



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



HAVA LİDAR NOKTA BULUTUNDAN
KÖPRÜLERİN VE ÜST GEÇİTLERİN
OTOMATİK ÇIKARIMI

Murat Ersin KORKMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Murat Ersin KORKMAZ tarafından hazırlanan ‘‘Hava Lidar Nokta Bulutundan Koprulerin ve st Geçitlerin Otomatik ıkarımı’’ adlı tez çalışması 27/12/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri yeleri

Başkan

Prof. Dr. Ayhan CEYLAN

Danışman

Doç. Dr. Cihan ALTUNTAŞ

ye

Doç. Dr. Salih ALÇAY

İmza

.....
.....
.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Murat Ersin KORKMAZ

Tarih: 27/12/2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

HAVA LiDAR NOKTA BULUTUNDAN KÖPRÜLERİN VE ÜST GEÇİTLERİN OTOMATİK ÇIKARIMI

Murat Ersin KORKMAZ

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Cihan ALTUNTAŞ

2019, 70 Sayfa

Jüri

**Doç. Dr. Cihan ALTUNTAŞ
Prof. Dr. Ayhan CEYLAN
Doç. Dr. Salih ALÇAY**

Hava LiDAR (Light Detection and Ranging) taraması ile 3B uzayda bir nokta bulutu elde edilir. Hava LiDAR tarama, bir arazinin oldukça yoğun ve yüksek doğrulukta nokta bulutlarını kısa sürede sunma yeteneğine sahiptir. Bununla birlikte, nesnelere yüksek konumsal doğrulukta ölçme yeteneğine rağmen, arazideki ayrı ayrı nesnelere otomatik olarak algılanması ve yorumlanması halen bir sorundur. Bu sorunların bir örneği olarak, hava LiDAR tarama tarafından üretilen nokta bulutlarının sınıflandırılmasıdır. Hava LiDAR tarama nokta bulutlarının sınıflandırılması, öncelikle noktaların nesne ya da çıplak zemin olarak etiketlenmesinden oluşur. Etiketli nesne noktaları daha sonra bina veya bitki örtüsü vb. sınıflar olarak da etiketlenir.

Sınıflandırılması gereken nesnelere biri olan köprüler, araç ve yaya üst geçitleri, insan ulaşım ağlarında önemli bir rol oynamıştır. Diğer taraftan köprü bilgilerinin LiDAR verilerinden otomatik ve hızlı bir şekilde çıkarılması CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) uygulamaları, SAM (Sayısal Arazi Modeli) ve akıllı ulaşım sistemleri oluşturmada büyük öneme sahiptir. Özellikle köprü ve üst geçit ana hattının çıkarılması çok önemli bir sorundur. Bu sorunu birçok bilim insanının araştırma konusu olarak ele aldığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada LiDAR sistemi temellerinden, LiDAR veri formatına, LiDAR veri analizini gerçekleştirmede kullanılan programlara ve günümüze kadar yapılmış olan LiDAR filtreleme algoritmaları ile ilgili araştırmalar açık bir şekilde anlatılmıştır. Bu tez çalışmasında, İstanbul ili Şişli ilçesinde seçilen iki alana ait ve Amerika Birleşik Devletleri Utah Eyaleti St. George Şehrinden tek alana ait 3B hava LiDAR nokta bulutu verilerinden otomatik köprü ve üstgeçit çıkarılması amaçlanmıştır. Bunun için ilk olarak, ticari yazılımlarla beraber iyileştirilerek kullanıcılara sunulan, yer ve yer üstü verileri ayrıştırmak için kullanılan ATIN (Adaptive Triangulated Irregular Network) algoritması kullanılarak yer filtrelemesi işlemi yapılmıştır. Yer filtrelemesi ile elde edilen çıplak zemin ilk nokta bulutundan elimine edilerek, kalan LiDAR noktaları üzerinden sınıflama yapılmış ve köprü nesnesi elde edilmiştir. Elde edilen köprü nokta bulutunun köprü dış sınırı LiDAR noktalarını kullanarak otomatik olarak çizilmiştir. Çizim ile oluşturulan köprü alanları doğruluk analizinin yapılması için referans köprü alanı ile karşılaştırılması yapılmıştır. Tez çalışmasında Global Mapper ve LAsTools yazılımları ile nokta bulutu analizlerinin yapılması ve istatistik sonuçlarının çıkarılması sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Köprü, LiDAR, Nokta Bulutu, SAM, Ulaşım, Üst Geçit, Yaya Üst Geçit

ABSTRACT

MS THESIS

AUTOMATIC EXTRACTION OF BRIDGES AND FOOTBRIDGES FROM AIRBORNE LIDAR POINT CLOUD

Murat Ersin KORKMAZ

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Survey Engineering**

Advisor: Doç. Dr. Cihan ALTUNTAŞ

2019, 70 Pages

Jury

**Doç. Dr. Cihan ALTUNTAŞ
Prof. Dr. Ayhan CEYLAN
Doç. Dr. Salih ALÇAY**

The product of the Airborne LIDAR (Light Detection and Ranging) scanning is a point cloud on the 3D platform. Airborne LIDAR Scanning is capable of delivering a high density and high accuracy point clouds in a relatively short time. However, despite the ability to measure objects with high positional accuracy, automatic detection and interpretation of individual objects in the landscapes is still a problem. As an example of these problems, the classification of point clouds produced by Airborne LIDAR Scan. The classification of Airborne LIDAR scanning point clouds consists primarily of labeling the points as objects or bare earth. The labeled object points are then also labeled as buildings or vegetation etc.

Bridges, overpass and footbridges, one of the objects to be limited, have played an important role in human transport networks. Moreover, automatic and rapid extraction of bridge information from LIDAR data is of great importance in GIS (Geographical Information System) applications, DTM (Digital Terrain Model) and intelligent transportation systems. Especially, the determination of the bridge and footbridge outline is a very important problem. This is the focus of many scientists' research topics. In this study, the researches about the fundamentals of the LIDAR system to the LIDAR data format, the programs used to perform the LIDAR data analysis and LIDAR filtering algorithms which have been done to date are explained clearly. In this thesis, it is aimed to extract automatic bridge and footbridge from 3D airborne LIDAR point cloud data belonging to two areas selected from Şişli district of Istanbul and one areas from United States of Utah George City. For this purpose, firstly, The ground filtering process was carried out by using ATIN algorithm, which is differentiate ground and non-ground data and improved with commercial software and presented to users. Bare earth which was obtained by ground filtration was eliminated from the first point cloud, and classification was made using over the remaining LIDAR points and the bridge object was obtained. The bridge outer boundary of the obtained bridge point cloud was automatically plotted using LIDAR points. Bridge areas created by drawing are compared with reference bridge area for accuracy analysis. In this thesis, point cloud analysis and statistical results were obtained with Global Mapper and LAStools software.

Keywords: Bridge, DTM, Footbridge, LIDAR, Overpass, Point Cloud, Transportation

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında kıymetli zamanını ayırıp bana rehberlik eden bilgi ve tecrübelerini paylaşan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Cihan ALTUNTAŞ 'a şükranlarımı sunarım.

Hayatım boyunca yanımda bulunup, aldığım kararlar ile beni daimi destekleyen, başarıya ulaşmamda maddi ve manevi desteklerini çekmeyen babam Ruşen Orhan KORKMAZ' a ve annem Selime KORKMAZ' a, bu tez çalışmasını gerçekleştirmemde beni güçlendiren, sabırla dinleyip, tezimi okuyup güzel tavsiyelerini aldığım arkadaşım ve kardeşim İnşaat Mühendisi Arş. Grv. Burak Enis KORKMAZ' a, bana olan güvenini ve sevgisini ebedi hissettiren hayat arkadaşım Meryem SERTTAŞOĞLU' na ve tezime olan katkısından dolayı güzel insan Hülya SERTTAŞOĞLU' na sevgilerimi sunarım.

Murat Ersin KORKMAZ
KONYA-2019



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Tez Çalışmasının Kapsamı ve Amacı	2
1.2. Literatür Özeti	3
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	10
2.1. Hava LiDAR Teknolojisi	10
2.1.1. Hava LiDAR Sisteminin Bileşenleri	11
2.1.2. Hava LiDAR Çalışma Prensipleri	14
2.1.3. Hava LiDAR Veri Formatı	16
2.1.3. Hava LiDAR Kaynakları	19
2.2. LiDAR Nokta Bulutundan Köprülerin Tespiti	21
2.2.1. Gürültü Değerlerinin Filtrelenmesi	22
2.2.2. Çıplak Zeminin Çıkarımı	24
2.2.3. Yer Üstü Nesnelerin Sınıflandırılması	27
2.2.4. Doğruluk Analizi	28
3. UYGULAMA VE SONUÇLAR	31
3.1. Çalışma Bölgeleri ve Verilerin Elde Edilmesi	31
3.2. Çalışma bölgesi #1 İçin Ulaşılan Sonuçlar	35
3.2.1. Filtreleme	35
3.2.2. Zemin ve Zemin Üstü Nokta Ayrımı	36
3.2.3. Yaya Üst Geçidinin Tespiti	39
3.2.4. Doğruluk Analizi	41
3.3. Çalışma bölgesi #2 İçin Ulaşılan Sonuçlar	43
3.3.1. Filtreleme	43
3.3.2. Zemin ve Zemin Üstü Nokta Ayrımı	45
3.3.3. Araç Üst Geçidinin Tespiti	48
3.3.4. Doğruluk Analizi	50
3.4. Çalışma bölgesi #3 İçin Ulaşılan Sonuçlar	52
3.4.1. Filtreleme	52
3.4.2. Zemin ve Zemin Üstü Nokta Ayrımı	53
3.4.3. Köprü Tespiti	57
3.4.4. Doğruluk Analizi	59
4. TARTIŞMA.....	61

5. SONUÇ	65
KAYNAKLAR.....	66
ÖZGEÇMİŞ	70



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

- κ : Yaw (z eksenine etrafındaki hareketi)
 ϕ : Pitch (y eksenine etrafındaki hareketi)
 ω : Roll (x eksenine etrafındaki hareketi)

Kısaltmalar

- ASCII: American Standard Code for Information Interchange (Bilgi Değişimi İçin Amerikan Standart Kodlama Sistemi)
ASPRS: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (Amerikan Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Derneği)
ALS: Airborne LIDAR Scanning (Havadan LiDAR Tarama)
DTM: Dijital Terrain Model (Dijital Arazi Modeli)
EPSG: European Petroleum Survey Group (Avrupa Petrol Ölçme Grubu)
EVLRS: Extended Variable Length Records (Genişletilmiş Değişken Uzunluk Kayıtları)
GNSS: Global Navigation Satellite System (Küresel Navigasyon Uydu Sistemi)
GPS: Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
IMU: Inertial Measurement Unit (İnersiyal Ölçme Ünitesi)
INS: Inertial Navigation Systems (İnersiyal Navigasyon Sistemleri)
InSAR: Interferometric Synthetic Aperture Radar (İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar)
LAS: Log ASCII Standart
LDV: LIDAR Data Viewer (LiDAR Veri Görüntüleyici)
LiDAR: Light Detection and Ranging
NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration (Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi)
POS: Positioning and Orientation System (Konum ve Yönlendirme Sistemi)
PTIN: Progressive Triangular Irregular Network (Aşamalı Düzensiz Üçgen Ağ)
RIMM: Reverse Iterative Mathematical Morphological (Tersine Çevrilmiş Yinelemeli Matematiksel Morfolojisi)
SAM: Sayısal Arazi Modeli
SAR: Synthetic Aperture Radar (Yapay Açıklıklı Radar)
USGS: United States Geological Survey (Birleşik Devletler Jeoloji Araştırma Kurumu)
VLRs: Variable Length Records (Değişken Uzunluk Kayıtları)

1. GİRİŞ

Yeryuvarının bir modelini tasarlamak için, yüzeye ait konum ve yükseklik bilgileri vasıtası ile hesaplanan bir yüzey modelinde doğal ve doğal olmayan detay noktalarının elimine edilip sadece arazi morfolojisini gösteren şevler, vadiler, dereler gibi detayları bize yansıtan matematiksel yüzeye sayısal arazi modeli denir. Literatürde “çıplak arazi” olarak da isimlendirilen bu matematiksel yüzeyin geometrik özelliklerini bilmek birçok insan yapımı nesne ve planlama uygulamaları için önemlidir. Bu geometrik bilgi, arazi çalışmaları neticesi sonucu çıkarılan sayısal arazi modelleri ile elde edilir. Bir arazi çalışması, yersel jeodezik ölçümler, fotogrametri, uydu uzaktan algılama, InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) ve yakın zamanda Hava Lazer Taraması (ALS: Airborne LIDAR Scanning) ölçüm teknikleriyle elde edilir. Bu çalışma verileri modelleme için kullanılmadan önce bir ön işlem aşamasından geçirilmesi gereklidir. Bu ölçüm tekniklerinden, fotogrametri, uydu uzaktan algılama, InSAR ve LiDAR (Light Detection and Ranging) yalnızca çıplak araziye değil, çıplak arazi üzerinde bulunan nesnelerin bilgilerini de kullanıcıya göstermektedir.

Köprü bilgisi önemli bir temel coğrafi bilgidir. Aynı zamanda diğer yüzey nesnelerinin çıkarılmasında referans olarak önemli bir rol oynar. Köprü bilgilerinin çıkarılması için SAR (Synthetic Aperture Radar) görüntüleri, yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama görüntüleri ve LiDAR verileri kullanılmaktadır. SAR görüntülerinden ve yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama görüntüsünden köprü çıkarımı dezavantajları olan yöntemlerdir. Örneğin, SAR görüntüsünde meydana gelen, radar dalga boyuna kıyasla daha geniş olan bir yüzeyden yansıyan sinyallerin kuvvetinde oluşan farklar sebebiyle görüntüde çok koyu yahut parlak piksel değerlerinin oluşturduğu, literatürde benek gürültü olarak adlandırılan etkiler; köprü kenarlarının çıkarılmasını engelleyebilir (Wang ve Zheng, 1998). Yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama görüntülerinde, köprü bilgilerinin bazı bölümleri zor ayırt edilebilir veya çıplak zeminle karıştırılabilir ve bu nedenlere bağlı olarak köprü doğru bir şekilde çıkartılamaz. Hava LiDAR ise yeni bir veri toplama teknolojisidir. Bu teknoloji özellikle köprülerin belirgin bir yansımasını göstermektedir. Uzaktan algılama görüntülerinde ise köprülerin ve çıplak zeminin bilgileri birbirine benzer bir şekilde gösterdiği için köprülerin ayırt edilmesi ve çıkarılması zordur.

Hava LiDAR taraması sonucu elde edilen 3 boyutlu düzlemde yer alan nokta bulutunda; çıplak zeminin üzerinde bulunan binalardan, bitki örtüsünden ve diğer

nesnelere nokta vardır. Hava LiDAR; bu nokta yoğunluğundaki arazi yüzeylerini doğru bir şekilde yeniden yapılandırılması için iyi bir imkan sunmaktadır (Baltasvias, 1999; Wehr ve Lohr, 1999). Ön işlem uygulaması yani yapılan filtreleme işlemleri, çalışmayı yerüstü nesnelere ve çıplak araziden gelen sayısal bilgileri ayırt etmek içindir. Filtreleme bu tip ölçüm teknikleri için çok önemlidir. Çünkü filtrelemeden kaynaklı hatalar çıkarılan sayısal arazi modeline yansımaktadır. Bu yüzden LiDAR verileri, köprüler ve diğer yüzey özellikleri arasındaki farkı daha iyi yansıtabildiği için filtreleme yapmamıza katkı sağlamaktadır (Zheng ve ark., 2013).

Hava LiDAR kaynaklı elde edilen veriler normalde milyonlarca nokta içermektedir. Bu nedenle ALS nokta bulutlarının işlenmesi ve veri seyrekleştirme yahut verilerin biçimlendirilmesinin mümkün mertebede otomatik filtreleme işlemleri ile yapılması gerekmektedir. Çünkü manuel sınıflandırma ile filtreleme işlemi, doğruluk analizi ile birlikte toplam çalışma süresinin %60 ile %80'ini kapsayacak önemli bir sorun olmaktadır (Flood, 2001).

1.1. Tez Çalışmasının Kapsamı ve Amacı

Tabiatta köprülerin, çıplak yeryüzünün bir uzantısı olmaları ve aynı zamanda insan yapımı olmaları bakımından belirsiz özelliktedirler. Bu nedenle, Sayısal Arazi Modeli (SAM) oluşturmada, uygulamaya bağlı olarak nokta bulutunda köprülerin filtrelenmesi gerekmektedir.

SAM oluşturmada önemli bir konumda bulunan köprüler, uygulanan filtreleme algoritmalarına bağlı olarak ya tamamen çıplak yeryüzünün bir parçası gibi ya da bir detay nesnesi olarak zemin üstü nesne gibi sınıflandırılabilirler. Mevcut filtre algoritmaları köprüleri açıkça filtreleyemez. Bu nedenle uygulanan köprüleri filtreleme yöntemi, filtreleme yönteminin güvenilirliğini artıracaktır.

Havadan lazer taramasında aktif araştırma alanlarından biri de otomatik filtreleme olmuştur. Filtreleme, nokta bulutundaki birbirleri ile belli ölçüde ilişki içinde olan noktaların, çıplak arazi noktaları olarak ve zemin üstü noktalarının ise nesne noktaları (bina, bitki örtüsü vb.) olarak tespit edilmesi ve taramadan çıkarılması işlemidir. Elde edilen çıplak arazi nokta bulutu, daha sonra Sayısal Arazi Modelleri üretiminde kullanılır. Ancak uygulanan filtreleme algoritmalarına bağlı olarak üretilen çıplak arazinin, insan yapımı nesne olan köprüleri içerebildiği için doğruluğu tam manasıyla kabul edilemez. Çıplak arazinin algılanması ve Sayısal Arazi Modeli oluşturma doğruluğunu artırmak

için, köprülerin açıkça algılanması gerekir (Sithole ve Vosselman, 2003). Nokta bulutundan algılanan köprüler bu aşamada gerekirse buluttan çıkarılabilirler veya rota planlama veya şehir modellemesi gibi uygulamalarda kullanılabilirler için arazide bırakılabilirler.

Bu tez çalışmasında farklı arazi tiplerine sahip özgün çalışma bölgelerinin hava LiDAR nokta bulutu verileri elde edilmiştir. Elde edilen bu verilerden otomatik köprü ve üst geçit çıkarımı yapmak için Aşamalı Düzensiz Üçgen Ağ Yoğunlaştırma filtrelemesi *LAStools* (URL.1) yazılımı ile kullanılmıştır. Böylelikle hava LiDAR nokta bulutundan köprülerin otomatik çıkarımı araştırmalarına bir katkı sağlanmıştır.

1.2. Literatür Özeti

Köprü, iki kara kütlesi arasındaki boşluğu kaplayan bir yapıdır. Bu tanım, geleneksel köprüler, köprülü kavşaklar ve üstgeçitler gibi yapılar için geçerlidir. Hava LiDAR nokta bulutundan köprülerin tespiti ile ilgili literatürde çok sayıda çalışma bulunmamaktadır. Bu yüzden köprü tespitine dayalı mevcut çalışmalar, tipik olarak uydu görüntülerinden ve radar verilerinden köprü çıkarımını içermektedir. Bu bölümde köprülerin tespitine yönelik bazı yaklaşımlara yer verilmiştir.

Wang ve Zheng (1998) de Yapay Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar-SAR) görüntülerinde köprüleri tespit etmek için bir teknik önerilmiştir. SAR ilkesine dayanarak (Rodriguez ve Martin, 1992) bir manzara için bir aralık görüntüsü elde edilir. Yazarlar, SAR görüntülerindeki benek gürültüleri nedeniyle, kenar algılamadan ve eşyükselti eğrilerine dayalı nesne tanımadan kaçındıklarını savunmaktalar. Bunun yerine köprüyü tespit etmek için segmentasyona ve Hough dönüşümlerine dayanan bir yaklaşımı tercih etmektedirler. Yaklaşım, SAR'ın ölçüm özelliklerine dayanmaktadır. Köprülerin tespit edilmesinde ki bu ilke, her köprünün yollarla aynı malzeme ile kaplanmış olduğunun ve her köprünün bir korkuluk taşıdığına varsayılmasıdır. Bölümlendirme adımı (radar geri yansıtım değerleri bazında) tüm yolları ve tüm köprüleri birleştirerek tanımlamaktadır. Yazarlar korkuluklardan gelen radar geri yansıtım değerlerinin güçlü olmasından dolayı, bu özelliklerinin izole edilmesine izin verdiğini not eder. Korkuluk noktaları tanımlandıktan sonra, birbirine paralel olan korkulukları tanımlamak için bir Hough dönüşümü kullanılmaktadır. Birbirine paralel olan korkuluklar arasındaki noktalar daha sonra bir köprünün parçası olarak kabul edilmektedir. Houzelle ve Giraudon (1992)

ayrıca SAR verilerindeki köprüleri tespit eder, ancak önce SPOT uydu görüntülerini kullanarak su kütlelerini tanımlayıp arama alanlarını azaltmaktadır.

