Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi

Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering

AKÜ FEMÜBİD **16** (2016) 035506 (679-692) AKU J. Sci. Eng. **16** (2016) 035506 (679-692)

DOI: 10.5578/fmbd.41390

Araştırma Makalesi / Research Article

Hava Lazer Tarama Sistemi, Uygulama Alanları ve Kullanılan Yazılımlara Genel Bir Bakış

Nizar POLAT, Murat UYSAL

Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü, 03200 Afyonkarahisar/TÜRKİYE

npolat@aku.edu.tr

Geliş Tarihi: 22.08.2016 ; Kabul Tarihi: 11.12.2016

Anahtar kelimeler
Hava LiDAR;
Nokta bulutu;
LiDAR uygulamaları;
Üçgen Ağ Model

Özet

Hava LiDAR sistemleri bir hava aracının altına monte edilen tarayıcıdan gönderilen lazer ışının gidiş-dönüş süresini kaydederek yer objeleri ve algılayıcı arasındaki mesafeyi hesaplayan aktif bir ölçme sistemidir. Sistem dâhilinde bulunan GPS ve INS sistemlerinden alınan konum ve dönüklük verisi ile beraber taranan objeye ait konum hesaplanır. Bu şekilde yeryüzüne binlerce lazer ışını gönderebilen sistem, fiziksel yeryüzüne ait yüksek yoğunluklu ve referanslandırılmış üç boyutlu (3B) veri doğrudan elde edilmektedir. Klasik ölçmeler ile yaklaşık aynı doğrulukta, hava fotogrametrisinden daha hızlı oluşturmaya imkân vermektedir. Bu çalışmada hava LiDAR sistemlerine genel bir bakış ile beraber günümüzdeki uygulama alanları, kullanılan lisanslı ve lisanssız yazılımlar ve veri sağlayıcılar ile ilgili bilgi verilmektedir.

An Overview to Airborne LiDAR System, Application Fields and Popular Pointcloud Softwares

Keywords
Airborne LiDAR;
Point clouds;
LiDAR applications;
Tin Model

Abstract

Airborne LiDAR system is mounted on an aircraft under the round-trip time recording the laser beam sent from the browser place objects and an active measurement system that calculates the distance between the sensors. Along with the location data from GPS and INS systems and introversion included in the system to calculate the position of the object being scanned. In this way the earth that can send thousands of laser beam system, three-dimensional physical earth of high density and were referenced (3D) data is obtained directly. Roughly the same accuracy with conventional surveying, photogrammetry, are allowing the air to create faster. In this study, an overview of the lidar system together with air current applications are given information about licensed and unlicensed software and data provider used.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

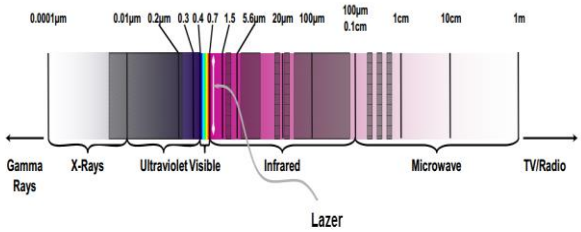
1. Giriş

LiDAR (Light/Laser Detection and Ranging) günümüzde farklı amaçlar için çok sık kullanılan bir teknolojidir. Hızlı bir şekilde yüksek doğruluğa sahip referanslandırılmış 3B veri elde etmede kullanılan popüler bir sistemdir. Çünkü yüksekliğe ilişkin bilgiler birçok uygulama için hayati önem taşımaktadır. Yükseklik bilgisini içeren modeller jeolojiden hidrolojiye, haritacılıktan şehirciliğe, risk yönetiminden askeri uygulamalara kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Laser Ranging, Laser Altrimetry, Laser Scanning ve Laser Detection and Ranging olarak da bilinen sistem, Radar benzeri bir mantıkla çalışmaktadır fakat radar sistemlerinden farklı olarak radyo dalgaları yerine lazer ışınları kullanarak gerekli yükseklik bilgisini elde eder (Jiang et al., 2005). 1960'ların sonlarında geliştirilen sistemin ilk ticari LiDAR haritalama sistemi 1993'te geliştirilerek topografik harita üretiminde kullanıldı (Liadsky, 2007; NOAA, 2012). Lazer tarayıcı sistemleri kullanılarak SYM üretimi metodu üzerine tartışmalar ilk kez 1994 yılında Almanya'da Ölçme ve Haritalama Birimi (Surveying and Mappin Agency-SMA) tarafından başlatıldı (Petzold vd., 1999). Bu konuda tartışmalar sürerken 1996

yılından sonra birçok şirket tarafından çeşitli amaçlarda kullanılmak üzere üretilerek haritalar için LiDAR sistemleri oluşturulmaya başlandı (Jiang et al., 2005). Son yıllarda LiDAR teknolojisinin hızla gelişmesini sağlayan birçok yatırım ve araştırma da yapılmıştır.

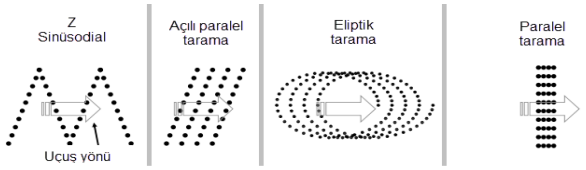
LiDAR sistemleri, kuruldukları platformlar temel alınarak iki grupta toplanabilir: Hava LiDAR sistemleri – Airborne LiDAR Systems (ALS) ve Yersel LiDAR Sistemleri – Terrestrial LiDAR System (TLS). Uydu sistemleri de mevcut olmakla beraber bu çalışma kapsamında ALS sistemi anlatılacaktır.

Aktif uzaktan algılama teknolojisi olan bu sistem yüksek enerjili ve çok dar bir ışık dalgası üreterek hedefe yollar ve yansımayı kaydeder. Gece ve gündüz kullanılabilir fakat güneş ışığı etkilerinden korunmak için gece çalışması daha verimlidir. Piyasada aktif satışı yapılan lazer tarayıcılara bakınca kullandıkları dalga boyu 810 nm ile 1540 nm arasında değişmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Lazerin Elektromanyetik spektrumdaki yeri.

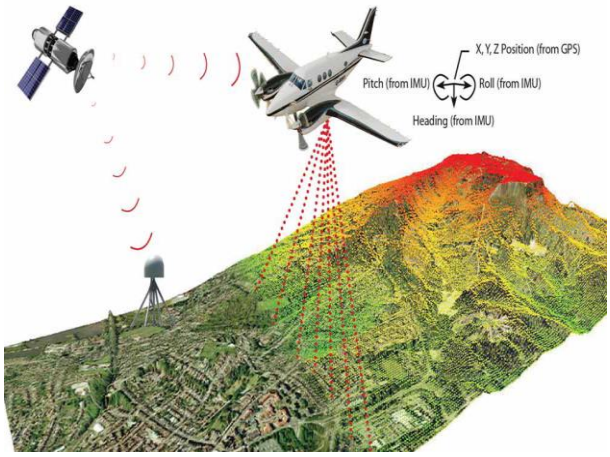
Tarayıcıların veri toplama şeklide farklılık göstermektedir. Şekil 2' de Z şekli, paralel, eğik paralel ve Eliptik olmak üzere farklı tarama çeşitleri gösterilmektedir.



Şekil 2. Lazer tarayıcılara bağlı olarak değişen farklı tarama çeşitleri.

Tabi her tarama için nokta yoğunlukları doğal olarak farklılık göstermektedir. Bu yoğunluk farklı veri toplanmamış boş alanları veya üst üste gelmiş verileri de beraberinde getirmektedir.

