

# İHA ve Hava LIDAR Verilerinden Üretilen SAM ile Geoit Modellerinin Değerlendirilmesi Üzerine Bir İnceleme

Ramazan Alper Kuçak<sup>1,\*</sup>, Serdar Erol<sup>2</sup>, Emrah Özögel<sup>3</sup>, Bihter Erol<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul.

## Özet

Farklı teknikler ile elde edilen verilerden değişen doğruluk ve çözünürlükte üretilen Sayısal Arazi Modeli (SAM) verileri yükseklik bilgisi gerektiren birçok uygulamada kullanılmaktadır. GNSS teknikleriyle elde edilen elipsoidal yüksekliklerin bölgesel yükseklik sistemindeki yüksekliklere dönüştürülmesinde yüksek doğruluklu geoit modelleri kullanılmaktadır. Ülkemizde jeodezik çalışmalarda ve çoğu mühendislik uygulamalarında yeterli doğrulukta yükseklik dönüşümünü sağlayacak bölgesel bir geoit modeli mevcut değildir. Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliğinde 5 cm ve altında yükseklik doğruluğu gerektiren uygulamalarda yerel geoit modellerinin kullanılması önerilmekte ve gereksinim duyulan doğrulukta yerel geoit modelinin hesaplanması için kullanılacak dayanak noktalarının sağlanması gereken standartlar belirtilmektedir. Farklı türde veriler ve yöntemler kullanılarak hesaplanan bölgesel ve yerel geoit modellerinin test edilmesinde modelin hesaplanmasından bağımsız kontrol verilerine gereksinim duyulur. Yüksek doğruluklu GNSS/nivelman verileri, astrojeodezik çekül sapmaları, mareograf istasyonu verileri, geoit modellerinin test edilmesi için sıklıkla kullanılan verilerdir.

Bu çalışmanın kapsamında, İzmir Bergama ilçesinde uçaktan LİDAR ve İnsansız Hava Aracından (İHA) fotogrametrik olarak elde edilen nokta bulutu verileri kullanılarak üretilen SAM verileri bölgede mevcut farklı geoit modellerinin doğruluklarının değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Çalışma alanı hafif engebeli bir topoğrafyaya sahiptir. Sayısal Arazi Modeli üretilen bölge, yapılaşma bakımından heterojen karaktere sahiptir. Bu nedenle, havadan LİDAR ve İHA fotogrametrisi ile elde edilen nokta bulutu verilerinin işlenmesinde farklı filtreleme algoritmaları uygulanmıştır. Üretilen Sayısal Arazi Modelleri yardımıyla çalışma alanında oluşturulan yerel geoit modeli, Türkiye Geoidi 2003 (TG03) ve EIGEN6C4 global jeopotansiyel modellerinin test edilmesinde kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, farklı yükseklik sistemlerinde üretilen nokta bulutlarının kullanılması ile santimetre doğrulukta yerel geoit yüzeyinin oluşturulabileceği ve bölgede mevcut diğer geoit modellerinin test edilmesinde kullanılabilmesi ortaya çıkarılmıştır. Çalışmada kullanılan uçaktan hava LİDAR verileri Harita Genel Müdürlüğü tarafından sağlanmıştır.

## Anahtar Sözcükler

SAM, nokta bulutu, İHA, hava LİDAR, ortometrik yükseklik, geoit modeli.

## 1. Giriş

Jeodezik çalışmalarda GNSS tekniği ile konum belirleme yapılırken, elde edilen yatay konum ile beraber türetilen elipsoidal yüksekliklerin, ortometrik yükseklik ile bağıntısının kurulabilmesi için geoit yüksekliğinin biliniyor olması gerekmektedir. Elipsoidal yükseklik ile ortometrik yükseklik arasındaki bağıntının sayısal yöntemlerle elde edilmesine geoit belirleme denilmektedir. Geoit belirleme dünya genelinde bir ihtiyaç olmasına rağmen lokal olarak yapılan çalışmalar ile daha küçük bölgeler için de belirlenebilmektedir. Geoit belirlenmesi için birçok yöntem bulunmasına karşın son yıllarda GNSS tekniğinin kullanımının yaygınlaşması ve doğruluğunun geliştirilmesi ile GNSS/Nivelman yöntemi ile geoit belirleme çalışmaları artmıştır.

GNSS/Nivelman yöntemi ile yerel geoit belirlenmesi çalışması için bölgeye ait yatay ve dikey koordinatları bilinen yeterli sayı ve sıklıkta noktalara gereksinim vardır. Bu gereksinim yeryüzünün gerçeğe en yakın şekilde temsil edilmesi ihtiyacı olarak da ifade edilebilir. Yeryüzünün en iyi şekilde temsil edilebilmesi için son yıllarda nokta bulutu verileri ve bu veriler ile elde edilen Sayısal Yüzey Modelleri (YM) kullanılmaktadır. Lidar teknolojisinin gelişmesi, Sayısal Yüzey Modelleri (YM) ve Arazi Modellerinin (SAM) üretilmesine alternatif bir yöntem olmuştur. Araziye ait nokta bulutu verisi üretimi için, havadan LİDAR tekniği ve İnsansız Hava Aracı (İHA) fotogrametrisi ile elde edilen görüntüler, detaylı bir şekilde yüzeyin elde edilmesine imkân vermektedir.

Bu çalışmada, Harita Genel Komutanlığı'nın başkanlığında yürütülen "LİDAR Test Uçuşunun Gerçekleştirilmesi" görevinden elde edilmiş havadan LİDAR (Light Detection and Ranging) nokta bulutu ve CBS Genel Müdürlüğü'nün insansız hava aracı ile gerçekleştirmiş olduğu fotogrametrik ölçümden elde edilen nokta bulutu verilerinden faydalanılmıştır. Bu verilerden GNSS/Nivelman yöntemiyle geoit modelleme yaklaşımı ile Bergama bölgesi için yerel geoit modelleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Havadan LİDAR verisi ITRF datumunda elipsoidal yükseklik bilgisi ve fotogrametrik veriler TUDKA datumunda ortometrik yükseklik bilgisine sahiptir. Farklı dikey datumlardaki veriler çeşitli yazılımlardan da faydalanılarak bölge için yerel bir geoit yüzeyi üretiminde kullanılmış ve bölgeye ait mevcut geoit modelleri ile karşılaştırılarak yöntemin geçerliliğine yönelik sonuçlar üretilmiştir (Özögel, 2018).

