



## LiDAR sensörünün hiperspektral verilerden gölgelik alan çıkarımı başarımına etkisi

### Effect of LiDAR sensor on the success of shadow detection from hyperspectral data

Seniha Esen YÜKSEL<sup>1\*</sup> , Mustafa BOYACI<sup>2</sup> 

<sup>1,2</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye.  
eyuksel@ee.hacettepe.edu.tr, mustafaboyaci06@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 22.08.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 30.11.2016

\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.13281

Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Hiperspektral görüntülerin analiziyle, tek bir pikselden o pikseldeki materyalin ne olduğu anlaşılabilir. Bu özelliğiyle hiperspektral görüntüleme, yeryüzünün uzaktan algılanmasını gerektiren jeoloji, zirai ve askeri alanlarda, özellikle sınıflandırma ve hedef tespiti uygulamalarında tercih edilen bir yöntem olmaktadır. Ancak, hiperspektral görüntüleme gölgelik alanlarda kalan hedeflerden çok az miktarda foton yansımakta, bu yüzden de toplanan spektral verilerin genlikleri çok düşük düzeylerde kalmaktadır. Bu durum, gölgede kalan hedefin bulunamamasına neden olabilmektedir. Özellikle yüksekliğin sık değiştiği yerleşim yerlerinden alınan verilerde, gölgelik alanların etkisinin sınıflandırma başarımına etkisi katlanarak artmaktadır. Bu çalışmada, gölge tespiti yapan iki algoritma geliştirilmiş ve karşılaştırılmıştır. İlk yöntemde, hiperspektral verilere ek olarak LiDAR sensöründen alınan veriler de kullanılmıştır. LiDAR verilerinden gölge tespiti amacıyla, hiperspektral verilerin toplanma anındaki güneşin açılarını ve ortamdaki yükseltileri dikkate alan bir görüş hattı algoritması geliştirilmiştir. İkinci yöntemde ise, gölgeler sadece hiperspektral veriler kullanılarak tespit edilmiştir. Öncelikle bir referans imza oluşturulmuş, sonra diğer pikseller bu referans imzaya olan uzaklıklarına göre sınıflandırılmıştır. Sonuçta, hiperspektral görüntüdeki gölge alanlar tespit edilmiş ve iki yöntemin eşleşme sonuçları ve güvenilirlikleri karşılaştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** LiDAR, Hiperspektral, Gölge alanlar

#### Abstract

With the analysis of hyperspectral images, it is possible to understand the underlying material from a single pixel. Due to this characteristics, hyperspectral imaging (HSI) is becoming a preferred method in geology, agriculture and defense fields which require the remote sensing of the environment for the purposes of classification and target detection. However, in HSI images, there are only a few photons that get reflected from areas that are under shadow. Hence, the amplitudes of the spectral signals received from shadow areas are very small, which leads to tremendous difficulties in target detection in shadowy areas. These difficulties become much more pronounceable in areas with varying elevations. In this study, we developed two methods to find the shadow regions in hyperspectral images and compared their results. The first method, line-of-sight, uses an external sensor, the Light Detection and Ranging (LiDAR), which provides elevation information. We use the LiDAR data and detect the shadows at the time of the hyperspectral data collection. Then we match the shadows to the hyperspectral image using UTM coordinates. The second method uses only the hyperspectral data and compares each pixel to a pre-determined shadow signature to arrive at a shadow/non-shadow decision. Comparison of both methods gives insight into the reliability of both methods and allows to better deal with the shadows in hyperspectral data.

**Keywords:** LiDAR, Hyperspectral, Shadowy areas, Line of sight

## 1 Giriş

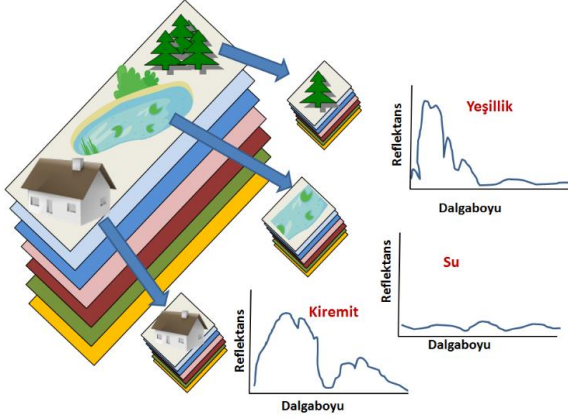
Hiperspektral görüntüler, nesnelere farklı dalga boylarında ışığı ne kadar yansıttıklarının ölçümüdür. Yüzlerce dalga boyuna bakıldığında, farklı materyaller ışığı farklı şekillerde yansıttıklarından, yansıma spektrasına bakarak hiperspektral görüntülerde her bir pikselde hangi materyalin olduğunu anlamak mümkündür. Şekil 1'de örneklenen bu önemli bilgi, son yıllarda yeryüzü şekillerinin ayrıştırılması, maden yataklarının tespiti, tarım alanlarının analizi, savunma sanayiinde hedef tespiti ve benzeri birçok alanda kullanılmaktadır [1]-[6].

Tespit edilmek istenilen cisim gölgede kaldığında ise farklı bir durum ortaya çıkmaktadır. Işıklı direkt olarak temas edemeyen gölge altındaki nesnelere, algılayıcı sensörlere genellikle ancak birkaç adet anlamlı fotonu geri yansıtabilmektedirler. Bu durum, gölge altındaki nesnelere toplanan spektral yansıma değerlerinin düşük veya gürültü seviyesine yakın olarak ölçülmesine neden olmaktadır [6],[8]. Aranılan hedefler gölgelik alanlarda kaldığında, gölgedeki hedeflerden toplanan hiperspektral imzalar, güneşli

alanlardan toplanan hiperspektral imzalara benzememektedir. Bu durumda, bir dağın eteğinde kalmış bir maden yatağı, bina kenarına saklanmış bir bomba, gölge altında kalan bir araç vb. tespit edilememektedir. Özellikle de yüksekliğin aşırı değiştiği arazilerde; bina, köprü, kule, ağaç gibi yüksek nesnelere baskın olarak bulunduğu yerlerde; veya güneşin yükseliş açısının düşük olduğu zamanlarda yapılan veri toplama uçuşlarında gölgenin etkisi görmezden gelinmeyecek düzeylere ulaşmaktadır [9]-[11]. Dolayısıyla, bu alanlarda görüntü işleme yapılabilmesi için, öncelikle o alanın gölgede kaldığının bilinmesi gerekmektedir. Eğer cismin gölgede kaldığı tespit edilebilirse, çevresel pikseller de göz önüne alınarak çok daha verimli bir hiperspektral sınıflandırma yapılabilir.

