate the spoiled roads. At the present time, the determination of the road conditions is carried out through the observation of the experts. In this application, remote sensing techniques are used to determine the conditions of the roads as an alternate method to the classic methods. The conditions of the asphalt roads in two region of Istanbul are under analysis in this study. The first area is from the D-100 (E-5) asphalt road between Maltepe and Pendik districts and the second is from TEM highway between Gaziosmanpaşa and Mahmutbey districts. In this study, the changes on the conditions of the roads are detected using the multispectral IKONOS images dated in June 2005 and the ground spectral measurements are taken from the asphalt examples, whose characteristics are recorded by ISFALT company, using ASD FR instrument in laboratory. It is revealed that

[*]Yazışmaların yapılacağı yazar: Taşkın KAVZOĞLU. kavzoglu@gyte.edu.tr; Tel: (262) 605 31 51.

the changes of the road conditions are occurred on the crossroads. This study shows the importance and effectiveness of remote sensing on monitoring the quality of asphalt roads.
Keywords: R*oad infrastructure, IKONOS, Spectroradiometer, Remote sensing, Asphalt.*

Giriş

Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte kent dokusunu oluşturan objelerin spektral özelliklerinin yer ölçmeleri ile belirlenmesi ve bunların şehir alanlarının sınıflandırılmasındaki önemine yönelik araştırmalar artmıştır (Ben-Dor vd., 2001; Herold vd., 2004; Small, 2003).

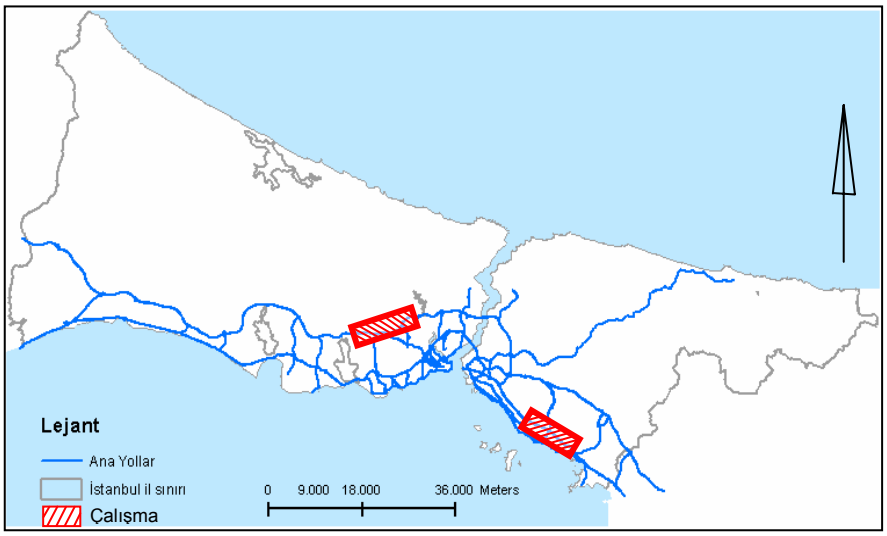
Yüksek maliyetler sonucunda inşa edilen yolların, uzun süre hizmet verebilmesinin sağlanması için yol üstyapılarının düzenli olarak bakım ve onarımdan geçmesi gerekmektedir. Bu amaçla kurulan ve en uygun çözümler üreten üst yapı yönetim sistemlerinde verilere sağlıklı, ucuz ve hızlı bir şekilde ulaşmak, özellikle İstanbul gibi metropoliten şehirlerde giderek önem kazanmaktadır. Günümüzde en çok kullanılan klasik yöntemlerden biri olan uzmanların arazide çıplak gözle yaptıkları ölçümlerle sisteme veri sağlanması, çok uzun, maliyetli ve sübjektif sonuçlar üretmektedir.