\* Sorumlu Yazar: Tel: (0212)2853826 Faks: (0212)2856587

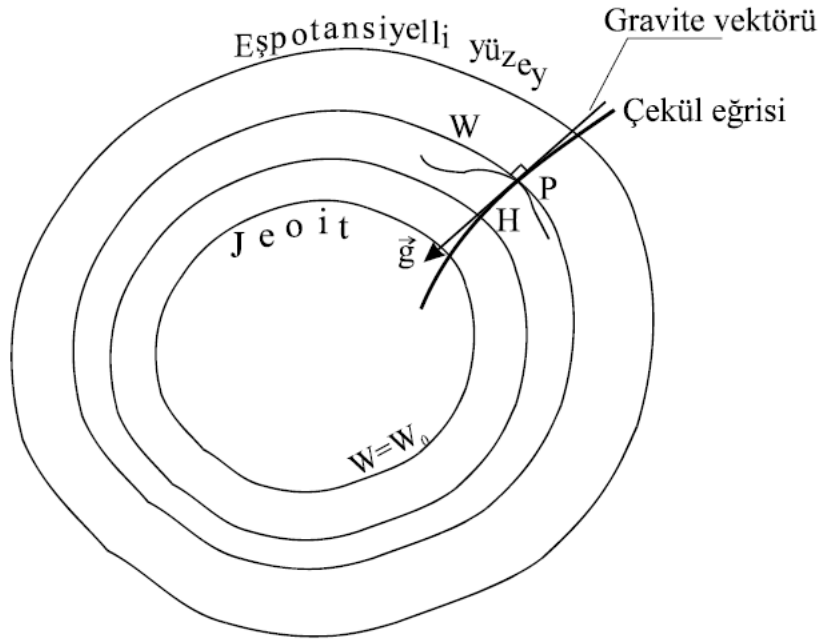
E-posta: kucak15@itu.edu.tr (Kuçak R A), erol@itu.edu.tr (Erol S), e.ozogel@gmail.com (Özögel E), bihter@itu.edu.tr (Erol B)

## 2. Literatür

### 2.1 Geoit

Geoit tanımı fiziksel bir referans yüzeyini ifade etmektedir. Geoit, deniz ve okyanusların karaların altında da devam ettiği düşünüldüğünde oluşan kapalı bir yüzey olarak tanımlanır ancak bu tanım gerçek anlamda geoidi tanımlamaya yetmez çünkü geoid durgun deniz yüzeylerine göre farklılıklar göstermektedir. Dünya homojen bir kütle yapısına sahip değildir bu sebeple deniz yüzeyleri de bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. Sonuç olarak homojen olmayan kara topoğrafyasının deniz yüzeyleri için de geçerli bir durum olduğu ortaya çıkarılmıştır.(ÜSTÜN, 1996)

Geoit yapısına en büyük etkide bulunan faktörler gravite (yerçekimi) kuvveti ve merkezkaç kuvvetidir. Gravite kuvvetinin yönünü fiziksel yeryüzündeki bir noktadaki çekül doğrultusu ile tanımlayabiliriz. Bu durumda geoid belirlenmesi de gravite ve merkezkaç kuvvetinin bileşkesi ile gerçekleşir (Şekil 2.1).(ÜSTÜN, 1996)



Şekil 2.1: Eşpotansiyel yüzeyler ve gravite vektörü (ÜSTÜN, 1996)

İlk geoid belirleme çalışmalarında, bir noktadaki astronomik enlem ve boylam ile aynı noktadaki jeodezik enlem ve boylam arasındaki farktan yararlanılarak astrojeodezik yöntem kullanılmıştır. 1970'li yılların başlarında bilgisayarın hesaplarda kullanılmaya başlamasıyla birlikte düşük dereceli jeopotansiyel modeller geliştirilmiş ve geoid belirlenmiştir. 1980'li yıllarda gravite verilerinin elde edilmesi ve bilgisayarlar sayesinde hızlı fourier transformasyonu kullanılarak geoid belirlenmiştir. Yine bu yıllarda jeopotansiyel model katsayılarının derece ve seviyeleri artırılmış (n=m=180, OSU81, n=m=360 OSU86F gibi) ve geoid belirlemedeki presizyon da böylece iyileştirilmiştir. 90'lı yıllara geldiğimizde artık uydulardan konum belirleme yöntemleri sivil kullanımda da yaygınlaşmış ve GNSS/Nivelman yöntemi ile geoid belirleme yöntemi daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca gravite verileri de uydular yardımı ile hem karada hem de denizde ve kutup bölgelerinde oldukça fazla miktarda elde edilmeye başlanmıştır. Bu da gravimetrik geoid belirleme yöntemlerinin doğruluğunu artırmıştır. Bunlara ek olarak yüksek dereceli jeopotansiyel modeller bütün dünyayı kapsayacak şekilde geliştirilmiştir.(ARSLAN & YILMAZ, 2005)

Son yıllarda GNSS veri miktarının artması ile geoid herhangi bir bölge için çok parametrelili polinom katsayıları ile belirlenebilir ve bu bölge içinde enlem ve boylamı belli olan bir noktanın geoid yüksekliği de elde edilen polinom katsayıları kullanılarak hesaplanabilir hale gelmiştir. Geoid ayrıca polinom katsayıları yerine bulanık mantık v.b. yöntemler ile de belirlenebilmektedir (ARSLAN & YILMAZ, 2005).

Geoid belirleme yöntemleri, kullanılan veriler ve modeller dikkate alınarak aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir (ARSLAN & YILMAZ, 2005)

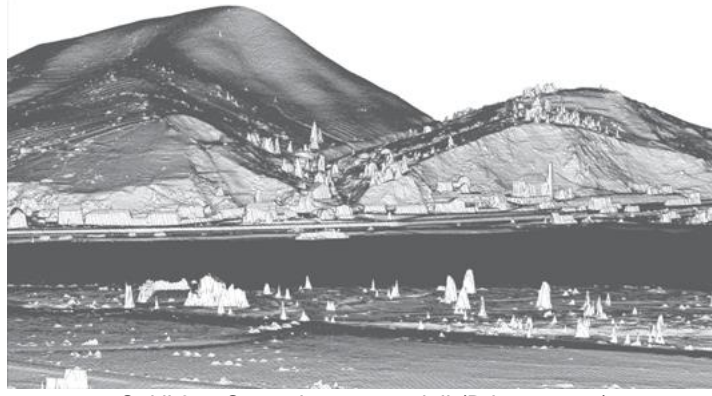
1. Astro-jeodezik yöntemle geoid belirleme
2. Gravite değerlerine göre geoid belirleme
3. Stokes fonksiyonu ile
4. Hızlı fourier transformasyonu ile