Trias-Sanz ve Loménie (2003) de yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinde köprüleri tespit etmek için bir yaklaşım önerilmiştir. İşlem, bir görüntüyü bölümlere ayırmak ve sonra oluşturulan bölümleri bir sinir ağı kullanarak sınıflandırmakla başlamaktadır. Daha sonra, segmentleri köprü olarak sınıflandırmak için kurallar tanımlanmaktadır. Bazı örnek kurallar:

- Büyük su bölgeleri veya demiryolları dar ve uzun bir şerit ile ayrılmaktadır. Bu şerit bir köprüdür.
- İki bölge arasında karayolu olarak tanımlanan ve hizalanan küçük bir boşluk köprüdür. Küçük tanımlama kullanıcı tarafından tanımlanmaktadır.
- Kanal olarak tanımlanan ve hizalanan iki bölge arasındaki küçük bir boşluk köprüdür. Küçük tanımlama kullanıcı tarafından tanımlanmaktadır.

Loménie ve ark. (2003) çalışmasında kenar algılamaya dayanan geometrik bir teknikte yukarıdaki yaklaşım geliştirilmiştir. Yöntem, yüksek çözünürlüklü görüntüleri kullanmaktadır. İlk önce, bir görüntüye bir kenar detektörü uygulanmaktadır. Daha sonra, kullanıcı ayar değerinden daha küçük olan kenarları kaldırmaktadır. Kalan kenarlar, belirli bir maksimum mesafe ile ayrılan hizalı ve birbirine paralel kenarları bulmak için test edilmektedir. Bu paralel kenarlar bir kez bulunduğu anda, aralarındaki bölgenin potansiyel olarak çıplak zemin olduğu kabul edilmektedir. Trias-Sanz ve Loménie (2003) çalışmasında kullanılan kuralları kullanarak bu çıplak zemin bölgeleri gerçekte köprü olup olmadıklarını belirlemek için test edilmektedir.

Sithole ve Vosselman (2006) da binalar, bitki örtüsü, arabalar, sokak lambaları ve elektrik hatları gibi zemin üstü nesnelerin kaldırıldığı çıplak arazi nokta bulutundaki köprüleri tespit etmek için bir algoritma tasarlanmıştır. Bu tür nesneleri çıkarmak için çeşitli uygulanan filtreleme algoritmaları vardır. Bununla birlikte, köprüler bu uygulanan filtreleme algoritmalarına bağlı olarak ya tamamen çıplak arazi yüzeyinin bir parçası gibi yada köprünün belli bir kısmı zemin üstü nesne gibi sınıflandırılmıştır. Bu durum köprü tespitini zorlaştırmaktadır. Köprüler, çıplak toprağa yumuşak geçişler yaptığı için, segmentasyon algoritmaları, onları çıplak toprağın bir parçası olarak görür ve sonuçta köprüler çıplak zeminde kalırlar. Algoritmanın çalışma prensibi; farklı yönlerde tarama doğrultularını kullanarak nokta bulutunun 3 veya daha fazla yönde olmak üzere profil kesitleri alınmıştır. Elde edilen profil kesitleri çizgi bölümlerini almak için bölümlere

(kümeleme) ayrılmıştır ve bu bölümler üst üste bindirilmesi ile objenin tespiti yapılmaktadır. Bu algoritmada eğim eşiği kullanıcı tarafından tanımlanmaktadır. 45°'lik bir eğim eşiğinin iyi çalıştığı bulunmuştur.

Zheng ve ark. (2013) çalışmasında köprülerin mekansal yapı ve geometrik özellikleri bir algoritma tasarımında kullanılmıştır. Mekansal yapı özellikleri, köprü noktaları ve komşu noktalar arasındaki pürüzsüzlük ve süreksizlik özelliklerini ifade eder. Geometrik özellikler ise ana yön karakteristiğini (açık en boy oranı) ve kenar özellik (paralel çizgi çiftleri) bilgilerini içerir. Mekansal yapı özellikleri için en yakın komşu enterpolasyonu kullanılmıştır. Paralel çizgi çiftlerinin tespiti için ise Sobel operatörü kullanılmıştır. İlk olarak, mekansal yapı özellikleri (pürüzsüzlük ve süreksizlik), köprü ana yönü, kenar özellikleri (paralel çizgi çiftleri) karakteristiği elde edilmiştir. Ardından, köprülerin çıkarım algoritmasını oluşturmak için bu özellikler birleştirilmiştir. Daha sonra, köprü tohum (referans zemin noktaları) noktaların çıkarılması için morfolojik yöntemler ile işlenmiştir.

Cheng ve ark. (2014) de nokta bulutu çıkarımı, bağlantı tabanlı segmentasyon, yapı birimlerinin belirlenmesi, üst üste oturma tespiti ve restorasyonu ve 3B modelleme de dahil olmak üzere büyük çok katmanlı katlı kavşakların 3B rekonstrüksiyonu için yapı birimlerini temel alan yeni bir teknik çerçeve önerilmiştir. Bu çerçevenin genel fikri, bütün birçok katmanlı köprüyü birçok basit “yapı birimine” bölmek ve daha sonra her bir “yapı birimini” yeniden inşa ederek tam bir 3B model elde etmektir. Bu çerçevedeki teknik içerikler şunlardır. 1) Bağlantı tabanlı bölümlendirme ve yapı birimlerinin belirlenmesi dahil olmak üzere hiyerarşik bir bölümlendirme stratejisi. 2) Üst üste binmiş yapıların tespiti ve restorasyonu için otomatik bir teknik, katlı kavşak noktalarının ham LiDAR verilerinden otomatik olarak çıkarılması için tersine çevrilmiş bir yinelemeli matematiksel morfolojik (RIMM) yöntemi kullanılmıştır.

Xu ve Xu (2018) çalışmasında öncelik ile, arazi / su kütesinin birleşim yerlerini sınırlandırmak için chain-code-based (zincir-kod tabanlı) bir filtreleme yöntemi önerilmiştir. Bu filtre yöntemi sonucu ortaya çıkan, arazi ve su kütesi birleşim yerleri (kıyı sınırlandırması) değerlendirmeye alınmıştır. Son işlem olarak ise bu kıyı sınırlarından aday köprü noktalarını çıkarmak için bir açı test işlemi gerçekleştirilmiştir.

Literatür özetinin geri kalanı tamamen nesnelere çıplak yeryüzü arasındaki ayrımı ele alan filtreleme algoritmaları üzerine durulmaktadır. Böylelikle, hava LiDAR verilerini filtrelemek için kullanılan yeni fikirlerin gösterilmesi amaçlanmaktadır. Bu fikirler algoritmaların tasarım aşamasında, nesnelere ve çıplak zemine bakış açımızın

farklı olabileceğini göstermektedir. Tasarım açısından bakıldığında ise, filtreleme algoritmaları arasındaki ortak özelliklere bakmak farklı bir filtreleme algoritması geliştirmemizde yahut mevcut filtreleme algoritmasının iyileştirilmesinde faydalı olacaktır.

Vosselman (2000) çalışmasında çıplak zemindeki gradyanlar (değişim-eğim) sınırlıdır varsayımına dayanan, eğim bazlı bir filtreleme geliştirilmiştir. Bu filtre aynı zamanda matematiksel morfoloji kavramlarına da dayanmaktadır. Vosselman tarafından tasarlanan bu filtre genellikle yarıçapı ters çevrilmiş bir huni şeklinde bir yapı elemanı kullanarak çıplak zeminin lokal geometrik yapısına yaklaşmaktadır. Yapılandırma elemanı, çıplak zemindeki herhangi iki nokta arasındaki, mesafeye göre maksimum yükseklik farkına dayanmaktadır. Bir yapılandırma elemanı (eşik değeri) bir nokta üzerinde ortalanır (planimetrik) ve daha sonra noktaya değene kadar kaldırılır. Bundan sonra, eğer yapılandırma ögesinin altında komşu nokta yok ise, nokta çıplak zemin olarak kabul edilir, aksi takdirde nesne olarak kabul edilir. Bu algorithmada (Petzold ve ark., 1999), ilk önce zorlu bir arazi modeli oldukça büyük boyutlu hareketli bir pencerede bulunan en düşük noktalarla hesaplanmıştır. Yükseklik farkı verilen bir eşiği aşan tüm noktalar filtrelenir ve daha kesin bir SAM belirlenmiştir. Bu adım, her seferinde pencere boyutunu küçülterek birkaç kez tekrarlanmıştır. Sonuç, son pencere boyutundan ve altındaki noktaların arazi noktaları olması beklenen son eşikten etkilenmiştir. Küçük bir pencere boyutu, sözde çıplak zemin noktaları dosyasında kalan büyük binalarda noktalara yol açar. Büyük bir pencere boyutu, arazi düzeltir ve süreksizlikleri giderir. Son adımda kabul edilen yüksek bir eşik değeri, toprak noktaları olarak sınıflandırılan birçok bitki örtüsüne yol açar ve küçük bir eşik, küçük arazi süreksizliklerini tekrar kaldırmıştır. Parametreler arazinin morfolojisine bağlıdır ve düz, engebeli ve dağlık bölgeler için farklı olmalıdır. Bu algoritmanın bir başka çeşidi ise (Kilian ve ark., 1996) tarafından sunulmuştur. Bu algorithmada ise her tekrarlamada pencere boyutu artar. Ayrıca, yükseklik eşiğine giren her yineleme noktasına, pencerenin boyutuyla doğrudan orantılı bir ağırlık atanır (düz zemindeki noktalara ağırlık atanmıştır). Son olarak, tüm yinelemelerde biriktirilen en büyük ağırlığa sahip olan noktalar çıplak zemin olarak sınıflandırılır ve kalan noktalar nesne olarak sınıflandırılmıştır.

Kraus ve Pfeifer (2001) çalışmasında çıplak zemin parçalı (yapı birimlerine ayrılması), sürekli üst üste gelen yüzeylerin bir yamasıdır varsayımına dayanan bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algorithmada arazinin türetilmesi orijinal noktaların sınıflandırılmasının yanı sıra hiyerarşik bir yöntemle gerçekleştirilmiştir. Her bir hiyerarşi

seviyesinde, noktaların sınıflandırılması ve yüzey türetmesi için sağlam en yakın nokta enterpolasyonu yapılmıştır. Arazinin kaba bir yaklaşımı, önce ilgili hiyerarşi seviyesinin noktaları kullanılarak hesaplanmaktadır. Noktaların bu yaklaşık yüzeye dikey mesafesi (artakalan) daha sonra tüm noktalara ağırlık vermek için bir ağırlık fonksiyonunda kullanılmaktadır. Bu yaklaşık yüzeyin üzerindeki noktalara küçük, altındakilere ise büyük bir ağırlık verilir. Daha sonra, yüzey ayrı ayrı ağırlıklar göz önünde bulundurularak kriging yöntemi kullanılarak yeniden hesaplanmaktadır. Bu şekilde, yeniden hesaplanan yüzey, düşük noktalara çekilmektedir. İşlem, belirli sayıda tekrarlama ulaşılincaya kadar yinelenir veya hesaplanan yüzey, yinelemelerin tamamlanmasından sonra, yüzeyin üstünde (veya altında) yüksekliğine bağlı olarak bir nokta etiketlenmektedir.

Axelsson (1999) da çıplak zemin yerel ve küresel çapta düzdür varsayımına dayanan bir algoritma geliştirilmiştir. Axelsson' un aşamalı TIN (Triangulated Irregular Network) yoğunlaştırma algoritması; çıplak zeminin komşuluğuna dayanan ilk yaklaşımı ele alır. En yakın komşu noktaya olan açı (θ) ve en yakın komşu noktaya olan uzaklığa (r) eşik değerlerine dayanarak çıplak zemine yaklaşımını belirtmektedir. TIN, nihai yoğunlaştırmadan sonra elde edilen üçgenlemedir. Yani algoritma, yükseklik farkını ve en yakın üçgene olan açıyı temel alan zemin olmayan noktaları kademeli olarak kaldırır. Bu algoritmanın asıl gücü, kentsel alanlarda özellikle yararlı bir özellik olan süreksizlik içeren yüzeyleri açıkça modelleyebilmesidir.

Sithole ve Vosselman (2001) çalışmasında adaptif eğim bazlı filtre algoritması kullanılmıştır. Algoritmada çıplak zemindeki gradyanlar (değişim-eğim) yerel olarak sınırlandırılmıştır. Bu filtre Vosselman tarafından geliştirilen eğim tabanlı filtrede bir çeşittir. Vosselman'ın filtresinde her noktada uygulanan yapılandırma elemanı aynıdır. Bu, çıplak zeminin dik olduğu arazilerde filtrelerin uygulanmasını sınırlar. Algoritmanın dik eğimlerde performansını arttırmak için, bu filtrede, yapılandırma elemanının şekli, çıplak zeminin eğimi ile uyumlu olarak değiştirilir. Çıplak zeminin kaba bir yaklaşımı, nokta bulutunun ızgaralanması (gridlenmesi) ve ızgara değerlerinin her ızgaradaki en düşük noktadan türetilmesiyle elde edilir. Bu ızgaradan (veya görüntüden) bir eğim (gradyan) haritası elde edilir. Algoritma, orijinal eğim temelli filtrelemede olduğu gibi çalıştırılır. Ancak bu filtrelemede bir noktadaki yapılandırma elemanının şekli, altındaki gradyan (değişim-eğim) haritasındaki eğim ile aynı hizada ayarlanır.

Roggero (2001) çalışmasında adaptif eğim bazlı filtreleme algoritmasında bir başka değişken belirtilmiştir. Bu filtrede, yapılandırma elemanının şekli, bir noktada çıplak zeminin eğimine de uyarlanmıştır. Çıplak zemin bilinmediğinden, yerel bir

doğrusal regresyon kriteri kullanılarak tahmin edilir. Doğrusal regresyonda, her nokta komşuluktaki en düşük nokta ile karşılaştırılır. En düşük noktalardan uzaklık ve yükseklik farkı ağırlıklandırılmış ve doğrusal regresyonda gözlemler için kullanılmıştır. Mesafeler ve yükseklik farkları, en düşük noktadan en uzak noktaların, hattın parametrelerine daha az katkıda bulunacak şekilde ağırlıklandırılır. Varsayım, bir noktanın, en düşük noktadan, yerel eğim üzerindeki etkisinin daha az etkide olduğu şeklindedir. Tahmini parametreler ve standart sapmaları, regresyon çizgisinden maksimum yükseklik farklarını en düşük noktadan belirlenmiş mesafelerde hesaplamak için kullanılır. Regresyon çizgisinin üzerindeki bu maksimum yüksekliklerden bir eğri elde edilir. Bu eğri ilk çıplak zemini temsil eder. İlk çıplak zemin belirlendikten sonra, noktalar ilk çıplak zeminden uzaklıklarına bağlı olarak, çıplak zemin, nesne veya sınıflandırılmamış olarak sınıflandırılmıştır.

Haugerud ve Harding (2001) çalışmasında TIN Seyrekleştirme, De-spiking filtresi algoritması geliştirilmiştir. Algoritma çıplak zemindeki eğrilik sınırlıdır varsayımına dayanır ve yerel yüzey sapmalarına katkılarına dayanarak noktaları sınıflandırır. Algoritma, arazi yüzeyinin kendinden pürüzsüz olduğunu ve kuvvetli eğrilik gösteren noktaları çıkarmaya devam ettiğini varsayar. İlk önce, bir TIN üretilir. Daha sonra, algoritma özellikle keskin yukarı doğru dışbükeylerde yerel kuvvetli eğriliği arar. Böyle bir nokta bulunduğunda, nokta buluttan çıkarılır ve diğer hesaplamalarda kullanılmaz. Bir kerede bir yerel ayardan yalnızca birkaç nokta kaldırılır ve bu nedenle yerel güçlü eğrileri arama işlemi yinelemelidir. Yeni tanımlanmış sayısal arazi dışındaki nesne dönüşlerin oranı % 0,1' in altına düştüğünde yinelemeler durdurulur.

Elmqvist ve ark. (2001) de aktif eşyükselti eğrisi modelleri algoritması kullanılmıştır. Algoritma çıplak zemin parça parça sürekli yüzeylerin bir yamasıdır varsayımına dayanır. Bu algoritma aktif şekil modelleri kullanarak zemin yüzeyini tahmin eder.

Brovelli ve ark. (2002) çalışmasında kenar tabanlı kümeleme algoritması kullanılmıştır. Algoritma kapalı kenarların içindeki noktalar nesnelere aittir varsayımına dayanmaktadır. Bu yöntem aynı zamanda etiketlemeyi (sınıflandırma) geliştirmek için karşılık gelen ilk lazer darbesi ile son lazer darbesi noktaları arasındaki yükseklik farkını kullanır.

Wack ve ark. (2002) çalışmasında minimum blok sınıflandırması algoritması kullanılmıştır. Algoritma bir komşuluktaki en düşük nokta çıplak zemine aittir varsayımına dayanmaktadır. Bu algoritma (Kilian ve ark., 1996) morfolojik filtreleri

üzerindeki çalışmalarının bir çeşididir. Bu algoritmada (Wack ve ark., 2002) nesne raster elemanları hiyerarşik bir yaklaşımla tespit edilir.

Sohn ve Dowman (2002) çalışmasında aşamalı TIN yoğunlaştırma / düzenleme yöntemi kullanılmıştır. Algoritma bir TIN' in iki aşamalı ilerici bir yoğunlaştırmasına dayanmaktadır. Yoğunlaştırma sonunda TIN' deki noktalar, çıplak yeryüzünün bir temsili olarak kabul edilir. Diğer noktalar ise nesne olarak kabul edilir. Aşağı doğru yoğunlaştırmada, nokta bulutunun dikdörtgen sınırlarının köşelerine en yakın dört nokta seçilir ve üçgenleştirilir. Her üçgenin içindeki en düşük nokta üçgenlemeye eklenir. Bu süreç yeni üçgenleme için tekrarlanır. Bu yoğunlaşma ve yeniden üçgenleşme süreci, altında hiçbir üçgen bulunmayana kadar tekrar edilir. TIN' deki noktalar çıplak yeryüzünün bir parçası olarak kabul edilir.



2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Hava LiDAR Teknolojisi

Fotogrametri ve uydu uzaktan algılama, haritalamadaki gelişmelere en fazla katkıda bulunan disiplinler arasındadır. Birlikte, arazi rölyefini (kabartma) büyük ölçeklerde, metre altı hassasiyetlerde ve nispeten kısa sürede haritalandırmayı mümkün hale getirmektedirler.

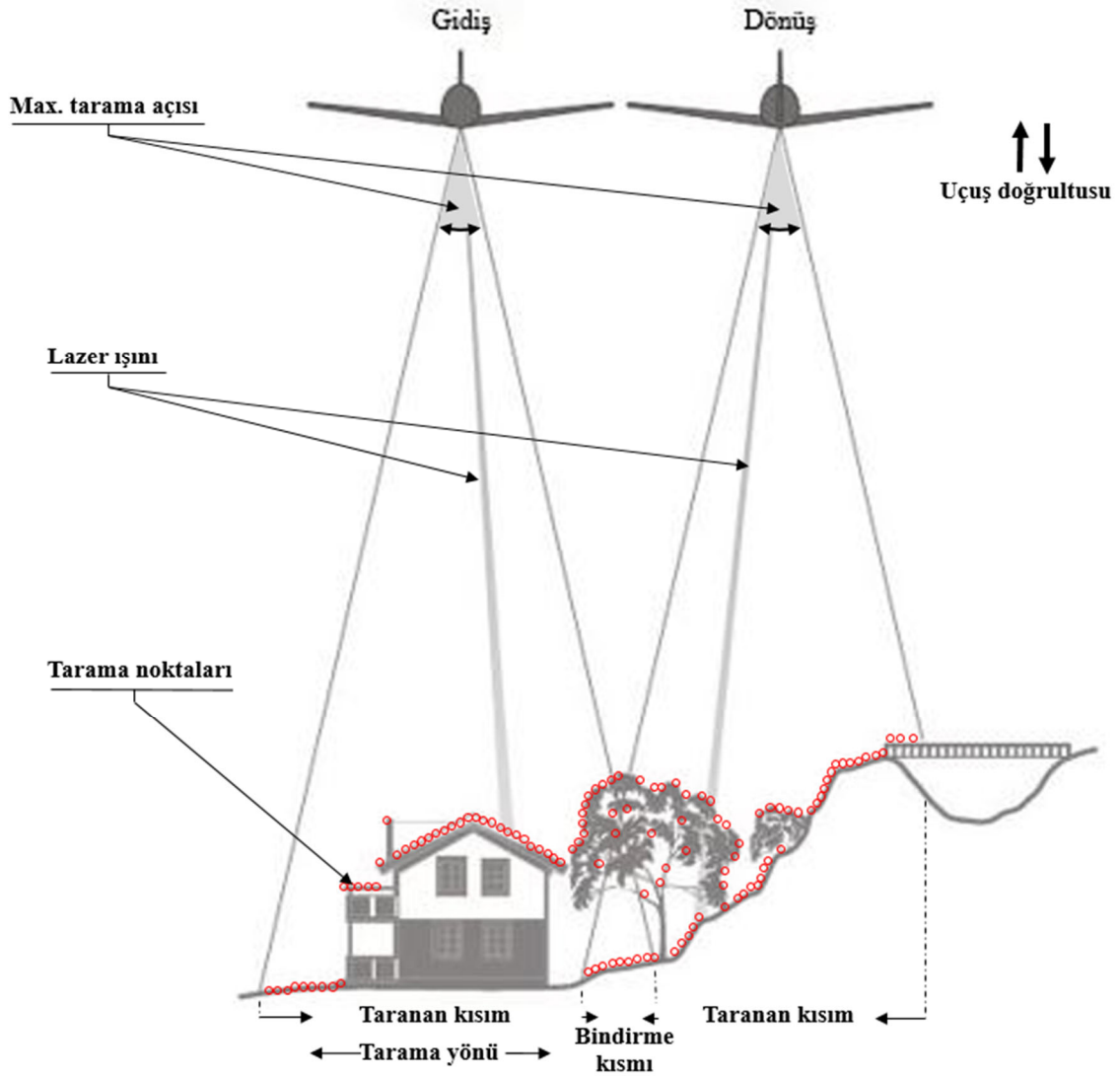
Halihazırda yapılan tüm ilerlemelere rağmen, daha hızlı, daha ucuz ve daha doğru dijital arazi teknikleri hala aranmaktadır. Son yıllarda, hava LiDAR teknolojisi arazilerin 3B modelini oluşturmak için kullanılan bir ölçüm tekniği olarak ortaya çıkmıştır. Yaygın olarak LiDAR yazılan ve LADAR veya lazer altimetri olarak da bilinen LiDAR, ışığı algılama ve uzaklık tayini için kullanılan bir kısaltmadır. Fotogrametri ile karşılaştırıldığında hava LiDAR arazinin oldukça yoğun (1 nokta / m² veya daha yüksek) ve hassas nokta bulutlarını yükseklikte (0,15-0,25m) ve planimetrik (0,30-0,40m) nispeten kısa sürede elde etmemizi sağlayabilen aktif bir sistemdir. Hava LiDAR' ı daha etkileyici yapan etkenler:

- Günün herhangi bir saatinde kullanılabilir,
- Orman kanopilerinden nüfuz eder,
- Uçuş işlemi gerçekleşmeden önce yer kontrol noktaları tesisine ihtiyaç yoktur,
- İnsan sağlığına zararlı olmaması, çevresel bir teknoloji olması,
- Gerçek araziye dijital formatta kolayca çıkarılır.