Gelişen teknoloji ile birlikte uzaktan algılama, yol üstyapılarında meydana gelen değişimlerin tespitinde alternatif veri kaynağı olabilecek niteliklere sahiptir. Özellikle uydu sistemlerinin artan konumsal ve spektral çözünürlükleri, konu ile ilgili sıra dışı çalışmaları dahi mümkün kılmaktadır. Zira bir metrenin de altına düşen çözünürlükler sayesinde asfalt yüzeylerindeki bazı yapısal deformasyonlar rahatlıkla tespit edilebilmektedir. Ayrıca yeni nesil uyduların ve hava araçlarının artan kanal sayıları sayesinde asfalt yaşlanması ve deformasyonlar ile ilgili spektral analizler de yapılabilmektedir. Yine de uzaktan algılama üstyapı yönetim sistemlerine veri sağlamada birincil kaynak olmaya henüz uzaktır. Çok yakın bir gelecekte teknolojinin hızla ilerlemesiyle uydu görüntülerinin elde edilmesi hem daha kolay hem de daha az maliyetli olduğunda, uzaktan algılama yol bakım planlamalarına veri sağlamada baş unsur olabilecek potansiyele sahiptir.

İstanbul'un D–100 (E–5) karayolunun Maltepe-Pendik ve TEM otoyolunun Gaziosmanpaşa-Mahmutbey bölgesinde yapılan bu çalışmada İSFALT A.Ş.'den anayollara ait mekânsal ve sözel bilgiler elde edilmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda araziden alınan örneklerin laboratuar ortamında yapılan spektral ölçümleri ile asfaltın zamansal spektral yanımsa değerleri ve karakteristikleri belirlenerek çok bantlı IKONOS uydu görüntüleri analiz edilmiştir. Bu çalışmanın amacı, uzaktan algılama tekniği kullanılarak ana arterlerdeki yol üst yapısının kalitesinin belirlenmesinin mümkün olduğunu ortaya koymak ve yerel yönetimlere katkıda bulunmaktır.

Çalışma alanı

Çalışma, İstanbul'un Asya ve Avrupa yakasında bulunan D–100 (E–5) karayolunun Maltepe-Pendik arası ile TEM otoyolunun Gaziosmanpaşa-Mahmutbey gişeleri arasındaki iki bölgede bulunan yaklaşık 30 metre genişliğe ve genelde yoğun trafiğe sahip olan anayollarda uygulanmıştır (Şekil 1). Bu bölgelerin çalışma alanı olarak seçilmesinin başlıca nedeni, 3 ya da 4 şeritli olan bu yolların en sağ şeridinde seyreden araçların tonaj etkisi ile en sol şeritte 150 km/sa hızla ilerleyen araçların sebep olduğu fiziksel etkilerden dolayı asfalt kalitesindeki değişimlerin fazla olacağı yolların olduğu düşünülmesidir. Diğer bir nedeni ise, bu bölgedeki yolların genişliğinin kullanılan 4 metre mekânsal çözünürlüğe sahip IKONOS uydu görüntüsü ile analiz imkânına uygun olmasıdır.



Şekil 1. Çalışma alanı; İstanbul

Kullanılan veriler

Spektral Ölçümler

Yol üst yapısında meydana gelen bozulmaların asfaltın spektral özelliklerinde önemli derecede değişimlere neden olmaktadır. Bu konuda son zamanlarda çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Görünür bölgede yansıma değerlerinde fazla veya ayırt edilebilir bir fark olmamasına karşın bozuk asfalt yüzeylerinin NIR ve SWIR bantlardaki spektral değerleri yeni asfalt yüzeylere göre daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir (Herold vd., 2004).

Asfalt betonunun spektral karakteristiğinin belirlenmesi için genellikle alan spektroskopisinden yararlanma yoluna gidilmiştir. Alan spektrometrisi, ele alınan bir cismin uzaktan algılama ile özelliklerinin belirlenebileceği, cisim hakkında spektral bilgilerin elde edilerek fizibilite çalışmalarının yapılabileceği bir yöntemdir (Curtis ve Goetz, 1994).