Günümüzde ALS ile elde edilen ölçümlerin yatay ve düşey doğruluğu fotogrametrik yöntemleri yakalamış durumdadır. Bir ALS sistemi platform olarak uçak, helikopter veya İnsansız Hava Aracı (İHA)' na monte edilebilir. Şekil 3' de de görüldüğü üzere sistem, bir lazer tarayıcı, GPS ve IMU'dan oluşmaktadır. Lazer tarayıcı uçağın altına monte edilir. Bunların dışında bilgisayar ve kayıt cihazı da sistem de mevcuttur. İstenirse fotoğraf çekme makinası da sisteme dâhil edilebilir.



Şekil 3. LiDAR sisteminin genel yapısı (Eddy 2016).

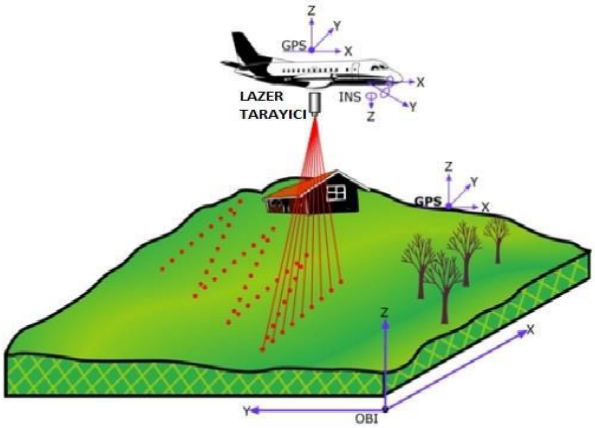
Tarayıcı lazer ışının yollar ve ışının gidiş-dönüş süresini kaydederek yer objeleri ve sensör arasındaki mesafeyi hesaplar (Meng et al. 2010). Ölçülen bu mesafe de temel alınarak GPS ile platformun o anki konumu kaydedilirken IMU ile uçağın durumu kaydedilerek ölçülen objenin konumu hesaplanır (Liu, 2008). LiDAR' ın temel mantığı lazer ışının konumu bilinen sensörden objeye gidiş-dönüş süresinin belirlenmesine dayanmaktadır. Bir ALS ışınının uçuş süresi, t:

$$t=2R/C \quad (1)$$

Burada R, ALS sensoru ile obje arasındaki mesafedir. R değeri şu şekilde hesaplanır:

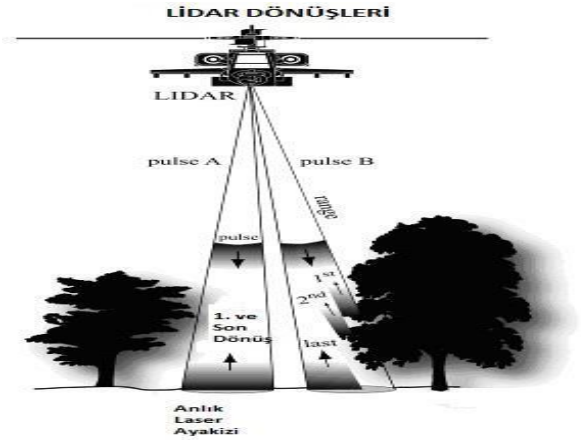
$$R=(1/2)tC \quad (2)$$

Belirlenen bu süre ve lazerin açısı kullanılarak objenin üç boyutlu konumu hesaplanır. Mesafe ölçme işlemleri sonucunda nokta bulutu olarak adlandırılan ve uçuş hattı boyunca zamana göre dağılmış yükseklik bilgisi içeren nokta verileri elde edilir. Şekil 4' de de görüldüğü gibi uçuş doğrultusundaki yapay ve doğal objeler taranarak ilerlenir.



Şekil 4. Uçuş doğrultusunda kalıp taranan objeler (Int Kyn. 1).

Lazerin yerdeki ayak izi yaklaşık olarak bir çemberdir ve bunun yarıçapı lazerin tarama açısına, uçuş yüksekliğine, uçağın hızına ve topografyaya bağlıdır. Örneğin 1000 m yüksekten çıkan 0.1 mRad' lık lazer ışının t uçuş süresi 6.7 µs ve yerdeki karşılığı yaklaşık olarak 10 cm'ye karşılık gelmektedir. Tek bir lazer pulsu, tek veya çoklu şekilde dönebilir (Şekil 5).



Şekil 5. Laser ışını dönüşleri (Int Kyn. 2).

Şekilde 5' de de görüldüğü gibi A pulsunda ki tüm enerji olduğu gibi yere ulaşır ve tek bir dönüş olarak tekrar sensöra ulaşır (Int Kyn. 2). Fakat o bölgede anlık lazer ayak izinin içinde kalan taş, küçük bitki, ağaç veya dal gibi diğer maddeler var ise tek bir dönüş değil çoklu dönüşler olur. Bu dönüşler ile sensör arasındaki mesafe aynı olmamakla beraber çok benzerdir. B pulsunda ise lazer ışını bir ağaçtan ve yerden yansır. Önce ağacın örneğin 3 m yüksekliğindeki dalına çarpan lazerin bir kısmı sensöra ulaşır ve ilk dönüş (first return) olarak kaydedilir. Daha sonra 2 metre yükseklilte bulunan dala çarpıp döner ve ikinci dönüş (second return) olarak kaydedilir. Yere ulaşan ve en son geri dönen bu kısma ise son dönüş (last return) adı verilir. Böylece ilgili alana ait değişik yüksekliğe sahip objelerden bilgi elde edilmiş olunur. Nokta yoğunluğu (sıklığı) ise tarama yönündeki ışın tekrar frekansına bağlıdır. Tüm tarama alanındaki nokta sıklığını etkileyen diğer bir parametre ise uçağın hızıdır. Tipik nokta yoğunluğu uçak yüksekliği 1000 m iken 20 m^2 için 1 nokta ile 1 $m^{2'}$ ye 20 nokta arasında değişmektedir. Bu tarz daha yoğun veri temini için tarama bölgesinde üst üste uçuşlar yapılır. ALS verilerinin daha verimli saklanması ve kullanımı için Amerika Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Topluluğu (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing -ASPRS) LiDAR komitesi tarafından binary formatta geliştirilen (.las) formatı kullanılmaktadır (Int Kyn. 3).

ALS hata kaynakları hesaplama ve insan kaynaklı da olabileceği gibi daha çok cihaz kabiliyetleri ve çalışma prensibine dayalıdır. Bu hatalar:

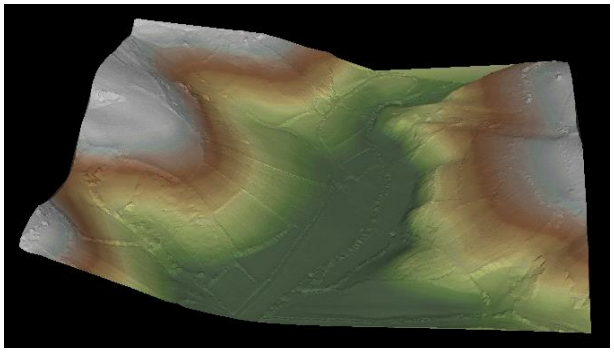
* Lazer ölçümü
* GPS (alıcı hatası, uydu ve yer istasyonu sinyal durumu),
* INS (frekans hatası, kayma),
* GPS-INS-tarayıcı bağlantı ve kalibrasyonu,
* Zaman senkronizasyonu ve enterpolasyonu,
* Lokal koordinat sistemine dönüşüm.

1.1. UYGULAMA ALANLARI

Bilimsel, ticari ve mühendislik projeleri için literatürde 50 civarında farklı uygulama için ALS verileri kullanılmaktadır. Bu çalışmada bu uygulamaların bir kısmı özet şeklinde verilecektir.

