



An investigation of the effect of neighboring objects to shadow areas on real data based on the physical radiance model

Emrah Oduncu^{id}, Seniha Esen Yüksel*^{id}

Hacettepe University, Electrical and Electronics Engineering Department, Ankara 06800, Turkey

Highlights:

- Shadow detection from LiDAR and hyperspectral data
- Conversion from radiance domain to reflectance domain based on the physical radiance model
- Analysis of the reflection and radiance values in shadow areas

Keywords:

- Hyperspectral
- radiance
- sky-view
- shadow

Article Info:

Received: 02.01.2017

Accepted: 02.04.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416393

Acknowledgement:

TÜBİTAK Project No:
115E318

Correspondence:

Author: Seniha Esen Yüksel
e-mail:
eyuksel@ee.hacettepe.edu.tr
phone: +90 312 297 7050

Graphical/Tabular Abstract

Targets hidden in shadow areas are very difficult to detect from hyperspectral images. One way to mitigate this problem is to detect the shadow areas using light detection and ranging (LiDAR) sensors, and to correct for the hyperspectral data in these regions. For this purpose, this paper makes a detailed analysis of real data in shadow regions and compares it the data from open areas where there is no shadow present.

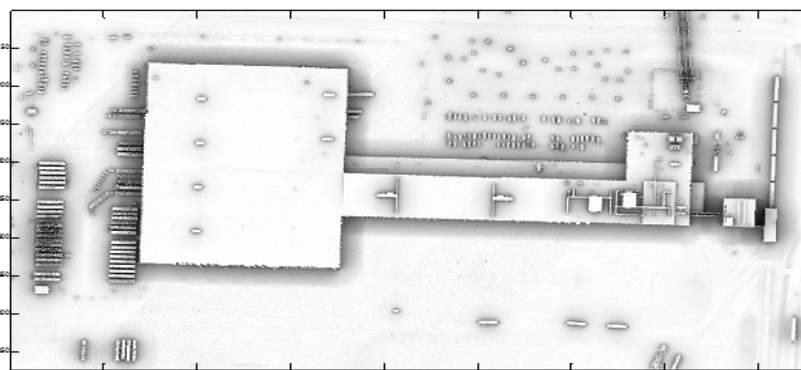


Figure A. Shadow analysis using hyperspectral and LiDAR data

Purpose:

In this study, the radiance and reflectance values of the shadow regions in hyperspectral data, and their relation to the sky-view factors in a physical model are investigated. With this work, our goal is to understand the physical phenomenon in hyperspectral images that occurs in shadow areas.

Theory and Methods:

First, shadow regions are found using LiDAR data and their radiance and reflectance values are plotted. Then, sky-view factors are obtained from LiDAR data. Third, using the Modtran software, sky radiance and sun irradiance values are obtained and the radiance values in the shadow region are examined. Lastly, the parameters obtained from the Modtran software as well as the data collected from shadow areas are used in the physical radiance model; and the reflectance values in shadowy areas are analyzed.

Results:

Path radiance, sky radiance and radiance from adjacent objects were analyzed from three datasets with shadow locations and from open areas where there is no shadow. The physical radiance model as well as the analysis of the real data confirmed that the photons reflected from the objects surrounding the shadow region are more dominant than the sky-view factors.

Conclusion:

Upon investigating the reflectance and radiance values in comparison to the physical radiance model, it was found that the sky-view factors are not as dominant as the photons reflected from the objects surrounding the shadow region.



Gölgelik alanlarda komşu nesnelere ışımaya olan etkisinin gerçek veriler ve fiziksel ışırma modeli üzerinden incelenmesi

Emrah Oduncu^{ID}, Seniha Esen Yüksel*^{ID}

Hacettepe Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, 06800, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- LiDAR ile gölge tespiti ve gölgelik alanlarda hiperspektral analiz yapılması
- Işıma değerlerinin fiziksel ışırma modeline göre yansıma değerlerine dönüştürülmesi
- Gölge alanlardaki yansıma ve ışırma değerlerinin, gökyüzü açıklığı ve yakında bulunan nesnelere yansıyan fotonlara göre analizi

Makale Bilgileri

Geliş: 02.01.2017
Kabul: 02.04.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416393

Anahtar Kelimeler:

Hiperspektral,
ışırma,
gökyüzü açıklığı,
gölge

ÖZET

Bu çalışmada hiperspektral veri kümesinde gölgede kalan alanların ışırma ve yansıma değerlerinin, bu alanlardaki gökyüzü açıklığı ile ilişkisi fiziksel bir model içinde incelenmiştir. Öncelikle hiperspektral veride gölgede kalan alanlar LiDAR verileri yardımıyla tespit edilmiştir ve yansıma ve ışırma değerleri çizdirilmiştir. Daha sonra, yine LiDAR verileri kullanılarak, gölgedeki piksellerin gökyüzü açıklığı hesaplanmıştır. Üçüncü olarak, Modtran yazılımı kullanılarak gökyüzü ışırması ve güneş ışırma değerleri ile ilgili parametreler elde edilmiştir. Son olarak da, bu parametreler ve gölgeden toplanan veriler, fiziksel ışırma modeline yerleştirilmiş ve etkileri incelenmiştir. Modtran sonuçları fiziksel ışırma modeline yerleştirildiğinde, gökyüzü açıklığı değerinin artmasına rağmen ışırma ve yansıma verilerinde gözlenen azalma; ışırma modelinde yakında bulunan nesnelere saçılarak hedeften yansıyan fotonların gökyüzü açıklığından daha baskın olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, hem gerçek verilerde hem de ışırma modeli üzerinde yapılan çalışmalarda, ilgili alanların ışınım ve yayınım verileri incelendiğinde ve fiziksel model ile karşılaştırıldığında, gökyüzü açıklığının yeterince baskın bir eleman olmadığı, buna karşın, gölge alan çevresinde bulunan nesnelere saçılarak yansıyan fotonların daha çok etkinlik gösterdiği gözlenmiştir.

An investigation of the effect of neighboring objects to shadow areas on real data based on the physical radiance model

H I G H L I G H T S

- Shadow detection with LiDAR and hyperspectral analysis of these shadow regions
- Conversion from radiance domain to reflectance domain based on the physical radiance model
- Analysis of the reflection and radiance values in the shadow areas according to the sky-view factor and the photons reflected from nearby objects

Article Info

Received: 02.01.2017
Accepted: 02.04.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416393

Keywords:

Hyperspectral,
radiance,
sky-view,
shadow

ABSTRACT

In this study, the radiance and reflectance values of the shadow regions in hyperspectral data, and their relation to the sky-view factors in a physical model are investigated. For this purpose, first, shadow regions are found using LiDAR data and their radiance and reflectance values are plotted. Then, sky-view factors are obtained from LiDAR data. Third, using the Modtran software, sky radiance and sun irradiance values are obtained and the radiance values in the shadow region are examined. Lastly, the parameters obtained from the Modtran software as well as the data collected from shadow areas are placed in the physical radiance model. As a result, the physical radiance model as well as the analysis of the real data confirmed that the photons reflected from the objects surrounding the shadow region are more dominant than the sky-view factors. Upon investigating the reflectance and radiance values in comparison to the physical radiance model, it was found that the sky-view factors are not as dominant as the photons reflected from the objects surrounding the shadow region.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: eyuksel@ee.hacettepe.edu.tr / Tel: +90 312 297 7050

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Pasif uzaktan algılama teknolojilerinin çalışabilmesi için güneşin varlığına ya da yeryüzünün doğal yayılım enerjisine ihtiyaç vardır. Pasif uzaktan algılama teknolojilerinden olan multispektral sensörler, hiperspektral sensörler, pasif radarlar, pasif mikrodalga algılayıcılar ile toplanan veriler savunma sanayi [1], astronomi [2, 3], madencilik [4] ve kimya [5] gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Hiperspektral sensörler ile birbirine çok yakın dalgaboylarından elde edilen spektral bilgiler, maddelerin sınıflandırılmasında ve tespit edilmesinde büyük önem taşımaktadır [6]. Fakat, hiperspektral verilere sınıflandırma ve tespit algoritmalarını uygulamadan önce, bu verilerin bir ön işleminden geçmesi gerekmektedir. Bu ön işlemlerden en önemlileri, ışına verilerinden yansıma verilerine geçilmesini sağlayan atmosferik etkilerin çıkartılması ve gölge alanlarda bulunan verilerin düzeltilmesidir.

Literatürde, son yıllarda elde edilen atmosferik düzeltme işlemlerindeki ilerlemeler [7, 8], spektral ayırma ve materyal tanıma işlemlerindeki başarıyı arttırmıştır [9]. Örnek olarak Lachéradé [10], yansımanın etkin olduğu 0,4-2,5 μm bantlarında yaptığı çalışmada, özellikle kentsel alanlardan alınan uzamsal ve spektral ışına verilerinden yansıma verilere geçişte atmosferik şartları göz önünde bulundurarak bir düzeltme işlemi yapmış; bu düzeltme işlemi sonuçlarını da yüksek spektral ve uzamsal çözünürlüğe sahip verilerle doğrulanan fiziksel bir model ile birleştirerek sınıflandırma yüzdelinde artışlar elde etmiştir. Atmosferik düzeltme işlemleri sırasında elde edilen yansıma değerlerinin doğruluğunu arttıran bir başka etmen de LiDAR sensörlerinden alınan güneş ve konum bilgileri olmuştur. LiDAR sensörleri kendi enerji kaynaklarına sahip aktif sistemler olduklarından, güneşin konumundan ve güneş ışığının eksikliğinden etkilenmemektedirler [11]. Dolayısıyla, ormanlık alanlarda dahi, yakın kızılötesi ışınım kullanarak yeryüzünün yükseklik modelini hızlı ve yüksek doğruluklarla üretebilmektedirler. LiDAR sistemleri sayesinde, görüntülenen alanlardan, hiperspektral kameraların sağlayamadığı geometrik özellikler elde edilebilmektedir [12]. LiDAR sistemlerinin hiperspektral kameralarla birlikte ölçüm almasıyla, Broadwater'ın atmosferik ve gölge düzeltme üzerine olan çalışmasında [13], LiDAR veri kümesi noktasal olarak işlenmek yerine, üç boyutlu modelleme yapılarak kullanılmış; ve bu modelden elde edilen geometrik bilgilerle hiperspektral verideki gölge ve atmosferik etkiler düzeltilmiştir.