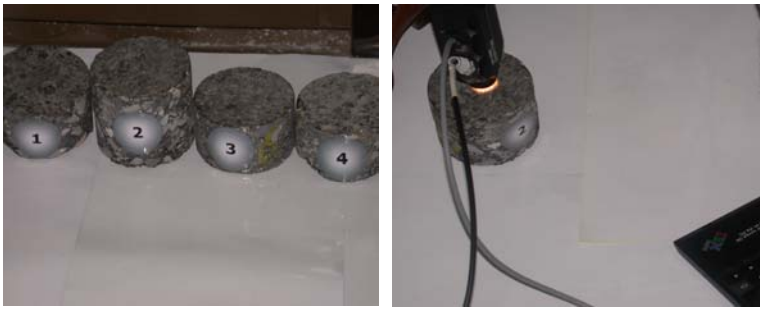
Bu çalışma için öncelikle İstanbul'un çeşitli bölgelerinde değişik zamanlarda serilmiş asfalt örnekleri toplanmış ve bu örneklerden hareketle yıpranmanın spektral yansımasıyla ilişkisinin tespiti yönünde çalışmalar yürütülmüştür. Örnek alanlardaki yola uygulanan asfaltın uygulanma tarihi, üretildiği fabrika gibi bilgiler İSFALT A.Ş. kayıtlarından elde edilmiştir (Tablo 1). Spektroradyometri ile yollardaki asfaltın spektral karakteristiğinin belirlenmesi amacıyla yollardan özel makinelerle farklı yerlerden toplam dokuz adet karot numunesi alınmıştır (Şekil 2).

Şekil 2. Asfaltın spektral karakteristiğinin belirlenmesi amacıyla makinelerle yoldan alınan farklı karot örneklerinin toplanması

Tablo 1: Asfalt örneklerine ait detaylar

Sıra No	Yolun Adı	Serim Tarihi	Serimci Firma	Dizayn (%)	Agreganın Su Muhtevası (%)	Diğer (%)
1	Selanik Bulvarı (Eyüp)	Ekim 2005	FER-MAK	Taş tozu: 45 1 Nolu : 40 2 Nolu : 15 Bitüm : 4.65	0,50	Sıkışma :102.5 Boşluk : 1.5
2	Prof. M.Öktem Cd. (Şişli)	Ekim 2004	G.YOL&EMKA	Taş tozu: 45 1 Nolu : 40 2 Nolu : 15 Bitüm : 4.86	0,50	Sıkışma : 98.3 Boşluk : 5.6
3	Eşref Bitlis Cad. (Güngören)	Ocak 2003	MODİFALT	Taş tozu: 45 1 Nolu : 40 2 Nolu : 15 Bitüm : 4.84	0,42	Sıkışma : 99.9 Boşluk : 4.0
4	Kağıthane Cad. (Kağıthane)	Ağustos 2001	TEK-İMAŞ	Taş tozu: 45 1 Nolu : 35 2 Nolu : 20 Bitüm :5.15	0,84	Sıkışma : 95.7 Boşluk : 8.1

Bu araştırmada belirlenen iki ana objektif doğrultusunda asfalt betonunun içeriğine bağlı spektral değişimleri belirleyebilmek için dokuz adet asfalt örneği, asfaltın zamanla değişimine bağlı spektral özelliğini belirleyebilmek için ise dört adet asfalt örneğinin (Şekil 3a) laboratuar ortamındaki spektral ölçümleri ASD FR spektroradyometre aleti ile yapılmıştır (Şekil 3b). ASD FR spektroradyometre ile 350–2500 nm arasındaki yansıma değerleri 10 nm spektral aralıklı örneklemeyle tespit edilmektedir.



Şekil 3. a) Asfaltın spektral özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan örnekler (Soldaki) b) ASD Fieldspec Pro spektroradyometre ile yapılan ölçme işlemi (Sağdaki)

Uydu görüntüleri

Çalışmada Haziran 2005 tarihli 1 metre konumsal çözünürlüklü bir adet pankromatik bant ile 4 metre konumsal çözünürlüklü dört multispektral banttan oluşan IKONOS uydu görüntüsü kullanılmıştır. Ayrıca pankromatik bant referans alınarak multispektral bantların konumsal çözünürlük açısından iyileştirilmesi ile elde edilen 1 m. konumsal çözünürlüklü üç bantlı pankromatik bantla mekânsal çözünürlüğü iyileştirilmiş (pansharpened) IKONOS görüntüsünden de bu çalışmada faydalanılmıştır. Pansharpened görüntülerin kullanımı, daha çok asfalt piksellerinin görülüp analiz edilmesi olanağını sağlayacak gibi görünse de iki ana nedenden dolayı kullanımları tercih edilmemiştir. Birinci ve en önemli neden, kaydedilen piksel değerlerinin değiştirilerek yapay

bir görüntü elde edilmesi, ikincisi ise bu tip görüntülerin radyometrik ve spektral olarak birçok problemi barındırmasıdır. Bu nedenlerden dolayı analiz için 4 m. konumsal çözünürlüklü multispektral bantların kullanımı benimsenmiştir. Ancak gerekli durumlarda pankromatik bant ile iyileştirilmiş görüntüden faydalanılmıştır.

