

## **PALS, ICESat/GLAS ve ICESat-2 Lazer Sistemleri ve Kullanım Alanları**

**Müge Ağca\***

*İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye*

### **Anahtar Kelimeler**

Lazer  
PALS  
ICESat/GLAS  
ICESat-2

### **ÖZ**

Günümüzde bilim ve uzay teknolojilerinin hızlı bir şekilde gelişmesi uzaktan algılama ve fotogrametrik yöntemlerin uygulama ve kullanım alanlarını arttırmıştır. Özellikle lazer sistemleri ve lazer platformlarındaki gelişmeler ile yeryüzüne ait veriler daha hızlı, hassas, bölgesel ve küresel ölçekte toplanabilmektedir. Bu çalışmada PALS, ICESat/GLAS ve ICESat-2 lazer sistemleri açıklanmış, bu sistemlerden elde edilen veri türlerinin tanıtımı yapılmış ve kullanım alanları hakkında bilgiler verilmiştir. Geliştirilen her bir lazer sisteminin teknik özellikleri, kapsama alanı ve veri yapısı birbirinden farklılık göstermektedir. Var olan tüm sistemlerin bilinmesi yapılacak olan bilimsel çalışmalarda doğru sistemin ve verinin kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Ülkemizde yaygın olarak kullanılmayan bu sistemlerin tanıtımı araştırmacılara farklı bakış açıları yaratma açısından büyük önem taşımaktadır.

## **PALS, ICESat / GLAS and ICESat-2 Laser Systems and Applications**

### **Keywords**

Laser  
PALS  
ICESat/GLAS  
ICESat-2

### **ABSTRACT**

Nowadays, the rapid development of science and space technologies has increased the application and usage areas of remote sensing and photogrammetric methods. Especially with the developments in laser systems and laser platforms, the data related to earth surface can be collected on a faster, more sensitive, regional and global scale. In this study, PALS, ICESat / GLAS and ICESat-2 laser systems are described and data types obtained from these systems are introduced and information about their usage areas is given. Each developed laser system's technical features, coverage area and data structure differs from each other. Knowing all existing systems allows the use of the correct system and data in scientific studies. The introduction of these systems, which are not widely used in our country, is of great importance in terms of creating different perspectives to researchers.

\*Sorumlu Yazar

Kaynak Göster (APA)

\*(mugekaan@gmail.com) ORCID ID 0000 – 0003 – 0190 – 7280

AĞCA, M. (2020). PALS, ICESat/GLAS ve ICESat-2 Lazer Sistemleri ve Kullanım Alanları. Geomatik, 5 (1), 27-35. DOI: 10.29128/geomatik.560344  
Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/geomatik/issue/48883/560344>

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda, uydu teknolojisinde yaşanan gelişmeler ile yeryüzünün periyodik olarak görüntülenmesi, izlenmesi, kontrolü ve erişilmesi zor hatta imkânsız olan alanlarla ilgili verilerin toplanması giderek kolaylaşmıştır. Son teknolojik gelişmeler ile yeryüzüne ait bilgiler daha hızlı, güncel, yüksek doğruluklu, kapsama alanı daha geniş, tekrarlanabilen, küresel ve yerel ölçekli veriler elde edilebilmektedir. Veri hesaplama, veri saklama kapasitesindeki artışlar, yazılım ve programlamadaki ilerlemeler ile son teknolojik sistemlerden elde edilen veriler kolaylıkla işlenebilmektedir.

Günümüzde lazer verileri yeryüzü ile ilgili hassas bilgilerin toplanmasında giderek artan önemde kullanılmaktadır. Lazer tarama sistemlerinden elde edilen lazer verilerinin bilimsel çalışmalara olan katkısı kendini kanıtlamış durumdadır. Lazer verilerinin diğer verilerle (uydu görüntüleri, hava fotoğrafları gibi) entegre edilebilmesi bu verilerin kullanım ve uygulama alanını artırmaktadır. Günümüzde lazer verileri çok hassas sayısal yükseklik/arazi modellerinin oluşturulması, detaylı üç boyutlu modelleme, restorasyon, hassas yükseklik (bina, ağaç, vb) ölçümleri, hacim hesaplama, farklı bitki örtüsü (kapalılık örtüsü, tür belirleme, vb) haritalarının oluşturulması ve şehir modellemesi gibi çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Genel olarak, lazer enerji kaynaklı sensörler yersel, havasal ve uzaysal olmak üzere üç ana platforma monte edilmektedir. PALS (Portable Airborne Laser System), ICESat/GLAS (Ice, Cloud and Land Elevation Satellite/Geoscience Laser Altimeter System) ve ICESat-2 enerji kaynağı lazer olan sistemlerdir. Bu sistemler ile yeryüzünde tanımlanması, ulaşılması zor olan alanlardan farklı veri türleri elde edilebilmekte, yüzeyler üzerindeki objelerin formları ve yükseklik değerleri belirlenebilmektedir. Bu çalışmada, PALS, ICESat/GLAS ve ICESat-2 lazer sistemleri, sistemlerin birbirinden farkı, veri türleri ve kullanım alanları anlatılmaktadır. Genel olarak, PALS sistemi veri toplama yöntemi ile klasik havasal lidar (Light Detection and Ranging) sistemlerine benzerlik göstermektedir. ICESat/GLAS ve ICESat-2 lazer sistemleri yörüngeye gönderilen ilk uzaysal lidar sistemleridir. Bu sistemlerden elde edilen lazer verileri dalga formu (GLAS) ve foton sayma (ICESat-2) yönleri ile klasik lazer nokta bulutu verilerinden farklılık göstermektedir. Bu sistemler, yeryüzüne ilişkin bilgilerin farklı ölçeklerde toplanması ve haritalanmasına olanak sağlamaktadır.

