



## Teknik Not

# LIDAR (LIGHT DETECTION AND RANGING) TARAMA SİSTEMİ

H.Murat Yılmaz<sup>a</sup>, Murat Yakar<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Bölümü  
Aksaray

<sup>b</sup>Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Bölümü  
Konya

## ÖZET

Gerçek dünyanın simülasyonu, animasyonu, modellemesi ve alan görüntüleme gibi konumsal uygulamalar ancak üç boyutlu çalışmalarla yapılabilmektedir. Günümüzde, yüksek doğrulukta yükseklik verisine olan talep hızla artmaktadır. Algılayıcı teknolojisindeki gelişmeler ve hesaplama gücünün sürekli gelişmesi ile yer referanslı teknolojiler günümüzde konumsal modellemede benzersiz fonksiyonellik ve esneklik getirebilmektedirler.

Sayısal yükseklik modeli konuma bağlı arazi detaylarının tanımlanmasında temel bir bilgi kaynağıdır. Günümüzde sayısal yükseklik modelleri IFSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar), LIDAR (Light Detection And Ranging), Fotogrametri ve Jeodezik ölçme gibi birçok metotlarla üretilmektedir. Bu metotlar teknolojik perspektif açısından farklı olmalarına rağmen üç boyutlu konumsal veri üretiminde benzer bir amaca ulaşmak için kullanılan farklı metotlardır.

Günümüzde DEM (Digital Elevation Model-SYM) üretiminde yoğun olarak kullanılmaya başlayan sistemlerden biri de LIDAR (Light Detection And Ranging) sistemidir. LIDAR, bugün kullanılan en yeni teknolojilerden biridir. LIDAR teknolojisi ile iyi kontrol edilmiş şartlar altında 15 cm'lik düşey doğruluğa erişilebilmektedir. LIDAR büyük alanların haritalarının üretiminde daha ekonomik bir sistemdir. LIDAR teknolojisinin uydu platformlu (spaceborne) ve hava platformlu (airborne) olmak üzere iki türü vardır. Bu çalışmada 20. yüzyılın sonlarına doğru gelişen ve günümüzde uygulanmaya başlanan airborne LIDAR teknolojisi ve temel özellikleri anlatılacaktır.

## 1. GİRİŞ

Yeryüzünün modellenmesine, hangi amaçla olursa olsun yeryüzü haritalarının yapılmasına olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Harita üretiminde ve yer yüzünün modellenmesinde en önemli veri yeryüzündeki noktaların üç boyutlu koordinatlarıdır. Bu koordinatların minimum zaman ve maliyetle en hassas şekilde elde edilmesi arzu edilir. Harita üretimleri ilk yıllarda klasik jeodezik ölçme metotları ile başlamış daha sonra bununla birlikte büyük alanların haritalarının üretiminde fotogrametrik yöntemler kullanılmaya başlamış, gelişen teknoloji ile birlikte jeodezik ölçmelerde daha hassas, daha hızlı ve daha geniş ölçme imkanı sunan GPS (Global Positioning System) teknolojisi kullanılmaya başlanmış, fotogrametrik yöntemlerde dijital kameralar kullanılarak nokta konumları daha hassas olarak elde edilmeye başlamış ve bu teknolojilerle birlikte harita üretimi için harcanan emek minimum seviyelere indirilmiştir.

Bir çok disipline veri sağlayan ve bir çok projede temel altlık olarak kullanılan haritalara olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Haritaların kullanım amaçlarına göre belli bir doğrulukta ve kısa bir zaman

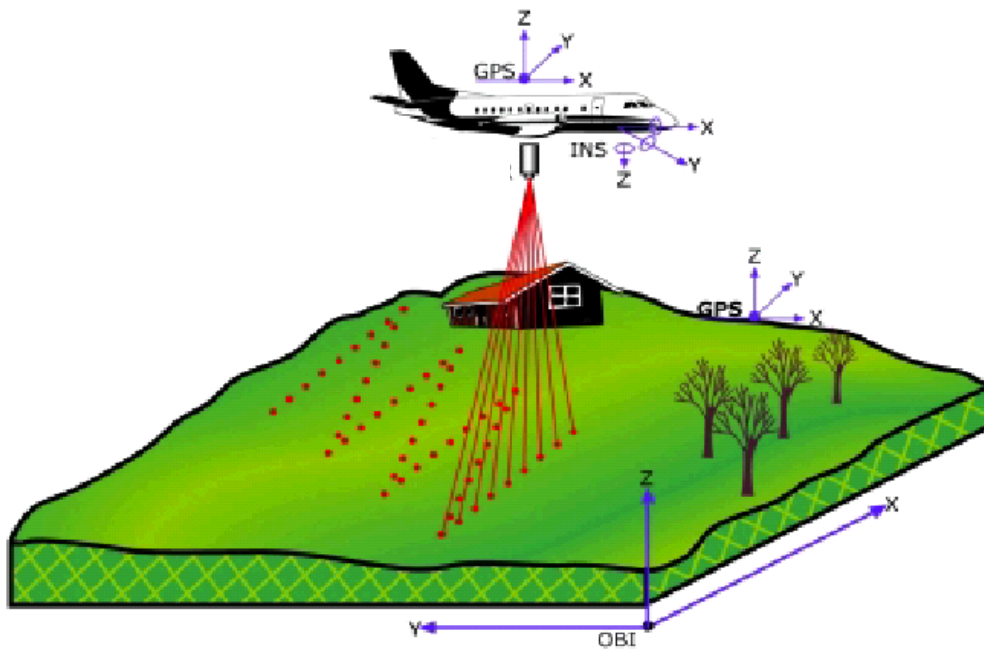
sürecinde üretilmesi gerekebilir. 21. yüzyılda bilim ve teknolojiadaki gelişmelerden harita üretim teknolojileri de üzerine düşen payı almış ve bu doğrultuda mevcut harita üretim yöntemleri daha da geliştirilmiş ve bunun yanında yeni yeni teknolojiler ortaya konmuştur.

