

## HAVA KAYNAKLI LAZER TARAMA NOKTA BULUTLARI KULLANILARAK 3B MEŞCERE YÜKSEKLİK HARİTASI ÜRETİMİ, HOUSTON ÖRNEĞİ

U. G. Sefercik<sup>a</sup>, C. Glennie<sup>b</sup>, A. Atesoglu<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Bülent Ecevit Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 67100, Zonguldak, Türkiye - sefercik@beun.edu.tr

<sup>b</sup>Houston Üniversitesi, Hava Kaynaklı Lazer Tarama Ulusal Merkezi, 5000 Gulf Freeway, Houston, TX, USA, cglennie@uh.edu

<sup>c</sup>Bartın Üniversitesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 74100, Bartın, Türkiye, - aatesoglu@yahoo.com

**ANAHTAR KELİMELER:** Meşcere Yükseklik Haritası, hava kaynaklı lazer tarama, yersel lazer tarama, orman envanteri, doğruluk

### ÖZET:

Son yıllarda, üç boyutlu (3B) yeryüzü konum bilgisi sağlayan uzaktan algılama teknolojilerinin kullanımı, özellikle yer yüzeyi ve bileşenlerini inceleyen meslek disiplinleri için vazgeçilmez hale gelmiştir. Bu meslek disiplinleri arasında ormancılık oldukça önemli bir konumda bulunmaktadır. Ülkemizde, ağaç tipleri ve dağılımları, tepe çapı ve sıklığı, kapalılık, yükseklik ve göğüs yüzeyi gibi meşcere parametrelerinin tespitine yönelik orman envanteri çalışmalarının yersel ölçümler temelinde zaman, işgücü ve maliyet bakımından olumsuz nitelikte yürütülmesi, ormancılıkta uzaktan algılama teknolojilerinin gün geçtikçe daha yoğun şekilde kullanılması gereğini doğurmaktadır. Bu çalışmada, Houston, ABD’de seçilmiş orman-yoğun bir test alanında, hava kaynaklı lazer tarama nokta bulutları kullanılarak normalleştirilmiş dijital yüzey modeli temelinde 3B meşcere yükseklik haritası üretimi hedeflenmiştir. Üretim aşamalarında karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri sunulmuştur. Üretilen haritanın yatay ve dikey mutlak konum doğruluğu, test alanında gerçekleştirilen 3-5mm rölatif doğruluğa sahip yersel lazer tarama ölçümlerinden elde edilen referans harita ile model bazlı kıyaslama tekniği kullanılarak değerlendirilmiştir. Yapılan analizler neticesinde, hava kaynaklı lazer tarama verileriyle elde edilen 3B meşcere yükseklik haritasının 1/1000 ölçekli topoğrafik haritalardan beklenen mutlak konum doğruluğunu sağladığı sonucuna varılmıştır.

**KEY WORDS:** Stand height map, Airborne laser scanning, terrain laser scanning, forest inventory, accuracy.

### ABSTRACT:

In recent years, the usage of remote sensing techniques that offer three dimensional (3D) geo-information became indispensable for particularly land-related professions which analyze earth surface along with its components. Forestry has a quite significant position in these professions. In our Country, the forest inventory studies, realized for the detection of forest stand parameters such as the types and distribution of the trees, diameter of crown and intensity, closeness, height and timber volume are conducted with time consuming, labor needed and costly ground measurements. This situation increases the requirement on more intensively usage of remote sensing technologies day by day. In this study, based on normalized digital surface model (nDSM) technique, the production of a forest stand height map using airborne laser scanning (ALS) point clouds is aimed in a forest-dominant study area in Houston, USA. The challenges and recommendations on production steps are presented. The horizontal and vertical absolute geolocation accuracy of produced map was evaluated by model-to-model based comparison with a reference map created with terrestrial laser scanning measurements that have 3-5mm relative accuracy. The results show that the forest stand height map produced from ALS data precisely provides the required absolute geolocation accuracy of 1/1000 scaled topographic maps.