Önişlemede ikinci önemli konu, gölge alanlarda düzeltme işlemidir. Kısa ve orta dalga boylarında ölçülen hiperspektral görüntülerde, ölçümün etkin olmasını sağlayan kaynak güneş olduğu için gölge alanlardaki hedeflerin tespitinde problem oluşmaktadır. Bu alanlara yeterince güneş ışığı gelmediğinden hedefin imzası zayıf kalmakta ve hedef tespiti yapılamamaktadır. Hiperspektral sensörler ışına kaynağı olarak güneşi kullandıklarından, bir hiperspektral veri kümesindeki aynı materyal farklı aydınlanma

koşullarına bağlı olarak farklı spektral imzaya sahip olabilmektedir. Bu nedenle, güneşin verinin toplandığı andaki konumu, gölgenin belirlenmesinde ve gölge alanlarda bulunan materyallerin incelenmesinde büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla, aydınlanmanın hiperspektral görüntülerde gölge alanlardan alınan veriler üzerindeki etkisi de aktif bir çalışma konusu olarak öne çıkmaktadır. Bu konuda yapılan araştırmalarda, spektral veri kullanan ve hiperspektral verilerini LiDAR verileri ile birlikte kullanan çalışmalar bulunmaktadır. Sakarya vd. çalışmasında [14] farklı aydınlanma koşullarında bulunan hiperspektral verilerde gölge ve aydınlanma koşullarının etkisini çeşitli süzgeçleme yöntemleri ile deneysel olarak karşılaştırmıştır. Omruuzun vd. [15] ve Bernstein vd. [16] ise gölgelik ve güneşlik alanların spektral imzalarını incelemiştir. Omruuzun gölgedeki pikselleri güneşteki piksellerin imzaları ile değiştirirken; Bernstein gölgedeki imzaların nasıl görünebileceklerini hesaplayarak bir tespit yöntemi geliştirmiştir. Hiperspektral verilerde aydınlanma ve gölge alanında yapılan diğer bir çalışmada, Frieman vd. [17], hiperspektral ve LiDAR veri kümelerinde doğrusal olmayan en küçük kareler kestirimi kullanılarak aydınlanma ve gölge düzeltme işlemi kullanmıştır. Ientilucci [18], aydınlanma etkisini incelediği ve gölge alanlarda hedef tespiti yaptığı çalışmada, LiDAR veri kümesinden yararlanarak aydınlanma faktörü elde etmiştir. Bu aydınlanma faktörü açık alandaki ve yoğun gölgelik alandaki hedeflerin tespitinde kullanılmış ve hedefin hem açık alanda hem de yoğun gölgelik alanda tespitine olanak sağlamıştır. Bir diğer Ientilucci çalışmasında [19], Share 2012 veri kümesinde farklı aydınlanma faktörlerine sahip hedeflerin analizi yapılmıştır. Benzer hedefler farklı arkaplanlara sahip bölgelere farklı aydınlanma koşullarında yerleştirilmiş; arkaplan ve aydınlanma faktörü değişiminin hedef tespitindeki etkisi araştırılmıştır. Arkaplan ve aydınlanma koşulu farklılıklarının hedef imzalarındaki etkisine bakılarak hedef tespit algoritmaları koşturulmuştur. Spektrumu normalleştirmenin gölge ve gölge olmayan yerlerden alınan benzer verilerin birbirine benzemesini sağladığı gösterilmiştir.

Gölgelik alanlarda inceleme yapmak için Zhang vd. [20] ve Friman vd. [17] fiziksel ışına modelini kullanmışlardır; fakat, gölgelik alanlarda komşulukların birbirine etkisini (adjacency effect) ve yol ışınmasını (path radiance) göz ardı etmişlerdir. Benzer şekilde, gölgeden kurtulma amacıyla geliştirilmiş birçok algoritma da (örneğin gölge etkisini gideren [21, 22] ve gölge modelleyen [23, 24]) komşuluk etkilerini gözlememektedir. Dolayısıyla, bu algoritmalar, bir binanın çevresinde oluşabilecek gölgeler gibi, komşuluk etkileri içeren durumlarda test edilmemiştir. Bu çalışmada ele alınan veride ise, bir binanın çevresinde oluşan gölge alanların komşuluk etkileri gökyüzü açıklığı ile birlikte incelenmiştir.

Bu çalışmada hiperspektral, LiDAR ve meteorolojik verileri olan bir veri kümesi üzerinde çalışılmış ve gölge alandaki veriler incelenmiştir. Gölgede ışına ve yansımanın nasıl

değiştiğine hem gerçek veri üzerinde bakılmış; hem de bulgular fiziksel ışma modeli ile doğrulanmıştır. Işma ve yansıma verileri, gökyüzü açıklığı, gölge alan çevresi verilerinin incelendiği bu çalışmada, Şekil 1'deki akış Őemasında belirtildiği gibi, LiDAR ve hiperspektral veri kümeleri üzerinde işlemler yapılmıştır. LiDAR veri kümesi kullanılarak gökyüzü açıklık haritaları çıkartılmış, hiperspektral verilerin ölçüldüğü zamandaki güneşin zenit ve yanca açıları kullanarak gölge alanlar bulunmuştur. LiDAR ve hiperspektral veri kümeleri konum verileri yardımıyla eşlenmiştir. Daha sonra, gerekli ışmaları ayrı ayrı hesaplamak amacıyla, radyometrik transfer modellerine sahip yazılım paketlerinden [7] Modtran [25, 26] yazılımı kullanılmıştır. Modtran yazılımına (1) meteoroloji istasyonundan ölçülen CO_2 oranı, sıcaklık, basınç, nem, görüş mesafesi bilgileri, (2) ölçüm yapılan alanın konum bilgisinden elde edilen atmosfer tipi bilgileri, (3) hiperspektral verinin ölçölme geometrisinden uçuş irtifası, rakım, istikamet açısı, yanca açısı, ve zenit açısı bilgileri girilmiştir. Buna bilgiler girdi olarak olarak verildiğinde, Modtran yazılımı güneş parlaması, atmosferik geçirgenlik, gökyüzü ışması ve yol ışması verilerini çıktı olarak sunmuştur. Işma modelinde elde edilen gölge verileri, gökyüzü açıklığı verileri, Modtran'dan elde edilen simülasyon verileri ve gölgelik alanda ölçülen hiperspektral ışma verisi fiziksel modele yerleştirilerek gölgelik alandaki veri üzerinde yakında bulunan nesnelere saçılarak hedeften yansıyan fotonların etkisi incelenmiştir.

Makalenin ilerleyen kısımlarında, 2. bölümde kullanılan veri kümesinin özelliklerine, 3. bölümde gölge bulunması ve gökyüzü açıklığının bulunmasına, 0. bölümde hiperspektral verilerde ışma modeline, 0. bölümde gerçek veriden seçilen gölge alana ait ışma ve yansıma değerlerinin incelenmesine yer verilmiştir. Verileri incelerken ışma modeline yerleştirilmek üzere Modtran yazılımı koşumları yapılmıştır. Bu koşumlara ait değerler fiziksel modele uygun hale getirilmiş ve fiziksel modele uygulanmıştır. Uygulanan işlemler sonuçları "Sonuçlar" bölümünde aktarılmıştır.

2. VERİ KÜMELERİ (DATASETS)

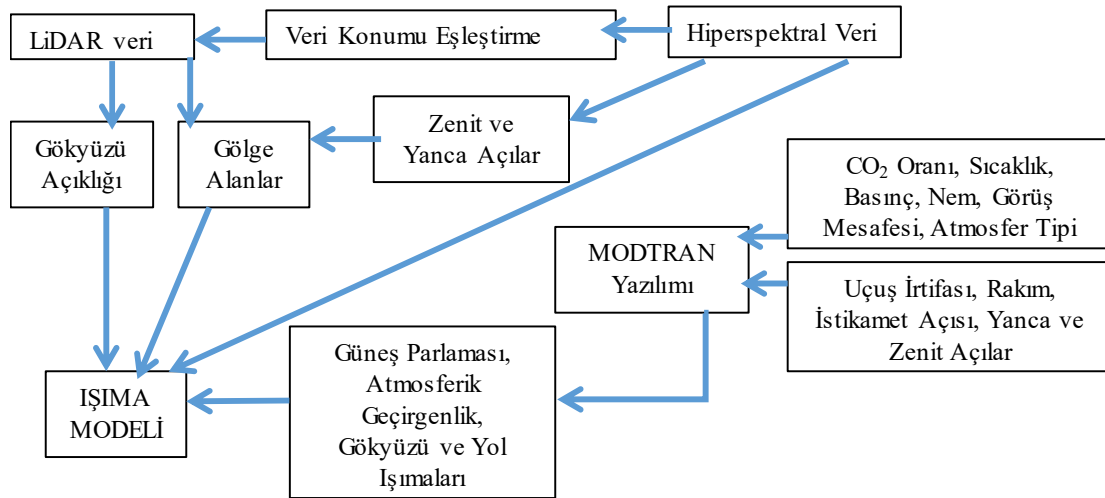
Çalışmada hem hiperspektral hem de LiDAR veriler bulunduran, DIRS (Digital Imaging and Remote Sensing) ve RIT (Rochester Institute Technology) ekipleri tarafından oluşturulan SHARE 2012 veri kümesi [27] kullanılmıştır. Ölçüm bölgesinde bulunan hedefler spektrometre ile ölçölerek gerçek değerleri kaydedilmiştir. Ayrıca ölçümlerde meteorolojik sensörler diğer sensörlerle eş zamanlı kayıt almıştır. SHARE 2012'de kullanılan sensörlerin ve bu sensörlerle oluşturulan verilerin detayları aşağıda anlatılmıştır.

2.1. LiDAR Veri Kümesi (LiDAR Dataset)

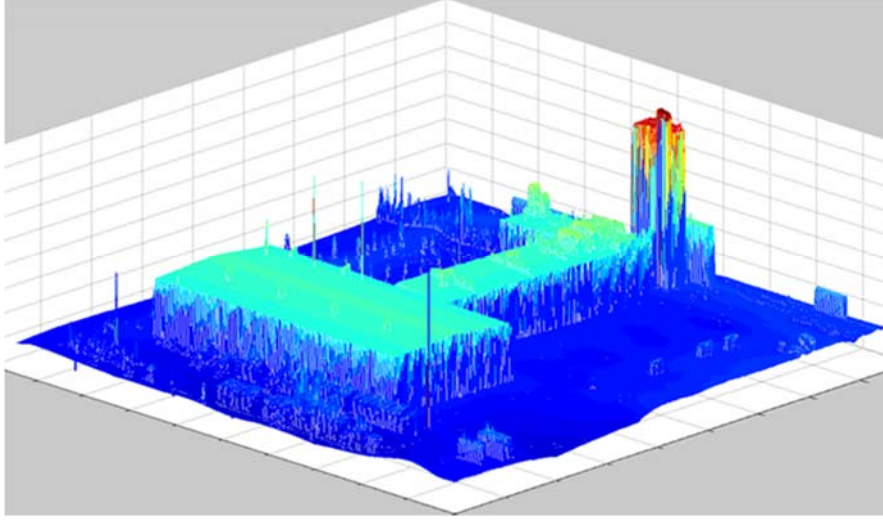
LiDAR veri kümesinin toplanması için dahili GPS sistemine sahip, 1064 nm dalgaboyunda lazer ışınları yayan ALS60 sensör sistemi kullanılmıştır. LiDAR verileri 20 Eylül 2012 tarihinde kayıt edilmiş olup koordinat bilgilerini, her nokta için yükseklik bilgilerini, yansıyan lazer sinyalinin yoğunluğunu ve geliş açısı bilgilerini içermektedir. LiDAR veri kümesi 0,5 m uzamsal çözünürlüktedir [27]. Şekil 2 ve Şekil 3'te hem yeşil alan hem bina hem de gölge alan bulundurması nedeniyle, veri kümesi içinden seçilmiş alanların LiDAR görüntüleri verilmiştir. Burada renkler, kırmızı en yüksek mavi en alçak olmak üzere, yüksekliği göstermektedir.