## 2. İLERİ FOTOTOGRAFETİK SİSTEMLER

### 2.1. PALS Sistemi ve Veri Türü

Türkçe karşılığı Portatif Havasal Lazer Sistemi olarak adlandırılan PALS (Portable Airborne Laser System) sistemi birçok yönü ile mevcuttaki lazer sistemlerinden farklılık göstermekte ve araştırmacılara alternatif veri sunmaktadır. PALS sistemi NASA (National Aeronautics and Space Administration)'da çalışan Dr. Ross Nelson tarafından 1999 yılında geliştirilmiştir. PALS sisteminin taşınabilir olması, kompleks bir yapıya sahip olmaması, düşük maliyetli olması, kullanım kolaylığı ve profil verilerinin elde edilebilmesi özellikleri ile araştırmacılara birçok avantaj sağlamaktadır. Sistem geliştirilirken özellikle bu kriterler göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca, PALS sistemi dizayn edilirken bileşenlerinin piyasada rahatça bulunan parçalardan olmasına dikkat edilmiştir. Sistem bileşenleri (Nelson vd., 2003);

- Kızılötesi lazer vericisi/alıcısı,
- Diferansiyel Küresel Konumlandırma Sistemi (dGPS) alıcısı,
- CCD (charge-coupled device) video kamera ve GPS'li video kayıt sistemi
- Lazer ve GPS verilerini kaydetmek için kullanılan dizüstü bilgisayar
- dGPS ve lazer veri akışlarını kontrol etmek, izlemek ve kaydetmek için ticari bir yazılım paketi (LABView).

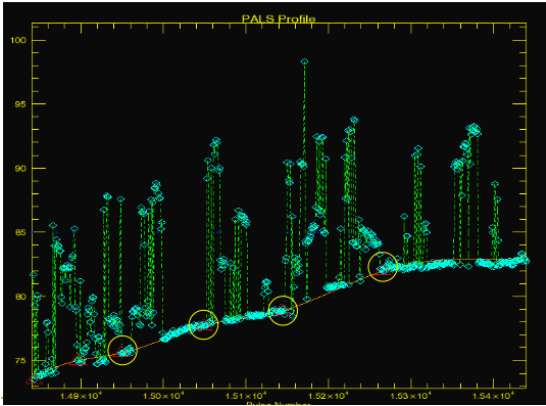
Şekil 1 PALS sisteminin bileşenlerini göstermektedir (Nelson vd., 2003). Oldukça basit ve hafif olan bu sistem küçük uçaklara veya helikopterlere monte edilebilmektedir. Sistem tarafından elde edilen lazer ve GPS verileri depolama ünitelerine kaydedilir. Verileri kontrol etmek ve toplamak için LABView yazılımı kullanılmıştır. Bu sistem ile maksimum 300m yükseklikten veri toplanabilmektedir.



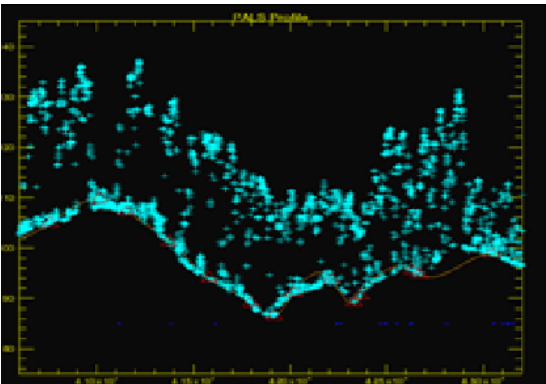
Şekil 1. PALS sisteminin bileşenleri (Nelson vd., 2003).

PALS sisteminin enerji kaynağı lazer olduğu için bu sistemden elde edilen veriler “lazer nokta bulutu” olarak adlandırılır. PALS verileri .LAS, .TXT ve ASCII formatında kaydedilebilir. Aslında PALS sistemi bir tür havasal lidar sistemidir. Bu iki sistem arasında benzerlikler olsa da birçok farklılıklarda mevcuttur. Havasal lidar sistemi “wall to wall” yani tüm alanı enine ve boyuna uçuşlar gerçekleştirerek kaplar ve çalışma alanına ait yoğun nokta bulutu toplar. PALS sistemi ise çalışma alanını belirli aralıklarla uçarak sadece profil verisi toplar. Bu durum her iki sistem arasındaki en büyük farktır.

PALS verilerinin işlenmesinde zemin bilgisi oldukça önemlidir. Öncelikle bu tür verileri işlemek için geliştirilen Zemin Bulma (ground finding) yazılımına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yazılımda sistem geliştiricisi tarafından geliştirilmiştir. Çalışma alanından toplanan veriler uygun yazılımda açıldıktan sonra zemin bilgisindeki problemler gerekli nokta ekleme ve/veya çıkarmalar yapılarak çözülmektedir. Şekil 2 PALS profil verisini ve verinin ön-işlem (Pre-processing) aşamasından bir görünümü vermektedir. Daha çok profil verilerinin gereksinim duyulduğu çalışmalarda bu sistem kullanılmalıdır. Sayısal yükseklik modeli ve sayısal arazi modeli üretmek için uygun bir sistem değildir.



Şekil 2. (a) ve (b) PALS verilerinin ön-işlem aşamasından görüntüleri.