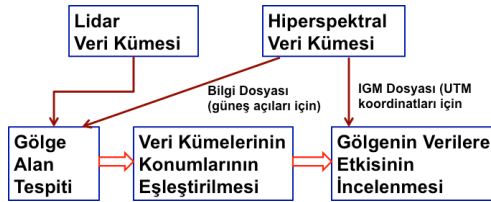
Hiperspektral görüntülerde cisimlerin gölgede kalıp kalmadığını bulmak için bir yöntem, aynı bölgeden toplanan LiDAR verilerini kullanmaktır. LiDAR sensörleri, yere lazer darbeleri gönderip, yerden geri yansıyan ışığın ne kadar zamanda sensöre ulaştığını ölçer. Böylelikle LiDAR, üzerinden uçuş yapılan bir şehrin yükselti haritasını çıkartmayı mümkün kılar. Ayrıca, LiDAR sistemleri kendi enerji kaynaklarını bulunduklarından, güneş ışığının eksikliğinden

etkilenmezler. Bu yönleriyle, LiDAR ile hangi alanların gölgede kaldığı çok daha güvenilir bir şekilde bulunabilmektedir. Günümüzde LiDAR ve hiperspektral görüntüleme sistemlerinin birlikte kullanılması çok daha yaygın hale gelmektedir [12]-[19].



Şekil 1: Bir materyalin yansıma (reflektans) spektrarı, yansıma değerlerinin dalgaboyuna göre çizilmesiyle elde edilmektedir.

Bu çalışmada da, hiperspektral verilerdeki gölgeleri tespit etmek için LiDAR verilerinden faydalanılmış ve bir görüş hattı algoritması geliştirilmiştir. Görüş hattı algoritması ile güneşin yan ve yükseliş açıları kullanılarak hedef piksel ile güneş arasında sanal bir hat çizilmiştir; ve bu hat "görüş hattı" olarak isimlendirilmiştir. Daha sonra, görüntüdeki her piksel için çizilen görüş hattını kesecek yükseklikte bir nesnenin varlığı araştırılmıştır. Böyle bir nesnenin olması durumunda hedef piksel gölge olarak işaretlenmiştir. LiDAR verilerinden gölge hesaplarken, hiperspektral verinin toplanma zamanı ve bu zamandaki güneşin konumu hesaba katılmış; daha sonra koordinat eşleştirmesi yapılarak hiperspektral görüntülerdeki gölgeler tespit edilmiştir. Yapılan analizlerin adımları Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2: Analiz işlemi adımları ve kullanılan veri dosyaları.

İkinci olarak da, LiDAR verisinin bulunmadığı durumlarda, sadece hiperspektral görüntülerden gölge tespitinin etkin bir şekilde bulunup bulunamayacağı araştırılmıştır. Ortalama bir hiperspektral gölge imzası oluşturulmuş ve bu imzaya yakın olan pikseller de gölge olarak atanmıştır. Sonuç olarak da LiDAR verilerinden ve hiperspektral verilerden tespit edilen gölgelerin eşleşme oranları raporlanmıştır. Çalışmada Avon bölgesinden alınan Share 2012 hiperspektral ve LiDAR verileri kullanılmıştır ve ikinci bölümde detaylı olarak anlatılacaktır.

## 2 Kullanılan veriler

Bu çalışmada 20 Eylül 2012 tarihinde toplanan SHARE-2012, Avon, NY A.M. spektral yansıma ve LiDAR verileri kullanılmıştır. SHARE 2012 veri kümesi, Digital Imaging and Remote Sensing (DIRS) ekibi ve Rochester Institute of Technology (RIT) enstitüsü desteğiyle toplanmıştır [20]. Veri

kümesi toplama çalışmaları Avon, NY şehri çevresinde ve farklı saat dilimlerinde gerçekleştirilmiştir.

### 2.1 Hiperspektral veri kümesinin özellikleri

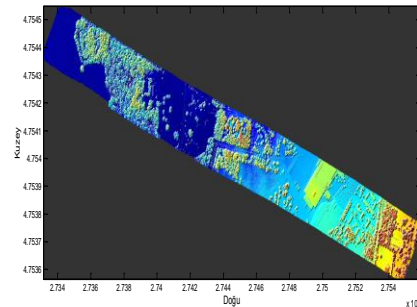
Hiperspektral veriler, ProSpecTIR-VS sensör sistemi kullanılarak toplanmıştır. Bu sensör 400 nm-2450 nm arasında 5nm spektral çözünürlük ile 356 spektral banttandır [21],[21]. Share 2012 kampanyasında Avon şehri üzerinde, öğleden önce 6 uçuş yapılmıştır. Bu uçuşlardan üçünde toplanan verilerin, satürasyon, düşük pozlama ve yüksek pozlama hataları nedeniyle kullanılamayacak durumda olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmada, hataların oluşmadığı, Şekil 3'te gösterilen 1 numaralı uçuş sonucu elde edilen 0920-1638 isimli spektral yansıma verileri kullanılmıştır. Uçuşlar 936 metre yükseklikten yapılmıştır ve verinin uzamsal çözünürlüğü 1m'dir. Veri matrisinin boyutu 5873x320x360'tur. Veri kümesinde hem spektral parlaklık değerleri ( $mW/(cm^2 \cdot sr \cdot \mu m)$ ), hem atmosferik etkilerden arındırılmış spektral yansıma değerleri bulunmaktadır. Bu çalışmada spektral yansıma değerleri kullanılmıştır. Uçuş tarihinde ve saatinde güneşin zirve açısı  $46.4^\circ$ , yükseliş açısı  $43.6^\circ$  yan eksen açısı ise kuzeye göre  $149.6^\circ$ 'dir. Aynı veri kümesi içerisinde, dâhili GPS modülünün kaydettiği UTM izdüşümü cinsinden koordinat bilgilerini içeren konum dosyası da bulunmaktadır [21]. LiDAR ile hiperspektral görüntülerin eşleştirilmesi bu UTM koordinatları ile yapılmıştır.