### 1. GİRİŞ

Günümüzde gelişmiş çok sayıda teknikte sağlanan uzaktan algılama verileri tıptan arkeolojiye, meteorolojiden peyzaja kadar bilimin hemen hemen her alanında yoğun şekilde kullanılmaktadır. İstendiğinde kilometrekarelerce geniş alanlarda bile saniyeler içerisinde elde edilmesi ve kolay işlenebilir olmaları uzaktan algılama verilerinin her geçen gün cazibesini artırmakta ve buna bağlı olarak kullanım sahalarını genişletmektedir. Dünyada ve Ülkemizde, uzaktan algılama teknolojileri ile elde edilen verilere en çok ihtiyaç duyan meslek disiplinlerinden biri ormancılıktır. Ülkemizde, yoğun orman envanteri çalışmalarının büyük kısmı halen zaman, işgücü ve yüksek maliyetler gerektiren yersel ölçümlerle gerçekleştirilmektedir. Yersel ölçümlerde meşcereyi temsil edecek rastgele örnek alanları seçilmektedir. Her bir test alanına ait meşcere parametrelerine yönelik yersel çalışmalar istatistikî olarak genel alana yayılarak tüm alan için sonuçlara

ulaşılmaktadır. Bu yöntem özellikle işgücü ve maliyet kalemlerini olumsuz etkilemektedir. Bu yöntemler gerçeğe yakın modellemede önemli ölçüde doğruluk kaybına da sebep olmaktadır. Yersel ölçümlerin yukarıda belirtilen negatif yanları ve az örnekleme geneli yorumlama nedeniyle düşük seviyelerdeki doğrulukları, son yıllarda ormancılığa ilgi duyan bilim insanlarını uzaktan algılama verilerini araştırmaya ve kullanmaya yöneltmiştir. İşte bu noktada önemli bir soru akla gelmektedir; hangi uzaktan algılama yöntemi hangi doğrulukları sağlar ve buna bağlı olarak hangi tip orman envanter çalışmasında hangi tip uzaktan algılama verisi kullanılmalıdır?

Bu çalışmada, hava kaynaklı lazer tarama (ALS) verileri kullanılarak orman meşcere haritası üretimi ve üretilen haritanın potansiyelinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Uzaktan algılama verileri ile orman ağaç yüksekliklerinin belirlenmesi, yoğun orman alanlarında orman altı topoğrafyanın modellenmesinde karşılaşılan sorunlar nedeniyle her zaman sıkıntılı bir konu

olmuştur. Pasif algılama prensibi ile çalışan gelişmiş optik sistemlerde (fotogrametri, uzay kaynaklı optik görüntüleme vb.) yüksek mekansal, spektral ve radyometrik çözünürlük olmasına karşın orman ayırım kabiliyeti sözkonusu olmadığından orman altı topoğrafya ile ilgili bilgi edinmek hemen hemen imkansızdır. Mono görüntülerde yalnızca ağaç tipi, adeti ve alansal çıkarımlara gidilebilmektedir. Stereo görüntülerde ise ormanlık alanlar, görüntü eşleştirme noktalarının yalnızca ağaçların en üst yüzeylerinden toplanabildiği, sık orman altında eşleştirme noktası bulunamayan düşük korelasyonlu bölgelerdir (Baltasvias and Stallmann, 1993). Görüntü geliştirme ve zenginleştirme işlemleri de alansal hesaplamalar için önemli katkılar sunarken orman altındaki veri eksikliği nedeniyle yükseklik boyutunda gereken katkıyı sağlayamamaktadırlar. Orman altı topoğrafya, stereo değerlendirmede, bölgede mevcut yangın yolları, hat tipi sürekli su oluşumlarının yüzeyleri vb. breaklinelara kot basılarak veya buralardan eşleştirme noktası toplanarak enterpolasyona dayalı genellemenin neden olduğu düşük doğrulukla modellenmeye çalışılmaktadır.