2.2. Hiperspektral Veri Kümesi (Hyperspectral Dataset)

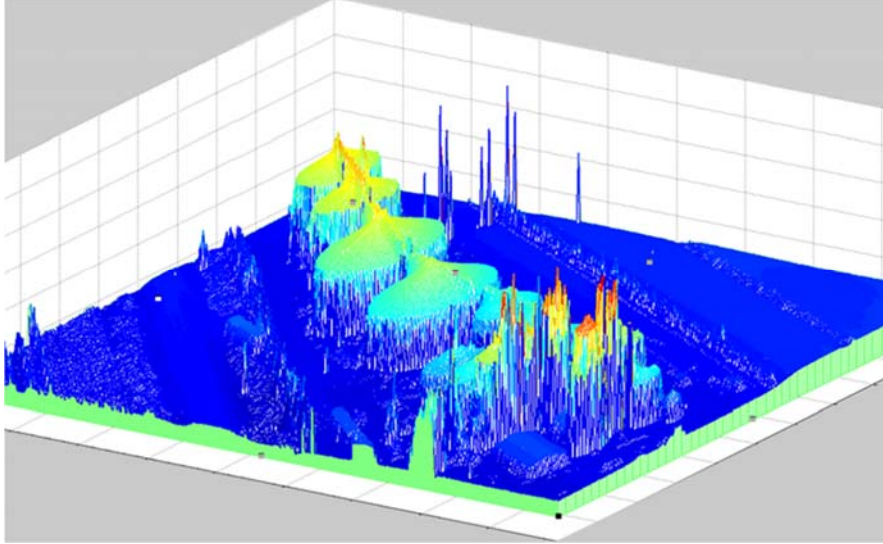
Hiperspektral görüntüler Pro SpecTIR-VS sensör sistemi kullanılarak, 400-2450 nm dalga boyları arasından 5 nm spektral çözünürlükte, toplam 356 adet spektral bantta toplanmıştır. Veriler 1m uzamsal çözünürlüktedir ve dahili GPS sisteminden alınmış koordinat bilgilerini de içermektedir [28]. Hiperspektral veriler taramalı bir sistem tarafından alındığı için inceleme yapmadan önce alınan verilerin coğrafi tarama tablosu (Geographic Lookup Table) ve uzam ölçüm geometrisi (Input Geometry) dosyası incelenmiştir. Bu bilgiler ışığında Şekil 4(a), Şekil 5(a) ve



Şekil 1. Genel akış Őeması (Overall flow chart)



Şekil 2. Veriler içinden seçilen birinci binanın LiDAR görüntüsü (LiDAR image of the first building in the dataset)



Şekil 3. Veriler içinden seçilen ikinci binanın LiDAR görüntüsü (LiDAR image of the second building in the dataset)

Şekil 6(a)'da gösterilen ham hiperspektral veriler coğrafi tarama tablosu yardımıyla düzenlenmiş (georectification) ve Şekil 4(b), Şekil 5(b) ve Şekil 6(b)'de gösterilen coğrafi olarak düzenlenmiş hiperspektral veriler elde edilmiştir. Düzenleme işlemi ENVI yazılımında bulunan "georeferencing tool" ile yapılmıştır.

3. GÖLGE ALANLARIN TESPİTİ (DETECTION OF SHADOW AREAS)

Gölge alanların incelenmesinde iki önemli nokta vardır. İlki, incelenen noktaya kaynaktan ışık gelip gelmediğinin test edilmesi, yani o noktanın gölgede olup olmadığının bulunmasıdır. İkincisi ise o noktanın çevresinin ne kadar açık olduğu, yani noktanın gökyüzünü ne kadar görebildiğidir (sky-view factor). Burada gölge, ışığın yönüne ve açısına bağlı olarak oluşurken; noktanın üzerindeki gökyüzü açıklığı ise ışığın geldiği yönden ve zamandan bağımsızdır. Aşağıda

hem gölge alanların hem de gökyüzü açıklığının bulunması anlatılmaktadır.

3.1. Gölge Alanların Bulunması (Finding the areas under shadow)

Noktasal bir ışık kaynağından çıkan ışınlar doğrusal bir yol izler. Kaynağın önüne ışık geçirmeyen bir cisim konulduğunda kaynaktan çıkan ışınların bir kısmı bu nesnenin arkasına ulaşamaz. Şekil 7'de gösterildiği üzere, cismin arkasında kalan ve ışık kaynağından çıkan ışınların ulaşamadığı bölge gölge olarak adlandırılır [6]. Bir noktanın gölgede olup olmadığına karar vermek için o noktadan kaynağa doğru sanal bir ışın gönderilir. Bu sanal ışın bir cisme çarparsa cisim güneşi direkt olarak göremiyor demektir, yani gölgededir. Bu algoritmaya görüş hattı algoritması denilmektedir. Bu çalışmada, LiDAR verileri üzerinde görüş hattı algoritması koşutularak gölge alanlar



Şekil 4. Birinci hiperspektral verinin geometrik düzenlenmesi a) ham spektral veriler b) düzendirme işlemi yapılmış spektral veriler (Geometric correction of the first hyperspectral data a) raw spectral data b) georectificated spectral data)



Şekil 5. İkinci hiperspektral verinin geometrik düzenlenmesi a) ham spektral veriler b) düzendirme işlemi yapılmış spektral veriler (Geometric correction of the second hyperspectral data a) raw spectral data b) georectificated spectral data)

bulunmuştur. Bunu yaparken asıl amacımız hiperspektral görüntülerdeki gölgelik alanları bulmak olduğundan, görüş hattı algoritması koşturulurken hiperspektral verilerin alındığı tarih ve saat baz alınmıştır. Tarih ve saate bağlı olarak güneşin yüzeye geliş açıları değiştiği için, güneşin zenit ve yanca açıları hiperspektral verinin bilgi bölümünden alınmıştır. Zenit açısı 42,9 ve yanca açısı 191,8 olan birinci veri kümesi, zenit açısı 45,7 ve yanca açısı 152,2 olan ikinci ve üçüncü veri kümesi [11]'de geliştirilen koda girdi olarak kullanılmıştır.

3.2. Gökyüzü Açıklığı Bulunması (Finding the sky-view factor)

Seçilen bir piksel üzerine düşen gökyüzü aydınlığı miktarı o pikselden gökyüzünün ne kadar görülebildiği ile orantılıdır. Buna literatürde gökyüzü açıklığı faktörü denir (sky-view factor) ve Şekil 8'de gösterilmektedir.

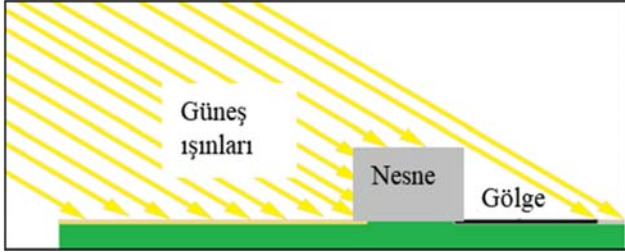
Gökyüzü açıklığı faktörünü bulmak için, seçilen bir noktadan $[0, 2\pi]$ aralığında çeşitli yönlerde N sayıda ışın gönderilir. Bu ışınlardan k yönünde olan ışının gökyüzünü ne



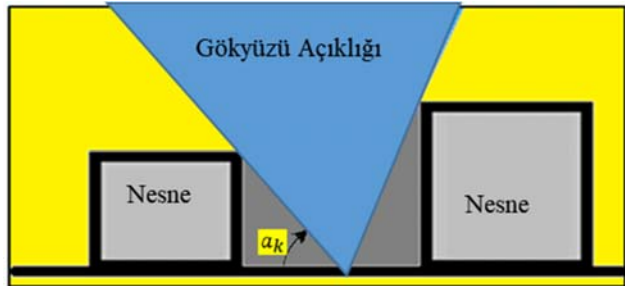
Şekil 6. Üçüncü hiperspektral verinin geometrik düzenlenmesi a) ham spektral veriler b) düzenleme işlemi yapılmış spektral veriler (Geometric correction of the third hyperspectral data a) raw spectral data b) georectified spectral data)

kadar görebildiği, maksimum görüş açısı a_k ile ifade edilir [17]. Tüm yönlerdeki maksimum görüş açısı değerleri bulunarak toplam gökyüzü açıklık değeri F , Eş. 1'deki gibi hesaplanmıştır.

$$F = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \left(1 - \frac{a_k}{\frac{\pi}{2}} \right) \quad (1)$$



Şekil 7. Gölgenin oluşumu (Formation of shadow)



Şekil 8. Gökyüzü açıklığı (Sky-view)

Eş. 1 aslında sürekli bir integralin nümerik çözümü olup, yaklaşımın başarısı ışın sayısı arttıkça artmaktadır. Bu çalışmada gökyüzü açıklığını hesaplamak için Relief Visualization Toolbox, Ver 1.1 kullanılmıştır [29]. Denklemden N ile gösterilen başarıyı yüksek olan ışın sayısı değeri 32 olarak belirlenmiştir.

4. IŞIMA MODELİ (RADIANCE MODEL)

Hiperspektral görüntülemeye uzaktan algılama sensörüne temel olarak 4 çeşit foton ulaşır. Bunlar (1) güneşten direkt olarak hedefe çarpıp hedeften yansıyan fotonlar, (2) atmosferden dağılıp hedeften yansıyan fotonlar, (3) etrafta bulunan nesnelere saçılarak hedeften yansıyan fotonlar ve (4) yüzeye temas etmeden atmosferde dağılıp doğrudan sensöre gelen fotonlardır [18]. Bu dört çeşit foton Şekil 9'da gösterilmektedir.