Günümüzde harita üretiminde kullanılmaya başlanan sistemlerden biri de LIDAR (Light Detection And Ranging) tarama sistemidir. 20. yüzyılın sonlarına doğru gelişmeye başlayan LIDAR tarama sistemleri artık günümüzde bazı ülkelerde uygulanmaya başlamış ve oldukça iyi sonuçlar alınmaktadır. Gelişen teknolojiye bağlı olarak harita üreten ve kullanan kuruluşların teknolojilerin gerisinde kalması düşünülemez. Sistemin her açıdan optimum bir seviyeye ulaştığı andan itibaren kullanımının büyük bir hızla artacağı da kaçınılmazdır. Bu nedenle harita üreten ve kullanan kurum ve kuruluşların bu teknolojilere uzak kalmaması gerekmektedir.

## 2. LIDAR (LIGHT DETECTION AND RANGING)

LIDAR (Light Detection And Ranging) radara benzer aktif bir algılayıcıdır, bir hedefe sinyaller gönderilir ve bu sinyallerin hedeften algılayıcı alıcısına dönene kadar geçen zamanı kayıt ederler. LIDAR lazer altimetresini (yükseklik ölçer), lazer tarayıcısını ve radar'ı (Lazer Detection and Ranging) kapsar (Flood, 1999). Bu teknoloji şu anda, yüzey yüksekliklerini belirlemek için sinyal dönüş hızını ölçen ve uçağın altına IMU (Inertial Measurement Unit) ve GPS teknolojisi ile entegre edilmiş bir LIDAR algılayıcı bağlanarak yüksek çözünürlüklü topoğrafik haritalama için kullanılmaktadır. LIDAR teknolojisi 1960'ların sonunda gelişmeye başlamış ve ilk ticari LIDAR topoğrafik haritalama sistemi 1993 yılında faaliyete geçmiştir. LIDAR veri ürünleri bir çok topoğrafik uygulamalarda kullanılmaktadır. Son yıllarda lazer, dike yakın gerçekleştirilen uçuşlarda yeryüzünün profilinin çıkartılmasında da kullanılmaktadır (Wehr v.d., 1999).

Lidar verisinin pek çok avantajları vardır. İlk olarak atmosferik çalışmaları, deniz seviyesi ölçümlerini, buzul araştırmalarını kullanan çok yönlü bir teknolojidir. Lidar pek çok araziye ait harita üretim çalışmalarında kullanılmaktadır. Bu teknoloji DEM modeli için yüksek doğruluk ve yüksek nokta yoğunluğu sunar. Bundan başka proje süresini de %30 varan oranlarda hızlandırır. LIDAR yükseklik farkının az olduğu yerlerde ve nispeten düşük yoğunluktaki bitki örtüsüne sahip alanlarda daha etkili bir kullanıma sahiptir (Wehr v.d., 1999).



Şekil 1. LIDAR sisteminin geometrik yapısı

Yer kontrol noktalarının görülmesinin çok zor olduğu sahil ve ormanlık alanlarda lidar daha hassas veri toplama imkânına sahiptir (Bortolot v.d., 2005; Suarez v.d., 2005).

Lidarın birkaç tane de dezavantajı vardır. Bunlardan birisi ekipman maliyetinin şimdilik yüksek olmasıdır. Teknolojideki gelişmelerle bu maliyetin hızlı bir şekilde düşeceği düşünülmektedir.

Lazer tarayıcı sistemlerinin iki temel tipi vardır: Atım (pulse) ve dalga formu. Atım formu topoğrafik uygulamalarda yaygın olan tiptir. Bunda lazerden kesikli sinyaller gönderilir ve bir ya da daha fazla sinyal kayıt olarak geri döner. Dalga formu sürekli sinyal kullanır ve sürekli ya da ona yakın bir sinyal geri döner (Gray v.d., 1993; Nelson v.d., 2005).

