

Mobil Lidar Uygulamaları, Veri İşleme Yazılımları ve Modelleri

Serap TEPEKÖYLÜ *

Harita Genel Komutanlığı, Kartografya Dairesi Başkanlığı, Ankara

serap.tepekoylu@hgk.msb.gov.tr

Öz

Bu çalışmada mobil lidar hakkında genel bilgiler verildikten sonra gelişen mobil lidar teknolojisinde kullanılan cihazların tanıtımı yapılmış ve mobil lidarın kullanım alanları ve gelişim yönleri hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Lidar, Hava Lidar, Mobil Lidar, Yersel Lidar

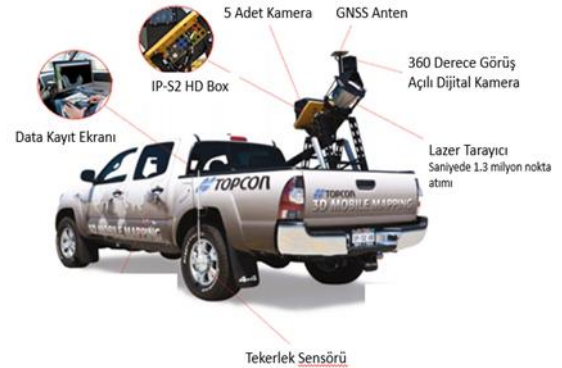
GİRİŞ

Günümüzde harita yapım işlerinde sıklıkla kullanılan ve Işık Tespit ve Mesafe Ölçme (Light Detection And Ranging) anlamına gelen LIDAR; lazer tarayıcı, GPS ve IMU'dan oluşan bir sistemdir. LIDAR monte edildiği araçlara bağlı olarak Hava (Aerial), Mobil (Mobile) ve Yersel (Terrestrial) Lidar olarak üç platformda sınıflandırılabilir. Kullanılan lidar cihazları eğer bir helikopter, uçak vb. hava araçlarına monte edilirse bu sistemlere Hava Lidar, eğer kara ve deniz taşıtları ya da robotik cihazlar üzerine monte edilirse bu sistemlere Mobil Lidar veya tripod ya da sehba üzerine monte edilirse bu sistemlere de Yersel Lidar denilmektedir. Her üç tür lidar da değişik kullanım amacı için farklı türde lidar seçilir.

Haritacılık sektöründe mobil haritalama (mobile mapping) olarak bilinen mobil lazer tarama sayesinde geniş alanlara dair ölçümler kolaylıkla yapılmaktadır.(S.Koç, İ.Taşdemir, O.Dinç, 2015). Mobil Lidar, hareket eden araçlar sayesinde en gelişmiş LiDAR sensörlerini ve kameraları kullanarak tarama yapılan alanda hızlı ve doğru bir şekilde nokta verisi toplanmasını sağlar.

Mobil Haritalama Aracı olarak kullanılan LİDAR sistemi, 4 ana parçadan oluşmaktadır;

- Konum verilerini alan jeodezik GPS (Global Positioning System; Küresel Konumlama Sistemi),
- Panoramik fotoğraf çeken 360° kamera,
- Araç sarsıntısının hatalarını engelleyen 6 yönlü IMU (Inertial Measurement Unit; Atalet Ölçüm Birimi),
- Nokta bulutu atan Lazer Tarayıcıdır.(Şekil-1)



Geliş Tarihi: 02.11.2016

Kabul Tarihi: 11.12.2016

Şekil-1: Mobil Lidar Bileşenleri(1)

Mobil lazer tarayıcı araba, gemi, vagon, sırt çantası ve benzeri diğer araçların üzerine monte edilebilir. (Şekil-2)

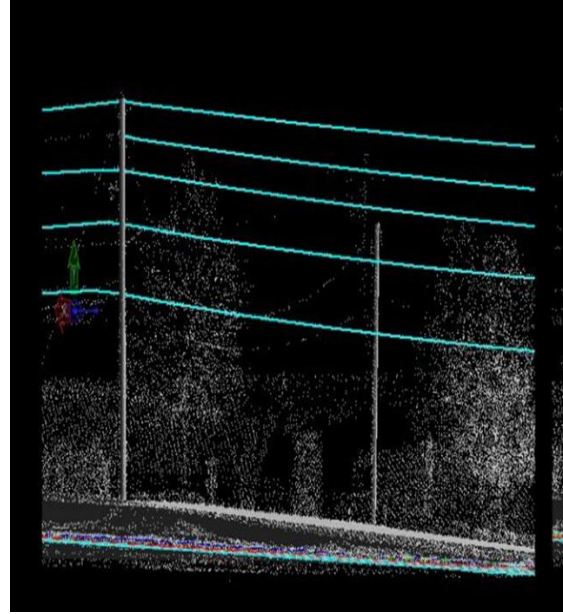


Şekil-2: Mobil Lidar Platformları

MOBİL LİDAR KULLANIM ALANLARI

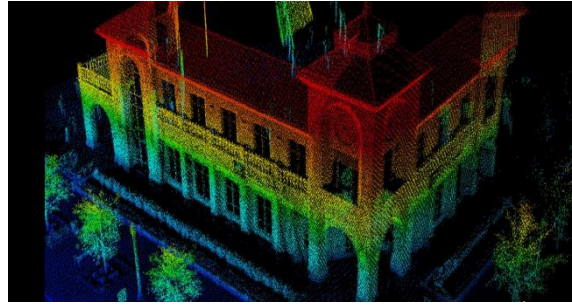
a. Tüm şehir objelerine ait envanter çıkartılabilir. Görüntü içindeki tüm ağaçlar, elektrik direkleri, banklar, reklam tabelaları, billboardlar, alt yapı unsurları, bina sayımları, bina durumları, trafik işaretleri, trafik lambaları, totemler, yol durumu, bozuk asfalt ve bordür tespiti, kaldırım genişliği, yol genişliği, yol çizgileri, yaya geçidi çizgilerinin durumu tespiti, sayımı, koordinat belirlenmesi gibi uygulamalar yapılabilir.

b. Elektrik, su, kanalizasyon gibi tüm alt yapı unsurları koordinatlı olarak ilgili görüntüler üzerinde gösterilebilir. (Şekil-3)



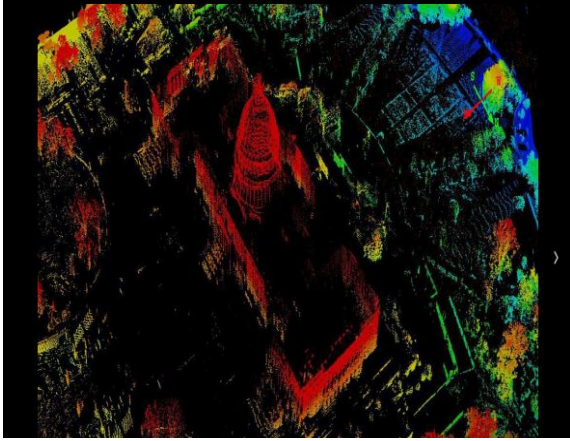
Şekil-3: Mobil Lidar Elektrik Hattı Ölçmeleri

c. İlgili bölgeye ait yapıların ölçüleri alınabilir. Bu sayede kaçak kat, mülkiyet tecavüzü ve usulsüz işgalilerin tespiti yapılabilir. Kot kesit, yola terk, istikamet verme, alan hesabı gibi tüm çalışmalar bu görüntüler üzerinden koordinat ile kontrol edilebilir. (Şekil-4)



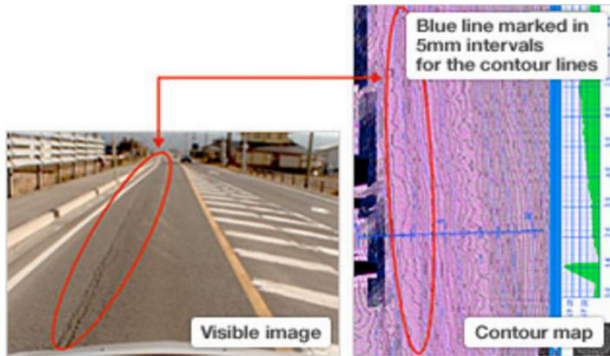
Şekil-4: Mobil Lidar Bina Ölçmeleri

ç. Şehir silüetini görerek, kentsel dönüşüm ile bina cephe yenilemeleri yapılabilir. Sahaya çıkan ekip sayısı azaltılarak operasyon maliyetleri ve kaynak israfı giderilebilir.(Şekil-5)



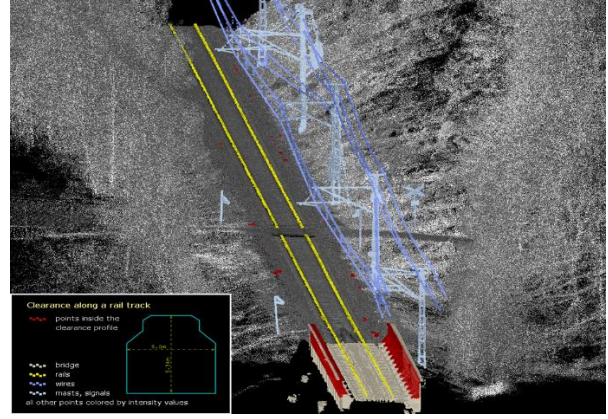
Şekil-5: Mobil Lidar Kentsel Ölçmeler

d. Karayollarının 3B haritalarının hızlı bir şekilde çıkarılması için yüksek kapasite ve maximum hızlı ölçüm sağlar. Ölçümün temel amacı yolun mevcut durumunun (kaldırım yapısı, şevler, yol işaretleri, direkler vb.) oluşturulması ve yeni yol bağlantılarının inşaatı ve mevcut yapıların korunmasını sağlamaktır. (Şekil 6)



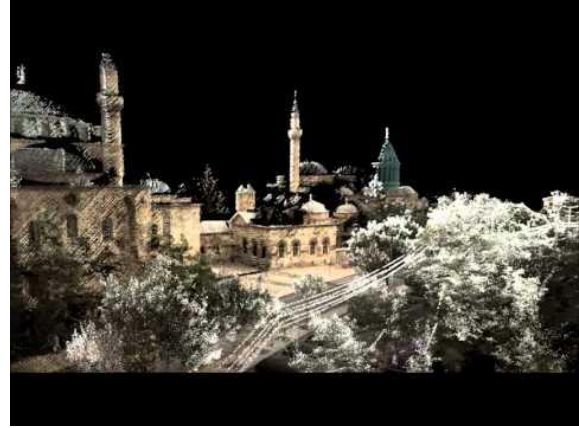
Şekil 6: Mobil Lidar Yol Ölçümleri

e. Demiryolundaki doğal ve yapay engellerle birlikte sarkan tellerin belirlenmesi, tünel ve köprülerin konumları ve virajlar ile makasların konum ve şeklini yüksek doğrulukta haritalarının oluşturulabilir. (Şekil 7)



Şekil 6: Mobil Lidar Demir Yolu Ölçümleri

f. Tarihsel ve kültürel eserlerin 3 boyutlu modellerinin oluşturulması ve rölye alımları yapılır.(Şekil 7)



Şekil 7: Mobil Lidar Demir Yolu Ölçümleri

g. Liman ve kıyı haritalama, sayısal arazi modelleme gibi daha bir çok çalışmada mobil lidar kullanılır.

3. MOBİL LİDAR VERİ İŞLEME YAZILIMLARI

Mobil Lidar ölçümleri sonucunda x, y ve z koordinatları oldukça doğru (dm. seviyesinde) olarak bilinen, çok sayıda nokta (bulutu) elde edilir.(Şehsuvaroğlu, Eker, Erdoğan, Yıldız, 2013)

Elde edilen nokta bulutu verilerinin dosya formatı LAS(LASer)'dir. Elde edilen verileri işlemek için aşağıda belirtilen farklı yazılımlar geliştirilmiştir.

a. Orbit GT, mobil lidar haritalama içeriğini görüntüleme, yönetme, ölçme, özellik çıkarma, GIS entegrasyonu, yerleşim, dağıtım, paylaşma, yayınlama, gömme ve işleme için uygulamalar sunmaktadır. Orbit GT yazılımına çeşitli eklentiler yapılarak ArcGIS, AutoCAD, QGIS yazılımları ile entegrasyon sağlanmıştır. Ayrıca Orbit Mobile Mapping Publisher SDK'sını (dot net, flex, java betikleme) kullanarak üçüncü şahısların tüm web sitelerine, iş yazılımlarına, iş akışlarına, standart CBS ve CAD ürünlerine entegrasyonları oluşturabilmektedir.

b. Gexcel, dünya çapında tanınmış en üst düzey çoklu platform ve çoklu çözünürlük ile kolayca entegre olabilen bir yazılımdır. Lidar verileri, 3D modeller ve büyük kartografik veriler, yüksek çözünürlüklü RGB görüntüleri, GNSS verilerinin yönetimini sağlar. JRC 3D Reconstructor ve PointR versiyonları mobil lidarla elde edilen verilerin yönetimini sağlar.

c. Global Mapper, uygun maliyetli ve kullanımı kolay bir CBS uygulamasıdır. Global Mapper, LiDAR verilerini görselleştirme, dosya yükleme ve işleme konusunda üstünlük sağlar. .LAZ, sıkıştırılmış format da dahil olmak üzere, LiDAR verileri için .LAS'ın tüm sürümlerini destekler. LiDAR verileri nokta bulutu olarak yüklenebilir ve gereksinimlerinize bağlı olarak bir dijital yükseklik modeli, vektör veya raster veri haline dönüştürülebilir. LiDAR Modülü ilk kez Global Mapper v15 ile piyasaya sürülmüştür ve o zamandan beri bir takım yeni LiDAR araçları eklenmiştir. Global Mapper LiDAR Modülünün en yeni sürümünde nokta bulutu verisinden gürültüyü gidermek mümkündür.

ç. TerraScan, Terrasolid Yazılım ailesindeki LiDAR nokta bulutlarını yönetmek ve işlemek için kullanılan ana uygulamadır. Nokta bulutu yönetimi, işleme ve görselleştirme TerraScan'ın yalnızca bir parçasıdır. Buna ek olarak, yazılım, lazer noktalarına dayanan 3D vektör verileri oluşturmak için araçlar sağlar. Ayrıca, geniş alanlar üzerinde otomatik olarak binaların 3B vektör modelleri üretme fırsatını da sağlar.

d. VRMesh, gelişmiş bir 3D nokta bulutu ve kafes işleme yazılımı aracıdır. LiDAR verilerindeki veya UAV görüntülerindeki bitki örtüsünü, bina çatılarını ve zemin noktalarını otomatik olarak sınıflandırır. Bina ayak izlerini çıkarmanıza ve tek bir tıklamayla 3B binalar oluşturmanıza olanak tanır. Ayrıca, nokta bulutlarında güç hatlarını, direkleri, ağaç kronu, bordürleri ve demiryolu raylarını otomatik olarak algılama yeteneği sağlar.

e. VisionLiDAR, LiDAR nokta bulutu işleme işini otomatikleştirmek için tasarlanmıştır. Bir nokta bulutundaki nesnelere tanıma, kesit veya karmaşık hacim (çıkıntı) hesaplarının yapılmasını sağlar.

f. DielmoOpenLiDAR, LiDAR açık kaynak ve lidar nokta bulutu sınıflandırma, LiDAR işleme ve tüm LiDAR projeleri yönetmek için geliştirilmiştir. Yoğun LiDAR verilerine erişme ve görüntüleme (LAS / BIN), LiDAR nokta bulutu analizi, ölçümleri ve konfigürasyonuna imkan sağlar.

g. TopoDOT, LiDAR nokta bulutu verilerinden topografyanın ve 3D modellerin çıkarılması için kullanılan bir CAD uygulamasıdır. TopoDOT mevcut CAD özellikleri ile entegredir. Yol, mimari, yapılar ve topoğrafya gibi çeşitli altyapı uygulamalarında TopoDOT kullanılır.

4. MOBİL LİDAR GELİŞİMİ

Mobil Lidarın çok geniş uygulama alanlarının yanı sıra bugün insansız araçların üretiminde de mobil lidar teknolojiden faydalanılmaya başlanmıştır.

Birçok insansız araç, çevreyi "görmek" için LiDAR sensörlerini kullanıyor. Sorun, mevcut LiDAR sensörlerinin kitlesel bir araçta kullanılmayacak kadar büyük, ağır ve pahalı olmasıydı. Son birkaç yılda bu değişmeye başladı. Bir takım yeni LiDAR şirketleri, insansız araçlarda kullanılmak üzere küçük, hafif ve ucuz LiDAR sensörleri tasarlamaya başlamışlardır.