Bu etkenler Eş. 2'de verilen ışın modeli [18] ile açıklanır.

$$L(\lambda) = k * E_s(\lambda) * \cos\sigma * \tau_d(\lambda) * \frac{\rho_t(\lambda)}{\pi} * \tau_u(\lambda) + F * E_d(\lambda) * \frac{\rho_t(\lambda)}{\pi} * \tau_u(\lambda) + L_u(\lambda) + E_{adj}(\lambda) * \frac{\rho_b(\lambda)}{\pi} \quad (2)$$

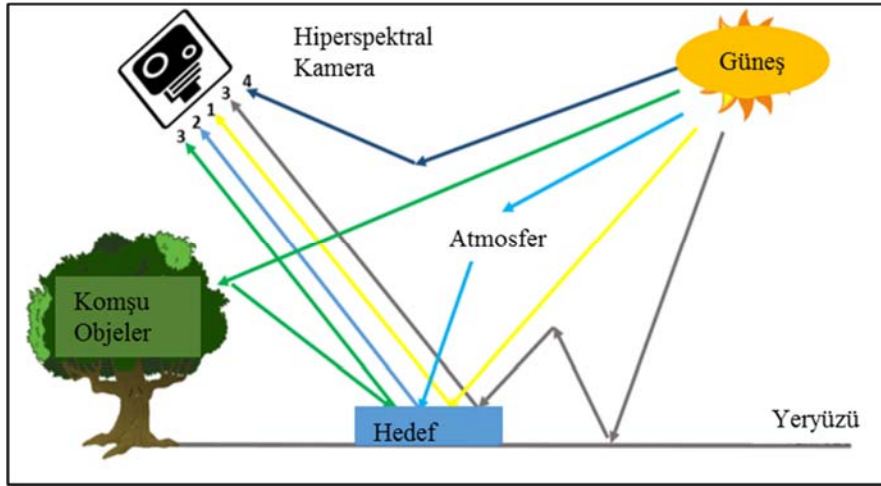
Denklemden λ dalga boyu, L bu dalga boyundaki spektral ışın (radiance), k doğrudan aydınlatma (direct illumination) faktörüdür. Güneş ışınlarının ulaşamadığı gölge alanlarda k değeri 0'dır. Doğrudan aydınlanan yerlerde ise k değeri 1'dir. $E_s(\lambda)$ güneşin σ zenit açısında spektral ışınması (sun irradiance), $\tau_d(\lambda)$ hedef-güneş yolundaki atmosferik iletimdir (sun-to-target transmittance). $E_s(\lambda) * \rho_t(\lambda) / \pi$ hedeften güneş ışınları etkisinde yansıyan fotonları ve hedefte ışığın iki yönlü yansıtma dağılım fonksiyonudur. (BRDF). $\tau_u(\lambda)$ hedef ile sensör arasındaki spektral iletim (sensor to target transmittance), F gökyüzü açıklığı değeri (sky-view factor), $E_d(\lambda)$ gökyüzü ışınmasıdır (sky irradiance). Denklemden $E_d(\lambda) * \rho_t(\lambda) / \pi$ hedeften gökyüzü açıklığı etkisinde yansıyan fotonlar ve hedefte BRDF'dur. $L_u(\lambda)$ yukarıya doğru giden spektral ışın ifadesidir (upwelling radiance) ve hedefle etkileşimi yoktur. $E_{adj}(\lambda) * \rho_b(\lambda) / \pi$ ifadesi ise yakında bulunan nesnelere saçılarak hedeften yansıyan fotonlar ve arkaplanda BRDF'dur [18]. Bu çalışmada, incelenen alandaki pikseller, hem birbirlerine yakın (ardışık pikseller)

oldukları için hem de uzamsal çözünürlük 1m olduğu için benzer atmosfer etkisine maruz kalmaktadır. Bu nedenle modeldeki yukarı yönlü ışığa tüm veride homojen kabul edilmiştir. Makalenin ilerleyen kısımlarında, gerçek verilerin Eş. 2'deki fiziksel modele uygunluğu incelenmiştir.

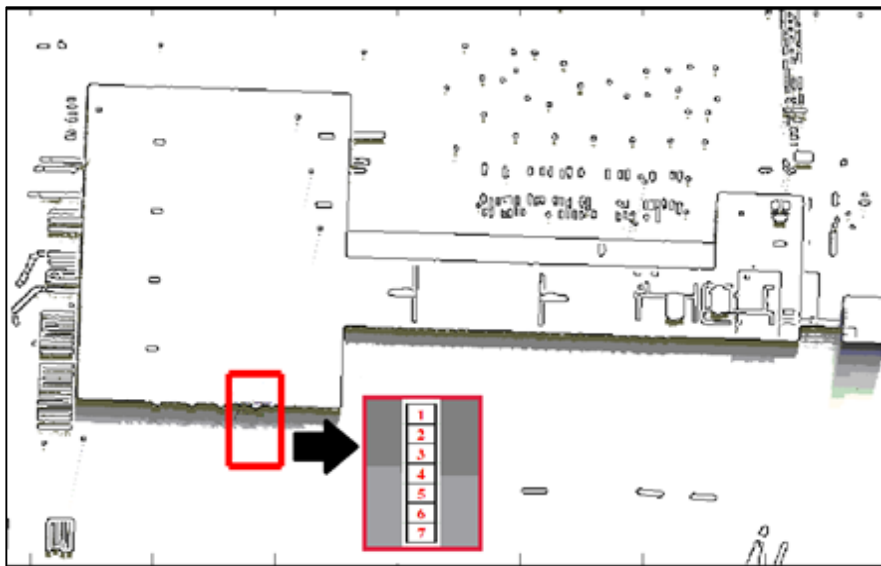
5. VERİLERİN İNCELENMESİ (ANALYSIS OF DATA)

Görüş hattı algoritması kullanılarak, Şekil 2 ve Şekil 3'te gösterilen binalar çevresindeki gölgelik alanlar bulunmuş ve Şekil 10, Şekil 12 ve Şekil 13'te gösterilmiştir. Veri kümelerindeki binalarda koyu renkle taranan kısımlarda gölgelerin oluştuğu görülmektedir. Benzer şekilde her bir pikselin gökyüzü açıklığı hesaplanmış ve Şekil 11 ve Şekil 12'de gösterilmiştir. Burada koyu renkler gökyüzü açıklığının daraldığını ifade etmektedir. Birinci ve üçüncü veri kümesinde aynı bina kullanılmış, veri kümesi farklı

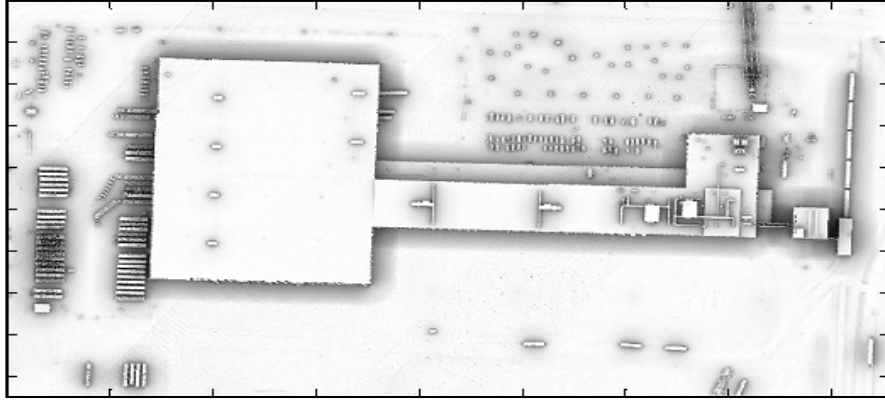
zamanlarda alındığı için gölge haritaları yeniden çizdirilmiştir. Gökyüzü açıklık değerleri güneşin konumundan bağımsız olması sebebiyle tekrar çizdirilmemiştir. Şekillerde de görülebileceği gibi, düzlük olmayan bölgelerde, bilhassa da binaların tüm kenarlarında, gökyüzü açıklığı azalmaktadır. Şekil 10, Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13 karşılaştırıldığında, gölge haritasında güneşin konumuna göre güneş ışığını kesen bölgelerde gölge oluşumu görülürken, gökyüzü açıklığı haritasında gökyüzünün görülmesini engelleyen bölgelerde açıklık değerleri değişmektedir. Şekil 10'da gösterilen kırmızı karenin içinden alınan 7 nokta, Şekil 12'de kırmızı karenin içinden alınan 6 nokta ve Şekil 13'te kırmızı karenin içinden alınan 7 nokta makalenin geri kalanında daha ayrıntılı olarak incelenmiştir. Seçilen piksellerin duvar kenarındaki bir gölge alandan olmasına dikkat edilmiştir. Binaya en yakın nokta 1 numaralı olmak üzere, seçilen noktaların ışığa değerleri



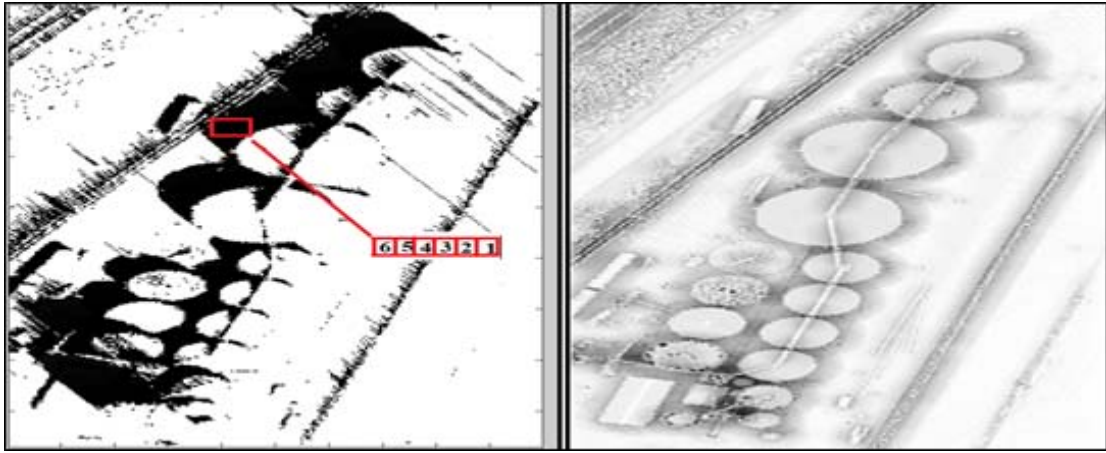
Şekil 9. Hiperspektral ışınım modeli (Hyperspectral radiance model)



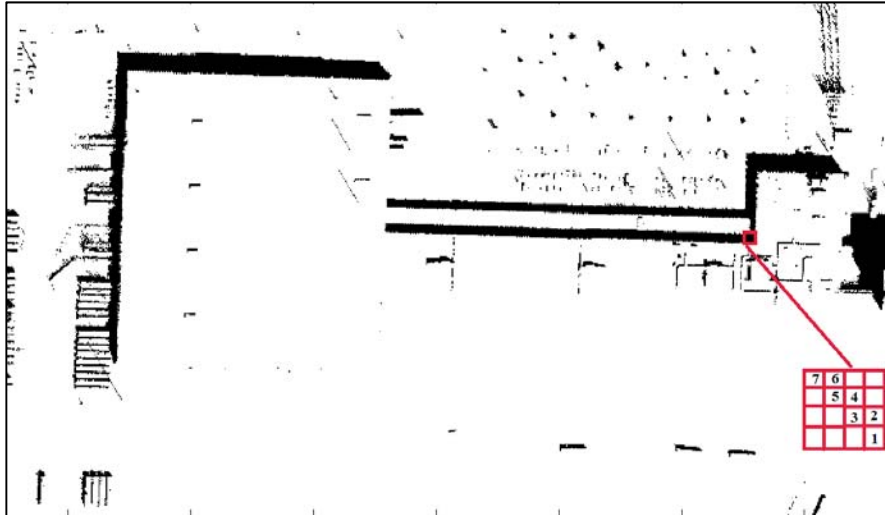
Şekil 10. Birinci veri kümesinin gölge haritası (Shadow map of the first dataset)



Şekil 11. Birinci veri kümesinin gökyüzü açıklığı haritası (Sky-view map of the first dataset)



