

## Uzaktan Algılamada Yeni Bir Teknoloji: Lidar

Semih EKERCİN<sup>1</sup>, Berk ÜSTÜN<sup>1</sup>

### Özet

Günümüzde hızla artan coğrafi bilgi gereksinimini karşılamak amacıyla çeşitli algılama sistemleri geliştirilmiştir. Bunlardan birisi de özellikle son on yılda popüler olan Lidar (Light detection and ranging) sistemidir. Uçaktan lazerle tarama sistemleri (Airborne laser scanning systems) ya da lazer tarama sistemleri (Laser scanning systems) olarak da adlandırılan Lidar, şehir merkezleri, ormanlık alanlar ve enerji nakil hatları gibi, ölçmelerin güçlüğüyle yapılacağı bölgeler için yeni imkanlar sunmaktadır.

Bu makalede Lidar sisteminin teknik özellikleri, algılama sistemleri arasındaki konumu, kullanım alanları ve avantajları belirtilmiştir. Pasif optik algılayıcılar ile avantaj ve dezavantaj yönünden karşılaştırıldıktan sonra, Lidar sisteminden gelecekteki beklentiler açıklanmıştır.

### Anahtar Sözcükler

Lidar, Uçaktan Lazerle Tarama Sistemleri, Lazer Tarama Sistemleri

### Abstract

#### A New Technology in Remote Sensing: Lidar

In this era, different kinds of sensing systems are still developing aiming to cover rapidly increasing geographic information necessities. One of these sensing systems is the LIDAR (Light detection and ranging) system which become popular especially last ten years. LIDAR, an abbreviation for airborne laser scanning systems or also just for laser scanning systems, offers new opportunities to make the measurements in difficult areas like energy transporting lines, city centrum's and forestry areas.

In this paper, it is emphasized firstly the technical properties of Lidar system, then a comparison is made between Lidar and the other remote sensing systems. After that, the advantages and the areas of usage of the system are explained item by item. Before the explanations about the future expectations, the advantages and the disadvantages of the Lidar system and passive optic sensing systems are compared. It is firmly believed that this paper will be beneficial about researching and representing of these kind of methods of remote sensing especially from the point of view about the scientific infrastructure. Finally it would be fair to say that the airborne laser scanning systems have a great potential to acquire and to evaluate geo-referenced data.

### Key Words

Lidar, Airborne Laser Scanning Systems, Laser Scanning Systems

### 1. Giriş

Bir cisimden doğal olarak yayılan veya yansıyan enerjinin kayıt edildiği sistemlere pasif, kendi öz kaynağından cisme enerji göndererek geri gelen enerjiyi ölçen sistemlere ise aktif uzaktan algılama sistemleri denir. Flaşla çekilen resimler aktif algılama iken, flaş kullanılmadan çekilen resimler pasif algılamadır (ÖRMECİ 1987).

Lidar sistemleri de radar gibi aktif uzaktan algılama sistemleridir. Bu sistemlerde araziye tanımlamak için lazer ışığının darbeleri kullanılır. Pasif mikrodalga sistemleri gibi Lidar sistemleri de ya bir profilde ya da bir tarama modunda işletilir (LILLESAND ve KIEFER 1987).

Lidar, yüksek yoğunluklu ve geometrik özellikli sayısal yükseklik verisini, yersel ölçmeler ile yaklaşık aynı doğrulukta, bununla birlikte hava fotogrametrisinden daha hızlı şekilde oluşturmaya yatkın bir teknolojidir.

