HAVASAL LİDAR VERİLERİ İLE BİTKİ ÖRTÜSÜNÜN YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE HARİTALANMASI

Müge AĞCA[1] ve Sorin C. POPESCU[2]

[1] Yrd.Doç.Dr., AksarayÜniversitesi, Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü 68100 Merkez/AKSARAY, mugekaan@gmail.com
[2] Doç.Dr., Texas A&M University, Spatial Sciences Lab, Department of Ecosystem Science and Management, , USA, s-popescu@tamu.edu

ÖZET

Havasal LiDAR (airborne light detection and ranging) teknolojisi, çeşitli ormancılık aktivitelerinin uygulanabilmesi için yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama verileri sağlayan önemli ve etkili bir araç olarak kullanılmaktadır. Havasal LiDAR sistemi, objelerin 3B koordinatlarını yer yüzeyinden yansımalar ile hesaplayan bir lazer sistemidir. Ormancılık alanında LiDAR ölçümleri ormanın üç boyutlu yapısal özellikleri ile ilgili yüksek kalitede veri sağlamaktadır. Çalışma alanı olarak Texas eyaletinde bulunan Huntsville şehri seçilmiştir. Çalışma alanında detaylı bitki örtüsü analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, LİDAR verileri kullanarak çalışma alanı içerisinde bulunan bitki örtüsünün yapısal özelliklerinin belirlemek ve detaylı analizlerini yapmaktır. Çalışma alanında mevcut olan bitki örtüsünün yapısal özellikleri tüm yansımaları içeren noktasal ham LiDAR verileri kullanılarak analiz edilmiştir. LiDAR verileri ilk yansıma, son yansıma ve tüm yansıma veri katmanlarını içermektedir. Daha detaylı olarak bu çalışmada, Lidar ve yüksek çözünürlüklü uydu verileri (QuickBird) birlikte kullanılarak ağaç yüksekliği, tepe çatısı yoğunluğu (Canopy Volume), tepe çatısı yüksekliği (canopy base height), kapalılık (Canopy Cover) ve tepe taç yoğunluğu (canopy bulk density) gibi ölçümler yapılmış ve haritaları (wall-to-wall map) üretilmiştir. Özellikle tepe çatısı yüksekliği (canopy base height) ve tepe taç yoğunluğu (canopy bulk density) haritalarını yerel veriler ile oluşturmak imkansızdır. Bu çalışmada LİDAR verileri kullanarak doğruluk oranı yüksek tepe çatısı yüksekliği ve tepe taç yoğunluğu yanıcı madde yüklerinin haritaları başarı ile oluşturulmuştur. Orman ağaçlarının yapısal özelliklerinin yersel ölçümlerle belirlenmesi özellikle çok geniş ve uzak bölgelerde yayılış gösteren ormanlık alanlarda oldukça güç olmaktadır. Havasal LiDAR teknolojisi kullanılarak belirlenen yapısal özelliklerdeki doğruluk, yersel ölçümler kullanılarak test edilmiştir. Çalışmanın sonuncunda elde edilen haritalar, yangın simülasyonlarında (FARSITE) girdi (input) olarak kullanılmış ve Huntsville alanı için tepe orman yangınının simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Lidar verilerinin doğruluk oranı yüksek sonuçlar sağlamasından dolayı bu veriler ile yapılan çalışmalar gerçekçi tahminler için çok önemlidir.

Anahtar Sözcükler: Bitki örtüsü analizi, FARSITE, Havasal Lidar, Uzaktan algılama

ABSTRACT

ASSESSING AND MAPPING OF VEGETATION STRUCTURES WITH AIRBORNE LIDAR DATA

Airborne LIDAR (light detection and ranging airborne) technology is an active remote sensing system that provides high-resolution remote sensing data. LIDAR is an important and effective tool and is commonly used in various forestry applications. Airborne Lidar system uses laser light pulses to measure the distance from the airborne sensor to a reflective surface on the ground. The use of airborne LIDAR allows scientists to measure the three-dimensional structure of the canopy, and it also allows for more accurate and efficient estimation of canopy fuel characteristics over large areas of forests. The study area is located in eastern Texas near Huntsville. In this study, detailed information related to vegetation structures was obtained from LIDAR remote sensing data. The overall aim of this study was to investigate the use of lidar remote sensing to accurately and effectively assess forest fuels and vegetation structures in Texas. We explored the lidar ability to provide new three-dimensional information on the vegetation vertical structure that can be used to improve and fine tune existing fire behavior models for environmental conditions typical in the state of Texas. We also developed a framework of reliable processing and analysis techniques to facilitate the use of lidar data and multispectral imagery (Quickbird) to effectively assess vegetation structure over the study area. In addition, we estimated forest canopy parameters including stand height, canopy cover (CC), crown base height (CBH), crown bulk density (CBD), and investigated the influence of lidar data from different platforms as input in FARSITE to simulate fire growth and behavior in east Texas. Many fire managers do not have these important data layers and they are required to use very coarse estimates of these inputs. There has been no reliable, accurate, and simple method for estimating these parameters and providing high quality inputs for FARSITE crown fire modeling. Field measurement techniques are not standardized and are not consistently applied to the forest plots, which can complicate and frustrate efforts to model fire behavior at the landscape scale. There is a need for a standardized, efficient approach to measuring crown fire fuels in forest stands exhibiting a wide variety of structural characteristics. A great deal of research into forest fire management has been published in recent years, presenting a variety of solutions and management techniques. LIDAR has proven the ability to