- 4.1. Bir boyutlu hızlı fourier transformasyonu ile (1d-fft)
- 4.2. İki boyutlu hızlı fourier transformasyonu ile (2d-fft)
5. Sayısal yoğunluk yöntemine göre geoit belirleme
6. Jeopotansiyel yaklaşımı ile geoit belirleme
7. Kombine yöntemle geoit belirleme (remove – restore)
8. GNSS/Nivelman yöntemine göre geoit belirleme
9. Polinomlarla geoit belirleme
10. Bulanık mantık yöntemi ile geoit belirleme

## 2.2 Sayısal yükseklik Modelleri

### 2.2.1 Sayısal Yüzey Modeli (SYM)

Sayısal Yüzey Modeli (SYM) çıplak toprak yüzeyin ve bu yüzeye bağlı olan nesnelerin atmosfer ile arasında kalan sınır yüzeyin dijital ortamda üç boyutlu bir koordinat sistemi içerisinde X, Y ve Z koordinat değerleriyle gösterilmiş bir modeldir (Şekil 2.2). Böyle bir model birçok farklı uygulama alanı için gereklidir. Örneęin taşkın risk yönetimi, altyapı planlaması, çevre koruma ve günümüzde Coęrafî Bilgi Sistemleri (CBS) içinde temel bir veri kümesidir.



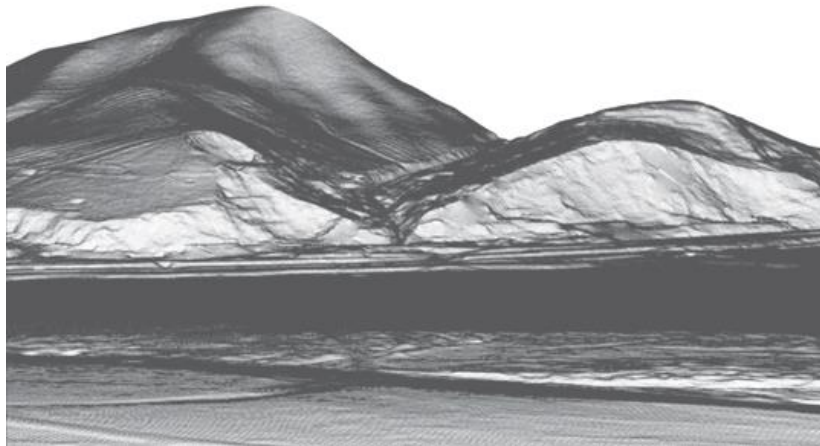
Şekil 2.2: Sayısal yüzey modeli (Briese, 2010)

### 2.2.2 Sayısal Arazi Modeli (SAM)

Sayısal Arazi Modeli, SYM' ye benzer şekilde yükseklik gösteren bir model olup SYM'den farklı olarak yüzeye bağlı insan yapımı veya bitki örtüsü gibi nesnelerin çıkarıldığı bir modeldir (Şekil 2.3). Sayısal Arazi Modeli arazinin gerçek durumunu göstermeye daha yakın bir modeldir.

Sayısal yükseklik modeli üretmekte kullanılan en yaygın yöntemler şunlardır:

- Jeodezik ölçme yöntemleri
- LIDAR Yöntemi
- Fotogrametrik ölçme yöntemleri
- IFSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar = Enterferometrik Yapay Açıklıklı Radar)



Şekil 2.3: Sayısal arazi modeli (Briese, 2010)

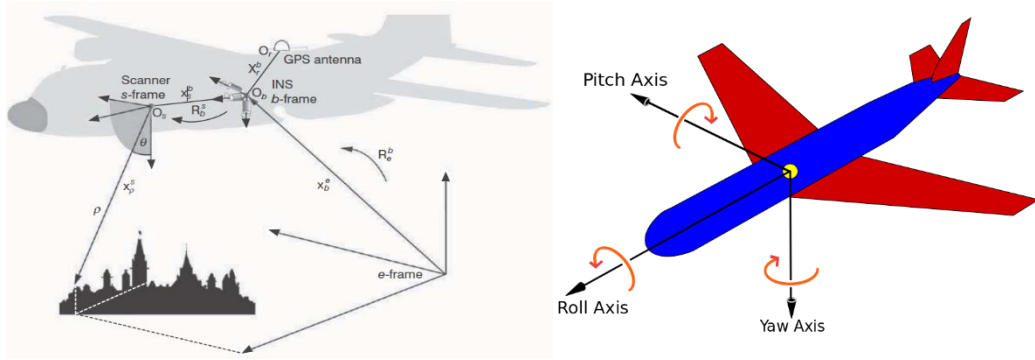
## 2.3 Lidar

Lidar sistemlerinde hedefin üç boyutlu koordinatlarının hesaplanması şöyle gerçekleşir: (Beraldin, Blais, & Lohr, 2010)

- Lazer ışınının sistemden çıkış ve dönüşü arasında geçen süre
- Işının gönderim açısı
- Sistemin dünya üzerindeki kesin konumunu bilinmesi

Yersel Lidar sistemlerinin çoğu lokal bir koordinat sisteminde çalışabilmektedir fakat havadan lidar sistemleri yapıları gereğince global koordinat sisteminde çalışmaktadır. Havadan lidar sistemlerinin kullandığı koordinat sistemleri aşağıda gösterilmektedir. Bütün koordinat sistemleri sağ el kartezyen sistemlerdir. Lazer tarama birimi ve navigasyon birimleri arasındaki ilişki Şekil 2.4' de verilmektedir. (Lichti & Skaloud, 2010)

- $s$  : Sensör koordinat sistemi, lazer tarayıcının eksen esaslarına göre tanımlanmıştır.  
 $b$  : Gövde (body) koordinat sistemi, inertial navigation system (INS) ivme ölçerlerine göre oluşturulmuştur.  
 $l$  : Global Dünya elipsoidinin teğet koordinat sistemi (yerel jeodezik koordinat sistemi), elipsoidal kuzey, doğu ve aşağı (NED) eksenleri ile tanımlanmıştır.  
 $e$  : Dünya merkezli, Dünya sabit (ECEF) koordinat sistemi, ITRF'in bir varyasyonu olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2.4: Havadan Lidar sisteminin ölçme geometrisi. (Lichti & Skaloud, 2010)

Havadan lidar gözlemlerinin geometrik ilişkisini anlatan durum şekil 2.4 ile verilmiştir. Bu şekilde, Dünya merkezli ve dünya sabit koordinat sisteminde gerçekleştirilen gözlemlerin eşitliği düzenlemeler ardından Eşitlik 1 ile verilmiştir. (Lichti & Skaloud, 2010)

$$x_p^e = x_b^e(t) + R_l^e(\varphi(t), \lambda(t)) R_b^l(r(t), p(t), y(t)) R_s^b(\omega, \varphi, \kappa) \left( x_b^s + \rho(t) \begin{bmatrix} 0 \\ \sin \theta(t) \\ \cos \theta(t) \end{bmatrix} \right) \quad (1)$$