LIDAR lazer tarayıcı, GPS ve IMU'dan oluşan üç temel veri toplama aracının bir arada kullanılmasından oluşan bir sistemdir (Şekil 1). Lazer tarayıcısı uçağa hava kamerası olarak monte edilir. Lazer tarayıcı yeryüzüne daha sonra yeryüzünden yansıtılacak olan kızıl ötesi (infrared) sinyal (her yerde saniyede 10 000-100 000 pulse olacak şekilde) gönderir. Tarayıcıdan gönderilen sinyallerin sayısı sinyal tekrarlama oranı (pulse repetition rate- PRF) ile ilgilidir ve KHz biriminde ölçülür. 10 KHz, 1 saniyede 10 000 sinyal gönderiyor demektir. LIDAR sisteminde lazer ışının bu yolculuğu tamamlayıncaya kadar geçen süre ölçülmektedir (Fochesatto v.d., 2004; Latypov, 2005; Streutker v.d., 2006). LIDAR haritalama teknolojisinin sık kullanılan algılayıcılarına ait bazı temel özellikleri tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. LIDAR teknolojisinin genel özellikleri

<b>Topoğrafik LIDAR Özellikleri</b>	
Sinyal hızı	≤ 40 KHz
Dalga boyu	1.045 – 1.065 μm
Yükseklik	300-2000 m
Tarama genişliği	0.70 x yüksekliğe kadar (m)
Düşey doğruluk (RMSE)	Yaklaşık olarak 15 cm
Yatay doğruluk (RMSE)	≤ 1 m
Çözünürlük	≥ 0.75 m
Arazide lazer izi	≤ 0.50 m

Yüzey yapısına bağlı olarak lazer altimetresinde iki farklı lazer çeşidi kullanılır. Yeryüzü yüzeyi için, topoğrafik lazer olarak adlandırılan, elektro manyetik enerji spektrumunun kızıl ötesi bölümü kullanılır. Batimetrik lazer altimetre ölçümleri için elektro manyetik spektrumun mavi/yeşil bandı kullanılır. Bunun sebebi lidar ünitesine yansıyan sinyali gönderecek hiç ya da çok az yansıtıcı yüzeyin bulunmasıdır. Başka bir fark da mavi/yeşil dalga boylarının iki misli bir frekansa sahip olmalarıdır. Sinyallerden biri deniz yüzeyinden yansıyor diğeri deniz dibine indiği için bu batimetrik derinliğin (deniz derinliği) hesaplanmasını sağlar. Suyun derinliği ayrı ayrı dönen iki sinyal farkı kadardır.

Lidar sisteminin gereği gibi çalışabilmesi için her bir bileşenin iyi zamanlanması çok önemlidir. GPS konum bilgisinin ne zaman ölçüldüğünü, IMU verisinin ne zaman kaydedildiğini, lazer sinyalinin ne zaman gönderildiğinin ve tabii ki ne zaman döndüğünün bilinmesi çok önemlidir. Lidar üç farklı bileşenden oluştuğu için her bir bileşenin zamanlamasını diğerlerine uydurmak mümkün olmayabilir. Zamanlamalarını uyumlu hale getirmek proses yapmayı gerektirir (Baltasvias, 1999)

GPS alıcısı uçuş süresince genellikle 1 saniyede bir alıcının konumunu tespit eder. Fakat uçaklar 1 saniyede 50m.'den fazla yol kateder. Demek oluyor ki aralarda lazer tarayıcı konum bilgilerinin enterpole edilmesi gerekir. IMU, algılayıcıların dönüklük değerlerini tespit eder.

Elde edilen sonuçların tek bir yer referans siteminde olması arzulanır ancak ölçüm için üç farklı sistem kullanılması durumu güçleştirir. Verilerin yer referans sistemine çevrilmesi için yer kontrol noktalarına ihtiyaç vardır. Bunlar uçak koordinatlarını yer koordinatlarına çevirmek için gerekli parametrelerin hesaplanmasında kullanılır (Toth, 2001).

Lazer, Lidar sisteminin önemli bir birleşenidir. Lazer, optik enerji yaratabilmek için kimyasal ve elektrik enerjisini girdi olarak alır. Bu dönüşüm sırasındaki en büyük problem gönderilen lazer ışınlarının yalnızca %1-10'nun geri dönüşünde yeterli enerjiye sahip olmalarıdır yani büyük orandaki enerji kaybıdır. Bu durumda pek çok özelliği olması arzu edilen sinyal üretilir. Bu özellikler aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

L - Yüksek parlaklık

$\lambda$  - Kısa dalga boyu

$\Delta\lambda_\tau$  - Dar spektral genişlik (Saf, arı renk)

$\tau$  - Kısa pulse süresi

PRT – Yüksek pulse tekrarlama oranı

$Q_t$  – Lazer ışını ayrışması

Bu özellikler Lidar için şu avantajları sağlar. Geniş L ve küçük dalga boyu hedefin küçük bir alan olmasını sağlar. Geniş L yüksek uçuş yüksekliğine neden olur. Yüksek düşey doğruluk, küçük pulse oranının ve küçük  $\tau$ 'nin bir ürünüdür. Son olarak, dar spektral genişliğin kullanımı ve radyasyon kaynağının kontrol edilmesi, gece ya da gündüz boyunca çalışabilmeyi sağlar (Goldstein, 1988).