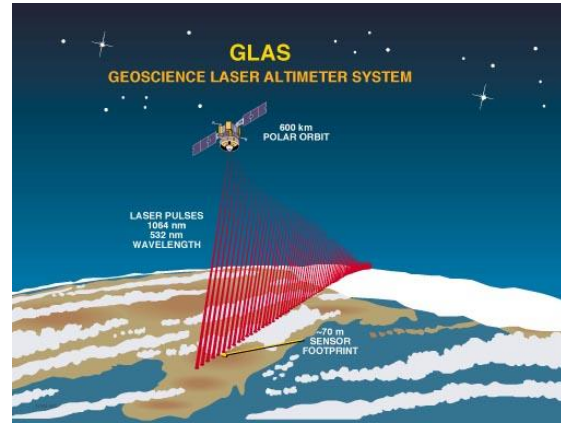


Şekil 2-Devam. (a) ve (b) PALS verilerinin ön-işlem aşamasından görüntüleri.

## 2.2. ICESat/GLAS Sistemi ve Veri Türü

ICESat/GLAS sistemi NASA tarafından geliştirilen ve Ocak 2003 yılında yörüngeye (Şekil 3) gönderilen sürekli olarak Dünya'nın küresel gözlemini elde etmek için kullanılan ilk uzaysal lidar sistemidir (Simard vd., 2008; Pang vd., 2008; Nelson vd., 2009; Neuenschwander vd., 2008). GLAS lazer sensörü ICESat uydusu üzerinde yer almaktadır. ICESat uydusu üzerine takılan lazer güç kaynağından (GLAS) yeryüzüne güçlü lazer enerji dalgası gönderilir. Yeryüzüne çarpıp geri yansıyan enerji dalgasının yoğunluğu sistem tarafından kaydedilir. Bu sistem bölgesel ve küresel ölçekte veri sağlamaktadır.

ICESat/GLAS sistemi 33 günlük dönemlerde Ekim 2009 yılına kadar veri toplamıştır (Hilbert ve Schullius, 2012). GLAS sistemin ilk geliştirilme amacı, buz tabakasındaki yükseklik değişimlerini ve yeryüzünün topografik özelliklerini belirlemektir. Fakat daha sonra kullanım alanı oldukça genişlemiştir.



Şekil 3. ICESat/GLAS sisteminin yörüngedeki görünümü (URL-1).

GLAS sistemine entegre LASER 1 (L1), LASER 2 (L2) ve LASER 3 (L3) olarak toplamda üç adet aynı anda veri toplayan lazer sistemleri bulunmaktadır. L1, L2 ve L3 sistemlerinin yörüngedeki operasyon günleri ve veri toplama süreleri Tablo 1'de verilmiştir. Sistem yörüngeye yerleştikten kısa bir süre sonra L1'den veri temin edilememiştir. L1, L2 ve L3 lazer sistemlerinin hedefe gönderdiği izdüşümlerin genel ismine GLAS ayak izi (GLAS footprint) adı verilir. ICESat/GLAS sistemi yeryüzüne saniyede yaklaşık 70 m nominal çapa sahip ayak izi şeklinde 40 darbe gönderir. İki ayak izi arasındaki mesafe yaklaşık 172 m'dir (Zwally vd., 2002; Nelson vd., 2009). L1 ve L2 lazer sistemlerinden elde edilen ayak izlerinin şekli elipsoide benzerken L3 sisteminde elde edilen ayak izinin şekli daha çok daireye benzemektedir (Neuenschwander vd., 2008).

**Tablo 1.** L1, L2 ve L3 lazer sistemleri ve veri temini periyotları (URL-2).

Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	Faaliyet Günleri	Lazer Sistemi
20.02.2003	29.03.2003	38	Laser-1AB
25.09.2003	19.11.2003	55	Laser-2A
17.02.2004	21.03.2004	34	Laser-2B
18.05.2004	21.06.2004	35	Laser-2C
03.10.2004	08.11.2004	37	Laser-3A
17.02.2005	24.03.2005	36	Laser-3B
20.05.2005	23.06.2005	35	Laser-3C
21.10.2005	24.11.2005	35	Laser-3 boyutlu
22.02.2006	28.03.2006	34	Laser-3E
24.05.2006	26.06.2006	33	Laser-3F
25.10.2006	25.11.2006	34	Laser-3G
12.03.2007	14.04.2007	34	Laser-3H
02.10.2007	05.11.2007	37	Laser-3I
17.02.2008	21.03.2008	34	Laser-3J
04.10.2008	19.10.2008	16	Laser-3K
25.11.2008	17.12.2008	23	Laser-2D
09.03.2009	11.04.2009	34	Laser-2E
30.09.2009	11.10.2009	12	Laser-2F

GLAS izdüşümlerinin yeryüzünde kapladığı alanın temsili gösterimi Şekil 4'te verilmiştir. ICESat/GLAS verileri National Snow and Ice Data Center (NSIDC) web sitesinden ücretsiz olarak indirilebilmektedir. L1, L2 ve L3 sistemleri ile farklı dönem ve tarihlerde temin edilen verilerin kalibrasyon/doğrulama ve ön işlemleri Goddard Space Flight merkezindeki ICESat Science Investigator-led Processing Sistem (I-SIPS) araştırmacıları tarafından yapıldıktan sonra kullanıcıya sunulmaktadır. GLAS sisteminden elde edilen verilerin listesi Tablo 2'de özetlenerek verilmiştir.