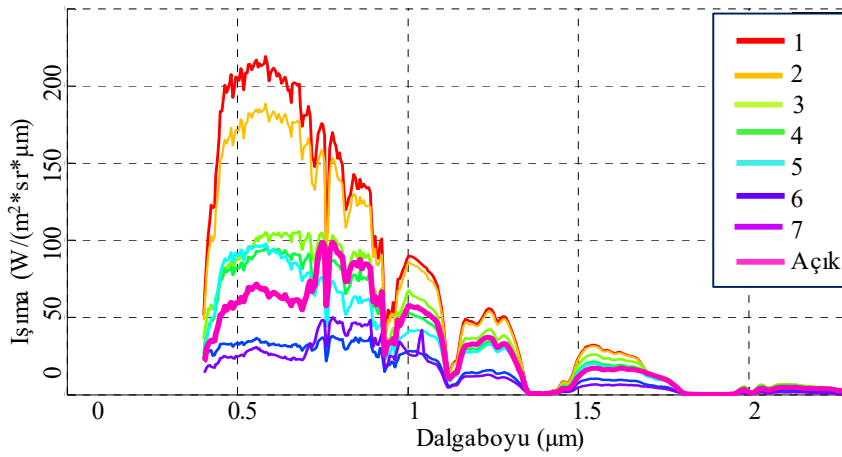
Şekil 12. İkinci veri kümesinin gölge haritası ve gökyüzü açıklığı (Shadow map and skyview factor of the second dataset)



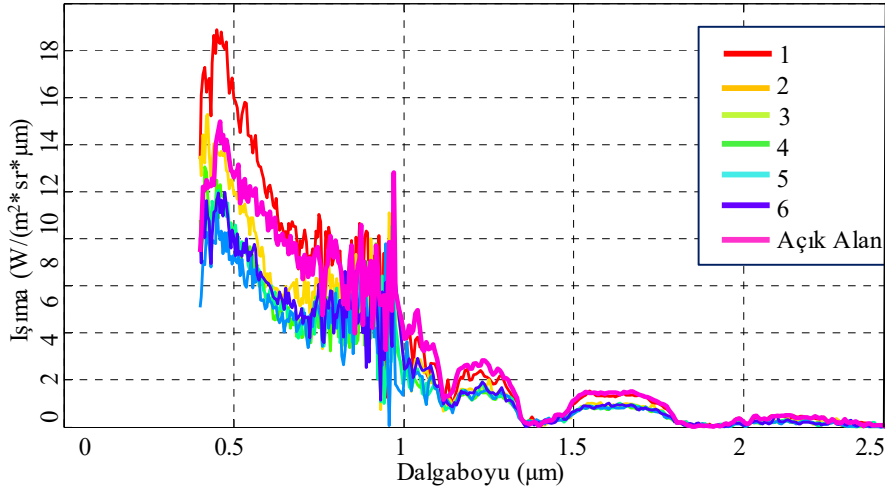
Şekil 13. Üçüncü veri kümesinin gölge haritası (Shadow map of the third dataset)

Şekil 14, Şekil 15 ve Şekil 16’da gösterilmiştir. Gölge olmayan alandan alınan veri ise açık alan olarak gösterilmiştir. Şekil 14, Şekil 15 ve Şekil 16’da gösterildiği üzere, seçilen gölge noktaların atmosferik etkilerden arındırılmamış ışınma değerleri incelendiğinde, duvara yakın

olan verilerdeki yansımaya değerlerinin daha yüksek olduğu ve duvardan uzaklaştıkça yansımaya değerinde bir düşüş olduğu görülmektedir. Ayrıca, belirli bantlarda ani düşüşler gözlenmektedir. Dalga boyları 2,5 μm 'nin altında olduğu için, olaydaki düşüşler güneş akışıyla birlikte gazlar



Şekil 14. Birinci veri kümesinde seçilen noktaların ışırma değerleri (Radiance value of selected points in the first dataset)

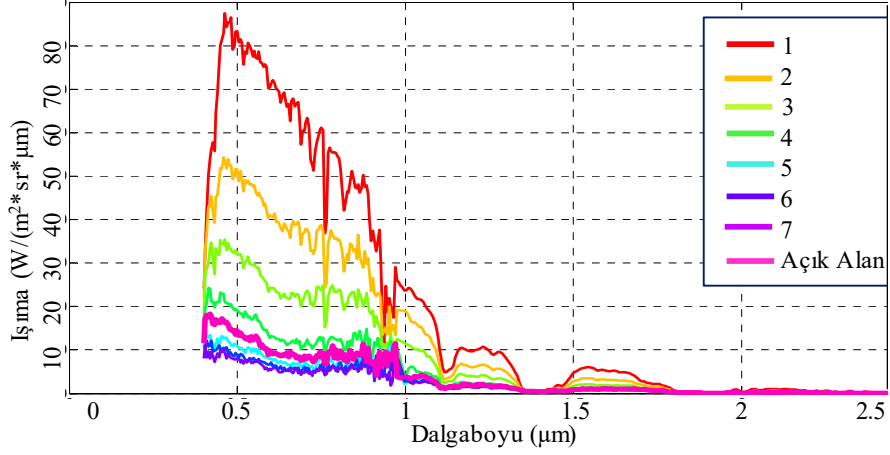


Şekil 15. İkinci veri kümesinde seçilen noktaların ışırma değerleri (Radiance value of selected points in the second dataset)

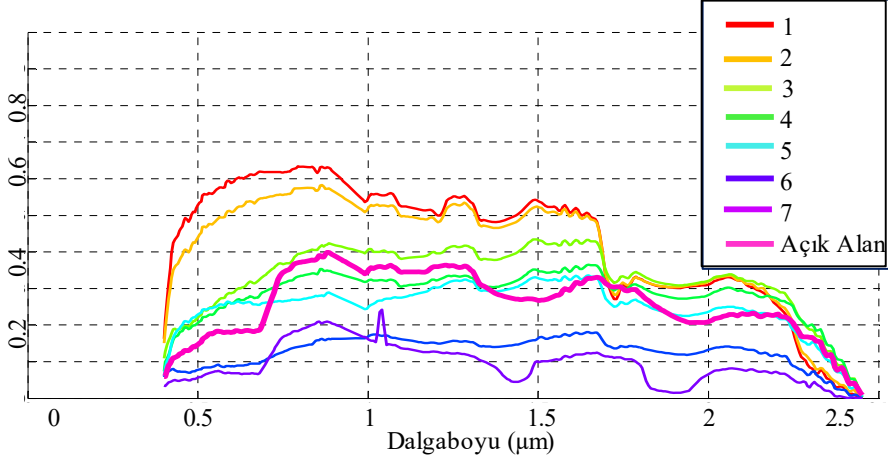
tarafından emilim, örneğin ozon, oksijen, metan ve karbondioksit; su buharı emilimi; moleküller tarafından saçılma, aerosoller ve hidrometeorlar tarafından emilimdir. Molekülerde saçılma etkisi 0,75 µm'de, aerosol saçılması etkisi ağırlıklı olarak 1,3 µm'dedir. 0,5 µm ile 0,7 µm arasında ozon emilimi, 0,76 µm'de güçlü oksijen emilimi, 1,27 µm'de zayıf oksijen emilimi, 1,9 µm ile 2,1 µm arasında kuvvetli karbondioksit emilimi, 1,43 µm'de zayıf karbondioksit emilimi ve 2,2 µm ile 2,5 µm arasında metan emilimi vardır. Su buharı emilimi 0,6 µm ve 0,66 µm'de çok zayıf, 0,73 µm, 0,82 µm ve 0,91 µm biraz daha güçlü ve belirgin, 0,94 µm ve 1,14 µm merkezinde ve dışındaki bölgede güçlüdür. 1,375 µm, 1,9 µm ve 2,5 µm civarındaki su buharı ise emilimi yüzey yansımalarının alınmasını zor ya da imkansız hale getirecek kadar güçlüdür [30]. Share 2012 veri kümesinde atmosferik düzeltme yapılmış ve yansırma değerlerine çevrilmiş veriler de bulunmaktadır. Atmosferik düzeltmede 760, 725 ve 825 nm bölgesinde lineer interpolasyon, 940 ve 1130 nm bölgesinde bitki örtüsü indeks fonksiyonuna göre lineer olmayan interpolasyon, 1400 ve 1900 nm bölgesinde ise toprak ve bitki örtüsü spektrumuna bağlı olarak lineer olmayan interpolasyon

uygulanmıştır. Seçilen noktalara karşılık gelen yansırma değerleri Şekil 17, Şekil 18 ve Şekil 19'da verilmiştir. Bu verilere bakıldığında da, duvara yakın olan verilerdeki yansırma değerlerinin daha yüksek olduğu ve duvardan uzaklaştıkça yansırma değerinde bir düşüş olduğu görülmektedir. Seçilen noktaların gökyüzü açıklık değerleri de Şekil 19, Şekil 21 ve Şekil 22'de gösterilmiştir. Buna göre, duvardan uzaklaştıkça gökyüzü açıklığı artmaktadır. Şekil 17 ve Şekil 20, Şekil 18 ve Şekil 21, Şekil 19 ve Şekil 22 birlikte incelendiğinde, dikkate değer bir durum ortaya çıkmaktadır. Duvardan uzaklaştıkça gökyüzü açıklığı artmasına rağmen, yansırma ve ışırma değerleri düşmektedir. Bunun nedeni, gölge alanının yakınında bulunan nesnelere saçılarak yansırma yapan fotonların etkisidir. Gölge alanda duvardan uzaklaştıkça, gökyüzü açıklığı faktörünün arttığı, fakat birinci ve ikinci veri kümesinde sadece tek yönden yansırma yapan bir nesne olduğu için hedef üzerinde duvardan yansırma yapan fotonların azaldığı görülmektedir.

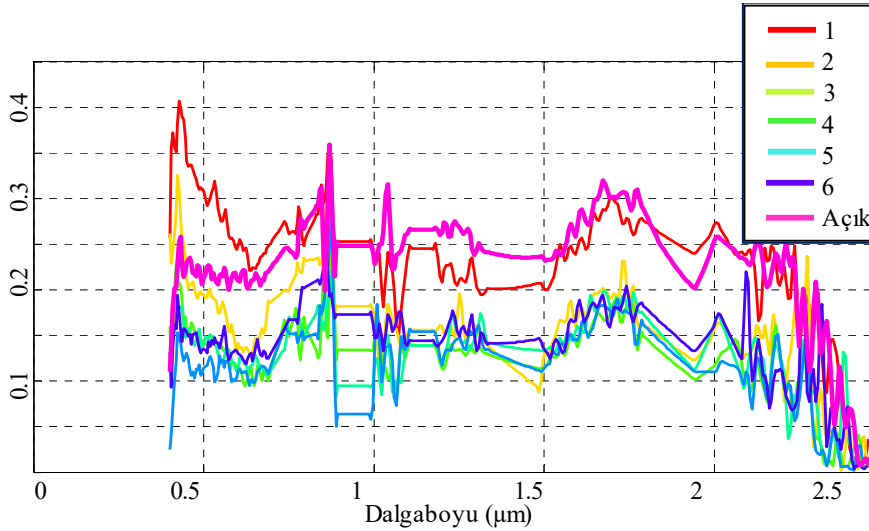
Üçüncü veri kümesinde L şeklindeki duvar kenarında iki yönden yansırma olduğu için hedef üzerinde duvardan yansırma yapan fotonların birinci ve ikinci veri kümesine göre daha



Şekil 16. Üçüncü veri kümesinde seçilen noktaların ışıma değerleri (Radiance value of selected points in the third dataset)