### 3. LIDAR TEKNOLOJİSİNDE VERİLERİN İŞLENMESİ

İlk uçuş tamamlandıktan sonra ham lidar verileri post prosese sokulur. Yukarı doğru eğim mesafesi geri dönen her sinyal için hesaplanır. Bu veri daha sonra atmosferik etkilerden arındırılır. Üç düzlemdeki dönüklükler IMU sayesinde bulunur. Daha sonra bu dönüklük açıları gelen sinyallerin eğikliklerini düzeltmek için kullanılır. GPS verileri bunlardan ayrı olarak tek başına proses edilir ve daha sonra Lidar proses sitemine dahil edilir. Algılayıcıların konumlarının ve tarama boyunca salınım açısının kullanılması ile yer noktasının yüksekliği kolaylıkla hesap edilebilir. Bu işlemlerin geometrisi Şekil 2'de verilmiştir. Basit trigonometrik eşitliklerden yararlı yere dik olan mesafe;

$$V_A = D_A \cdot \cos \alpha_A \quad (1)$$

bağıntısı ile, algılayıcıların sinyal gönderildiği anındaki konumu ve ortometrik yükseklik ( $X_{\text{sensor}}$ ,  $Y_{\text{sensor}}$ ,  $Z_{\text{sensor}}$ ) uçaktaki GPS ile belirlenir. A noktasının yüksekliği;

$$\text{Elev}_A = H_{\text{sensor}} - V_A \quad (2)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Aynı biçimde uçağın X ve Y koordinatları hesaplanabilir. Örneğin,  $H_A$  noktasının yeryüzündeki düşey hattaki izdüşümünden yatay doğrultudaki uzaklığı basit trigonometrik denklemlerle,

$$H_A = D_A \cdot \sin \alpha_A \quad (3)$$

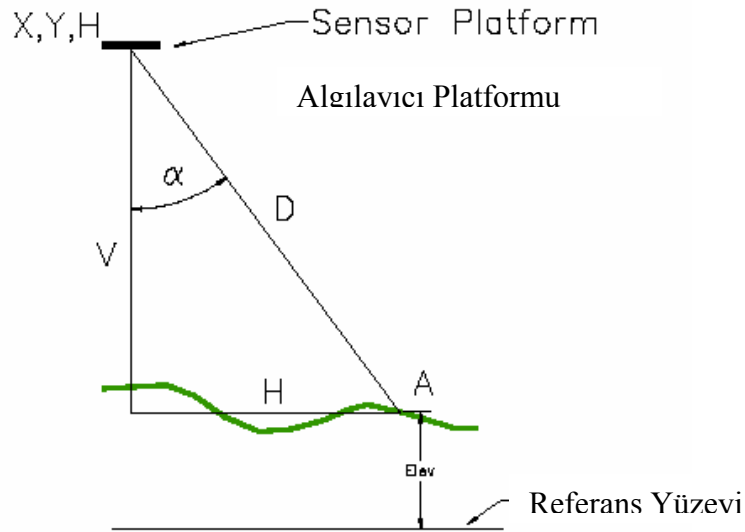
bağıntısı ile hesaplanır.

Eğer uçağın tam kuzeye doğru (Y Eksenı üzerinde) uçtuğu ve tarama açısının sağa doğru (Düşey hattın doğusuna doğru) olduğu kabul edilirse, Y koordinatı aynı kalır ve X koordinatı,

$$X_A = X_{\text{sensor}} + H_A \quad (4)$$

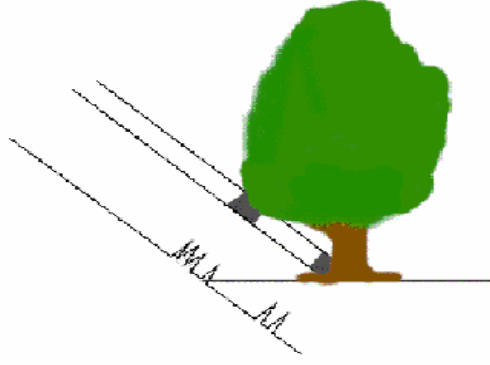
bağıntısı ile hesaplanır.

Yer noktası A'nın X,Y ve H koordinatları bu şekilde hesaplandıktan sonra hepsi yer referans sistemine dönüştürülür. Çoğu zaman uçağın esas istikametinde uçması beklenemez. Bu durumda, algılayıcı koordinatlarının bulunmasında kullanılan  $\Delta X$  ve  $\Delta Y$  basit enlem ve hareket hesaplamaları ile bulunabilir.



Şekil 2. Lazer tarama sinyali (Pulse) geometrisi

Lazer sinyali yüzeje gönderildiğinde birden fazla cisme çarpabilir. Örneğın Şekil 3'deki gibi bir lazer ışını yeryüzüne gönderiliyor. Bazı sinyaller direkt toprağa giderken bazıları önce ağaç yaprakları ile karşılaşır. Sistem ayarlarına bağlı olarak algılayıcılar bu iki veriyi toplayabilir. Bu genellikle "ilk sinyal ilk döner (yapraklara değenler), son sinyal (toprağa gidenler) son döner" şeklinde tanımlanır. Bazı sistemlerde 5 farklı biçimde data toplamak mümkündür. Topoğrafik harita yapımında genellikle son dönen elemanlar esas olarak alınır.