Veri Analizi

Spektral veri analizi

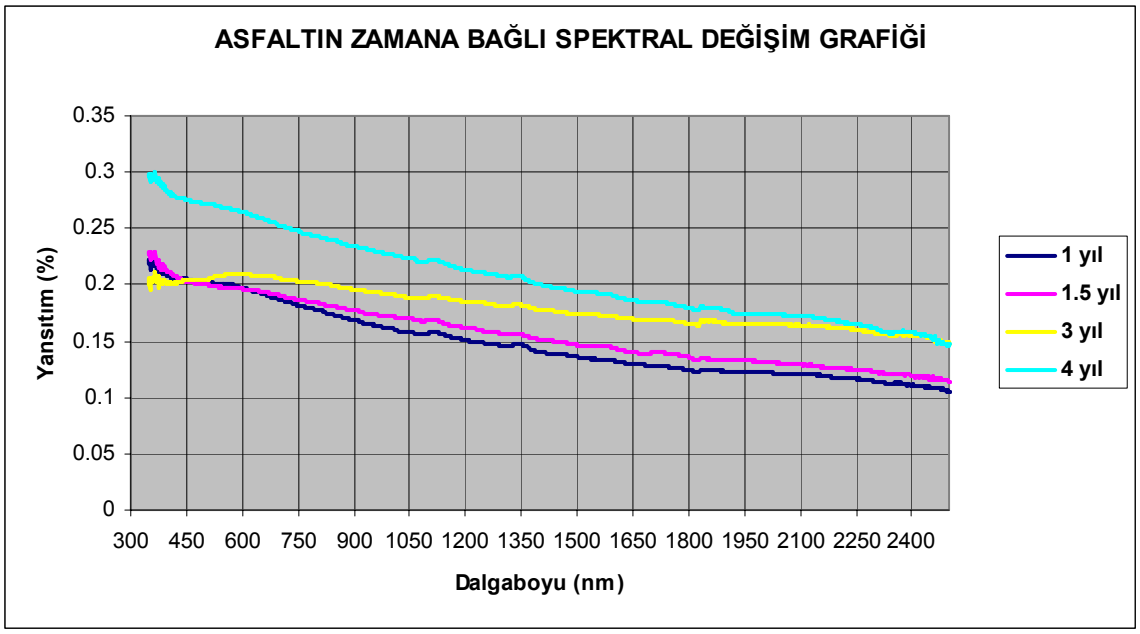
Uzaktan algılamada vejetasyon durumu, asfalt yaşının belirlenmesi ve su kalitesinin incelenmesi gibi yer objelerinin spesifik durumları ile ilgili çalışmalarda yersel spektral verilerin toplanması çalışmanın doğruluğu açısından gereklidir (Gomez, 2002). Arazide veya laboratuar ortamında elde edilen spektral ölçümler objelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesine olanak tanımaktadır (Clark, 1999; Roberts and Herold, 2004).

Bu çalışmanın ana amacı olan asfaltın spektral yansımasında zamanla ortaya çıkan değişim Tablo 1'de sunulan örneklerin spektroradyometre ile değerlendirilerek yapılmıştır. Şekil 4'de görüldüğü üzere, farklı özellikteki asfalt örnekleri faklı spektral karakteristikler arz etmektedir. Genel olarak asfalt yansıtımı spektrum boyunca azalma eğilimindedir. Dalga boyu arttıkça yansıtım azalır. Grafikte, dört yıllık numune hariç, asfalt örneklerinin mavi ve yeşil bantta büyük oranda benzer spektral karakteristiğe sahip olduğu açıkça görülmektedir. Dört yıllık asfaltın bu aralıktaki değişiminin yapısal içeriğinden, özellikle içindeki boşluk ve buna bağlı olarak su tutmasından ya da birleşiminden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Asfalt örneklerinin, spektral olarak birbirinden en iyi yakın kızılötesi bantta ayırt edilebildiği görülmektedir. Şekil 4'de görüldüğü gibi yaşlanma arttıkça asfaltın yansıtım değeri de artmaktadır. Bunda en önemli etken içerikteki bitüm miktarındaki önemli orandaki değişimdir.