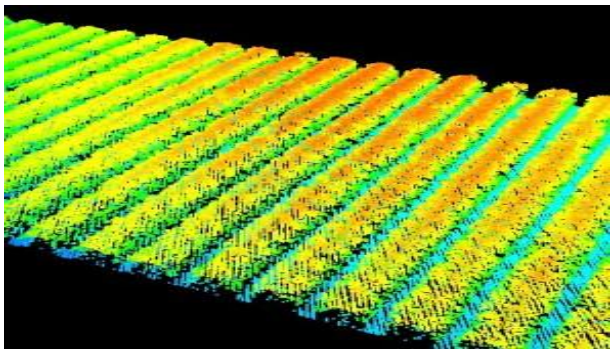
SYM (Sayısal Yükseklik Modeli): bitki ve insan yapımı objeler çıkarıldıktan sonra geriye kalan çıplak yeryüzünün yükseklik değerlerini içeren sayısal görüntüdür (Maun, 2007). Diğer bir tanıma göre X ve Y yönlerinde düzenli dağılmış Z değerleri içeren çıplak yeryüzünün sayısal kartografik gösterimidir. Yükseklik bilgisi bina yapımından yol planlamasına, köprü tasarımından deformasyon analizlerine kadar birçok uygulamada ihtiyaç

duyulan bir veridir. Bu sebeple Lidar ile hızlı ve kolay bir şekilde SYM elde edilmektedir.



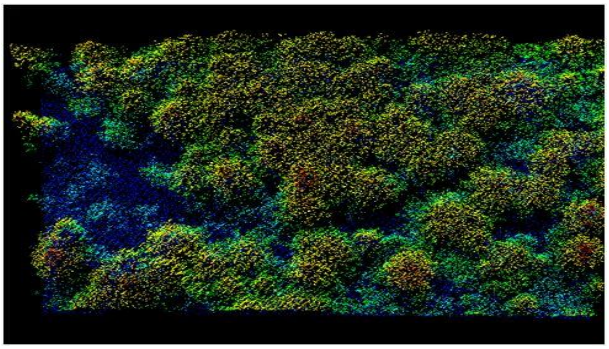
Şekil 6. LiDAR ile DTM üretimi (Polat ve Uysal, 2015).

Tarım: Tarım alanlarının Lidar tabanlı yükseklik modelleri kullanılarak eğim ve güneşlenme alanları belirlenmektedir. Bu bilgilerden yola çıkarak tarım alanı düşük, orta ve yüksek üretim alanı diye sınıflandırılmakta ve o nispette gübreleme yapılarak hem ürünlerin ihtiyacı giderilmekte hem de az ya da fazla gübrelemenin olumsuz etkileri en aza indirilmektedir.



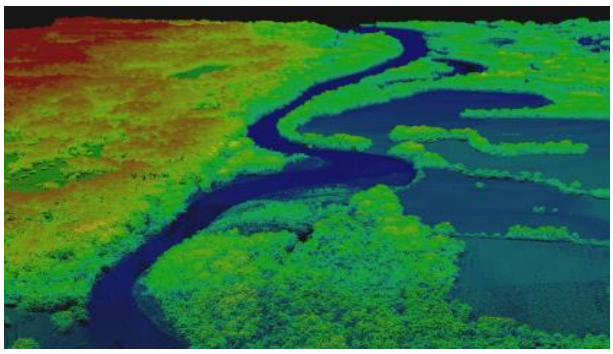
Şekil 7. LiDAR sisteminin tarımda kullanımı (Int Kyn. 4).

Ormancılık: orman planlama ve yönetiminde Lidar çok sık kullanılmaktadır. Daha çok Lidar'ın sağladığı düşey konum bilgisi kullanılarak orman bio-kütle hacmi ya da ağaç sayısı ve tipi belirleme çalışmaları mevcuttur. Yine benzer şekilde tahrip olmuş orman alanlarının belirlenmesinde de kullanılmaktadır. Yangın izleme ve müdahale rotaları için de planlama aşamasında hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri ile beraber bu verilerden de faydalanılmaktadır.



Şekil 8. LiDAR sistemi ile toplanmış orman verisi (Int Kyn. 5).

Su baskın ve akış modelleri: Lidar yüksek nokta yoğunluğundan dolayı sayısal yüzey modeli üretiminde kullanılmaktadır. Özellikle nehir üzerindeki köprülerin modellenmesi ve nehir yatağının durumu, nehrin genişleme kapasitesinin belirlenmesi gibi çalışmalarda kullanılmaktadır. Yine Lidar'dan elde edilen yükseklik modelleri kullanılarak eğim ve topografya durumuna göre çok geniş alanlara ait su akış çizgileri belirlenmekte ve tahmin ya da ilerleme yönü gibi analizler ile afet planlamalarına katkıda bulunulmaktadır.

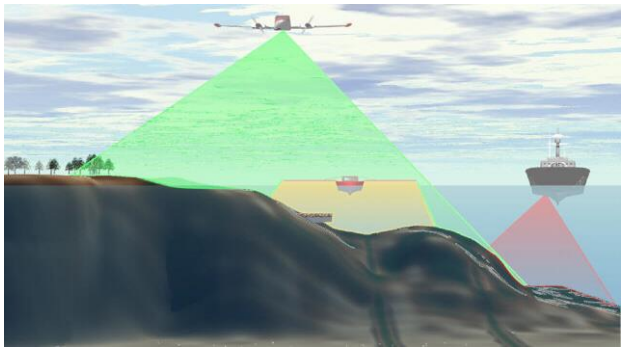


Şekil 9. Su baskını sonrası LiDAR sistemi ile veri toplama (Int Kyn. 6).

Çevresel sınıflandırma: Yüksek yoğunluk ve çoklu dönüşlerin sağladığı avantajlardan dolayı Lidar verisi doğal yaşamın sınıflandırılmasında ve ekolojik alanların belirlenerek yönetiminde kullanılmaktadır. Daha çok doğal çevrenin değerlendirilmesi, habitatın unsurlarının belirlenmesi ve genel anlamda bunların sınıflandırılmasında kullanılmakta.

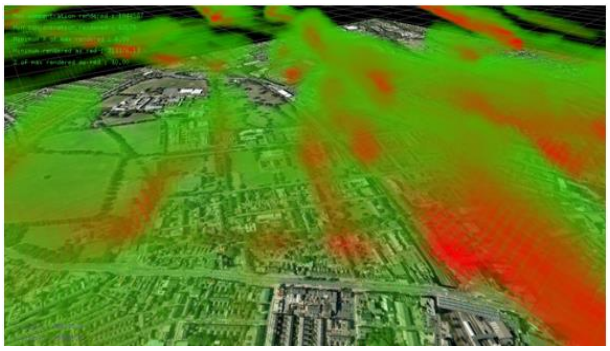
Şekil 10. Sınıflandırılmış LiDAR verisi (Int Kyn. 7).

Su altı modelleme: Lidar sisteminde kullanılan dalga boyuna bağlı olarak (532 nanometre) su altı topografyasının modellenmesi, derinlik ölçümü veya değişim tespitinde de kullanılmaktadır.



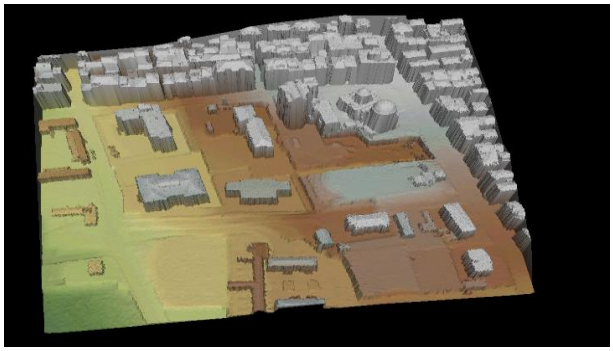
Şekil 11. Batimetrik LiDAR sistemi (Int Kyn. 8).

Hava kirliliği: Lidar, kendi sisteminde kullanılan dalga boyuna eşit veya büyük objeleri tespit edebilir. Hava kirliliği tespit konusunda karbondioksit, sülfür dioksit ve metan parçacıkları Lidar tarafından ölçülebilmektedir. Bu şekilde hava kirlilik haritaları çok daha hızlı elde edilebilmektedir.