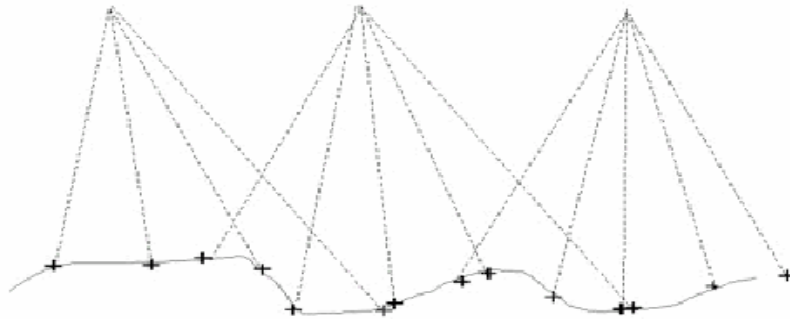


Şekil 3. Lazer sinyali yörüngesi boyunca pek çok cisme temas eder.

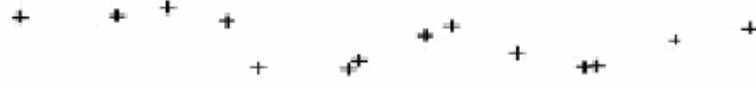
İlk geri dönen sinyallerin toplanması problemlere sebep olabilir. Örneğin, Şekil 4a'da lazer datalarının çıplak araziden toplanmış hali gözükmemektedir. Uyumlu yüzey verileri Şekil 4b'de çizilmiştir ve Şekil 4c'de de pas noktaları ile toplanan verilerin uyumluluğu gösterilmektedir. Şekil 4d'de de gerçek topoğrafya ile oluşturulmuş yüzey arasındaki benzerlik görülmektedir. Şimdi orman örtüsü ile kaplı bir yüzey düşünelim. Çoğu sinyal ormandan ve diğer şeylerden geri yansır. Böyle bir sistemin yükseklik verileri Şekil 5b'de ve yüzeyin noktalara uyumu Şekil 5c'de verilmiştir. Şekil 5d' gerçek yüzey ile toplanan verilerle hazırlanan yüzeyin birbirine uymadığı görülmektedir.

DEM/DTM data ürünleri için çıplak arazi yani yalnızca yeryüzü şekli gereklidir. Böyle bir veriye ulaşabilmek için yüzey üzerindeki bitki örtüsü ve insan yapımı detaylardan yüzeyin arındırılması gerekir. Bu önemsiz bir problem değildir. Pek çok çalışmada yeryüzündeki kontrol noktalarının varlığının sonucu %90 etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Dik ve ağaçlıklı arazide yer noktası ihtiyacı daha da artar. Yer kontrol noktalarının kullanılması post proses zamanını da %90'dan fazla azaltır (Zhou, 2004).

Lazer altimetre sisteminde yalnızca geri dönen pek çok sinyali ölçmez, bu sinyallerin güçlülüğünü de ölçme kapasitesine sahiptir. Bu kapasitenin önemi, kullanıcının bir cismin ne kadar enerji yansıttığını ölçebilmesidir. Farklı cisimler farklı düzeyde enerji yansıttığından, cisimleri enerji yoğunluklarından yararlanarak ayırmak mümkündür. Bu da otomatik detay belirlemede çok önemlidir.



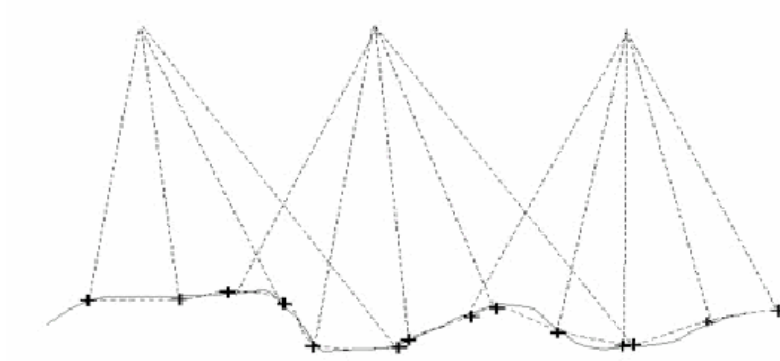
Şekil 4a, Açık yüzeyden elde edilmiş lidar verileri