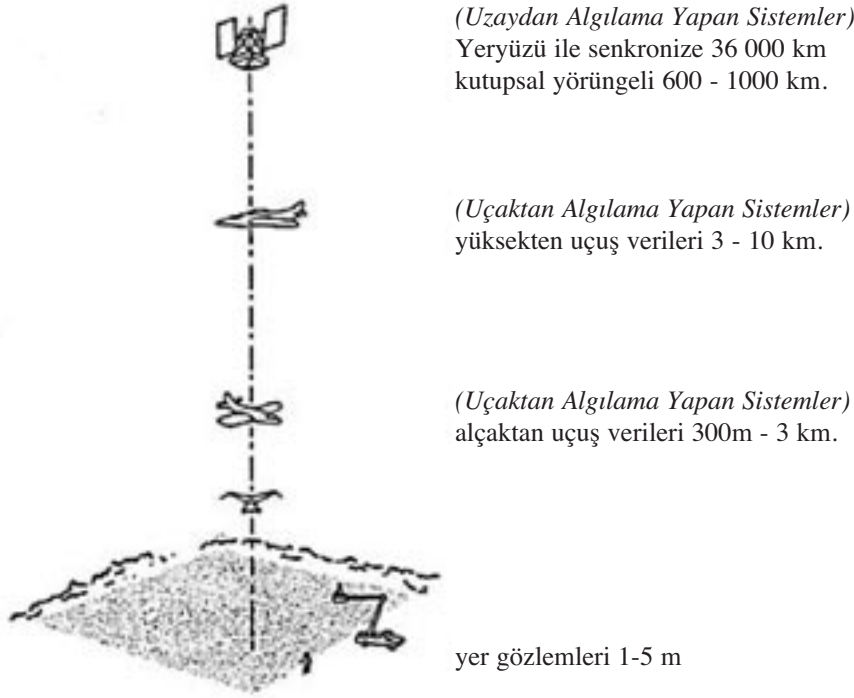
Lidar, yersel ölçme yöntemleri ve hava fotogrametrisi ile karşılaştırıldığında daha az arazi çalışması ve değerlendirme maliyeti gerektirir. Bu durum düşük maliyetli, nokta yoğunluğu yüksek ve istenilen doğrulukla referanslandırılmış sayısal yükseklik verisine ihtiyaç duyan kullanıcılar için, Lidar'ı çekici bir teknoloji yapmıştır. Bu çalışmada, referanslandırma terimi sayısal bir görüntünün geometrik düzeltmesinin yapılması ve bir projeksiyon sistemine oturtulması anlamında kullanılmaktadır.

Uzaktan algılama sistemleri yüksekliklerine göre farklı gruplara ayrılır ve bu gruplar şematik olarak (Şekil 1) de verilmektedir..

### 2. Lidar (Uçaktan Lazerle Tarama) Sistemi

Lidar ya da Ladar (Laser Detection and Ranging) sistemi ile harita yapımı, lazer tarayıcı, yüksek doğruluklu inersiyal referans sistemi (INS) ve GPS (Global Positioning Satellite System) teknolojilerinin birleşimini kullanır. Bu sistemlerin küçük bir helikopter veya uçak içine yerleştirilmesi ile uçağın uçuş hattı altında kalan arazinin yeterli doğrulukta sayısal topografik haritasının hızlı bir şekilde üretimi mümkün olmaktadır (Şekil 2).

<sup>1</sup> Arş. Gör., İTÜ, İnşaat Fakültesi, Uzaktan Algılama Anabilim Dalı, Maslak/İstanbul



Şekil 1: Çeşitli yükseklikteki uzaktan algılama sistemleri (LILLESAND VE KIEFER 1987).