Eşitlik 1 ile verilen bileşenler önceden yapılan tanımlara göre yerleştirilmiştir. ( $t$ ) ile ifade edilen değişkenler zamana bağlı değişimleri belirtmektedir. Güzergâha dayalı  $x_b^e(t)$  pozisyon ve  $R_b^l$  dönüklükleri,  $r(t), p(t), y(t)$  şeklinde üç Euler açısı ile belirtilmiştir. Mesafe  $\rho(t)$  ve sensör ışın açısı  $\theta(t)$  ölçüm olarak değerlendirilmiştir. Öteleme  $x_b^s$  ve  $R_s^b$  kalibrasyon sırasında önceden elde edilmiş olduğu için sabit olarak kabul edilmektedir. Dönüklük ifadesi  $R_l^e(t)$ , referans elipsoide göre pozisyonu ifade eden bir fonksiyon olarak ifade edilmektedir. (Lichti & Skaloud, 2010)

## 2.4 İnsansız Hava Aracı (İHA)

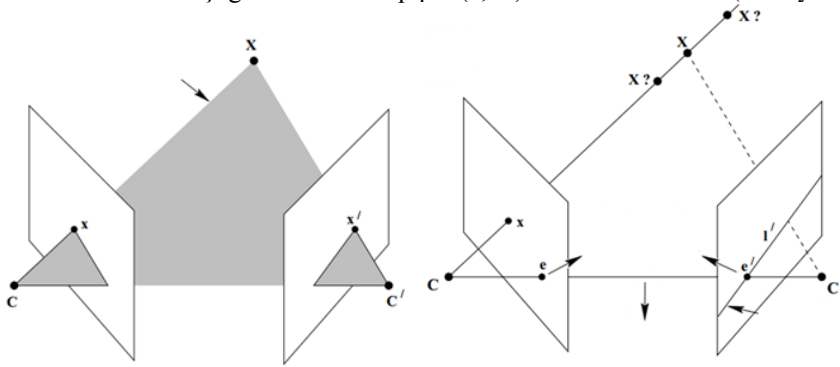
İnsansız Hava Araçları (İHA) üzerinde bir pilot ihtiyacı olmayan hava araçlarına verilen genel isimdir. Buna rağmen bu araçlar tamamen insan müdahalesine ihtiyaç duymayan bir yapıda değildir. İHA sistemleri önceden belirli bir rota veya uzaktan kumanda ile uçuşlarını gerçekleştirir. İHA sistemleri üzerinde insan barındırmayan sistemler olmalarının sayesinde çok daha küçük, hafif yapıda olabilir ve bu sayede insanlı hava araçlarına oranla maliyeti düşüktür.

İHA uzaktan algılama sistemleri, hem sıradan havadan uzaktan algılama yöntemlerinin ortak özelliklerine hem de kendi benzersiz özelliklerine sahiptir. İHA'lar sıradan havadan uzaktan algılama sistemleri gibi GNSS, IMU ve veri toplama birimi (sayısal kamera, lazer tarayıcı vb.) sistemlerin bütünleşik çalışmasından faydalanan sistemlerdir. Bunların dışında

radio kontrollü sistemler için uzaktan kumanda sistemi, otomatik pilot sistemi ve titreşim engelleyici sabitleme sistemleri de kullanılmaktadır. İHA platformlu uzaktan algılama sistemleri, insanlı hava taşıtlarıyla karşılaştırıldığında günün her saatinde, birçok hava koşulunda çalışabilir ve yüksek riskli alanlarda uçuş görevlerini yerine getirebildikleri için tercih edilirler. Üstelik İHA'lar, ilgili çalışma yüzeyine oldukça yakın çalışabilir ve birkaç santimetre çözünürlükle görüntü elde edebilirler. (Eisenbeiss, 2009)

Çalışma alanındaki noktaların üç boyutlu konumlarının belirlemek için, geleneksel fotogrametrik yöntemler, çekimi gerçekleştiren kameranın üç boyutlu konumuna veya çalışma alanında bir dizi kontrol noktasının üç boyutlu konumuna ihtiyaç duymaktadır. Structure from Motion (SfM) yaklaşımı bunlara ihtiyaç duymadan çalışma alanını yeniden yapılandırabilir. Kamera pozisyonu ve çalışma alanı geometrisi birden fazla görüntünün eşleşen özelliklerinin otomatik tanımlanmasıyla eşzamanlı olarak yeniden oluşturulur. Bu özellikler görüntüden görüntüye takip edilir, kamera konumlarının ve nesnenin başlangıç koordinatlarının tahmini sağlanır ve daha sonra doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemi kullanılarak iteratif olarak düzeltilir. (Westoby, Brasington, Glasser, Hambrey, & Reynolds, 2012)

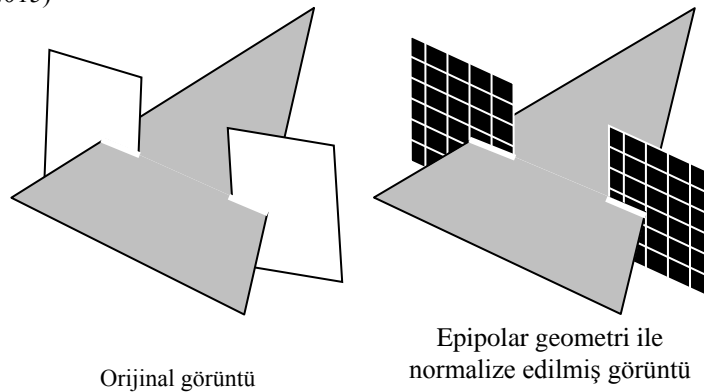
Epipolar yüzey; üç boyutlu çalışma alanı üzerinde bulunan noktalar ( $X$ ) ve bu noktanın iki farklı fotoğraflama anındaki karşılığı ( $x$ ), ( $x'$ ) olacak şekilde bir geometrik yüzeydir (Şekil 2.5). Kamera merkezleri taban çizgisi ile birleşmektedir, bu çizgi ile görüntü düzlemlerinin kesiştiği noktalar ise epipolar ( $e$ ,  $e'$ ) ismini almaktadır. (Akkaya & Talu, 2014)



Şekil 2.5: Epipolar geometri (Hartley & Zisserman, 2004)