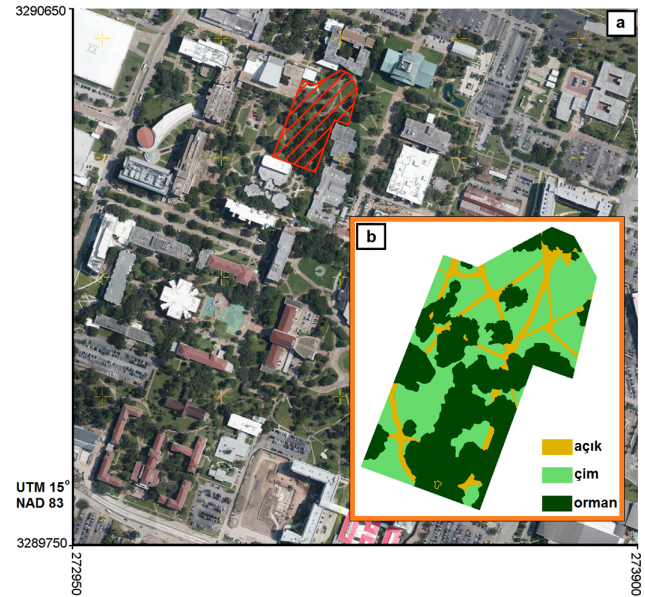
Aktif uzaktan algılama yöntemlerinde ise durum farklıdır. Mikrodalga ve lazer sistemler sinyal transferi teknolojisini kullanmakta ve bu sinyallerin değişik oranlarda orman penetrasyon yeteneği bulunmaktadır. Yapay açıklıklı radar (SAR) uydu misyonlarında orman penetrasyon yeteneği dalgaboyuna bağlıdır ve orman altı topoğrafik yapı ancak çok uzun dalgaboyuna sahip bandlarla (P-band, L-band vb.) elde edilebilmektedir. Ancak, SAR sistemlerde dalgaboyu arttıkça mekansal çözünürlük azalmaktadır ve halihazırda Spotlight görüntüleme modlarında yüksek çözünürlükler ( $\approx 1m$ ) sunan TerraSAR-X ve Cosmo-SkyMed gibi devrimsel X-band misyonları daha kısa dalgaboyları kullandıklarından orman penetrasyonu sağlayamamaktadırlar (Roth, 2003; Covello et al., 2010). Diğer bir açıdan, uzun dalgaboylu SAR misyonları da tekil ağaç bilgisine dayalı orman envanter çalışmalarında yeterli mekansal çözünürlüğe sahip olmadıklarından gerekli bilgi içeriğini sunamazlar.

İşte tam bu noktada ALS, sağladığı yüksek doğruluklu yoğun nokta bulutları sayesinde alternatif bir uzaktan algılama yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır (Koch et al., 2006). Çoklu dönüş prensipli lazer ışınları orman penetrasyon yetenekleri ile orman altı topoğrafya hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlamaktadırlar. İlk ve son dönüş sinyallerinin çözümüne dayalı olarak ormanlık alanlardaki ağaç yükseklikleri hesaplanabilmektedir. Meşcere orta boyunun tespitine yönelik meşcere ağaç yüksekliklerinin belirlenmesinde oldukça yüksek doğruluk yüzdelerine ulaşılmaktadır. (Nilsson, 1996; Suarez, et al., 2005; Andersen et al., 2006; Kwak et al., 2007; Akay vd., 2009). Ancak, gerçeğe en yakın modellemenin yapılması hedeflendiğinde bu yöntemde kendi içinde bazı zorlukları ve çözüm gerektiren noktaları ortaya çıkmaktadır. Çalışmada, üretim ve değerlendirmenin yanısıra karşılaşılan ana problemlere ilişkin çözüm önerileri de sunulmuştur. Çalışma, hedefleri doğrultusunda 4 bölüme ayrılmıştır. İkinci bölümde çalışma alanı, ALS ve yersel lazer tarama (TLS) ölçümleri ve ölçü aletlerinin özellikleri üzerinde durulmuştur. Üçüncü bölümde, ana işlem adımlarını içeren özet metodoloji bilgisi verilmiş, dördüncü bölümde ise elde edilen sonuçlar ortaya konmuş ve yorumlanmıştır. Çalışma, sonuç kısmı ile sonlandırılmıştır.

## 2. ÇALIŞMA ALANI VE VERİLER

Çalışmanın amaçları doğrultusunda, Amerika Birleşik Devletleri, Teksas Eyaletinin başkenti olan Houston kentindeki Houston Üniversitesi Merkez Kampüsü test alanı olarak

belirlenmiştir (Şekil 1a). Bu alanda, Üniversite bünyesinde hizmet veren Hava Kaynaklı Lazer Haritalama Ulusal Merkezi (NCALM) tarafından uçuş gerçekleştirilerek ALS verileri elde edilmiştir. Çalışma, orman meşcereleri üzerine olduğundan kampüs içerisinde 13000 m<sup>2</sup> büyüklüğünde orman yoğun bir alan seçilmiş ve bu alanda TLS ölçümleri de gerçekleştirilerek analizler için veri bütünlüğü sağlanmıştır. Seçilmiş alanda açık, çim ve orman olmak üzere üç arazi sınıfı bulunmaktadır (Şekil 1b) ve ortometrik yükseklikler 10m-33m arasında değişmektedir. Çalışma alanının ALS verileri Optech Gemini ALTM (DI, 2014), TLS verileri ise Riegl VZ-400 (Riegl, 2014) aletleri ile elde edilmiştir. Tablo 1, gerçekleştirilen ölçümler ve ölçüm aletleri ile ilgili bilgileri listelemektedir.