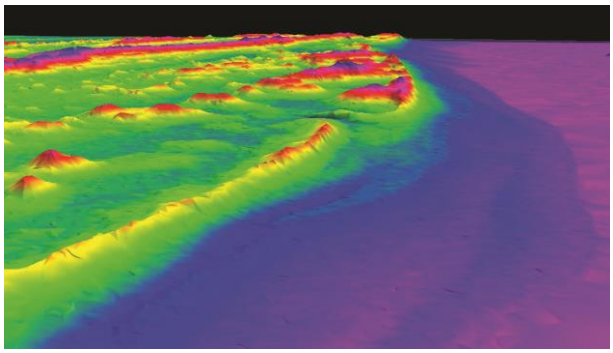
Şekil 12. LiDAR sistemi ile hava kirliliği ölçümü (Int Kyn. 9).

Haritacılık: Hava fotoğrafları ve Lidar beraber kullanılarak topografik ya da tematik haritalar üretilmektedir. Lidar yükseklik modeli kullanılarak yol, yerleşim yeri ya da demir yollarının planlamasında kolaylık sağlar.



Şekil 13. LiDAR verisi ile üretilen şehir modeli.

Kıyı izleme: Su altı ve kıyı için kullanılan Lidar, buralardan elde edilen verilerin entegresi ile tam bir analize imkân vermektedir. Bu şekilde kıyının ve su altının nasıl değiştiği ya da bir birinden nasıl etkilendiği incelenebilmektedir.

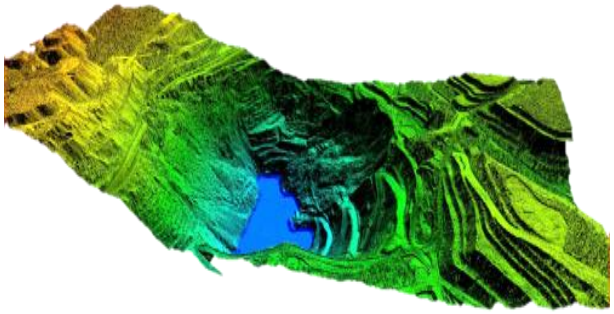


Şekil 14. Kıyı tespitinde LiDAR kullanımı (Int Kyn. 10).

Ulaşım: Lidar verisi yoğunluğuna bağlı olarak hâlihazırdaki yolların durumunun incelenmesi için yol ve çevresinin modellenmesinde kullanılmaktadır. Bunun dışında yeni yol planlaması ve yapımında yol kalitesi ve standardı kararlaştırılmasında, güzergâh tespiti, eğim ve kurp hesapları, şerit sayısı ve kazı dolgu miktarları gibi değişik hesap ve karar verme süreçlerinde kullanılmaktadır.

Şekil 15. Ulaşım projelerinde LiDAR kullanımı (Int Kyn. 11).

Madencilik: açık maden sahalarında en önemli işlerden biri üretim tespiti için hacim hesabıdır. Bu hesap maliyet belirlemede en önemli etkendir. Bu kapsamda LiDAR verisi maden sahalarında hacim hesaplama işlerinde kullanılmaktadır.

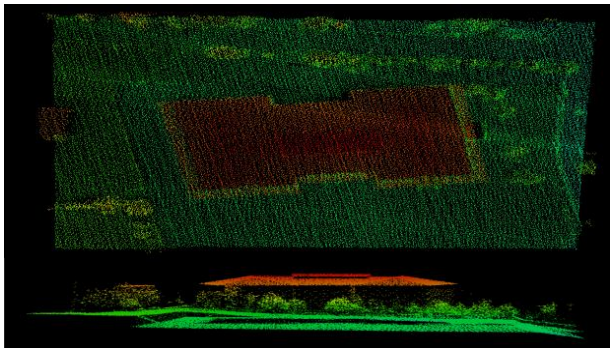


Şekil 16. LiDAR sisteminin madencilik uygulamalarında kullanımı (Int Kyn. 12).

Arkeoloji: LiDAR verisi arkeologların topografyayı algılamasında çok önemli bir role sahiptir. Özellikle görüntü tabanlı verilerde bitki örtüsünden dolayı topografyaya etki eden arkeolojik kalıntılar algılanamamakta. Mikro topografya denen bitki altı bu yüzeylerin oluşturulması LiDAR sistemi ile çok kolaydır.

Şekil 17. LiDAR sisteminin arkeolojide kullanımı (Int Kyn.13).

Bina modelleme: yoğun LiDAR nokta bulutları özellikle düşük irtifa uçuşlarında bina tespit ve modelleme için kullanılabilmektedir. Özellikle coğrafi bilgi sistemiyle entegre edilerek bina bilgi sistemleri için kullanılmaktadır.



Şekil 18. Bina modellemede LiDAR verisinin kullanımı.

Bunların dışında tsunami modellemeden demir yolu modellemeye, askeri uygulamalardan okyanus ve astronomi uygulamalarına kadar çok farklı alanlarda Lidar verisi kullanılabilmektedir.

1.2. Yazılımlar

Geomatik uygulamalara yönelik ücretli ve ücretsiz birçok yazılım mevcut. Bu yazılımlar farklı özellik ve kabiliyetleri nedeniyle değişik amaçlar için kullanılmaktadır. Çizim'den görüntü işlemeye, CBS'den uzaktan algılamaya kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Lidar verisinin en bariz özelliği olan 3 boyutlu oluşu, konum ve yükseklik bilgisine ihtiyaç duyulan tüm uygulama ve çalışmalarda kullanılabilir olmasını sağlamaktadır. İşte bu noktada kullanılan ücretli veya ücretsiz yazılımın las veri formatına ya da bu verinin text haline uygun olması gerekmektedir. Çalışmanın bu bölümünde Lidar verisi için değişik amaçlarda kullanabilecek yazılımlar özet şeklinde tablo 1 ve tablo 2' de verilmektedir.

Tablo 1. Ücretli yazılımlar.

İsim	Açıklama
VRMesh Survey	VRMesh otomatik olarak ve yüksek doğrulukta LİDAR nokta bulutlarını zemin, bitki örtüsü, bina ve diğerleri şeklinde sınıflandırır. Manuel olarak da sınıflandırmaya imkân verir.
Makai Voyager	Makai Voyager, gelişmiş bir 3B görüntüleme yazılımıdır. Vektör, görüntü ve LiDAR gibi nokta verileri görüntüleyebilmektedir.
LIDAR Analyst	Esri ArcGIS yazılımına eklenen bir yazılımdır. Otomatik olarak LiDAR verisini çıplak arazi, ağaç veya binalar gibi 3D nesnelerin sınıflandırabilmektedir.
ENVI LiDAR	İnteraktif yazılımdır. Gerçekçi 3D görselleştirme oluşturmanıza olanak sağlar. Ağaçlar, enerji nakil hatları binalar gibi objeleri tespit eder ve yükseklik modelleri üretebilir. Çeşitli export seçenekleri olmakla beraber direkt ArcMap yazılımı ile de senkronize çalışabilir
LP360	Esri ArcGIS yazılımına 10 ve üzeri versiyonlara eklenen bir yazılımdır. Otomatik sınıflandırma, 3B görselleştirme, bina ya da ağaç gibi özellik çıkarımı, yükseklik modelleri üretimi gibi özelliklere sahiptir.
LiForest	LiForest daha çok ormancılık uygulamalarında LiDAR verisi işleyen bir yazılımdır. Sayısal model üretimi, segmentasyon ve hacim gibi bazı metrik hesaplamalara kadar ormancılıkla ilgili geniş bir analiz seçeneğine imkân tanır.
Global Mapper / LiDAR Module	Global Mapper LiDAR Modülü, isteğe bağlı bir modüldür ve Global Mapper üzerinde çalışır. Otomatik sınıflandırma, özellik çıkarımı, kesit görüntüleme, sayısal modeller oluşturma ve hızlı 3B görüntüleme, manuel sınıflandırma gibi birçok özelliğe sahiptir.
Tiffs	Tiffs (Toolbox for Lidar Data Filtering and Forest Studies), otomatik olarak sayısal modelleri üretebilen, orman veya bireysel ağaç modelleyen profesyonel bir yazılımdır. Temel algoritmasının uygulandığı akademik çalışma ödül almıştır.
ArcGis	ArcGis LiDAR verisini dönüşlere göre yüzey modelleri için kullanabilmektedir. .las dosyalarının diğer dosya tiplerine dönüşümü de mümkündür.
QTModeler	Farklı özellikleriyle 3B görüntüleme, yükseklik modeli oluşturma ve bazı analizlere imkân veren bir yazılımdır.
TerraScan	Microstation tabanlı bir yazılımdır. Farklı formatlarda veriyi tanır. Otomatik sınıflandırma, özellik çıkarımı ve yükseklik modelleri üretmenin yanı sıra manuel olarak da birçok işleme müsaade eder. Çok kullanılan ve en verimli yazılım denebilir.