Değerlendirmeye alınacak epipolar görüntülerin dönüklükleri birbirlerinden farklı olabilir, bu görüntülerin dönüklüklerinin ortak bir hale getirilmesi yeniden projekte edilmesi ile gerçekleşir ve sonuç ürün stereo görüntülerdir. Epipolar çizgiler büyük oranda  $x$  eksenine paralel olmadığı için bu çizgilerin paralel olmalarının sağlanması için bir dönüşüm gerekmektedir (Şekil 2.6). Gerçekleştirilen bu işlem görüntüleri epipolar doğru ile eşleştirmek amacıyla gerçekleştirilir ve görüntü normalizasyonu olarak adlandırılır. (Bayram & Çavdaroglu, 2015)

Görüntü normalizasyonu işlemi iç ve dış yönelme parametrelerinin bilinmesi ile gerçekleştirilir. Görüntüler orijinal konumlarından gerçek düşey konumlarına döndürülür ve bu işlem dönüklük matrisinin transpozesi ile gerçekleştirilir. Gerçek düşey konumdan normalize edilmiş konuma dönüşüm işlemi ise bazın döndürülmesi ile gerçekleştirilir. (Bayram & Çavdaroglu, 2015)



Şekil 2.6: Görüntü normalizasyonu.

Epipolar noktalardan imge noktasına doğru çizilen doğruya, epipolar çizgi adı verilir. Sağ ve sol görüntülerde mevcut noktaları eşlemek için epipolar çizgiler kullanılır. Eş noktalar eş epipolar çizgiler üzerinde bulunmaktadır. Bu eş noktalar arasındaki bağıntı  $F$  (Fundamental) matrisi denilen özel bir matris ile kurulur. (Hartley & Zisserman, 2004)

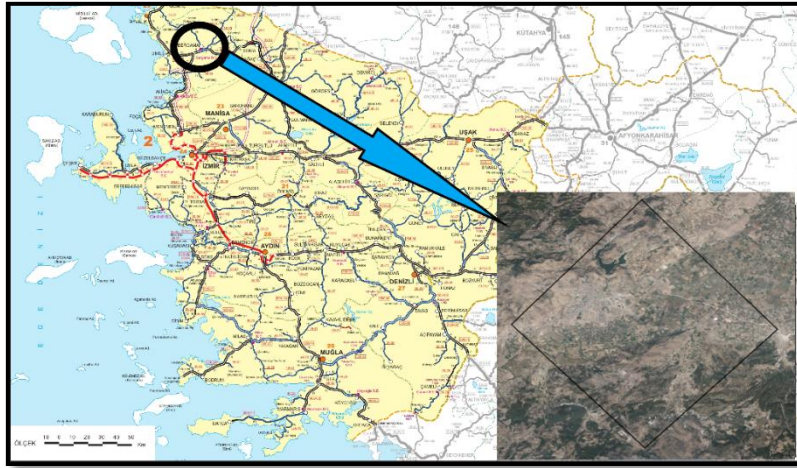


### 3. Uygulama

Çalışmanın amacı; elipsoid yükseklik verisine sahip havadan LIDAR yöntemiyle elde edilmiş nokta bulutu ile ortometrik yükseklik verisine sahip İHA fotogrametrisi ile elde edilmiş nokta bulutlarından faydalanarak, çalışma bölgesine ait üretilecek iki tip Sayısal Arazi Modeli (SAM) verileri yardımıyla geoidin GNSS/Nivelman yöntemiyle belirlenmesi ve elde edilen geoit modelinin kullanım için yeterli doğrulukta olup olmadığının araştırılmasıdır.

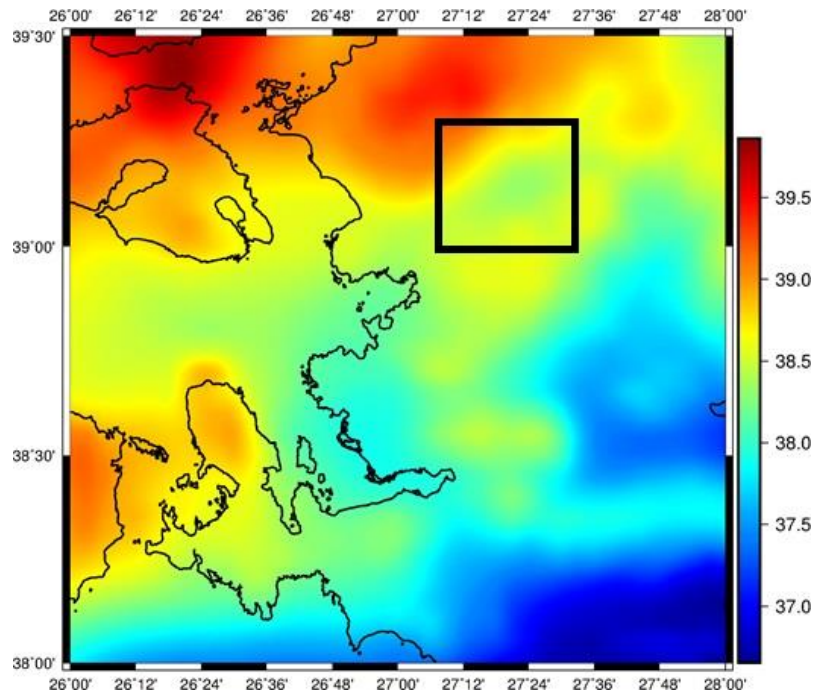
#### 3.1 Çalışma Bölgesi

Çalışma bölgesi, Harita Genel Komutanlığı ve CBS Genel Müdürlüğünün yapmış olduğu çalışmalar neticesinde farklı yükseklik datumlarında verilerin mevcut olduğu Bergama bölgesi olarak seçilmiştir (Şekil 3.1). İki kaynaktan temin edilen verilerde ortak olarak bulunan bölgeler veri bütünlüğü açısından belirlenip uygulamada kullanılmıştır.