accurately characterize forest structures. It is necessary to deliver these datasets to ecosystem managers in formats suitable for use with fire simulation systems.

Keywords: Airborne LIDAR, FARSITE, Remote Sensing, Vegetation structure analysis,

1. GİRİŞ

Dünyanın birçok ülkesinde orman varlığını tehdit eden faktörlerin başında orman yangınları gelmektedir. Orman yangınlarının etkileri, bitki örtüsünün tabiatına ve yangının şiddetine bağlıdır. Önemli olan çıkan orman yangınlarını etkin, kararlı ve en iyi şekilde organize olarak en kısa zamanda ve en az zararla söndürmektir. Üç çeşit orman yangını vardır. Bunlar toprak altı, örtü ve tepe yangınlarıdır. Toprak altı yangını, toprağın altında bulunan ağaç ve diğer bitki köklerinin yanması ile oluşan ve fark edilmesi zor olan bir yangın türüdür (Scott ve Reinhardt, 2001). Örtü Yangını, orman toprağını örten ölü ve diri örtüyü (ot, çayır, fide, fidan, yaprak, yosun, v.b) yakan yangındır (Pyne vd., 1996). Tepe Yangını ise ağaç ve ağaççıkların tepelerini de yakarak ilerleyen yangındır. Tepe yangını en tehlikeli yangın türüdür (Pyne vd., 1996). Yanıcı madde özelliklerinin yangın davranışındaki rolünün bilinmesi, yapılacak yangın öncesi planlamalar ile yangınla mücadele çalışmalarında oldukça önemlidir. Yanıcı madde miktarı hem yangın riski açısından, hem de yangın çıktıktan sonra hareket yönünün belirlenmesinde çok büyük bir öneme sahiptir. Yangın öncesi önleyici tedbirler, yangın tehlikesini azaltacak, çıkabilecek yangınların en az zararla etkisiz hale getirilmesine yönelik tedbirlerdir. Örtü yangınına zamanında ve doğru bir şekilde müdahale yapılmazsa tepe yangınına dönüşür. Tepe yangını ise orman yangını türleri arasında en hızlı yayılanı ve çok daha zor etkisiz hale getirilenidir (Pyne vd., 1996).

Uzaktan algılama teknolojisi, ormancılık, meteoroloji, tarım, jeoloji ve hidroloji gibi çok çeşitli alanlarda dünyada ve ülkemizde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknoloji, uzay teknolojilerindeki baş döndürücü gelişmeler ile önemini günden güne daha da artırmaktadır. Uzaktan algılama teknolojisinin kullanımı, zaman ve maliyet açısından büyük avantajlar sağlamaktadır (Popescu, 2007). Son yıllarda uydu sistemlerinde meydana gelen çok önemli teknolojik gelişmeler sonucunda, uydulardan çok daha yüksek (spektral ve konumsal) çözünürlükte görüntüler elde edilmesi mümkün hale gelmiştir.

Uzaktan algılama ile veriler aktif veya pasif sistemler kullanılarak elde edilir. Aktif uzaktan algılama sistemlerinden biri olan Lidar (light detection and ranging) sisteminin çalışma prensibi radara çok benzer. Lidar sistemlerinde radarda kullanılan radyo dalgaları yerine lazer darbeleri kullanılır. Havasal Lidar sistemi tarayıcı mekanizma, GPS, yüksek hassasiyet için IMU ekipmanı, yüksek çözünürlüklü saat, reflektör, yüksek kapasiteli depolama ünitesi ve INS (Inertial Navigation System) cihazlarından oluşmaktadır. Uzaklığı ölçülecek nesneye uçağa takılan lidar sistemi tarafından saniyede binlerce lazer darbesi gönderilir. Gönderilen lazer darbesinin gönderiliş zamanı ile nesneye çarpıp gelen yansımanın tekrar kaynağa ulaşma vakti arasındaki fark sayesinde Lidar sistemi tarafından uzaklık ölçülür. Gönderilen ve sistem tarafından kaydedilen her bir lazer darbesi X, Y ve Z koordinat bilgisine sahip olmaktadır (Wagner vd., 2004;). Kaydedilen tüm lazer noktaları sonuç olarak büyük bir nokta bulutu oluşturmaktadır. Havasal lidar sistemi son yıllarda araştırmacılar tarafından sayısal yükseklik modelleri oluşturmada, doğal kaynaklar yönetiminde, şehir planlamada, ulaşım ve altyapı koridorlarının haritalanmasında ve ormanlık alanlarda detaylı bitki örtüsü ölçümlerinde gittikçe artan önemde kullanılmaktadır (Mutlu vd., 2008a).