Hava LiDAR topografik haritalama, bitki örtüsü haritalama (ormanlar, engebesiz arazi vb.), koridor haritalama (yollar, demiryolları, elektrik hatları vb.), kentsel modelleme (şehir manzaraları, kablosuz iletişim vb.), mühendislik için kullanılan işler (hacim hesaplamaları vb.) ve kıyı mühendisliği ve yönetimi işlerinde kullanılmaktadır (URL.2).

Hava lazer cihazları, reflektörsüz bir lazer sensöründen, GNSS (Global Navigation Satellite System) ve uluslararası navigasyona dayalı bir konumlandırma sisteminden oluşan ve genellikle bir dijital kamera veya başka bir ek kayıt cihazı ile donatılmış çoklu sensör sistemleridir. Hava aracı alanın üzerinde uçarken, lazer sensörü yere doğru darbeler yayar (cihaza bağlı olarak saniyede 250000 darbeye kadar). Darbeler,

ışık hızında hareket eder (saniyede 300000 km). Toprağa çarptıktan sonra, darbeler yansıtılır ve yansıyan enerjinin bir kısmı, yüzeyin yansıtma özelliklerine bağlı olarak, lazer sensörünün alıcı kısmına ulaşır (Lemmens, 2011). Şekil 2.1’ de araziyi şeritler halinde tarayan ve şeritlerden yapılan taramaları bir nokta bulutu oluşturmak için birleştirilen, havadan LiDAR uçuşu gösterilmiştir. Taramalar genellikle uçuş hattına doğrusal ve diktir.



Şekil 2.1 Havadan lazer taraması (Sithole, 2005)

2.1.1. Hava LiDAR Sisteminin Bileşenleri

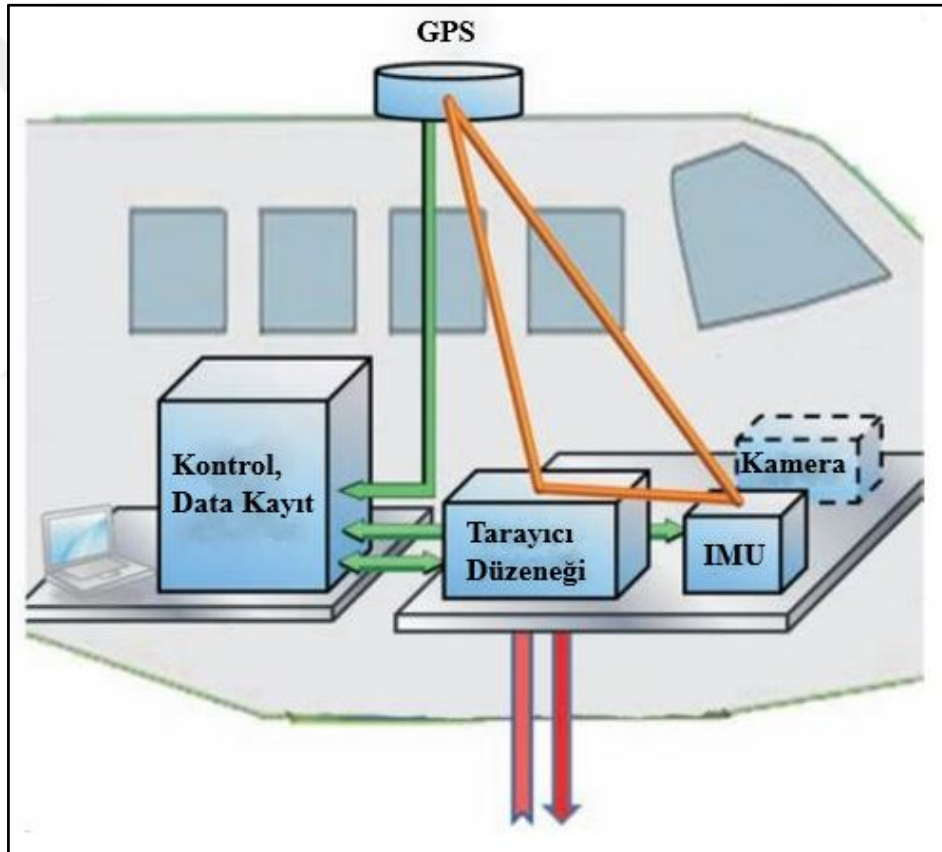
Bir LiDAR sistemi, bir lazer ölçüm ve tarama ünitesinden ve bir konum ve yönlendirme sisteminden yani POS (Positioning and Orientation System) sisteminden oluşur. POS sistemi ise küresel konumlandırma sistemi olan GPS (Global Positioning

System) ve ataletsel bir ölçüm ünitesi olan IMU (Inertial Measurement Unit)' dan oluşmaktadır. Lazer tarayıcı sensörden toprağa mesafeleri ölçerken, entegre GPS/IMU gözlemleri platformun konum ve dönüklük bilgilerini sağlar.

Hava LiDAR sistem bileşenleri Şekil 2.2' de gösterilmiştir (Vosselman ve Maas, 2010).

Tarayıcı düzeneği : Lazer, tarama mekaniği ve optiğini içermektedir. Hava aracına monte edilmiş olan lazer sistemi, hava aracı uçarken sürekli olarak araziye lazer darbelerini gönderir ve alır.

Gps anteni : Anten, GPS uydularına kesintisiz bir görünüm sağlayan uçağın üzerine açık bir konuma monte edilmiştir.



Şekil 2.2 Havadan bir lazer tarayıcının bileşenleri (Vosselman ve Maas, 2010)

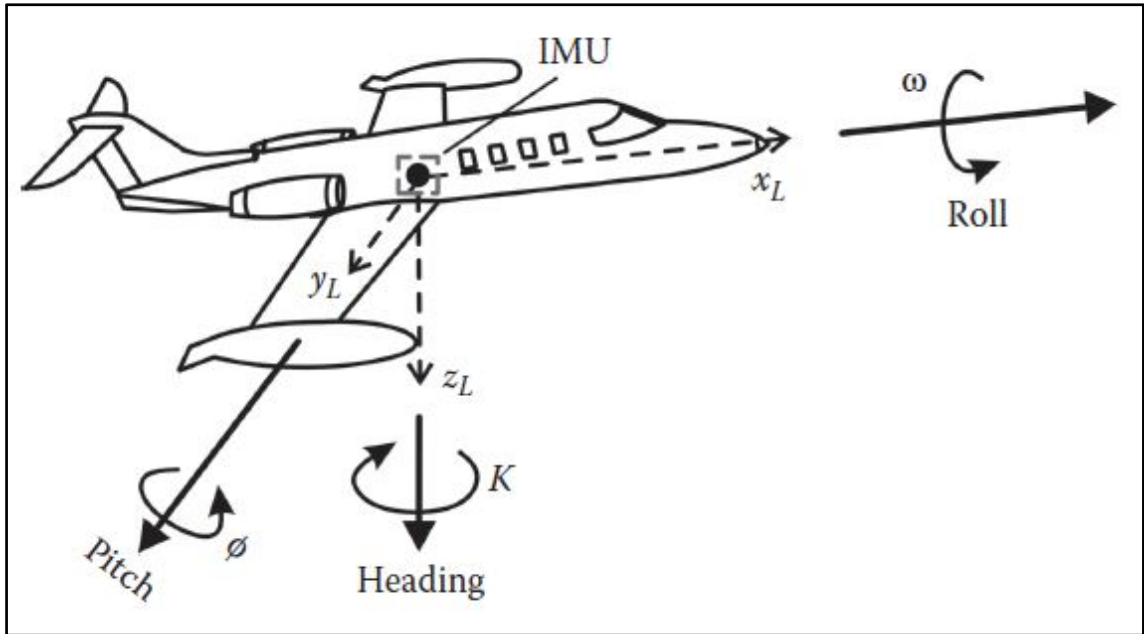
Atalet ölçüm birimi (IMU): IMU ya doğrudan lazer tarayıcıya sabitlenir ya da sabit bir tarama platformuna yakındır. Platform pozisyonunun GPS yörüngesinde enterpolasyonunu desteklemek için hızlanma verileri kullanılabilirken, platform yönünü belirlemek için rotasyon oranları kullanılır. Hava LiDAR bileşeni IMU sistemleri uçuş mekanizmasının ivme ve dönüklük değerlerini belirlemektedir. Bu üç boyutlu dönüklük

değerlerinde en kolay Euler açıları olan “Yaw (κ), Pitch (ϕ), Roll (ω)” değerleri kullanılmaktadır. Şekil 2.3’ de IMU yöneltme açıları gösterilmiştir (Wehr, 2018).

Yaw (κ) açısı : Hava cihazının gövdesinin sol-sağ yönde hareketiyle meydana gelir.

Pitch (ϕ) açısı : Hava cihazının ön tarafının aşağı-yukarı yönde hareketiyle meydana gelir.

Roll (ω) açısı : Hava cihazının kanat kısımlarının aşağı-yukarı yönde hareketiyle meydana gelir.



Şekil 2.3 IMU yöneltme açıları (Wehr, 2018)

Kontrol ve veri kayıt ünitesi : Zaman senkronizasyonundan ve tüm sistemin kontrolünden sorumlu olan cihazdır. Tarayıcı, IMU ve GPS tarafından toplanan dönüklük ve konumlandırma verilerini depolar. Saniyede 300000 lazer darbesi üreten modern lazer tarayıcılar saatte yaklaşık 20 Gbyte veri üretirken, GPS ve IMU verileri saatte sadece yaklaşık 0.1 Gbyte' ye kadar çıkabiliyor (Vosselman ve Maas, 2010).

Operatör Bilgisayarı : Kontrol ve veri kayıt ünitesi ile iletişim, görev parametreleri ayarlamak ve sistemin ölçüm sırasındaki performansını izlemek için bir iletişim aracı görevi gören cihazdır.

Uçuş yönetim sistemi: Pilotun, önceden hazırlanmış uçuş hatlarını görüntüleyerek görevi tamamlamasında destek sağlayan cihazdır.

Bir hava lazer tarayıcının GPS yer istasyonu ile bağlantısı da önemlidir. Yer istasyonu, çevrimdışı diferansiyel GPS (DGPS) hesaplaması için referans istasyonu olarak hizmet eder. Diferansiyel GPS, kesin konum tespitini bozan atmosferik etkileri telafi etmek ve desimetre doğruluğunu sağlamak için çok önemlidir. Değişen atmosferik koşullarla başa çıkabilmek için, uçakla GPS yer istasyonu arasındaki mesafe 30 km'yi geçmemelidir (Vosselman ve Maas, 2010).

Hava LiDAR tarayıcı sistemleri genellikle orta büyüklükteki bir dijital kamera sistemi ile tamamlanmaktadır. Nokta bulutu verileriyle aynı anda alınan görüntü verileri, arazi nesnelerini yalnızca nokta bulutu verilerinden tanımanın zor olduğu durumlarda, nokta bulutu verilerinin yorumlanmasında önemli ölçüde destek sağlayabilir. Görüntü verileri genellikle daha iyi bir çözünürlük sunar ve 3B nokta bulutu verilerini görüntü verisi yardımı ile işlemek için altlık oluşturur.

2.1.2. Hava LiDAR Çalışma Prensipleri

LiDAR noktalarının koordinatları, sistem bileşenlerinin her birinden elde edilen ölçümlerin yanı sıra bu bileşenlere ilişkin parametrelerinin birleştirilmesinin sonucudur. Sistem ölçümleri ve parametreler arasındaki ilişki (2.1) LiDAR denkleminde gösterilmiştir.

$$\vec{X}_G = \vec{X}_0 + R_{yaw,pitch,roll} \vec{P}_G + R_{\Delta\omega,\Delta\phi,\Delta\kappa} R_{S\alpha^\alpha, S\beta^\beta} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\rho \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

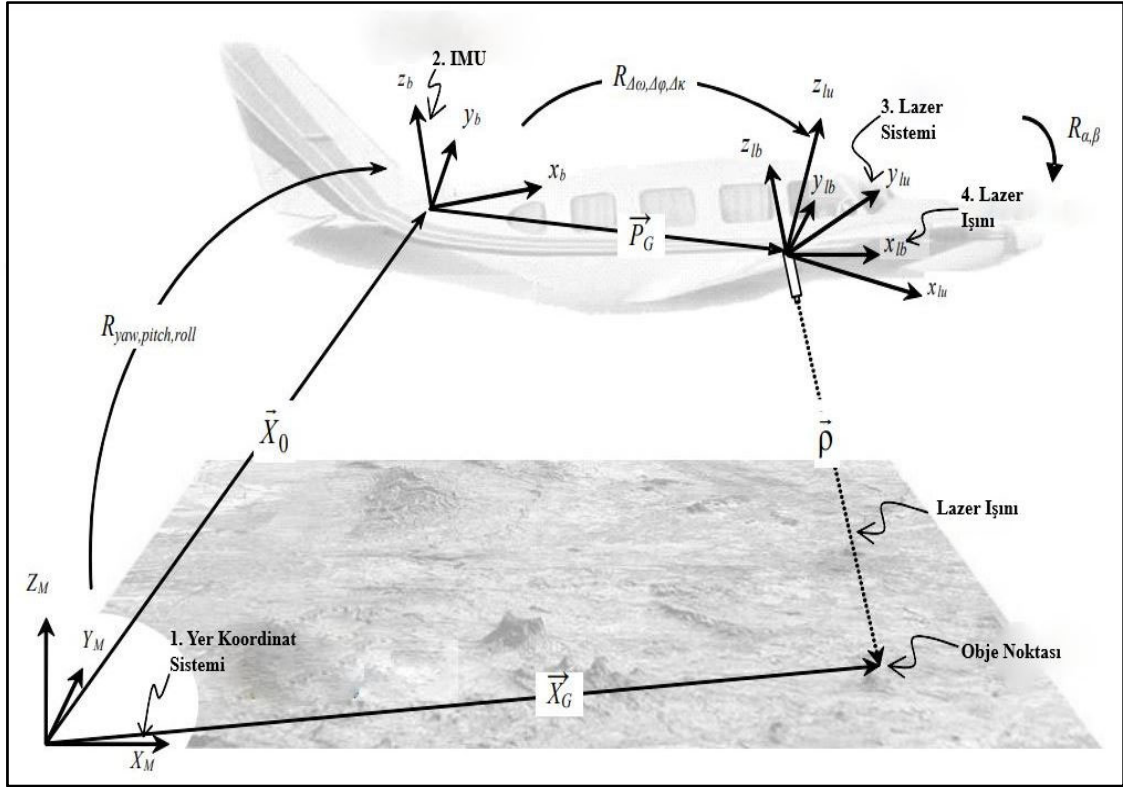
Şekil 2.4' de görüleceği gibi hava LiDAR ile veri elde etmenin matematiksel ifadesi daha anlaşılır gösterilmiştir. Lazer noktasının konumu olan (\vec{X}_G), $R_{yaw,pitch,roll}$, $R_{\Delta\omega,\Delta\phi,\Delta\kappa}$ ve $R_{\alpha,\beta}$ uygun rotasyonları uygulandıktan sonra üç vektörün (\vec{X}_0 , \vec{P}_G ve ρ) toplamı yoluyla elde edilir. (2.2) eşitliğinde lazer noktası konumu olan (\vec{X}_G)' nin vektörel toplamı gösterilmiştir (Habib ve ark., 2010).

$R_{yaw,pitch,roll}$: GPS / INS entegrasyon işlemi ile elde edilen yer ve IMU koordinat sistemlerine ilişkin rotasyon matrisini ifade eder.

$R_{\Delta\omega,\Delta\phi,\Delta\kappa}$: IMU ve lazer sistemi koordinat sistemlerine (rotasyon açısı ile tanımlanır) ilişkin rotasyon matrisini temsil eder.

$R_{\alpha,\beta}$: lazer birimi ve lazer ışını koordinat sistemlerini α ve β ile ayna tarama açılılarına sahip olan rotasyon matrisini belirtir.

IMU gövde çerçevesi ile GPS antenin faz merkezi arasındaki öteleme vektörünü göz önüne alarak \vec{X}_0 'nın GPS / INS entegrasyon işlemi yoluyla elde edildiği belirtilmelidir.



Şekil.2.4 Koordinat sistemleri ve LiDAR denkleminde yer alan nicelikler (Habib ve ark., 2010)

$$\vec{X}_G = \vec{X}_0 + \vec{P}_G + \rho \quad (2.2)$$

Bu denklemde;

\vec{X}_0 : Yer referans çerçevesinin kaynağından IMU koordinat sisteminin kaynağına kadar olan vektördür.

\vec{P}_G : Lazer ünitesi ve IMU koordinat sistemleri arasındaki vektördür (öteleme vektörü).

ρ : Büyüklüğü lazer ateşleme noktasından ayak izine olan mesafeye eşdeğer olan bir lazer menzili vektörüdür.

LiDAR eşitliğindeki ilgili niceliklerin tümü, genellikle bir kalibrasyon süreci ile belirlenen rotasyon açıları ve öteleme vektörü hariç, alım işlemi sırasında ölçülür. Yani lazer sistemi ile IMU arasındaki öteleme vektörü (\vec{P}_G) ve rotasyon matrisi ($R_{\Delta\omega, \Delta\phi, \Delta\kappa}$) ölçüm sırasında değişmeyen sabit parametrelerdir. Öteleme vektörünün literatürde geçen ismi “lever-arm offset vector” dır. Rotasyon matrisinin literatürde geçen ismi ise “boresight matrix” dir. Bu parametreler uçuş öncesi yapılması gereken yoğun kalibrasyon işlemleri ile belirlenir.

2.1.3. Hava LiDAR Veri Formatı

LiDAR verileri ilk alınmaya başlandığında ASCII (American Standard Code for Information Interchange) formatında saklanıyordu. Yalnız bu saklama şekli kullanıcılar için bir takım problemler oluşturmuştur. Bu problemlerden bazıları:

- Az miktardaki LiDAR verisi için bile ASCII dosyasının okunması ve yorumlanması çok yavaş olabiliyor,
- Yararlı bilgilerin çoğu kaybolabilir,
- Standart bir format olmaması (URL.2).

ASCII veri formatında LiDAR verilerinin bir kısmının örneği Çizelge 2.1’ de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 ASCII dosyasında LiDAR verilerinin bir kısmına örnek

GPS zamanı	Y (m)	X (m)	Z (m)	Işın şiddeti / Yansıma değeri	Tarama açısı (derece)
33981,603762	414296,200	4548503,120	115,420	214	97
33981,603765	414295,880	4548503,150	116,060	102	97
33981,603767	414295,670	4548503,150	115,470	116	97
33981,603770	414295,390	4548503,150	115,460	125	97
33981,603773	414295,100	4548503,160	115,460	91	97
33981,603775	414294,840	4548503,180	115,460	104	97
33981,603778	414294,550	4548503,190	115,450	106	97
33981,603780	414294,290	4548503,200	115,450	124	97
33981,603783	414294,020	4548503,220	115,450	95	97

LiDAR nokta bulutu verilerinin daha iyi işlenip saklanması için Amerikan Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Derneği (ASPRS), LiDAR nokta bulutu veri kayıtlarını içeren sıralı ikili sistemde olan LASer (LAS) dosya formatını oluşturmuşlardır. ASPRS tarafından 9 Mayıs 2003'te LAS 1.0 Format Standardını; 7 Mayıs 2005 tarihinde

LAS 1.1; 2 Eylül 2008' de LAS 1.2; 24 Ekim 2010'da LAS 1.3; ve 14 Kasım 2011 tarihinde LAS 1.4' ü yayınlanmıştır (URL.3).