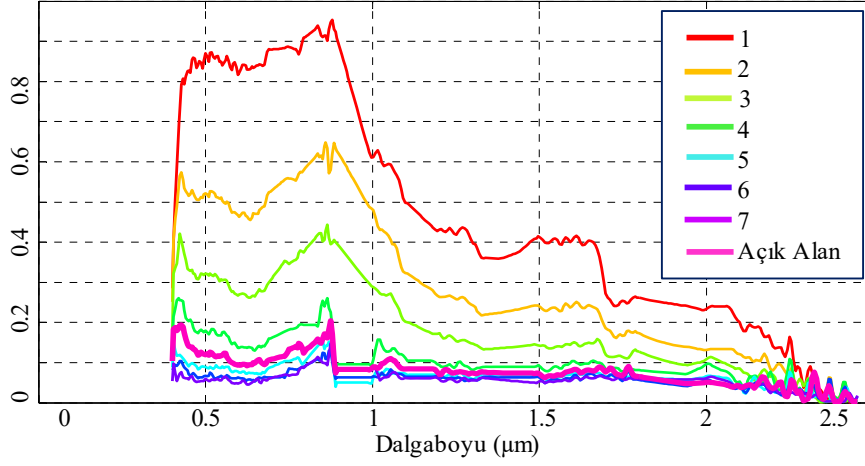
Şekil 17. Birinci veri kümesinde seçilen noktaların yansımaya değerleri (Reflectance value of selected points in the first dataset)



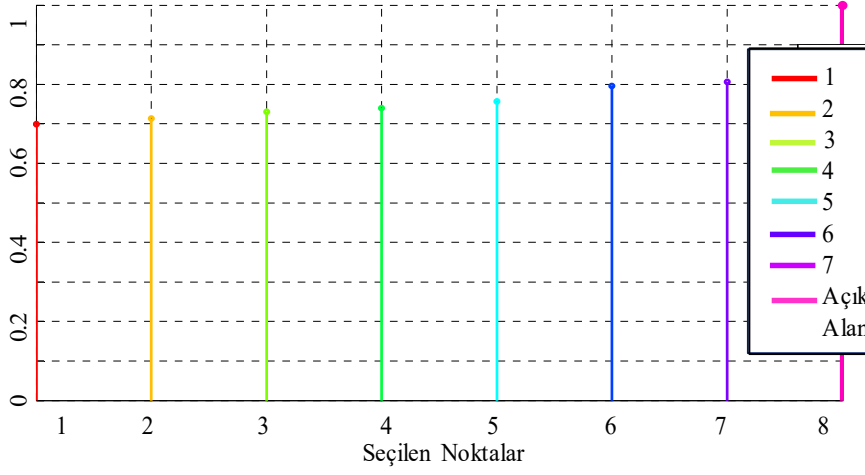
Şekil 18. İkinci veri kümesinde seçilen noktaların yansımaya değerleri (Reflectance value of selected points in the second dataset)

fazla olduğu ve gökyüzü açıklığı etkisinin azaldığı görülmektedir. Bu durumun nedenini Eş. 2'deki ışıma

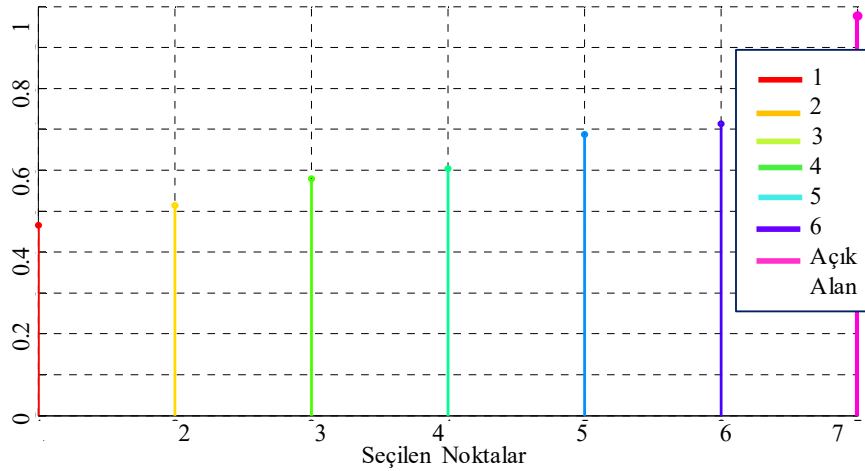
modeli ile açıklamak ve anlamak amacıyla Modtran yazılımı kullanılmıştır. Eş. 2'nin sol tarafında olan $L(\lambda)$ sensörden



Şekil 19. Üçüncü veri kümesinde seçilen noktaların yansıtma değerleri (Reflectance value of selected points in the third dataset)



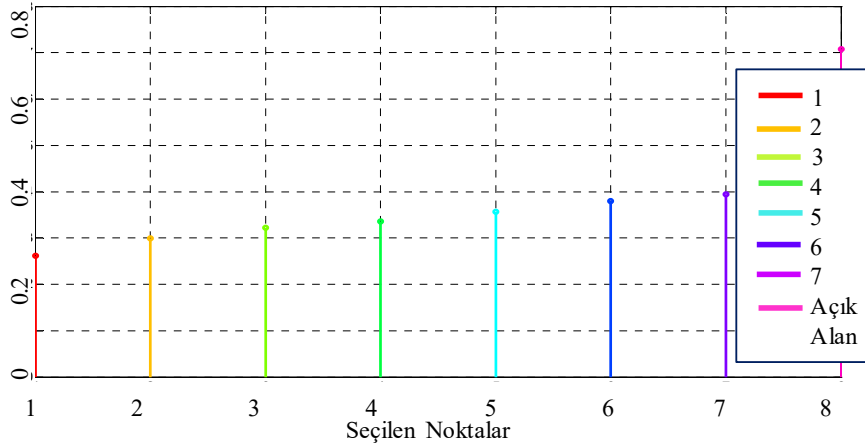
Şekil 20. Birinci veri kümesinde seçilen noktaların gökyüzü açıklığı değerleri (Sky-view factor value of selected points in the first dataset)



Şekil 21. İkinci veri kümesinde seçilen noktaların gökyüzü açıklığı değerleri (Sky-view factor value of selected points in the second dataset)

alınan ışın verisidir. Denklemin sağ tarafında ise, yakın nesnelere kaynaklı parlaklık olan $E_{adj}(\lambda)$ (adjacency

irradiance) haricindeki tüm terimler ya bilinmektedir, ya da Modtran ile hesaplanabilmektedir. Tüm bu terimleri



Şekil 22. Üçüncü veri kümesinde seçilen noktaların gökyüzü açıklığı değerleri
(Sky-view factor value of selected points in the third dataset)

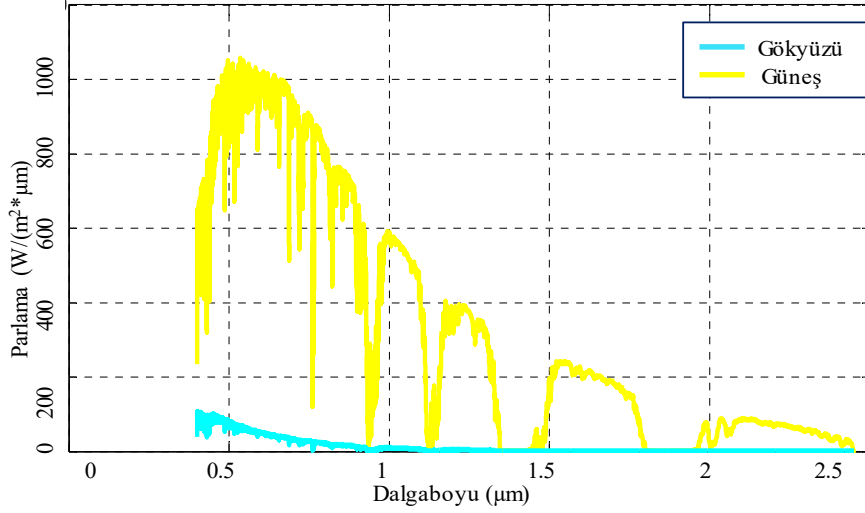
Tablo 1. Modtran girdi parametreleri (Modtran input parameters)

Parametre	Birinci Veri Kümesi Değerleri	İkinci ve Üçüncü Veri Kümesi Değerleri
Gün	263	263
Atmosferik Model	Orta Enlem - Yaz (Mid-latitude Summer)	Orta Enlem - Yaz (Mid-latitude Summer)
Aerosol Model	Kırsal (Rural)	Kırsal (Rural)
Görüş Mesafesi	23 km	23 km
CO ₂ oranı	390 ppmv	390 ppmv
Sıcaklık	291,6 K	289,72 K
Basınç	1021hPa	1022,2hPa
Nem	%49	%50,273
Sensör Yüksekliği (Uçuş irtifası)	0,918 km	0,889 km
Spektral Dalgaboyu	400 – 2500 nm	400 – 2500 nm
Zenit Açısı	42,9 °	45,7 °
Yanca Açısı	191,8 °	152,2 °
İstikamet Açısı	215,6 °	213,3 °
Ortalama yer yüksekliği (Rakım)	0,169 km	0,170 km

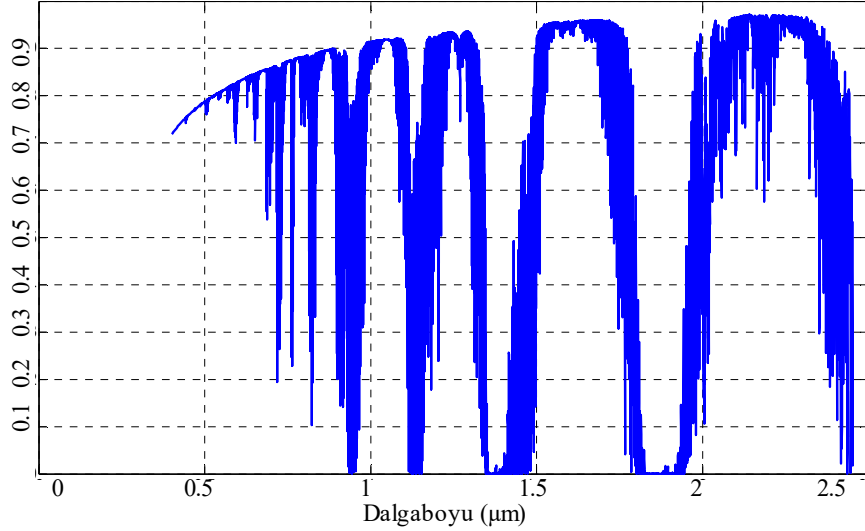
hesaplayabilmek ve sonuç olarak $E_{adj}(\lambda)$ 'yi inceleyebilmek için, Modtran yazılımı şu şekilde kullanılmıştır: yazılıma, meteoroloji istasyonundan gelen ve Tablo 1'de verilen CO₂ oranı, sıcaklık, basınç, nem ve görüş mesafesi bilgileri girilmiştir.