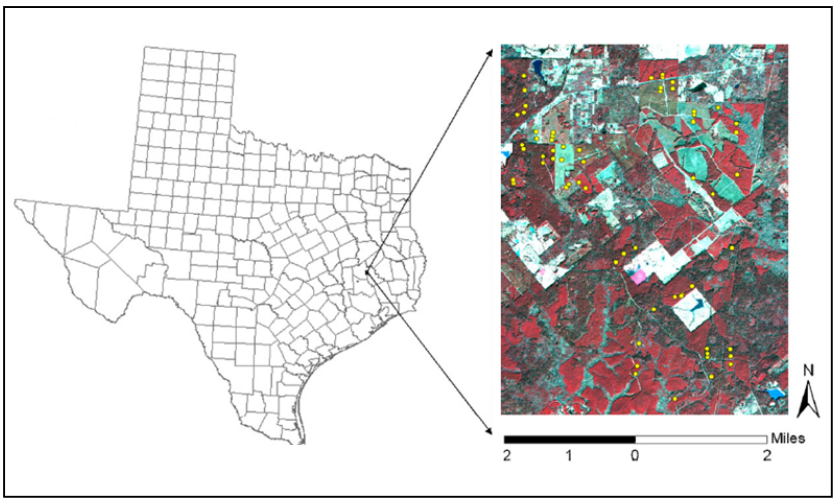
Ormanlık alanlardaki ağaçların yapısal özelliklerinin yersel ölçümlerle belirlenmesi özellikle çok geniş ve uzak bölgelerde yayılış gösteren ormanlık alanlarda oldukça güç ve karar verme aşamasında bir o kadar önemli bir faktördür (Allen vd., 2002; Westerling vd., 2002; Nelson vd., 2003; Popescu vd., 2003). Havasal lidar sistemi ile elde edilen veriler ile bitki örtüsü üzerinde çok detaylı ölçümler yapılabilmekte ve arazi örtüsü güçlü bir şekilde görselleştirilebilmektedir. Havasal Lidar sisteminden elde edilen nokta bulutu ile bitki örtüsünün taç yükseklik ölçümleri, her bir ağacın yüksekliği, her bir ağacın göğüs hizasındaki gövde kalınlığı, taç kapalılık örtüsü, biyokütle ve yoğunluk hesaplamaları, her bir ağaç taç kısmının yerden yüksekliği, arazinin sayısal yükseklik modeli ve bitki örtüsünün taç yoğunluğu doğruluk oranı yüksek olarak hesaplanabilir ve bölgeye ait haritalar oluşturulabilir (Mutlu vd., 2008b).

Bu çalışma Amerika'nın Teksas eyaletinde bulunan Huntsville şehrinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, havasal LiDAR sisteminden elde edilen veriler ile yüksek çözünürlüklü uydu verilerini (QuickBird) birlikte kullanarak çalışma alanı içerisinde bulunan bitki örtüsünün yapısal özelliklerini belirlemek ve detaylı analizlerini yapmaktır. Çalışmada orman yangını için büyük önem taşıyan ve yersel ölçümler ile elde edilmesi zor olan ağaç yüksekliği, tepe çatısı yoğunluğu (Canopy Volume), tepe çatısı yüksekliği (canopy base height), kapalılık (Canopy Cover) ve tepe taç yoğunluğu (canopy bulk density) gibi ölçümler yapılmış ve haritaları (wall-to-wall map) üretilmiştir. Çalışmadan elde edilen haritalar yangın simülasyonlarında (FARSITE (Finney, M. A. (1998)) girdi (input) olarak kullanılmış ve yangın yayılımları incelenerek risk analizleri yapılmıştır.

1. MATERYAL ve METOT

1.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak Amerika'nın Teksas eyaletinin doğusunda yer alan ve aynı zamanda Sam Houston Ulusal Ormanının bir kısmını içine alan Huntsville şehri (30° 42′ N, 95° 23′ W) seçilmiştir (Şekil 1). Çalışma alanının büyüklüğü yaklaşık 4800 hektardır ve bu alan oldukça yoğun bitki örtüsüne sahiptir. Araştırma alanının yaklaşık %90'ına hakim ağaç türü Loblloly çamıdır (Pinus taeda L.). Aynı zamanda bölgede azda olsa Su Meşe (Quercus nigra L.), Güney Kızıl Meşe (Quercus Falcata Michx.), Beyaz Meşe (Quercus alba L.), Sığla (Liquidambar styraciflua L.) ve Kanatlı Karaağaç (Ulmus alata Michx.) türleride bulunmaktadır.