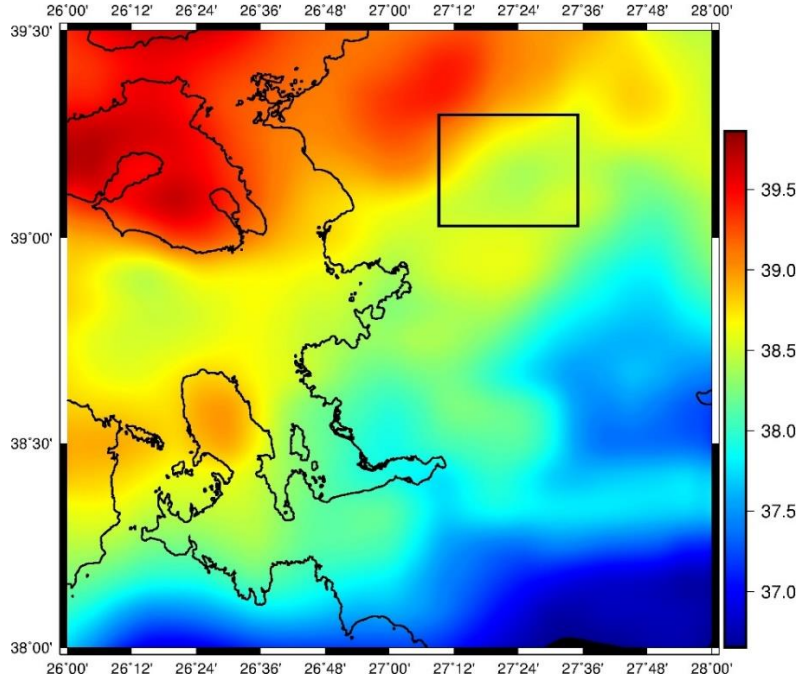


Şekil 3.1 : Bergama LIDAR test alanı. (Kayi, Erdoğan, & Eker, 2015)

Uygulamadan elde edilen sonuçların karşılaştırılması için çalışma alanını kapsayan bölgesel TG03 ve global EIGEN 6C4 geoit modellerinden faydalanılmıştır (Şekil 3.2 & 3.3).



Şekil 3.2: Bölgesel TG03 Geoit Modeli ve Bergama bölgesi



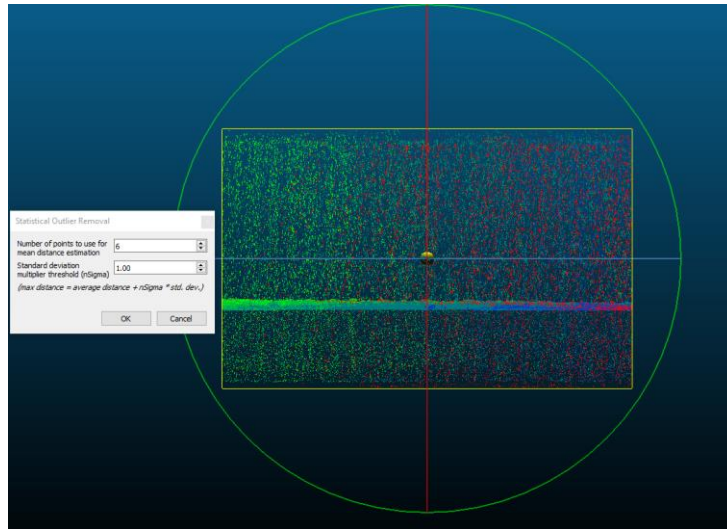
Şekil 3.3: Global EIGEN 6C4 Geoit Modeli ve Bergama bölgesi

### 3.2 Nokta bulutu verilerinin işlenmesi

Uygulamada kullanılan, CBS Genel Müdürlüğü tarafından İHA fotogrametrisi ile üretilen nokta bulutu verisi “.laz” formatında temin edilmiştir. Temin edilen verinin uygulamada kullanılacak yazılımlar tarafından açılabilmesi ve işlemlere tabi tutulabilmesi için formatın “.las” formatına dönüştürülmesi gerçekleştirilmiştir. Format dönüşümü yanı sıra verinin çok büyük olması ve tek parça halinde işlenmesi uygulamada kullanılan bilgisayar kapasitesi ile mümkün olmadığı için veri küçük parçalara bölünerek dışarı aktarılmıştır. Bu işlemin gerçekleştirilmesinde Global Mapper yazılımı kullanılmıştır. Global Mapper uygulamasında veri bütünü 1000x1000m şeklinde bölünerek dışarı aktarılmıştır.

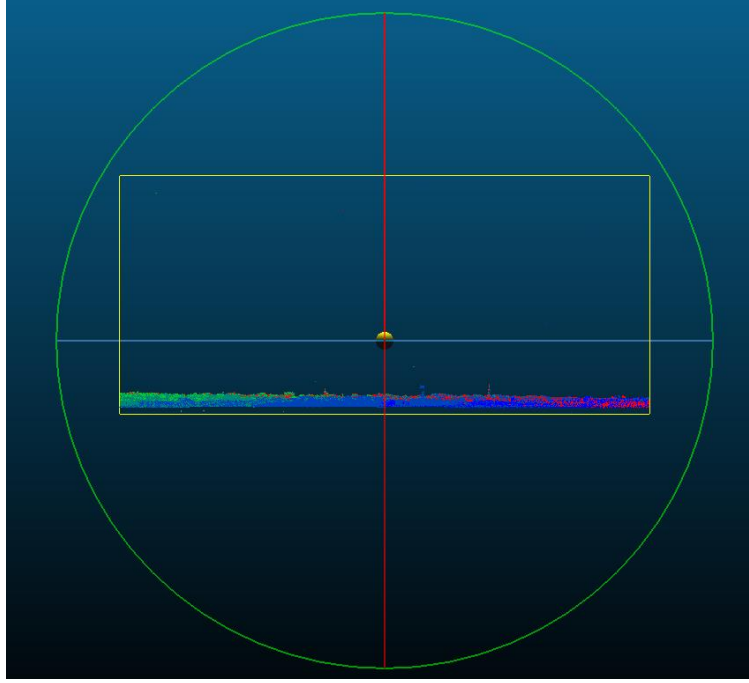
Ham verilerde bulunan gürültü ve aykırı noktaların arındırılması gerekmektedir, bu işlemde Cloud Compare yazılımından faydalanılmıştır. Cloud Compare yazılımında öncelikli olarak aykırı noktaların silinmesi için SOR (statistical outlier removal) filtresi uygulanmıştır (Eşitlik 2.). SOR filtresi parametreleri olarak, ortalama mesafe hesaplanması için kullanılan nokta sayısı 6 ve standart sapma katsayısı 1 olarak seçilmiştir (Şekil 3.4 ve 3.5).

$$\text{maksimum mesafe} = \text{ortalama mesafe} + \text{standart sapma katsayısı} \times \text{standart sapma} \quad (2)$$