Şekil 1. Houston Üniversitesi Merkez Kampüsü üzerinde çalışma alanının konumu (a) ve içerdiği arazi sınıfları (b)

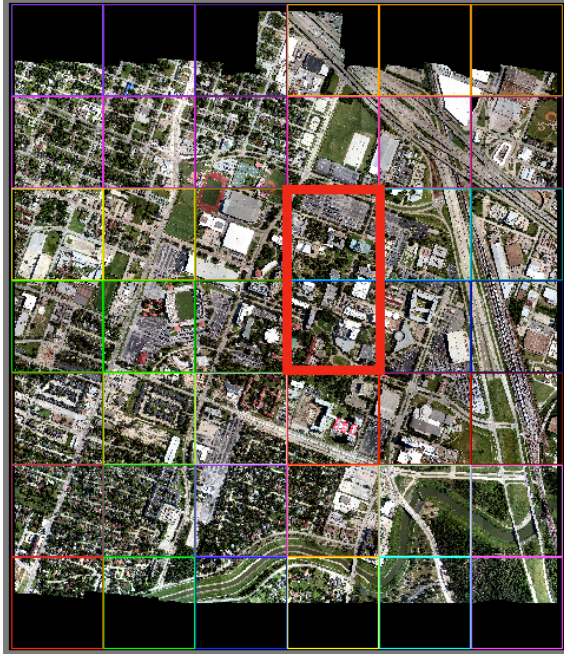
## 3. METODOLOJİ

Çalışmada, ALS verilerinin işlenmesi, dijital yeryüzü modellerinin ve üç boyutlu (3B) meşcere yükseklik haritasının üretimi ve performans değerlendirmelerinde Terrascan, ENVI, Surfer, BLUH ve LISA yazılımları kullanılmıştır. Tüm üretimlerde ve hesaplamalarda, Universal Transverse Mercator (UTM) 15° koordinat sistemi ve North American Datum 1983 (NAD83) datumu kullanılmıştır. Geoid ondülasyonu 27.284m olarak uygulanmıştır.

Parametre	ALS	TLS
Ölçüm aleti	Optech Gemini ALTM	Riegl VZ-400
Tarih	06/23/12	11/13/13
Yılın günü	175	317
Nokta yoğunluğu (m <sup>2</sup> )	45	$\approx 10000 \leq 10m$ yatay mesafede
Puls ritmi (kHz)	167	300
Dalgaboyu (nm)	1064	1550
Tarama frekansı (Hz)	0-70	N/A
Işın genişliği (mrad)	0.25	0.35
Bakış açısı (°)	-25 to +25	360 yatay (-40)-(+60) düşey
İrtifa (m)	1000	N/A
Eko sayısı	4	$\approx$ sınırsız

Tablo 1. Ölçme ve ölçüm aletlerinin özellikleri

ALS verileri, tüm Üniversite Merkez Kampüsünü içine alacak şekilde elde edilmiş, ham verinin çalışılabilir hale gelmesi için gerekli ön-işlemleri (kalibrasyon, şerit çözümleri vb.) NCALM tarafından tamamlanmış ve nokta bulutlarının yoğunluğu nedeniyle bilgisayar kapasiteleri gözönüne alınarak üzerinde hızlı çalışabilmek için herbiri 1×1km boyutlarındaki 42 karoya ayrılmıştır. Şekil 2, ALS uçuşu sırasında entegre çekilmiş hava fotoğrafları mozaigi üzerinde çalışmada kullanılan iki karoyu göstermektedir.

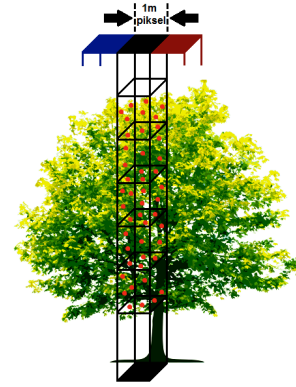


Şekil 2. Çalışmada kullanılan karolar (kalın kırmızı)

Karoların belirlenmesinin ardından, test alanı bir çalışma bloğu içine alınmış ve kaba nokta eliminasyonu için gerekli filtreleme işlemleri yapılmıştır. Kaba nokta filtreleme işlemleri üç ana kısımdan oluşmaktadır. Öncelikle düşey profiller çizdirilerek çalışma alanındaki ilk ve son sinyal ekolarına bağlı olarak oluşan ana üst ve alt kotlar belirlenmiş, sonrasında dijital yüzey modeli sınıfı açılmış ve mutlak yükseklik sınıflandırması kullanılarak düşey profil kot aralığında kalan noktalar bu yeni sınıfa dahil edilmiştir. Bu sayede kaba kotlu noktalar (batık vb.) yaratılan yeni sınıfta hariç bırakılmıştır. Kaba nokta filtreleme sonrasında veriler dijital yüzey modeli üretimine hazır hale gelmiştir.