Tablo 2. Ücretsiz yazılımlar

İsim	Açıklama
LViz	LiDAR versini farklı dosya biçimlerinde tanır ve 3B görüntüler. Yüzey oluşturur.
Points2Grid Utility	LiDAR verisinden sayısal yükseklik modeli oluşturur. Grid olarak ta export edebilir.
GRASS GIS	Temelde CBS yazılımıdır. Ama LiDAR versinide işleyebilir. Yükseklik modelleri için kullanılabilir.
BCAL LiDAR Tools	Idaho State üniversitesi, havacılık laboratuvarı tarafından geliştirilmiştir.LiDAr verisini işler, analiz eder ve yükseklik modelleri üretebilir. IDL dilinde yazılmıştır ve ENVI yazılımına eklenir.
River Bathymetry Toolkit (RBT)	Batimetrik yüzey modelleri için kullanılmaktadır. Yazılım, aktif bir geliştirme sürecindedir.
SAGA GIS	Temelde GRASS GIS gibi CBS yazılımıdır. liDAR verisi görüntüleyebilir. Yükseklik modelleri oluşturur.
DielmoOpenLidar	Yüksek miktarda verileri görüntüleyebilir. Yükseklik modellerinin üretiminde kullanılabilir.

MCC-LIDAR	Sınıflandırma, filtreleme ve yükseklik modeli oluşturmada kullanılabilir.
Point Cloud Library (PCL)	Görselleştirme, işleme, segmentasyon, filtreleme ve özellik çıkarımı gibi birçok işleme sahip geniş bir kütüphanedir.
CloudCompare	Nokta bulutlarının 3B görüntülenmesi, mesh, karşılaştırılması ve birleştirilmesinde kullanılabilir.
Whitebox	Geniş bir CBS yazılımıdır. LiDAR verilerini .las olarak okuyabilir. Yükseklik modeli ve bazı hidrolojik uygulamalarda kullanılabilir.
ToPCAT	ToPCAT (Topographic Point Cloud Analysis Toolkit), veri seti yoğunluğunu azaltabilir, en uygun grid oluşturur ve istatistikleri hesaplar.
PointCloudViz	Farklı dosya tiplerindeki nokta bulutlarının 3B görüntülenmesinde kullanılabilir. Yükseklik modelini grid şeklinde üretir.
lidar2dems	LiDAR versinden yükseklik modeli üreten bir yazılımdır. PDAL(Point Data Abstraction Library) kütüphanesini kullanır
FUSION	Görselleştirme ve analizde kullanılan bir yazılımdır. Yükseklik modeli üretimine ve üretilen modelin analizine imkân verir.
Points2Grid	Sayısal yükseklik modeli ve grid oluşturur.
ALDPAT	Text halinde LiDAR verisinin filtrelenmesine imkân verir.

Diğer birçok yazılım da nokta verisi işleyebilmesine rağmen tablo 1 ve tablo 2 de ki yazılımlar direkt LiDAR verisine yönelik olanlardır.

1.3. Ücretsiz Veri Sağlayıcılar

Lidar verisinin kullanımının artmasıyla bu verinin sağlayıcıları da gün geçtikçe artmakta. Ancak ülkemiz içinde kısmı veri paylaşımı dışında henüz ücretsiz veri sağlayan bir kurum veya şirket bulunmamaktadır.

1-Open Topography: LiDAR kullanıcıları için ortak bir veri deposudur. Bu sebeple kullanıcı sayısına bağlı olarak veri seti günden güne artar. Web harita ile indirilebilir meta veri ile LiDAR verisinin konumu öğrenilebilir.

2-USGS Earth Explorer: Amerika menşeli bu sitede veri aramak çok kolaydır. Kullanıcı ara yüzü birçok seçenek sunar.

3-Wikipedia LiDAR: Amerika'da bazı eyaletlere ait bir kısım veriler bulunmaktadır.

4-NOAA Digital Coast: Yine Amerika'ya ait olan bu veri sağlayışı daha çok kıyılara ait verileri toplamakta ve kullanıma sunmaktadır.

5-LIDAR Online: temel amacı tüm dünyaya ait LiDAR veri seti oluşturabilmektir. Kullanıcı katkılı bir sağlayıcıdır. Veriler daha çok Avrupa ve Amerika kıtalarına aittir.

6-National Ecological Observatory Network: Amerika'da daha çok orman ve çevre haritalanması için çalışan bir organizasyondur. Bazı verileri çok kullanışlı olmamakla beraber çoğu kısmı ücretsiz bir şekilde kullanılabilir.

7-GEOSUD: Fransa menşeli bu sitede Avrupa, Asya, Afrika ve Güney Amerika'daki birkaç ülkeye ait LiDAR veri setine ücretsiz ulaşmak mümkün.

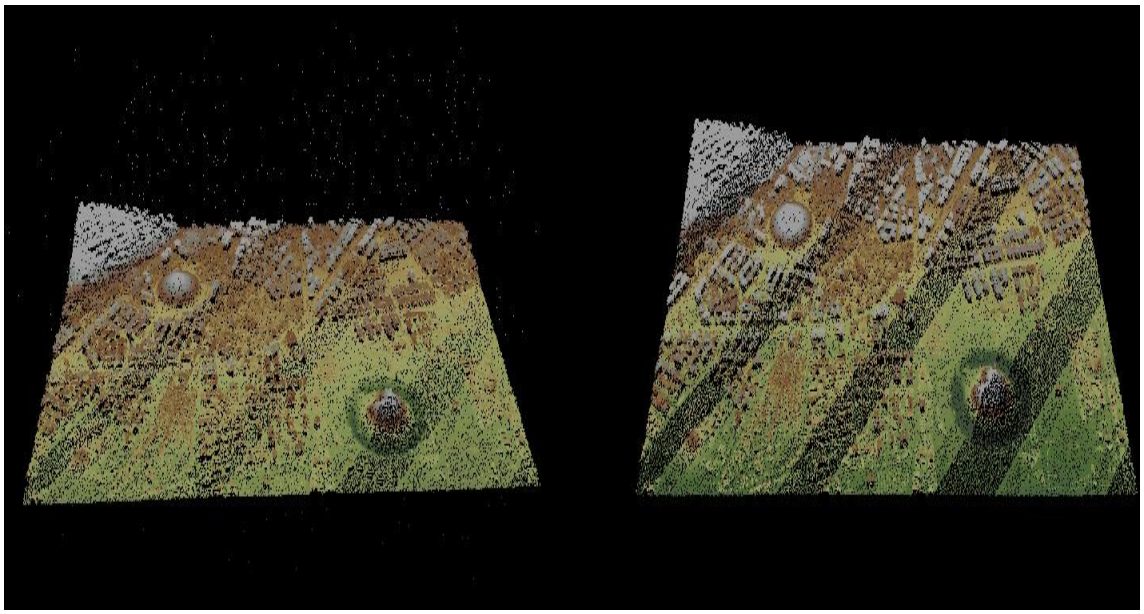
8-gipuzkoa.net (SPAIN): Kuzey ispanyaya ait LiDAR verisinin ücretsiz temin edilebildiği bir veri sağlayıcıdır. 1km2 lik alanlar şeklinde veriler indirilebilir.