Ford, Fusion Hybrid insansız araçlarını LiDAR sensör kullanarak geliştirmiş ve komple karanlıkta gece test etmişlerdir. Ford insansız otomobilleri, yol, yol işaretleri, coğrafya, topografya ve işaretler, binalar ve ağaçlar gibi yer işaretleri hakkında bilgi içeren yüksek çözünürlüklü 3D haritalar kullanmaktadır. Araç, kendisini gerçek zamanlı olarak haritada belirlemek için Velodyne'nin Ultra Puck lidarını kullanmaktadır. (Şekil 8)



Şekil-8: Ford Focus Lidar İnsansız Aracı.

LİDAR teknolojisinin kullanımına Hyundai'de katılmıştır. IONIQ serisi sürücüsüz aracında tavan yerine ön tamponda gizli bir LiDAR sistemi kullanmıştır. Lidar sayesinde çevredeki araçların ve nesnelerin mutlak konumunu hesaplar. (Şekil-9)



Şekil-9: Hyundai IONIQ İnsansız aracı

















5. MOBİL LİDAR MODELLERİ


Mobil Lidar uygulama alanları ve kullanılan platformlara bağlı olarak firmalar tarafından sürekli olarak yeni cihazlar geliştirilmektedir.

Bir mobil lidar alınacaksa yapılacak çalışmadaki amaç öncelikle belirlenmeli daha sonra bu cihazların taşınacağı platforma uygun ağırlıktaki cihazlar seçilmelidir. Lidar sayısı, verilerin toplanması sırasında kör nokta alanların giderilmesinde bir etkenken, lidarın minimum ve maksimum mesafeleri çalışma alanına göre belirlenmelidir gereğinden fazla mesafelere yapılan her ölçümde veride gürültü(bozulmalar) artacaktır. Mobil lidar sistemine bağlı kamera sayısı ve kullandığı spektral bant aralığı verilerin görüntü eşleştirme işlemlerinde önem arzedecektir.

Bu kapsamda çeşitli firmalar tarafından geliştirilen ve mobil lidarda kullanılan modeller aşağıdaki çizelgede sunulmuştur.(Çizelge-1).

Marka/Model	Kamera			Lidar						Ağırlık
	Marka	Kamera sayısı	Spektral Bantlar	Marka	Lazer tarayıcıların sayısı	Lazer güvenlik sınıflandırması	Min. Aralık [m]	Maksimum Aralık [m]	Max. Ölçüm hızı [kHz]	Ağırlık (kg)
RIEGL VMZ-399	Nikon DSLR	1	RGB	RIEGL VZ-400	1	1	1.5	600	300	24.1
RIEGL VMZ-1000	Nikon DSLR	1	RGB	RIEGL VZ-1000	1	1	2,5	1400	300	24.3

RIEGL VMZ-2000		Nikon DSLR	1	RGB	RIEGL VZ-2000	1	1	2.5	2050	1000	24.3
RIEGL VMZ-400i		Nikon DSLR	1	RGB	RIEGL VZ-400i	1	1	0.5	800	1200	24.1
RIEGL VMX-1HA		RIEGL VMX-CS6	6	RGB	VUX-1HA	2	1	1,2	420	1000	98
RIEGL VMQ-1HA		Point Grey Ladybug5	4	RGB	VUX-1HA	1	1	1,4	420	2000	74
RIEGL VMX-450		RIEGL VMX-CS6	6	RGB	VQ450	2	1	1,3	300	1100	43
Lynx SG		Point Grey Ladybug / JAI	10	RGB	Optech	2	1	2	250	600	65
Lynx SG-S		Point Grey Ladybug	6	RGB	Optech	1	1	2	250	600	42
Marka/Model	Kamera			Lidar							Ağırlık
	Marka	Kamera sayısı	Spektral Bantlar	Marka	Lazer tarayıcıların sayısı	Lazer güvenlik sınıflandırması	Min. Aralık [m]	Maksimum Aralık [m]	Max. Ölçüm hızı [kHz]	Ağırlık (kg)	
Lynx HS-600		RIEGL VMX-CS6	6	RGB	VUX-1HA	2	1	1,2	420	2000	98
Lynx HS-600 Dual		Point Grey Ladybug5	4	RGB	VUX-1HA	1	1	1,2	420	1000	74
Lynx MG		Point Grey Ladybug	6	RGB	Optech	1	1	2	200	500	42
MAVERICK		Point Grey Ladybug	6	RGB	Velodyne HDL-32	1	1	2	200	700	9
IP-S2 Compact+		Point Grey	6	RGB	SICK	5	1	0,7	80	150	35
IP-S2 HD		Point Grey	6	RGB	Velodyne	1	1	2	120	1300	75
IP-S3 HD		Point Grey	6	RGB		1	1	1	100	700	3
Trimble MX2			6	RGB	Renishaw	2	1	0,5	250	720	25
Dynascan 250			-	-	Renishaw	1	1	0,5	250	36000	14,8

Dynasc an M250			-	-	Renis haw	1	1	0,5	250	36000	14,8
----------------------	---	--	---	---	--------------	---	---	-----	-----	-------	------

Çizelge 1. Mobil Lidar Cihazları ve Özellikleri

KAYNAKÇA

S.KOÇ , İ.TAŞDEMİR , O.DİNÇ, 2015, Mobil Haritalama Yöntemi İle Panorama İstanbul Projesi

S.Şehsuvaroğlu, O.Eker, M.Erdoğan, F.Yıldız, 2013, Fotogrametri Mi Lidar Mı?

URL 1. <http://www.paksoytekni.com.tr/>

URL 2. <http://geo-matching.com/products>

Metasezgisel Algoritmaların Jeodezi’de Kullanımı

Doç. Dr. Mevlüt YETKİN*

İzmir Katip Çelebi Üniversitesi

Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İzmir, Türkiye

Öz

Geomatik mühendisliği dahil olmak üzere çok sayıda mühendislik disiplininde önemli rol oynayan matematiksel programlama veya optimizasyon bir uygulamalı matematik konusu olup bilgisayar bilimi ve yöneylem araştırması ile yakından ilişkilidir. En basit şekliyle reel değişkenlere sahip bir fonksiyonun, bu değerler için optimum değerlerin bulunması suretiyle minimum veya maksimum yapılması optimizasyon olarak adlandırılır. Parametre kestirimi, optimal jeodezik ağ tasarımı ve karayolu yatay ve düşey alınyan optimizasyonu geomatik mühendisliğindeki önemli optimizasyon uygulamalarıdır. Bu çalışmada optimizasyon ile ilgili temel kavramlar ve başlıca jeodezik optimizasyon problemleri ele alınmıştır. Son zamanlarda yaygın bir şekilde kullanılır hale gelen metasezgisel optimizasyon algoritmaları üzerinde durulmuştur. Metasezgisel bir optimizasyon algoritması olan Kurbağa Sıçrama Algoritması (KSA) incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Optimizasyon, Metasezgisel Algoritmalar, Kurbağa Sıçrama Algoritması, Jeodezi*

GİRİŞ

Optimizasyon, matematiksel olarak, probleme özgü bir amaç fonksiyonunun minimum veya maksimum yapılması şeklinde tanımlanabilir. Herhangi bir optimizasyon probleminde belli bir amaç fonksiyonunun minimum veya maksimum değerini sağlayan değişken değerlerin araştırılması söz konusudur. Böyle bir problemin çözülmesi için çeşitli optimizasyon algoritmaları kullanılmaktadır.

Optimizasyon algoritmaları çeşitli şekillerde tanımlanabilir ve sınıflandırılabilir. Söz gelimi, deterministik optimizasyon algoritmaları ve stokastik optimizasyon algoritmaları şeklinde bir sınıflandırma mümkündür. Öte yandan optimizasyon algoritmalarını lokal ve global optimizasyon algoritmaları şeklinde de ikiye ayırabiliriz. Optimizasyon algoritmaları tanımlı bir araştırma uzayında etkin ve başarılı bir tarama yaparak çok sayıda lokal çözüme takılmadan

global optimum çözüme ulaşabilmelidir. Optimizasyon algoritmaları bahsedilen arama işlemini iteratif bir şekilde elde edilen çözüm veya çözümleri iyileştirmek suretiyle gerçekleştirirler.

Lokal optimizasyon algoritmaları bir başlangıç çözümünden hareket ederek optimum çözüme ulaşmayı amaçlar. Bununla birlikte, eğer başlangıç çözümümüz global optimuma yeteri kadar yakın değil ise çoğu kez lokal optimizasyon algoritmaları global optimum çözümü vermede yetersiz kalır. Örneğin kenar ağlarının dengelenmesi gibi doğrusal olmayan dengeleme hesabı problemleri, kaba hatalı gözlemler olması durumunda, En Küçük Kareler Yöntemi (EKKY) ile çözüldüğü zaman başlangıç çözümü kaba hatalar yüzünden global optimum çözümden uzak olacağı için birkaç iterasyon sonucunda EKKY bir lokal optimum çözüme yansiyacaktır.

Geliş Tarihi: 04.11.2016

Kabul Tarihi: 11.12.2016

Global optimum çözümlerin elde edilmesinde çoğu kez global optimizasyon algoritmaları kullanılır. Xu (2003) her iki farklı yaklaşımın avantajlarını bir araya getiren hibrid bir optimizasyon algoritması geliştirmiştir. Bir global optimizasyon algoritması deterministik veya stokastik karakterde olabilir. Deterministik algoritmalar hesapsal olarak daha maliyetli olsa da global optimal çözümü doğru bir şekilde bulabilirler. Stokastik optimizasyon algoritmaları ise kolaylıkla gerçekleştirilebilirler ve zor optimizasyon problemlerinin çözümünde başarılıdır. Bununla birlikte global optimum çözümü garanti etmezler (Yetkin ve Berber, 2013).

Stokastik bir şekilde global optimum çözüm araştırması yapan metasezgisel algoritmalar, araştırma uzayında, mevcut çözümlere operatörler uygulayarak yeni çözümler üretirler. Bu iteratif araştırma işlemi sırasında istatistiksel olarak daha iyi çözümler üretmeye meyil gösterirler. Yapılan işlem çoğu kez doğada mevcut olan zeki bir optimizasyon sürecinin taklit edilmesidir. Bu nedenle bu algoritmalar doğal optimizasyon algoritmaları şeklinde de adlandırılabilir. (Haupt ve Haupt 2004). Bu tür algoritmalar jeodezide de sıklıkla karşılaşılan doğrusal olmayan optimizasyon algoritmalarının optimize edilmesinde ihtiyaç duyulan türevleme işlemini uygulamadıkları için global optimum araştırmasında daha başarılı olmaktadır.

Metasezgisel algoritmaların en önemli iki bileşeni en iyi çözümlerin seçilmesi ve randomizasyondur. En iyi çözümlerin seçilmesi sayesinde optimal çözüme yakınsama sağlanır. Rastgele sayı üreticileri sayesinde kolaylıkla gerçekleştirilebilen randomizasyon algoritmanın lokal bir optimum çözüme takılmasını önler. Bu iki bileşen başarılı bir şekilde uygulanırsa global optimum çözüme ulaşma şansı artar (Yetkin ve Berber, 2014). Matlab, Maple ve Mathcad gibi yazılımlar rastgele sayı üretiminde kullanılabilir. Rastgele sayı üreticileri, tanımlı olan araştırma uzayında başlangıç çözümlerinin üretiminde de faydalıdır.

Ayrıca iteratif araştırma sürecinde araştırma uzayının farklı bölgelerinden yeni çözümlerin üretilmesini de sağlarlar.

Metasezgisel algoritmalara örnek olarak Genetik Algoritmalar (Haupt ve Haupt 2004), Parçacık Sürüsü Optimizasyon Algoritması (Kennedy ve Eberhart 1995), Karınca Koloni Optimizasyon Algoritması (Dorigo ve Stützle 2004), Ateşböceği Algoritması (Yang 2008), Yapay Arı Kolonisi Algoritması (Karaboğa ve Baştürk 2007) ve Kurbağa Sıçrama Algoritması (Elbeltagi ve ark., 2005) verilebilir.

Optimizasyon problemleri amaç fonksiyonuna ilaveten bir veya daha fazla sayıda kısıtlamayı da gerçekleştirecek şekilde kapsamlı olabilir. Kısıtlamalı optimizasyonda karşılaşılan eşitlik veya eşitsizlik şeklinde olabilir. Bu tür problemler kısıtlamalı optimizasyon problemi olarak adlandırılırlar. Bu tür optimizasyon problemlerinin metasezgisel algoritmalar ile çözümünde genellikle penaltı fonksiyonu yaklaşımı tercih edilir. Bu sayede problem kısıtlamasız optimizasyon problemi haline getirilmiş olur (Yang, 2008).

İteratif bir şekilde uygulanan metasezgisel algoritmaların doğru yerde durdurulması optimizasyon probleminin başarılı bir şekilde çözülmesinde büyük rol oynar. Burada farklı stratejiler seçilebilir. Örneğin algoritma 100. İterasyon adımında durdurulabilir. İdeal olarak istenen algoritmanın global optimum çözüme yakınsamasıdır. Öte yandan eğer tatmin edici bir sonuç elde edilmişse algoritma durdurulabilir.

Eğer optimizasyon problemlerini amaçların sayısına göre sınıflandırmak istersek iki kategori elde ederiz: tek amaçlı optimizasyon ve çok amaçlı optimizasyon. Çok amaçlı optimizasyon çok kriterli optimizasyon olarak ta isimlendirilebilir (Yang, 2008). Çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümünün daha karmaşık olduğu söylenebilir.

Geomatik Mühendisliği ve Optimizasyon

Geomatik Mühendisliğinde en önemli optimizasyon problemleri jeodezik ağların optimal tasarımı ve çeşitli parametre kestirim yöntemlerinin gerçekleştirilmesidir. Geomatik Mühendisliğinin katkı sağladığı ve multidisipliner bir mühendislik sahası olan karayolu mühendisliğinde de yatay ve düşey alinyman optimizasyonu sayesinde optimal yol tasarımı mümkün olmaktadır.

Jeodezik ağ optimizasyonunun temel iki amacı optimal ağ konfigürasyonunun elde edilmesi ve optimal gözlem planının oluşturulmasıdır. Optimal datum problemi ve mevcut bir ağın iyileştirilmesi de önemli jeodezik ağ optimizasyon problemleri arasında yer alır. Optimizasyon sayesinde duyarlık, güvenilirlik, robustluk, hassasiyet ve maliyet kriterleri açısından yeterli ağlar tasarlanabilir ve gereksiz gözlemler önlenir (Kuang, 1996).

Klasik olarak jeodezik ağ optimizasyon problemlerinin çözümünde deneme yanılma yöntemi veya analitik yöntemler kullanılabilir. Örneğin lineer programlama problemleri simpleks yöntemi ile çözülebilir (Kuang, 1996). Çok sayıda metasezgisel algoritmanın geliştirilmesi ve bunların farklı disiplinlerdeki optimizasyon problemlerinin çözümünde başarılı bir şekilde kullanılması nedeniyle bu tür algoritmalar jeodezik ağ optimizasyon problemlerinin çözümünde de denenmiştir. Literatürde ki çalışmalar bu yöntemlerin jeodezik ağ optimizasyon problemlerinin çözümünde oldukça başarılı olduklarını göstermektedir. Bu tür yöntemlerin jeodezik ağ optimizasyon problemleri açısından en önemli farkı Taylor Serisi açılımlarına duyulan ihtiyacı ortadan kaldırmalarıdır. Bu sayede lokal optimum çözüme takılma tehlikesi önlenmiş olmaktadır. Jeodezik ağ optimizasyon problemlerinin metasezgisel algoritmalar ile çözümü konusu üzerine yapılmış önemli çalışmalar Yetkin ve ark., (2009); Yetkin ve İnal (2011); Yetkin ve ark., (2011) ve Yetkin (2014) şeklinde sayılabilir.

Geomatik Mühendisliği disiplini için önemli olan bir diğer optimizasyon problemi ise parametre kestirimidir. Örneğin klasik EKKY, düzeltmelerin karelerinin toplamının minimum yapıldığı bir optimizasyon problemidir. Bu yöntem jeodezik ağların dengelenmesinde en yaygın bir şekilde kullanılan parametre kestirimi yöntemidir (Simkooei, 2003). EKKY’ni tamamlayıcı veya ona alternatif olarak düşünebileceğimiz pek çok robust parametre kestirimi yöntemi (Özellikle Huber ve Andrews gibi M-Kestirim yöntemleri ve Danimarka yöntemi burada örnek olarak verilebilir) iteratif yeniden ağırlıklandırılmalı EKKY ile çözülmektedir (Hekimoğlu ve Berber, 2003). Burada da yine bir optimizasyon problemi çözülmektedir. Öte yandan çok sayıda uyumsuz ölçüye karşı başarılı bir parametre kestirimi yapılmasına olanak sağlayan En Küçük Medyan Kareler (EKMK) gibi yüksek kırılma noktalı robust yöntemler daha güçlü optimizasyon algoritmalarına gereksinim duyar. Bu problemlerin çözümünde metasezgisel algoritmalar başarılı olabilirler (Yetkin ve Berber, 2013; Yetkin ve Berber, 2014). Klasik optimizasyon yöntemlerinden olan Simpleks yöntemi ile lineer programlama yaklaşımı ise L1 norm minimizasyon problemi ile jeodezik ağların dengelenmesinde başarılı bir şekilde kullanılabilir (Yetkin ve İnal, 2011).