Her LAS dosyası bir genel başlık bloğu, herhangi bir sayıda Değişken Uzunluk Kaydı (VLRs: Variable Length Records), nokta veri kaydı ve herhangi bir sayıda Genişletilmiş Değişken Uzunluk Kaydı (EVLRS: Extended Variable Length Records) içerebilir. Genel başlık bloğu, noktaların sayısı ve sınırı gibi temel özet bilgileri depolar. VLR' ler harita projeksiyonu ve diğer metaveriler gibi bilgileri depolar. EVLRS' ler çoğunlukla dalga formu verilerini depolamak için kullanılır. EVLRS' ler ilk sürümlerde yoktur, yalnızca LAS 1.3 ve 1.4' te belirtilmiştir. Bu nedenle, dalga formu LiDAR verilerinin LAS 1.3 veya daha yüksek sürümlerde saklanması gerekir. Genel başlık bloğu ve nokta veri kayıtları her zaman gerekli olsa da, VLRs' ler ve EVLRS' ler isteğe bağlıdır. Bu nedenle, bir LAS dosyasının mutlaka LiDAR verilerinin harita projeksiyonu gibi anahtar bilgileri içermesi gerekmez. Böyle bir durumda, kullanıcının bu bilgileri meta veri dosyalarından, veri raporlarından edinmesi veya veri sağlayıcısına sorması gerekmektedir. Çizelge 2.2' de bir LAS dosyasının temel yapısı gösterilmiştir (URL.3).

Çizelge 2.2 LAS dosyasının temel yapısı

LAS Dosya Bölümü	Not
Genel başlık bloğu	gerekli
Değişken uzunluk kayıtları (VLRs)	isteğe bağlı
Nokta veri kayıtları	gerekli
Genişletilmiş değişken uzunluk kayıtları (EVLRS)	isteğe bağlı

Her bir LAS dosyası, bir başlık bloğundaki LiDAR ölçümlerinin metaverilerini ve ardından kaydedilen her lazer darbesi için ayrı ayrı kayıtları içerir. Her bir LAS dosyasının üst kısmı, LiDAR ölçümlerinin kendisiyle ilgili nitelik bilgilerini tutar. Bu nitelik bilgileri veri uzantıları, uçuş tarihi, uçuş süresi, nokta kaydı sayısı, geri dönüş nokta sayısı, uygulanan veri kayması ve uygulanan ölçek faktörüdür. Bir LAS dosyasının her bir lazer darbesi için belli LiDAR noktası özellikleri korunur. Korunan bu nokta özellikleri x, y, z konum bilgisi, GPS zaman damgası, yoğunluk, iade numarası, iade sayısı (belirli bir darbenin), nokta sınıflandırma değerleri, tarama açısı, renk kodlarını içeren ek RGB değerleri, tarama yönü, uçuş hattının kenarı, kullanıcı verisi, nokta kaynağı kimliği ve dalga formu bilgisidir (URL.4).

Geri dönüş sayısı, verilen bir aktarım darbesi için kaç geri dönüş alındığını, geri dönüş numarası ise bir noktanın, darbenin ilk, ikinci veya son dönüşü olduğunu gösterir.

Örneğin, bir nokta geri dönüş sayısı 4, geri dönüş numarası 2 değerine sahipse, bu noktaya ulaşan darbenin dört dönüşü olduğuna ve bu darbenin ikinci dönüşü olduğu anlamına gelir.

Bir dijital kamera LiDAR sistemine entegre edilmişse, her lazer noktası fotogrametrik tekniklere dayalı bir görüntü pikseliyle bağlanabilir. Böyle bir durumda, bir nokta veri kaydı, ilişkili pikselin spektral (örneğin, mavi, yeşil, kırmızı ve yakın kızılötesi) değerlerini de saklayabilir. Bu tür spektral bilgiler, taranan manzaraların üç boyutlu olarak gerçekçi bir şekilde görselleştirilmesi için çok faydalıdır.

Lazer noktalarının bir LAS dosyasında depolanması için nokta veri kayıt formatlarının çeşitliliğine rağmen, her nokta veri kaydının sahip olması gereken anahtar özelliklerden biri, lazer noktasının toprağa, bitki örtüsüne, binaya, suya vb. döndürülüp döndürülmediğini söyleyen noktanın sınıflandırılmasıdır. Çizelge 2.3' de ASPRS tarafından oluşturulan LAS 1.4' de nokta bilgi kaydı formatları için tanımlanan standart bir sınıflandırma şeması gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 LiDAR nokta bilgi kaydı ASPRS tarafından oluşturulan LAS standart sınıfları (Nokta bilgi kayıt formatı 6-10 arası olanlar) (URL.3)

Sınıflandırma değeri	Anlamı
0	Sınıflandırılmamış
1	Sınıflandırılmamış
2	Zemin
3	Düşük Bitki Örtüsü
4	Orta Bitki Örtüsü
5	Yüksek Bitki Örtüsü
6	Bina
7	Düşük Gürültü
8	Rezerve
9	Su
10	Ray
11	Yol Yüzeyi
12	Rezerve
13	Tel
14	Tel
15	Elektrik Direği
16	Kablo
17	Köprü Güvertesi
18	Yüksek Gürültü
19-63	Rezerve
64-255	Kullanıcı Tanımlı

Bir lazer noktası için, sınıf muhtemelen, noktanın X, Y ve Z koordinatlarının yanındaki en önemli ikinci bilgidir. LiDAR nokta bulutundaki noktalar sınıflandırılmaz ise görsel olarak belli bir düzenden uzak karmaşık bir yapı olarak sınırlı kalır. Buna karşılık, sınıflandırılmış bir nokta bulutu son derece önemlidir. Örneğin bir kullanıcının çıplak zemini (sınıf değeri 2) olarak sınıflandırdığında bu noktaları kullanarak dijital arazi modeli (DTM) oluşturmada, 3-5 sınıf değerlerine sahip noktaları kullanarak bitki örtüsü haritalama ve 6 sınıf değerine sahip noktaları kullanarak bina noktalarını çıkarma işlemlerini yapılabilmektedir. Bu yüzden sınıflandırma işlemi birçok faydalı analiz yapılmasına izin vermektedir.

Ancak nokta sınıflarını kullanarak analizler yapılmak istenirken her zaman dikkat edilmesi gerekmektedir. Çünkü her LiDAR kullanıcısı, ASPRS tarafından standart sınıflar oluşturulmasına rağmen, kullanıcı kendi sınıf tanımlarını oluşturarak standart sınıflandırma kodlarını kullanmayabilir. Örneğin, su yüzeyinden döndürülen noktalar bir kullanıcı tarafından 9. sınıfa ve başka bir kullanıcı tarafından 2. sınıfa atanabilir. Bunun için başka bir kullanıcıdan elde ettiğimiz hava LiDAR nokta bulutundaki, nokta sınıflandırma doğruluğunu kontrol etmek amacıyla görselleştirme yazılımı kullanılmalıdır.

2.1.3. Hava LiDAR Kaynakları

LiDAR veri kaynaklarının ve bu verileri işlemek için ücretsiz yazılımların bir kısmı bu başlık altında verilmiştir.

LiDAR veri kaynakları:

OpenTopography : LiDAR ve diğer teknolojilerle elde edilen yüksek çözünürlüklü, yerbilimi odaklı, topoğrafya verilerine erişimi sağlar. Erişilen LiDAR verilerinin Google Earth konumlarına, raster veri formatına yahut filtrelenmiş nokta bulutu verilerine ve nokta bulutunun metaveri bilgilerine ulaşmak mümkündür. OpenTopography Kaliforniya, San Diego Üniversitesi ve Arizona Devlet Üniversitesi ile işbirliği içinde kurulan bir teknolojidir (URL.5).

USGS Earth Explorer : EarthExplorer kullanıcı arayüzü, Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırması (USGS) tarafından geliştirilen çevrimiçi bir arama, keşif ve sipariş aracıdır. Basit bir arama arayüzüne sahiptir. EarthExplorer, etkileşimli ve metinsel sorgulama yetenekleri aracılığıyla uydu, uçak ve diğer uzaktan algılama envanterlerinin aranmasını desteklemektedir (URL.6).

United States Interagency Elevation Inventory : Amerika Birleşik Devletleri ve bölgeleri için bilinen yüksek hassasiyetli topografik, batimetrik LiDAR verilerin kapsamlı ve ülke çapında bir listesi sunulmuştur. Görsel olarak kullanışlı bir arayüzüne sahiptir. Proje, USGS (United States Geological Survey) ve NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)'nın ve diğer federal kurumların katkılarıyla işbirliği içinde yürütülmektedir (URL.7).

LiDAR Data for the United Kingdom : Birleşik Krallık bölgeleri için ücretsiz LiDAR verilerini işleyip yayımlayan bir kuruluştur. Verilere erişebilmek için kayıt olmak gereklidir (URL.8).

LiDAR Data for Northern Spain : İspanya hükümetinin ücretsiz LiDAR verisi sağladığı, basit tabanlı bir arayüzüne sahiptir (URL.9).

GEOSUD : Fransız web sitesi, Avrupa, Asya, Afrika ve Güney Amerika ülkelerinden ücretsiz LiDAR verilerine erişim sağlamaktadır. LiDAR verilerini Google Earth formatında indirmenize imkan sağlar, basit bir arayüzüne sahiptir (URL.10).

Ücretsiz LiDAR veri işleme programları:

ALDPAT : Airborne LIDAR Data Processing and Analysis Tools açılımına sahip, zemin ve zemin dışı LiDAR verilerini ASCII metin formatına dönüştürdükten sonra LiDAR ölçümlerini sınıflandırmak için bir dizi şeffaf ve otomatik filtreleme algoritması ve LiDAR veri analizine yardımcı olmak için nokta veri setlerini inceltme, döşeme ve ızgaralama gibi bir dizi yardımcı araç içeren, kullanımı ve arayüzü basit bir programdır (URL.11).

FUSION/LDV : Yazılım başlangıçta araştırmacıların LiDAR verilerini anlamalarına, keşfetmelerine ve analiz etmelerine yardımcı olmak için geliştirilmiştir. Analiz ve görselleştirme sistemi iki ana programdan oluşur. Bu ana programlardan birincisi FUSION ve LDV (LiDAR veri görüntüleyici) ikincisi ise göreve özel komut satırı programlarından oluşur. FUSION tarafından sağlanan birincil arayüz, bir grafik ekran penceresi ve bir kontrol penceresinden oluşur. FUSION ekranı tüm proje verilerini coğrafi bilgi sistemlerine özgü 2B bir ekran kullanarak sunar. Şekil dosyaları, görüntüler, dijital arazi modelleri, kanopi yüzey modelleri ve LiDAR dönüş verileri dahil olmak üzere çeşitli veri türlerini ve formatlarını destekler. LDV, mekansal olarak açık veri alt kümelerinin incelenmesi ve ölçümü için 3B görselleştirme ortamı sağlamaktadır (URL.12).

GRASS GIS : Geographic Resources Analysis Support System açılımına sahip, coğrafi bilgi sistemi başlığı altında coğrafi veri yönetimi ve analiz, görüntü işleme, grafik ve haritalar üretim, mekansal modelleme için kullanılan açık kaynak kodlu (CBS) yazılım paketidir. GRASS GIS, temel ve gelişmiş LiDAR veri işleme ve analizini de desteklemektedir (URL.13).

LAStools : LiDAR noktalarının LAS formatından okunup yazılmasını sağlayan, kullanımı kolay başka bir uygulamada da kullanılabilen bir arayüze sahiptir. LiDAR verilerini sınıflandırmak, dönüştürmek, filtrelemek, rasterlemek, üçgenlemek, konturlamak, kırmak özelliklerine sahiptir (URL.1).

Full Analyze : Topografik LiDAR verilerini (nokta bulutları ve dalga formlarını) kullanarak, işlemek ve görselleştirmek için kullanılan açık kaynaklı bir yazılımdır (URL.14).

MCC-LiDAR : Genellikle ormanlık alanlar için işlem yapılmış LiDAR verilerini işlemek için bir C++ uygulamasıdır. Çok Noktalı Eğrilik Sınıflandırma algoritmasını kullanarak veri noktalarını çıplak zemin veya zemin üstü nesnelere olarak sınıflandırmaktadır (URL.15).

FugroViewer : Kullanıcıların coğrafi verilerden en iyi şekilde yararlanmasına yardımcı olmak için tasarlanmış kolay bir yazılımdır. Fotogrametrik, LiDAR kaynaklarından gelen veriler dahil olmak üzere çeşitli raster ve vektör tabanlı veri kümeleriyle kullanımı için geliştirilen yazılım, verileri görüntüleme, analiz etme işlemlerini gerçekleştirmektedir (URL.16).

2.2. LiDAR Nokta Bulutundan Köprülerin Tespiti

Hava LiDAR nokta bulutundan köprülerin ve üst geçitlerin otomatik çıkarımı için takip edilen işlem sırası Şekil 2.5' deki işlem şemasında gösterilmiştir.



Şekil 2.5 İzlenen işlemler şeması

Çalışma materyallerinin elde edilme şekli bölüm 3.1.' de anlatılacaktır. Elde edilen veriler daha kolay işlenmesi ve hızlı sonuçlar alınması için *Global Mapper* ticari yazılımı ile köprü ve üst geçitler çalışma bölgelerine ayrılmıştır. Elde edilen verilerden özellikle İstanbul çalışma bölgeleri yoğun gürültü değerlerine sahiptir. İlerleyen işlemlerde daha kaliteli sonuçlar elde etmek ve istenmeyen sonuçların elimine edilmesi için *lasnoise* modülü ile verilerdeki gürültü değerleri filtrelenmiş ve kaldırılmıştır.

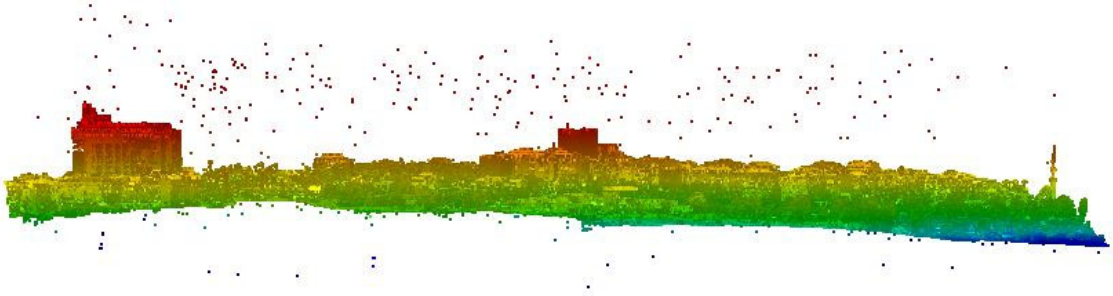
Lasground modülü ile aşamalı düzensiz üçgen ağ yoğunlaştırma yöntemi kullanılarak hava LiDAR nokta bulutu çıplak zemin ve zemin üstü noktalar olarak filtreleme işlemi yapılmıştır. Elde edilen nokta bulutundan çıplak zemin elimine edilerek, geri kalan zemin üstü nokta bulutuna *lasclassify* modülü ile işlem yaparak köprü çıkarımı yapılmıştır. Bu çıkarım sonuçlarının nitel doğruluk analizlerinin yapılabilmesi için çalışma bölgelerine ait LiDAR verilerine projeksiyon parametreleri girilmiştir. Çıkarılan köprü ve üst geçit alanlarına nicel doğruluk analizleri uygulamak için ise, referans köprü ve üst geçit alanları ile karşılaştırılması yapılarak sınıflandırılan nesne hakkında doğruluk, hassasiyet ve kalite sonuçlarına ulaşılmıştır.

2.2.1. Gürültü Değerlerinin Filtrenmesi

Birçok LiDAR nokta bulutu kümesi, çıplak zemin yüzeyinin çok üstünde veya çok altında olan noktalar içerir.

Düşük aykırı değerler: Bunlar normalde araziye ait olmayan noktalardır. Lazer mesafe bulucudaki çok yollu hata ve hatalardan kaynaklanırlar. Çoğu filtre, bir nokta bulutundaki en düşük noktaların çıplak zemine ait olması gerektiği varsayımına dayanır. Bu noktalar doğal olarak aşırı düşük yükseklikte olmaları ile hemen göze çarparlar ve bu yüzden filtre kurallarının bir istisnasıdır. Birçok algoritma, daha düşük bir noktaya komşu olan noktaların bir nesneye ait olması gerektiği varsayımına da dayanır. Yapılan uygulamalarda bu varsayımın genellikle doğru olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, en düşük noktanın bir gürültü noktası olduğu durumlarda, varsayım tamamen başarısız olur ve düşük gürültüdeki noktaların aşınmasına neden olur. Bu yüzden çoğu algoritmanın çalışmasındaki olumsuzlukları asgari düzeye çekmek için, gürültü noktalarının veri kümesinden ayıklanması gereklidir.

Yüksek aykırılıklar: Bunlar normalde araziye ait olmayan noktalardır. Kuşlar, alçaktan uçan uçaklar veya lazer ünitesi hataları gibi nesnelere kaynaklanırlar. Çoğu filtre bu özellikleri kolayca filtreleyebilir, çünkü komşu noktaların çok üzerinde bir yükseklikte olurlar. Nokta bulutuna sadece bulutun eksiksiz olması için dahil edildikleri görülmüştür. Gürültü değerleri içeren F21-c-20-c-1-d paftasına ait İstanbul çalışma bölgesinin LiDAR nokta bulutu görüntüsü Şekil 2.6’da gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Profilden LiDAR veri kümesi gürültü değerleri

Bu tez çalışmasındaki çalışma bölgelerindeki gürültü değerlerini filtrelemek için *LAStools* uygulamasının *lasnoise* modülü ile gürültü noktaları işaretlenip kaldırılmıştır. Modül belirli noktalara göre yalıtılmış noktaları araştırır. Çizelge 2.4’de *lasnoise* modülü ile kullanıcı tarafından belirlenen parametreler sunulmuştur (URL.17).

Çizelge 2.4 *LAStools* uygulaması *lasnoise* modül parametreleri

Adım_xy (m)	Adım_z (m)	İzole (adet)	Gürültü değerlerine karar
1,00	1,00	4,00	noktaları kaldır

Uygulamada filtreleme sonucunu kontrol eden; adım_xy (step_xy), adım_z (step_z), izole, gürültü değerlerine karar (treatment of noise points) başlıklı dört parametre vardır.

LiDAR nokta bulutuna kullanıcının tanıttığı xy grid hücre boyutu, z grid hücre boyutu değerlerine göre ‘a x a x h’ ebatlarında üç boyutlu oluşan bir kare prizma arama şekline ayrılır. Oluşturulan şeklin içine kullanıcı tanımlı olarak izole edilecek nokta adeti sayı değeri girilir. Örneğin, oluşturulan şeklin içine düşen 4 tane yahut 4’ den az noktalar gürültü değeri olarak etiketlenir. Son parametre değerinde ise gürültü noktaları kullanıcı tanımlı olarak kaldırılır yahut LAS şartnamesine uygun 7 veya 18 numaralı sınıf değerlerine atılır.

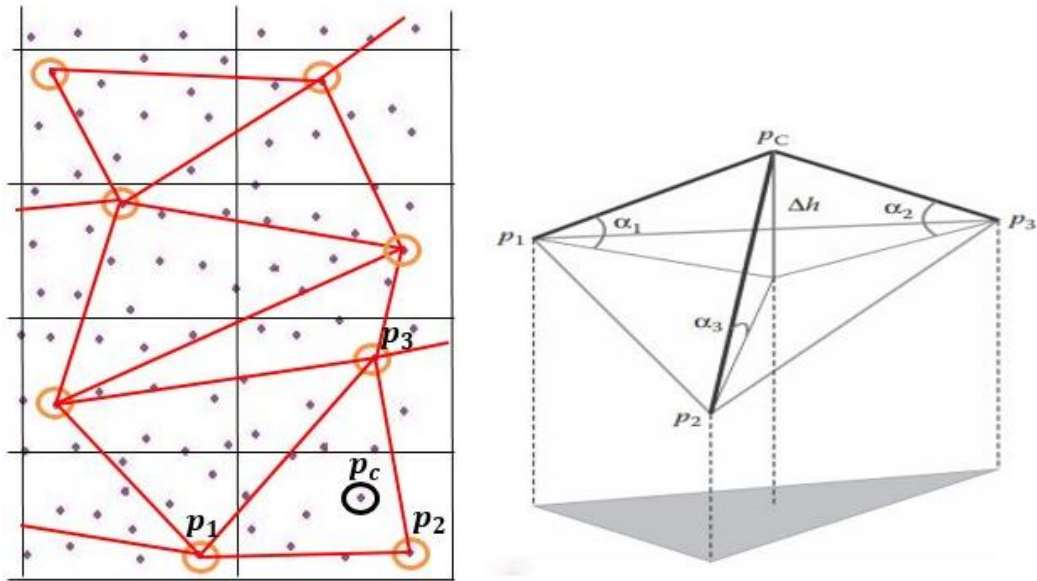
2.2.2. Çıplak Zeminin Çıkarımı

Tez çalışmasının bu kısmında *LAStools* uygulamasının *lasground* modülü kullanılmıştır. Modül ile gelen Aşamalı Düzensiz Üçgen Ağ Yoğunlaştırma (PTIN) filtrelemesi, (Axelsson, 1999) tarafından geliştirilen filtreleme yöntemidir.