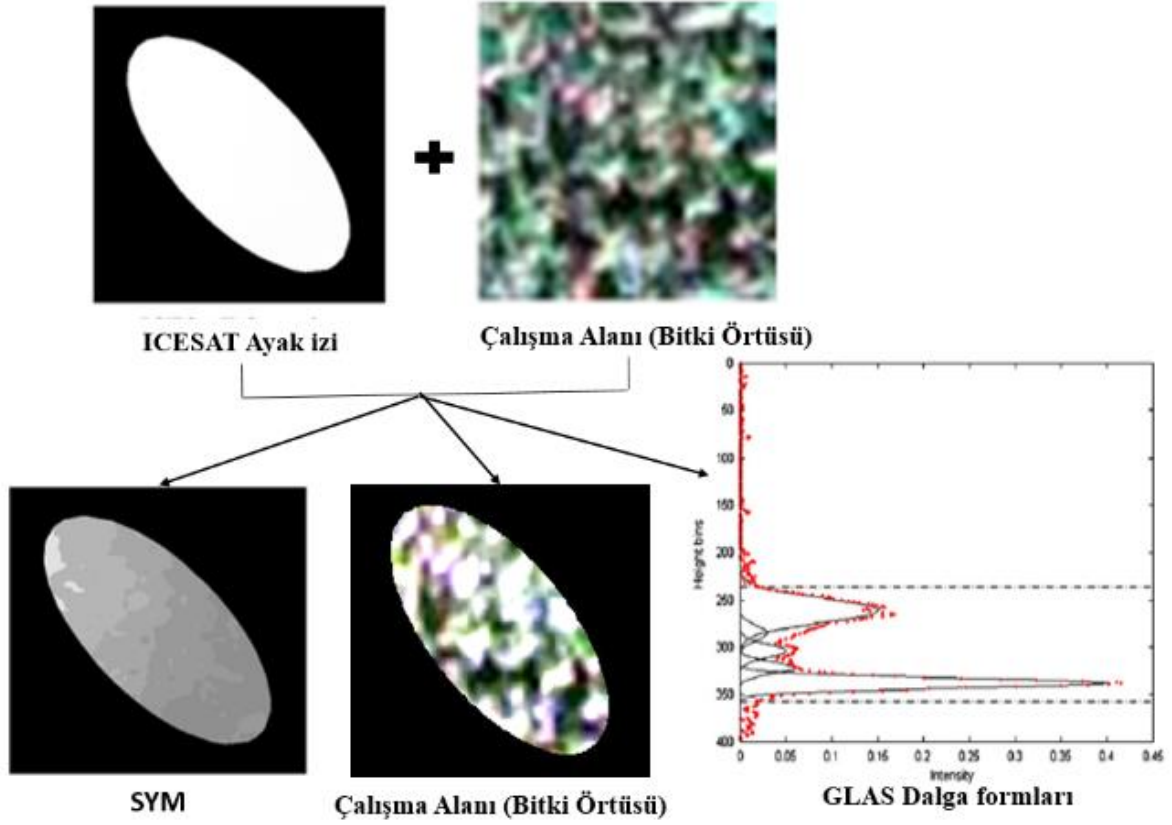
**Şekil 4.** GLAS ayak izlerinin yeryüzündeki temsili gösterimi.**Tablo 2.** GLAS verileri (Zwally vd., 2002).

Veri Kodu	Verinin Adı ve İçeriği
GLA01	L1A Global Altimetre
GLA02	L1A Global Atmosfer
GLA03	L1A Global Mühendislik
GLA04	L1A Global Lazer Nokta Bulutu
GLA05	L1B Global Dalga Formu Tabanlı Mesafe Düzeltmeleri
GLA06	L1B Global Yükseklikler
GLA07	L1B Global Geri Yansıma
GLA08	L2 Global Planet Sınır ve Yükseltmiş Aerosol Tabakaları Yüksekliği
GLA09	L2 Global Çok Katmanlı Bulutlar için Bulut Yükseklikleri
GLA10	L2 Global Aerosolların Düşey Yapısı
GLA11	L2 Global İnce Bulut / Aerosol Optik Derinlikler
GLA12	L2 Polar Buz Tabakası Altimetrisi
GLA13	L2 Deniz Buzulları Altimetrisi
GLA14	L2 Global Arazi Yüzeyi Altimetrisi
GLA15	L2 Okyanus Altimetrisi
GLA16	L3 Global Yükseklik ve Atmosfer (HDF-EOS)

ICESat sistemi, 40 Hz frekans ve 1.064  $\mu\text{m}$  dalga boyunda lazer ışınlarını 5 ns veya 1 ns olmak üzere iki farklı örnekleme aralığında yeryüzüne gönderir. GLAS sistemi dalga formunda (waveform) 1,92 milyar lazer verilerini küresel ölçekte toplamıştır (Narine vd., 2019). Yeryüzünden geri yansıyan enerji, 544 birimde ayak izi şeklindeki sınırlar içinde dikey bir profil olarak sistem tarafından kaydedilir. Örnekleme aralıklarına göre bu sistemden elde edilen veriler 15 cm (1 ns) ve 75 cm (5 ns) çözünürlüğe sahiptir. Sistem yüzeyden yansıyan enerjiyi zamanın bir fonksiyonu olarak kaydeder.

Şekil 5 bitki örtüsü üzerinden elde edilen GLAS verisinin ayak izini, ayak izi sınırları içerisindeki sayısal yükseklik verisini ve o alana ait dalga formu verisini göstermektedir. GLAS verisindeki dalga formunun şekillenmesinde GLA14 (level 2) verisinden yararlanılmaktadır.

GLAS dalga formları farklı yüksekliklerde Gauss pikleri kullanılarak yumuşatılmıştır. GLA14 verisi dalga formlarının şeklini sağlayan altı Gauss dağılım eğrisini içermektedir. GLAS dalga formu verilerinde, ilk sinyal (son Gauss pik) maksimum yüksekliği, son sinyal (ilk Gauss pik) zemin verilerini ve HOME adı verilen meydan enerji bilgileri mevcuttur. GLAS verilerini yeryüzünde yapılan çalışmalarda kullanırken istatistiksel analizler uygulamak gerekmektedir. GLAS dalga formu enerjisinden elde edilen farklı yükseklik yüzdeleri (% 0 (RH0), % 25 (RH25), % 50 (HOME-medyan), % 75 (RH75), % 90 (RH90) ve % 100 gibi) istatistiksel analizlerde (regresyon analizleri) girdi parametreleri olarak kullanılmaktadır. İstatistiksel analizler gerçekleştirildikten sonra en uygun model seçilerek çalışmanın amacına ulaşılmaktadır.