Şekil 3: Avon bölgesinden hiperspektral verisi kullanılmak üzere seçilen alan.

### 2.2 LiDAR veri kümesinin özellikleri

LiDAR verileri, Avon bölgesindeki yaklaşık 2 km<sup>2</sup>'lik bir alandan (5.64 km x 0.28km), PA-31 uçağına entegre edilmiş ALS60 sensör sistemi kullanılarak, öğleden önce yapılan bir uçuşla toplanmıştır [22]. Sensördeki lazerin dalga boyu 1064 nm'dir. Bu çalışmada, 7 ve 16 numaralı uçuşta alınan veriler kullanılmıştır. Veri dosyasının boyutu 3554x2903 pikseldir ve mekansal çözünürlük 1.278 m'dir. LiDAR veri dosyası içinde her nokta için yükseklik, GPS/IMU koordinatları, yansıyan lazer sinyalinin yoğunluğu ve geliş açısı bilgileri bulunmaktadır. Seçilen bölgenin yükseklik verileri kullanılarak oluşturulan sayısal yükseklik haritası Şekil 4'te gösterilmektedir.



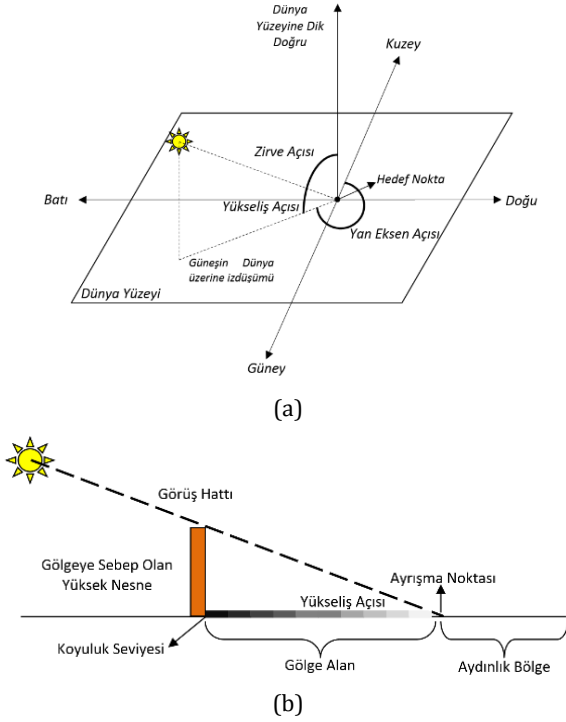
Şekil 4: LiDAR verilerinden oluşturulan sayısal yükseklik haritası.

### 3 Yöntem

LiDAR verilerindeki yüksekliklere göre ve hiperspektral verilerin alındığı zaman ve güneş açıları dikkate alınarak, gölge haritası çıkartılmıştır. Bu gölgelik alanlarda kalan hiperspektral verilerin değişimi incelenmiştir. Üçüncü olarak, ortalama bir gölge imzasına benzerliğine bakılarak, hiperspektral verilerden gölge çıkarımı yapılmıştır. Son olarak da her iki gölge algoritmasının ne kadar örtüştüğü incelenmiştir.

#### 3.1 LiDAR verilerinden gölge haritası elde edilmesi

Güneş ışınlarının dünya yüzeyine geliş doğrultusu iki açı değeri ile tanımlanır: yan ve yükseliş açıları. Güneş açıları, verinin toplandığı saat ve tarihle doğrudan ilişkilidir. Sabah erken ya da güneşin batmasına yakın saatlerde güneşin yükseliş açısının çok düşük olması gölge boylarının uzun olmasına, öğle saatlerinde yükseliş açısının dik açıya yaklaşması ise gölge boylarının çok kısa olmasına neden olur. Güneşin yan eksen açısı ise, gölgenin oluşma yönünü belirler. Şekil 5(a)'da gösterilen bu açıların detaylı olarak bilinmesiyle, trigonometrik hesaplamalar yapılarak, Şekil 5(b)'de gösterildiği gibi, hedef ile güneş arasına sanal bir görüş hattı çizilebilir. Görüş hattı algoritması, bu sanal görüş hattı çizgisine bakarak, güneş ışığını direkt olarak alamayan alanları tespit eder ve bu alanları gölge olarak sınıflandırır.



Şekil 5: Güneş açılarının gösterimi ve gölge oluşumu [24].

Bu çalışmada, LiDAR veri kümesindeki her piksel, ayrı ayrı birer "hedef piksel" olarak değerlendirilmiştir ve gölge/gölge değil olarak sınıflandırılmıştır. "İncelenen piksel" ise hedef pikselin gölge veya aydınlık olmasına neden olan nesnelerin bulunduğu, güneşin yan eksen açısına göre görüş hattının izdüşümünün geçtiği piksellerdir. Her hedef piksel için, veri kümesindeki bütün incelenen piksellere ait limit yükseklik değerleri Denklem 1 ve 2 kullanılarak hesaplanmıştır. Denklem 1'de  $h_{limit}$  limit yükseklik değerini,  $d_{yatay}$  incelenen piksel ile hedef piksel arasındaki yatay uzaklığı,  $\alpha$  güneşin yükseklik açısını tanımlamaktadır. Denklem 2'de ise  $fark_{satur}$  ve

$fark_{sütun}$  değerleri ise piksellerin (hedef ve incelenen) buldukları satır ve sütun numaraları arasındaki farkı belirtmektedir;  $birim\_uzaklık$  ise LiDAR verilerinde iki komşu piksel arasındaki mesafeyi, yani uzamsal çözünürlüğü ifade etmektedir.