Aşamalı TIN tabanlı bir filtre, toprağın pürüzsüzlüğüne dayalı olarak zemin olmayan noktaları kaldırır. Bu algoritma, zemin alanlarının genellikle çıplak arazi yüzeylerinde keskin köşeleri olmayan pürüzsüz yüzeyler olduğunu varsaymaktadır. Algoritma çalışmasında, hava LiDAR nokta bulutunu büyük ebatlarda gridleyerek grid hücrelerinde mevcut olan en düşük kottaki noktaları, üçgenleme yaklaşımının tohumları (referans zemin noktaları) olarak kullanır. Başlangıç olarak grid hücreleri içerisinden seçilen en düşük kotlu nokta kümesi, ilk referans yüzeyini oluşturmak için üçgenlenmiştir. Yani bir nokta veri tabanına dayanarak, bu yöntem önce bir TIN modeli oluşturur. Her üçgen için, bu üçgen tarafından oluşturulan dikey prizma içinde kalan sınıflandırılmamış noktalar incelenerek bir ek zemin noktası belirlenir. Bu ek zemin noktaları belirlenirken, aday noktanın bir önceki oluşturulan referans üçgen yüzeyine olan mesafesi ve aynı aday noktanın referans üçgen köşelerine çizilen doğru ile referans üçgen

düzlemi arasındaki α_1, α_2 ve α_3 açıları analiz edilir. Referans üçgen prizmanın içerisinde kalan her aday nokta için mesafe ve açı değerleri şartları aranır. Aday noktanın referans üçgen yüzeyine olan yükseklik mesafeleri seçilen eşik yükseklik değerinden yakın ise aday nokta çıplak zemin olarak kabul edilir. Referans üçgen köşelerinden aday zemin noktasına kadar olan kenarlar arasındaki α_1, α_2 ve α_3 açıları belli bir değer altında ise nokta çıplak zemin olarak kabul edilir. Algoritma tarafından eşik değerlerin altında mesafelerin ve belli açı değerlerinin altında olan bir aday zemin noktası bulunursa, bu aday nokta bir zemin noktası olarak sınıflandırılır ve algoritma bir sonraki üçgene geçer. Bu yeni noktalar üçgenleme kuralına eklenir ve algoritma bir sonraki eklenecek yüzey noktası için devam eder. Üçgende daha fazla nokta yok ise, belirli bir zemin noktası yoğunluğuna ulaşıldığında veya kabul edilebilir tüm noktaların bir eşik değerinden daha yakın olması durumunda algoritma durur.

Bu filtre ilk, son veya çoklu geri dönüşü kullanabilir. Sonuçlar, filtrenin küçük binaları ve çoğu köprüyü başarıyla kaldırdığını, ancak bazı büyük ve düşük binaları çıkaramadığını gösterdi. Bunun nedeni, filtrenin ortalama değerleri (medyan) hesaplamak için sabit bir pencere boyutu kullanması ve pencere boyutundan daha büyük olan nesnelere kaldırmakta başarısız olmasıydı. Ayrıca, yerel noktalara göre genellikle çok düşük değerler olan ve bazı ön işlemlerde genellikle gürültü olarak giderilen noktaların kaldırılmamış olması da başarısızlık nedenidir. Şekil 2.7' de bir aday nokta p_c ' nin bir üçgen oluşturmak için p_1, p_2 ve p_3 noktalarına olan (α_i, h) açı ve üçgen düzlemine olan uzaklık ölçü parametrelerini sağlarsa zemin noktası olması anlatılmıştır.



Şekil 2.7 Aşamalı Düzensiz Üçgen Ağ Yoğunlaştırma yöntemi

Çizelge 2.5’ de *lasground* modülünde kullanıcı tarafından belirlenen parametreler sunulmuştur (URL.18).

Çizelge 2.5 “*lasground*” modül parametreleri

Grid büyüklüğü (m)	Zemin-TIN yüksekliği (m)	TIN’ e katılacak nokta yüksekliği (m)	Uzaklık mesafesi (m)	Standart sapma (cm)
0,80	0,16	0,35	0,02	1,00

Uygulamada filtreleme sonucunu kontrol eden; adım büyüklüğü (step size), zemin TIN yüksekliği (bulge), TIN’ e katılacak nokta yüksekliği (spike), uzaklık mesafesi (offset), standart sapma (standart deviation) başlıklı beş parametre vardır.

- **Grid büyüklüğü (step size) parametresi;** çalışma bölgesindeki en büyük nesnenin boyutu ebatında bir değer girilmelidir. Bu tez çalışmasında en büyük nesne boyutu olarak köprüler ve üst geçitler dikkate alınmıştır.
- **Zemin TIN yüksekliği (bulge) parametresi;** çalışma bölgesinde üçgenleme olayı için nokta ekleme işlemi devam ederken, üçgenin yükselme miktarının ne kadar olacağına izin veren parametredir. Bu parametre değeri ne kadar küçük ayarlanırsa, TIN o kadar az yükselir ve daha fazla özellik olarak (örneğin; küçük tepelikler) potansiyel olarak kesilir. Adım büyüklüğünün yüksek seçilip, bu parametrenin sıfır seçilmesi durumunda istenmeyen sonuçlar alınır. Varsayılan step size parametresi 5 metreden daha büyük ise, bulge parametre değerinin onda biri, değilse beşte biri miktarı kadar değer bulge parametresine verilir (URL.19).
- **TIN’ e katılacak nokta yüksekliği (spike) parametresi;** hava LiDAR noktalarının çıplak zemin noktası olarak kabul edildiği en kaba üçgenleme üstündeki uzunluğu tanımlaması bakımından sonuçları önemli şekilde etkiler. Bu nedenle, zemin TIN’ inizin büyük farklılıklar göstermesini beklediğinizde yada zemin üzerinde bazı özellikler (örneğin; bir arkeolojik arazi modeli) istenmesi durumunda bu parametrenin daha büyük bir değer seçilmesi kullanışlıdır. Bu parametre en düşük kotlu noktanın hatalı seçilmesini önlemek için gürültü değerlerini filtreleme işlemi de yapar.

- **Uzaklık mesafesi (offset) parametresi;** bütün işlemler sonucu mevcut zemin tahmininin üzerindeki noktaların hangi seviyeye yani mevcut oluşturulan zemine eklenme kararı belirlenmektedir.
- **Standart sapma (standard deviation) parametresi;** santimetre cinsinden çıplak zemine yakın olan nesnelerin filtrelenmesi için standart sapma değeri belirlenir (URL.20).

Son olarak, *lasground* modülüyle çıplak arazi üzerindeki nokta bulutundaki bütün noktalara yükseklik değeri verilmesi için “compute height” özelliği aktif hale getirilir ve sınıflandırma işlemi için zemin hazırlanmış olur.

2.2.3. Yer Üstü Nesnelerin Sınıflandırılması

Çıplak arazi dışındaki nesnelerin sınıflandırılması için *LAStools* uygulamasının *lasclassify* modülü kullanılmıştır. Bu modül, Çizelge 2.6’ da *lasclassify* modülünde kullanıcı tarafından belirlenen parametreler sunulmuştur (URL.21).

Çizelge 2.6 “*lasclassify*” modül parametreleri

Arama alanı boyutu (m)	Yapı düzlemselliği (m)	Bitki örtüsü pürüzlülüğü (m)	Zeminden uzaklık mesafesi (m)
1,00	0,10	0,10	1,00

Uygulamada filtreleme sonucunu kontrol eden; arama alanı boyutu (search area size), yapı düzlemselliği (building planarity), bitki örtüsü pürüzlülüğü (forest ruggedness), zeminden uzaklık mesafesi (ground offset) başlıklı dört parametre vardır.

- **Arama alanı boyutu (search area size) parametresi;** metre birimli nxn kareli arama pencereleri tanıtılmaktadır.
- **Yapı düzlemselliği (building planarity) parametresi;** metre biriminde girilen standart sapma değeri ile, oluşturulan pencereye giren noktaların muhtemel yapı oldukları kararını verir.
- **Bitki örtüsü pürüzlülüğü (forest ruggedness) parametresi;** metre biriminde girilen standart sapma değeri ile, oluşturulan pencereye giren noktaların muhtemel bitki örtüsü oldukları kararını verir.

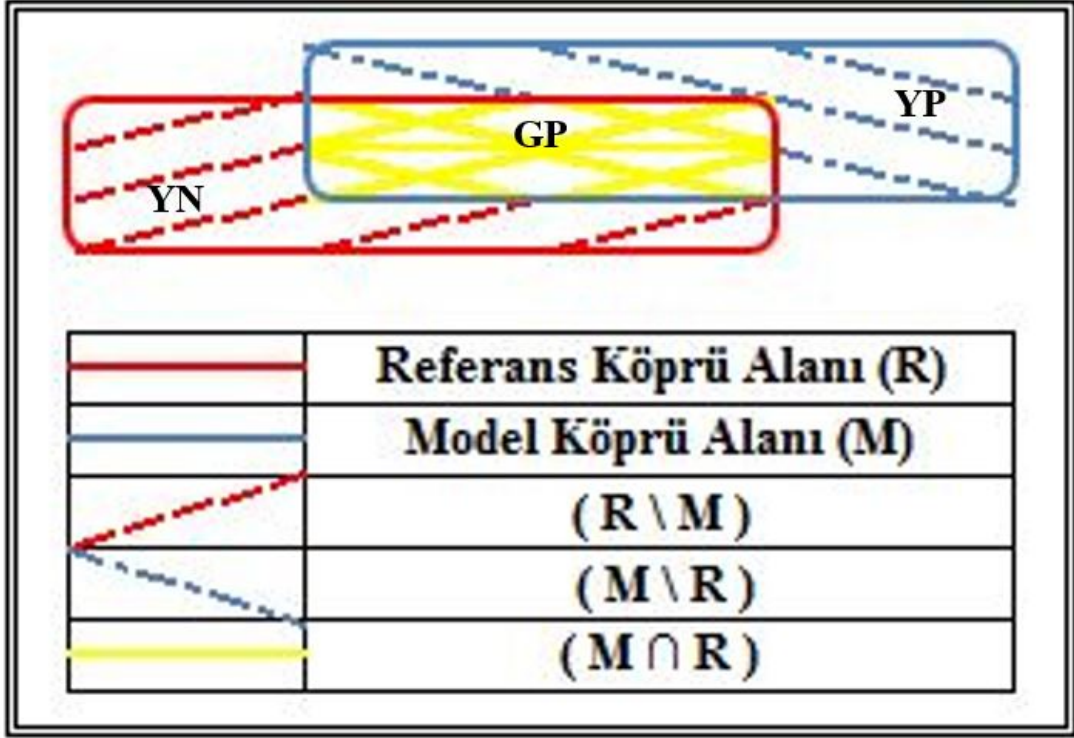
- **Zeminden uzaklık mesafesi (ground offset) parametresi;** girilen yükseklik eşik değerinden sonra, çıplak zeminden verilen değer ve yukarı olmak üzere komşu noktaları bulma kararını verir (URL.21). Bu yüzden çalışma bölgesindeki en düşük yükseklik olarak üst geçitlerin zeminden olan yaklaşık gabari yükseklikleri göz önüne alınmıştır.

2.2.4. Doğruluk Analizi

Pratik olmasa da, hava lazer tarama verilerinin filtrelenmesi insanın kavrama süreci kullanılarak manuel olarak yapılabilir. Manuel filtreleme ile ilgili sorun, büyük miktarda veri işlenmesi nedeniyle çok zaman alıcı olmasıdır. Bu çalışmada referans köprü alanları, model köprü alanlarının doğruluk analizlerinde kullanılmak üzere manüel olarak çıkarılmıştır.

Referans köprüünün manüel çıkarılmasındaki amaç, model köprü çıkarımında uygulanan algoritmanın; doğruluk, hassasiyet ve kalite oranlarının yüzdelik miktarlarının insanın kavramsal sürecini uygulayarak çıkarılmış olan referans köprü alanına olan yakınlığı araştırılmıştır. Bu analiz sonuçları neticesinde büyük miktarda veri barındıran hava LiDAR nokta bulutlarından köprülerin ve üst geçitlerin uygulanan yöntem ile otomatik çıkarılması amaçlanmıştır.

Bu tez çalışmasında, çıkarılan köprü ve üst geçitlerin doğruluk analizi kendi içinde nitel ve nicel olarak yapılmıştır. Nitel kalite kontrol yöntemi olarak: Aşamalı Düzensiz Üçgen Ağ Yoğunlaştırma filtreleme algoritması ile elde edilmiş köprü ve üst geçit sonuçları Google Earth haritaları üzerine yansıtılarak çıkarılan noktaların doğruluğu görsel olarak incelenmiştir. Nicel kalite kontrol yönteminde ise (2.3), (2.4) ve (2.5) eşitlikleri kullanılmıştır (Shufelt, 1999; Rutzinger ve ark., 2009; Cheng ve ark., 2014). Referans köprü ve üst geçit alanları nokta bulutundan manuel bir filtreleme ile yapılmış olup, dış noktaların sınırları manuel çizilerek çıkarılmıştır. Model köprü ve üst geçit alanları ise nokta bulutundan otomatik filtreleme yapılmış olup, dış noktaların sınırları otomatik çizilerek çıkarılmıştır. Doğruluk analiz yöntemini öneren (Shufelt, 1999)' in yöntemi Şekil 2.8' de gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Model nesnenin ve referans nesnenin kıyaslanması (Referans köprü alanı=Manuel filtreleme, Model köprü alanı=Otomatik filtreleme)

$$\text{Doğruluk} = \frac{GP}{GP + YP} \quad (2.3)$$

$$\text{Hassasiyet} = \frac{GP}{GP + YN} \quad (2.4)$$

$$\text{Kalite} = \frac{GP}{GP + YN + YP} \quad (2.5)$$

Gerçek Pozitif (GP) : Model köprüde ve referans köprüde ortak bulunan noktaların çevrelediği alanı açıklar. $M \cap R$ kümesi olarak nicel gözlemler sonucu elde edilmiştir.

Yanlış Pozitif (YP) : Model köprüde olan referans köprüde olmayan noktaların çevrelediği alanı ifade eder. $M \setminus R$ kümesi olarak nicel gözlemler sonucu elde edilmiştir.

Yanlış Negatif (YN) : Model köprüde olmayan referans köprüde olan noktaların çevrelediği alanı ifade eder. $R \setminus M$ kümesi olarak nicel gözlemler sonucu elde edilmiştir.

Doğruluk: Doğruluk tespitinde dikkat edilmesi gereken durum model alanının referans nesne alan sınırları içerisinde kalma miktarıdır. Başka bir ifadeyle model köprüdeki noktaların referans köprü noktalarının bulunduğu alana geçme miktarı arttıkça yani YP azaldıkça doğruluk artacaktır.

Hassasiyet: Referans köprü alanının sınırları içerisinde bulunan model köprü alanı değerinin, referans alan sınırları ile uyuşması yani referans nesne alanı ile çakışma oranı hassasiyet tespiti ile yapılmaktadır. Hassasiyet eşitliği tespit oranı veya bütünlük olarak da açıklanır. Diğer bir deyişle referans köprü alanının sınırları içerisinde model köprü noktalarının çevrelediği sınır alanı arttıkça, referansın modelden fark alanı azalacak ve hassasiyet artacaktır. YN azaldıkça hassasiyet artacaktır.

Kalite: Tespit edilen model köprü alanının referans köprü ile alansal ve konumsal uyumunu ifade eden bir değerdir. Yani hassasiyet ile doğruluk oranlarındaki artış kaliteyi artıracaktır. Model ve referans köprü alanlarının birbirlerinden olan fark alanları arttıkça kalite oranı düşmektedir. Bahsedilen fark alanları kalite formülünde YP ve YN olarak gösterilmiştir. Böylelikle bu sonuçlar ele alınarak hava LiDAR nokta bulutundan köprü ve üst geçit çıkarımı için uygulanan filtreleme yönteminin başarı durumu nicel olarak gözlemlenmiştir.

Referans köprü ve otomatik filtreleme sonucu elde edilen model köprü alanının kıyaslanmasında hassasiyet eşitliğinin yüz ile çarpılması halinde yüzde kaçının referans nesne ile çakıştığını yani tespit edilme yüzdesini gösterir. Doğruluk eşitliğinin yüz ile çarpılması halinde ise model nesnenin yüzde kaç ile referans nesne ile uyuştüğünü belirtmektedir. Kalite eşitliğini yüz ile çarparsak yapılan kıyaslanmanın ve çalışmada uygulanan yöntemin otomatik filtreleme performansının yüzde kaç ile çalıştığını gösterir.

3. UYGULAMA VE SONUÇLAR

3.1. Çalışma Bölgeleri ve Verilerin Elde Edilmesi

Çalışma bölgesi #1 ve #2 : Birinci çalışma bölgesi (Çalışma bölgesi #1) ve ikinci çalışma bölgesine (Çalışma bölgesi #2) ait olan LiDAR paftası İstanbul ili Şişli ilçesine ait olup İstanbul Büyükşehir Belediyesi Harita Müdürlüğünden temin edilmiştir. Çağlayan Adalet Sarayı metrobüs yaya üst geçidi Çalışma bölgesi #1 ve aynı bölgede bir araç üst geçidi Çalışma bölgesi #2 olarak seçilmiştir.

İstanbul çalışma alanı için projeksiyon bilgisi Transverse Mercator, datum WGS84 DOM (Dilim Orta Meridyeni): 30 olan ülke pafta bölünmesine dayalı 1:1000 ölçekli İSTANBUL-F21-c-20-c-1-d hava LiDAR ham veri paftasında yer alır.

Çalışma bölgesi #1' in çalışma alanı sınır koordinatları :

Y: 414219,110 m – X: 4548625,500 m (Kuzey Batı) ve

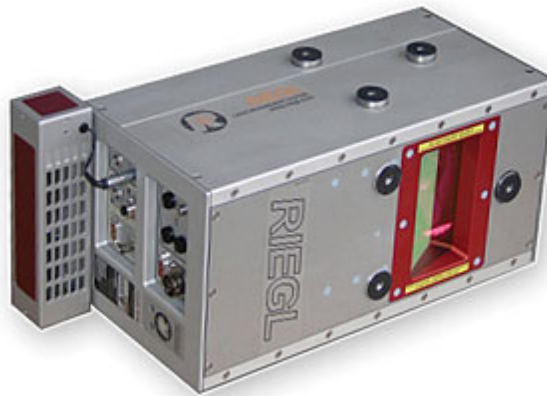
Y: 414302,290 m – X: 4548503,100 m (Güney Doğu)' dur.

Çalışma bölgesi #2'nin çalışma alanı sınır koordinatları:

Y: 414034,120 m – X: 4548629,840 m (Kuzey Batı) ve

Y: 414232,430 m – X: 4548496,050 m (Güney Doğu)' dur.

Bu çalışma bölgelerinde LiDAR projesi kapsamında kullanılan hava LiDAR cihazı Avusturya menşeli RIEGL firmasının üretmiş olduğu LMS-Q680i (URL.22) modeli kullanılmıştır. Şekil 3.1' de RIEGL firmasının LMS-Q680i modeli gösterilmiştir.



Şekil 3.1 RIEGL LMS-Q680i LiDAR ünitesi

Çalışma kapsamında kullanılan hava LiDAR tarayıcı ile ilgili teknik özellikler Çizelge 3.1’ de verilmiştir.

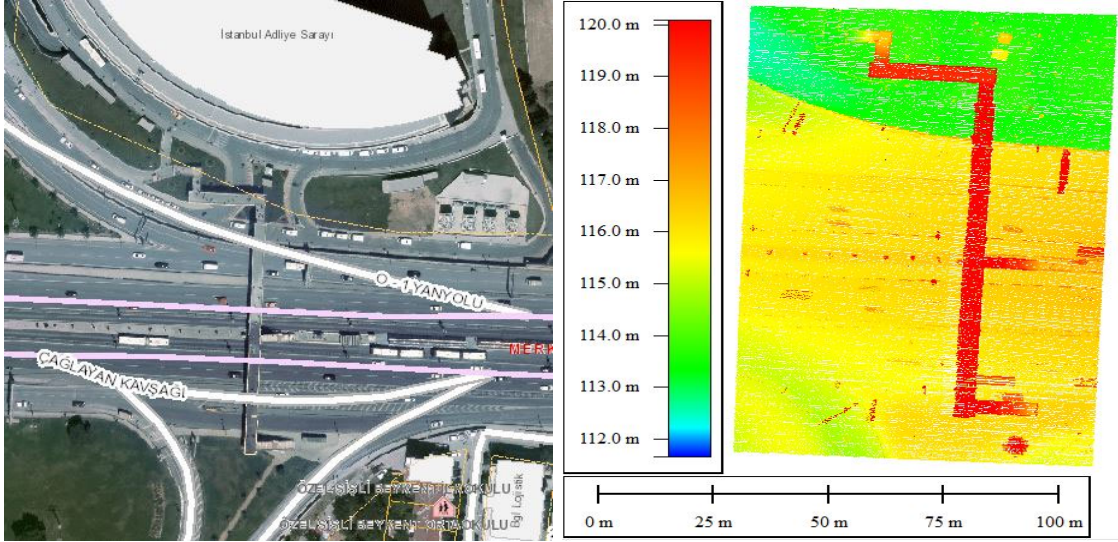
Çizelge 3.1 Çalışma kapsamındaki lazer tarayıcının teknik özellikleri

Tarayıcı	Riegl Q680i
Frekans (Darbe tekrarlama aralığı) (kHz)	400
Tarama açısı	60° dereceye kadar geniş açılı paralel tarama
Tarama mekanizması	Dönen Poligon Ayna
Dalga boyu (nm)	Y. Kıızıl ötesi (1040 - 1060)
Nokta ölçme hızı (ölçüm/sn)	266000
Ölçü doğruluğu (cm)	2
Line (hat) tarama hızı (sn)	200
Yakın kızılötesi dalga boyu (nm)	1064
GPS/IMU system	CCNS5: Uçuş yönetim platformu (IGI Firması) AeroCONTROL IMU, 256 Hz (IGI Firması) Novatel GPS
Dijital Kamera	IGI Digicam 60

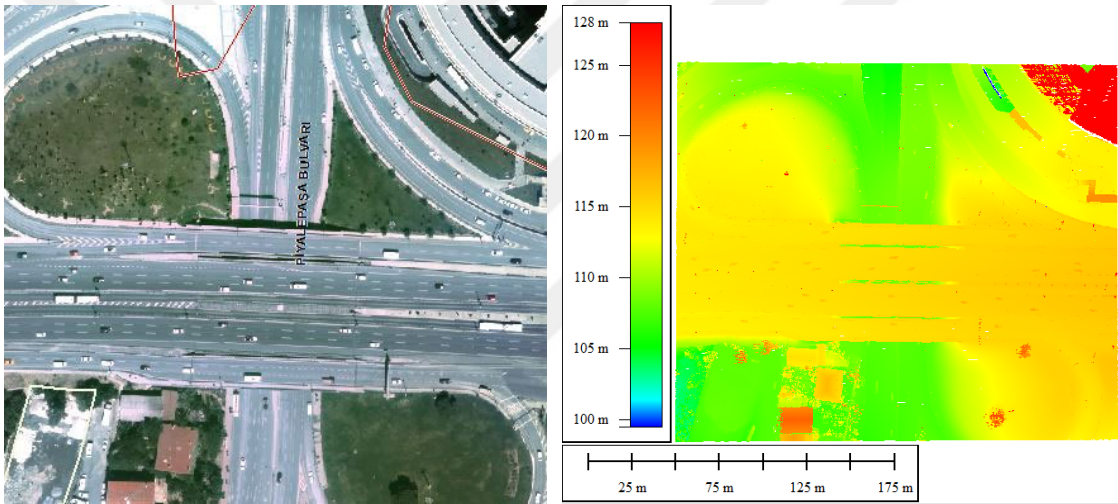
Birinci çalışma bölgesi ve ikinci çalışma bölgesi engebesiz bir arazi tipinde bulunmaktadır. Her iki çalışma bölgesi de peyzaj çalışmalarını barındırdığı için morfolojik olarak pürüzlü nesnelere (ağaç, çalı vb.) içermektedir. Bölge ayrıca insan yapımı nesnelere (arabalar, trafik levhaları, direkler, betonarme yapılar vb.) yoğun olarak içermesi nedeniyle pürüzsüz yüzeyli nesnelere içermektedir. Bölge pürüzsüz yüzeyli nesnelere yoğun olmasından dolayı yüzey süreksizliğinin olduğu ve insan popülasyonu yüksek bir şehir bölgesidir.