Bilindiği gibi, uzaktan algılama verileri ile dijital yeryüzü modelleri üretimlerinin ana unsuru enterpolasyondur. Bu noktada, ALS verileri ile dijital yüzey modeli üretiminde diğer uzaktan algılama tekniklerinde rastlanmayan bir problem gün yüzüne çıkmaktadır. ALS, çok yoğun nokta bulutları içerdiğinden dijital yüzey modeli üretiminde raster'ın her bir pikseli içine ağaç, duvar vb. düşey nesnelere çok sayıda yükseklik değeri isabet etmektedir. Bu durum, şekil 3'te gösterilmiştir.

ALS verisi ile dijital yüzey modeli üretilirken düşey nesnelere tepeler hatları modellenecek olduğundan her piksel için maksimum kotla gri değer hesaplanmalıdır. Bu nedenle çalışmada, ALS yeryüzü modellerinin üretiminde bilim dünyasında en sık kullanılan ve ortalamaya dayalı işlem yapan Kriging enterpolasyon algoritması (Yang et al., 2004) yerine maksimum nokta kotuna dayalı enterpolasyon tercih edilmiştir.



Şekil 3. Yoğun kot varlığı problemi (kot noktaları kırmızı)

Dijital yükseklik modelinin üretiminde ise çıplak yeryüzü topoğrafyasının modellenmesi hedeflendiğinden ALS verileri içerisinde yalnızca yer sınıfındaki noktalar kullanılmıştır. Enterpolasyon metodu olarak en yakın komşuluk tercih edilmiştir.

ALS verilerinden 3B yeryüzü modeli üretiminde dikkat edilmesi gereken bir diğer problem, oluşacak raster'ın sınır piksellerinde enterpolasyon kaynaklı oluşacak deformasyonlardır. Uygulamada, her iki yeryüzü modelinin üretiminde de belirlenen bloğun olması gerekenden daha geniş tutulması ve gerçek üretim alanının üretim sonrası kesilerek alınmasıyla model köşelerinde deformasyon olmaması sağlanmıştır.

Bilimsel çalışmalara göre uzaktan algılama verilerinden üretilen 3B yeryüzü modellerinin grid aralığının kullanılan verinin yer örnekleme aralığının üç katı kadar olması en optimal seviyedir (Bochenek, 2007; Baltsavias et al., 2008). Aksi halde enterpolasyon, düşey doğruluk üzerindeki negatif etkisini artıracaktır. Bu noktadan hareketle, ALS verilerinin 7-8cm ortalama nokta bulutu yoğunluğuna uygun olarak yaratılan modellerin grid aralığı 25cm olarak tayin edilmiştir.

ALS verilerinden üretilen dijital yüzey modellerinin bir diğer sorunu yoğun veri ve küçük grid aralıkları nedeniyle orman ve hemen dışındaki çıplak topoğrafya arasında enterpolasyona bağlı ortalama gri değerli pikseller oluşmasıdır. Bu durum, 3B görüntüde ağaçların çıplak topoğrafyaya yapışık görünmesine ve düzgün tasvir edilememesine sebep olmaktadır. Sorun, komşu piksellerde belli yükseklik seviyeleri aşıldığında ilgili pikselleri elemine eden bir filtreleme algoritmasıyla aşılabılır. Çalışmada, test alanının yükseklik değişim karakteristikleride gözönüne alınarak benzer prensiple geliştirilmiş bir filtreleme metodu kullanılmıştır.

3B meşcere yükseklik haritası, yukarıda belirtilen ana adımlardan geçirilerek elde edilen dijital yüzey ve yükseklik modellerinin diferansiyelinin alınması (eşitlik 1) yani normalleştirilmiş dijital yüzey modelinin (nDSM) hesaplanması ile üretilmiştir. ALS verilerinden elde edilen dijital yüzey, yükseklik modelleri ve nDSM tabanlı meşcere yükseklik haritasının mutlak yatay ve düşey konum doğrulukları, TLS verilerinden elde edilen eş ürünlerle model bazlı kıyaslama yöntemiyle hesaplanmıştır. Mutlak yatay konum doğrulukları üretilen modellerle referans arasında nesne tabanlı çarpaz korelasyon mantığıyla hesaplanmıştır. Mutlak düşey konum doğruluğu hesaplanmasında (eşitlik 2) arazi eğiminden kaynaklı etki de eğim çarpanıyla birlikte hesaplamalara dahil edilmiştir.

$$nDSM = DSM - DEM \quad [1]$$

$$A_Z = \sigma_{AZ} + b \times \tan(\alpha) \quad [2]$$

Eşitlikte,  $A_Z$  üretilen haritanın mutlak düşey konum doğruluğunu,  $\sigma_{AZ}$  ALS ve TLS haritaları arasındaki yükseklik farklarının standart sapmasını,  $b$  eğim çarpım faktörünü ve  $\alpha$  arazi eğimini yansıtmaktadır.