Şekil 5. GLAS ayak izi ve kapladığı alandan elde edilen veriler.

### 2.3. ICESat-2 Sistemi ve Veri Türü

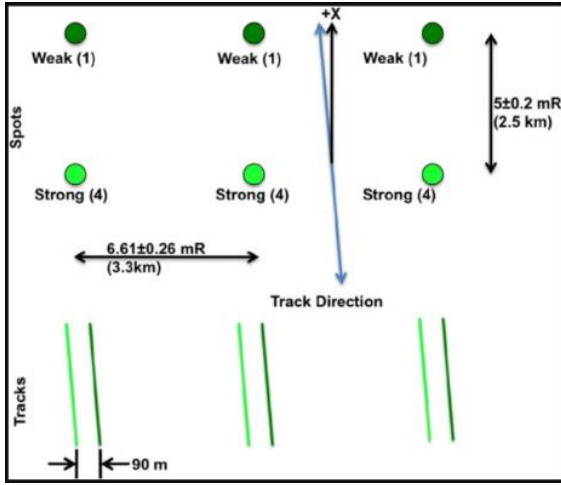
ICESat/GLAS sistemi 2003'ten 2009'a kadar olan görevinde yeryüzünün yüksekliğini ve değişimlerini başarılı olarak incelemiş ve lazer altimetre kullanımına öncülük etmiştir. ICESat/GLAS'ın başarısının bir sonucu olarak, Ulusal Araştırma Konseyi'nin (National Research Council-NRC) talebi ile ICESat-2 sistemi NASA tarafından 15 Eylül 2018 yılında yörüngeye gönderilmiştir (URL-3; Narine vd., 2019). ICESat-2 sistemi ICESat/GLAS sistemine kıyasla uygulama alanı daha geniş olan veriler sunmaktadır. ICESat-2 ayrıca dağ buzulu ve buz örtüsü kotlarındaki değişiklikler, arazi ve bitki örtüsü yükseklikleri, iç su yükseltileri, deniz yüzeyi yükseklikleri ve bulut katmanları ve optik kalınlık hakkında bilgi sağlamaktadır. Bunlara ek olarak ICESat-2 kıta çapında tahminlere izin vermektedir. Bu sistem 15 yıl boyunca Greenland ve Antarktika buz tabakalarının hacmindeki değişim ve deniz-buz kalınlığının uzun vadeli analizinde kullanılmak üzere tasarlanmıştır.

ICESat-2 sisteminin ICESat/GLAS sisteminden en büyük farkı ICESat uydusuna GLAS lazer sistemi yerine Advanced Topographic Laser Altimeter System (ATLAS) sisteminin takılmasıdır. GLAS ve ATLAS sistemleri arasında önemli farklılıklar vardır. Bu farklılıklar Tablo 3'de özetlenmiştir.

Tablo 3. GLAS ve ATLAS sistemlerinin karşılaştırılması (Markus vd., 2017).

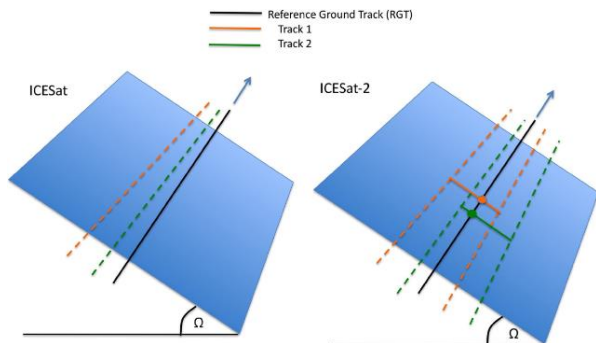
Özellikler	GLAS	ATLAS
Ölçüm yaklaşımı	Enerji dalga formu	Foton sayma
Dalga boyu	1064 nm	532 nm
Tekrarlama frekansı	40 Hz	10 kHz
Işın sayısı	1	6 (birbirine 3,3 km uzaklıkta 3 çift ışın)
Ayak izi boyutu	70 m	14 m
Hat boyunca örnekleme	172 m	0.7 m

Orijinal ICESat tasarımının aksine, ICESat-2 mikro-darbeleri yani çoklu ışın yaklaşımı kullanmaktadır. GLAS sistemi tek bir ışın (single beam) üretirken, ATLAS sistemi birbirine 3,3 km uzaklıkta üç çift ışın yayar. Her bir çift içindeki ışınların birbirine olan mesafesi 90 metredir (Markus vd., 2017). Her ışın 17 m çapında bir ayak izine sahip olup her iki ayak izi arasındaki mesafe 70 cm'dir. ICESat-2'nin örnekleme geometrisi Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. ICESat-2 örnekleme geometrisi (Markus vd., 2017).

GLAS yakın kızılötesi bölgesinde darbeleri yayarken, ATLAS 532 nm'de yeşil dalga boyunu kullanmaktadır. ATLAS sistemi, mekansal çözünürlüğünün daha iyi olması, örnekleme aralığının daha fazla olması ve tek foton lidarı (single photon lidar-SPL) ile veri toplaması özellikleri ile yeryüzüne ait daha detaylı bilgiler toplamaktadır. Çoklu ışın yaklaşımı daha gelişmiş ve detaylı mekansal kapsama sağlamaktadır. Ayrıca, çoklu ışın konfigürasyonu yüzey eğiminden bağımsız olarak yıllık ve mevsimsel yükseklik değişimi tespiti destekler (Markus vd., 2017). Şekil 7'de görüldüğü gibi bilinmeyen bir eğimde  $\Omega$  ve birbirine yakın hatlarda arazideki yükseklik değişimlerini iki ayrı ışın (ICESat- single beam) ile belirlemek imkansızdır. ICESat-2 sisteminden yeryüzüne gönderilen her bir ışın çifti tarafından ölçülen yüksekliklerin enterpolasyonu ile yükseklik değişimleri elde edilebilir.