9-Centre for Environmental Data Analysis (CEDA): İngiltere için Lidar verisi sağlayan bir kuruluştur.

10-Diğer: devlet ve araştırma merkezleri dışında LiDAR işleme yazılımlarının sitelerinde de ve ISPRS gibi bilimsel organizasyonların veri setlerinden de LiDAR verisi temin edilebilir.

2. Materyal ve Çalışma Alanı

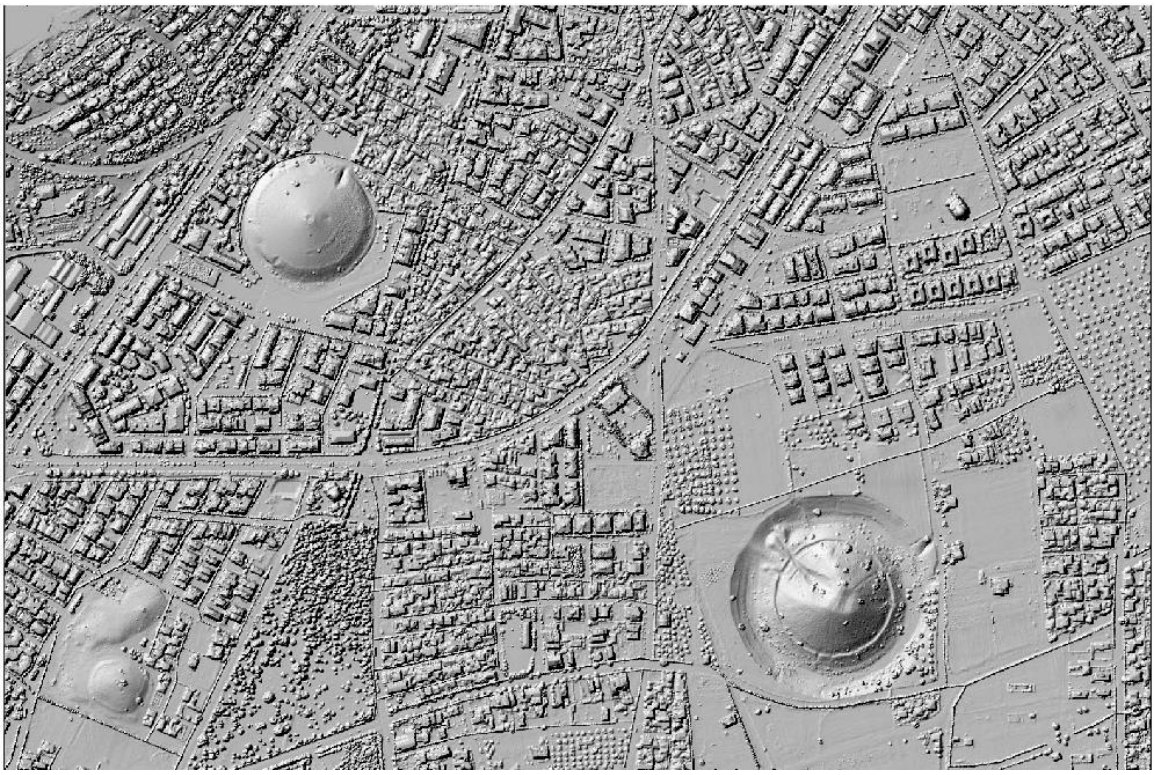
Uygulama amacıyla harita genel komtanlığı tarafından sağlanan Bergamaya ait Optech sensoruyle 1200 metreden toplanmış veri kullanılmıştır (Kayı vd., 2015). Uçuş bölgesi çok geniş ve veri yoğunluğu fazla olduğu için veri setinden bir kısım seçilmiştir (28513517 nokta). Seçilen veri seti ilk olarak aykırı değerlerin temizlenmesiyle işleme hazır hale getirilmiştir (15318159 nokta) (Şekil 19).



Şekil 19. Ham ve aykırı değerler ayıklanmış LiDAR verisi.

3. Metot ve Uygulama

Aykırı değerlerden temizlenmiş veri, doğal komşuluk enterpolasyonu ile raster veri haline getirilerek 1m konumsal çözünürlüklü Sayısal Yüzey modeli üretilmiştir (Şekil 20).

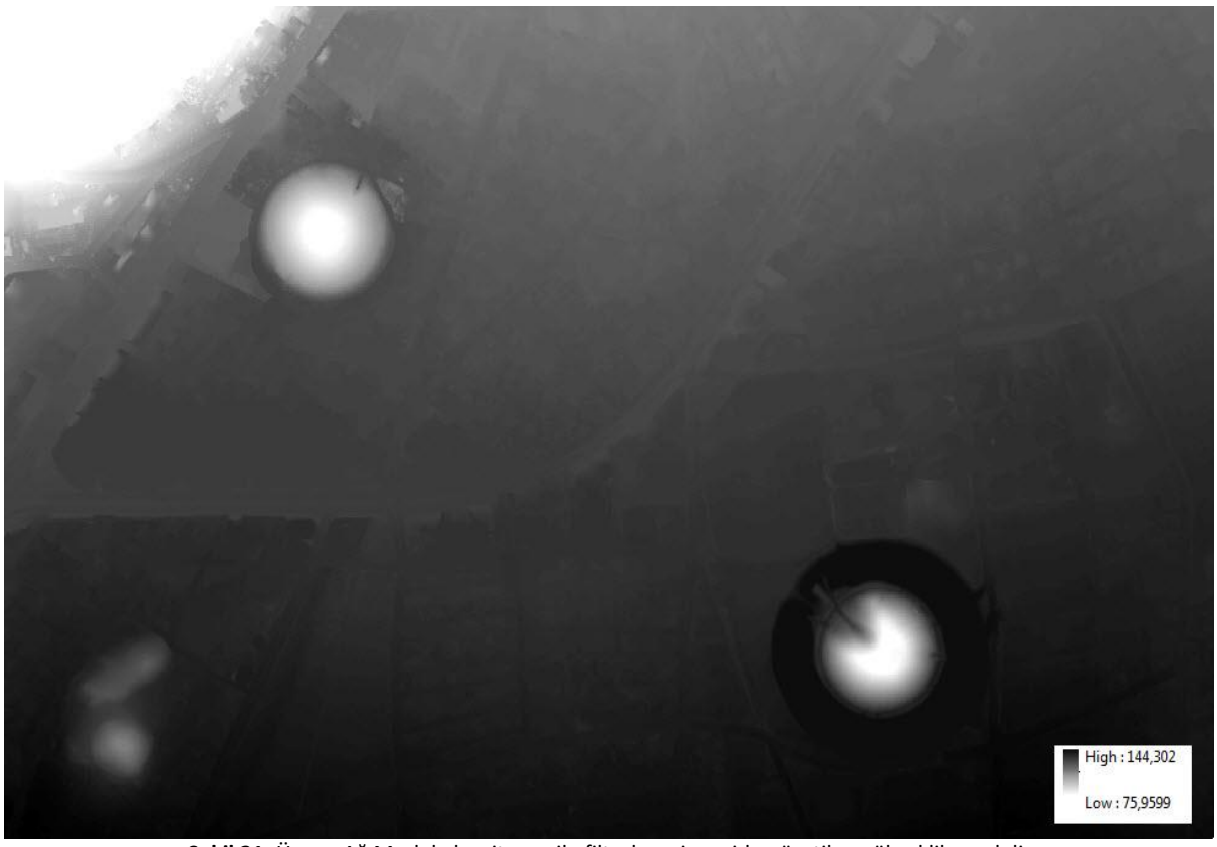


Şekil 20. Sayısal Yüzey Modeli gölgeli gösterim.