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

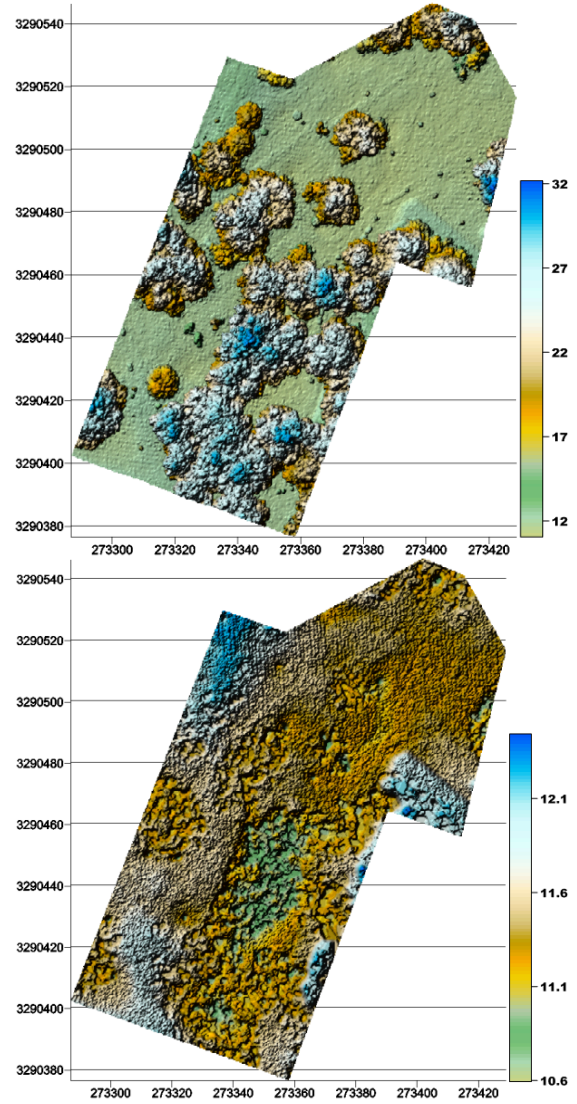
Üretilen ALS dijital yüzey ve yükseklik modelleri Şekil 4'te yükseklik ölçeği ile birlikte gösterilmiştir. Yüzey modelinde yüksekliklerin, yaklaşık 10.5-33m arasında, yükseklik modelinde ise 10.5-12.5m arasında değiştiği görülmektedir.

ALS dijital yüzey modeli, yoğun nokta bulutları ve 25cm grid aralığı sayesinde ormanları oldukça detaylı ve gerçeğe yakın şekilde yansıtmaktadır. ALS dijital yükseklik modelinde ise yoğun orman altındaki yer sınıfına ait noktaların daha az sayıda olması nedeniyle enterpolasyonun etkileri daha net şekilde görülmektedir. Üretilen ALS modellerinin yatay ( $A_X$  ve  $A_Y$ ) ve düşey ( $A_Z$ ) mutlak konum doğrulukları Tablo 2'de sunulmuştur. Her iki modelinde yatay konum doğruluğunun 10cm altında olduğu, düşey konum doğruluklarının ise yaklaşık 10cm olduğu belirlenmiştir.

Şekil 5'te, üretilen 3B meşçere yükseklik haritası görülmektedir. Şeklin sağ tarafındaki skalada renklere göre orman ağaç yükseklikleri bulunmaktadır. Tablo 3, üretilen meşçere haritasının üç boyuttaki mutlak konum doğruluğunu yansıtmaktadır.