Kurbağa Sıçrama Algoritması (KSA)

KSA, Eusuff ve Lansey (2003) tarafından sunulan memetik bir metasezgisel algoritmadır. Bu algoritma sosyal davranış tabanlı parçacık sürüsü optimizasyon algoritması ve genetik tabanlı memetik algoritmaların bir kombinasyonu olarak düşünülebilir. Bir bataklıkta zıplayarak yiyecek araştırması yapan bir grup kurbağanın memetik evriminden esinlenerek geliştirilmiş bir algoritmadır. Bu algoritmada aday çözümlerden (kurbağalardan) oluşan bir popülasyon memepleks adı verilen alt gruplara bölünür. Her bir memepleks ayrı bir kurbağa kültürü olarak düşünülür. Her bir memepleks bir lokal arama gerçekleştirir.

Diğer bir deyişle her bir memeplekste kurbağalar birbirlerinin fikirlerinden esinlenir ve memetik bir evrime uğrar. Bu sayede bütün bireylerde (aday çözümler) iyileştirmeler sağlanır. Belli sayıda (söz gelimi 100) memetik evrim adımından sonra farklı memeplekslerdeki kurbağaların fikirleri arasında transfer gerçekleştirilerek bütün memepleksler karıştırılır ve ardından yeni memepleksler oluşturulur. Bu karıştırma işlemi global bilgi değişimini sağlar. Lokal arama ve karıştırma işlemi belli sayıda uygulanarak optimizasyon süreci gerçekleştirilir (Elbeltagi ve ark., 2005).

KKZA ile bir optimizasyon probleminin çözülmesi için ilk olarak bir araştırma uzayı tanımlanır. Araştırma uzayı optimizasyon problemine göre değişken değerlerin alabileceği değerlere göre tanımlanabilir. Örneğin bir GPS ağındaki noktaların üç boyutlu koordinat değerleri değişken değerler olabilir. Optimizasyon ile amaç bunlar için optimal değerleri bulmaktır. Değişken değerlerin sayısı araştırma uzayının boyutunu ifade eder. Daha sonra bu araştırma uzayında rastgele bir şekilde F adet çözüm üretilir. Rastgele sayı üreteçleri ile bütün araştırma uzayını kapsayacak şekilde çözümler elde edilebilir. Doğal olarak bu çözümlerin optimizasyon kriteri açısından kaliteleri birbirinden farklıdır. Analojide bu çözümlerin her biri kurbağa olarak isimlendirilir. Daha sonra her bir çözüm için amaç fonksiyonu değeri hesaplanır ve bunlar en iyi çözümden en kötü çözüme doğru sıralanırlar ve hepsine birden başlayarak bir numara verilir.

Populasyonda 100 adet kurbağa olsun. Memepleks sayısını da 10 adet seçmiş olalım. Dolayısıyla her bir memeplekste 10 adet kurbağa olacaktır. En iyi ilk 10 kurbağa sırasıyla birinci memepleksten başlayarak dağıtıldıktan sonra benzer şekilde 11. en iyi

kurbağadan itibaren bütün kurbağalar ilgili memeplekslere dağıtılacaktır.

Memepleksler oluşturulduktan sonra lokal araştırma işlemi yapılır. Burada amaç her bir memepleks içerisinde en kötü çözümü iteratif bir şekilde iyileştirmektir. Herhangi bir memepleksin en iyi ve en kötü çözümleri sırasıyla $X_{(en_iyi)}$ ve $X_{(en_kötü)}$ olsun. Bütün populasyon içerisinde en iyi çözüm ise X_{global} olsun. Burada amaç oldukça basit bir matematiksel işlem yaparak memepleks içerisindeki en kötü çözümü iyileştirmek olacaktır. Diğer bir deyişle bu çözümün amaç fonksiyonu değeri küçültülmeye çalışılır. Memepleks içindeki en kötü çözüme getirilecek olan düzeltmeler

$$S=(X_{(en_iyi)}-X_{(en_kötü)})\times rand$$

(1)

formülü ile hesaplanır. rand 0 ile 1 aralığında bir rastgele sayıdır. Bu şekilde iyileştirilmiş en kötü çözüm

$$X_{(en_kötü)}^{iyileştirilmiş}=X_{(en_kötü)}+S$$

(2)

eşitliği ile elde edilir. Bu işlem ile her zaman en kötü çözümde bir iyileştirme elde edilemeyebilir. Bu durumda (1) numaralı eşitlikte ki $X_{(en_iyi)}$ yerine X_{global} kullanılır. Bu da eğer iyileştirilmiş bir çözüm elde edilmesine olanak sağlamaz ise rastgele bir şekilde yeni bir çözüm üretilir ve iyileştirme olsun veya olmasın memepleks’in en kötü çözümü yerine artık bu yeni çözümlerle lokal araştırma sürdürülür. Her bir memepleks içindeki lokal araştırma süreci belli sayıda (örneğin 10 adet) iteratif olarak uygulanır.

Lokal araştırma yapıldıktan sonra bütün çözümler iyiden kötüye doğru tekrar sıralanır yeni memepleksler oluşturulur ve yine her bir

memepleks içinde (1) ve (2) numaralı eşitliklere göre lokal araştırma yapılır. Bu şekilde yakınsama veya tatmin edici bir sonuç elde edinceye kadar algoritma çalıştırılır.

SONUÇLAR

Optimizasyon hem başta mühendislik olmak üzere profesyonel hayatta hem de günlük yaşantımızda sıklıkla karşımıza çıkar. Maliyetin minimize edilmesi, kârın ve söz konusu ürünün verimliliğin maksimize edilmesi veya farklı amaçlar arasında belirli bir dengenin kurulması optimizasyon sayesinde gerçekleştirilebilir.

Geomatik mühendisliğinde genel olarak matematiksel optimizasyon uygulamalarına ihtiyaç duyulur. Bu amaç için doğal olarak matematiksel araçlardan yararlanır. Yoğun matematiksel hesaplamalara olanak veren yazılımlar sayesinde farklı optimizasyon algoritmalarından yararlanarak zor ve karışık gibi görünen pek çok optimizasyon problemi başarılı bir şekilde çözülebilmektedir.

Bu çalışmada global stokastik optimizasyon algoritmalarına vurgu yapılmıştır. Bu algoritmalar metasezgisel veya doğal optimizasyon algoritmaları olarak isimlendirilebilir. Rastgele sayı üreteçlerinin kullanımı, araştırma uzayında global tarama yapma, iterative olarak uygulanma ve doğada mevcut bulunan optimizasyon süreçlerinin taklit edilmesi bu optimizasyon algoritmalarının dört temel özelliğidir.

Jeodezi biliminde özellikle robust parametre kestirimi ve jeodezik ağ optimizasyonu en önemli optimizasyon problemlerinden olup metasezgisel algoritmalar ile çözülebilir. Matematiksel olarak ifade edilen belirli bir amaç fonksiyonun minimum veya maksimum yapılması gereken bütün durumlarda bu çalışmada bahsedilen veya yeni geliştirilen metasezgisel optimizasyon algoritmaları denenerek test edilebilir.

KAYNAKÇA

Dorigo, M., Stützle, T. (2004). Ant colony optimization. MIT Press, Cambridge.

Elbeltagi, E., Hegazy, T., Grierson, D. (2005). Comparison among five evolutionary-based optimization algorithm. Advanced Engineering Informatics, 19(1):43-53.

Eusuff, M.M., Lansey, K.E. (2003). Optimization of water distribution network design using the shuffled frog leaping algorithm. Journal of Water Resource Planning and Management, 129(3):210-225.

Haupt, R.L., Haupt, S.E. (2004). Practical Genetic Algorithms. Wiley, NY.

Hekimoğlu, Ş., Berber, M. (2003). Effectiveness of robust methods in heterogeneous linear models. Journal of Geodesy, 76(11):706-713.

Karaboga, D., Baştürk, B. (2007). A powerful and efficient algorithm for numerical optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm. Journal of Global Optimization, 39(3):459-471.

Kennedy, J., Eberhart, R.C. (1995). Particle swarm optimisation. Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks IV:1942-1948, IEEE Service Center, Piscataway, NJ.

Kuang, S.L. (1996). Geodetic network analysis and optimal design. Ann Arbor Press, Ann Arbor, MI.

Simkoei, A.A. (2003). Formulation of L1 norm minimization in Gauss-Markov Models. Journal of Surveying Engineering, 129(1):37-43.

Xu, P. (2003). A hybrid global optimization method: the multi-dimensional case. Journal of Computational and Applied Mathematics, 155(2):423-446.

Yang, X.S. (2008). Nature-inspired metaheuristic algorithms. Luniver Press, University of Cambridge, UK.

Yetkin, M., İnal, C., Yiğit, C.Ö. (2009). Use of the particle swarm optimization algorithm for second order design of levelling networks. Journal of Applied Geodesy, 3:171-178.

Yetkin, M., İnal, C. (2011). L1 norm minimization in GPS networks. Survey Review, 43(323):523-532.

Yetkin, M., İnal, C., Yiğit, C.Ö. (2011). The Optimal design of baseline configuration in GPS networks by using the Particle Swarm Optimization algorithm. Survey Review, 43(323):700-712.

Yetkin, M., Berber, M. (2013). Application of the sign-constrained robust least squares method to surveying networks. Journal of Surveying Engineering, 139(1):59-65.

Yetkin, M. (2014). Metaheuristic optimisation approach for designing reliable and robust geodetic networks. Survey Review, 45(329):136-140.

Yetkin, M., Berber, M. (2014). Implementation of robust estimation in GPS networks using the artificial bee colony algorithm. Earth Science Informatics, 7(1):39-46.

Emir Saltuk Kümbeti Fotogrametrik Rölöve Çalışması Ve 3Boyutlu Modellenmesi

Murat Yakar ^{1*} Adem Kabadayı¹, Abdurahman Yasin Yiğit¹
Kader Çıkıkcı¹ Yunus Kaya¹ Sultan Seda Catin¹

Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği, Selçuklu/Konya/TÜRKİYE
yakar@selcuk.edu.tr, kader.cikikci, sscatin, kaya_yunus, k.adem, ayasinnyigit07@gmail.com

Öz

Tarihi eserler geçmişten günümüze gelene kadar, doğal ya da doğal olmayan birçok tahribata maruz kalmaktadır. Bu nedenle; kültürel mirasın korunması ve bir sonraki kuşakları, tarih hakkında bilgilendirmek amacı ile yapılan çalışmalar, tüm dünyada gün geçtikçe hızlanmakta ve önemi büyük ölçüde artmaktadır. Artan bu önem, kültürel miras üzerine yapılan bu çalışmaların daha kolay ve daha detaylı olması için teknolojiyi de teşvik etmekte, bu da kullanılan ölçme sistemlerinin gelişmesini sağlamaktadır.

Tarihi yapıların bakım ve onarımı, korunması için altlık olacak verilerin (rölöve ve üç boyutlu model) hazırlanmasında fotogrametrik yöntemler uzun yıllardır kullanılmaktadır.

Geçmişten geleceğe bırakılabilecek en büyük miras kültür mirasıdır. Tarihin tanıkları ve kültür mirasları olan tarihi eserler sanal ortamda koruma altına alınıyor. Dijital ortamda geliştirilen yöntemle hem tarihi eserlerin orijinal halleri korunmuş oluyor hem de sanal müze oluşturuluyor.

Bu çalışmada Erzurum ilinde bulunan Üç Kümbetler olarak bilinen yapılarda belgeleme amaçlı Emir Saltuk Kümbet'inin fotogrametrik rölöve çalışması yapıldı. Restorasyon projesine altlık oluşturulacak rölöve projesi hazırlanması ve 3 boyutlu nokta verilerinin oluşturulması amacıyla totalstation ile kontrol noktaları ölçülmüştür. 3 boyutlu modelin oluşturulması Photomodeler yazılımında gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sayısal fotogrametri, Belgeleme, Üç boyutlu modelleme, Kümbet

GİRİŞ

Ülkemiz, konumu itibariyle göç ve ticaret yollarının üzerinde bulunması, Asya ile Avrupa'yı birbirine bağlaması, topraklarının verimli olması ve ikliminin insanların yaşayışına uygun olması gibi nedenlerden dolayı zengin kültürlerin beşiği olmuştur. Evrensel değerlere sahip, bütün insanlığın ortak mirası olarak kabul edilen kültür varlıklarını korumak, dünyaya tanıtmak, toplumda kültürel mirasa sahip çıkacak bilincin oluşmasını sağlamak ve çeşitli etkenlerle tahrip olan, yok olan kültürel değerlerin yaşatılması, dokümantasyonunun yapılması ve gelecek nesillere aktarılması için gerekli işbirliğini sağlamak bizlere düşen en büyük görevlerdendir.

Fotogrametri, özellikle son yıllarda geliştirilen sayısal değerlendirme sistemleri yardımıyla nesnelerin görüntülerden üç boyutlu modelinin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Günümüzde ise pek çok ölçme uygulaması için umut verici bir alternatif olarak görülmektedir. Üç boyut verileri, çok hızlı elde etmekte ve nesnelerin görüntüleriyle bütünleştirerek bir gösterim sağlamaktadır. Bu yöntemin en önemli avantajı mekansal nesnelerin, görüntüleme tekniklerine göre daha gerçeğe yakın bir gösterim elde etmesidir. Elde edilen bu modeller tarihi miras, toprak yönetimi uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Kültürel mirasın belgelendirilmesi konusunda da, üç boyutlu modeller, görselleştirme için çok önemli araç olmaktadır (El-Hakim, S. F., 2001).

Günümüzde fotogrametri tekniği ile hızlı ve güvenilir bir şekilde kültür varlıklarının

Geliş Tarihi: 03.11.2017

Kabul Tarihi: 14.12.2017

dokümantasyonu yapılmaktadır (Yakar, M., Yılmaz, H.M. (2008)). Dijital fotogrametrik yöntemle tarihi yapıların dokümantasyonu, tanıtımı, korunması, koruma uzmanları tarafından restorasyon çalışmaları sırasında ve sonrasında zaman içerisinde eserlerde oluşabilecek bozulmaların tespiti yapılabilmektedir (Turan M. (2004)). Fotogrametrinin önemli avantajlardan bir diğeri de nesnelere aslına uygun olarak modellenerek 3B gösterimine imkân sağlamasıdır (Asri, İ., Çorumluoğlu, Ö. (2007)).

Bu çalışma ile Fotogrametri, Mühendislik ve Mimari çalışmalarda kullanımının bilim ve teknolojiye paralel olarak mevcut uygulama alanlarındaki etkinliğini arttıracığı gibi daha birçok alanda da uygulama imkânı sağlayacaktır. Ayrıca mimari, restorasyon, restitüsyon, tarihi eser belgelemesi ve tescillenmesi konusunda altlık olabilecek milimetre mertebesi hassasiyetindeki ölçümlerle ve yersel fotogrametri tekniğiyle Tarihi Kümbetin rölöve çalışması ve 3 boyutlu modellenmesi yapılmıştır.

Çalışma Alanı

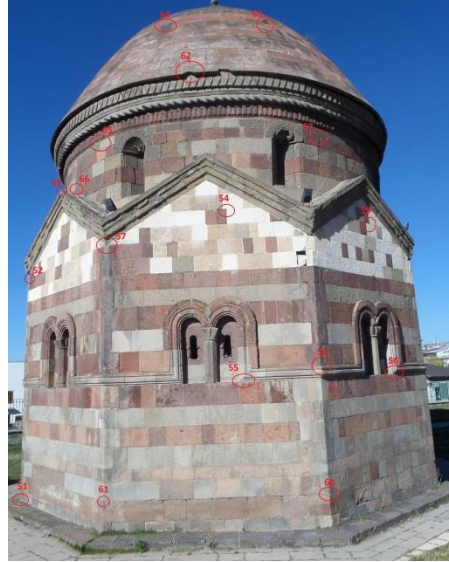
Erzurum'un merkez Yakutiye ilçesi Palandöken caddesinde bulunan üç kümbetler $39^{\circ} 54' 15.3180''K$ enlemi ve $41^{\circ} 16' 44.1372''E$ boylamda yer almaktadır. Merkez Cumhuriyet Caddesi güzergahından yaya olarak gidilebileceği gibi, Şehrin her noktasından toplu taşıma araçları ile ulaşım sağlanabilmektedir. Emir Saltuk Kümbeti, Erzurum'da, Çifte Minareli Medrese'nin arkasında, Üç Kümbetler diye anılan yapıların en büyüğü ve en önemlisidir.