3.1. Üçgen Ağ Model Filtreleme

Daha sonra aynı veri Üçgen Ağ Model (TIN) algoritması ile filtrelenerek arazi ve obje noktaları ayrılmıştır. Axelson (2000) tarafından önerilen bu filtre, noktalar arası mesafeyi kullanıp üçgen ağ model oluşturarak yer-obje noktası seçimi yapar. Bu algoritma yüksek doğruluğa sahip olup bazı ücretli yazılımlar tarafından da ticari olarak kullanılmaktadır. Filtrenin çalışma adımlarına genel olarak bakılacak olursa:

- Tüm veri setini kapsayan kare grid oluşturulur. Her bir grid hücresindeki minimum yüksekliğe sahip noktalar yer noktaları için çekirdek nokta olarak kabul edilir. Bu çekirdek noktalar kullanılarak Delunay tekniği ile tüm veri setini kapsayan üçgen ağ model oluşturulur.
- Oluşan üçgen ağ temel alınarak diğer noktalar sınıflandırılır. Her bir üçgen yüzeyi ile diğer noktalar arasındaki mesafe ve açı dikkate alınarak önceden belirlenmiş eşik değer ile kıyaslama yapılır. Eşik değerin altında kalan noktalar yüzey noktası kabul edilir. Filtreleme sonucu verideki nokta sayısı 3526868' e düşmüştür. Çıplak araziye ait üretilen 1 m konumsal çözünürlüklü yükseklik modeli Şekil 21 de görülmektedir. Üretilen bu model referans olarak kullanılacaktır.

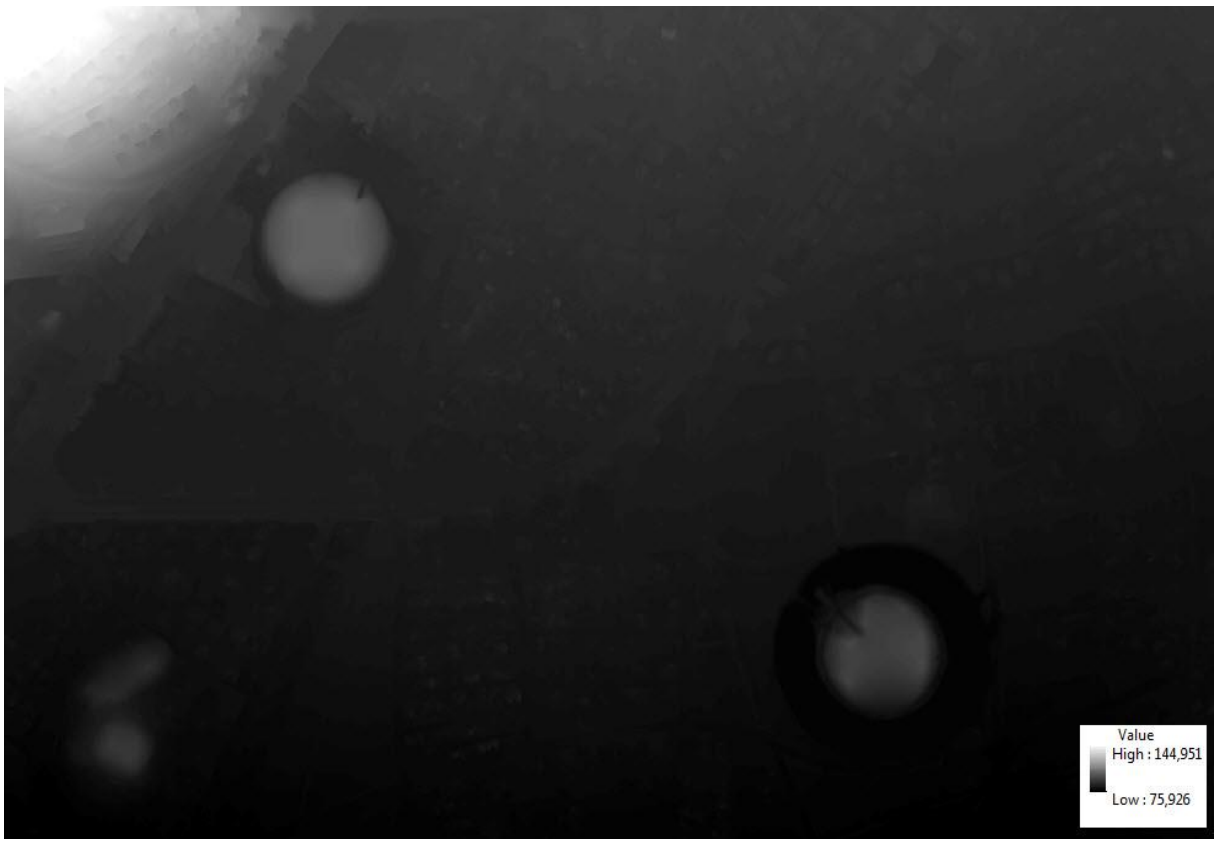


Şekil 21. Üçgen Ağ Model algoritması ile filtrelenmiş veriden üretilen yükseklik modeli.

3.2. Morfolojik Filtreleme

Matematiksel operatörler kullanarak görüntülerden özellik çıkarımı temeline dayanan bu filtre LiDAR verilerine de uygulanmıştır. Kademeli artan arama penceresi ve belirlenen eşik değer ile yer noktaları korunurken obje noktaları elemine edilir. Bu filtrenin çalışma adımlarına kısaca bakılacak olursa:

- Tüm veri setine grid uygulanır. Her hücrede veri olduğu düşünülür. Bu hücreler ortalama nokta yoğunluğundan küçük tutulur ki maksimum sayıda nokta korunabilsin. Eğer bir hücrede nokta yoksa en yakın komşusundan bir değer atanır. Bu hücrelerdeki noktalar ile ilk yüzey oluşturulur.
- Erozyon ve genişleme operatörleri bu ilk yüzeye uygulanarak ikinci yüzey oluşturulur. Bir hücrenin son yüzey ve bir önceki yüzeydeki değeri arasındaki fark alınarak belirlenmiş eşik değer ile kıyaslanarak yer-obje filtrelemesi yapılır. Eşik değer, yaklaşık LiDAR ölçüm noktası hatası (0.2 - 0.3 m) ve arama penceresinin boyutu dikkate alınarak belirlenir.
- Belirlenen ikinci yüzey filtreye girdi veri olarak katılır ve aynı yaklaşımla üçüncü yüzey oluşturulur. Bu işlemler, arama penceresinin boyutunun önceden belirlenen maksimum boyuttaki objeden daha büyük duruma gelinceye kadar devam eder. Filtreleme sonucu üretilen yükseklik modeli şekil 22 de görülmektedir.



Şekil 22. Morfolojik algoritma ile filtrelenmiş veriden üretilen yükseklik modeli.

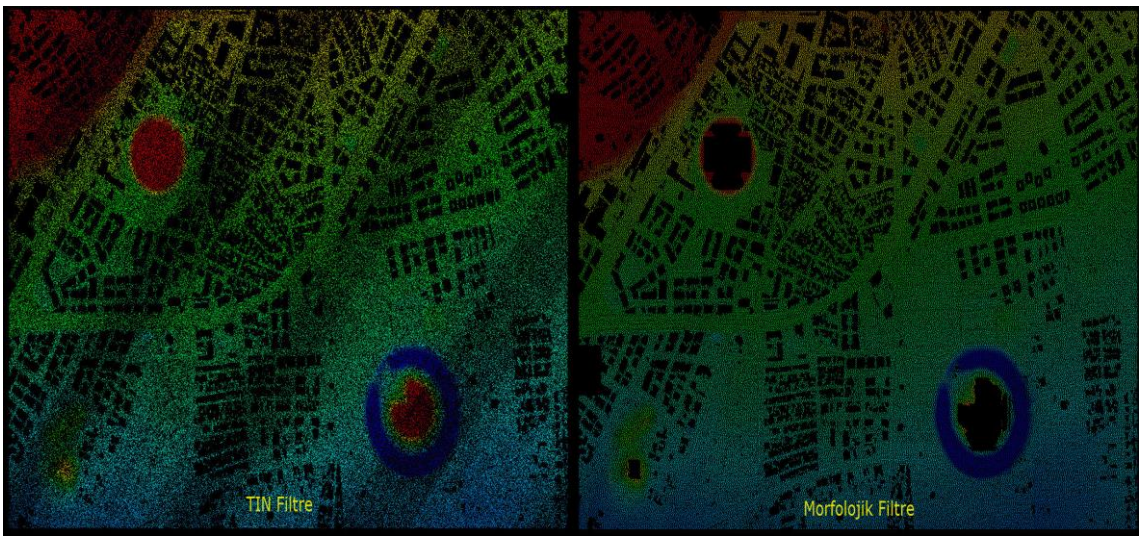
Filtreleme sonuçlarına bakacak olursak gürültülü ham veriden filtrelenmiş veriye kadar veri seti ciddi oranda azalmakta.