Referans model	Test edilen model	$A_X$ (m)	$A_Y$ (m)	$A_Z$ (m)
TLS Dijital yüzey modeli (0.25m)	ALS Dijital yüzey modeli (0.25m)	0.02	0.03	0.09 +0.33 × tan( $\alpha$ )
TLS Dijital yükseklik modeli (0.25m)	ALS Dijital yükseklik modeli (0.25m)	0.09	0.04	0.13 +0.07 × tan( $\alpha$ )

Tablo 2. ALS modellerinin yatay ( $A_X$  ve  $A_Y$ ) ve düşey ( $A_Z$ ) mutlak konum doğrulukları

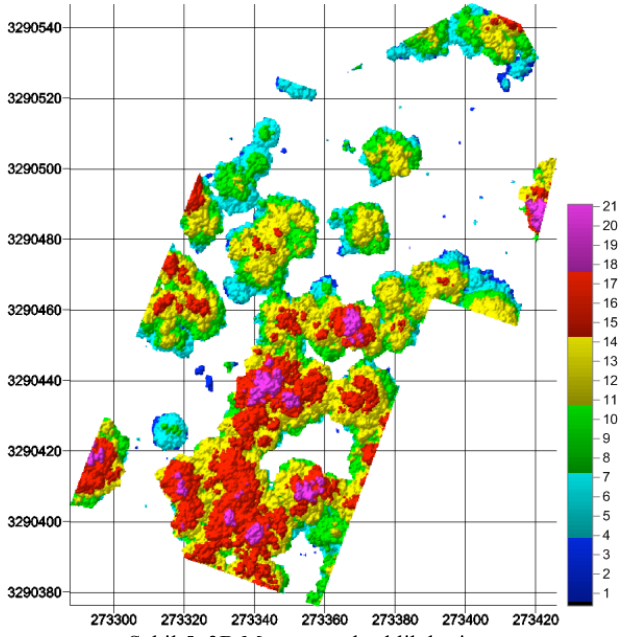


Şekil 4. ALS dijital yüzey modeli (üst kısımda) ve dijital yükseklik modeli (alt kısımda)

Referans	Üretilen	$A_X$ (m)	$A_Y$ (m)	$A_Z$ (m)
TLS nDSM (0.25m)	ALS nDSM (0.25m)	0.01	0.04	0.48

Tablo 3. Üretilen meşçere haritasının mutlak konum doğruluğu

Tablo 2 ve 3 kıyaslandığında, üretilen ALS dijital yüzey ve yükseklik modelleri ile nDSM'in yatay konum doğruluklarının oldukça benzer ve 10cm'nin altında olduğu izlenirken, düşey konum doğruluklarında nDSM'in diğer modellerden farklı olduğu ve doğruluğun 48cm'ye kadar düştüğü görülmektedir. Bunun nedeni, dijital yüzey ve yükseklik modellerinin doğruluk hesabında düşey konum doğruluğu oldukça yüksek olan açık ve çim alanların bulunması, nDSM hesabında ise çıplak topoğrafyanın dijital yüzey modeli altından çekilmesi sonucu yalnızca orman sınıfıyla çalışılmasıdır.



Şekil 5. 3B Meşcere yükseklik haritası

Sonuçlar incelendiğinde, çalışma alanında ALS verileri ile elde edilen 3B meşcere yükseklik haritasının görsel tatmini yanında yatay ve düşey mutlak konum doğrulukları olarak 1/1000'lik topoğrafik harita üretim standartlarını (Tablo 4) sağladığı görülmüştür.

Tablo 4. Ölçeklerine göre topoğrafik haritaların ihtiyaç duyulan konum doğrulukları (NDEP, 2004)

Harita ölçeği	Kontur aralığı (m)	Düşey doğruluk (~) (m)
1 : 1000	1	0.3-0.4
1 : 2000	2	0.6-0.7
1 : 5000	5	1.5-2.0
1 : 10000-1 : 25000	10	3.0-4.0
1 : 50000	20	6.0-7.0
1 : 100000	50	15.0-16.0

## SONUÇ

Bu çalışmada, hava kaynaklı lazer tarama verileriyle üç boyutlu meşcere yükseklik haritası üretimi ve üretilen haritanın potansiyelinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışmanın hedeflerine uygun olarak Amerika Birleşik Devletleri, Houston kentinde, Houston Üniversitesi Merkez Kampüsünde orman yoğun bir test alanı üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Harita üretiminde, yaygın bir yöntem olan normalleştirilmiş dijital yüzey modeli kullanılmıştır. Bu bağlamda, hava kaynaklı lazer tarama verilerinden önce 25cm gridli dijital yüzey ve yükseklik modelleri üretilmiş sonrasında bunların diferansiyelinden normalleştirilmiş dijital yüzey modeli yaratılmış, koordinat çerçeveleri ve yükseklik skalasının eklenmesiyle üç boyutlu meşcere yükseklik haritası elde edilmiştir. Üretilen 3B harita kullanılarak, "ortalama meşcere boyu" başta olmak üzere birçok önemli meşcere parametresi rahatlıkla hesaplanabilir duruma gelmiştir.