Yükseklik bilgilerinin mutlak doğruluğu 15 cm, bağıl doğruluğu 5 cm'den daha az olabilir. XY verilerinin mutlak doğruluğu uçuş yüksekliğine bağlı olmakla birlikte 10 cm ile 1 m arasındadır. Yükseklik bilgileri, saniyede 1000 nokta alacak şekilde oluşturulur ve sonuçtaki nokta yoğunluğu, yersel ve fotogrametrik ölçme yöntemleriyle elde edilenden çok daha fazladır. Bir saatlik veri toplama çalışması sonucunda geometrik olarak referanslandırılmış, denizden yüksekliği bilinen 10.000.000'un üzerinde nokta elde edilebilir. Lidar sistemi ile geniş topografik alanları hızlıca tamamlamak ve 1 m ya da daha sık aralıklarla sayısal arazi modeli oluşturmak mümkündür. Uçaktan lazerle harita alım donanımları, kameralar gibi pasif sistemlerin tersine aktif algılama sistemleridir ve bilinen fotogrametrik yöntemlerle karşılaştırıldığında daha üstün özellikler sunmaktadır. Uçaktan lazerle harita alımı, izinsiz kullanılmayan bir veri toplama yöntemi olup, yüksek doğruluklu yükseklik bilgisi ve detay elde etmede başarıyla kullanılmaktadır. Alımı yapılacak arazi üzerinde ölçme yapmanın yasaklandığı, kısıtlandığı ya da arazi çalışanları için riskli olduğu durumlarda Lidar sistemi güncel bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Spektral özellikler açısından lazerler, görünür ve yakın kızılötesinden, 50-30000 nm gibi çok daha geniş spektrumlarında varılmaktadır. Ancak Lidar'da kullanılan yakın kızılötesi bölgeye kadar sınırlıdır.

Lidar teknolojisi, son derece hızlı yöntemlerle topografik veri toplama işlemine imkan sağlamaktadır. 1000 km<sup>2</sup>'lik referanslandırılmış Sayısal Arazi Modeli (SAM) verisi, güncel ticari sistemler ile 12 saatten daha az sürede elde edilebilmektedir. Örneğin, 500 km<sup>2</sup>'lik bir kıyı çizgisi çalışmasında dahi, yapılan ölçmelerin sonuçları 24 saat sonra elde edilebilmektedir (AXELSSON 1999).

### 3. Uygulama Alanları

Uygulamaya bağlı olarak, Lidar sistemi yersel ve fotogrametrik ölçme yöntemleri ile karşılaştırıldığında ya tamamlayıcı ya da rekabetçi bir teknolojidir. Birçok ölçme uygulamalarında uçaktan lazerle tarama teknolojisi, diğer bilinen algılayıcıları içeren dijital kameralar, çok spektrumlu tarayıcılar ve termal kameralarla birlikte kullanılmaktadır. Belirli mühendislik uygulamalarında diğer teknolojilerle toplanamayan özellikleri kolaylıkla elde eden bu sistemin en yaygın uygulama alanları aşağıda açıklanmıştır :

- **Çeşitli CBS/Harita Bağlantılı Ürünler için SAM Oluşturulması:** Lidar, topografik harita yapımı uygulamaları için hızlı, yüksek doğruluk için cazip maliyetli, yeterli sıklıkta yükseklik verisi elde edilebilen bir sistemdir. Bu teknoloji, yersel ve fotogrametrik ölçme yöntemlerine göre daha hızlı ve düşük maliyetli bir yapıya sahip olduğundan, geniş arazilerin topografik ölçme işlemlerine imkan tanır.