Emir Saltuk Kümbeti, Kasma taştan yapılmış olan bu kümbet, sekizgen gövdeli, yüksek kasnaklı ve üzeri kubbe ile konik karışımı basık bir külahla örtülmüştür. İki renkli kasma taştan yapılan kümbetin üçgen alınlıklarında, yuvarlak kemerli, kasnak nişlerinde boğa, yılan, yarası, kartal gibi hayvan kabartmaları bulunmaktadır. Bu kabartmalar, Orta Asya Türk takvimlerinde yer alan burç figürlerini andırmaktadır. Nişlerden birinin içerisindeki

boğa boynuzları arasında insan başı işlemesi dikkat çekmektedir. Emir Saltuk Kümbeti'nin sekiz cephesinin dört yüzünde birer çift pencere yer almaktadır. Kümbetin, kuzey yönünde bulunan giriş kapısının saçakları üzerinde geometrik bezeme ile çiçek ve hayvan figürleri görülmektedir.



Şekil 1. Emir Saltuk Kümbetinin Konumu

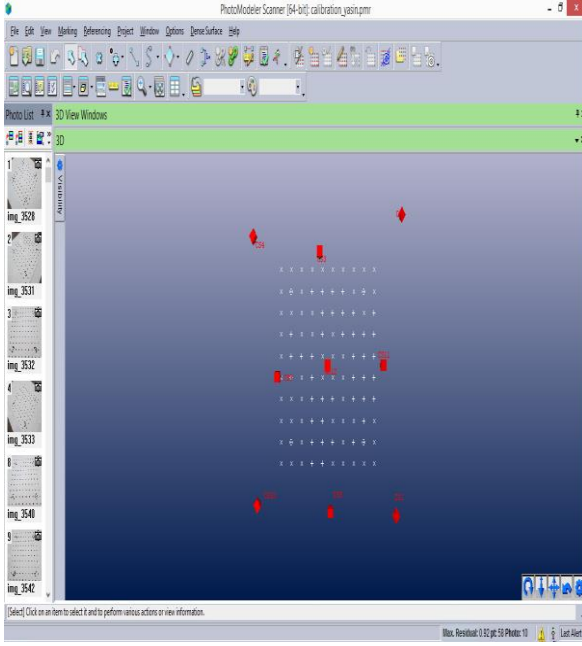


Şekil 2. Emir Saltuk Kümbeti ve Krokisi

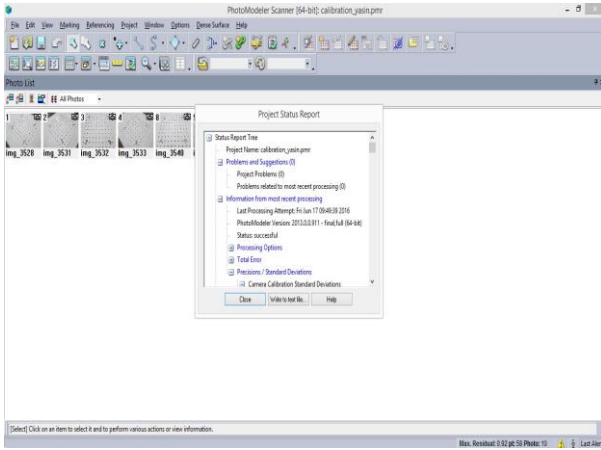
Arazi Çalışması

Yersel fotogrametride cisim hakkında bilgi edinebilmek ve ölçüm yapabilmek için 3 boyutlu koordinatları bilinen noktalara ihtiyaç duyulur. Bu amaçla kümbetin her cephesinde yöneltme işlemlerinde kullanılmak üzere noktalar tesis edildi. Bu noktalar yapı etrafına tesis edilen yerel olarak oluşturulan poligon ağından rasat yapılarak ölçümü tamamlandı. Ölçümde Topcon-gpt-7003i-imaging-total-station aleti kullanıldı.

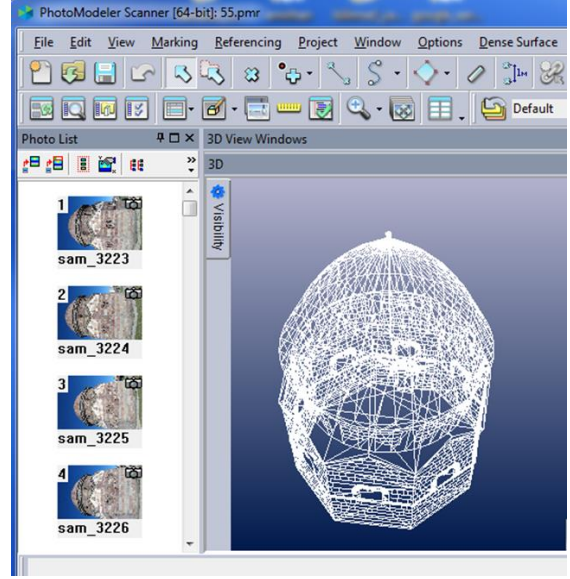
Şekil 6. Kalibrasyon Noktaları



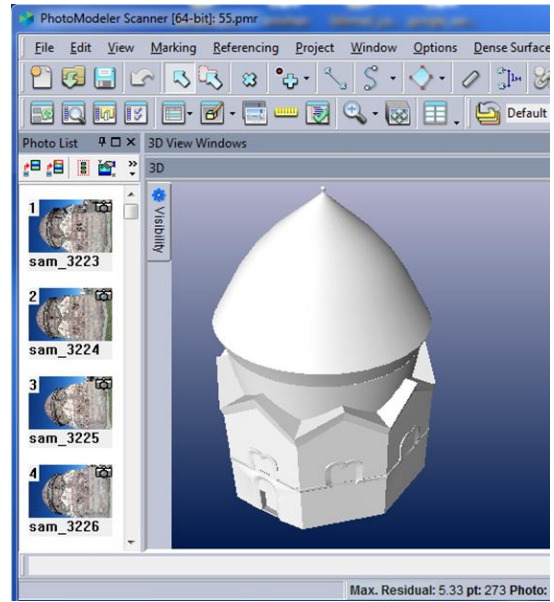
Şekil 7. Kamera İstasyonları



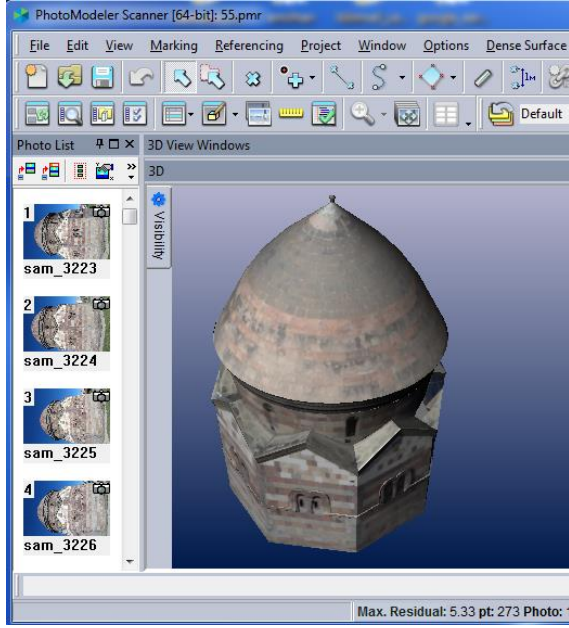
Şekil 8. Kalibrasyon Raporu



Şekil 9. Kalibrasyon Raporu Emir Saltuk Kümbetinin Yüzey Geçirilmemiş Detay Çizimi 3 Boyutlu Son Hali



Şekil 10. Emir Saltuk Kümbetinin Yüzey Kaplanmış Hali Emir Saltuk Kümbetine ait Yüzey Giydirilmiş Hali



Şekil 11. Emir Saltuk Kümbet'ine ait Yüzey
Giydirilmiş Hali

SONUÇLAR

Tarihi yapıların ve cisimlerin dokümantasyonunda yakın resim fotogrametrisi tekniklerinin kullanımının artmasıyla veri elde etme ve 3 boyutlu modelleme tekniklerinin gelişimine bir ivme kazandırmıştır. 3 boyutlu foto modeller, ayrıntılı ve gerçekçi bir görüntü vermede oldukça etkilidirler. Bu modellerin oluşturulması için, digital görüntüler gereklidir.

Bu çalışma sırasında tarihi yapının yüzey modeli ve ortofoto başarı ile üretilmiş ve düşük maliyetli yersel fotogrametri yönteminin 3B veri üretme potansiyeli ortaya konulmuştur.

Digital veri elde etme araçlarının gelişmesiyle birlikte daha hızlı ve daha gerçekçi modeller üretilebilmektedir. 3 boyutlu obje modeline uygulanan doku, mümkün olabildiğince, resimlerden elde edilir. Resim kalitesi arttıkça (daha küçük piksel boyutu vb.) daha etkili bir 3 boyutlu model elde edilebilir.

KAYNAKÇA

El-Hakim, S. F., 2001, *A flexible approach to 3D reconstruction from single images* ACM Proceedings of SIGGRAPH '01, Technical Sketches, Los Angeles, California, 12th to 17th August 2001. 280 pages: 186.

Yakar, M., Yılmaz, H.M. (2008). *Kültürel Miraslardan Tarihi Horozluhan'ın Fotogrametrik Rölöve Çalışması ve 3 Boyutlu Modellenmesi*. S.Ü. Müh.- Mim. Fak. Dergisi C.23 s.2: 25-33.

Turan M. (2004). *Mimari Fotogrametri Alanındaki Çağdaş Gelişimlerin Değerlendirilmesi*. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi Cilt 19, No 1, 43-50.

Asri, İ., Çorumluoğlu, Ö. (2007). *Büyük Objelerde Tarihi Dokümantasyon ve Tanıtım Amaçlı Gpsit Destekli Digital Fotogrametrik 3B Modelleme*. TUFUAB IV. Teknik Sempozyumu, İstanbul.

Topcon-gpt-7003i-imaging-total-station
<http://www.paksoytekni.com.tr/>

samsung wb200f camera
<http://www.samsung.com/tr/>

PhotoModeler Scanner 2013, Software
<http://www.photomodeler.com/index.html>

Netcad 5.2 GIS, Software
<http://www.netcad.com.tr/>

URL 1
https://tr.wikipedia.org/wiki/Emir_Saltuk_K%C3%BCmbeti

URL 2
http://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/erzurum/gezilecek_yerler/uc-kumbetler

İnsansız Hava Araçları Lidar Etkileşimi

Hasan Bilgehan MAKİNECİ* Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Konya, Türkiye,
bilgehanmakineci@selcuk.edu.tr

Öz

Günümüzde yaygınlaşan bir tür olan “İnsansız Hava Aracı Lidar Entegrasyonu” (İHA Lidar) önemli bir yenilik olarak araştırmalara konu olmuştur. Lidar kendi başına uzun yıllardır haritacılıkta kullanılan bir teknoloji olsa da İHA’lar ile birlikte kullanılması yakın zamanlarda başlamıştır. İHA ise genel manada yeni bir teknoloji olarak çeşitli araştırmalara açık bir türdür. İHA kullanımı genel anlamda fotoğraftan nokta bulutu çıkarımı şeklindedir. Fakat fotoğrafın yetersiz kaldığı durumlar; karanlık alımlar, meteorolojik olumsuzluklar, sık ormanlar vb. lidar algılayıcıları için tercih edilme sebebi olmuştur.

Bu çalışmada, internet üzerinden erişilen bazı firmaların İHA Lidar çalışmaları ve cihaz özellikleri araştırılmış ve firmalar tarafından beyan edilen değerler derlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İHA , Lidar, İnsansız Hava Araçları, UAV

GİRİŞ

Son yıllarda yapılan çalışmaların ışığında insansız hava araçları (İHA) konusunda çok fazla gelişmeler olmuştur. İHA; temel uçuş yöntemleriyle benzer şekilde üzerinde herhangi bir pilotaj bulunmayan yer kontrollü veya otomatik olarak uçabilen hava araçlarına denir. (m.akgöl vd. 2016) Yerden kontrol edilebilir olmaları veya otomatik olarak uçuş planlaması yapılabilir olması İHA’ları cazip kılmaktadır. Genellikle üzerlerinde taşıdıkları kameralar ile çalışan İHA’lar haritacılıkta çok çeşitli alanlarda tercih edilmektedirler. Son yıllarda savunma sanayi ve askeri yatırımlar başta olmak üzere tarımdan, arkeolojiye, mimariden, turizme hayatın tüm alanlarında kendine yer bulmuştur. (m.omar ve m.yakar 2016) Fotogrametri ve uzaktan algılamanın temel prensiplerine dayanan İHA ile haritacılıkta, son dönemlerde çok fazla araştırılan ve geliştirilen bir konu haline gelmiştir. Yapılan çalışmalar genellikle fotoğraftan nokta bulutu üretimi üzerine olsa da yeni denemelerle İHA Lidar entegrasyonu

daha çok adından söz ettirmeye başlamıştır. Lidar, elektromanyetik ışınlarla ölçme işleminin genel adıdır. (L.karasaka ve F.yıldız 2013) Çoklu yansıma özelliğinin lazer sistemlerde daha sık kullanılmaya başlanması ile ormanlık alanlarda gibi alımın uzun süreler alacağı ve dik yamaç, vadi gibi alım yapmanın insan hayatına tehlike getirebileceği konularda lidar en önemli alım kaynağı haline gelmiştir. Maliyetlerin azaltılması ve kullanımın yaygınlaştırılması gibi temel hedeflerle Lidar sistemleri daha küçültülmüş ve günümüzde İHA’larla entegre halde kullanılmaya başlanmıştır. Kullanılan her sistemin birbirine olan olumlu ve olumsuz yanları tartışılabilir fakat geleceğin teknolojisinin bu entegrasyonda olduğu aşikârdır. Birçok lazer üreticisi İHA Lidar entegrasyonunu başarmak için yoğun çabalar göstermektedirler. Bu konuda belirleyici olan faktörler ise çok çeşitli olmakla beraber - yatayda ve düşeyde doğruluk, nokta atım sayısı, mesafe, dalga boyu, boyut, ağırlık vb. - kullanıcı açısından hala temel faktör sonuç ürün olarak görünmektedir.

Geliş Tarihi: 05.11.2016

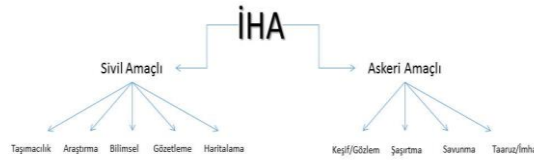
Kabul Tarihi: 14.12.2016

MATERYAL VE YÖNTEM

İnsansız Hava Araçları ve bunların tasnif edilmesi hususunda bir takım genel kabuller yapılmaktadır. Özellikle niteliklerine göre ve niceliklerine göre sınıflandırılan İHA'ların lidar entegrasyonu da, bu sınıflandırmalara göre yapılmaktadır.

İnsansız Hava Araçları ve Sınıfları

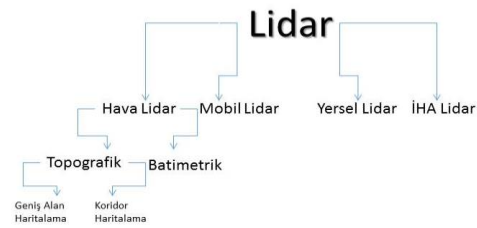
Nitelikleri ve nicelikleri açısından insansız hava araçları iki ana sınıfa ayrılırlar. (a.b.haser 2010) Nicel sınıflandırmada temel faktörler uçuş yüksekliği, uçuş süreleri, otomatik ya da yarı otomatik kontrol sistemleri, yakıt tipi, yükselme-alçalma süreleri vb. farklılıklar sınıflandırmaya konu olmaktadır. Niteliklerine göre ise askeri ve sivil insansız hava araçları olarak ikiye ayrılırlar. Askeri kullanımlar savunma, atak, gözlem vb. farklı amaçlara göre ayrılırlar. Fakat lidar entegrasyonuna konu olan İHA sivil kullanımlı tipte olup bir çok alt branş için tercih edilmektedir. Jeolojik, meteorolojik, topografik gözlemler amacı ile kullanılan İHA'lar, Çevresel ve ekolojik takip amaçlı kullanılan İHA'lar, 3B katı modelleme, röleve çıkarımı, kentsel modelleme, belediyeçilik ve coğrafi bilgi sistemleri altlıkları için kullanılan İHA'lar, endüstriyel belgeleme-takip amaçlı kullanılan İHA'lar ve tehlikeli bölgelerin haritalaması amacıyla kullanılan İHA'lar gibi birçok temel alanda İHA'lar Lidar ile entegre olarak kullanılabilir.