Laboratuar ortamında gerçekleştirilen asfaltın zamansal spektral yanımsa değerlerinden (spektroradyometre değerlerinden) elde edilen sınır değerler temel alınarak, asfaltın karakteristik piksel uç değerleri çıkarılmıştır. Bu işlem esnasında, uygulamada kullanılacak olan uydu görüntüsünün özellikleri dikkate alınmıştır. IKONOS uydusu bilindiği üzere, 450 nm – 520 nm (Band 1), 520 nm – 600 nm (Band 2), 600 nm – 630 nm (Band 3) ve 760 nm – 900 nm (Band 4) nm spektral dalga aralıklarında dört bantta görüntü sağlamaktadır. Bu dört bandın orta değerleri olan 485, 560, 660 ve 830 nm'deki asfalt malzeme için spektroradyometre ile elde edilen spektral yansıma değerlerinden asfaltı tanımlayan minimum ve maksimum parlaklık değerleri elde edilmiştir (Tablo 2). Aynı zamanda arazi çalışmalarına göre asfalt olduğu kesin olarak bilinen pikseller görüntüde belirlenerek, asfalt için her banda göre spektral aralıkları tespit edilmiştir.

Tablo 2. Laboratuardaki spektral ölçümlerden ve IKONOS görüntüsünden elde edilen asfaltın karakteristik sınır parlaklık değerleri

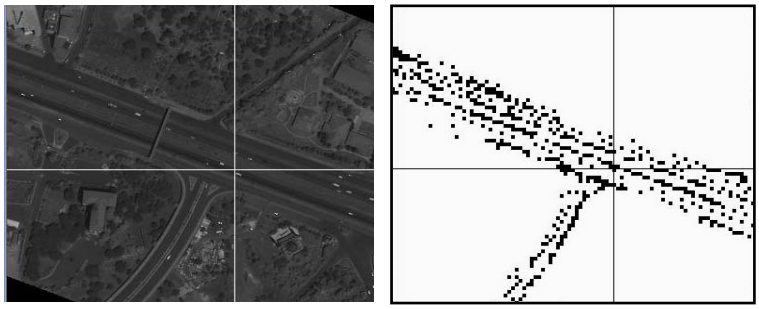
Bant Numarası	ASD FR	IKONOS
Bant 1	413–559	412–538
Bant 2	411–549	445–640
Bant 3	391–528	328–561
Bant 4	358–492	285–435



Şekil 4. ASD Field Spec Pro aleti kullanılarak elde edilen asfalt yaşlanmasının spektral yansıtım değerleri

Uydu Görüntülerinin Analizi

Görüntüyü işlemeden önce çalışmanın amacına bağlı olarak vejetasyon, su gibi objelerin maskelenmesi sınıflandırmada oluşacak bir kısım hataların giderilmesini sağlamaktadır (Haverkamp, 2002). Bu nedenle birleştirilmiş görüntüde asfalt kaplı yollar poligonlar oluşturularak orijinal çok bantlı IKONOS görüntüsü kesilmiştir. Yolların bulunduğu alanlardaki vejetasyon ve çıplak toprak gibi objeler de, spektroradyometre ölçümlerinden elde edilmiş olan minimum ve maksimum piksel sınır değerleri kullanılarak uydu görüntüsü maskelenmiştir (Şekil 5).

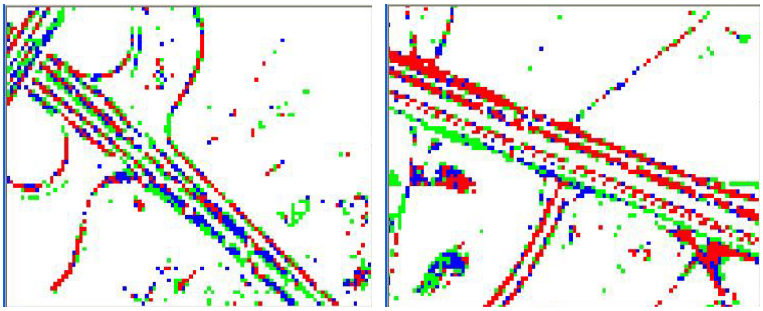


Şekil 5. Spektroradyometreden elde edilen asfalt yansıma değeri ile E–5 bölgesi için IKONOS uydu görüntüsünde yapılan tanımlama işlemi. a) Orijinal görüntü b) Sınıflandırma sonucu