Çalışma bölgesi #3 : Üçüncü çalışma bölgesine (Çalışma bölgesi #3) ait olan LiDAR verileri ücretsiz veri sağlayıcı olan OpenTopography (URL.23) tarafından sağlanmıştır. Çalışmada Amerika Birleşik Devletleri Utah eyaleti St. George şehrinde bir köprü Çalışma bölgesi #3 olarak seçilmiştir.

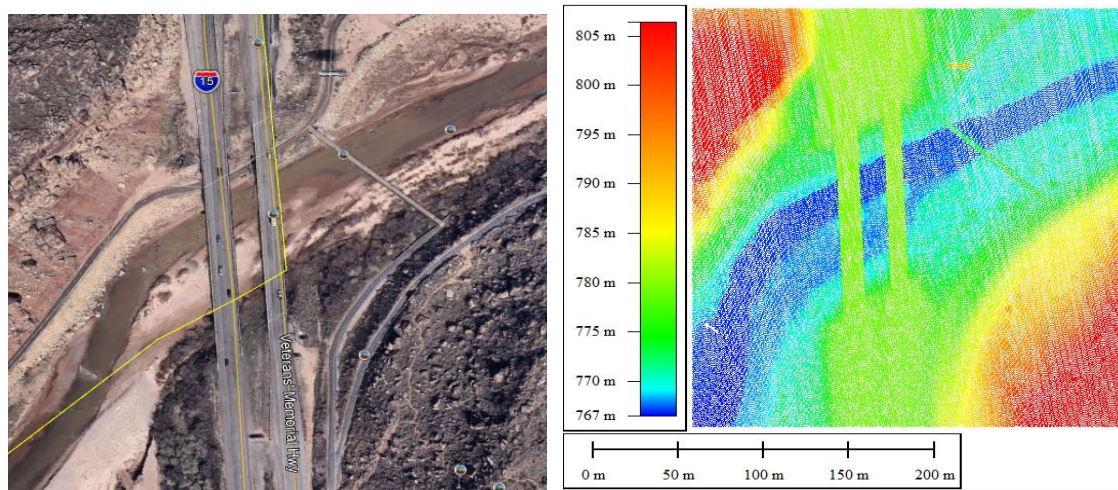
Şekil 3.2’ de çalışma bölgelerine ait Google Earth görüntüleri ve çalışma bölgelerine ait yükseklik değerlerine göre renklendirilmiş ham LiDAR verileri gösterilmiştir. Yükseklik değerlerine göre renklendirilmiş ham LiDAR veri görüntüleri Global Mapper (URL.24) yazılımı ile üretilmiştir.



Çalışma bölgesi #1 (URL.25)



Çalışma bölgesi #2



Çalışma bölgesi #3

Şekil 3.2 Çalışma bölgeleri Google Earth görüntüleri ile yükseklik değerlerine göre renklendirilmiş LiDAR nokta bulutu

Amerika Birleşik Devletleri Utah eyaleti St. George Şehri çalışma alanı için projeksiyon bilgisi UTM Zone: 12, datum NAD83 (2011), EPSG Kodu : 6341 olan, Çalışma bölgesi #3' ün çalışma alanı sınır koordinatları:

Y: 270134,070 m – X: 4105842,920 m (Kuzey Batı) ve

Y: 270388,670 m – X: 4105559,780 m (Güney Doğu)' dur.

Üçüncü çalışma bölgesi ani eğim değişim değerlerinin yaşandığı engebeli bir arazi tipinde, bozkır bitki örtüsüne sahip ve altından bir derenin aktığı bir karayolu köprüsüdür.

Çalışma bölgelerine ait *las* uzantılı ham hava LiDAR nokta bulutu dosyasında bulunan bilgilerin bir kısmı Çizelge 3.2' de gösterilmiştir. Bu tez çalışmasında köprü ve üst geçitlerin çıkarımı için LiDAR geri dönüş sinyallerinin toplam sinyalleri kullanılarak sınıflandırma işlemleri yapılmıştır.

Çizelge 3.2 Çalışma bölgelerine ait hava LiDAR verileri

Çalışma Bölgesi	#1	#2	#3	
LAS Versiyon	1.1	1.1	1.4	
Nokta Sayısı	Toplam	249893	666518	173480
	1. Dönüş	241647	628086	172811
	2. Dönüş	7836	30214	634
	3. Dönüş	395	6523	35
	4. Dönüş	14	1311	-
	5. Dönüş	1	315	-
	6. Dönüş	-	61	-
	7. Dönüş	-	8	-
	Son Dönüş	241697	628018	172802
	Tekli Dönüş	233861	597808	172168
	Çoklu İlk Dönüş	7786	30278	643
	Çoklu Son Dönüş	7836	30210	634
	Z_{min.} (m)	-99,96	-86,13	766,50
Z_{mak.} (m)	211,96	212,96	832,19	
nokta/m²	30,343	30,935	2,823	
Nokta Aralığı (m)	0,194	0,196	0,646	
Toplam Alan (km²)	0,01018	0,02653	0,07210	
Uçuş Tarihi	21.02.2015	21.02.2015	06.08.2019	

3.2. Çalışma bölgesi #1 İçin Ulaşılan Sonuçlar

Çalışma bölgesinin işlenmemiş olan hava LiDAR verileri ilk olarak *Global Mapper* ticari yazılımı ile açılmıştır ve Çizelge 3.4’ de bir kısmı gösterilen metaveri bilgileri incelenmiştir.

Çalışma bölgesi #1 bölüm 3.1.’ de detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Çizelge 3.4’ ü incelediğimiz zaman çalışma bölgesinin metrekareye düşen nokta yoğunluğunun ve nokta sıklığının yüksek olduğu gözükmektedir. Minimum yükseklik değerine bakıldığında LiDAR verisinin gürültü değerleri barındırdığı anlaşılmaktadır.

3.2.1. Filtreleme

Bu tez çalışmasında yükseklik değerlerini filtreleyip kaldırmak için *lasnoise* modülü kullanılmıştır. Bu modül, verilen parametre değerlerinin üzerinden soyutlanmış noktaları arar ve seçilen karara göre noktaları kaldırır yahut başka bir sınıfa atar. Bölüm 2.2.1.’ de bu modülün kapsamında seçilecek parametre değerleri açıklanmıştır. Optimum parametre değerlerinin bulunması için nokta aralığı değerleri ile nokta yoğunluğu miktarı göz önüne alınarak Çizelge 3.3’ de görüldüğü üzere çeşitli parametre denemeleri yapılmıştır ve çıkan sonuçlar nitel olarak *Global Mapper* programında 3B olarak izlenmiştir.

Çizelge 3.3 Gürültü izole parametre deneme değerlerinin bir kısmı

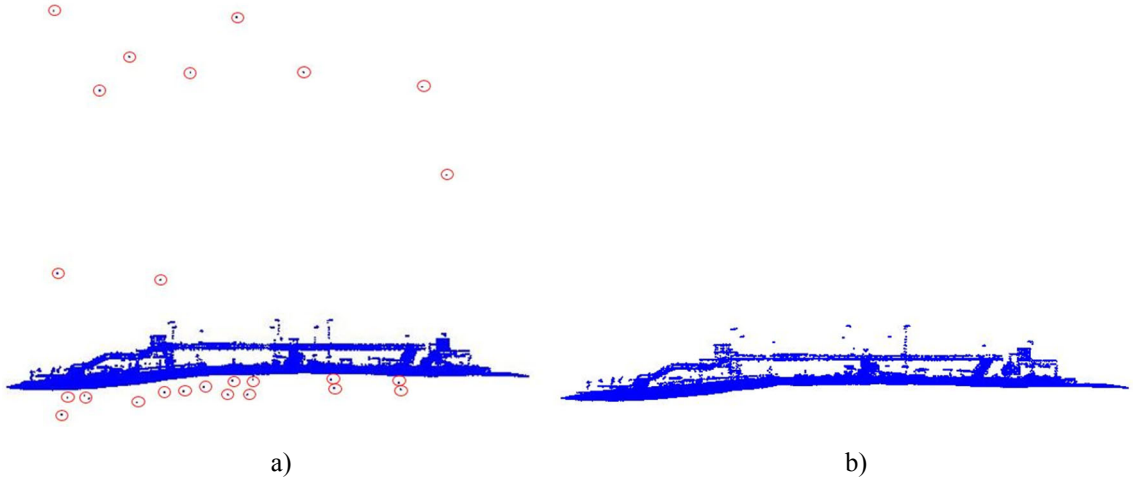
Adım_xy (m)	Adım_z (m)	İzole (adet)
4,00	4,00	5,00
2,00	2,00	1,00
1,00	1,00	5,00
0,40	0,40	1,00

Modülde varsayılan olarak adım değerleri 4, izole değeri 5’ tir. Çalışmada parametre değerleri olarak “adım_xy= 0,4”, “adım_z=0,4” ve “izole=1” olarak seçilmiş olup, filtrelenen hava LiDAR noktaları gürültü değerleri kararı seçeneği ile nokta bulutundan kaldırılmıştır. Çizelge 3.4’ de çalışma metaverisinin gürültü noktalarının kaldırılmadan önceki ve kaldırılmasından sonraki durumu gösterilmiştir.

Çizelge 3.4 Gürültü değerlerinin kaldırılmadan önceki ve sonraki çalışma bölgesi metaverisi durumu

Durum		Gürültülü	Gürültüsüz
Nokta Sayısı	Toplam	249893	249553
	1. Dönüş	241647	241393
	2. Dönüş	7836	7758
	3. Dönüş	395	387
	4. Dönüş	14	14
	5. Dönüş	1	1
	Son Dönüş	241697	241568
	Tekli Dönüş	233861	233794
	Çoklu İlk Dönüş	7786	7599
	Çoklu Son Dönüş	7836	7774
Z_{min.} (m)		-99,96	112,49
Z_{mak.} (m)		211,96	128,71
nokta/m²		30,343	30,343
Nokta Aralığı (m)		0,194	0,194

Şekil 3.3 (a)' da çalışma bölgesinin işlenmemiş nokta bulutundaki gürültü değerlerinin bir kısmı kırmızı yuvarlak içine alınmış olarak ve Şekil 3.3 (b)' de belirlenen optimum parametreler sonucu elde edilmiş hava LiDAR nokta bulutu görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 3.3 (a) Çalışma bölgesindeki gürültü değerlerinin bir kısmı, (b) Gürültü değerleri filtrenip kaldırıldıktan sonra

3.2.2. Zemin ve Zemin Üstü Nokta Ayrımı

Çalışmadan gürültü değerleri filtreleme sonucunu aldıktan sonra çıplak zemin ve zemin üstü nesne ayrımı için aşamalı düzensiz üçgen ağ yoğunlaştırma filtrelemesi

lasground modülü ile gerçekleştirilmiştir. Filtreleme yöntemi ile ilgili ve bu modülün kapsamında seçilecek parametre değerleri için detaylı bilgi bölüm 2.2.2.' de anlatılmıştır. Çalışmada *lasground* modülü, grid büyüklüğü (step size), zemin TIN yüksekliği (bulge), TIN' e katılacak nokta yüksekliği (spike), uzaklık mesafesi (offset), standart sapma parametrelerinin optimum değerleri için bir dizi deneme yapılmıştır. Parametre değerlerinden TIN' e katılacak nokta yüksekliği (spike) değeri 0,2' den 1' e kadar 0,20 artırılarak ve diğer parametre değerleri sabit tutularak denemeler uygulanmıştır. Yapılan denemeler Çizelge 3.5' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.5 PTIN parametre deneme değerlerinin bir kısmı

Grid büyüklüğü (m)	Zemin-TIN yüksekliği (m)	TIN' e katılacak nokta yüksekliği (m)	Uzaklık mesafesi (m)	Standart sapma (cm)
50,00	5,00	1,00	0,05	10,00
50,00	5,00	0,80	0,05	10,00
50,00	5,00	0,60	0,05	10,00
50,00	5,00	0,40	0,05	10,00
50,00	5,00	0,20	0,05	10,00

Deneme sonuçları *LAStools* yazılımı ile nitel olarak incelenmiştir ve sırasıyla 50-5-1-0,05-10 parametre değerleri gürültü değerlerinden filtrelenen çalışma bölgesine uygulanmıştır. 249553 hava LiDAR noktasının 220568 noktası çıplak zemin, 28985 noktası henüz sınıflandırılmamış zemin üstü olarak ayrılmıştır. Çıplak zemin için minimum kot değeri 112,49 m maksimum kot değeri 117,41 m dir. Sınıflandırılmamış zemin üstü noktalar için ise minimum kot değeri 112,58 m maksimum kot değeri 128,71 m olarak bulunmuştur. Bulunan bu değerler Çizelge 3.6' da gösterilmiştir.

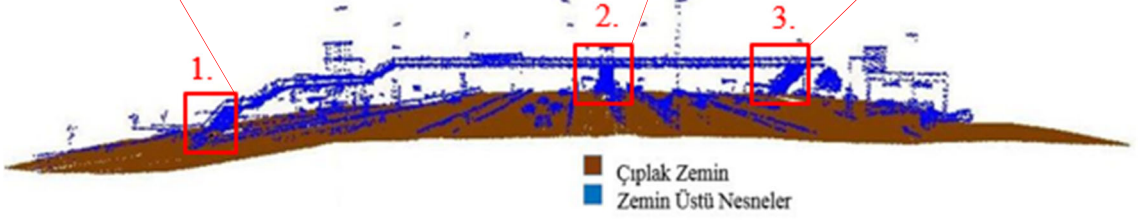
Çizelge 3.6 PTIN algoritması sonucu metaveri

	Çıplak zemin	Zemin üstü
Nokta sayısı	220568	28985
Min. Kot (m)	112,49	112,58
Max. Kot (m)	117,41	128,71
Ort. Kot (m)	114,95	120,65

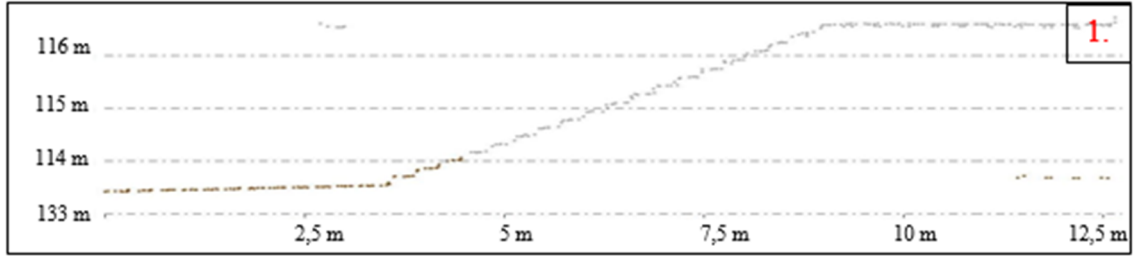
Şekil 3.4 (a)' da çalışma bölgesinin Google sokak fotoğrafı gösterilmiştir. Şekil 3.4 (b)' de optimum parametreler ile elde edilmiş çıplak zemin ve zemin üstü nesnelerin ayrımını içeren hava LiDAR nokta bulutunun belli bir açıdan görüntüsü gösterilmiştir.



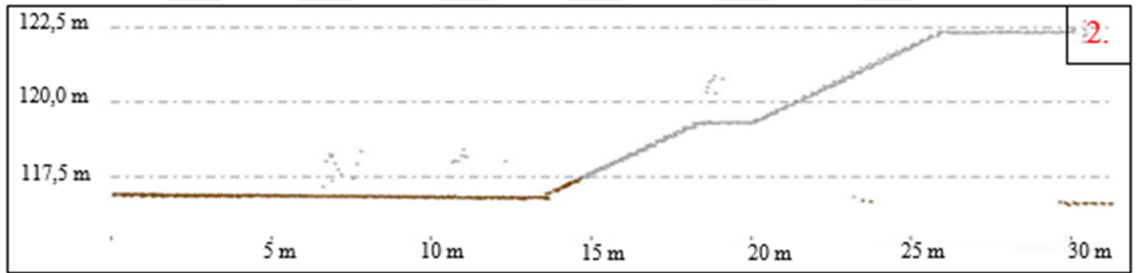
a)



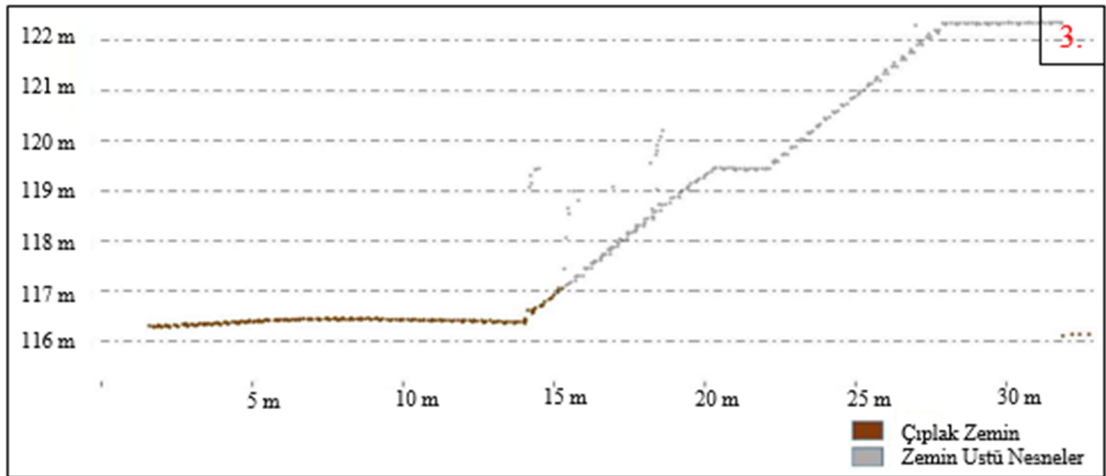
b)



c)



d)



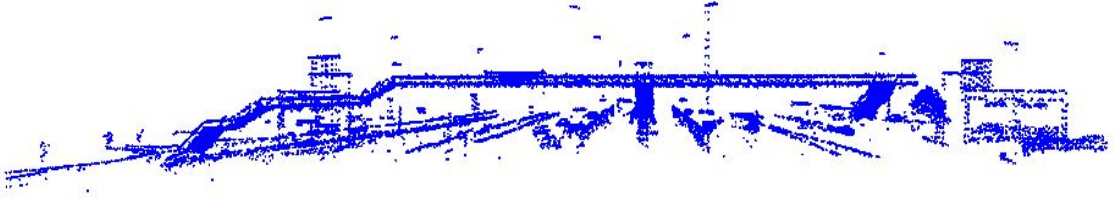
e)

Şekil 3.4 (a) Çalışma bölgesi Google fotoğrafı, (b) Çıplak zemin ve zemin üstü nesne ayrımı, (c,d,e) PTIN algoritması uygulaması sonucu yaya üst geçidi merdiveni ve çıplak zemin durumu

Yalnız yaya üst geçidinin Şekil 3.4 (b)' de belirtilmiş olan birinci, ikinci ve üçüncü iniş merdivenlerinin de yaklaşık elli santimlik bir kısmının çıplak toprağın uzantısı şeklinde davrandığı gözlemlenmiştir. Birinci, ikinci ve üçüncü iniş merdivenlerinin bir kısmının çıplak zemin gibi davranması Şekil 3.4 (c,d,e)' de gösterilmiştir.