Şekil 1. Çalışma Alanı.

1.2. Veriler

Bu çalışmada, yersel veri, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsü ve havasal Lidar verileri olmak üç farklı veri kullanılmıştır.

1.2.1. Yersel veri

Çalışma alanı üzerinde rastgele 62 adet örnek alan seçimi yapılmıştır. Seçilen her bir örnek alan içerisinde bulunan bitki örtüsü detaylı olarak incelenerek gerekli ölçümler gerçekleştirilmiştir (Tablo 1). Örnek alan içerisinde yapılan ölçümler aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Tablo 1. Arazi çalışması sırasında yapılan ölçümler.

Örnek alan merkezi haritalanması; örnek alanın merkezi konumları alt metre doğruluk ile GPS üniteleri ile 60 saniyelik statik ölçümler kullanılarak tespit edilmiştir.,
Gövde çapı 6 cm daha büyük her ağacın haritalanması rulman (ölçüm hassasiyeti: 1 derece) kullanarak yapılmıştır,
Toplam ağaç yüksekliği (hassasiyet: 10 cm) (Vertex Forestor III kullanarak),
Her bir ağacın göğüs hizasındaki gövde çapı (>0.3cm),
Her bir ağacın taç yüksekliği
Her bir ağacın taç çapı (kuzey-güney ve doğu-batı şeklinde) ve X ve Y koordinat bilgileri
Her bir ağacın taç sınıflandırılması Kraft sistemi (codominant, baskın, orta, bastırılmış) kullanılarak yapılmıştır.
Her bir ağacın taç yoğunluğu
Yüzey (alt) bitki örtüsünün kapsama alanı (%) ve ortalama yüksekliği tahmini.

Her bir örnek alanın en az al adet dijital resimleri: örnek alanın merkezinden bakılarak Kuzey, Güney, Doğu, batı ve örnek alanın iki tane genel görünümüne ait resimler.
Örnek alanın merkezine yerleştirilen kamerada FishEye lensi kullanarak kapalılık bilgisini verecek fotoğraflar çekilmiştir.

Örnek alanın kapalılığını hesaplamak için FishEye lens kullanılarak elde edilen HemiView verilerinden yararlanılmıştır. Şekil 2 arazinin merkezinden yukarıyı gösteren ve kapalılık bilgisini veren dijital FishEye resmini göstermektedir. Ağacın türüne ve cinsine göre, biokütle ve hacim hesapları farklılık gösterir. Bu çalışmada biokütle ve hacim hesapları araziden elde edilen bilgiler, ağacın taç yapısı ve cinsi dikkate alınarak yapılmıştır.

Şekil 2. Kapalılık örtüsünün elde edilmesi için kullanılan FishEye resmi.

1.2.2. Yüksek Çözünürlüklü Uydu Görüntüsü

Çalışmada, yüksek çözünürlüklü çok spektrumlu 'Quickbird' uydu verisi kullanılmıştır. Veriye ait bilgiler aşağıda Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. QuickBird uydusunun teknik özelikleri.

Uydu	Tarih	Algılayıcı	Çözünürlük			Şerit Genişliği (km)
			Konumsal (m)	Radyometrik (bit)	Zamansal (gün)	
QuickBird	2001-	Pankromatik	0.61-0.73	11 bit	3.5	16.5
		Multispektral	2.5-2.9	11 bit	3.5	16.5

QuickBird uydu verisi arazideki bitki örtüsünün analizinde ve haritalanmasında kullanılmıştır. Aynı zamanda bu uydu verisinin bantlarından bağımsız değişkenler elde edilip istatistiksel analizlerde kullanılmıştır. Uydu görüntüsü üzerinde gerçekleştirilecek tüm işlemler için ENVI programı kullanılmıştır. Görüntü sınıflandırmada piksel tabanlı sınıflandırma yöntemi uygulanmıştır.

1.2.3. Havasal Lidar Verisi

Güvenilir bir tarama teknolojisi olan havasal Lidar sistemi cisimlerin veya yüzeylerin uzamsal özelliklerini yüksek çözünürlükte 3 boyutlu sayısal veri olarak aktarmaktadır. Havasal Lidar tarayıcılardan elde edilen nokta bulutu farklı amaçlar ile kullanılabilir. Ölçme hızı, nokta sıklığının ayarlanabilmesi, bilgi çıkarımındaki kolaylık ve ölçme verisinin değişik formatlarda görüntülenebilmesi sistemin üstün yönlerindendir. Elde edilen nokta bulutunun kaydedilmesi, birleştirilmesi, inceltilmesi, nokta boşluklarının doldurulması, filtrelenmesi ile nesnelerin 3 boyutlu modelleri oluşturulmaktadır. Bu veriler sayesinde çok kısa sürede çalışılması zor olan objelerin koordinatlı verileri elde edilmektedir. Oluşturulan modeller üzerinden, mühendislik uygulamaları için gerekli her türlü veriye