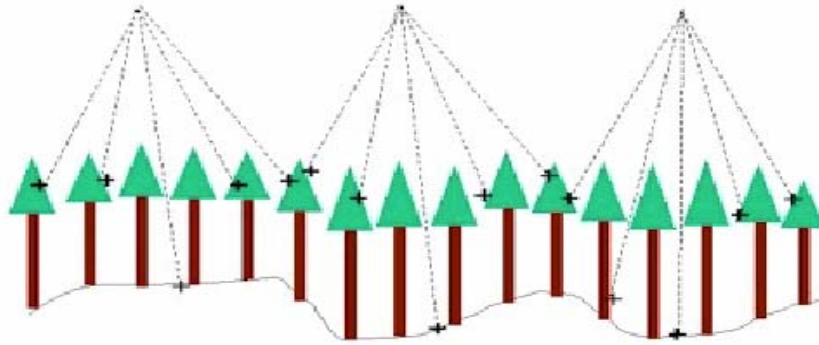
Şekil 4b, LIDAR Geri dönen sinyalleri



Şekil 4c: LIDAR Noktalarından Geçirilen Yüzey



Şekil 4d, LIDAR Verileri ile gerçek yüzeyin karşılaştırılması –İyi uyumlu



Şekil 5a, Bitki örtülü arazide LIDAR verileri

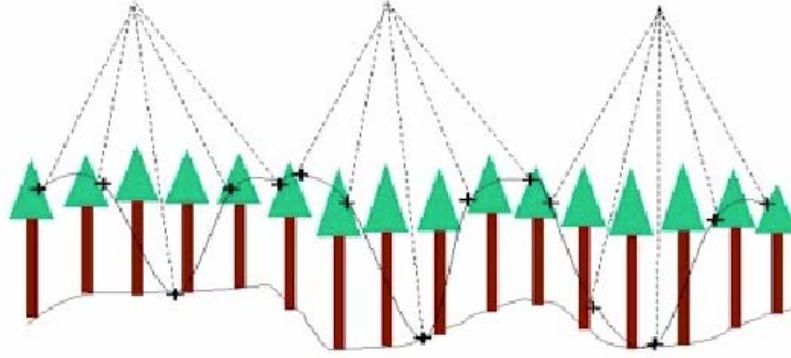


Şekil 5b, LIDAR Geri dönen sinyalleri



Şekil 5c, LIDAR Noktalarından geçirilen yüzey

LIDAR sistemi için standart bir veri formatı yoktur. Fakat ham nokta verisi ASCII formatında oluşturulur. LIDAR veri farklı datum ve projeksiyonda elde edilebilir. Düşey datum için ulusal standart North American Vertical Datum (NAVD 88), yatay datum için ulusal standart North American 1983 (NAD 83) datumu kullanılmaktadır.



Şekil 5d, LIDAR Verileri ile gerçek yüzeyin karşılaştırılması – Uyum zayıf

LIDAR verileri IDL, MATLAB ve TerraScan gibi yazılımlarla işlenebilmekte ve topoğrafik analizler için ESRI ürünleri, ERDAS, ER Mapper gibi yazılımlar kullanılmaktadır.

Çoğu LIDAR sağlayıcılar nokta verilerinin toplanması ile eş zamanlı olarak çözünürlüğü genellikle 1 m olan digital renkli veya siyah-beyaz ortorektifike edilmiş görüntüler toplarlar. Görüntüler ya digital kameralardan ya da digital video kameralardan toplanır ve mozaiklenebilir. Görüntüler her bir lazer sinyali yoluyla gönderilen yoğun değerlerden türetilir. Yoğun değerler siyah-beyaz görüntü olarak görüntülenebilir.

LIDAR uçuş planlaması hava ve çevre faktörleri yüzünden gecikebilir. Proje alanı çoklu uçuşların gerekeceği yeteri kadar büyük olabilir. Milyonlarca ham veri noktasının son işlenmesi zaman alabilir.

LIDAR yoğun bitki örtülü alanların yüzey haritalamasında zorluklara sahiptir. Sinyal dönüşleri yükseklikte değişikliklere sebep olan bitki örtüsü içinden yansıyabilir ve yayılabilir, böylece gerçek arazi yüzeyine nüfuz etme ve geri dönme işlemi sınırlanabilir. Doğruluklar IMU ve uçaktaki GPS 'de var olan hatalar tarafından sınırlanabilir. IMU uçakta oluşan  $\omega$  ve  $\phi$ 'in sebep olduğu koordinat ölçmelerindeki hataları düzeltirken GPS uçağın konumsal x,y,z koordinatlarını kayıt eder. Çoğu LIDAR lazerleri yakın infrared (NIR) radyasyon kullanır. Su, asfalt, katran, bulutlar ve sis gibi belli maddeler ve yüzeyler NIR dalga boylarını yutar ve değersiz veya zayıf sinyal dönüşlerine sebep olur.

#### 4. LIDAR SİSTEMİNDE DOĞRULUK

Lidar sisteminin doğruluğu hakkında pek çok iyimser görüş vardır. Sistemin doğruluğu hakkında yargıya varabilmek için sistemin üç birleşeninden (Lazer tarayıcı, GPS ve IMU) kaynaklanan hatalar göz önünde bulundurulmalıdır. Lidar sisteminin yükseklik doğruluğunun yaklaşık 15 cm olduğu hesaplanmıştır. Lazer altimetresi ile yatay doğruluğu ölçmek çok zordur, ama bu konudaki genel kanı uygun şartlarda hazırlanmış bir projede yatay doğruluğun düşey doğruluktan 1.5 daha kötü olduğudur. Bu, lidar ölçümlerinin tipik sonucu olarak düşünülebilir. Bu varsayım iyi kalibre edilebilmiş ve fonksiyonel doğruluk sistemlerde ve yüzey arazi şartları için idealdir. Bu teorem her zaman doğru olmayabilir. Kural olarak yatay doğruluğun uçuş yüksekliğinin 1:2000 katı olması istenir. Algılayıcı yüksekliği 1200 m'den az olduğunda 15 cm'den daha iyi bir düşey doğruluk ve 1200-2500 m arasında olduğunda 25 m'ye kadar düşey doğruluk çok iyi bir netice olarak değerlendirilmektedir. Lidar doğruluğu ile ilgili ilave bir kaç kural aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Berg v.d., 2000; Huising v.d., 1998; Pereira v.d., 1999; Sapeta).