Şekil 7. ICESat/GLAS ve ICESat-2 sistemlerinden elde edilen yükseklik değişimlerinin kıyaslanması (Markus vd., 2017).

ATLAS sistemine entegre biri birincil diğeri yedek olmak üzere iki lazer sistemi bulunmaktadır. ATLAS sisteminde lazerler, 2.6 metre çapında teleskop ve dedektörle birlikte lazer referans sistemi olarak adlandırılan bir ekipmanda bulunmaktadır. Bu sistem lazerin nereye işaret ettiğini kontrol eder ve teleskopla aynı hizada olmasını sağlar. Ayrıca, lazer referans sistemi teleskopun işaret ettiği nokta ile uzay aracı arasında bağlantı kurar.

GLAS sistemine kıyasla sistem yeryüzüne saniyede 40 darbe (40 Hz) yerine saniyede 10,000 darbe (10 kHz) gönderir. Darbeler yeryüzüne ışınlanmadan önce bir dizi mercek ve ayna boyunca ilerler. Lazerler ilerleme kaydederken otomatik olarak sistemin zamanlama mekanizmasında kronometre başlatılır, lazerin dalga boyu kontrol edilir, zemin ayak izinin boyutu ayarlanır, lazer ve teleskop mükemmel bir şekilde hizalanır ve lazer altı ışına bölünür.

ATLAS sistemi her darbeye yaklaşık 20 trilyon foton yeryüzüne gönderilir ve geri dönen fotonlar teleskopta toplanır. Fotonların yeryüzüne gönderiliş zamanı, sisteme geri dönüş zamanı, uydunun konumu ve ışık hızı katsayısı bilgileri kullanılarak her bir fotonun yolculuk zamanı belirlenebilmekte ve mesafe tayini yapılmaktadır. ATLAS sisteminden elde edilen verilerin listesi Tablo 4'de özetlenerek verilmiştir. Diğer sistemlerde olduğu gibi veriden veri türetilerek veri sayısı ve kullanım alanları artırılabilir.

Tablo 4. ICESat-2 veri listesi (URL-3).

Veri Kodu	Verinin içeriği
ATL00	Telemetri Verileri
ATL01	Yeniden Formatlanmış Telemetri
ATL02	Bilimsel Birime Dönüştürülmüş Telemetri
ATL03	Global Coğrafi Konumlu Foton Verileri
ATL04	Ayarlanmamış Geri Yansımaya Profilleri
ATL06	Arazi Buz Yüksekliği
ATL07	Arktik/Antarktika Deniz Buz Yüksekliği
ATL08	Arazi Su Bitki Örtüsü Yüksekliği
ATL09	Kalibre Edilmiş Geri Yansımaya ve Bulut Özellikleri
ATL10	Arktik / Antarktika Deniz Buzulları tam yüksekliği
ATL11	Antarktika / Grönland Buz Tabakası H (t) Serisi
ATL12	Okyanus Yüksekliği
ATL13	İç Suların Yüksekliği
ATL14	Antarktika / Grönland Buz Tabakası H (t) Gridli
ATL15	Antarktika / Grönland Buz Tabakası dh / dt Gridli
ATL16	ATLAS Haftalık Atmosfer
ATL17	ATLAS Aylık Atmosfer
ATL18	Gridli Arazi/Kanopi
ATL19	Ortalama Deniz Yüzeyi (MSS)
ATL20	Arktik / Antarktika Gridli Deniz Buzu Tam Yüksekliği
ATL21	Kuzey Kutbu / Antarktika Gridli Deniz Yüzeyi Yüksekliği

### 3. KULLANIM ALANLARI

Uzaktan algılama ve fotogrametrik sistemlerinin farklı platformlara entegre edilmesinin en önemli sebeplerinden biri bu sistemlerin

uygulama ve kullanım alanlarını genişletmektedir. Farklı ölçekli çalışmalar yeryüzüne ait güncel ve doğru bilgilerin elde edilmesini, yeryüzünün belirli periyotlarda monitörlenmesini, verilerin depolanmasını ve birbirinden farklı yapıdaki verilerin bir arada analizini gerektirmektedir.

PALS sistemi özellikle ormanlık alanlarda profil ve yükseklik verileri elde etmek amacı ile geliştirilmiştir. Genel olarak PALS sistemi herhangi bir alanın profilini elde etme, orman ve vejetasyon çalışmalarında; minimum ve maximum ağaç yüksekliği, ortalama taç yüksekliği ve varyansı, kuadratik ortalama yükseklik ve farklı yükseklik dilimleri (%25, %75, % 90 gibi) elde etme amacı ile kullanılmaktadır. PALS sisteminden elde edilen bu yükseklik verileri bağımsız değişkenler olarak istatistiksel tahminleme modellerinde kullanılmaktadır. Bu bağımsız değişkenler ile biyokütle, karbon, yaban hayatı alanlarının belirlenmesi, ortalama taç yüksekliği ve varyansı, tür belirleme, kapalılık örtüsü ve hacim verileri elde edilebilmektedir (Nelson 2003; Nelson vd. 2008; Nelson vd. 2004). Yerleşim alanlarında; bina ve elektrik direği yüksekliklerini ölçme, hat etüdü, boru hatlarının belirlenmesi, topoğrafyadaki kot farklarını belirleme gibi çalışmalarda kullanılabilir. Ayrıca, profil verilerinden zemin tespitleri yapılabilmektedir. Özellikle zemin bilgisi Jeodezik çalışmalarda büyük önem taşımaktadır. PALS sisteminden elde edilen veriler diğer fotogrametrik sistemlerden elde edilen verilerin doğruluk analizinde de kullanılmaktadır (Boudreau vd., 2008).