ulaşılabilmektedir. Bu çalışma için havasal Lidar verileri Houston'da bulunan özel bir şirketten (M7 Visual Intelligence) elde edilmiştir. Bu çalışma için kullanılan havasal Lidar sisteminde her bir lazer darbesinin doğruluk oranı yatay olarak 20-30 cm ve dikey olarak 15 cm olmak üzere ilk ve son dönüşleri kaydedilmiştir. Toplam olarak 47 uçuş gerçekleştirilmiştir. Bu uçuşların 19 tanesi Kuzey-Güney ve 28 tanesi Doğu-Batı yönündedir. Elde edilen lazer nokta bulutunun metrekareye düşen ortalama lazer nokta yoğunluğu ise 2,6'dır. Havasal Lidar verileri 2004 yılında ağaçların yaprağını döktüğü mevsimde toplanmıştır.

1.3. Yersel veriler ile Bitki Örtüsü Analizi

Tablo 1'de verilen yersel ölçümleri kullanarak bitki örtüsünün detaylı analizleri ve ölçümleri yapılmıştır. Mevcut biyokütlenin birim alana düşen taç hacmine bölünmesi (Formül 1) ile tepe taç yoğunluğu (canopy bulk density-CBD) hesaplanmıştır (Reinhart vd., 2006; Cruz vd., 2003).

$$CrBD = \frac{FB}{CV} \left(\frac{kg}{m^3}\right) \tag{1}$$

Formül 1'de verilen FB (Foliage biomass) yaprak biyokütlesi and CV (crown volume) ağaç taç hacmi olarak tanımlanmıştır. Çalışma alanındaki dominant ağaç türü Loblloly çamıdır. Bu nedenle kullandığımız tüm formüller Loblloly çam ağacına göre seçilmiştir. Jenkins vd. (2003)'nin çalışmasında da olduğu yaprak biyokütlesi (FB) Formül 2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$FBratio = Exp(\beta_0 + \frac{\beta_1}{dbh}) \tag{2}$$

Formül 2'de verilen FBratio yaprak biyokütlesinin toplam biyokütleye oranıdır. Aynı zamanda formüldeki β_0 -2.9584'e ve β_1 ise 4.4766'ya eşittir. Bu çalışmada, ağaç taç hacminin (CV) hesaplanmasında Loblloly çam ağacının hacmi dikkate alınarak geliştirilen Formül 3 kullanılmıştır. Formül 3'deki b_1, b_2, b_3 ve b_4 alt modeller olarak tanımlanmıştır

$$CRVOL = \pi FL[3b_1^2 - 5b_1b_2 + \frac{b_2^2}{3} - 4\ln(2) \times (b_1^2 - 2b_1b_2) + \frac{b_3^3}{3b_4}] \tag{3}$$

Formülde,

b_1 = -4.5121 + 0.5176DBH + 4.3529R,
b_2 = 4.4749 – 0.0175A – 0.4985DBH – 6.0414R,
b_3 = 0.0168DBH + 0.0155FL, ve
b_4 = -0.0233dbh,

Formül 3'deki b_1, b_2, b_3 ve b_4 alt modeller olarak tanımlanmıştır. Aynı zamanda formülde 'A' ağaç yaşı, 'R' ağaç taç oranı, 'FL' ağacın yapraklı taç uzunluğu olarak tanımlanmıştır. 'FL' Toplam ağaç boyundan ağacın taç yüksekliği çıkarılarak hesaplanmıştır. 'R' ise ağaç taç uzunluğunun ağacın toplam uzunluğuna bölünmesi ile elde edilmiştir. 'A' ise ağacın bulunduğu yer indeksi ve ağacın toplam uzunluğu dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Tepe çatısı yüksekliği (canopy base height-CBH) Lorey'in ortalama yükseklik formülü (Formül 4) kullanılarak elde edilmiştir. Bu uygulama Amerika'da yapılan çok yaygın bir hesaplama şeklidir. Formül 4'te verilen BA bazal alanı ifade eder.