Dört bantlı IKONOS görüntüsü üzerinde gerçekleştirilen spektral analizden gelen değerler kullanılarak yapılan bazı asfalt olduğu kesin olarak bilinen piksellerin tanımlanamadığı gözlenmiştir. Bu durum IKONOS sensöründeki radyometrik karakteristikler, değişiklikler, topoğrafik ve atmosferik etkilerin doğal bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Zamanla uzaktan algılama uydularının sensörlerinde aşınmaya bağlı olarak bazı değişiklikler meydana gelmekte ve bu yüzden sensörler, objeleri olması gerekenden farklı bir yansıma değeri olarak kaydederler. Ayrıca yansıyan ışınlar geçtikleri atmosferik yolun karakteristiklerine bağlı olarak yansıma değerinin değişmesine yol açarlar. Topoğrafik etkilerin de piksel değerlerinde bir değişime yol

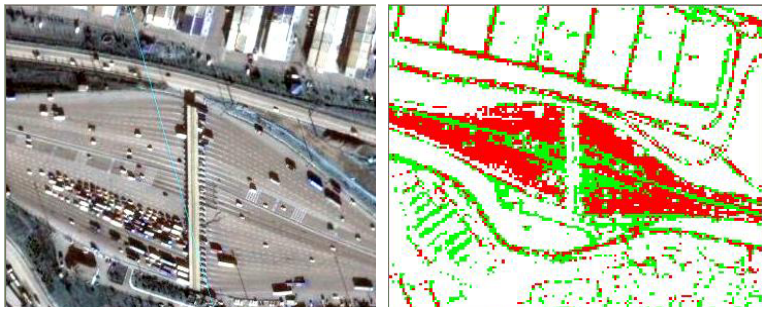
açacağı bilinmektedir. Tüm bu etkileri ölçebilmek ve görüntüden çıkarabilmek için bir kalibrasyonun yapılması ideal bir uzaktan algılama yaklaşımıdır. Bu çalışmada kullanılan Haziran 2005 tarihli görüntünün alınması sırasında çeşitli asfalt alanlarında eş zamanlı olarak taşınabilir bir spektroradyometre ile ölçüm yapma imkânı olmadığından doğaldır ki, spektroradyometre ile laboratuar ortamında sınırlı sayıda örnek üzerinde yapılan spektral değerlendirmeler uydu görüntüsündeki spektral yansıma değerleri ile farklılık gösterecektir.

Asfalt kalitesi belirlemek için kızıl ötesi bantta uydu görüntüsü yoğunluk dilimlemesi ve görüntü sınıflandırma yöntemleri uygulanmıştır. Sınıflara ayrılan asfaltın birbirinden ayrıldığı noktaların özellikle kavşak yaklaşımları, bağlantı kolları ve yan yollar olduğu görülmüştür. Bu noktalar, araçların süratlerini düşürmeye başladığı noktalar olarak dikkat çekmektedir. Araçların süratlerini düşürmek için uyguladıkları fren asfaltla araç arasında ekstra bir sürtünmeye sebep olur. Ayrıca köprü ve kavşak yaklaşımı gibi bu noktalarda araçların deverlere giriş açı ve hızları da asfalt üzerinde benzer bir etki yaratır. Buna karşın otoyolların özellikle aliyman olan bölümlerinde araçların süratleri yüksek olmakla beraber sabit kaldığı için asfalt daha geç yaşlanmakta ve daha homojen bir durum görünüm arz etmektedir.



Şekil 6. Kavşak yaklaşımları ve aliymanlarda asfalt yaşlanması (E–5 örneği)

Asfaltın benzer bir davranışı TEM otoyoluna ait uydu görüntüsüne uygulanan kızılötesi bant analizinde de görülmüştür. TEM otoyolu çalışma alanı içerisinde bulunan gişelere yaklaşım şeritlerinden Otomatik Geçiş Sistemi (OGS) olanlarındaki deformasyonun, ücretli geçiş gişelerine yaklaşım şeritlerindekinden daha fazla olduğu görülmektedir. OGS olan gişelere yaklaşan araçlar süratlerini ortalama 100-150 km/sa gibi değerlerden 50-70 km/sa gibi değerlere çok kısa süre ve mesafede indirdiklerinden, bu araçların uyguladıkları frenden doğan yıpratıcı sürtünme etkisi de fazla olmaktadır. Araçların, asfalt üzerinde yarattığı bu etki Şekil 6 ve Şekil 7' de görsel olarak verilmiştir. Şekildeki kırmızı alanlar iyi kaliteli (yıpranmamış), yeşil alanlar ise yıpranmış asfaltı ifade etmektedir. Yeşil alanların yakın kızılötesi banttaki yansıma değerleri kırmızı alanlarınkinden daha yüksektir.