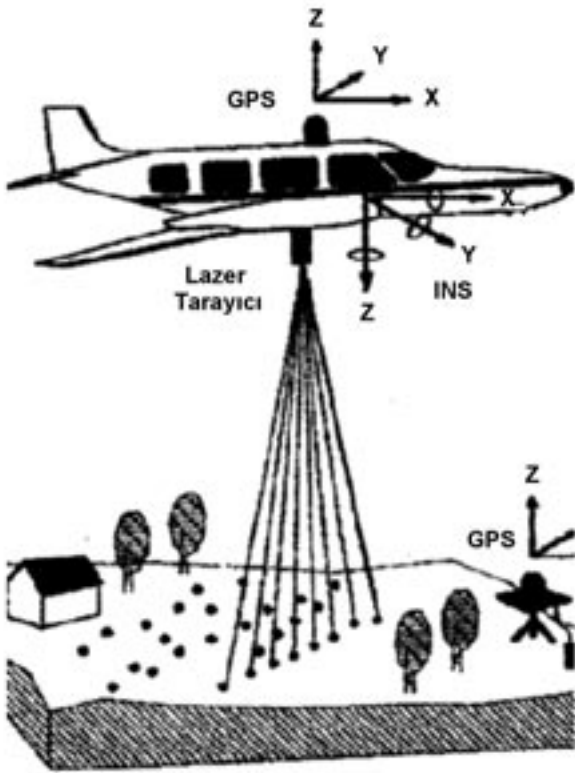
- **Ormancılık:** Ormancılık endüstrisindeki kullanımı, Lidar'ın ilk ticari alanlarından birisidir. Ağaç gölgesi altındaki arazi ve topografya hakkındaki doğru bilgiler hem ormancılık endüstrisi hem de doğal kaynak yönetimi için önemlidir. Ağaç yoğunlukları ve yükseklikleri hakkındaki doğru bilgi, yersel ve fotogrametrik ölçme yöntemleriyle elde edilmesi güç bir bilgidir. Radar ve optik uydu görüntülerine benzemeyen lazer teknolojisi ile ağaç gölgesi altında kalan alan ve ağaç yükseklikleri elde edilebilir. Sonuç olarak, Lidar sistemi ormancılık endüstrisi için son derece etkili bir tekniktir.

• **Kıyı Mühendisliği:** Nemli topraklar gibi çevresel olarak hassas olan pek çok alana, sınırlı olarak girilebilmektedir. Bu tür bölgelerde, bitki örtüsünden dolayı fotogrametrik ölçme yöntemi ile değerlendirme yapmak zordur. Lidar, bu alanları ölçmek için büyük bir imkandır. Bu teknoloji ayrıca zehirli atıkların bulunduğu endüstriyel çöplüklerin ölçülmesi için de kullanılabilir.

• **Yapı Endüstrisi:** Uygun ve doğru şekilde geometrik olarak referanslandırılmış sayısal yükseklik verisi, yapı endüstrisi uygulamalarında vazgeçilmezler arasında yer alır. Bu duruma otoyol koridorlarının ya da geniş yapı sitelerinin ölçmeleri örnek olarak verilebilir.

• **Şehir Planlama:** Haberleşme ve afet planlaması içeren çeşitli uygulamalar için söz konusu bölgelerin yüksek doğruluklu sayısal modellerine ihtiyaç vardır.

Bir aktif uzaktan algılama sistemi olarak Lidar, kent- sel çevrelerin istenilen doğrulukta üretilmiş haritasını sunar.



Şekil 2: Lidar sisteminin yapısı (LEMMENS VE LOHANI 2001)

• **Nemli Topraklar ve Diğer Sınırlı Girilen Alanlar:** Nemli topraklar gibi çevresel olarak hassas olan pek çok alana, sınırlı olarak girilebilmektedir. Bu tür bölgelerde, bitki örtüsünden dolayı fotogrametrik ölçme yöntemi ile değerlendirme yapmak zordur. Lidar, bu alanları ölçmek için büyük bir imkandır. Bu teknoloji ayrıca zehirli atıkların bulunduğu endüstriyel çöplüklerin ölçülmesi için de kullanılabilir.

## 4. Lidar ve Fotogrametrinin Karşılaştırılması

Lidar sistemi, Fotogrametri ile sistemlerin yapısı, veri toplama ve işleme yöntemleri gibi birçok yönden karşılaştırılabilir.

### 4.1. Lidar ile Fotogrametri Arasındaki Temel Farklılıklar:

- Fotogrametri pasif, Lidar ise aktif bir sistemdir.
- Fotogrametride genellikle çerçeve ya da çizgisel geometri algılayıcılar kullanılırken, Lidar'da genellikle polar geometri nokta algılayıcılar kullanılır.
- Fotogrametride tüm arazi yapısı söz konusu iken, Lidar'da noktasal modelleme söz konusudur.
- Fotogrametride geometrik ve radyometrik olarak çok kaliteli görüntüler elde edilirken, Lidar'da ise görüntü yoktur ya da daha düşük kalitede monokromatik görüntüler söz konusudur.
- Ürün açısından bakılırsa, değerlendirme Lidarda henüz sadece servis sağlayıcılardan elde edilebilmektedir. Buna karşın fotogrametrik değerlendirme sistemleri dünyanın her yerinde, hatta kullanıcıların özel bilgisayarlarında bulunabilir.