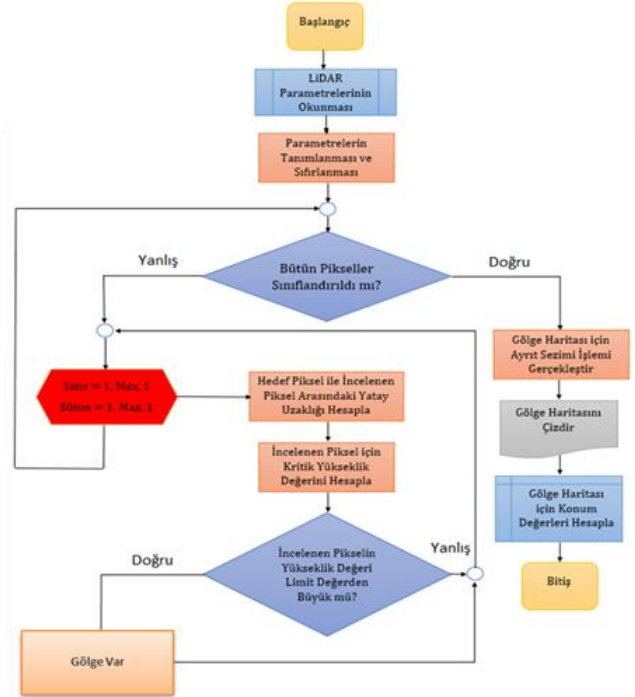
$$h_{limit} = d_{yatay} * \tan \alpha \quad (1)$$

$$d_{yatay} = birim\_uzaklık * \sqrt{fark_{satur}^2 + fark_{sütun}^2} \quad (2)$$

İncelenen pikselin yükseklik değeri ile hedef pikselin yükseklik değeri arasındaki fark, hesaplanan limit yükseklik değerinden büyük ise hedef piksel gölgedir ve incelenen pikselde gölgeye neden olan yüksek bir nesne bulunmaktadır. Böylece hedef piksel ile güneş arasındaki görüş hattını kesen bir nesne bulunmuş olur. Yükseklik farkı, limit değerinin altında kaldığında ise hedef piksel gölgede değildir ve görüş hattını kesen bir nesne yoktur. Bu karar mekanizması, veri içerisindeki her piksel için tekrarlanmış ve gölge haritası elde edilmiştir.

Şekil 5(b)'de gölge alanın oluştuğu bir sahne modellenmiştir. Burada bulunan yüksek nesne, zemin üzerinde ayırma noktasına kadar gölge oluşmasına neden olmaktadır.

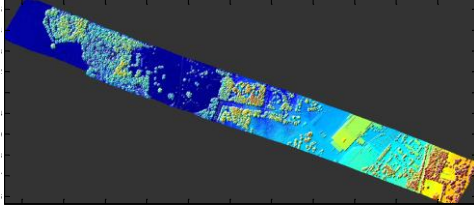
Gölge bulma fonksiyonu Şekil 6'da da gösterildiği üzere şöyle işlemektedir: parametreler LiDAR veri kümesinden okunduktan sonra, gölge bulma fonksiyonuna girdi olarak verilmiştir. Veri dosyasındaki her piksel için, görüş hattının izdüşümünün geçtiği pikseller bulunmuştur ve bu pikseller için limit yükseklik değerleri hesaplanmıştır. Bu piksellerden en az bir tanesinin değerinin, ilgili piksel için hesaplanan limit yükseklik değerinden büyük olması durumunda hedef nokta gölge olarak sınıflandırılmıştır. Veri kümesinde tanımlı tüm noktalar gölge/gölge değil olarak sınıflandırılana kadar bu işlemler tekrarlanmıştır.



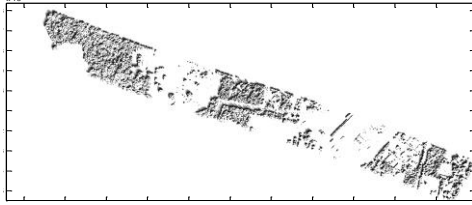
Şekil 6: Gölge bulma fonksiyonu akış diyagramı.

Sınıflandırma işleminin tamamlanmasının ardından, LiDAR veri kümesi üzerinde Sobel tekniği ile ayrı sezimi işlemi

gerçekleştirilmiştir. Ayırıt sezimi, gölge haritasındaki cisimlerin algılanmasını kolaylaştırmaktadır. Ayırıt olarak bulunan noktalar ile sınıflandırılan noktalar çizdirilerek gölge haritası oluşturulmuştur. Şekil 7(a)'da "00007" isimli LiDAR verilerinden oluşturulan sayısal yükseklik modeli ve Şekil 7(b)'de ve verilerin görüş hattı algoritması kullanılarak elde edilen gölge haritası verilmiştir. Sayısal yükseklik modelinde, yüksekliğin azaldığı yerlerde mavi renk tonu baskın olurken, yüksekliğin arttığı yerlerde ise kırmızı renk tonu baskın olmaktadır. Grafiklerin ordinatı "Kuzey", apsisi ise "Doğu" olarak UTM standartlarında göre tanımlanmıştır.



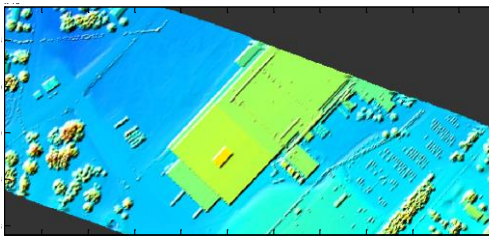
(a): Sayısal yükseklik modeli haritası.