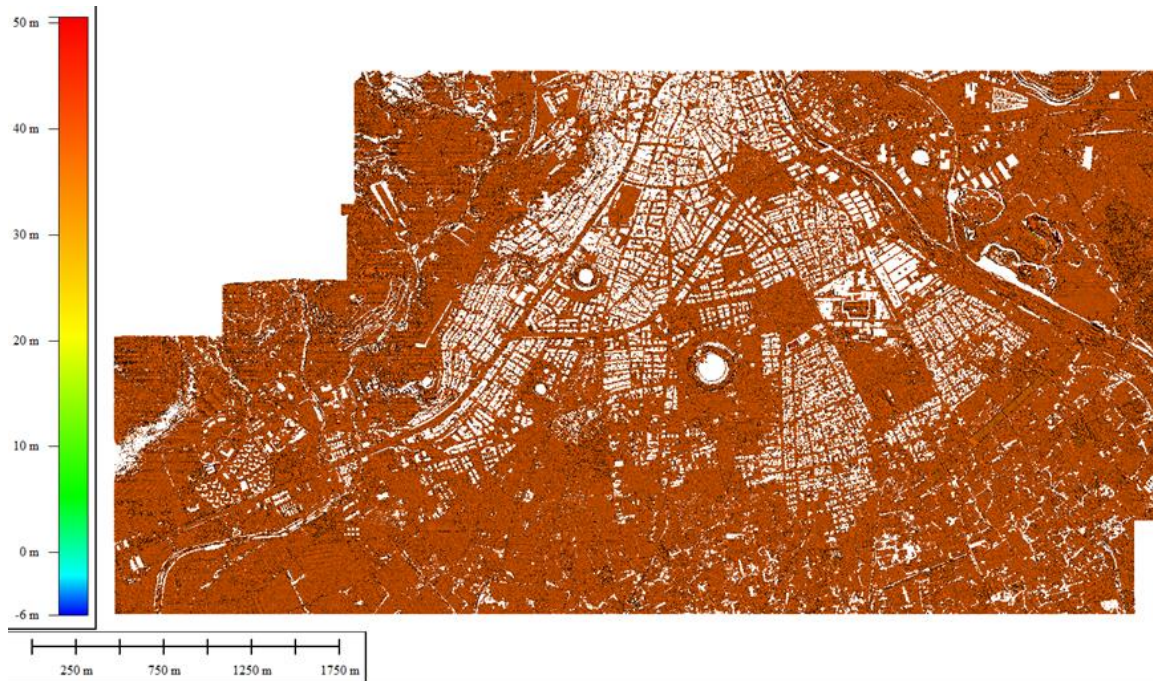
Şekil 3.4: Aykırı noktalar ile nokta bulutu.

SOR filtrelemesinden sonra gürültü filtresine geçilmiştir. Gürültü filtresi, SOR filtresine benzer şekilde çalışmaktadır fakat komşu noktalara olan mesafeye göre ayıklama yerine yüzeye olan düşey mesafeye göre filtreleme işlemi gerçekleştirir. Bu filtre algoritmasında her noktadan lokal bir yüzey geçirir ve bu yüzeye olan düşey uzaklığa göre nokta elemesi gerçekleştirir. Gürültü filtresi alçak nokta çıkarımı filtresi olarak değerlendirilebilir.



*Şekil 3.5: Aykırı noktalar çıkarıldıktan sonra nokta bulutu.*

Filtreleme ardından oluşan verilerden, geoit modellemede kullanılmak üzere farklı yöntemlerle ve farklı yazılımlarla (ENVI Lidar ve Global Mapper) geotiff formatlı sayısal arazi modelleri üretilmiştir. Üretilen sayısal arazi modellerinin geoit modelleme çalışmasında kullanılabilirliği kontrol edilmiştir. Global Mapper yazılımı ile SAM farkları alınarak elde edilen ilk geoit yüzey modeli Şekil 3.6' da verilmiştir.

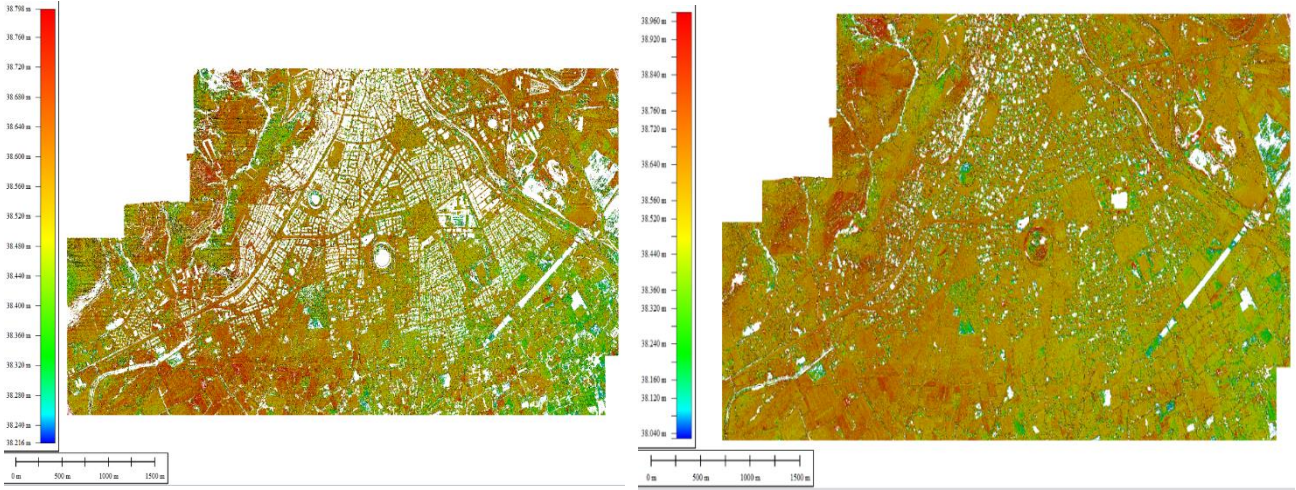


*Şekil 3.6: Global Mapper yazılımı ile SAM farkları alınarak elde edilen geoit yüzey modeli.*