$$CBH = \frac{\sum(BA \times CrBH)}{\sum BA} \tag{4}$$

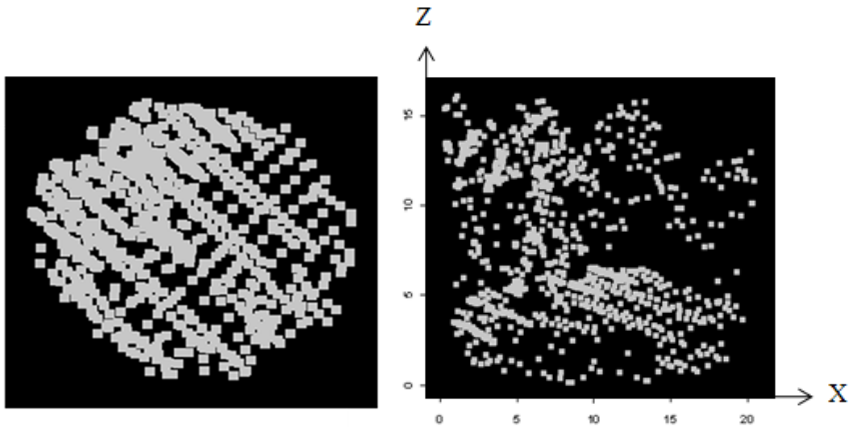
Çalışmanın amaçlarından olan taç kapalılık (Canopy Cover-CC) ölçümü arazide çekilen FishEye resimlerinin HemiView yazılımında kullanılması ile hesaplanmıştır.

1.4. Havasal Lidar Verisinin İşlenmesi ve Bitki Örtüsü Analizi

LiDAR tabanlı ölçümler ile arazi tabanlı ölçümler karşılaştırılarak bu iki yaklaşımla elde edilen ölçümler arasında anlamlı fark olup olmadığı araştırılmıştır. Lidar nokta bulutu elde edildikten sonra, Quick Terrain Modeler (QTM) yazılımı kullanılarak bu nokta bulutunun bilgisayar ortamında analizleri yapılmıştır. Çalışmanın amaçları olan ağaç yüksekliği, tepe çatısı yoğunluğu (Canopy Volume), tepe çatısı yüksekliği (canopy base height), kapalılık (Canopy Cover) ve tepe taç yoğunluğu (canopy bulk density) gibi detaylı bitki örtüsü ölçümleri için istatistiksel analizler yapılmak zorundadır. Aynı zamanda, LiDAR verileri kullanılarak elde edilen sonuçlar ile arazi ölçümleri kullanılarak elde edilen sonuçlar arasında önemli fark olup olmadığının belirlenmesi içinde istatistiksel analizler gerekmektedir.

1.4.1. Height Bins Yöntemi

Bu çalışmada Lidar nokta bulutunun işlenmesi ve bu nokta bulutlarından çok bantlı veriler elde edilmesi amacı ile geliştirilen 'Height Bins Yöntemi' (Popescu ve Zhao, 2008) kullanılmıştır. Kısaca Height Bins yönteminde, tüm lazer nokta bulutu kullanılmış ve farklı yükseklikler için lazerden elde edilen toplam 11 görüntü (Bin 1: 0-0.5m, Bin 2: 0.5-1.0m, Bin 3: 1.0-1.5m, Bin 4: 1.5-2.0m, Bin 5: 2.0-5.0 m, Bin 6: 5.0-10.0 m, Bin 7: 10.0-15.0 m, Bin 8: 15.0-20.0 m, Bin 9: 20.0-25.0 m, Bin 10: 25.0-30.0 m, Bin 11: >30m) oluşturulmuştur. Her bir 'Height Bin' farklı yükseklikleri ifade ettiği için istatistiksel analizlerde kullanılmak amacı ile oluşturulan görüntüler üzerinden bağımsız değişkenler elde edilmiştir. Şekil 3'te Lidar nokta bulutu ve örnek alan için nokta bulutunun yandan görünümü verilmektedir.



(a) (b)

Şekil 3. (a) Lidar nokta bulutu ve (b) örnek alan için nokta bulutunun yandan görünümü.

Regresyon analizinde kullanılmak amacı ile Tablo 3'te verilen istatistiksel bağımsız değişkenler elde edilmiştir. Bu değişkenleri elde etmek için '*R programlama'* ve SPSS, Statistical Package for the Social Sciences, yazılımları kullanılmıştır. Daha sonra doğrusal ve çoklu değişken regresyon analizleri ile kapalılık, ağaç tepe taçısı yüksekliği, toplam ağaç yüksekliği, ağaç gövde çapı, ağaç taç yoğunluğu ve ağaç hacim hesabı için en iyi modeller seçilmiştir.

Tablo 3. Lidar nokta bulutundan elde edilen değişkenler

Değişkenler	Tanımlama
Lidar nokta bulutu değişkenleri	
h_mean	Nokta bulutunun ortalama yüksekliği

h_max	Nokta bulutunun maksimum yüksekliği
h_25	Nokta bulutunun %25'lik yüksekliği
h_50	Nokta bulutunun %50'lik yüksekliği
h_75	Nokta bulutunun %75'lik yüksekliği
h_90	Nokta bulutunun %90'lik yüksekliği
D	Nokta bulutunun yoğunluğu
variance(s)	Nokta bulutunun varyasyon katsayısı
CBH_{LH}	CBH obtained from allometric equations
Height Bins değişkenleri	
Bin_i_min	Lidar Height Bin_i: Minimum parlaklık değeri
Bin_i_max	Lidar Height Bin_i: Maksimum parlaklık değeri
Bin_i_mean	Lidar Height Bin_i: Ortalama parlaklık değeri
Bin_i_st	Lidar Height Bin_i: Standart sapma parlaklık değeri
Bin_i_cv	Lidar Height Bin_i: Varyansın parlaklık değeri