### 4.2. Lidar ile Fotogrametri'nin Ortak Yönleri:

- GPS ya da navigasyon amaçlı GPS/INS kullanımı
- Filtreleme, binalar gibi sayısal arazi modeline ait olmayan nesnelerin kaldırılması, veri küçültme ve sıkıştırma, elektrik direklerinin tespiti gibi ham veri işleme yöntemlerinin kullanımı.
- Lidar verileri görüntü olarak ele alınabilir ve onlara çeşitli görüntü işleme ve analiz teknikleri uygulanabilir.
- Algılayıcı entegrasyonu ve görüntü işleme/analiz konuları iki teknolojiyi birleştiren iki önemli konudur.

Fotogrametri ve Uçaktan Lazerle Tarama Sistemleri'nin ortak uygulamaları ve rekabet alanları tekil objelerin ve yüzeylerin üç boyutlu ölçülmesi konularındadır (BALTSAVIAS 1999).

## 5. Lidar Tekniğinin Bugünkü Durumu ve Gelecekteki Beklentiler

### 5.1. Günümüzdeki Durum

Lidar, sayısal arazi modelleri ve yüzey modellerinin elde edilmesi için yeni ve bağımsız bir teknolojidir. Gelişimi 1970 ve 1980'li yıllara dayanmakta olup ilk olarak NASA

bünyesinde uygulanmış, daha sonra ABD ve Kanada'da başka denemeler de yapılmıştır.

Ardından, GPS'in devreye girmesiyle kritik konumlandırma problemi için yüksek doğruluk elde etmek mümkün hale gelmiştir. 1988-1993 arasında Stuttgart Üniversitesi'nde bir lazer profiliyle yapılan araştırmalar sistemin yüksek geometrik doğruluk potansiyelini, özellikle de SAM genellemesi açısından ortaya koymuştur. Bu yöntem son yıllarda başarıyla uygulanmakta ve çeşitli pratik uygulamalara hızla yayılmaktadır.

Yakın kızılötesinde çalışan darbeli lazerler, yerden dağılan ve yansıyan dönüş sinyallerini kolayca kaydedilebilecek niteliktedir. Bu sinyallerin yaklaşık  $10^{-10}$  saniye mertebesindeki gidiş-dönüş süreleri kaydedilmekte ve bu değerler mesafeye dönüştürülmektedir. Bununla birlikte, sürekli dalga lazerleri de kullanılmaktadır, ki bunlar mesafeyi faz ölçülerinden elde etmektedirler.

Lidar sistemi, geometrik sonuçları uzaklık, konum ve koordinatlar cinsinden sağlamaktadır. Gönderilen her darbe için lazer platformundan yansıma noktasına giden uzaysal konum vektörü kurulur, bu vektörlerden yansıma noktalarının, yani yerdeki izinin, X,Y,Z koordinatları elde edilir. Tüm düşey sistemin doğruluğu genellikle dm mertebindedir. Birçok sistem yerden yaklaşık 1000 m yükseklikte çalışmaktadır. Tarama açısı ise genellikle  $\pm 30^\circ$  den küçük, hatta çoğu durumda  $\pm 20^\circ$  nin de altındadır. Bazı lazer tarama sistemleri, uzaklığın yanısıra, kaydedilen sinyal yoğunluğu hakkında bilgi veya bir darbenin çoklu yankıları hakkında bilgi (genlik veya uzaklık) sağlamaktadır.