- Yavaş uçaklar için ayırma aralığı daha küçüktür.
- Daha doğru ve güvenilir bir DTM, daha sık ayırma aralığı ile daha çok veri toplandığında elde edilir.
- Doğruluğun en yüksek olduğu yer nadirde ve salınım açısının yükselmesinin azalmaya başladığı yerlerdir.
- Enin dar olması ayırma problemine neden olur.

DTM ve DEM verilerinde temel olarak hatanın iki kaynağı vardır: Enterpolasyon ve arazide olmayan noktaların sayısal arazi modeline etkileri. Enterpolasyon hatasına yönelik olarak iki ana hata kaynağın söz edilir. Bunlar, boşlukların tanımlanması ve bitki örtüsündeki noktaların kaldırılmasıdır (Duclaux v.d., 2002; Mercer v.d., 1999; Sos v.d., 1994; Zhou v.d., 2004).

Aralıkların tayini lidar sisteminin geri dönenleri arasındaki mesafe ile ilişkilidir. Bu semi-sistemetik hatadır. Bu mesafe uçağın uçuş yüksekliği, uçuş hızı, lazer sinyal oranı ve lazer tarama açısına bağlıdır.

## 5. LIDAR SİSTEMİNİN KULLANIM ALANLARI VE ELDE EDİLEN ÜRÜNLER

LIDAR sistemleri aşağıda sıralana bir çok konumsal uygulamalarda başarı ile kullanılmaktadır [Andersen v.d., 2005; Blackburn, 2002; Hyde v.d., 2006; Nelson v.d., 2005; Streutker v.d., 2006; Thoma v.d., 2005; Suarez v.d., 2005; Zhou v.d., 2004).

- Deniz kıyısı ve kumsal hacim değişimleri
- Sel riski analizleri
- Su akış konuları
- Doğal ortam haritalama
- Yenileme çalışmaları
- Orman yönetimi
- Acil tepkiler
- Nakliyat haritacılığı
- Telekomünikasyon planlama
- Kentsel gelişim

Topoğrafik LIDAR sistemleri x,y,z koordinatlı veri noktalarının yüzey yüksekliklerini üretirler. Ham veri noktalarında üretilebilecek bir çok ürün vardır. Bunlar:

- Sayısal yükseklik modelleri (DEM)
- Sayısal arazi modelleri (DTM, çıplak arazi yükseklik verisi)
- Üçgenlenmiş düzensiz ağlar (TIN)
- Kırık çizgiler
- Eş yükseklik eğrileri
- Gölge kabartmalı haritalar
- Yamaç ve eğim haritaları

## 6.SONUÇLAR

Bu yazıda amaç lidar teknolojisindeki gelişmeler hakkında harita topluluğuna bilgi vermektir. Teknolojideki ve uygulamalardaki tüm işaretler, lidarın gelecekteki harita yapımında önemli bir teknoloji olarak yer alacağı şeklindedir. Uzun zaman gerektiği için ticari açıdan daha lidar bebeklik evresindedir.

Uzaysal referansta verilerin nasıl toplanacağını değerlendirmek oldukça güçtür. Bu 1980'lerin başında GPS teknolojisinin gelişmesine benzetilebilir. 2000'li yıllarda GPS'in pek çok uygulaması olacağını muhtemelen 1980'li yıllarda sistemi geliştirenlerde öngörememiştir. Lidar da aynı potansiyele sahiptir.