2. SONUÇLAR

Tablo 4'te yersel veriler ile tüm çalışma alanı için elde edilen CBD, CBH ve CV değerleri görülmektedir. CC değerleri arazide bulunan ağaçların yatay yüzdelerinin ağaç taçlarına oranlanması ve HemiView yazılımı kullanırak elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen değerler havasal Lidardan elde edilen 'Height Bins' verileri ile ilişkilendirilerek çalışma alanına ait taç kapalılık haritası oluşturulmuştur (Şekil 4 (a)). Çalışmanın havasal lidar ve regresyon analizleri sonuçları Tablo 5'te verilmiştir. Havasal Lidar ile elde edilen taç hacim değerleri (CV) değerleri ağaç taç yoğunlukları hesaplamasında kullanılmıştır.

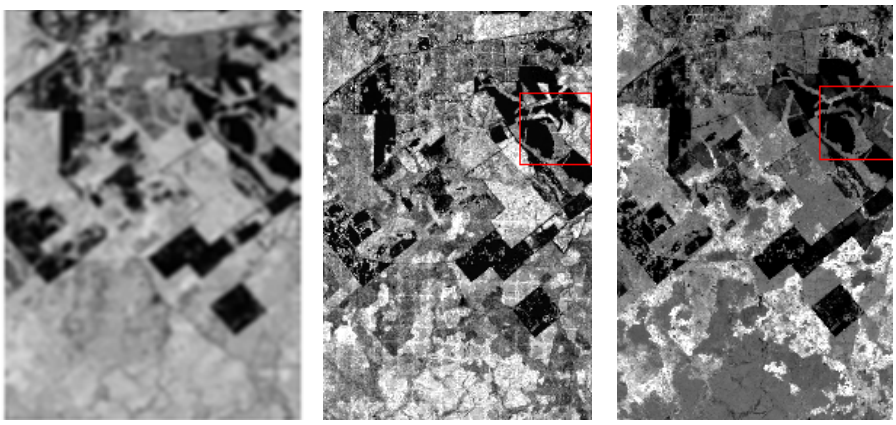
Tablo 4. Yersel veriler ile elde edilen bitki örtüsü analizi sonuçları (yanıcı madde yükleri).

	CBD (kg/m3)	CBH (m)	CV
Min/Max	0.03/0.47	0.1/24.3	26/1942
Ortalama	0.18	10.6	714

Tablo 5. Taç yoğunluğu ve tepe çatısı yükseklikleri için havasal Lidar verileri ve regresyon analizleri sonuçları.

Model CBD	**R^2**	**Adj-R^2**	**P-value**	**RMSE**
$\hat{y} = \exp(-2.558 + 0.585\text{Band7}_{max} + 0.414\text{Ln(CBH)} - 1.37\text{Band10}_{cv} - 1.003\text{Band8}_{cv} + (0.329)^2/2)$	0.748	0.726	<0.0001	0.329
Model CBH				
$\hat{y} = exp(1.326 + 1.001\, LnH_{mean} - 0.036H_{50} - 1.21LnH_{90} - 1.004D + (0.195)^2/2)$	0.976	0.973	<0.0001	0.195

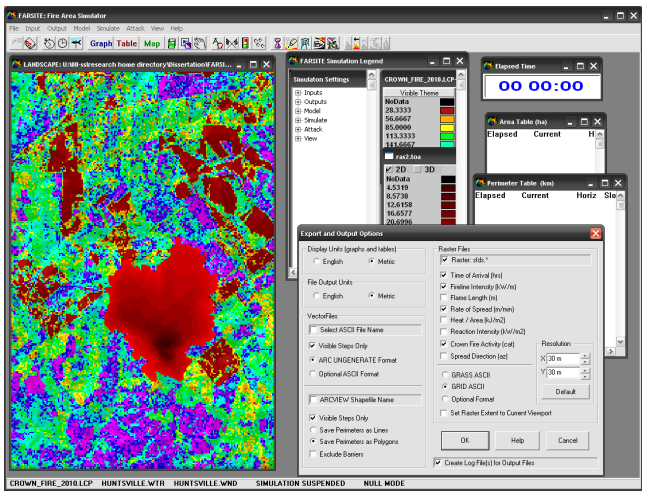
Çalışmadan elde edilen ve havasal Lidar verileri ile elde edilen haritalar Şekil 4'te verilmiştir. Sonuçlardan da görüldüğü gibi havasal Lidar verisi kullanarak doğruluk oranı yüksek orman yanıcı madde yükünü gösteren haritalar mümkün olmuştur.