Yapılan nitel gözlemler sonucu PTIN algoritmasının çalışma bölgesindeki çelik bariyerler gibi birçok yer üstü nesnesini olumlu bir şekilde çıplak zeminden ayırdığı gözlemlenmiştir.

Bu aşamada hava LiDAR verisinden çıplak zemin filtrelenip veriden sökülmezse, sınıflandırma işleminde istenmeyen sonuçlar ile karşılaşmıştır. Bu yüzden yer filtrelemesi ile elde edilen çıplak zemin, gürültü değerlerinden arındırılmış nokta bulutundan *las2las* modülü ile elimine edilerek, *LAStools* yazılımında nitel olarak analizi yapılmıştır ve kalan hava lidar noktaları sınıflama yapılması için hazırlanmıştır. Şekil 3.5' de zemin üstü nesnelere, gürültü değerlerinden filtrelenmiş olan hava LiDAR nokta bulutundan sökülmüş hali gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Zemin üstü tarama noktaları

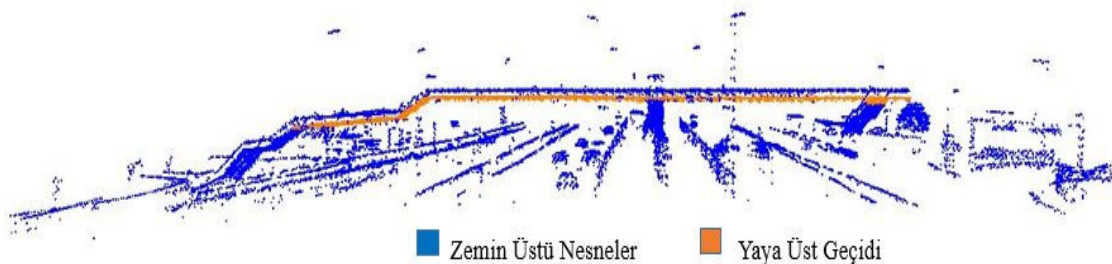
3.2.3. Yaya Üst Geçidinin Tespiti

Veri setinden çıkarılan toplam 28985 zemin üstü noktadan yaya üst geçidinin çıkarılması için bir dizi sınıflandırma parametresi denenmiştir. Sınıflandırma yöntemi ile ilgili ve bu modülün kapsamında seçilecek parametre değerleri için detaylı bilgi bölüm 2.2.3.' de anlatılmıştır. Çalışmada *lasclassify* modülü, arama alanı boyutu (search area size), yapı düzlemselliği (building planarity), bitki örtüsü pürüzlülüğü (forest ruggedness), zeminden uzaklık mesafesi (ground offset) parametreleri için yapı düzlemselliği parametresi sabit tutularak, arama alanı boyutu parametresi için 1-2-3, bitki örtüsü pürüzlülüğü parametresi için 0,15-0,30 arası 0,5 artırım ile zeminden uzaklık mesafesi için ise yaya üst geçidi gabari yükseklik değeri 4,5-6 arası 0,5 artırım değerleri denenmiştir. Çizelge 3.7' de parametre deneme dizilerinin bir kısmı gösterilmiştir.

Çizelge 3.7 Sınıflandırma parametre deneme değerlerinin bir kısmı

Arama alanı boyutu (m)	Yapı düzlemselliği (m)	Bitki örtüsü pürüzlülüğü (m)	Zeminden uzaklık mesafesi (m)
1,00	0,10	0,15	4,50
3,00	0,10	0,20	5,00
2,00	0,10	0,25	5,50
1,00	0,10	0,30	6,00

Deneme sonuçları nitel olarak incelendikten sonra sınıflandırma işlemi için sırasıyla 1-0,1-0,3-5,5 optimum parametre değerleri ile sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Yapı düzlemselliği parametresi yükseldikçe yaya üst geçidine eklenen nokta sayısının da arttığı gözlenmiştir. Bitki örtüsü pürüzlülüğü parametresi yükseldikçe yaya üst geçidine eklenen nokta sayısından bir değişme olmuyor yalnız üst geçide bitişik bitki örtüsünü seyrekleştirmede etkili olduğu gözlemlenmiştir. Belirlenen yaya üst geçidi çıkarım parametrelerinde amaç olarak araç trafik akışı üzerinde kalan köprü kısmı göz önüne alınmış olup, araç trafiği dışındaki köprü uzantıları dikkate alınmamıştır. Şekil 3.6' da 11360 nokta ile minimum kot değeri 119.01 m ve maksimum kot değeri 123,24 m olan hava LiDAR nokta bulutundan filtrelenmiş yaya üst geçidi nokta bulutu belli bir açıdan gösterilmiştir.



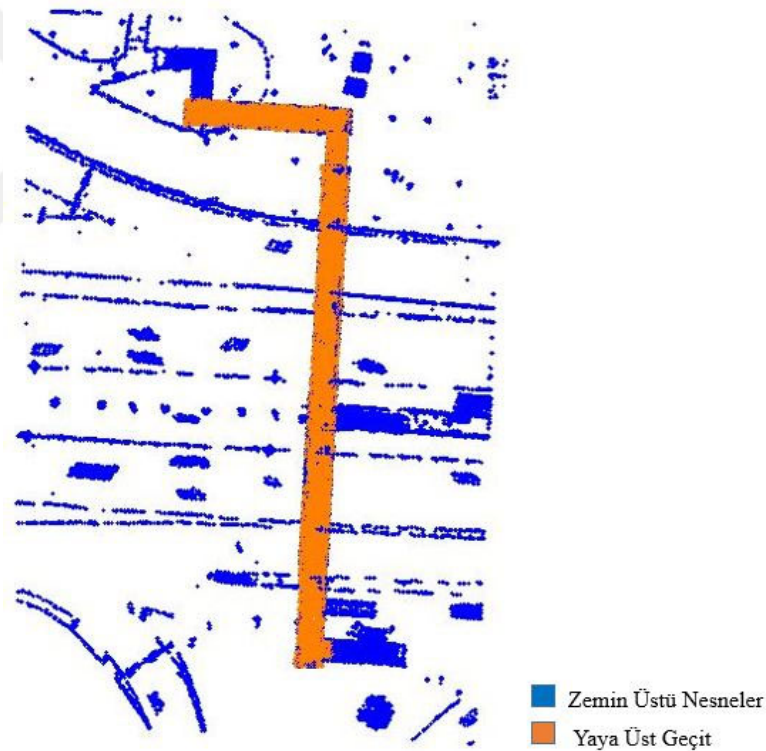
Şekil 3.6 Yaya üst geçit çıkarımı

Bölüm 3.1.' de gösterilen Google Earth görüntüsünde görüldüğü üzere yaya üst geçidi anayol üzerinden ve Çağlayan Adalet Sarayı tarafından bir tali yol üzerinden geçen birleşik yapıda bir yaya üst geçididir.

Şekil 3.6' da sınıflandırma yönteminin turuncu renk ile gösterilmiş olan birleşik yapıdaki yaya üst geçidinin, sağ kısımdaki yüksek kotlu üst geçit ile sol kısımdaki alçak kotlu üst geçidini başarılı bir şekilde çıkardığı gözlemlenmiştir. Sınıflandırma yönteminin

bu iki farklı kotta bulunan üst geçidi, zeminden uzaklık mesafesi parametre değişkeni değerinin yaya üst geçidi gabari yüksekliğinden yüksek bir değer girilmediği için olumlu bir şekilde üst geçidi çıkardığı görülmüştür. Örneğin, sınıflandırma algoritması uygulanırken zeminden uzaklık mesafesi parametre değerinin 6 m girilmesi durumunda sol kısımdaki üst geçidin çıkarılmadığı gözlemlenmiştir. Bu yüzden bir dizi denemeler sonucu zeminden uzaklık mesafesi parametre değerinin 4,5 ile 5,5 m seçilmesinin yaya üst geçidi çıkarımı için olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca üst geçitlerin yüksek kottan alçak kota geçişinin olduğu kısmın çıkarımının nitel gözlem ile görülmesi ise yapı düzlemselliği yani yapı pürüzsüzlüğü parametre değerinin başarılı bir şekilde çalıştığını göstermektedir.

Şekil 3.7’ de çıkarımı yapılan yaya üst geçidinin üstten görünümü diğer zemin üstü veriler ile gösterilmiştir.



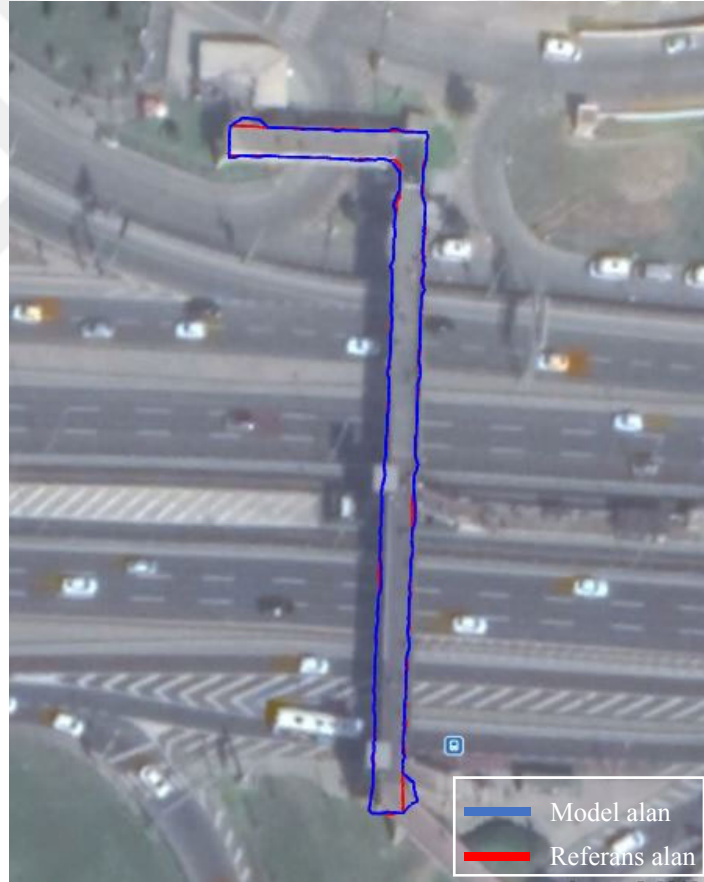
Şekil 3.7 Yaya üst geçit çıkarımı üstten görünüm

3.2.4. Doğruluk Analizi

Çalışma alanına ait verilerin doğruluk analizi nitel ve nicel gözlem olarak yapılmıştır. Nitel gözlemlerde hava LiDAR verisinin projeksiyon bilgileri girilerek çıkarılan sonuçlar Google Earth üzerine yansıtılmıştır ve çıkarımı yapılan yaya üst geçidinin

sınırları burada analiz edilmiştir. Şekil 3.8’ de Google Earth üzerine yansıtılmış, filtrelenmiş ve nokta bulutu sınırları otomatik olarak çizdirilmiş yaya üst geçidi gösterilmiştir. Google Earth üzerine yansıtılmış yaya üst geçidinde üst katmanda duran mavi çizgiler model alanı yani hava LiDAR nokta bulutu verisinden filtreleme ve sınıflandırma işlemleri sonucu elde edilen alan gösterilmiştir, alt katmanda duran kırmızı çizgiler ile hava LiDAR nokta bulutu verisinden manuel olarak elde edilen yaya üst geçidi referans alanı gösterilmiştir.

Nicel Gözlem olarak referans alan ile model alanın karşılaştırılması yapılmıştır. Bölüm 2.2.4.’ de yapılacak doğruluk analizi yönteminden detaylı bir şekilde bahsedilmiştir. Hava LiDAR nokta bulutundan yaya üst geçidi çıkarımında, referans alan ile model alanı üst üste çakıştırdığımızda iki alanın kesişim değeri $476,65 \text{ m}^2$ dir.



Şekil 3.8 Filtreleme sonucu yaya üst geçidi sınırları

Model alanın referans alandan farklı olarak kapladığı alan değeri $15,10 \text{ m}^2$ dir. Referans alanın model alandan farklı olarak kapladığı alan değeri ise $4,21 \text{ m}^2$ dir. Çizelge 3.8’ de doğruluk analiz sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 3.8 Çalışma Bölgesi #1 doğruluk analiz değerleri

Model ve referans alanın kesişimi $M \cap R$ (m ²)	Model alanın referans alandan farkı $M \setminus R$ (m ²)	Referans alanın model alandan farkı $R \setminus M$ (m ²)	Doğruluk (%)	Hassasiyet (%)	Kalite (%)
476,65	15,10	4,21	97	99	96

Bu bilgiler üzerinden çıkarılan yaya üst geçidin hassasiyeti % 99 oranında referans nesne ile uyduğu, model nesnenin % 97 oranında doğruluk gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu çalışma bölgesinde uygulanan filtreleme yönteminin kalite değeri ise % 96' lık performans ile çalıştığı sonucuna varılmıştır.

3.3. Çalışma bölgesi #2 İçin Ulaşılan Sonuçlar

Çalışma bölgesi #2' nin sayısal analizinin yapılması ve diğer yapılacak işlemlere zemin hazırlamak için Çizelge 3.9' da bir kısmı gösterilen metaveri bilgileri incelenmiştir.

Çalışma bölgesi #2 metaverileri incelendiği zaman Çalışma bölgesi #1' e göre 16,35 dekar yani yaklaşık iki kat daha fazla bir alana ve yaklaşık olarak iki buçuk kat daha fazla nokta sayısına sahip olduğu gözlemlenmektedir. Çalışma alanı ile ilgili detaylı bilgi bölüm 3.1.' de açıklanmıştır. Çalışma bölgesi #1 ile aynı uçuş kayıt bilgilerine sahip olduğu için bu bölgede de metrekaresine düşen nokta yoğunluğunun ve nokta sıklığının yüksek olduğu metaveri bilgilerinden gözükmektedir.

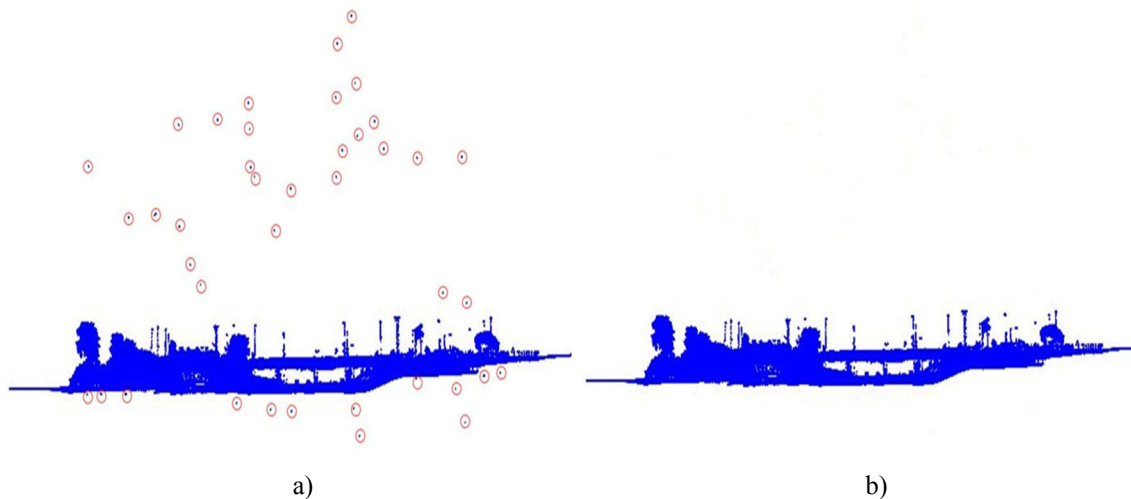
3.3.1. Filtreleme

Çalışma bölgesinin minimum yükseklik değeri sıfırın altında olduğu gözükmekte ve bu yüzden çalışma alanının gürültü değerleri içerdiği anlaşılmaktadır. Gürültü değerlerinin kaldırılması için “adım_xy= 0,4”, “adım_z=0,4” ve “izole=1” parametre değerleri seçilmiş ve filtrelenen gürültü değerlerinin nokta bulutundan kaldırılması kararı verilmiştir. Çizelge 3.9' da nokta bulutu verisinden gürültü noktalarının kaldırılmadan önceki ve gürültü noktalarının ayıklanmasından sonraki durumunun metaveri değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.9 Gürültü değerlerinin kaldırılmadan önceki ve sonraki çalışma bölgesi metaverisi durumu

Durum		Gürültülü	Gürültüsüz
Nokta Sayısı	Toplam	666518	665263
	1. Dönüş	628086	627392
	2. Dönüş	30214	29858
	3. Dönüş	6523	6350
	4. Dönüş	1311	1285
	5. Dönüş	315	313
	6. Dönüş	61	58
	7. Dönüş	8	7
	Son Dönüş	628018	627571
	Tekli Dönüş	597808	597677
	Çoklu İlk Dönüş	30278	29715
	Çoklu Son Dönüş	30210	29894
Z_{min.} (m)		-86,13	107,01
Z_{mak.} (m)		212,96	132,83
nokta/m²		30,935	30,918
Nokta Aralığı (m)		0,196	0,194

Şekil 3.9 (a)' da ham hava LiDAR verisindeki gürültü değerlerinin bir kısmı kırmızı yuvarlak içinde gösterilmiştir. Şekil 3.9 (b)' de belirlenen parametre değerleri ile gürültü değerlerinden izole edilmiş çalışma alanının hava LiDAR nokta bulutu görüntüsü profilden gösterilmiştir.



Şekil 3.9 (a) Çalışma Bölgesi #2 gürültü değerlerinin bir kısmı, (b) Gürültü değerleri filtrelenip kaldırıldıktan sonra

3.3.2. Zemin ve Zemin Üstü Nokta Ayrımı

Çalışmanın gürültü değerleri filtreleme sonucunu aldıktan sonra çıplak zemin ve zemin üstü nesne ayrımı için aşamalı düzensiz üçgen ağ yoğunlaştırma filtrelemesi gerçekleştirilmiştir. Burada Çalışma bölgesi #1' e kıyasla çıplak zeminin sürekliliğini bozan insan yapımı yumuşak yüzeyli nesnelere ve doğal olan kaba olma eğiliminde (pürüzlü) nesnelerin daha fazla olduğu görülmektedir. Üstelik bu çalışma alanında yaya üst geçidinden ziyade, araç üst geçidi çıplak zeminin bir uzantısı şeklinde davranmaktadır. Bu yüzden daha doğru bir sayısal arazi modeli oluşturmaya bağlı olarak araç üst geçidinin sökülmesi gerekmektedir.

Çalışma bölgesinde uygulamak için *lasground* modülü, grid büyüklüğü (step size), zemin TIN yüksekliği (bulge), TIN' e katılacak nokta yüksekliği (spike), uzaklık mesafesi (offset), standart sapma (standart deviation) parametrelerinin değerleri için bir dizi deneme yapılmıştır. Parametre değerlerinden TIN' e katılacak nokta yüksekliği değeri 0,6' den 1' e kadar 0,10 artırılarak, adım büyüklüğü değeri 10' dan 50' ye kadar 10 artırılarak, zemin TIN yüksekliği değeri adım büyüklüğü parametresinin onda biri değeri verilerek, uzaklık mesafesi ve standart sapma değerleri ise sabitlenip denemeler yapılmıştır. Yapılan denemelerin çıktı sonuçları *Global Mapper* yazılımı ile açılıp metaverileri ve 3B görsel sonuçları nitel ve nicel olarak analizi yapılmıştır. Bu yüzden hava LiDAR nokta bulutunda yapılan birçok deneme TIN' e katılacak nokta yüksekliği ve adım büyüklüğü değerlerindeki değişimlerin, ulaşılan sonuçlara ciddi etkide bulunduğu görülmüştür. Bu parametrelerin işleyiş mantığı bölüm 2.2.2. de anlatılmıştır. Çıplak zemin ve zemin üstü nesnelerin çıkarımı için yapılan bir dizi denemeler Çizelge 3.10' da gösterilmiştir.

Çizelge 3.10 PTIN parametre deneme değerlerinin bir kısmı

Grid büyüklüğü (m)	Zemin-TIN yüksekliği (m)	TIN' e katılacak nokta yüksekliği (m)	Uzaklık mesafesi (m)	Standart sapma (cm)
50,00	5,00	1,00	0,05	10,00
40,00	4,00	0,90	0,05	10,00
50,00	3,00	0,80	0,05	10,00
30,00	2,00	0,70	0,05	10,00
10,00	1,00	0,60	0,05	10,00

Deneme sonuçları *LAStools* yazılımı ile nitel olarak incelenmiştir ve sırasıyla 10-1-0,6-0,05-10 parametre değerleri gürültü değerlerinden filtrelenen çalışma bölgesine uygulanmıştır.

Yaya üst geçidi için uygulanan sırasıyla 50-5-1-0,05-10 değerleri, araç üst geçidine uygulandığında istenmeyen sonuçlara ulaşılmıştır. Yalnız araç üst geçidi için seçilen parametre değerleri yaya üst geçidi için uygulandığında zemin ve nesne ayrımını başarılı bir şekilde gerçekleştirdiği görülmüştür.