Ölçüm yapılan alanın konum bilgisine bakarak, atmosfer tipi bilgileri “kırsal” olarak girilmiş, atmosferik model “orta enlem - yaz” olarak seçilmiştir. Hiperspektral ve LiDAR verilerinin üstbilgilerinden (header) uçuş irtifası, rakım, istikamet açısı, yanca açısı, zenit açısı bilgileri belirlenmiştir. Atmosferik yol tipi atmosferik geçirgenlik (transmittance) ve yol ışınması (path radiance) hesaplamaları için “zemine bakan yol” (slant path to ground), güneş ve gökyüzü parlaması hesaplaması için “uzaya bakan yol” (slant path to space) opsiyonları seçilmiştir. Uygulama modu olarak da atmosferik geçirgenlik (transmittance), saçılma ile parlaması (radiance with scattering), direkt güneş parlaması (direct solar irradiance) kullanılmıştır. Bunlara ek olarak da

verilerin alındığı dalga boyları Modtran'a girilmiştir. Koşullar sonucunda, radyometrik transfer modellerine sahip Modtran yazılımı güneş parlaması, atmosferik geçirgenlik, gökyüzü ışınması ve yol ışınması verilerini çıktı olarak sunmuştur. Elde edilen sonuçlar frekansa bağlı çıkmıştır ve bu değerler fiziksel modelde kullanabilmek amacıyla dalga boyu bandına çevrilmiştir. Modtran ile hesaplanan güneş tarafından yeryüzüne ulaşan parlama değeri $E_s(\lambda)$ ve gökyüzü kaynaklı parlama değeri $E_d(\lambda)$ Şekil 23'te ve Şekil 25'te gösterilmiştir. Verilerin alındığı zamana bağlı olan bu değerlerde güneşin parlama durumu gökyüzüne oranla daha fazladır. Yine Modtran ile hesaplanan sensör ile hedef arasındaki atmosferik geçirgenlik $\tau_u(\lambda)$ Şekil 24 ve Şekil 26'da gösterilmiştir. İkinci ve üçüncü veri kümesi aynı zamanda ve aynı bölgeden alındığı için Modtran yazılımı sonuçları birlikte gösterilmiştir. Eş. 2'ye Modtran'dan elde edilen atmosferik geçirgenlik $\tau_u(\lambda)$, gökyüzü ışınması $F * E_d(\lambda) * \tau_u(\lambda) * \rho_f(\lambda) / \pi$ ve yol ışınması $L_u(\lambda)$ verileri girilmiştir. Daha sonra da bu parametreler Eş. 2'de, denklemin sol



Şekil 23. Birinci veri kümesinin gökyüzü ve güneş parlaması Modtran koşum sonuçları
(Results of sky and sun irradiance in Modtran in the first dataset)

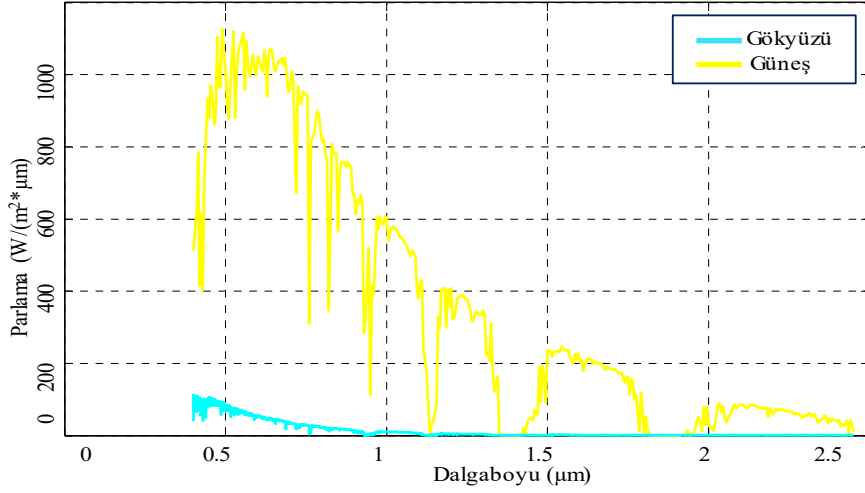


Şekil 24. Birinci veri kümesinin sensör ile hedef arasındaki atmosferik geçirgenlik
(Sensor to target atmospheric transmission in the first dataset)

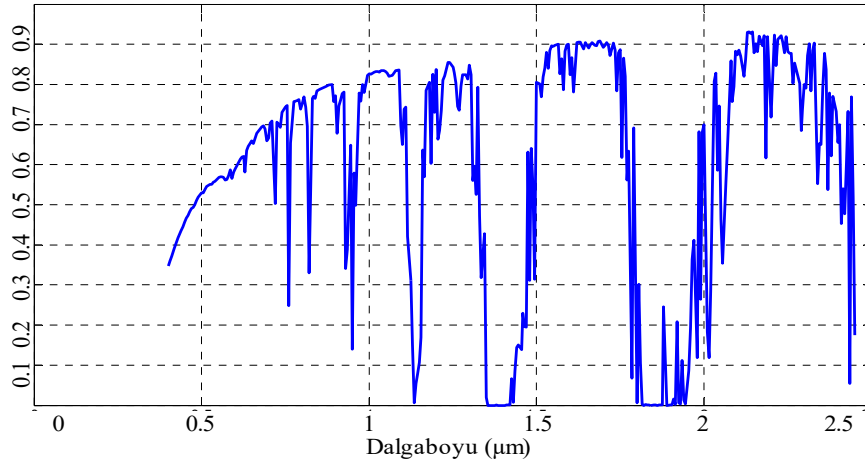
tarafında toplam spektral ışıma $L(\lambda)$ olarak sensörden alınan veri, denklemin sağ tarafında bulunan verilerde gökyüzü açıklığı bulma algoritması sonuçları F , gölge bulma algoritması sonuçları k , ve Modtran çıktıları yerleştirilmiş ve verilerden biri için bu değerler hesaplanmıştır. Burada gölge bir alanda seçilen piksel için gerçek ışıma verisi $L(\lambda)$, bu piksele ait Modtran çıktısı olan güneş parlaması $E_s(\lambda)$ gökyüzün parlaması $E_d(\lambda)$ atmosferik geçirgenlik $\tau_u(\lambda)$ değerleri yakında bulunan nesnelere saçılarak hedeften yansıyan fotonları ve arkaplanda ışığın iki yönlü yansıtma dağılımı fonksiyonunu $E_{adj}(\lambda) * \rho_b(\lambda) / \pi$ bulmak için kullanılmıştır. Uygulanan fiziksel model ile Modtran sonuçları Şekil 27, Şekil 28 ve Şekil 29'da gösterilmektedir.

Gölge alanda seçilen birinci pikseller için Eş. 2'ye Modtran'dan elde edilen atmosferik geçirgenlik $\tau_u(\lambda)$,

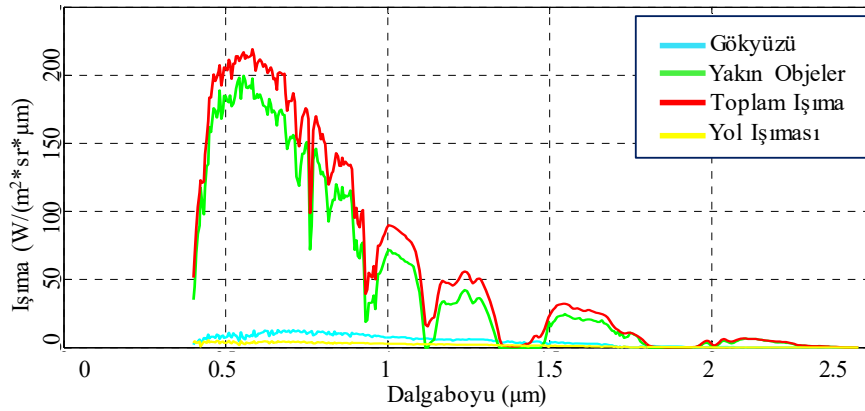
gökyüzü ışıması $F * E_d(\lambda) * \tau_u(\lambda) * \rho_t(\lambda) / \pi$ ve yol ışıması $L_u(\lambda)$ verileri girilmiştir. Daha sonra da denklemin sol tarafındaki toplam spektral ışıma $L(\lambda)$ olarak sensörden alınan veri, denklemin sağ tarafında bulunan verilerde gökyüzü açıklığı bulma algoritması sonuçları F , gölge bulma algoritması sonuçları k , ve Modtran çıktıları yerleştirilmiş ve verilerden biri için bu değerler hesaplanmıştır. Burada gölge bir alanda seçilen piksel için gerçek ışıma verisi $L(\lambda)$, bu piksele ait Modtran çıktısı olan güneş parlaması $E_s(\lambda)$, gökyüzün parlaması $E_d(\lambda)$, atmosferik geçirgenlik $\tau_u(\lambda)$ değerleri yakında bulunan nesnelere saçılarak hedeften yansıyan fotonları ve arkaplanda ışığın iki yönlü yansıtma dağılımı fonksiyonunu $E_{adj}(\lambda) * \rho_b(\lambda) / \pi$ bulmak için kullanılmıştır. Uygulanan fiziksel model ile Modtran sonuçları Şekil 27 ve Şekil 28'de gösterilmektedir. Bu sonuçlarda gökyüzü ışıması $F * E_d(\lambda) * \tau_u(\lambda) * \rho_t(\lambda) / \pi$, yol ışıması (path radiance) $L_u(\lambda)$,



Şekil 25. İkinci ve üçüncü veri kümesinin gökyüzü ve güneş parlamaşı modtran koşum sonuçları (Results of sky and sun irradiance in Modtran in the second and third dataset)



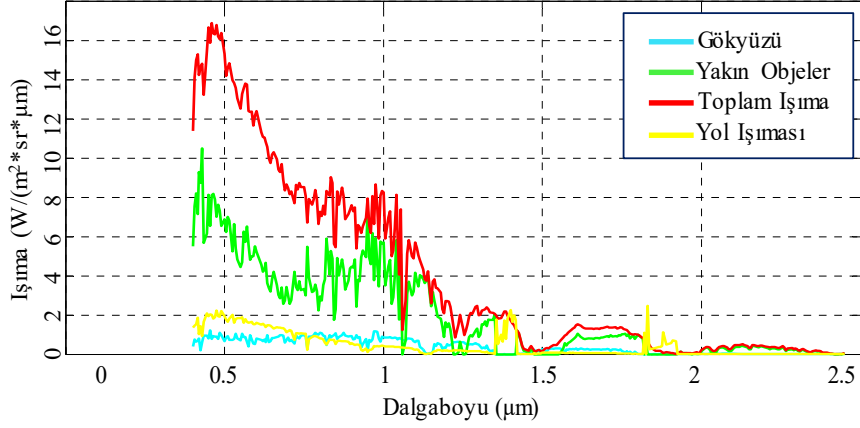
Şekil 26. İkinci ve üçüncü veri kümesinin sensör ile hedef arasındaki atmosferik geçirgenlik (Sensor to target atmospheric transmission in the second and third dataset)