(b): Gölge haritası.

Şekil 7: LiDAR veri dosyasından üretilen haritalar.

Daha detaylı incelemek amacıyla, bu veri içerisinden bir bina ve çevresi örnek olarak seçilmiş ve Şekil 8(a)'da sayısal yükseklik modeli verilmiştir. Şekil 8(b)'de ise seçilen alanın ayırıtı ve hesaplanan gölgelik alanlar gösterilmektedir. Şekilden görüleceği üzere, özellikle binanın üst kenarında ve ağaçlık alanların çevrelerinde gölgeler oluşmaktadır. Bir sonraki bölümde bu gölgeler daha detaylı incelenmekte, ve aynı koordinatlara denk gelen hiperspektral veriler analiz edilmektedir.



(a): Sayısal yükseklik modeli.



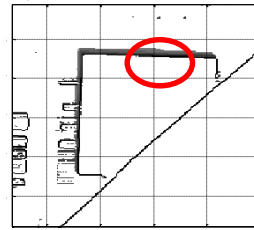
(b) Ayırıtlar üzerine eklenmiş gölge haritası.

Şekil 8: Örnek alanın gölge haritaları.

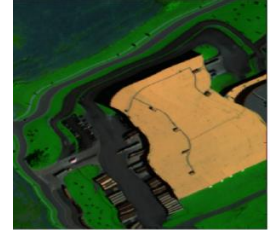
### 3.2 Gölge alanların spektral imzalarının incelenmesi

LiDAR verileri kullanarak gölge alanların tespiti işlemi bir önceki bölümde detaylı olarak anlatılmıştır. Bu bölümde, LiDAR verileri kullanarak tespit edilen gölge alanların hiperspektral verideki özellikleri incelenmiştir. Bunun için gölge olan ve olmayan alanlardan analiz yapılacak noktalar seçilmiş, bu noktalar hiperspektral verilerle eşleştirilmiş ve spektral yansıma grafikleri çizdirilmiştir.

Bu bölümde veri alınan alanların en çok örtüştüğü "0920-1638" isimli hiperspektral veri dosyası ile "00016" olarak isimlendirilen LiDAR veri dosyası kullanılmıştır. Bu veriden detaylı incelemek amacıyla seçilen bir binanın LiDAR'dan oluşturulan gölge haritası ve sahte-renkli (false-color) hiperspektral görüntüsü Şekil 9'da verilmiştir. Hiperspektral görüntüyü KYM şeklinde gösterebilmek için 50. Bant (0.6246  $\mu\text{m}$ ) kırmızı rengi, 160. Bant (1.997  $\mu\text{m}$ ) yeşil rengi ve 270. Bant (1.8925  $\mu\text{m}$ ) mavi rengi gösterecek şekilde ayarlanmıştır.



(a):

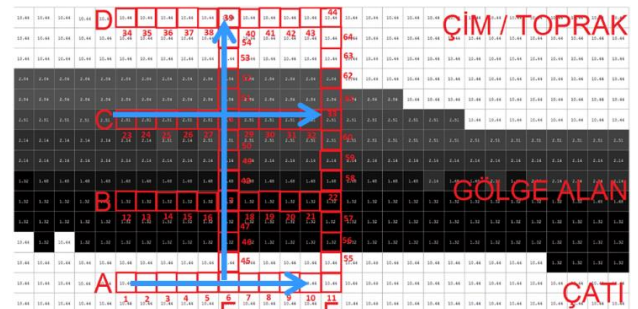


(b):

Şekil 9: Analizi yapılan alanın. (a): LiDAR Gölge Haritası, (b): Hiperspektral KYM Görüntüsü. Seçilen binada gölge karakteristikleri incelenecek bölge (a)'da kırmızı daire ile gösterilmiştir.

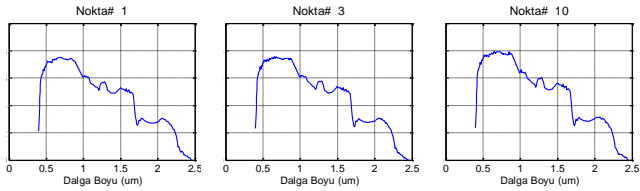
LiDAR gölge haritası üzerinden seçilen noktanın koordinat değerleri, hiperspektral veri kümesi ile eşleştirilerken koordinatlarda kayma olabileceği ve birebir örtüşmeme ihtimalinin yüksek olması durumları göz önünde bulundurularak, arama işlemi için tolerans değeri  $\pm 0.5$  m olarak belirlenmiştir.

Detaylı analizi yapılacak gölge noktalar Şekil 9(a)'da kırmızı daire içerisinde gösterilen alandan seçilmiştir. Gölge haritası üzerinde seçilen noktalar Şekil 10'da gösterilmiştir. Burada noktalar A, B, C, D, E ve F olarak gruplandırılmıştır. Gruplandırma işleminin amacı, aynı nesne üzerindeki piksellerin (A, B, C ve D grupları) spektral yansıma grafiklerinin benzerliğinin araştırılması ve gölgenin etkisi ile görülen değişiminin (E ve F grupları) spektral yansıma grafiğine etkisinin incelenmesidir.

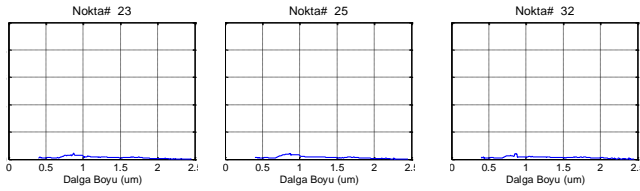


Şekil 10: Seçilen alanın detaylı görüntüsü. Her bir piksel numaralandırılmış ve hiperspektral verileri incelenmiştir.