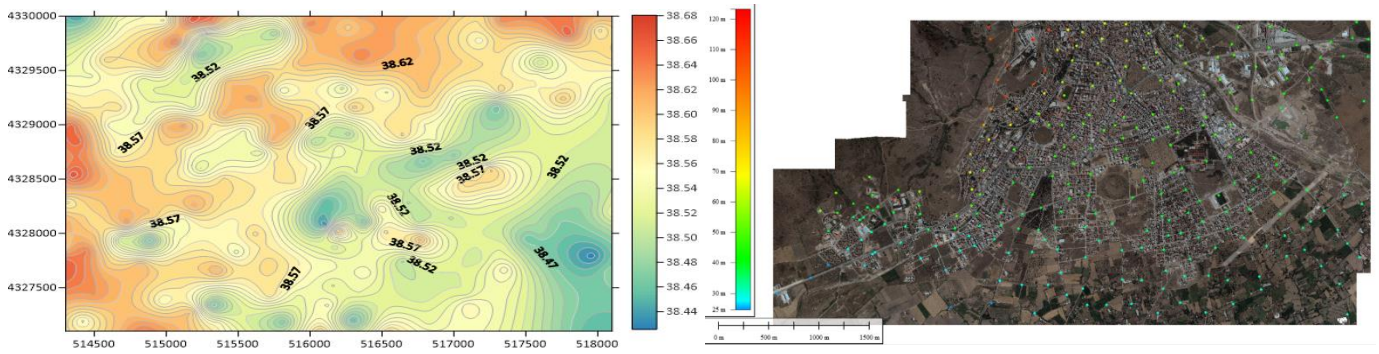


## 4.Sonuçlar

Uygulama alanını bütünüyle kaplayan Sayısal Arazi Modelleri üretilmesi ardından, çalışmanın amacına uygun olarak, elipsoidal yükseklik verisine sahip havadan LIDAR verileri (Optech) ile ortometrik yükseklik verisine sahip İHA fotogrametri verilerinin farkı alınmıştır (Şekil 4.1 ve 4.2). Bu işlem Global Mapper yazılımı ile havadan LIDAR verisinden İHA fotogrametrisi verilerinin çıkarılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Uygulama bölgesine ait ondülasyon (geoit yüksekliği) değerlerine sahip yüzey, farkların %68 güven alanı içindeki grubu ile elde edilmiştir. Çalışma kapsamında, ayrıca, veri setleri arasındaki farkların alınması için SAM üretilmesi yanında manuel olarak çalışma alanından özel noktalar seçilmiş ve bu noktalarındaki yükseklik farkları (geoit yüksekliği) hesaplanmış ve modellenmiştir.



Şekil 4.1: Global Mapper ve ENVI yazılımı ile SAM farkları alınarak elde edilen geoit yüzey modelleri



Şekil 4.2: Manuel seçilen noktalar ile üretilen geoit yüzey modeli ve noktaların dağılımı

EIGEN 6C4 ile üretilen geoit yükseklikleri arasındaki farklar.

	ENVI LIDAR – EIGEN 6C4 (m)	Global Mapper – EIGEN 6C4 (m)	Noktasal Farklar – EIGEN 6C4 (m)
Minimum	-0,454	-0,272	-0,120
Maksimum	0,640	0,453	0,195
Ortalama	0,039	0,057	-0,0003
Standart Sapma	0,140	0,099	0,052

TG03 ile üretilen geoit yükseklikleri arasındaki farklar.

	ENVI LIDAR – TG03 (m)	Global Mapper – TG03 (m)	Noktasal Farklar – TG03 (m)
Minimum	-0,516	-0,33	-0,156
Maksimum	0,573	0,386	0,049
Ortalama	-0,029	-0,01	-0,059
Standart Sapma	0,139	0,098	0,046

Geoit yüksekliklerinin istatistiksel sonuçları.

	ENVI LIDAR (m)	Global Mapper (m)	Noktasal Farklar (m)
Minimum	38,029	38,215	38,424
Maksimum	38,979	38,798	38,691
Ortalama	38,552	38,533	38,572
Standart Sapma	0,143	0,102	0,055

Şekil 4.3: Yükseklik farklarının (geoit modellerinin) istatistik sonuçları

Uygulamadan üretilen geoit yüzey modellerinin TG03 lokal geoidi ve EIGEN global geoit modeli ile karşılaştırmaları yapılmıştır. SAM farkları ile elde edilen geoit modeli ve TG03 ile 9,8 cm'lik standart sapmaya ve EIGEN 6C4 ile 9,9 cm'lik standart sapmaya sahip bir geoit modeli oluşturulduğu görülmüştür. Manuel seçilen noktalar ile elde edilen geoit yükseklikleri ve TG03 ile 4,6 cm'lik standart sapmaya ve EIGEN 6C4 ile 5,2 cm'lik bir standart sapmaya sahip geoit modeli oluşturulmuştur (Şekil 4.3). Sonuç olarak, LIDAR ve İHA fotogrametrisinden elde edilen nokta bulutlarından faydalanarak gerçekleştirilen yerel geoit modelleme çalışmasının daha iyi sonuçlar vermesi için veri üretiminin aynı zamanlarda gerçekleştirilmesi ve özellikle kentsel alanlarda bulunan objelerin filtrelenmesini daha yüksek bir başarı oranı ile gerçekleştiren bir yazılım algoritması kullanılması önerilmektedir. Sadece geoit modeli oluşturmak için İHA ve LIDAR yöntemi veri işlenmesi açısından daha zahmetli bir yöntemdir. Nivelman ile yapılan geoit belirleme ise daha doğru sonuçlar veren ancak daha zaman alıcı bir yöntemdir.

## Kaynaklar

- Akkaya & Talu, (2014). *Nesne Modelleme: Video İmgeleri Kullanılarak F-Matrisinin Hesaplanması*. DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt: 16 Sayı: 48 sh. 9-20 Eylül 2014
- Arslan, E., & Yılmaz, M. (2005). *Geoit Belirleme Yöntemleri* TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultay.
- Bayram, B., & Çavdaroglu, G. Ç. (2015). *Görüntü Eşleme Sunumu*.
- Beraldin, J. A., Blais, F., & Lohr, U. (2010). *Laser scanning technology. Airborne and Terrestrial Laser Scanning*, 336. Retrieved from [http://www.whittlespublishing.com/Airborne\\_and\\_Terrestrial\\_Laser\\_Scanning](http://www.whittlespublishing.com/Airborne_and_Terrestrial_Laser_Scanning)
- Briese, C. (2010). *Extraction of digital terrain models. Airborne and terrestrial laser scanning*, Whittles Publishing, 135-167.
- Eisenbeiss, H. (2009). *UAV Photogrammetry*. University of Technology Dresden. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-010782581>
- Hartley, R., & Zisserman, A. (2004). *Epipolar Geometry And The Fundamental Matrix. Multiple View Geometry in Computer Vision*, 239–261. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511811685.014>
- Kayi, A., Erdoğan, M., & Eker, O. (2015). *OPTECH HA-500 ve RIEGL LMS- Q1560 ile Gerçekleştirilen LIDAR Test Sonuçları*. Harita Dergisi, 153(2), 42–46.
- Leick, A. (1990). *GPS Satellite Surveying*, (1990), 129–206.
- Lichti, D., & Skaloud, J. (2010). *Registration and Calibration. Airborne and Terrestrial Laser Scanning*, 83–91. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Özögel, E., (2018), *Nokta Bulutu Verilerinin Yerel Geoit Modellerinin Değerlendirilmesinde Kullanılması Üzerine Bir İnceleme*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ-FBE.
- Üstün, A. (1996). *Datum Dönüşümleri*, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). “*Structure-from-Motion” photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. Geomorphology*, 179, 300–314. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>