(a) (b) (c)

Şekil 5. (a) Taç kapalılık haritası, (b) taç yoğunluğu haritası ve (c) tepe çatısı yükseklik haritası.

Havasal Lidar ile elde edilen haritalar yangın simülasyonu olan FARSITE programında girdi olarak kullanılmış ve bölgeye ait tepe yangı simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Şekil 6'da gerçekleştirilen simülasyondan bir örnek sunulmaktadır.



Şekil 6. Gerçekleştirilen FARSITE yangın simülasyonundan bölgeye ait yangın yayılım alanına bir örnek.

Ormanlık alanda bulunan bitki örtüsünün doğruluk oranı yüksek detaylı analizlerinin yapılması çok zordur. Taç kapalılık, taç yoğunluğu ve taç yükseklik dijital haritalarının oluşturulması havasal Lidar verileri olmadan mümkün değildir. Bölgeye ait yangınla mücadelede alınması gereken önlemlerin başında bitki örtüsünün doğruluk oranı yüksek metotlarla tahmin edilmesi gerekmektedir. Tepe tacı yoğunluğu ve tepe çatısı yüksekliği gibi yanıcı madde yüklerinin doğru tahmin edilmesi yangın davranışının rolünün bilinmesi, yapılacak yangın öncesi planlamalar ile yangınla mücadele çalışmalarında oldukça önemlidir. Havasal Lidar ile elde edilen bu sonuçlar yangınla mücadelede oldukça önemlidir ve birçok can ve mal kaybının olmasını önleyecektir.

KAYNAKLAR

Allen, C. D., Savage, M., Falk, D. A., Suckling, K.F., Swetnam, T.W., Schulke, T., Stacey, P.B., Morgan, P., Hoffman, M., Klingel, J.T., 2002, Ecological restoration of Southwestern ponderosa pine ecosystems: a broad perspective. *Ecological Applications, 12*, 1418-1433.

Cruz, M. G., Alexander, M. E., Wakimoto, R. H., 2003, Assessing canopy fuel stratum characteristics in crown fire prone fuel types of western North America. *International Journal of Wildland Fire, 12*, 39-50.

Finney, M. A., 1998, *FARSITE: Fire Area Simulator Model development and evaluation. General Technical Report RMRS-RP-4*. Ogden, UT: U.S. Department of Agricultural, Forest Service, Rocky Mountain Research Station 55 pp.

Jenkins, J. C., Chojnacky, D. C., Heath, L. S., Birdsey, R. A., 2003, National-scale biomass estimators for United States tree species. *Forest Science*, *49*, 12-35.

Mutlu, M., Popescu, S. C., Stripling, C., Spencer, T., 2008a, Mapping surface fuel models using lidar and multispectral data fusion for fire behavior. *Remote Sensing of Environment, 112*, 274-285.

Mutlu, M., Popescu, S. C., Zhao, K., 2008b, Sensitivity analysis of fire behavior modeling with lidar-derived surface fuel maps. *Forest Ecology and Management, 256*, 289-294.

Nelson, R., Valenti, M. A., Short, A., Kelley, C., 2003, A multiple resource inventory of Delaware using airborne laser data. **Bioscience,** *53*, 981-992.

Popescu, S. C., Wynne, R. H., Nelson, R. F., 2003, Measuring individual tree crown diameter with lidar and assessing its influence on estimating forest volume and biomass. *Canadian Journal of Remote Sensing*, *29,* 564-577.

Popescu, S. C., 2007, Estimating biomass of individual pine trees using airborne lidar. *Biomass and Bioenergy, 31,* 646-655.

Popescu, S. C., Zhao, K., 2008, A voxel-based lidar method for estimating crown base height for deciduous and pine trees. *Remote Sensing of Environment, 112*, 767-781.

Pyne, S. J., Andrews, P. L., Laven, P. D., 1996, *Introduction to wildland fire*. New York: Wiley & Sons Press.

Reinhardt, E. D., Scott, J. H., Gray, K. L., Keane, R. E., 2006, Estimating canopy fuel characteristics in five conifer stands in the western United States using tree and stand measurements. *Canadian Journal of Forest Research, 36*, 2803–2814.

Scott, J. H., Reinhardt, E. D., 2001, *Assessing crown fire potential by linking models of surface and crown fire behavior. General Technical Report RMRS-RP-29.* Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station 59 pp.

Wagner, W., Eberhofer, C., Summer, G., 2004, Rbust filtering of airborne laser scanning data for vegetation analysis. *International Archivews and Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 36(8), 5661.

Westerling, A. L., Gershunov, A., Cayan, D. R., and Barnett, T. P., 2002, Long lead statistical forecasts of area burned in western U.S. wildfires by ecosystem province. *International Journal of Wildland Fire, 11*, 275-286.