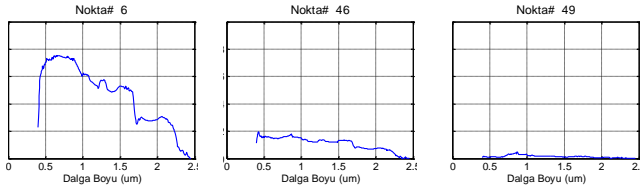
Gruplandırılan her noktanın spektral yansımaları Şekil 11'de çizilmiştir. A grubundaki her nokta, binanın çatısında bulunmaktadır. Grafikler incelendiğinde, A grubunda bulunan noktalar gölgede olmadığı için yansımaları değerlerinin yeterince büyük olduğu, bütün bantlar boyunca önemli bir değişiklik olmadığı ve değerlerin çok yakın hatta eşit olduğu görülmüştür. C grubuna ait noktalar ise gölge olarak belirlenmiştir ve A grubuna kıyasla bu grubun spektral yansımaları değerlerinde önemli ölçüde düşüş görülmüştür. A grubu noktaları ile C grubu noktaları arasındaki mesafe birkaç metreyi geçmemesine rağmen yansımaları değerleri çok düşmüştür. E grubundaki pikseller incelendiğinde ise, gölgeye girdikçe spektral verinin düştüğü gözlenmiştir.



(a): A eksenini boyunca soldan sağa alınan üç noktanın spektral yansımaları.



(b): C eksenini boyunca soldan sağa alınan üç noktanın spektral yansımaları.



(c): E eksenini boyunca aşağıdan yukarıya alınan üç noktanın spektral yansımaları.

Şekil 11: A, C ve E eksenleri boyunca gölgede kalan veya kalmayan çeşitli noktalar belirlenmiş ve hiperspektral verileri çizdirilmiştir.

### 3.3 Hiperspektral veri kullanılarak gölge haritasının çıkarılması ve LiDAR'dan elde edilen gölgeler ile karşılaştırılması

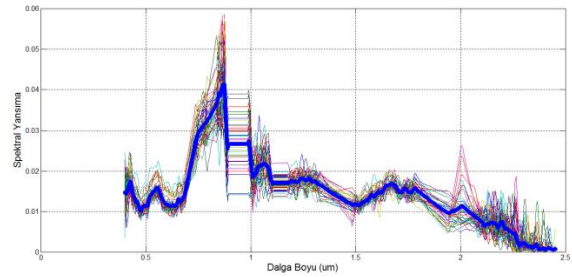
Bir önceki bölümdeki analizlerde, nasıl çatıdaki hiperspektral verileri birbirine benziyorsa, gölgedeki verilerin de birbirine benzediği gözlenmiştir. Dolayısıyla, bu bölümde, hiç LiDAR verisi ve geometrik bilgiler (güneş açısı etc.) kullanılmadan, hiperspektral görüntüler üzerinden gölge bulunması incelenmiştir.

Referans imza elde edebilmek amacıyla, önce LiDAR verileriyle elde edilen gölge haritasında, büyük ölçekli ve farklı bölgelerdeki gölge alanlardan 60 adet örnek noktanın spektral yansımaları değerlerinin ortalaması alınmıştır. Şekil 12'te örnek olarak seçilen 60 noktanın spektral yansımaları değerleri ve aritmetik ortalama alındıktan sonra elde edilen referans yansımaları değerleri gösterilmiştir.

Bütün hiperspektral verilerin bu referans imzaya olan uzaklığı, Öklid Uzaklığı Yöntemi ile test edilmiş ve gölgeler bu imzaya yakınlıklarına göre belirlenmiştir. Optimum eşik değerinin belirlenmesi amacıyla, Denklem 3 kullanılarak farklı bölgelerden alınan yansımaları değerleri ile referans yansımaları değerleri arasındaki Öklid Uzaklıkları hesaplanmıştır. Referans yansımaları değerleri ile gölge olduğu bilinen noktaların yansımaları değerleri arasındaki uzaklık ortalama 524.08 referans yansımaları değerleri ile zeminden alınan yansımaları değerleri arasındaki uzaklık ortalama 23188.80 ve referans yansımaları değerleri ile çatıdan alınan yansımaları değerleri arasındaki uzaklık ortalama 93964.68 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar dikkate alınarak, hiperspektral veri kümesinde her noktanın yansımaları değerleri ile referans yansımaları değerleri arasındaki Öklid Uzaklıkları hesaplanıp, farklı eşik değerlerinden küçük olduğu noktalar gölge olarak tanımlanmıştır.

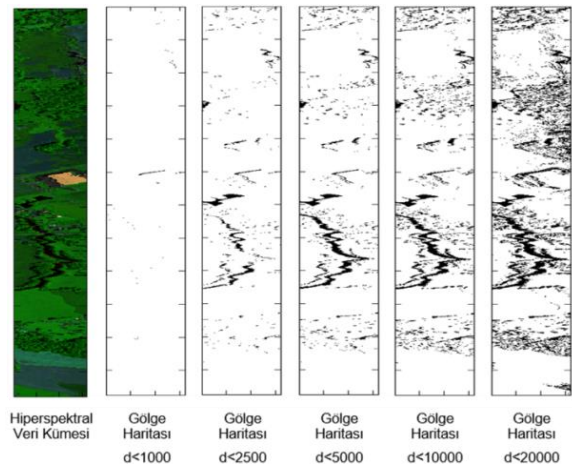
$p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$  ve  $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$  olmak üzere;

$$\text{Öklid Uzaklığı} = d(p, q) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2} \quad (3)$$



Şekil 12: Örnek gölge noktalarının spektral yansımaları değerleri ve ortalaması. Referans gölge imzası mavi olarak gösterilmiştir.