Gerçekleştirilen yersel lazer tarama ölçümlerinden üretilen harita ile kıyaslamaya dayalı yapılan hesaplamalara göre üretilen haritanın planimetrik mutlak konum doğruluğunun X ve Y yönünde sırasıyla 1cm ve 4cm, düşey mutlak konum doğruluğunun ise 48cm düzeyinde olduğu saptanmıştır. Bu düzey, Amerika Birleşik Devletleri ulusal dijital yükseklik

programı (NDEP) tarafından belirlenen 1/1000 ölçekli topoğrafik harita üretim standartlarını sağlamaktadır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde destekleri bulunan Houston Üniversitesi Hava Kaynaklı Lazer Tarama Ulusal Merkezi çalışanlarına, Bülent Ecevit Üniversitesine, Dr. Karsten Jacobsen'e ve Dr. Wilfred Linder'e teşekkürü bir borç biliriz.

## KAYNAKLAR

Akay, A. E., Oğuz, H., Karas, I, R., Aruga, K. Using LiDAR Technology in Forestry Activities. 2009. *Environ Monit Assess.* 151:117-125.

Andersen, H. E., Reutebuch S. E., Mc Gaughey R. J. A Rigorous Assessment of Tree Height Measurements Obtained Using Airborne LIDAR and Conventional Field Methods.2006, *Can. J. Remote Sensing.* 32,5, 355-366.

Baltsavias, E.P., and D. Stallmann, 1993. SPOT stereo matching for DTM generation, Proceedings of the Conference Integrating Photogrammetric Techniques with Scene Analysis and Machine Vision," 12-16 April, Orlando, Florida.

Baltsavias, E., A. Gruen, H. Eisenbeiss, L. Zhang, and T. Waser. 2008. "High-Quality Image Matching and Automated Generation of 3D Tree Models." *International Journal of Remote Sensing* 29 (5): 1243-1259. doi:10.1080/01431160701736513

Buyuksalih, G., and K. Jacobsen. (2007). "Comparison of DEM generation by very high resolution optical satellites." *New Developments and Challenges in Remote Sensing*, edited by Zbigniew Bochenek, 627-637. Millpress, Rotterdam.

Covello, F., Battazza, F., Coletta, A., Lopinto, E., Fiorentino, C., Pietranera, L., Valentini, G., and Zofolli, S. (2010). Cosmo-SkyMed an existing opportunity for observing the earth, *Journal of Geodynamics*, 49(3-4), pp. 171-180, doi: 10.1016/j.jog.2010.01.001.

DI (Direct Industry). 2014. Catalogue of Optech Gemini ALTM. <http://pdf.directindustry.com/pdf/optech/altm-gemini/25132-53143.html>

Koch, B.; Heyder, U.; Weinacker, H. Detection of individual tree crowns in airborne lidar data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 2006, 72(4), 357-363.

Kwak, D, Lee,W, Lee, J., Biging, G. S., Gong, P. Detection of Individual Trees and Estimation of Tree Height Using Lidar Data. 2007, *Journal For. Res.* 12:425-434

NDEP, 2004. Guidelines for Digital Elevation Data, Version 1.0, National Digital Elevation Program (NDEP), May 2004, Available via DIALOG. [http://www.ndep.gov/NDEP\\_Elevation\\_Guidelines\\_Ver1\\_10May2004.pdf](http://www.ndep.gov/NDEP_Elevation_Guidelines_Ver1_10May2004.pdf)

Nilsson, M. Estimation of Tree Heights and Stand Volume Using Airborne Lidar System. *Remote Sensing. Environ.* 1996,56:1-7.

Riegl. 2014. VZ-400 Product Details. [http://www.riegl.com/products/terrestrial-scanning/produktdetail/product/scanner/5/.](http://www.riegl.com/products/terrestrial-scanning/produktdetail/product/scanner/5/)

Roth, A. (2003). TerraSAR-X: A new perspective for scientific use of high resolution spaceborne SAR data. 2nd GRSS/ISPRS Joint Workshop on Data Fusion and Remote Sensing over Urban Areas, Berlin, 22–23 May 2003.

Juan, C. Suarez, C. J., Ontiveros, C., Smith S., Snape, S. Use of Airborne Lidar and aerial Photography in The Estimation of Individual Tree Heights in Forestry. *Computers & Geosciences*, 2005, 31, 253–262.

Yang C. S., S. P. Kao, F. B. Lee, and P. S. Hung. 2004. "Twelve Different Interpolation Methods: A Case Study of Surfer 8.0." XXth ISPRS Congress, Istanbul, Turkey, July 12-23, 778-785.