Bu teknoloji gelecekte pek çok bilinmeyenle karşı karşıya gelecek. Dalga boyundaki ve laser frekansındaki farklılıkları tescilli projelerde olduğu kadar iyi göremediğimiz için şimdi bu teknolojiyi kıyaslamak oldukça zor olmaktadır. Fakat bu her yeni teknolojide böyledir. Lidar sistemler dünyada uygulanmaya başlanmış ve olumlu sonuçlar alınmaktadır. Bu teknolojinin harita üreten ve kullanan topluluklar için uygun bir teknoloji olduğunu söylemek yanıltıcı olmayacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] Andersen, H. E., McGaughey, R. J., Reutebuch, S.E., Estimating forest canopy fuel parameters using LIDAR data, *Remote Sensing of Environment* 94 (2005) pp. 441–449
- [2] Anderson , E.S., Thompson, J.A., David A. Crouse , D.A., Austin, R.E., Horizontal resolution and data density effects on remotely sensed LIDAR-based DEM, *Geoderma* (2005)
- [3] Baltsavias, E.P., Airborne laser scanning: existing systems and firms and other resources, *Remote Sensing of Environment*. Vol. 54, No. 2-3, (1999) , pp. 164-198
- [4] Berg, R., and Ferguson, J., A Practical Evaluation of Airborne Laser Mapping for Highway Engineering Surveys. In *ION-GPS 2000*. Salt Lake City, September, (2000).
- [5] Blackburn, G.A., Remote sensing of forest pigments using airborne imaging spectrometer and LIDAR imagery, *Remote Sensing of Environment* 82 ,(2002), 311– 321
- [6] Bortolot, Z.J., Wynne, R.H., Estimating forest biomass using small footprint LiDAR data: An individual tree-based approach that incorporates training data, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 59, (2005), pp. 342– 360
- [7] Duclaux, O., Frejafon, E., Schmidt, H., Thomassond, A., Mondelain, D., Yu, J., Guillaumond, C., Puel, C., Savoie, F., Ritter, P., Boch, J.P., Wolf, J.P., 3D-air quality model evaluation using the Lidar technique, *Atmospheric Environment* 36 ,(2002), pp. 5081–5095
- [8] Flood, M., Commercial Development of Airborne Laser Altimetry. *Proceedings of the ISPRS Workshop, La Jolla, CA, (1999) , pp. 13-20.*
- [9] Fochesatto , J., Ristori , P., Flamant , P., Machado ,M.E., Singh , U., Quel E., Backscatter LIDAR signal simulation applied to spacecraft LIDAR instrument design, *Advances in Space Research* 34 ,(2004), pp. 2227–2231
- [10] Goldstein, R.M., Zebker, H.A., Werner, C., Satellite Radar Interferometry: two dimensional phase unwrapping. *Radio Sci.* Vol. 23: Number 4, (1988) , pp 713-720.
- [11] Gray, L. A., Farris-Manning, P.J., Repeat-Pass Interferometry with Airborne Synthetic Aperture Radar. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. Vol. 31: Number 1, (1993) , pp 180-191.
- [12] Huising, E. J., and Pereira, L.M., Errors and accuracy assessment of laser data acquired by various laser scanning systems for topographic applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* (53)5 ,(1998), pp. 245–61.
- [13] Hyde, P., Dubayah , R., Walker , W., J. Blair, B., Hofton , M.,Hunsaker, C., Mapping forest structure for wildlife habitat analysis using multi-sensor (LiDAR, SAR/InSAR, ETM+, Quickbird) synergy, *Remote Sensing of Environment* ,(2006) .
- [14] Latypov, D., Effects of laser beam alignment tolerance on lidar accuracy, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 59, (2005), pp. 361–368
- [15] Lefsky, M.A., Cohen, W.B., Parker, G.G., Harding, D.J., LiDAR remote sensing for ecosystem studies. *Bioscience* 52 (1), (2002) , pp. 19–30.
- [16] Lucieer, A., Stein, A., Texture-based landform segmentation of LiDAR imagery, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 6,(2005), pp.261–270

- [17] Lohr, U., Digital elevation models by laser scanning. *Photogramm. Rec.* 16 (91), (1998), pp.105-109.
- [18] Mercer, J. B., Schnick, S., Comparison of DEMs from STAR-3i Interferometric SAR and Scanning Laser. *Proceedings of the ISPRS Workshop, La Jolla, CA, (1999)* , pp. 127 - 134.
- [19] Nelson, R., Keller, C., Ratnaswamy, M., Locating and estimating the extent of Delmarva fox squirrel habitat using an airborne LiDAR profiler, *Remote Sensing of Environment* 96 (2005), pp. 292 – 301
- [20] Pereira, L. M. G., and Janssen, L.L.F., Suitability of laser data for DTM generation: A case study in the context of road planning and design. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 54(4) , (1999),pp. 244–53.
- [21] Sapeta, K., Have you seen the light- LIDAR technology is creating believers. *GEOWorld* October 2000, (2000).
- [22] Sos, G. T., Herbert, W. K., Gray F. A., High Performance Interferometric SAR Description and Capabilities. Tenth ERIM Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, San Antonio, Texas, Vol. II, (1994) , pp. 637-649
- [23] Sties, M., Kruger, S., Mercer, J. B., Schnick, S., Comparison of Digital Elevation Data from Airborne Laser and Interferometric SAR Systems. *Proceedings of the XIXth Congress of the ISPRS* , Amsterdam, Vol XXXIII, Part B3, (2000), pp. 866-873.
- [24] Streutker, D.R., Glenn, N.F., LiDAR measurement of sagebrush steppe vegetation heights, *Remote Sensing of Environment* ,(2006) .
- [25] Suarez, J.C., Ontiveros, C., Smith, S., Snape, S., Use of airborne LiDAR and aerial photography in the estimation of individual tree heights in forestry, *Computers & Geosciences* 31 ,(2005), 253–262
- [26] Thoma, D.P., T, Gupta, S.C., Bauer, M.E., Kirchoff, C.E., Airborne laser scanning for riverbank erosion assessment, *Remote Sensing of Environment* 95 ,(2005), pp.493–501
- [27] Toth, C. K., Berning, S., Leonard, J., Grejner-Brzezinska, D. A., Integration of Lidar Data With Simultaneously Acquired Digital Imagery. *Proceedings of ASPRS 2001, St. Louis, Missouri, (2001)*.
- [28] Wehr, A. Lohr, U., Airborne laser scanning an introduction and Overview. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 54, No. 2-3, (1999) , pp. 68-82.
- [29] Zhou, G., Song, C., Simmers, J., Cheng, P., Urban 3D GIS From LiDAR and digital aerial images, *Computers & Geosciences* 30 ,(2004), pp.345–353