Şekil 13'te hiperspektral veri kümesinin KYM görüntüsü (50. Bant (0.6246  $\mu\text{m}$ ) kırmızı rengi, 160. Bant (1.997  $\mu\text{m}$ ) yeşil rengi ve 270. Bant (1.8925  $\mu\text{m}$ ) mavi rengi gösterecek şekilde ayarlanmıştır) ve farklı eşik değerleri (1000, 2500, 5000, 10000 ve 20000) kullanılarak elde edilen gölge haritaları verilmiştir. Eşik değeri artırıldıkça gölge olarak sınıflandırılan noktaların sayılarının arttığı açıkça görülmektedir. Ancak, eşik değerinin artırılması, gerçekte gölge olmayan noktaların da gölge olarak tanımlanmasına neden olmaktadır ve hata payını artırmaktadır.



Şekil 13: Farklı eşik değerleri ile elde edilen gölge haritaları.

Son olarak da, LiDAR bilgisi gerektiren Görüş Hattı Algoritması ile hiperspektral bilgi gerektiren Öklid Uzaklığı Yöntemleri (ÖUY) ile oluşturulan gölge haritaları karşılaştırılmıştır ve Tablo 1'de gösterilmektedir. ÖUY ile elde edilen gölge haritası kullanılarak, örnek alan içerisinde gölge olarak tanımlanan nokta sayısı, Toplam Gölge Noktalarının Sayısı olarak hesaplanmıştır. Bunun yanı sıra, her iki yöntemde de (Öklid Uzaklığı ve Görüş Hattı) gölge olarak tanımlanan nokta sayısı, Eşleşen Gölge Noktalarının Sayısı olarak belirlenmiştir. Sonuçlar, eşik değerinin artmasının eşleşme başarısını düşürdüğünü göstermektedir. Bu durumun en temel nedeni, eşik değerinin artırılmasıyla gölge olmayan noktaların da gölge olarak sınıflandırılmasıdır.

Tablo 1: Gölge haritalarının karşılaştırılması sonucu elde edilen değerler.

Eşik Değeri	Toplam Gölge Nokta Sayısı (A)	Eşleşen Gölge Noktalarının Sayısı (B)	Başarı (%) (100*B/A)
500	315	284	90.16
1000	1246	958	76.89
2500	2419	1673	69.16
5000	3272	1921	58.71
10000	5094	2133	41.86
20000	12121	2462	20.31

Bu sonuçlara göre, LiDAR ile gölge bulunması ek bir sensör bilgisi gerektirirken, optimum eşik değeri bulunması gibi ek bir yük getirmemektedir. Buna karşın, hiperspektral görüntülerden de gölge bulunabilmekte, fakat çıkan sonuçların doğruluğu büyük ölçüde optimum eşik değerine bağlı olmaktadır. Eşik değerinin küçük seçilmesi başarı oranını artırırken, bazı gölgelik piksellerin elenmesine neden olabilmektedir. Eşik değeri büyük bir değer seçildiğinde ise gölge alanların miktarı artmasına rağmen başarı düşmektedir, ve asfalt vb. gibi gölgeye benzeyen pikseller de gölge olarak sınıflandırılmaktadır.

İşlem yükü olarak karşılaştırıldığında, sadece hiperspektral veriler kullanılarak gölge bulunması, her piksel için tek bir karşılaştırma yapmayı gerektirdiği için, hızlı bir şekilde bitmektedir. Buna karşın LiDAR verileri kullanıldığında görüş hattı üzerindeki tüm piksellerin gölge yapıp yapımadığı değerlendirildiğinden, LiDAR verisi kullanılarak gölge haritası çıkartmak uzun zaman almaktadır. Bu işlemi hızlandırmak için birbirine yakın piksellerin hep beraberce gölge veya güneş altında bulunabileceği varsayılabilir ve pikseller kümelenerek işlem hızı arttırılabilir.

#### 4 Sonuçlar

Hiperspektral verilerin hedef bulunması, sınıflandırılması ve takibi gibi uygulamalarda kullanımının gittikçe artması, bu veri kümesi ile yapılan bilimsel çalışmaların artmasına neden olmuştur. Hiperspektral görüntülerden materyal haritası oluşturulabilmesi jeolojik, zirai ve askeri uygulamalarda büyük avantaj sağlarken, gölge alanların spektral yansıma değerlerinin çok düşük seviyede ölçülmesi hedef tespiti uygulamalarında doğruluk ve güvenilirlik sorunlarına yol açmaktadır. Gölge alanların tespiti ve karakteristiklerinin incelenmesi/yorumlanması ise hiperspektral veri kümesinin kullanılabilirliğini arttıracaktır. LiDAR verilerinin kullanılmasıyla gölge haritasının çıkarılması, bu alanların spektral imzalarının analiz edilmesine olanak sağlamıştır.

Bu çalışmada, hem LiDAR verilerini kullanan hem de sadece hiperspektral verileri kullanan iki algoritma test edilmiş ve

karşılaştırılmıştır. LiDAR verilerini kullanan görüş hattı algoritmasında, güneş açıları ve verideki yükseltler dikkate alınarak, bir piksel gölge/aydınlık olarak sınıflandırılmıştır. Sadece hiperspektral verileri kullanan Öklid Uzaklığı Yöntemi'nde ise öncelikle bir referans imza oluşturulmuş, sonra diğer pikseller bu referans imzaya olan uzaklıklarına göre sınıflandırılmıştır. Oluşturulan gölge haritaları arasında karşılaştırılma yapıldığında, Öklid Uzaklığı Yöntemi'nde kullanılan eşik değerinin sonuçları doğrudan etkilediği görülmüştür. Eşik değerinin artırılmasıyla, gölge olmayan noktalar da gölge olarak sınıflandırıldığı için eşleşme başarısı düşmüştür. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, eşik değeri, uygulamaya özgü olarak, gölge olarak sınıflandırılan noktanın kesin olarak gölge olması bekleniyorsa düşük, çalışma yapılan alanda bütün gölge alanlar eksiksiz olarak belirlenmek isteniyorsa yüksek seçilmelidir. Buna ek olarak LiDAR bilgisini kullanma imkânı varsa, gölge çıkarımı başarımı büyük oranda artmaktadır.