Lazerle taramanın yüksek ölçüm hızı da önemlidir. Günümüzdeki ölçüm hızları 2 ile 25 kHz arası olup, tek bir sistem 80 kHz'e ulaşmaktadır. Buna göre, 1000 m lik uçuş yüksekliğinden yapılan bir taramada, yerdeki örnekleme yoğunlukları  $20 \text{ m}^2$  de 1 noktadan  $1 \text{ m}^2$  de 20 noktaya kadar değişmektedir. Gerçek örnekleme yoğunluğu, sisteme, uçuş yüksekliğine, darbe oranına, tarama açısına ve yerdeki uçuş hızı arasındaki dengeye bağlıdır. Yerdeki geometrik örnekleme biçimi sistem tasarımında önceden belirlenir.

Lidar sisteminde gönderilen ışınların doğrudan görünen izleri ile genelde yer yüzeyi ve üzerindeki cisimleri algılanmaktadır. Fakat ağaçlar veya mısır tarlaları gibi iyi tanımlanmamış bir yüzey söz konusu olduğunda, bir darbenin birçok farklı kaydedilebilen yansımaları üretilebilir. Bununla beraber, bir lazer darbesi arazinin bir miktar içine ve bitki örtüsünün derinliğine girebilmektedir. Bu özellik, Stuttgart Üniversitesi'nde lazer üzerinde çalışan grup tarafından, ormanlık alanlarda SAM genellemesi amacıyla kullanılmıştır. Lazer sistemleri darbelerinin, düşeye yakın yaklaşma açılarında, Avrupa tipi ormanlarda %20-40 oranında toprağa ulaştığı, hatta bu oranın kış aylarında %70'e kadar yükseldiği görülmüştür (ACKERMANN 1999).

Orman veya diğer bitki örtülerinden dönen çoklu sinyaller, o bölgedeki yer yüzeyini temsil edemez. Arzu edilen yer yüzeyi, veri analizini temel alan matematiksel model aracılığıyla türetilmelidir. Hala bazı bitki örtüsü türleri zorluklar yaratmaktadır. Örneğin, sık tropik yağmur ormanlarının içine lazer sinyallerinin ulaşma kapasitesi, konuyla ilgili başarılı bir deneme rapor edilse bile (ACKERMANN 1999), bir soru işareti olarak karşımıza çıkmaktadır.

Şu ana kadar aktarılan Lidar tekniğine ait özellikler, bu tekniğin şu anki uygulama alanlarını da ortaya koymaktadır. Lidar tekniğinin en önemli avantajı, açık alanlarda uygulanabildiği ölçüde seyrek ya da sık orman veya başka bir bitki örtüsüne de uygulanabilmesidir. Lazerle tarama tekniğinin başka önemli bir uygulaması ise, başka yöntemlerle sonuç alınması oldukça güç olan, kıyı alanları ve sulak alanların sayısal arazi modellerinin geliştirilmesini içermektedir.

Şehir planlama amacıyla yapılaşmış alanlarda binaların otomatik olarak elde edilmesi, Lidar'la ilgili yeni uygulamalara diğer bir örnektir.

Henüz çok yaygınlaşmamış olmakla beraber, Lidar tekniğinin ulaştığı boyutları sergilemesi açısından ilginç bir örnek de baraj gövdelerinin, lazer tekniği kullanılarak elde edilen noktalar aracılığıyla doğrultuya sokulmasıdır.

## 5.2. Gelecekteki Beklentiler

Günümüze değin Lidar, hızlı ve çok başarılı bir gelişim göstermiştir. Günümüzde, yüksek teknik ve ekonomik performansla sahip bir yöntem olduğu anlaşılmıştır.