Şekil 7. TEM Mahmutbey gişelerinde araç davranışlarının asfalt kalitesi üzerindeki etkisi (TEM örneği) a) Orijinal görüntü. b) Sınıflandırma sonucu.

Sonuçlar

Uygulama için seçilen çalışma bölgelerine ait uydu görüntülerine uygulanan yakın kızılötesi bant analizlerinden önemli bazı sonuçlar elde edilmiştir. Asfalt, bitki, su ve toprak gibi temel yeryüzü objelerinden kolaylıkla ayrılabilmektedir. Asfalt kaplı yollarda deformasyon tipleri tanımlanamamıştır. Bununla birlikte asfalt, kendi içerisinde yer yer 2–3 sınıfa kolaylıkla ayrılabilmiştir. Yakın kızılötesi bant özellikle asfalt kaplı yüzeylerde sürtünmeye bağlı olarak meydana gelen soyulmuş yüzeylere duyarlı olduğu görülmüştür.

Asfalt kaplı yollar için Üstyapı Yönetim Sistemlerinin vazgeçilmezliği, bu yollara ait güncel ve objektif bilgiyi içeren veri ihtiyacını artırmaktadır. Bu veriler bir süre daha klasik veri toplama yöntemleri ile elde edilmeye devam edecektir. Çok yakın bir gelecekte, daha sık güncelleme ve daha objektif gözlemler gerektiren projeler ortaya atıldığında, klasik yöntemler Üstyapı Yönetim Sistemlerine veri sağlamda tek başına yeterli olmayacaktır. Bu noktada uzaktan algılama, çok geniş alanlara ait uydu görüntülerini bir defada saylayabilmesiyle alternatif veri kaynağı konumundadır. Bu çalışmanın geliştirilmesi ve kaynak miktarının artırılmasıyla, bir asfalt izleme sistemi kurulmasının mümkün olduğu görülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan ASD FR spektroradyometre aleti, İTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Uzaktan Algılama ana bilim dalı tarafından tedarik edilmiştir.

Kaynaklar

Ben-Dor, E., Levin, N., Saaroni, H., (2001). A spectral based recognition of the urban environment using the visible and nearinfrared spectral region (0.4-1.1 m). A case study over Tel-Aviv, *International Journal of Remote Sensing*, 22(11), 193-2218.

Clark, R.N., (1999). Spectroscopy of Rocks and Minerals and Principles of Spectroscopy, In: A.N. Rencz (ed.). *Manual of Remote Sensing*, chapter 1, John Wiley and Sons, New York, pp. 3-58.

Curtiss, B., ve Goetz, A., (1994), Field spectrometry: Techniques and instrumentation, *in International Symposium on Spectral Sensing Research*, 1994.

Gomez, R. B., (2002). Hyperspectral imaging: a useful technology for transportation analysis, *Opt. Eng*. 41(9) 2137–2143.

Herold, M., Roberts, D.A., Gardner, M.E., Dennison, P.E., (2004), Spectrometry for urban area remote sensing –Development and analysis of a spectral library from 350 to 2400 nm. *Remote Sensing of Environment*, 91, pp. 304-319.

Haverkamp, D., (2002), Extracting straight road structure in urban environments using IKONOS satellite imagery, Opt. Eng. 41(9) 2107–2110.

Roberts, D. A. ve M. Herold (2004). Imaging spectrometry of urban materials, in King, P., Ramsey, M.S. and G. Swayze, (eds.), *Infrared Spectroscopy in Geochemistry, Exploration and Remote Sensing, Mineral Association of Canada, Short Course Series* Volume 33, London, Ontario, pp. 155-181. URL: http://www.geog.ucsb.edu/~mherold/imaging_spectrometry_of_urban_materials.pdf

Small, C., (2003), High spatial resolution spectral mixture analysis of urban reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 88, pp. 170-186.