Gelecekteki çalışmalarda, özellikle de LiDAR verisinin bulunmadığı, sadece hiperspektral verinin bulunduğu durumlarda, iyi bir tespit yeteneği için eşik değerinin otomatik olarak bulunması üzerine çalışılacaktır. Benzer şekilde, Öklid uzaklığı yerine Spektral Açık Eşleme (Spectral Angle Map) veya Spektral Bilgi Ayrımı (spectral information divergence) gibi uzaklıklar kullanıldığında başarımın artabileceği düşünülmektedir.

#### 5 Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 115E318 No.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

#### 6 Kaynaklar

- [1] Rencz AN. *Remote Sensing for the Earth Sciences: Manual of Remote Sensing*. 3<sup>rd</sup> ed. New York, USA, John Wiley and Sons, 1999.
- [2] Clark RN. *Spectroscopy of rocks and minerals, and principles of spectroscopy*. Editors: Rencz AN. Manual of Remote Sensing, 3-58, New York, USA, John Wiley and Sons, 1999.
- [3] Bati E, Akın Ç, Koz A, Alatan A. "Hyperspectral anomaly detection method based on auto-encoder". *Proc. SPIE 9643, Image and Signal Processing for Remote Sensing XXI*, 96430N, Toulouse, France, 15 October 2015.
- [4] Ertürk A, Çeşmeci D, Gerçek D, Güllü MK, Ertürk S. "Integrating anomaly detection to spatial preprocessing for endmember extraction of hyperspectral images". *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium-IGARSS*, Melbourne, Australia, 21-26 July 2013
- [5] Bilgi AS, Durmuş E, Kalkan H, Ortaç G, Taşdemir K. "An automated system for detecting the infected figs by hyperspectral image analysis". *IEEE 23<sup>rd</sup> Signal Processing and Communications Applications Conference*, Malatya, Turkey, 16-19 May 2015.
- [6] Alam MS, Elbakary MI, Aslan MS. "Object detection in hyperspectral imagery by using K-means clustering algorithm with pre-processing". *Proc. SPIE 6574, Optical Pattern Recognition XVIII*, Orlando, Florida, United States, 9 April 2007.
- [7] Omruuzun F, Baskurt DO, Daglayan H, Cetin YY. "Shadow removal from VNIR hyperspectral remote sensing imagery with endmember signature analysis". *Proc. SPIE 9482, Next-Generation Spectroscopic Technologies VIII*, 94821F, Baltimore, Maryland, United States, 3 June 2015.

- [8] Zhang Q, Pauca P, Plemmons RJ, Nikic DD. "Detecting objects under shadows by fusion of hyperspectral and LiDAR data: A physical model approach". *5<sup>th</sup> Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing (WHISPERS)*, Gainesville, FL, USA, 26-28 June 2013.
- [9] Sakarya U, Demirkesen C, Teke M. "Unsharp masking filter based shadow-invariant feature extraction for hyperspectral signatures". *IEEE 22<sup>nd</sup> Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, Trabzon, Turkey, 23-25 April 2014.
- [10] Li Y, Gong P, Sasagawa T. "Integrated shadow removal based on photogrammetry and image analysis". *International Journal of Remote Sensing*, 26(18), 3911-3929, 2005.
- [11] Dare PM. "Shadow analysis in high-resolution satellite imagery of urban areas". *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 71(2), 169-177, 2005.
- [12] Dalponte M, Bruzzone L, Gianelle D. "Fusion of hyperspectral and LIDAR remote sensing data for classification of complex forest areas". *IEEE Geoscience and Remote Sensing*, 46(5), 1416-1427, 2008.
- [13] Demirkesen C, Teke M, Sakarya U. "Hyperspectral images and lidar based DEM fusion: A multi-modal landuse classification strategy". *IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Quebec City, Canada, 13-18 July 2014.
- [14] Shimoni M, Tolt G, Perneel C, Ahlberg J. "Detection of vehicles in shadow areas". *IEEE 3<sup>rd</sup> Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing (WHISPERS)*, Lisbon, Portugal, 6-9 June 2011.
- [15] Salvador E, Cavallaro A, Ebrahimi T. "Shadow identification and classification using invariant color models". *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP'01)*, Salt Lake City, UT, USA, 7-11 May 2001.
- [16] Sarabandi P, Yamazaki F, Matsuoka M, Kiremidjian A. "Shadow detection and radiometric restoration in satellite high resolution images". *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, Anchorage, AK, USA, 20-24 September 2004.
- [17] Tolt G, Shimoni M, Ahlberg J. "A shadow detection method for remote sensing images using VHR hyperspectral and LIDAR data". *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, Vancouver, BC, Canada, 24-29 July 2011.
- [18] Jiang C, Ward O. "Shadow segmentation and classification in a constrained environment". *CVGIP: Image Understanding*, 59(2), 213-225, 1994.
- [19] Ientilucci EJ. "Leveraging LiDAR data to aid in hyperspectral image target detection in the radiance domain". *Proc. SPIE 8390, Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XVIII*, Baltimore, Maryland, United States, 9 May 2012.
- [20] Rochester Institute of Technology. "SHARE2012 SpecTIR Hyperspectral Airborne Experiment 2012". <http://www.rit.edu/cos/share2012/>, (01.03. 2015).
- [21] Rochester Institute of Technology. "SHARE2012 SpecTIR". <http://www.rit.edu/cos/share2012/spectir.php>, (01.03. 2015).
- [22] SpecTIR-LLC. "SRS Project Report". Rochester Institute of Technology, Rochester, New York, USA, Scientific Report, 1538, 2012.
- [23] Rochester Institute of Technology. "SHARE2012 LIDAR". <http://www.rit.edu/cos/share2012/lidar.php> (01.03. 2015).
- [24] Boyacı M, Yüksel SE. "Locating the shadow regions in LIDAR data: Results on the SHARE 2012 dataset". *SPIE Defense and Security: Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XXI*, Baltimore, ABD, 21 May 2015.