Şekil 1. İHA Çeşitleri

Lidar Sistemleri ve Sınıfları

Lidar sistemleri temelde 4 ana başlık altında sınıflandırılabilir; hava lidar, mobil lidar, yersel lidar (yersel lazer tarama sistemleri) ve İHA Lidar. Kanatlı uçaklarla lazer tarayıcı, imu, gps ve ek bileşenlerin entegrasyonuna "Hava Lidar Sistemleri" denir. Bu sistemler çoğunlukla yüksek irtifadan büyük alanların haritalanması işlemlerinde tercih edilmektedir. Sistemlerin veri yükünün büyük olması ve sistem kurulum maliyetinin çok yüksek olması sebebiyle yeterli ilgiyi görememiştir. Mobil lidar sistemleri ise, herhangi bir kara veya deniz aracına yerleştirilen ve eş zamanlı olarak çalışan lazer tarayıcı, imu, gps ve ek bileşenlerinin adıdır. Günümüzde atv, sırt çantası, tekne, arazi aracı, bisiklet, vagonet vb. neredeyse tüm kara ve deniz araçlarında kullanımı denen ve başarılı olan mobil lidar sistemleri ise çok talep alan çeşittir. Yersel lazer tarayıcılar da lidar başlığında en sık tercih edilen diğer bir çeşittir. Son yıllarda ortaya çıkan İHA lidar ise henüz çok gelişime açık bir türdür. Şuanda geliştirilme ve denenme aşamasında olan İHA Lidar kimliğinde bulundurduğu avantajları ile bu alana yatırım yapanları kendisine çekmektedir. Çok yoğun orman alanlarının haritalanması, orman biyokütle hesaplanması, orman kadastro ve orman sınırlarının bulunmasında yoğunlaşmış olsa da gelecekte haritacılığın hemen her alanında etkin bir şekilde kullanılacağı görülmektedir.



Şekil 2. Lidar Çeşitleri

SONUÇLAR

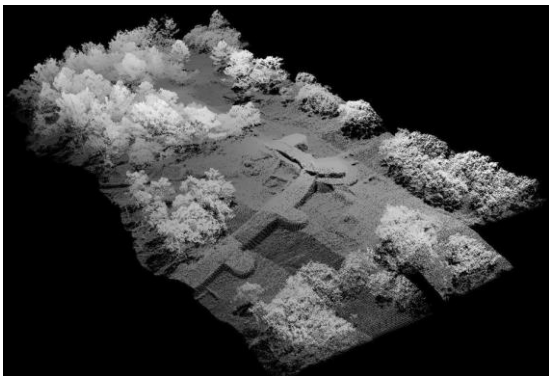
İnsansız Hava Araçları Lidar entegrasyonuna sahip ve bu konuda çalışmalar içerisinde olan bir takım firmalar çalışmalarını ve sonuçlarını

paylaşmışlardır. Bu firmaların cihazları ve bu cihazlarla yapılmış çalışmalar internet aramaları sonucunda bulunarak incelenmiş ve derlenmiştir. Ayrıca bu firmaların beyan ettikleri belirli özellikler de incelenmiştir. YellowScan firmasının ürettiği YellowScan Surveyor İHA Lidar ile piyasaya atılmıştır. Haritacılar tarafından haritacılar için üretildiği vurgusunu yapan firma Surveyor modeli için hassasiyeti 4cm ve mutlak doğruluğu 5cm olarak belirtmiştir. Batarya dahil 1.6 kg ağırlığa sahip olan cihazın uçuş süresi yaklaşık 2 saattir. Bu firmanın yaptığı bir çalışmada Belçika ile Lüksemburg arasındaki Ardenes ormanlık alanının arkeolojik kazılarında cihaz denenmiştir. (URL 1)

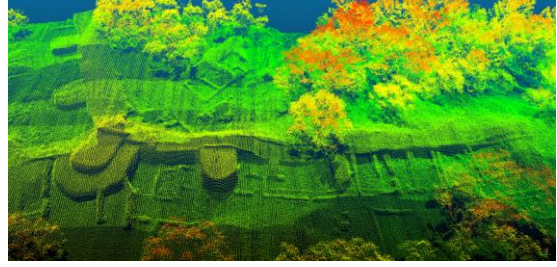


Resim 1. Ardenes Ormanı Arkeolojik Kazı Alanı

İkinci dünya savaşı sırasında önemli bir konuma sahip olan bu ormanlık alan hem arkeolojik birimler barındırmasından dolayı hem de ormanlık bir yamaç olmasından dolayı araştırmaya uygun bir alan olarak öngörülmüştür.



Resim 2. Pankromatik Nokta Bulutu



Resim 3. RGB Nokta Bulutu

Bu uçuş sonrası yazılımlar vasıtasıyla bitki örtüsü çıkarımı, sayısal yüzey modeli ve arazi modeli çıkarımı, arkeolojik kalıntı çıkarımı gibi çalışmaların başarıyla yapılabildiği anılmıştır.

Bir başka İHA Lidar ise Riegl firmasının RiCopter isimli ürünüdür. Farklı amaçlar için farklı özellikler barındıran RiCopter 150 m ile 750 m aralığında çeşitli uçuş yüksekliklerinde 5 mm ile 25 mm mutlak doğruluk aralığında veriler üretebilmektedir. Boyutları ve ağırlıkları genellikle aynı olan modeller atım sayısı ve tarama açısı olarak farklılıklar göstermektedirler. (URL 2)

Riegl RiCopter ürünüyle yaptığı orman envanteri çalışmasında bitki örtüsü, toprak kayması miktarı, zemin durumu gibi farklı özellikler katmanlar halinde çıkarımı yapılmış ve başarılı sonuçlar vermiştir. (p.amon 2015)

Riegl ve YellowScan gibi birçok İHA Lidar firması bu alanda önemli çalışmalara imza atmışlardır. Bu firmalar ve ürünlerinin detaylı özellikleri liste 1.'de gösterilmiştir. Gösterilen değerler firmaların kendi beyanlarına dayanmaktadır.

Riegl Ricopter	doğruluk	uzaklık	atım sayısı	açı	boyut	ağırlık
VUX-1	10mm	305m	500.000	330°	227x180x125 mm	3,6 kg
VUX-1 HA	5mm	150m	1.000.000	355°	227x180x125 mm	3,5 kg
VUX-1 LR	15mm	530m	750.000	330°	227x180x125 mm	3,5 kg
VUX-SYS	10mm	305m	350.000	230°	227x180x125 mm	3,6 kg
VQ-480-U	25mm	750m	275.000	60°	350x190x190 mm	7,5 kg
YellowScan	doğruluk	uzaklık	atım sayısı	açı	boyut	ağırlık
YellowScan Surveyor	4cm	100m	300.000	270°	100 x 150 x 140mm	1,6 kg
YellowScan Mapper	10cm	150m	40.000	270°	172 x 206 x 147mm	2,1 kg
UAV LidarPod	doğruluk	uzaklık	atım sayısı	açı	boyut	ağırlık
UAV LidarPod	10mm	kullanılan uav'ye bağlı	700.000	bilgi eksik	bilgi eksik	2.5kg
XACTENSE	doğruluk	uzaklık	atım sayısı	açı	boyut	ağırlık
MAX-8 Utility UAV v1.2	2 cm	120m	1.300.000	30°	203mm x 284mm	15 kg
Phoenix Lidar System	doğruluk	uzaklık	atım sayısı	açı	boyut	ağırlık
Scout Series	55mm	50m	300.000	360°	160 x 116 x 116mm	1.6 kg
Alpha AL3-16	35mm	50m	300.000	360°	150 x 140 x 240mm	2.5 kg
Alpha Series AL3-32	25mm	107m	700.000	360°	290 x 140 x 220mm	3.2 kg
Ranger Series	5mm	1350m	750.000	360°	308 x 180 x 129mm	5.3 kg
LeddarTech	doğruluk	uzaklık	atım sayısı	açı	boyut	ağırlık
Vu8 Lidar Sensor	bilgi eksik	215m	480.000	140°	bilgi eksik	75 gr
Leica Geosystems Lidar Sensors	doğruluk	uzaklık	atım sayısı	açı	boyut	ağırlık
Leica DragonEye Oblique LiDAR Sensor	2.5cm	1600m	m2'ye 16 nokta	20°	560 x 500 x 632mm	37 kg

Şekil 3. İHA Lidar Firmalarının Bazıları ve Teknik Özellikler

TARTIŞMA

İnsansız Hava Araçları günümüzün en sık araştırılan konularındandır. İHA'lar yapabildikleriyle araştırmacıları memnun etseler de yapamadıkları bazı işler de sıkıntı yaratmaktadır. Eksiklikler bir takım teknolojik entegrasyonlarla kapatılmaya çalışılmaktadır. Lidar bunlardan biri olarak görünmektedir. İHA kameralar ile alımı yapılamayan veya alımlarında eksik çıkan alanların İHA Lidar sistemleri ile daha güzel alımının yapılabilmesi bu ortaklığı gelecekte daha sık duyacağımıza işaretler. Ormanlık alanlar, dik yamaçlar, sisli, puslu, bulutlu atmosfer koşulları, terör tehlikesi altındaki bölgeler,

radasyon veya insan sağlığına zararlı madde çıkışı olan bölgeler, orman yangınları, doğal afetler vb. birçok konu da İHA Lidar entegrasyonu ile gelecekte çok daha kolay çok daha doğru bir şekilde çözülebilecektir.

KAYNAKÇA

Akgül, Mustafa, et al. "İnsansız hava araçları ile yüksek hassasiyette sayısal yükseklik modeli üretimi ve ormancılıkta kullanım olanakları." (2016): 104-118.

MOHAMMED, Omar, and Murat YAKAR. "YERSEL FOTOGRAMETRİK YÖNTEM İLE İBADETHANELERİN

- MODELLENMESİ." Selçuk-Teknik Dergisi 15.2 (2016): 85-95.
- Karasaka, Lutfiye, and Ferruh Yıldız. "An Overview of Terrestrial Mobile Mapping Systems: The Example of the Topcon IP-S2." (2013)
- Haser, A. Bahar. "Bu insansız hava aracı'ndan daha önce yapmamış mıydık." *Bilim ve Teknik, Tübitak Yayınları* 44.517 (2010): 32-37
- Amon, Philipp, et al. "UAV-based laser scanning to meet special challenges in lidar surveying
- URL 1.
<http://www.yellowscan.fr/applications/archeology>
- URL 2.
<http://www.riegl.com/products/unmanned-scanning/ricopter/>

Uzay Fotogrametrisi

Erol UYSAL* Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Konya, Türkiye,
euysal@selcuk.edu.tr

Özet

Yeryüzüne ait konumsal bilgiler elde etmede uydu görüntüleri, teknolojik gelişmeler doğrultusunda geçmişe nazaran daha kullanılır ve pratik olmaya başlamıştır. Yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin erişmiş olduğu bu üstün kalite bu verilerin ortofoto görüntüler ve diğer haritacılık ürünleri konusunda iyi bir kaynak olabileceği literatürde iyice yer edinmiştir. Şüphesiz bunun en önemli nedeni elde edilen görüntülerin yer örnekleme aralığının (GSD) küçülmesi yani çözünürlüğün artması ve bu sayede nesnelere daha ayrıntılı olarak elde edilmektedir. GSD' nin yanı sıra görüntülerin radyometrik ve tayfsal çözünürlüklerin kullanılan bantlar aracılığıyla birlikte veri içeriğini etkilemektedir. Böylelikle elde edilecek sonuç ürünlerin istenilen özelliklerde olması ihtiyaca göre üretim sağlanmaktadır. Bu çalışmanın amacı, teknolojinin ilerlemesiyle uzay fotogrametrisinin ve uzaktan algılamanın fotogrametrik ürünler elde etmede ve dünya üzerinde var olan sorunlarda çözüm üretme potansiyelini araştırmak ve uygulanabilirliğini ele almaktır.

Anahtar Kelimeler: Algılayıcılar, Fotogrametri, Metre-altı, Uydu Görüntüleri, Uzay Fotogrametrisi, Uzaktan Algılama, Yüksek Çözünürlük

GİRİŞ

Çizilmiş olan ilk haritalar genellikle yeni keşifler sonucu ya da ilgili bilim adamlarının gerçekleştirdikleri seyahatler sonucu ortaya çıkmıştır. Yapılmış olan keşifler ve seyahatlerin sayesinde çizilen haritalar yardımıyla aynı zamanda yeni uygarlıkların kurulmasına da ön ayak olmuştur.

Osmanlı İmparatorluğu döneminde Lagari Hasan Çelebi'nin gerçekleştirmiş olduğu insanlı roket denemesi uzaktan algılama alanında araç ve gereçlerin yapay olarak kullanılmasının ilk örneğidir. Bundan dolayı ilk olarak insanlı uzay denemesinin biz Türkler tarafından gerçekleştirildiği kabul edilmektedir (Önder, 1999).

Fotoğraf ve uçağın sırasıyla 1839 ve 1903 yıllarında keşfi sayesinde hava fotoğrafı

alımının gerçekleştirilmesi 1910 yılından itibaren sağlanması ile klasik haritacılık sektörü yeni bir boyut kazanmıştır. Kuşkusuz büyük bir dönüm noktası olarak görülen olay Alman Mühendis Alfred Maul' ün 1912 yılında görüntü alım amaçlı geliştirdiği 41 kg' lık ağırlığa sahip, kamera entegre edilmiş ilk uydunun 700 m yüksekliğe fırlatılmasıdır (Önder, 1999).

Uzayda gerçek anlamda uzaktan algılama New Mexico' dan 1946- 1950 yılları arasında fırlatılmış olan V-2 roketlerine entegre edilmiş küçük kameraların (K-12) kullanılması ile başlamıştır. Uydulardan elde edilmiş görüntüler günümüzde; hidroloji, meteoroloji, oşinografi, jeoloji, ormancılık, bitki örtüsü, topoğrafik harita üretimi, DTM (Sayısal Arazi Modeli), DEM (Sayısal Yükseklik Modeli) ve DSM (Sayısal Yüze

Modeli) üretimi, bölgesel planlama, şehir planlama, arazi kullanımı, toprak ve zemin etüdü, hava tahmini, ürün tespiti, çevre kirliliklerinin araştırılması, istihbarat ve savaş vb. alanlarda kullanım alanı bulmuştur (Önder, 1999).

İlerleyen yıllarda meteoroloji, deniz ve okyanus araştırmaları, kutuplar ve buzulların incelenmesi, yeryüzünün araştırılması ve haritacılık çalışmaları için çeşitli ülkeler çok sayıda uzaya uydu göndermiştir. İlk etapta düşük doğruluk ve çözünürlük elde edilmiş olan uydu görüntüleri süreç içerisinde iyileştirilmiş ve önemli aşamalar kaydedilmiştir. Son yıllarda yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin erişmiş olduğu seviye düşünüldüğünde ortofoto görüntülerin haritacılık alanında iyi bir veri kaynağı olabileceği gerçekleştirilen çalışmalarla tespit edilmiştir. Özellikle siyasi sınırlamalar ve dönemin koşullarından dolayı hava fotoğrafı alımın güç ekonomik olarak zor olduğu durumlarda çok iyi bir alternatif olmakta ve etkili bir şekilde kullanılabilir (Li ve diğ., 2000).

Fotogrametri, ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing)' in tanımına göre; "fotografik görüntülerin ve elektromanyetik enerjinin kayıt, ölçme ve yorumlanması sonucu fiziksel cisimler ve bunların çevresine ilişkin bilgileri oluşturan ve bu bilgilerin analizini yapan bir bilim dalıdır." (URL 1).

Fotogrametri, resim çekim yerlerine göre;

- Hava fotogrametrisi
- Yersel fotogrametri
- Uydu fotogrametrisi (Uzay fotogrametrisi)

Olarak üçe ayrılır (Gürbüz, 2006).

Uzaktan algılama, ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing)' in kabul ettiği tanıma göre; "fiziksel nesnelere ve çevre hakkında, nesnelere ve çevreyle teması olmayan algılayıcı sistemlerle elde edilen görüntü ve enerji desenlerinin sayısal gösterimden ölçülerek veya yorumlayarak güvenilir bilgi elde etme sanatı, bilim ve teknolojisidir" (URL 2). Uzaktan algılamanın

temel çalışma prensibi yeryüzündeki nesnelere yansıyan elektromanyetik enerjinin uydu sensörleri aracılığıyla algılanması ve nesnelere elde edilen verilerin analiz edilmesidir. Yeryüzü hakkında hızlı ve doğru bilgiye olan ihtiyacın gün geçtikçe daha da artması hızlı nüfus artışı, giderek kısıtlı hale gelen doğal kaynaklar, çevre kirlilikleri gibi nedenlerden dolayıdır. Bu durum da günümüzde modern teknolojik donanıma sahip, son yıllarda kullanım alanları ve kullanıcı sayısı artmış olan uydu teknolojilerinin kullanımını oldukça cazip hale getirmiştir. Günümüzde yeryüzünün topoğrafyası hakkındaki birçok bilgi, uzaktan algılama teknikleri ile elde edilmektedir. Bu tekniğin temel veri kaynakları uydu görüntüleridir. Bu teknolojik gelişmeler sayesinde oldukça geniş alanların görüntüleri elde edilebilmekte istenilen sonuç ürüne bu görüntüler aracılığıyla ulaşılabilmektedir. Bu sayede daha ekonomik ve güncel veriye erişilebilmektedir.