Sistemin şu anki durumunu değerlendirecek olursak, lazerle tarama uygulamalarının gelecekte de gelişme eğiliminde olacağı gayet açıktır. Lazerle tarama sistemlerinin şu anki teknik performanslarının artacağını ve daha çok sayıda farklı uygulamalarda kullanılacağını söylemek hiç de zor değildir. Darbe oranları ve çözünürlük, darbe izlerinin büyüklüğü ve aralarındaki boşluk dikkate alındığında daha uyumlu hale gelecektir. Alçaktan uçan helikopterlerdeki platformlar özel uygulamalar için işlenmiş yer bilgisi sağlayabilir. Öte yandan mutlak sistem doğruluğu artırılabilir ve daha yüksek uçuşlar daha geniş alanı kapsamayı sağlayacaktır. Ayrıca dönüş sinyallerinin işlenmiş elektronik analize ait yerdeki izlerin, yüzey karakteristiği hakkında ek bilgiler elde edilmesini sağladığı görülecektir. Darbeli ve sürekli dalgalı lazerlerin karşılaştırılması bir diğer konudur. Bunun dışında, Lidar'dan elde edilen verilerin, enterferometrik SAR'dan elde edilen verilerle potansiyel bir rekabeti söz konusudur.

Lazerle tarama yöntemlerinin belirgin gelişimi ve yenilenmesi yakın gelecekte beklenen bir durum olup, özellikle özel uygulamalarda veri işlenmesine bağlı gelişmeler bu beklentilerin başında gelmektedir. Bu işlem, akıllı filtreler ve verinin saflaştırılmasıyla ilgili olacaktır.

Uçaktan lazerle taramadaki önemli gelişmelere karşın, sistemde henüz önu alınamamış olan bazı olumsuzluklar da vardır. Başta gelen olumsuzluk, yöntemin örnekleme sistemi ve geometrik doğasıyla ilgili olup, nesnelere ve nesne özelliklerinin tanımlanması ve yakalanmasında kör noktaların oluşması ve bu nedenle görüntü bilgilerinin noksan kalmasıdır. Ancak bu olumsuzluk şu ana değin çok kısıtlayıcı olmamakta, veri işlemede yapılan kabullerin modellenmesi ile kısmen de olsa sınırlamanın önüne geçilebilmektedir. Fakat, karmaşık durumlar hala, interaktif sunum tabanlı ön-bilgiye veya nesne görselleştirmesine dayanan düzenlemelere ihtiyaç duymaktadır.

Günümüzde kullanılan lazerle tarama sistemleri, uçuş esnasında video kameralar tarafından çekilen görüntü bilgisini sağlarlar. Fakat video görüntüleri genellikle lazer veri sisteminin entegre bir parçası değildir veya yalnızca interaktif düzenleme ve nesne modellemesi için yedek destek vermektedir. Eğer görüntü bilgisi otomatik veri işleminin entegre bir parçası haline gelirse, sonuçlar ve performans elbette zenginleştirilebilir. Çoğu lazer tarama sistemi dijital kameralar tarafından desteklenmektedir. Bu da geometrik tarama verisinin ve dijital görüntü verisinin doğrudan ve otomatik şekilde birleştirilmesi, nesne tanımlanması ve nesne yakalanması anlamına gelir. Şehir planlaması bunun en basit örneğidir.

Dijital lazer ve görüntü verilerinin sistematik bir kombinasyonu yöntemsel ve teknolojik açıdan fotogrametriyle verimli bir birleşme oluşturur. Tam bir birleşme sağlayabilmek için çoklu-algılayıcı ve çoklu-veri sistemlerine genel eğilim vardır. Benzer bir birleşme, geometrik lazerle tarama ile çok spektrumlu görüntüleme sistemlerinin kombinasyonundan beklenebilir. Bu doğrultuda fotogrametriyle entegrasyon, uzaktan algılama uygulamalarının geniş bir alana yayılmasını sağlayacaktır. Hiperspektral Lidar sistemleri ile kombinasyon aynı oranda mümkün görünmektedir.