ICESat/GLAS sistemi yüzey altimetrisini, yoğun bulutların yükseklik bilgilerini, bulutların ve aerosollerin dikey dağılımını ve buz tabakalarındaki kütle dengesini ölçmek ve izlemek amacı ile tasarlanmıştır. Bu sistemden elde edilen veriler kıyı şeritlerinde sayısal yükseklik modeli (Wang vd., 2018), yaprak alan indeksi (Yang vd., 2019; Garcia vd., 2012), hassas sayısal yükseklik modeli (Yue vd., 2017), hidroloji (Carabajal vd., 2006), biyokütle (Nelson et al., 2009), vejetasyon kütle yoğunluğu, global vejetasyon yüksekliği (Garcia vd., 2012; Lefsky vd., 2007), ormanlık alanların dikey yaprak profili, arazi kullanımının sınıflandırılmasında, arazi yüksekliği (Tang vd., 2014), kapalılık örtüsü gibi çalışmalarda da yaygın olarak kullanılmaktadır. ICESat/GLAS verisi ile yapılan ilk çalışmalarda gerçekleştirilen tahminleme ve ölçümler ayak izi sınırları içerisindeydi. Daha sonra bu verisi ile tüm çalışma alanını kapsayan (wall-to-wall map) orman taç yükseklik, taç kapalılık ve arazi yüksekliği ve klimatoloji haritaları oluşturulmuştur (Lefsky 2010; Simard vd., 2011).

ICESat/GLAS sisteminin başarısının bir sonucu olarak geliştirilen ICESat-2 sisteminden elde edilen verilerin kullanım alanı daha geniştir. ICESat/GLAS sisteminden elde edilen verilere ek olarak ICESat-2 sistemine entegre olan ATLAS sistemi bitki örtüsünün taç/tepe yükseklikleri için optimize edilmiş ölçümlerle kara ve okyanus alanlarının orta ve alt enlemlerinden veri toplamaktadır. Yani bu

sistemden elde edilen veriler küresel karbon envanter değerlendirmesine olanak sağlamaktadır. Bu envanter, küresel karbon bütçesinin tahmininde ve hesaplamasında kritik öneme sahiptir. ICESat-2 sisteminden elde edilen veriler bitki örtüsü taç yüksekliği, bölgesel ve küresel topografik analizleri, büyük ölçekli biyokütle ve biyokütle değişiminin tahmini, buz tabakası değişiklikleri, deniz seviyesindeki yükseklik değişimleri, buzul terminalindeki değişiklikleri, küresel iç suların kütle yüksekliklerinin hesaplanması, okyanus ve dalga yüksekliklerinin hesaplanması ve atmosferik çalışmalarda kullanılmaktadır. Diğer sistemlerde olduğu gibi bu sistemden elde edilen verilerin kullanım ve uygulama alanlarının yapılacak olan bilimsel araştırmalarla artacağı beklenmektedir.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada PALS, ICESat/GLAS ve ICESat-2 sistemleri ve bu sistemlerden elde edilen verilerin kullanım alanları açıklanmıştır. Sonuç olarak, PALS sistemi bölgesel çalışmalarda kullanılırken ICESat/GLAS ve ICESat-2 sistemleri hem bölgesel hemde küresel ölçekli çalışmalarda kullanılabilir. ICESat/GLAS ve ICESat-2 sistemleri ile detaylı araştırmaların yapılabilmesi için Quickbird, Landsat, ASTER ve MODIS gibi yüksek, orta ve/veya düşük çözünürlüklü verilerin entegrasyonuna ihtiyaç duyulmaktadır. ICESat/GLAS ve ICESat-2 sistemlerinden elde edilecek olan istatistiksel parametrelerin doğru hesaplanması ve doğru modelin ortaya çıkmasına ve dolayısıyla daha doğru tahminlemelerin yapılmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca, havasal lidar verilerinin bu verilerle entegrasyonu ile daha güçlü ve doğru tahminlemeler yapılmaktadır. Havasal lidar sistemi yeryüzü ile ilgili yapılan çalışmalarda başarısını kanıtlamış durumdadır. Yapılan ölçümlerin ve haritalamaların başarısı defalarca test edilmiştir. Sonuç olarak, havasal lidar verileri PALS, ICESat/GLAS ve ICESat-2 sistemleri ile yapılan çalışmaların doğruluk analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Lazer verilerinin yelpazesinde olan bu gelişmeler yeryüzüne ait bilgilerin toplanmasına ve haritalanmasına farklı alternatifler sunmaktadır. Görüldüğü gibi PALS, ICESat/GLAS ve ICESat-2 sistemlerinden elde edilen veriler birçok disiplin tarafından kullanılmaktadır. Fotogrametri ve uzaktan algılama verileri ile haritalama ve modelleme yapan bilimsel araştırmacılar bu verilerden önemli derecede faydalanabilir. Bu verilerin daha fazla kullanılması farklı disiplinlerle daha güçlü bilimsel çalışmalara olanak sağlayacaktır. Ülkemizde yaygın olarak kullanılmayan bu sistemlerin tanıtımı kullanıcı ve araştırmacı kitlesindeki artış açısından büyük önem taşımaktadır.