Hiç şüphesiz teknolojinin gelişmesiyle stereo uydu görüntülerini elde etmek amacıyla uzaya uydu gönderen ve bunları web adresleri üzerinden pazarlayan, veri paylaşımından bulunan ticari kuruluşların başında Space Imaging, DigitalGlobe, GeoEye gibi firmalar gelmektedir. Bu firmalardan DigitalGlobe ve GeoEye 1, Ocak 2013 yılında birleşmiş ve DigitalGlobe adı altında hizmete devam etmektedir. Anılan ticari kuruluşların yanı sıra NASA/ABD, CNES/ Fransa, DLR / Almanya, ESA / Avrupa gibi ülkelerin uzaya yönelik araştırma faaliyetlerini yürüten kuruluşlar da bulunmaktadır.

Ülkemizde yapılan uzay çalışmalarıyla ilgili kısa bir bilgi verecek olursak, ilki 1994 yılında gönderilmiş olan TÜRKSAT 1B ve devamı olan 1C, 2A, 3A ve 4A uydularının tedarik edilmesi ile başlamıştır. TÜBİTAK UZAY' ın, İngiltere' nin SSTL (Surrey Satellite Technology Limited) BİLSAT ve akabinde Türk Mühendislerce tasarlanıp geliştirilen, 2011 yılında uzaya fırlattığı RASAT elektro- optik gözlem uyduları bulunmaktadır. TUSAŞ ve Thales Alenia Space' in birlikte özgün olarak geliştirip ürettiği, 2016 yılında TSK' nın hizmetine sunduğu yüksek çözünürlüklü, 0.50 m

çözünürlüğe kadar görüş yeteneğine sahip GÖKTÜRK-1 uydusu Türkiye' nin uydu çalışmaları açısından önemli bir mihenk taşı olmuştur (URL 3).

Bu bağlamda seminer çalışmamızın hedefi metre altı çözünürlüğe sahip yüksek çözünürlüklü uyduların fotogrametri açısından dünya literatüründe var olan bilgilerin teorik olarak ele alınmasıdır. Çalışmanın giriş bölümünde fotogrametrinin fotoğrafın icadı ile başlayan tarihsel süreci süregelen teknolojik gelişmeler ile uzaktan algılama ve uzay (uydu) fotogrametrisi açısından anlatılmıştır. Daha sonraki bölümlerde uydu görüntüleri ve incelenmiş olan metre altı çözünürlüğe sahip uydular anlatılmıştır.

UYDU GÖRÜNTÜLERİ

Genel

Uydu görüntüleri piksellerden oluşur. Uydu görüntüleri, algılayıcılar sayesinde sayısal (dijital) olarak elde edilir. Bu algılayıcıların (sensörler) çalışma prensibi dijital kameraların çalışma prensibi ile hemen hemen aynıdır. Sayısal kameralarda olduğu gibi bir uydu algılayıcısı da filme sahip değildir. Filmler yerine algılayıcı yeryüzünden veya uzaydaki objelerden yansıyan elektromanyetik enerjinin miktarını ölçen binlerce küçük alıcılardan oluşmuştur. Bunlar bantsal (spektral) ölçümler olarak isimlendirilir. Her bir spektral yansıma değerinin sayısal bir numara karşılığı vardır. Bu sayılar bilgisayarlar tarafından renkler ve gri renk tonlamasındaki parlaklık değerlerine göre fotoğrafa benzeyecek şekilde görüntüye dönüştürülür (URL 3).

Neden Uydu Görüntüleri Kullanılmalı

Hava fotoğrafı, halihazır haritalar gibi veri kaynaklarının yanında uydu görüntüleri daha ucuz, daha güncel, daha hızlı ve daha pratiktir. Uydu görüntülerinin diğer avantajları ise şunlardır;

- Sayısal
- Hızlı
- Ucuzdur

- Evrenseldir
- Güncel dir
- Ayrıntılıdır

2.3. Uydu Görüntülerine Ait Bazı Tanımlar

Pankromatik Görüntü (Panchromatic Image): Bu görüntüler, elektromanyetik spektrumun geniş bir bölümüne ait yansıyan enerjinin algılanması ile elde edilmektedir. Pankromatik algılayıcılarının bant aralığı görünür bölüm ile yakın kızılötesini kapsamaktadır ve bu veriler siyah-beyaz olarak sunulmaktadır.

Çok Bantlı Görüntü (Multispektral Image): Elektromanyetik spektrumun birden çok bantlarında toplanan yansıma değerlerinden oluşan görüntülerdir. İki ayrı algılayıcı, aynı dalga boyunun değişik parçalarına ait enerjiyi ölçebilmektedir. Bu şekilde toplanan birden fazla yansıma değeri renkli görüntü elde etmek için birleştirilmektedir. Halen kullanılmakta olan çok bantlı algılayıcılar, bir seferde üç ile yedi bant arasında yansıma değerini ölçebilme yeteneğine sahiptirler.

Güneş Uyumlu Yörünge (Sun-Synchronous Orbit): Elektro-optik uyduların çoğu, belirli bölgelerin üzerinden günün hep aynı yerel saatinde geçecek şekilde güneşle uyumlu bir yörüngeye oturtulmuştur. Böylece bölgeye ait birden fazla görüntüdeki güneş açısı ve gölge durumunun aynı olması sağlanmaktadır. Birçok uydu yörüngesi, güneş yükseklik açısının düşük olduğu ve gölgelerin arazinin tanınmasını kolaylaştırdığı sabah ile öğle saatleri arasında ekvatoru geçecek şekilde programlanmıştır.

Tarama Genişliği (Swath Width): Uydu algılayıcıları da hava kameraları gibi görüş açısına sahiptirler. Tarama genişliği kavramı görüş açısının yeryüzündeki enlemesine uzunluğunu ifade etmektedir. Yüksek çözünürlüğe sahip görüntülerin tarama genişliği genelde daha küçüktür.

Stereo Görüntüleme: Ayarlanabilir görüş geometrisine sahip uydular uçaklarda bulunan mekanizmadaki gibi bindirmeli görüntü çiftleri elde etmek suretiyle stereo görüntü kaydetme yeteneğine sahiptirler.

Tekrarlama Süresi (Revisit Cycle): Bir uydu, daha önce belirlenmiş yörüngesinde hareket ederken belirli bir süre sonra yeryüzündeki aynı nokta üzerinden tekrar geçer. Aynı nokta üzerinden iki geçiş arasındaki zaman (gün olarak) “tekrarlama süresi” olarak adlandırılır. Ayarlanabilir görüntü açısına sahip algılayıcılar (sensörler), bağlı olduğu uydunun tekrarlama süresinden daha hızlı görüntüleyebilme olanağına sahiptirler. Bu yetenek ile hızlı değişen ve sıklıkla görüntülenmesi gereken sel, yangın gibi doğal afetlerde oldukça önemli ve gereklidir.

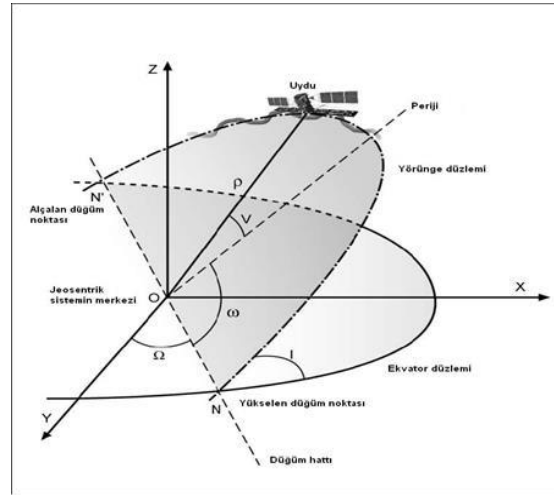
Görüş Geometrisi (Viewing Geometry): Elektro-optik ve SAR algılayıcıları sabit veya ayarlanabilir görüş geometrisine sahiptirler. Eğer algılayıcı sabit görüş açısına sahipse ya da belirli bir görüntüleme açısında (off-nadir angle) çalışıyorsa, algılayıcı direkt olarak aşağıya bakar ve bunun sonucunda uydunun iz düşümündeki (ground track) bölgeyi görüntüleyebilir. Ayarlanabilir algılayıcı ile bir kenardan diğerine veya ileri geri, izdüşümünün üzerinde veya dışarısında görüntüleme yapılabilir. Bundan dolayı ayarlanabilir görüş geometrisi oldukça önemlidir. Çünkü uydunun tekrar aynı alanı görüntüleme ve stereo görüntüleme yapabileceği özelliğini etkilemektedir (URL 4).

Alçalan ve Yükselen Yörüngeler (Descending and Ascending Orbits): Elektro-optik sistemler gibi pasif algılayıcı taşıyan uyduların yörüngeleri yeryüzünün güneş alan tarafında alçalıp, karanlık tarafında yükselecek şekilde programlanmıştır. Buna karşın gün ışığına gereksinim duymayan SAR (Synthetic Aperture Radar – Yapay Açıklıklı Radar) algılayıcısı yörüngenin her bölümünde görüntü alabilmektedir. Şekil 2.1’ de bir elips ile uydu yörüngesi ve onun temsilinin anlatımı görülmektedir. Şekilde;

- XYZ, jeosentrik çerçeve referans sistemini,
- Ω , yükselen düğüm noktasının (N) boylamını,
- $(\omega + v)$ uydu argümanını

- ρ , dünya merkezinden (O) uyduya olan uzaklığını göstermektedir (Yılmaz, 2005).

Kutupsal Yörünge (Polar Orbit): Bütün sivil amaçlı uzaktan algılama uyduları kutupların yakınından geçen yörüngede kuzeydoğu-güneybatı yönünde hareket etmektedirler. Uydular, önceden belirlenmiş yörüngede sabit hız ve yükseklerde seyrederek. Bu nedenle uyduyu yerden kontrol eden birim tarafından, istedikleri zamanda hız değişiklikleri yapılması veya yörüngenin başka bir bölgeye kaydırılması mümkün değildir.



Şekil 1. Bir elips ile uydu yörüngesi ve onun temsilinin anlatımı (Yılmaz, 2005).

Mekansal Çözünürlük (Spatial Resolution): Sensörün, en küçük hedefi ayırtma kabiliyetinin ölçüsünü veya her bir pikselin temsil ettiği yeryüzündeki bir sahayı ifade eden terimdir. Görüntü seçimi yaparken dikkat edilmesi gereken en önemli özelliktir. Haritalanması planlanan alanın boyutları saptanabilmeli, tanımlanabilme ve doğru bir şekilde koordinatlandırılabilmesi için yeterli çözünürlüklü görüntü seçilmelidir.

Tayfsal Çözünürlük (Spektral Resolution): Elektromanyetik tayf üzerine kaydedilen verinin bant aralığına veya mesafesine karşılık gelir. Banda kaydedilen enerjinin dalga uzunluklarının arası geniş ise tayfsal çözünürlük düşük, dar ise tayfsal çözünürlük yüksektir demektir.

Worldview-3 uydusuna ait görüntü örneği Şekil 8' de gösterilmiştir.

Worldview-4

Worldview-4 uydusunun tasarım ve teknik özellikleri Tablo 7' de anlatılmıştır.

Worldview-4 uydusuna ait görüntü örneği Şekil 9' de gösterilmiştir.

Uyduların Önemli Özelliklerinin Karşılaştırılması

Araştırılan uyduların yükseklik, gsd (pan ve ms), tarama genişliği, toplama kapasitesi, ortalama tekrarlama süresi, tayfsal bantlar ve doğruluk gibi önemli özelliklerinin karşılaştırılması Tablo 8' de gösterilmiştir.

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Sonuçlar

Sunumda metre-altı çözünürlüğe sahip yüksek ve çok yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri elde etme imkanı sağlayan yedi adet uydu (IKONOS, QUICKBIRD, GEOEYE-1, WORLDVIEW-1, WORLDVIEW-2, WORLDVIEW-3 ve WORLDVIEW-4) dünya literatüründe var olan veriler yardımıyla araştırılıp incelenmiştir. Bu uydular, donanımları, faydaları, tasarım ve teknik özellikler kapsamında ele alınarak seminer çalışmasında anlatılmıştır. Uydu görüntülerinin seçiminde istenilen ürünün ihtiyaç, hassasiyet, doğruluk ve kullanılabilirlik alanları kapsamında araştırılıp yapılmasına dikkat edilmelidir. En güncel ve en yüksek çözünürlüğe sahip olan Worldview-4 uydusunun özellikleri ise Worldview-3 uydusu ile oldukça benzerlik göstermektedir.

Öneriler

Ülkemizin uzaysal araştırmalar ile ilgili ajansı olan TUSAŞ' ın üzerine bu konuyla ilgili büyük görev düşmektedir. Gelişmiş ülkelerde olduğu gibi, bu uzay ajansı ile Türkiye'nin uzaydan daha fazla istifade etmesi sağlanacaktır. Ülke olarak kendi uydularımızı fırlatacağımız bir uydu fırlatma merkezinin de kurulmasına yönelik AR-GE çalışmaları yapılmalı ve buna yönelik faaliyetler başlatılmalıdır.

Küresel ölçekte var olan uzay çalışmaları rekabeti içerisinde Türkiye olarak var olmamız önem arz etmektedir. Bu sayede mühendislik çalışmaları, özellikle de Harita Mühendisliği fotogrametri ve uzaktan algılama ana bilim dallarında harita üretim faaliyetlerinde pratiklik kazandırılmalıdır.

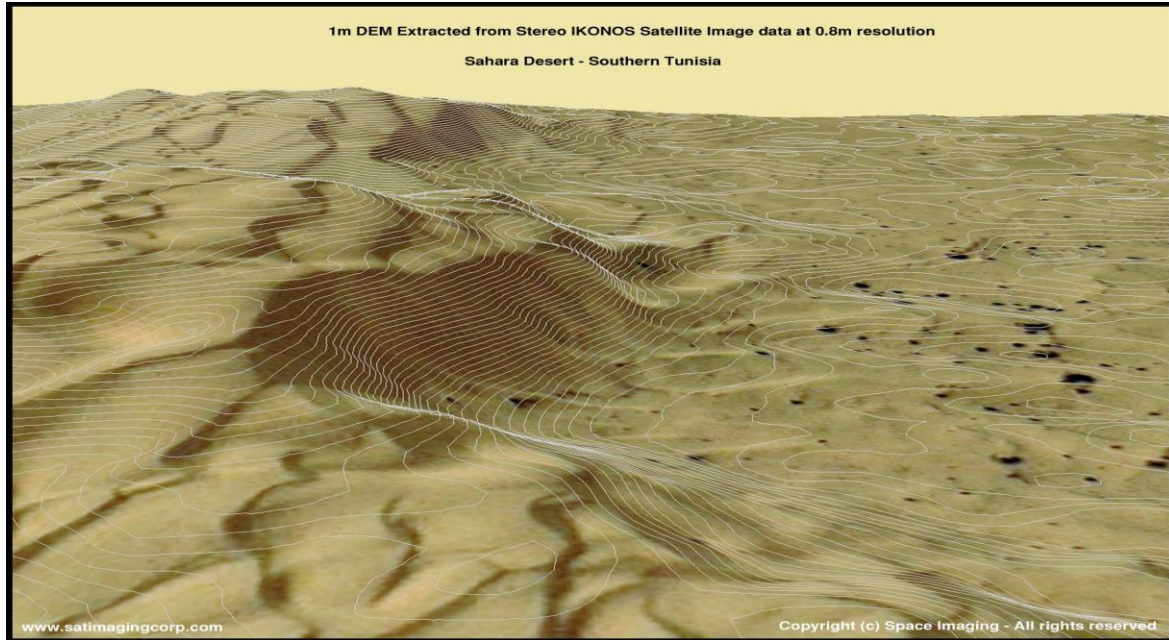
KAYNAKLAR

- Atak, V.O., 2007, Yüksek Çözünürlüklü Uydu Görüntülerinin Geometrik Doğruluk ve Detay Değerlendirme Yönünden İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bilgi, S., 2006, Fotogrametri ve Uzaktan Algılamada Veri Elde Etme Yöntemlerinin Gelişimi ve Kısa Tarihçeleri, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yöneyimi Dergisi 2007/1, Sayı 96.
- Gürbüz, H., 2006, Genel Fotogrametri 1, Birlik Matbaacılık, Ankara, 11, 213.
- Li, R., Zhou, G., Yang, S., Tuell, G., Schmidt, N. J., Fowler, C., 2000, A Study of the Potential Attainable Geometric Accuracy of Ikonos Satellite Imagery, *IXX. Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (ISPRS) Kongresi, Komisyon IV, Çalışma Grubu IV/6, 16-23 Temmuz 2000, Amsterdam-Hollanda.*
- Önder, M., 1998, Uzaktan Algılama Ders Notları, Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Ankara.
- Önder, M., 1998, Uydu Görüntülerinden - Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemine Temel Oluşturacak Nitelikte - Topoğrafik Harita Üretimine Veya Güncelleştirmesine Yönelik Analiz ve Öneriler, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Önder, M., 1999, Uzaktan Algılama Ders Kitabı, Kara Harp Okulu Basımevi, Ankara.
- Önder, M., 2002, Geçmişten Günümüze Resimlerle Türk Haritacılık Tarihi, Harita Genel Komutanlığı Matbaası, Ankara.
- Özbalmumcu, M., 2003, Uydu Görüntülerinin Temin Edilmesi ve Kullanılmasına Yönelik Temel Esaslar, Silahlı Kuvvetler Dergisi, Genel Kurmay Basımevi, Ankara, 375, 29-50.
- Yılmaz, A., 2002, Farklı Kaynaklardan Üretilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Doğruluk Araştırması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız

- Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- (URL 1) <https://www.isprs.org/documents/default.aspx> [Ziyaret Tarihi: 10 Ocak 2017].
- (URL 2) <https://www.asprs.org/about> [Ziyaret Tarihi: 12 Ocak 2017].
- (URL 3) <https://www.uzay.tubitak.gov.tr/projeler> [Ziyaret Tarihi: 12 Ocak 2017].
- (URL 4) https://www.nik.com.tr/content/sistem_uydu_goruntuleri_rehber_kitap_cigi.asp [Ziyaret Tarihi: 12 Ocak 2017].
- (URL 5) <https://www.euspaceimaging.com/satellites> [Ziyaret Tarihi: 27 Aralık 2017].
- (URL 6) <https://www.digitalglobe.com/resources/satellite-information> [Ziyaret Tarihi: 15 Aralık 2016].
- (URL 7) <https://www.digitalglobe.com/resources/satellite-information/IKONOS.pdf> [Ziyaret Tarihi: 15 Aralık 2016].
- (URL 8) <https://www.digitalglobe.com/resources/satellite-information/QUICKBIRD.pdf> [Ziyaret Tarihi: 15 Aralık 2016].
- (URL 9) <https://www.digitalglobe.com/resources/satellite-information/GEOEYE-1.pdf> [Ziyaret Tarihi: 15 Aralık 2016].
- (URL 10) <https://www.digitalglobe.com/resources/satellite-information/WORLDDVIEW-1.pdf> [Ziyaret Tarihi: 15 Aralık 2016].
- (URL 11) <https://www.digitalglobe.com/resources/satellite-information/WORLDDVIEW-2.pdf> [Ziyaret Tarihi: 15 Aralık 2016].
- (URL 12) <https://www.digitalglobe.com/resources/satellite-information/WORLDDVIEW-3.pdf> [Ziyaret Tarihi: 15 Aralık 2016].
- (URL 13) <https://www.digitalglobe.com/resources/satellite-information/WORLDDVIEW-4.pdf> [Ziyaret Tarihi: 15 Aralık 2016].
- (URL 14) <https://www.satimagingcorp.com/gallery/ikonos> [Ziyaret Tarihi: 18 Ocak 2017].
- (URL 15) <https://www.satimagingcorp.com/gallery/quickbird> [Ziyaret Tarihi: 18 Ocak 2017].
- (URL 16) <https://www.satimagingcorp.com/gallery/geoeye-1> [Ziyaret Tarihi: 18 Ocak 2017].
- (URL 17) <https://www.satimagingcorp.com/gallery/worldview-1> [Ziyaret Tarihi: 18 Ocak 2017].
- (URL 18) <https://www.satimagingcorp.com/gallery/worldview-2> [Ziyaret Tarihi: 18 Ocak 2017].
- (URL19) <https://www.satimagingcorp.com/gallery/worldview-3> [Ziyaret Tarihi: 18 Ocak 2017].
- URL 20) <https://www.satimagingcorp.com/gallery/worldview-4> [Ziyaret Tarihi: 18 Ocak 2017].
- URL 21) <https://www.digitalglobe.com/products/stereo-imagery> [Ziyaret Tarihi: 20 Ocak 2017].
-

TASARIM VE TEKNİK ÖZELLİKLERİ	
Fırlatılma Bilgileri	Tarih: 24 Eylül 1999 Yörünge Yerleştirme Aracı: Athena II Fırlatma Yeri: Vandenberg Hava Üssü, California
Yörünge	Açı: 98.1° Yükseklik: 681 km Tür: Güneş Uyumlu, alçalan düğüm noktasından, 10:30 Dönüş Süresi: 200 km / 11 saniye
Görev Süresi	12+ yıl (31.03.2015'de görev süresi tamamlanmıştır)
Uzay Aracı Boyutu	Boyut: 1.83x1.57 m (altıgen yapılandırma) Ağırlık: 725 kg
Mekansal ve Tayfsal Çözünürlük	Pankromatik: 0.82 m GSD Çok bantlı: 3.2 m Pankromatik: 450 – 900 nm Çok bantlı: Mavi: 445 – 516 nm, Yeşil: 506 – 595 nm, Kırmızı: 632 – 698 nm Yakın Kızılötesi: 757 – 853 nm
Konumsal (Metrik) Doğruluk	15 m CE90 (Şartname) 9 m CE90 (Ölçülen)
Tarama Genişliği	11.3 km
Dinamik Aralık	Piksel başına 11-bit
Dış Nadir Görüntüleme	60°'ye kadar
Tekrarlama Süresi (40° Enleminde)	Yaklaşık 3 gün
Toplama Kapasitesi	Günlük 240 000 km ² (pankromatik + çok bantlı)
Geniş Alan Toplama	112 km x 51 km
Stereo Alan Toplama	120 km x 11 km
Uygulama Alanları	Doğal kaynakların ve afetlerin hem kentsel hem kırsal olmak üzere haritalanması, vergi haritalama, savunma ve istihbarat, tarım ve ormancılık analizi, madencilik, mühendislik, inşaat ve değişiklik algılama, kıyı izleme,
Elde Edilen Ürünler	DEM, DTM, DSM Temel(Ham)Görüntü, Orto-Hazır Görüntü Ortorektifiye edilmiş Görüntü Geo, GeoStereo, GeoTIFF

Tablo 1. Ikonos uydusunun tasarım ve teknik özellikleri



Şekil 3. Ikonos uydu görüntüsü örneği (URL 14)

TASARIM VE TEKNİK ÖZELLİKLERİ		
Fırlatılma Bilgileri	Tarih: 18 Ekim 2001 Yörünge Yerleştirme Aracı: Delta II Fırlatma Yeri: Vandenberg Hava Üssü, California	
Yörünge	450 km yükseklikte	300 km yükseklikte
	Açı: 97.2° Tür: Güneş uyumlu, alçalan düğüm noktasından 10:00, Periyot: 93.6 dk	Açı: 97.2° Tür: Güneş uyumlu, alçalan düğüm noktasından 10:00, Periyot: 90.4 dk
Görev Süresi	14 yıl (27.01.2015'de görev süresi tamamlanmıştır)	
Uzay Aracı Boyutu	Uzunluk: 3.04 m, Ağırlık: 1089,6 kg	
Mekansal ve Tayfsal Çözünürlük	450 km yükseklikte	300 km yükseklikte
	Pankromatik: 0.61 m GSD	Pankromatik: 0.41 m GSD
	Çok bantlı: 2.44 m GSD	Çok bantlı: 1.63 m GSD
	Pankromatik: 405- 1053 nm Mavi:430 – 545 nm, Yeşil: 466 - 620 nm, Kırmızı: 590 – 710 nm Yakın Kızılötesi: 715 - 918 nm	
Konumsal (Metrik) Doğruluk	23 m CE90 (yatay), 17 m LE90 (düşey) [Yer Kontrol Noktasız]	
Tarama Genişliği	16.8 km	11.2 km
Dinamik Aralık	Piksel başına 11-bit	
Konum Belirleme ve Kontrol	Tür: 3 eksenli stabilize Algılayıcılar: Yıldız izleyici/ IRU/ Reaksiyon çarkı/ GPS	
Tekrarlama Süresi (40° Enleminde)	1 m veya daha az GSD 2.4 gün 20° dış nadir veya daha az açıda 5.9 gün	1 m veya daha az GSD 2.1 gün 20° dış nadir veya daha az açıda 8.7 gün
Toplama Kapasitesi	Günlük 200 000 km ²	Günlük 100 000 km ²
Yeniden Hedefleme Kabiliyeti	200 km / 38 saniye	200 km / 44 saniye
Uydu Üzerinde Depolama	128 GB	
İletişim	Veri Taşıma Kapasitesi: 320Mbps X-bant Kayıt Tutma: X-bant 4, 16 ve 256 kbps, 2 Kbps S-bant	
Uygulama Alanları	Arazi yönetimi, tarımsal ve orman değişikliklerinin izlenip analiz edilmesinde, petrol ve gaz araştırmalarında ve üretiminde, mühendislik ve inşaat (3d şehir ve kent modelleme, kentsel gelişim ve kalkınma, kadastro ve arazi kayıtları vb.), tarihi yerlerin görüntülenmesi, savunma ve istihbarat	
Elde Edilen Ürünler	DEM, DTM, DSM Temel(Ham)Görüntü, Orto-Hazır Görüntü Ortorektifiye edilmiş Görüntü Geo, GeoStereo, GeoTIFF	

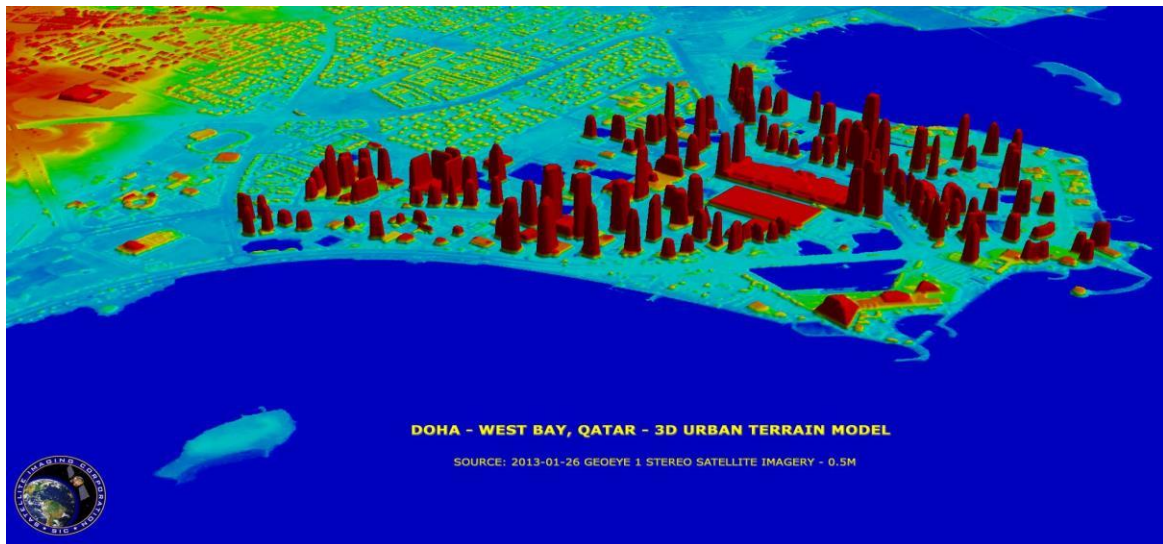
Tablo 2. Quickbird uydusunun tasarım ve teknik özellikleri (URL 8)



Şekil 4. Quickbird uydu görüntüsü örneği (doğal felaketler) (URL 15)

TASARIM VE TEKNİK ÖZELLİKLERİ	
Fırlatılma Bilgileri	Tarih: 6 Eylül 2008 Yörünge Yerleştirme Aracı: Delta II Fırlatma Yeri: Vandenberg Hava Üssü, California
Yörünge	Açı: 98° , Yükseklik: 681 km Tür: Güneş uyumlu, alçalan düğüm noktasından 10:30, Periyot: 98 dakika
Görev Süresi	10+ yıl
Uzay Aracı Boyutu	Uzunluk: 4.34 m, Ağırlık: 1898 kg
Mekansal ve Tayfsal Çözünürlük	Pankromatik: 0. 41 m GSD Çok bantlı: 1.65 m GSD Pankromatik: 450 - 800 nm Çok bantlı: Mavi: 450 - 510 nm, Yeşil: 510 - 580 nm, Kırmızı: 655 – 690 nm Yakın Kızılötesi: 780 - 920 nm
Konumsal (Metrik) Doğruluk	5 m CE90 (Şartname) 3 m CE90 (Ölçülen)
Tarama Genişliği	15.3 km
Dinamik Aralık	Piksel başına 11-bit
Konum Belirleme ve Kontrol	Tür: 3 eksenli stabilize Algılayıcılar: Yıldız izleyici /IRU /Reaksiyon çarkı /GPS
Tekrarlama Süresi (40° Enleminde)	30°° lik dış nadir açısında 2.6 gün
Toplama Kapasitesi	Günlük 350 000 km ²
Yeniden Hedefleme Kabiliyeti	200 km / 20 saniye
Uydu Üzerinde Depolama	1 TB
İletişim	Veri Taşıma Kapasitesi: X-bant 740/150 Mbps, AES/ DES türünde şifreleme Kayıt Tutma: X-bant 64 kbps, AES türünde şifreleme
Uygulama Alanları	Tarım ve ziraat, arkeoloji, kadastral ve arazi uygulamaları, güncel ve dünya olayları, Askeri ve istihbarat, mühendislik ve inşaat, çevresel uygulamalar, doğal afetler, oyun tasarımı, madencilik
Elde Edilen Ürünler	DEM, DTM, DSM Temel(Ham)Görüntü, Orto-Hazır Görüntü Ortorektifiye edilmiş Görüntü Geo, GeoStereo, GeoTIFF

Tablo 3. Geo-Eye1 uydusunun tasarım ve teknik özellikleri (URL 9)



Şekil 5. GeoEye-1 uydu görüntüsü örneği (yüzey modeli) (URL 16)

TASARIM VE TEKNİK ÖZELLİKLERİ	
Fırlatılma Bilgileri	Tarih: 18 Eylül 2007 Yörünge Yerleştirme Aracı: Delta 7920 (9 kayış) Fırlatma Yeri: Vandenberg Hava Üssü, California
Yörünge	Yükseklik: 496 km Tür: Güneş uyumlu, alçalan düğüm noktasından 10:30, Periyot: 95 dakika
Görev Süresi	10 – 12 yıl
Uzay Aracı Boyutu	Boyut 3.6 x 2.5 m , Ağırlık: 2290 kg, 7.1 m boyutlarında güneş paneli uzunluğu, 3.2 kW güneş enerjisi, 100 Ahr batarya
Mekansal ve Tayfsal Çözünürlük	Pankromatik: 0. 50 m GSD 20°' lik dış nadir açısında 0.55 m GSD Pankromatik: 400 - 900 nm
Konumsal (Metrik) Doğruluk	4 m' den küçük CE90 (Yer Kontrol Noktasız)
Tarama Genişliği	17.7 km
Dinamik Aralık	Piksel başına 11-bit
Konum Belirleme ve Kontrol	Tür: 3 eksenli stabilize Aktüatör: CMG Algılayıcılar: Yıldız izleyici/ Yarı iletken IRU /GPS
Noktalama Doğruluğu ve Bilgi	Doğruluk: Görüntü başlama ve bitişlerinde <500 m Bilgi: Coğrafi konum doğruluğunu destekler.
Tekrarlama Süresi (40° Enleminde)	1 m GSD' de ya da daha az çözünürlükte 1.7 gün 20°' lik dış nadir açısında 5.4 gün
Toplama Kapasitesi	Günlük 1.3 milyon km ²
Tek Geçişte Sürekli Toplanabilecek En Fazla Alan	Mono: 111 x 112 km (6 kolon) Stereo: 51 x 112 km (3 çift)
Yeniden Hedefleme Kabiliyeti	200 km / 10 saniye
Uydu Üzerinde Depolama	2199 GB' lık yarı iletken disk
İletişim	Görüntü ve Yardımcı Veri: X-bant 800 Mbps, Kayıt Tutma: X-bant 4, 16, 32 kbps gerçek zamanlı; 524 kbps depolanmış Uzaktan Kumanda: 2 ya da 64 kbps S-bant
Uygulama Alanları	İletişim, Altyapı planlama haritaları ve ölçümü, mühendislik ve inşaat, koridor haritalama, madencilik ve arama, petrol ve gaz, güncel ve dünya olayları
Elde Edilen Ürünler	DEM, DTM, DSM Temel(Ham)Görüntü, Orto-Hazır Görüntü Ortorektifiye edilmiş Görüntü Geo, GeoStereo, GeoTIFF