Veri birleştirme işlemi çok daha ileri götürülebilir. Bir olanak, dönüş sinyallerinin yoğunluğunun kaydedilmesidir. Böylece sayısal görüntüler, günümüzde monokromatik görüntü verisi durumuna gelmektedir. Bu yüzden, dijital fotogrametrik görüntülerle kıyaslanacak düzeye henüz gelmemişlerdir. Sayısal görüntü verisi ile her görüntü elemanına ait kutupsal konum verisinin birlikte sağlanabilmesi herhalde etkileyici olacak bir hedefdir. Eğer görüntü verisi doğrudan uzaysal konum verisiyle kombine edilebilirse, fotogrametride tam bir devrim gerçekleştirilmiş olur ve sonuçlar, en azından ölçme tekniği dalında nokta konum belirlemesi için yüzyıllık geriden kestirme tekniklerinin yerine kutupsal geometriye dayanan tekniklerin kullanılmasının yarattığı yankılar kadar çarpıcı olabilir.

## 6. Sonuçlar

Sonuç olarak Lidar sisteminin veri elde etme potansiyelinin çok yüksek olduğu söylenebilir. Sistemin özellikle enerji nakil hatlarının alımı ve yoğun bitki örtüsünün bulunduğu bölgelerde SAM'nin elde edilmesi gibi konularda kullanımı önemli avantajlarından.

Son yıllarda geliştirilmesine karşın dünyada yaygın olarak kullanılmaya başlanan Lidar, ülkemizde henüz uygulama alanı bulamamıştır. Bu durumun ekonomik şartlarla yakın ilgisinin olduğu söylenebilir.

Sistemin getirisi göz önünde tutulursa darboğazların aşarak bilimsel alt yapının kısa sürede ve hızla oluşturulması gerekmektedir. Çünkü Lidar sistemi, gelecekte düşük maliyetinden dolayı yaygın olarak kullanılır hale gelirse, ülkemizde kendine birçok uygulama alanı bulacaktır. Örneğin etrafı denizlerle çevrili ülkemizdeki kıyı alanlarının ölçülmesi konusunda Lidar sisteminin kullanımı, avantajlı bir ölçme yöntemi olarak ön plana çıkacaktır. Yine Karadeniz Bölgesi'ndeki sık orman dokusunun incelenmesi çalışmalarında Lidar'ın kullanımı çok yararlı olacaktır. Aynı şekilde İzmit Körfezi gibi ülkemizin endüstriyel açıdan gelişmiş bölgelerinde Lidar'ın kullanımı, enerji nakil hatlarının yarattığı ölçme zorluklarının önüne geçilmesi hususunda etkili bir yöntem olacaktır.

Lidar sisteminin, kullanım alanlarının fazla olması nedeniyle daha da yaygın olarak kullanılması durumunda maliyetinin düşmesi olası bir durumdur.

Sistemin kurulum maliyetinin yüksek olmasına karşılık, veri elde etme maliyeti yersel ve fotogrametrik ölçme yöntemlerine göre çok daha düşüktür. Bu nedenle amortisman süresi oldukça kısadır, bu da sistemi cazip yapan diğer bir önemli özelliktir.

Sistemden beklentiler konusunda, Lidar'ın gerek teknik olarak, gerekse uygulama alanları bazında gelişmeye ve genişlemeye devam edeceğini rahatlıkla söyleyebiliriz.

## Kaynaklar

- ACKERMANN F.: **Airborne Laser Scanning - Present Status and Future Expectations**, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 54, (1999), 64-67, London.
- AXELSSON P. : **Processing of Laser Scanner Data - Algorithms and Applications**, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 54, (1999), 138-147, London.
- BALTSAVIAS E. P.: **A Comparison Between Photogrammetry and Laser Scanning**, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 54, (1999), 83-94, London.
- LEMMENS M. ve LOHANI B.: **Geoinformation From Lidar**, GIM International, 15, (2001), 30-33, Netherlands.
- LILLESAND T. M. ve KIEFER R. W. : **Image Processing and Interpretation**, John Wiley and Sons, New York, 1987.
- ÖRMECİ C. : **Uzaktan Algılama Temel Esaslar ve Algılama Sistemleri**, İTÜ, İstanbul, 1987.