**KAYNAKÇA**

- Carabajal, C. C., Boy, J. P., Luthcke, S. B., Harding, D. J., Rowlands, D. D., Lemoine, F. G., Chin, D. S., (2006). Recovery of Three-Gorges reservoir impoundment signal from ICESat altimetry and GRACE. American Geophysical Union, Fall Meeting, abstract no. G13C-06, 87 (52).
- Garcia, M., Popescu, S., Riano, D., Zhao, K., Neuenschwander, A., Agca, M., Chuvieco, E. (2012). Characterizing of canopy fuels using ICESat/GLAS data. *Remote Sensing of Environment*, 123, 81-89.
- Hilbert, C., ve Schmillius, C. (2012). Influence of Surface Topography on ICESat/GLAS Forest Height Estimation and Waveform Shape. *Remote Sensing*, 4, 2210-2235; doi:10.3390/rs4082210.
- Lefsky, M.A., (2010). A Global Forest Canopy Height Map from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer and the Geoscience Laser Altimeter System. *Geophysical Res.Letter*. 37, 5-11.
- Lefsky, M.A., Keller, M., Pang, Y., de Camargo, P.B., Hunter, M.O., (2007). Revised Method for Forest Canopy Height Estimation from Geoscience Laser Altimeter System Waveforms. *Journal Application Remote Sensing*. 1, 18.
- Markus, T., Neumann, T., Martino, A., Abdalati, W., Brunt, K., Csatho, B., Farrell, S., Fricker, H., Gardner, A., Harding, D., Jasinski, M., Kwok, R., Magruder, L., Lubin, D., Luthcke, S., Morison, J., Nelson, R., Neuenschwander, A., Palm, S., Popescu, S., Shum, C.K., Schutz, B.E., Smith, B., Yang, Y., Zwally, J., 2017. The Ice, Cloud, And Land Elevation Satellite-2 (Icesat-2): Science Requirements, Concept, and Implementation. *Remote Sensing of Environment*, 190, 260–273.
- Narine, L.L., Popescu, S., Neuenschwander, A., Zhou, T., Srinivasan, S., Harbeck, K. (2019). Estimating Aboveground Biomass and Forest Canopy Cover with Simulated ICESat-2 data. *Remote Sensing of Environment*, 224, 1-11.
- Nelson, R., Parker, G., Hom, M., (2003). A Portable Airborne Laser System for Forestry Inventory. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69, (3), 267-273.
- Nelson, R., Næsset, E., Gobakken, T., Ståhl, G., Gregoire, T. 2008. Regional Forest Inventory Using an Airborne Profiling LiDAR. *Journal of Forest Planning*, 13, 287 - 294.
- Nelson, R. F., Ranson, K. J., Sun, G., Kimes, D. S., Kharuk, V., & Montesano, P. (2009). Estimating Siberian Timber Volume using MODIS and ICESat/GLAS. *Remote Sensing of Environment*, 113, 691-701.
- Neuenschwander, A. L., Urban, T. J., Gutierrez, R., & Schutz, B. E. (2008). Characterization of ICESat/GLAS Waveforms over Terrestrial Ecosystems: Implications for Vegetation Mapping. *Journal of Geophysical Research*, 113, 18-24.
- Pang, Y., Lefsky, M., Sun, G., Miller, M. E., & Li, Z. (2008). Temperate Forest Height Estimation Performance using Icesat GLAS Data from Different Observation Periods. *Proceedings of the ISPRS ISS VII, Beijing, China*, 777-782.
- Simard, M., Rivera-Monroy, V. H., Mancera-Pineda, J. E., Castaneda-Moya, E., & Twilley R. R. (2008). A Systematic Method for 3D Mapping of Mangrove Forests Based on Shuttle Radar Topography Mission Elevation Data, ICESat/GLAS Waveforms and Field Data: Application to Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Remote Sensing of Environment*, 112, 2131-2144.
- Simard, M., Pinto, N., Fisher, J.B., Baccini, A., (2011). Mapping forest canopy height globally with spaceborne lidar. *Journal of Geophysical Research Biogeosciences*, 116, 12.
- Tang, H., Dubayah, R., Brogly, M., Ganguly, S., Zhang, G., (2014). Large-Scale Retrieval of Leaf Area Index and Vertical Foliage Profile From The Spaceborne Waveform Lidar (GLAS/Icesat). *Remote Sensing of Environment*, 154, 8–18.
- URL-1. <https://www.csr.utexas.edu/glas> (Son Erişim-Mart, 2019).
- URL-2. <https://nsidc.org/data/icesat/> (Son Erişim-Nisan, 2019).
- URL-3. <https://icesat-2.gsfc.nasa.gov/> (Son Erişim-Nisan, 2019).
- Wang, X., Holland, D.M., Hilmar Gudmundsson, G. (2018). Accurate Coastal DEM Generation by Merging ASTER GDEM and ICESat/GLAS Data over Mertz Glacier, Antarctica. *Remote Sensing of Environment*, 206, 218-230.
- Yang, X., Wang, C., Pan, F., Nie, S., Xi, X., Luo, S. (2018). Retrieving Leaf Area Index in Discontinuous Forest Using Icesat/GLAS Full-Waveform Data Based on Gap Fraction Model. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 148, 54-62.
- Yue, L., Shen, H., Zhang, L., Zheng, X., Zhang, F., Yuan, Q. (2016). High-quality Seamless DEM Generation Blending SRTM-1, ASTER GDEM v2



and ICESat/GLAS Observations. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 123, 20-34.

Zwally, H.J., Schutz, B., Abdalati, W., Abshire, J., Bentley, C., Brenner, A., Bufton, J., Dezio, J., Hancock, Hardinga, D., Herring, T., Minster, B., Quinn, K., Palm, S., Spinhirne, J., Thomas, T. (2002). ICESat's Laser Measurements of Polar Ice, Atmosphere, Ocean, and Land. *Journal of Geodynamics*. 34, 405-445.