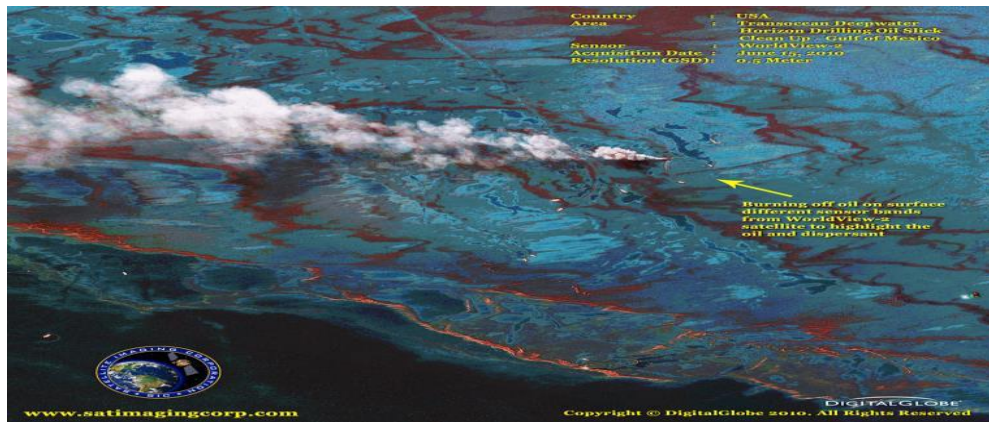
Tablo 4. Worldview-1 uydusunun tasarım ve teknik özellikleri (URL 10)



Şekil 6. Worldview-1 uydusunun ilk uydu görüntüsü (URL 17)

TASARIM VE TEKNİK ÖZELLİKLERİ	
Fırlatılma Bilgileri	Tarih: 8 Ekim 2009 Yörünge Yerleştirme Aracı: Delta 7920 (9 kayış) Fırlatma Yeri: Vandenberg Hava Üssü, California
Yörünge	Yükseklik: 770 km Tür: Güneş uyumlu, alçalan düğüm noktasından 10:30, Periyot: 100 dakika
Görev Süresi	10 – 12 yıl
Uzay Aracı Boyutu	Boyut: 5.7 x 2.5 m, Ağırlık: 2615 kg, 7.1 m boyutlarında güneş paneli uzunluğu, 3.2 kW güneş enerjisi, 100 Ahr batarya
Mekansal ve Tayfsal Çözünürlük	Pankromatik: 0. 46 m, 20° lik dış nadir açısında 0.52 m GSD Çok bantlı: 1.85 m , 20° lik dış nadir açısında 2.07 m GSD Pankromatik: 400 - 900 nm Kıyı: 400 – 450 nm Kırmızı: 630 – 690 nm Mavi: 450 – 510 nm Kırmızı Kenar: 705 – 745 nm Yeşil: 510 – 580 nm Yakın Kızılötesi 1: 770 – 895 nm Sarı: 585 – 625 nm Yakın Kızılötesi 2: 860 – 1040 nm
Konumsal (Metrik) Doğruluk	3.5 m' den küçük CE90 (Yer Kontrol Noktasız)
Tarama Genişliği	16.4 km
Dinamik Aralık	Piksel başına 11-bit
Konum Belirleme ve Kontrol	Tür: 3 eksenli stabilize Aktüatör: CMG Algılayıcılar: Yıldız izleyici/ Yarı iletken IRU /GPS
Noktalama Doğruluğu ve Bilgi	Doğruluk: Görüntü başlama ve bitişlerinde <500 m Bilgi: Coğrafi konum doğruluğunu destekler.
Tekrarlama Süresi (40° Enleminde)	1 m GSD' de ya da daha az çözünürlükte 1.1 gün 20° lik dış nadir açısında 3.7 gün
Toplama Kapasitesi	Günlük 1 milyon km ²
Tek Geçişte Sürekli Toplanabilecek En Fazla Alan	Mono: 138 x 112 km (8 kolon) Stereo: 63 x 112 km (4 çift)
Yeniden Hedefleme Kabiliyeti	200 km / 10 saniye
Uydu Üzerinde Depolama	2199 GB' lık yarı iletken disk
İletişim	Görüntü ve Yardımcı Veri: X-bant 800 Mbps, Kayıt Tutma: X-bant 4, 16, 32 kbps gerçek zamanlı; 524 kbps depolanmış Uzaktan Kumanda: 2 ya da 64 kbps S-bant
Uygulama Alanları	İletişim, altyapı planlama haritaları ve ölçümü, mühendislik ve inşaat, koridor haritalama, madencilik ve arama, petrol ve gaz, deniz ve kıyı ölçümleri, güncel ve dünya olayları, turizm
Elde Edilen Ürünler	DEM, DTM, DSM Temel(Ham)Görüntü, Orto-Hazır Görüntü Ortorektifiye edilmiş Görüntü Geo, GeoStereo, GeoTIFF

Tablo 5. Worldview-2 uydusunun tasarım ve teknik özellikleri (URL 11)



Şekil 7. Worldview-2 uydu görüntüsü örneği (deniz ve kıyı ölçmeleri) (URL 18)

TASARIM VE TEKNİK ÖZELLİKLERİ	
Fırlatılma Bilgileri	Tarih: 13 Ağustos 2014 Yörünge Yerleştirme Aracı: Atlas V Fırlatma Yeri: Vandenberg Hava Üssü, California
Yörünge	Yükseklik: 617 km Tür: Güneş uyumlu, alçalan düğüm noktasından 10:30, Periyot: 100 dakika
Görev Süresi	10 – 12 yıl
Uzay Aracı Boyutu	Boyut: 5.7 x 2.5 m , Ağırlık: 2800 kg, 7.1 m boyutlarında güneş paneli uzunluğu, 3.1 kW güneş enerjisi, 100 Ahr batarya
Mekansal ve Tayfsal Çözünürlük	Pankromatik: 0.31 m, 20° lik dış nadir açısında 0.34 m GSD Çok bantlı: 1.24 m, 20° lik dış nadir açısında 1.38 m GSD Pankromatik: 400 - 900 nm 8 Çok bantlı: Kıyı: 397 – 454 nm Kırmızı: 626 – 696 nm Mavi: 445 – 517 nm Kırmızı Kenar: 698 – 749 nm Yeşil: 507 – 586 nm Yakın Kızılötesi 1: 765 – 899 nm Sarı: 580 – 629 nm Yakın Kızılötesi 2: 857 – 1039 nm 8 Kısa dalga boylu kızılötesi: SWIR-1: 1184 – 1235 nm SWIR-5: 2137 – 2191 nm SWIR-2: 1546 – 1598 nm SWIR-6: 2174 – 2232 nm SWIR-3: 1636 – 1686 nm SWIR-7: 2228 – 2292 nm SWIR-4: 1702 – 1759 nm SWIR-8: 2285 – 2373 nm 12 CAVIS: Çöl bulutları: 405 – 420 nm Su-3: 930 – 965 nm Aerosol-1: 459 – 509 nm NDVI – SWIR: 1220 – 1252 nm Yeşil: 525 – 585 nm Saçak: 1365 – 1405 nm Aerosol-2: 635 – 685 nm Kar: 1620 – 1680 nm Su-1: 845 – 885 nm Aerosol-3: 2105 – 2245 nm Su-2: 897 – 927 nm Aerosol-4 : 2105 – 2245 nm
Konumsal (Metrik) Doğruluk	3.5 m' den küçük CE90 (Yer Kontrol Noktasız)
Tarama Genişliği	13.1 km
Dinamik Aralık	Pan ve Çokbantlı: 11-bit(piksel başına) , SWIR: 14-bit
Konum Belirleme ve Kontrol	Tür: 3 eksenli stabilize Aktüatör: CMG Algılayıcılar: Yıldız izleyici / Hassas IRU / GPS
Noktalama Doğruluğu ve Bilgi	Doğruluk: Görüntü başlama ve bitişlerinde <500 m Bilgi: Coğrafi konum doğruluğunu destekler.
Tekrarlama Süresi (40° Enleminde)	1 m GSD' de ya da daha az çözünürlükte 1 günden az 20° lik dış nadir açısında 4.5 gün
Toplama Kapasitesi	Günlük 680 000 km ²
Tek Geçişte Sürekli Toplanabilecek En Fazla Alan	Mono: 66.5 x 112 km (5 kolon) Stereo: 26.6 x 112 km (2 çift)
Yeniden Hedefleme Kabiliyeti	200 km / 12 saniye
Uydu Üzerinde Depolama	2199 GB' lık yarı iletken disk
İletişim	Görüntü ve Yardımcı Veri: X-bant 800 ve 1200 Mbps, Kayıt Tutma: X-bant 4, 16, 32, 64 kbps gerçek zamanlı; 524 kbps depolanmış Uzaktan Kumanda: 2 ya da 64 kbps S-bant'dan
Uygulama Alanları	Haritalama, Arazi sınıflandırma, Afete hazırlık / Tepki, Detay çıkarımı / Değişiklik tespiti, Toprak / Bitki analizi, Jeoloji, petrol ve gaz, madencilik, Çevresel gözetleme, Batimetri / Kıyı uygulamaları, Yapay malzemelerin belirlenmesi, Ormancılık, Havacılık, Yabani hayatı izleme, Ulaşım, Spor ve Turizm
Elde Edilen Ürünler	DEM, DTM, DSM Temel(Ham)Görüntü, Orto-Hazır Görüntü Ortorektifiye edilmiş Görüntü Geo, GeoStereo, GeoTIFF

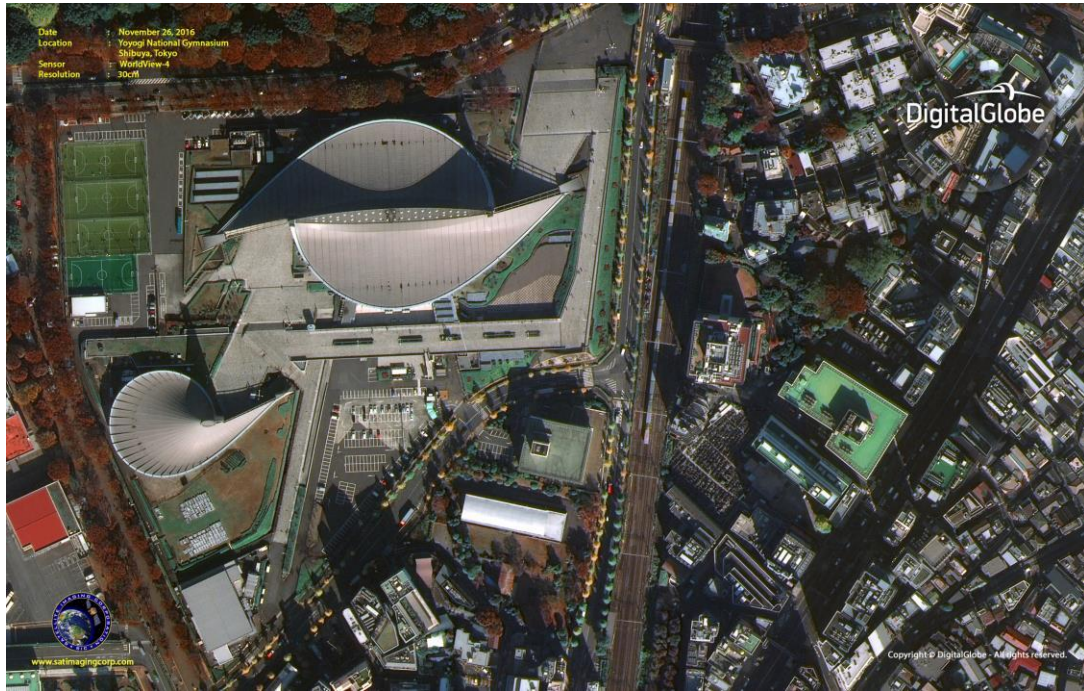
Tablo 6. Worldview-3 uydusunun tasarım ve teknik özellikleri (URL 12)



Şekil 8. Worldview-3 uydu görüntüsü örneği (ormancılık) (URL 19)

TASARIM VE TEKNİK ÖZELLİKLERİ	
Fırlatılma Bilgileri	Tarih: 11 Kasım 2016 Yörünge Yerleştirme Aracı: Atlas V Fırlatma Yeri: Vandenberg Hava Üssü, California
Yörünge	Yükseklik: 617 km Tür: Güneş uyumlu, alçalan düğüm noktasından 10:30, Periyot: 97 dakika
Görev Süresi	10 – 12 yıl
Uzay Aracı Boyutu	Boyut: 5.3 x 2.5 m , Ağırlık: 1898 kg 7.9 m boyutlarında güneş paneli uzunluğu, Çap: 1.1 m
Mekansal ve Tayfsal Çözünürlük	Pankromatik: 0. 31 m GSD Çok bantlı: 1.24 m GSD Pankromatik: 450 - 800 nm Çok bantlı: Mavi:450 - 510 nm, Yeşil: 510-580 nm, Kırmızı: 655–690 nm Yakın Kızılötesi: 780 - 920 nm
Konumsal (Metrik) Doğruluk	3.5 m' den küçük CE90 (Yer Kontrol Noktasız)
Tarama Genişliği	13.1 km
Dinamik Aralık	Piksel başına 11-bit
Konum Belirleme ve Kontrol	Tür: 3 eksenli stabilize Algılayıcılar: Yıldız izleyici / Hassas IRU /GPS
Tekrarlama Süresi(40° Enleminde)	1 m GSD' de 1 günden az
Toplama Kapasitesi	Günlük 680 000 km ²
Tek Geçişte Sürekli Top. En Fazla Alan	Mono: 66.5 x 112 km (5 kolon) Stereo: 26.6 x 112 km (2 çift)
Yeniden Hedefleme Kapiliyeti	200 km / 10.6 saniye
Uydu Üzerinde Depolama	3200 GB yarı iletken disk
İletişim	Görüntü ve Yardımcı Veri: X-bant 800 Mbps, Kayıt Tutma: X-bant 1200 kbps gerçek zamanlı Uzaktan Kumanda: 64 kbps S-bant
Uygulama Alanları	Haritalama, Arazi sınıflandırma, Afete hazırlık / Tepki, Detay çıkarımı / Değişiklik tespiti, Toprak / Bitki analizi, Jeoloji, petrol ve gaz, madencilik, Çevresel gözetleme, Batimetri / Kıyı uygulamaları, Yapay malzemelerin belirlenmesi, Ormancılık, Havacılık, Yabani hayatı izleme, Ulaşım, Turizm
Elde Edilen Ürünler	DEM, DTM, DSM Temel(Ham)Görüntü, Orto-Hazır Görüntü Ortorektifiye edilmiş Görüntü Geo, GeoStereo, GeoTIFF

Tablo 7. Worldview-4 uydusunun tasarım ve teknik özellikleri (URL 13)



Şekil 9. Worldview-4 uydusunun ilk görüntüsü (URL 20)

ÖZELLİKLER							
Uydular	Ikonos	Quickbird	Geoeye-1	Worldview-1	Worldview-2	Worldview-3	Worldview-4
Yükseklik	681 km	450 km	681 km	496 km	770 km	617 km	617 km
Gsd (pan)	0.82 m	0.61 m	0.41 m	0.50 m	0.46 m	0.31 m	0.31 m
Gsd (ms)	3.2 m	2.44 m	1.65 m	-	1.85 m	1.24 m	1.24 m
Tarama Genişliği	11.3 km	16.8 km	15.3 km	17.7 km	16.4 km	13.1 km	13.1 km
Toplama Kapasitesi	240000 km ²	200000 km ²	350000 km ²	1300000 km ²	1000000 km ²	680000 km ²	680000 km ²
Ortalama Tekrarlama Süresi	3 gün	2.4 gün	2.6 gün	1.7 gün	1.1 gün	≤ 1 gün	< 1 gün
Tayfsal Bantlar	PAN + MS	PAN + 4 MS	PAN + 4 MS	PAN	PAN + 8 MS	PAN+8 MS + 8 SWIR+12 CAVIS	PAN + 4 MS
Doğruluk (CE90)	9 m	23 m	3 m	< 4 m	< 3.5 m	< 3.5 m	< 4 m

Tablo 8. Uyduların önemli özelliklerinin karşılaştırılması