Tablo 3. Verilere ait temel istatistik değerleri

Veri	Min Z	Maks Z	Nokta Sayısı
Ham gürültülü	-107.44	519.98	28513517
Ham gürültüsüz	51.22	153.40	15318159
Tin filtreli	75.95	144.37	3526868
Morfolojik filtreli	75.92	145.21	1214916

Tablo 3 de verilen değerler incelendiğinde gürültü etkisi minimum ve maksimum Z değerlerinde rahatça görülebilmektedir. Filtrelen verinin üretilen model ile arasındaki Z değerleri farkı desimetre mertebesinde ve modelin enterpolasyon ile üretilmesinden kaynaklanmaktadır.

Şekil 23 de de görüldüğü üzere üçgen ağ filtreleme yer noktalarını tutma ve obje noktalarını atma konusunda daha başarılıdır. Morfolojik filtre obje noktalarını temizleyebilmekte fakat yüksek yer objelerinde hata yapmakta ve araziye ait olan tepeleri de filtrelemektedir. Her ne kadar her iki algoritma da parametrelere bağlı olsa da sonuç olarak Tin algoritması daha iyi sonuçlar vermiştir. Kıyas yapabilmek için tin algoritması sonucu referans kabul edilip morfolojik algoritması sonucu ile raster olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 23. Tin ve Morfolojik algoritmaları filtreleme sonuçları.

3.3. Yükseklik Modellerinin Analizi

Yükseklik modelleri sadece raster olarak karşılaştırılmıştır. Görüntü tabanlı hesaplanan korelasyon sonucu morfolojik yükseklik modeli tin yükseklik modeline %89 oranında benzemektedir. Ayrıca aynı konuma ait rastgele seçilen noktalar da kontrol edildiğinde Z değerleri 30 cm geçmemektedir. Aradaki ilişkiyi daha iyi görebilmek için ortalama Z değerlerine de bakılmıştır (Tablo 4).

Tablo 4. Modellerin analiz sonuçları.

	Korelasyon			
	Tin	**Morfolojik**	**Ortala Z**	**Standart sapma Z**
Tin	1	88.98	85.05	8.48
Morfolojik	88.98	1	85.14	8.67

4. Tartışma ve Sonuç

Önceki bölümlerde anlatıldığı üzere, hava lazer tarama sistemi ortaya çıkışından itibaren hızla gelişmiş ve başta haritacılık olmak üzere birçok alanda kendine yer edinmiştir. Kullanım alanlarının bu kadar hızlı artmasında iki temel etken vardır. Birinci etken konuma duyulan ihtiyaçtır ve ALS bu ihtiyacı hızlı ve yüksek doğrulukla sağlayabilmektedir. İkinci etken ise teknolojiye paralel olarak bu sistemlerin daha kullanışlı hale gelmesidir. Bu gelişim sayesinde ilk etapta sadece mesafe ölçümünde kullanılan sistem zamanla ışın sayısının yüz binlere ulaşmış ve düşük ağırlıklara inerek insansız hava araçlarında bile kullanılabilecek bir yaygınlık kazanmıştır.

Hava lazer tarama sistemi hala gelişmeye devam etmektedir. Bu kapsamda nokta sayısının milyonlara ulaştığı ve multispektral verinin toplanabildiği yeni lazer tarayıcılar üretilmektedir. Bu yeni tarayıcılar ekonomik anlamda henüz olgunluğa ulaşmamakla beraber yakın gelecekte yaygınlaşacağı beklenmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın uygulama kısmında kullanılan LiDAR verisini paylaştığı için Harita Genel Komutanlığına çok teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Jiang, J., Ming, Y., Zhang, Z., Zhang, J. (2005). Point-based 3D Surface Representation from LiDAR Point Clouds. The 4th ISPRS Workshop on Dynamic and Multi-dimensional GIS. September 6-8, 2005, Wales, UK, 1-4.

Liadsky, J. (2007). Recent advancements in commercial LiDAR mapping and imaging systems. Informally published manuscript, Optech Incorporate, Available from NPS LiDAR Workshop. Retrieved from http://www.nps.edu/academics/Centers/RemoteSensing/ Presentations/LiDAR/ Presentations/ RecentAdvancements.pdf.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) Coastal Services Center.

(2012). "LiDAR 101: An Introduction to LiDAR Technology, Data, and Applications." Revised. Charleston, SC: NOAA Coastal Services Center.

Petzold, B., Reiss, P., and Stossel, W. (1999). Laser scanning-surveying and mapping agencies are using a new technique for the derivation of digital terrain models. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54, 95–104.

Eddy, J. (2016), So, what exactly can you do with LiDAR? The Journal of the Chartered Institution of Civil Engineering Surveyors.

Meng, X., Currit, N., and Zhao, K. (2010). Ground filtering algorithms for airborne LiDAR data: A review of critical issues. *Remote Sensing*, (2), 833-860.

Liu, X. (2008). Airborne LiDAR for DTM generation: Some critical issues. *Progress in Physical* Geography, 32(1), 31-49.

Maune D. F. (Editör), (2007). Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM user Manual. ASPRS, 2. Baskı, Maryland, ABD.

Polat, N. ve Uysal, M. (2015). Investigating performance of Airborne LiDAR data filtering algorithms for DTM generation. Measurement, 63 61–68.

Kayı, A. EErdoğan, M. Eker, O. 2015. OPTECH HA-500 ve RIEGL LMS-Q1560 ile Gerçekleştirilen LİDAR Test Sonuçları, Harita Dergisi Ocak 2015 Sayı 153.

Axelsson, P. (2000). DTM generation from laser scanner data using adaptive TIN models. Int. Arch. Photogram. Remote Sens., pt. B3, vol. 33, pp. 85–92.

İnternet kaynakları

1. http://forsys.cfr.washington.edu/fusion/fusion_overview.html, 11.02.2014.
2. https://courseware.e-education.psu.edu/courses/bootcamp/lo04/cg.html, 04.03.2014.
3. http://www.asprs.org/Committee-General/LASer-LAS-File-Format-Exchange-Activities.html, 12.02.2014.
4. http://lidar-america.com/2014/05/01/lidar-in-agriculture/.
5. http://ferm.forestry.oregonstate.edu/graduate/forest-biometrics-and-geomatics.
6. http://ipler.cis.rit.edu/flood.
7. https://peopleandtreesincities.wordpress.com/tag/urban-tree-canopy/.
8. http://aeromapss.com/airborne-lidar-bathymetry/.
9. http://www2.le.ac.uk/departments/physics/research/eos/james-lawrence.
10. http://eijournal.com/resources/lidar-solutions-showcase/merrick-maps-the-southeastern-u-s-coastline.
11. http://www.terraremote.com/transportation/highways/.
12. http://legeo.ca/industries/mining/.
13. http://www.theverge.com/2013/6/20/4445568/lasers-lidar-archaeology-detailed-topographical-maps.