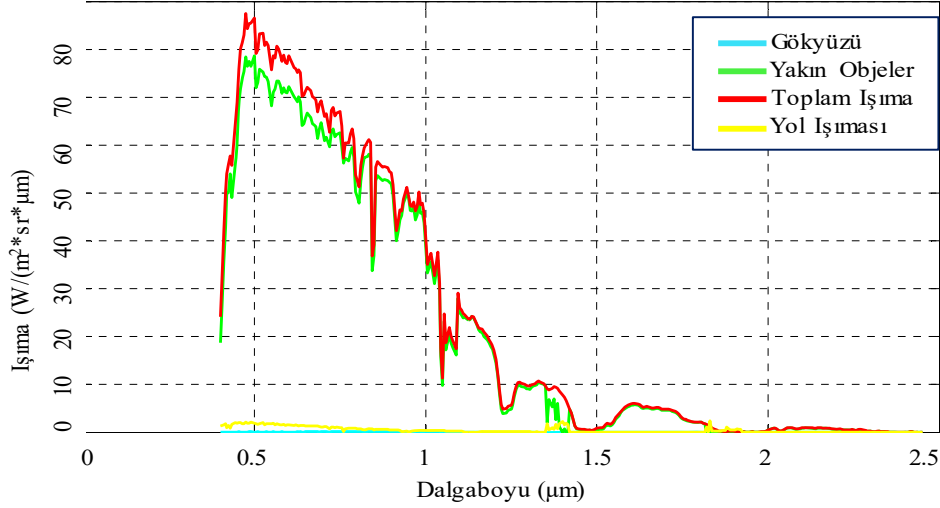
Şekil 27. Birinci veri kümesi birinci pikselin fiziksel modeldeki Modtran ile elde edilen sonuçları (Modtran results in physical model in the first pixel of first dataset)

toplam ışınma $L(\lambda)$ ve yakın objelerden kaynaklı ışınma değerleri $E_{adj}(\lambda) * \rho_b(\lambda) / \pi$ çizdirilmiştir. Toplam ışınmada; yol ışınması ve gökyüzü ışınmasından kaynaklı ışınmanın, yakın

objelerden kaynaklı ışınma değerinden çok düşük olduğu güneşin etkin olduğu bant olan yakın kızılötesi bantında (400nm-1200nm) gözükmektedir. Dalga boyu arttıkça güneş



Şekil 28. İkinci veri kümesi birinci pikselin fiziksel modeldeki Modtran ile elde edilen sonuçları (Modtran results in physical model in the second pixel of first dataset)



Şekil 29. Üçüncü veri kümesi birinci pikselin fiziksel modeldeki Modtran ile elde edilen sonuçları (Modtran results in physical model in the third pixel of first dataset)

ışınlarının etkisi azalmakta ve buna bağlı olarak ışıma değerleri arasındaki değişim de azalmaktadır. Buna göre, gölge alanlarda bulunan materyallerde gökyüzü ışımasından önce materyallerin çevresinde bulunan cisimlerin yansıtma özellikleri dikkate alınmalıdır. Bu yansıtma özelliklerinin, cisimlerin renk, şekil, doku ve yüksekliklerine göre de değişiklik göstereceği göz önünde bulundurulmalıdır. Şekil 20, Şekil 21 ve Şekil 22’de verilen gökyüzü açıklık faktörü arttığı halde yansıma ve ışıma değerlerindeki düşüşün modelde bulunan yakında bulunan nesnelere saçılarak hedeften yansıyan fotonlar ve BRDF’ye bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Gökyüzü açıklığının etkisinin, yakında bulunan nesnelere saçılarak hedeften yansıyan fotonlar ve BRDF’den daha az olduğu ortaya çıkmaktadır. Açık alandan elde edilen veriler ile de karşılaştırma yapılırsa, duvar kenarından alınan veriler açık alan verilerinden de yüksektir. Açık alana yaklaştıkça gökyüzü açıklığı faktörü artmakta, yakında bulunan nesnelere saçılarak hedeften yansıyan fotonlar ve BRDF etkisi azalmaktadır. Bu nedenle açık alana yakın gölge alan piksellerindeki veriler, açık alan

pikseline daha yakın büyüklüktedir ve spektral imza bakımından daha çok benzerlik göstermektedir. Bu nedenle de, gölgelik alan modellemesi ve düzeltilmesi işlemlerinde bu durumun göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada hiperspektral gölgelik alan verilerinde yansıma ve ışıma değerleri incelenmiştir. LiDAR verilerinden elde edilen gökyüzü açıklık değerleri ile yakında bulunan nesnelere saçılan fotonların gölgelik alan değerlerindeki etkisi analiz edilmiştir. Üç farklı geometriye sahip binaların yaptığı gölge yüzey üzerinde birden fazla gölge alanı seçilmiştir. Daha sonra ışıma ve yansıma değerleri ve bu seçilen noktalarda bulunan gökyüzü açıklığı değerleri karşılaştırılmıştır. Modtran sonuçları sonucunda elde edilen gökyüzü parlaması, güneş parlaması ve atmosferik iletim değerleri fiziksel model içine yerleştirilmiştir. Böylece gökyüzü açıklığı değeri arttıkça ışıma ve yansıma verilerinin azaldığı tespit edilmiştir. Sonuç

olarak yakında bulunan nesnelere saçılarak hedefte yansıyan fotonların, ışma modelinde gökyüzü açıklığından daha baskın olduğu görülmüştür.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 115E318 numaralı, “Hiperspektral Görüntüler ile LiDAR Verilerinin Kaynaştırılması” isimli proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Richter R., Hyperspectral Sensors for Military Applications, German Aerospace Center Remote Sensing Data Center, Wessling, Almanya, 2005.
2. Hege E.K., O'Connell D., Johnson W., Basty S. and Dereniak E.L., Hyperspectral imaging for astronomy and space surveillance, SPIE Proceedings on Imaging Spectrometry IX, San Diego, California, 380-391, Ocak 2004.
3. Tuysuz B., Urbina J., and Lind F.D., Development of a passive VHF radar system using software defined radio for equatorial plasma instability studies, Radio Science, 48 (4), 416-426, 2013.
4. Njoku E.G., Entekhabi D., Passive microwave remote sensing of soil moisture, Journal of Hydrology, 184,101-129, 1996.
5. Choe E., Meer F., Ruitenbeek F., Werff H., Smeth B. and Kim K., Mapping of heavy metal pollution in stream sediments using combined geochemistry, field spectroscopy, and hyperspectral remote sensing: A case study of the Rodalquilar mining area, SE Spain, Remote Sensing of Environment, 112, 3222-3233, 2008.
6. Eismann M.T., Hyperspectral remote sensing, SPIE Press, Bellingham, 2012.
7. Kruse F.A., Comparison of ATREM, ACORN, and FLAASH Atmospheric Corrections using Low-Altitude AVIRIS Data of Boulder, Colorado, Proceedings 13th JPL Airborne Geoscience Workshop, Mart, 2004.
8. Zhou J., Kwan C., and Ayhan B., Hybrid In-Scene Atmospheric Compensation (H-ISAC) of hyperspectral images for high performance target detection, Int. Symp. Spectral Sensing Research, Springfield, MO, USA, 2010.
9. Matteoli S., Ientilucci E.J., and Kerekes J.P., Forward Modeling and Atmospheric Compensation in hyperspectral data: Experimental analysis from a target detection perspective, First Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing, France,1-4, 26-28 Ağustos, 2009.
10. Lachérade S., Miesc C. and Boldo D., ICARE: A physically-based model to correct atmospheric and geometric effects from high spatial and spectral remote sensing images over 3D urban areas, Meteorol Atmos Phys, 102 (3), 209-222, 2008.
11. Boyaci M., Yuksel S.E., 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, A.B.D., 94720-94729, 21 Mayıs, 2015.
12. Broadwater J., Banerjee A., Improved atmospheric compensation of hyperspectral imagery using LIDAR, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Melbourne, Avustralya, 2200-2203, 21-26 Haziran, 2013.
13. Hagstrom S., Broadwater J., Atmospheric and shadow compensation of hyperspectral imagery using voxelized LIDAR, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2959 – 2962, 26-31 Temmuz, 2015.
14. Sakarya U., Demirkesen C. and Teke M., Unsharp masking filter based shadow-invariant feature extraction for hyperspectral signatures, IEEE 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference, 293 – 296, 25 Nisan, 2014.
15. Omruuzun F., Ozisik Baskurt D., Daglayan H., and Yardimci Cetin Y., Shadow removal from VNIR hyperspectral remote sensing imagery with endmember signature analysis, SPIE Sensing Technology and Applications, 94821-94829, 3 Haziran, 2015.
16. Bernstein L.S., Gruninger J., Hoke M., Felde G. and Anderson G.P., Shadow-insensitive material detection/classification with atmospherically corrected hyperspectral imagery, Proceedings of the SPIE, 460-469, 20 Ağustos, 2001.
17. Friman O., Tolt G. and Ahlberg J., Illumination and shadow compensation of hyperspectral images using a digital surface model and non-linear least squares estimation, SPIE Image and Signal Processing for Remote Sensing XVII, 81800, 27 Ekim, 2011.
18. Ientilucci E.J., Leveraging LiDAR data to aid in hyperspectral image target detection in the radiance domain, SPIE Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XVIII, 839007, 9 Mayıs, 2012.
19. Ientilucci E.J., SHARE 2012: analysis of illumination differences on targets in hyperspectral imagery, SPIE Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XIX, 87430I, 18 Mayıs, 2013.
20. Zhang Q., Pauca V.P., Plemmons R.J., and Nikic D. D., Detecting objects under shadows by fusion of hyperspectral and LiDAR data: A physical model approach, Proc. 5th Workshop Hyperspectral Image Signal Process. Evol. Remote Sens, Gainesville, FL, USA, 26-28 Haziran, 2013.
21. Ashton E.A., Wemett B.D., Leathers R.A., and Downes T.V., A novel method for illumination suppression in hyperspectral images, SPIE Defense and Security Symposium, Orlando, Florida, A.B.D., 69660C, 14 Nisan, 2008.
22. Adler-Golden S.M., Matthew M.W., Anderson G.P., Felde G.W., and Gardner J.A., Algorithm for de-shadowing spectral imagery, International Symposium on Optical Science and Technology, Seattle, WA, A.B.D., 203-210, 2002.

23. Schlapfer D., Richter R., and Damm A., Correction Of Shadowing In Imaging Spectroscopy Data By Quantification Of The Proportion Of Diffuse Illumination, 8th SIG-IS EARSeL Imaging Spectroscopy Workshop, Nantes, 2013.
24. Roper T., Andrews M., Shadow modelling and correction techniques in hyperspectral imaging, Electronics Letters, 49 (7), 458-460, 2013.
25. Yuanliu X., Runsheng W., Suming Y., Shengwei L. and Bokun Y., Atmospheric correction of hyperspectral data using Modtran model, 16th National Symposium on Remote Sensing of China, Proceedings of the SPIE, 712306, 24 Kasım, 2008.
26. Berk A. vd., Modtran5: 2006 update, Proc. SPIE Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XII, 62331F, 8 Mayıs, 2006.
27. SHARE2012 LIDAR 2012 <http://www.rit.edu/cos/share2012/lidar.php>. Yayın tarihi Nisan 29, 2013. Erişim tarihi Mart 1, 2017.
28. SHARE2012 SpecTIR 2012 <http://www.rit.edu/cos/share2012/spectir.php>, Yayın tarihi Nisan 29, 2013. Erişim tarihi Mart 1, 2017.
29. Zakšek K, Oštir K, Kokalj Ž., Sky-View Factor as a Relief Visualization Technique, Remote Sensing., 3 (2), 398-415, 2011.
30. Griffin M.K. and Burke H.K., Compensation of Hyperspectral Data for Atmospheric Effects, Lincoln Laboratory Journal, 14 (1), 2003.