665263 hava LiDAR noktasının 478247 noktası çıplak zemin, 187016 noktası henüz sınıflandırılmamış olarak ayrılmış olup, çıplak zemin için minimum kot değeri 107,01 m maksimum kot değeri 116,35 m, sınıflandırılmamış zemin üstü noktalar için minimum kot değeri 107,17 m, maksimum kot değeri 132,83 m bulunmuştur. Bulunan bu değerler Çizelge 3.11’ de gösterilmiştir.

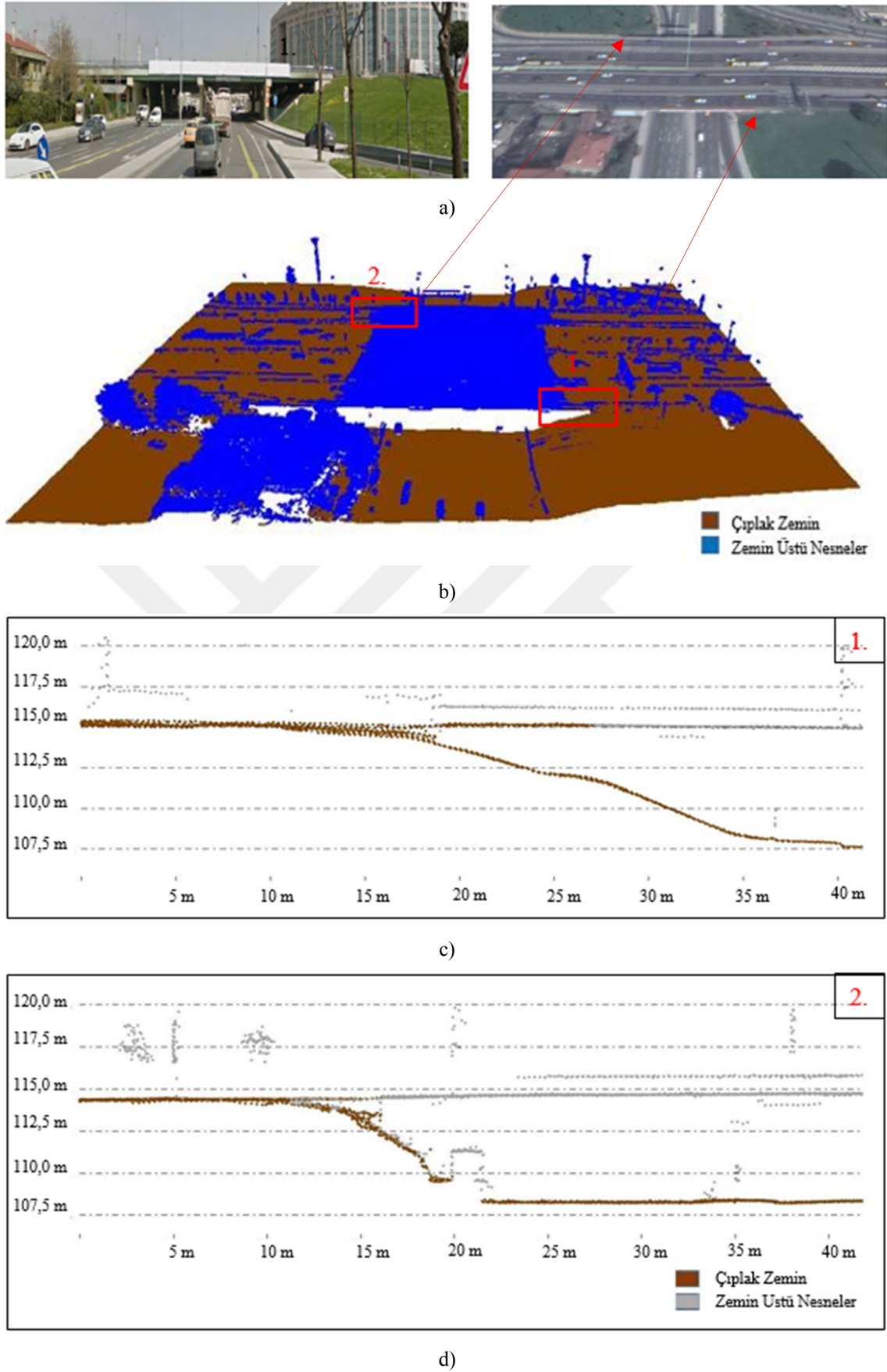
Çizelge 3.11 PTIN algoritması sonucu metaveri

	Çıplak zemin	Zemin üstü
Nokta sayısı	478247	187016
Min. Kot (m)	107,01	107,17
Max. Kot (m)	116,35	132,83
Ort. Kot (m)	111,68	120,00

Şekil 3.10 (a)’ da çıplak zeminin çıkarımı için kullanılan PTIN algoritmasının uygulanması ile elde edilen sonuç değerlerinin nitel gözlemlerinin yapılması için Google sokak fotoğrafı görüntüsü gösterilmiştir. Şekil 3.10 (b)’ de optimum parametreler sonucu elde edilmiş çıplak zemin ve zemin üstü nesnelere ayrımını içeren hava LiDAR nokta bulutu görüntüsünün belli bir açıdan görüntüsü gösterilmiştir.

Şekil 3.10 (b)’ de görüleceği üzere, hava LiDAR nokta bulutundaki araç üst geçidi zemin üstü nesnelere sınıfına girmiştir. Araç üst geçidi ile çıplak zeminin birleşim yerlerinde, köprü başlangıcı ve bitişinin çıplak zemin gibi davrandığı ve araç üst geçidin orta şeridi dış banket kısmına kıyasla daha fazla çıplak zemin olarak filtrelendiği gözükmemektedir. Araç üst geçidinin Şekil 3.10 (b)’ de belirtilmiş olan birinci, ikinci araç üst geçidi başlangıç yerlerinin profil kesitleri Şekil 3.10 (c,d)’ de gösterilmiştir.

Araç üst geçidi profil kesit noktaları belirlenirken, arazi sevi ile köprünün birleşim yerlerinden kesitler alınmıştır. Bu çıplak zemine bağlantı noktaları yaya üst geçidiyle karşılaştırıldığında, araç üst geçidinin çıplak zemine daha yumuşak yani dar açı ile bağlandığı için köprü çıkarım hatasında artış olduğu nitel olarak gözlenmiştir.



Şekil 3.10 (a) Çalışma bölgesi Google fotoğrafı, (b) Çıplak zemin ve zemin üstü nesne ayrımı, (c,d) PTIN algoritması uygulaması sonucu araç üst geçidi ve çıplak zemin bağlantı noktalarının durumu

Bu aşamada hava LiDAR verisinden çıplak zemin filtrelenip veriden sökülmezse, sınıflandırma işleminde istenmeyen sonuçlar ile karşılaşmıştır. Bu yüzden yer filtrelemesi ile elde edilen çıplak zemin, gürültü değerlerinden arındırılmış nokta bulutundan *las2las* modülü ile elimine edilerek, *LAStools* yazılımında nitel olarak analizi yapılmıştır ve kalan hava LiDAR noktaları sınıflama yapılması için hazırlanmıştır.

Şekil 3.11’ de zemin üstü nesnelere, gürültü değerleri soyutlanmış hava LiDAR nokta bulutundan sökülmüş hali gösterilmiştir.



Şekil 3.11 Zemin üstü tarama noktaları

3.3.3. Araç Üst Geçidinin Tespiti

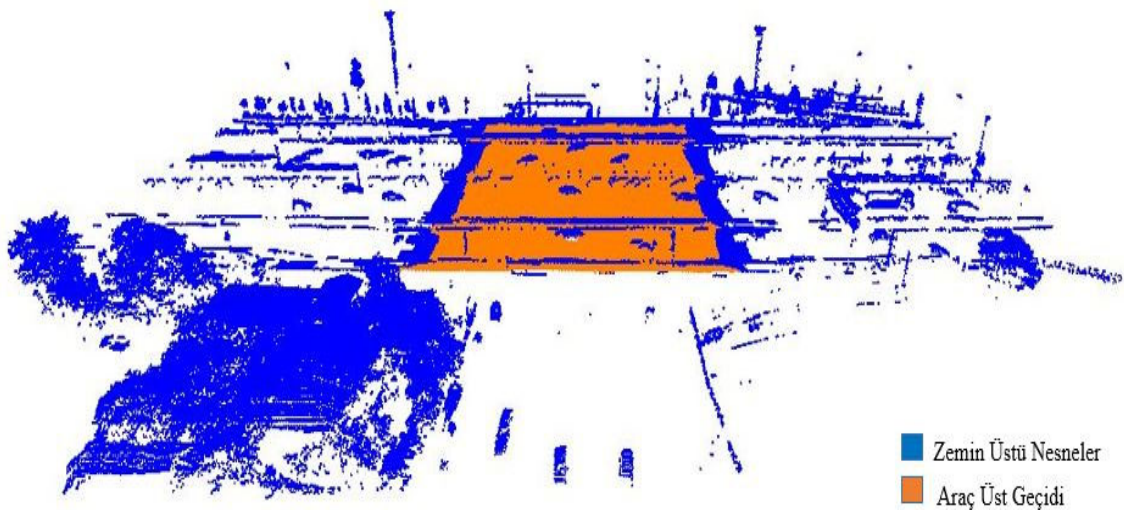
Araç üst geçidinin çıkarımı için hazırlanmış 187016 toplam nokta içeren minimum yükseklik değeri 107,17 m ve maksimum yükseklik değeri 132,83 m olan zemin üstü nesnelere bu metaveri değerleri incelendikten sonra bu nokta bulutu verilerinin sınıflandırılıp araç üst geçidinin çıkarılması için bir dizi sınıflandırma parametresi denenmiştir.

Çalışmada *lasclassify* modülü, arama alanı boyutu (search area size), yapı düzlemselliği (building planarity), bitki örtüsü pürüzlülüğü (forest ruggedness), zeminden uzaklık mesafesi (ground offset) parametrelerine bağlı olarak arama alanı boyutu parametresi için 1,5’ dan 6,5’ a kadar 2 artırılarak, yapı düzlemselliği parametresi için 0,1’ den 0,04’ e kadar 0,02 azaltarak, bitki örtüsü pürüzlülüğü parametresi için 0,15-0,30 arası 0,5 artırım ile zeminden uzaklık mesafesi için ise araç üst geçidi gabari yükseklik değeri 3,5-5 arası 0,5 artırım değerleri denenmiştir. Çizelge 3.12’ de parametre deneme dizilerinin bir kısmı gösterilmiştir.

Çizelge 3.12 Sınıflandırma parametre deneme değerlerinin bir kısmı

Arama alanı boyutu (m)	Yapı düzlemselliği (m)	Bitki örtüsü pürüzlülüğü (m)	Zeminden uzaklık mesafesi (m)
1,50	0,10	0,15	3,50
3,50	0,08	0,20	4,00
5,50	0,06	0,25	4,50
6,50	0,04	0,30	5,00

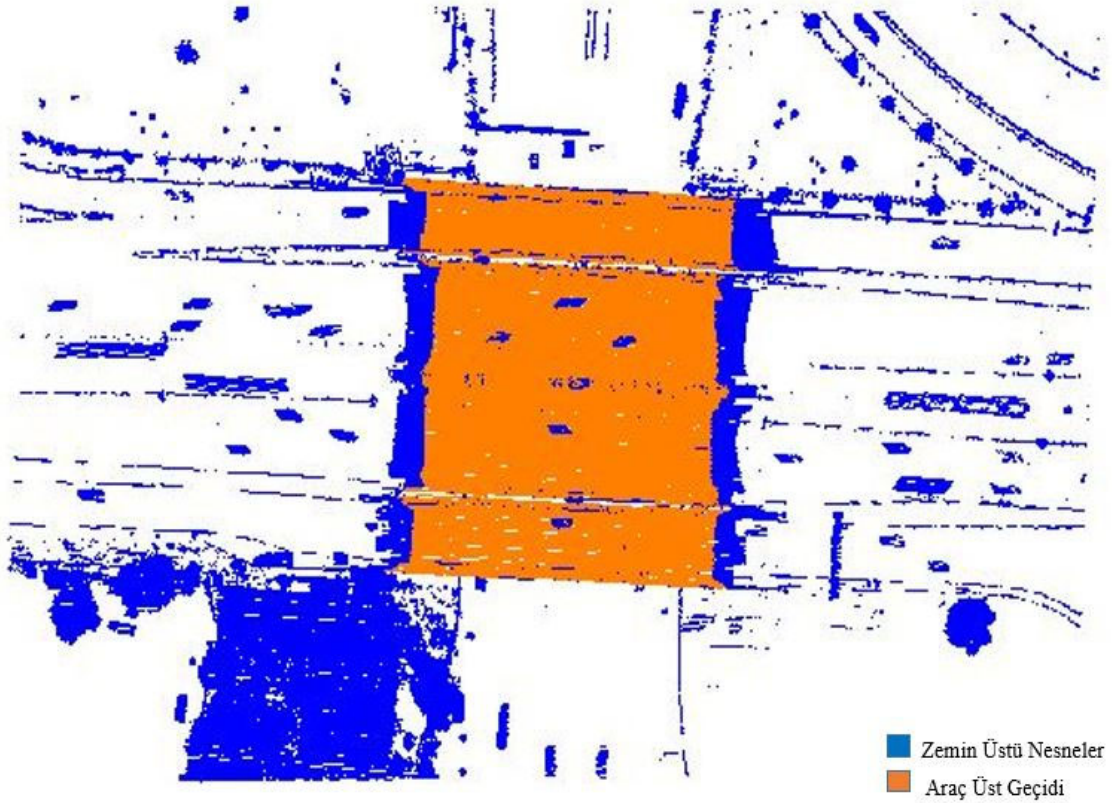
Deneme sonuçları nitel olarak incelendikten sonra sınıflandırma işlemi için sırasıyla 5,5-0,04-0,3-3,5 optimum parametre değerleri ile sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Yapı düzlemselliği parametresi azaldıkça araç üst geçidi yakınında ki aykırı değerlerin azaldığı gözlenmiştir. Bu çalışma alanı için 0,04-0,10 arasındaki tüm değerler uygundur. Bitki örtüsü pürüzlülüğü parametresi yükseldikçe araç üst geçidine eklenen nokta sayısından bir değişme olmuyor yalnız üst geçide bitişik bitki örtüsünü seyrekletirmede etkili olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 3.12’ de 91362 nokta ile minimum kot değeri 114,16 m ve maksimum kot değeri 116,00 m olan hava LiDAR nokta bulutundan filtrelenmiş araç üst geçidi nokta bulutu belli bir açıdan gösterilmiştir.



Şekil 3.12 Araç üst geçit çıkarımı

Şekil 3.13.’ de otomatik çıkarımı yapılan araç üst geçidinin üstten görüntüsü, diğer zemin üstü verileri ile gösterilmiştir. Görselden de anlaşılacağı üzere köprüler her iki tarafta çıplak zemine bağlanırlar. Burada araç üst geçidin filtrelenmesi ile ilgili bir problem de görülmüştür, bu problem köprünün nerede başladığı ve nerede bittiği

hakkında uygulanan filtrelemenin verdiği kararlar ilgilidir. Ama bu hatanın çok büyük olmadığı Şekil 3.12’ de gözükmemektedir. Diğer taraftan şekilde sol alt kısımdaki yoğun ve yüksek bitki örtüsü, hemen hemen köprü yüksekliğinde olan bina çatılarından oluşan nokta bulutu kümesinden, filtrelemenin etkilenmeyerek araç üst geçidini çıkardığı görülmüştür.

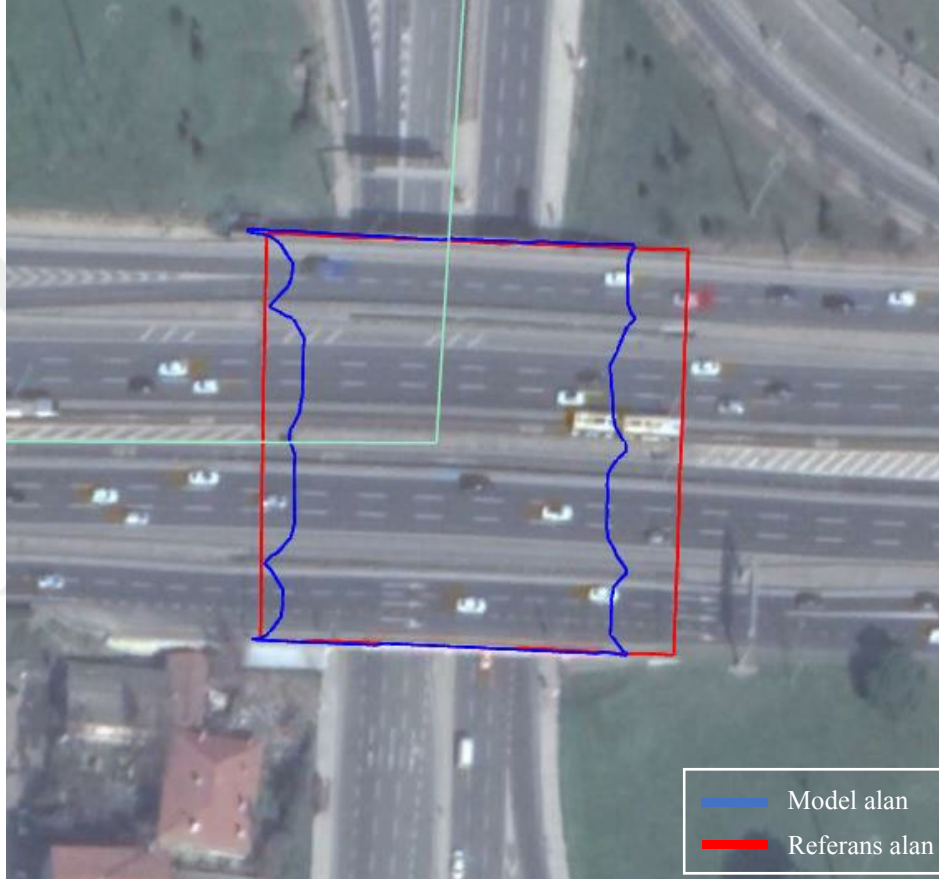


Şekil 3.13 Araç üst geçit çıkarımı üstten görünüm

3.3.4. Doğruluk Analizi

Çalışma alanına ait verilerin doğruluk analizi nitel ve nicel gözlem olarak yapılmıştır. Nitel gözlemlerde hava LiDAR verisinin projeksiyon bilgileri girilerek çıkarılan sonuçlar Google Earth üzerine yansıtılmıştır ve çıkarımı yapılan yaya üst geçidinin sınırları burada analiz edilmiştir. Şekil 3.14’ de Google Earth üzerine yansıtılmış, filtrelenmiş ve nokta bulutu sınırları otomatik olarak çizdirilmiş araç üst geçidi gösterilmiştir. Google Earth üzerine yansıtılmış araç üst geçidinde mavi çizgiler model alanı yani hava LiDAR nokta bulutu verisinden filtreleme ve sınıflandırma işlemleri sonucu elde edilen alan gösterilmiştir, kırmızı çizgiler ile hava LiDAR nokta bulutu verisinden manuel olarak elde edilen yaya üst geçidi referans alanı gösterilmiştir.

Nicel Gözlem olarak referans alan ile model alanın karşılaştırılması yapılmıştır. Bölüm 2.2.4.' de yapılacak doğruluk analizi yönteminden detaylı bir şekilde bahsedilmiştir. Hava LiDAR nokta bulutundan araç üst geçidi çıkarımında, referans alan ile model alanı üst üste çakıştırdığımızda iki alanın kesişim değeri $3613,68 \text{ m}^2$ dir. Model alanın referans alandan farklı olarak kapladığı alan değeri $32,17 \text{ m}^2$ dir. Referans alanın model alandan farklı olarak kapladığı alan değeri ise $985,79 \text{ m}^2$ dir.



Şekil 3.14 Filtreleme sonucu araç üst geçidi sınırları

Çizelge 3.13' de doğruluk analiz sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 3.13 Çalışma Bölgesi #2 doğruluk analiz değerleri

Model ve referans alanın kesişimi $M \cap R$ (m^2)	Model alanın referans alandan farkı $M \setminus R$ (m^2)	Referans alanın model alandan farkı $R \setminus M$ (m^2)	Doğruluk (%)	Hassasiyet (%)	Kalite (%)
3613,68	32,17	985,79	99	79	78

Bu bilgiler üzerinden çıkarılan araç üst geçidin hassasiyeti % 79 oranında referans nesne ile uyduğu, model nesnenin % 99 oranında doğruluk gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu çalışma bölgesinde uygulanan filtreleme yönteminin kalite değeri ise % 78' lik performans ile çalıştığı sonucuna varılmıştır.

3.4. Çalışma bölgesi #3 İçin Ulaşılan Sonuçlar

Çalışma bölgesi #3' ün sayısal analizinin yapılması ve diğer yapılacak işlemlere altlık oluşturmak için Çizelge 3.14' de bir kısmı gösterilen metaveri bilgileri incelenmiştir.

Çalışma bölgesi #3 metaverileri incelendiği zaman Çalışma bölgesi #1' e göre yaklaşık yedi kat daha fazla bir alana, yaklaşık üç kat daha seyrek nokta sıklığına, yaklaşık olarak on kat daha az nokta yoğunluğuna ve yaklaşık bir buçuk kat daha az toplam nokta sayısına sahip olduğu gözlemlenmektedir. Çalışma alanı ile ilgili detaylı bilgi bölüm 3.1' de açıklanmıştır. Çalışma bölgesi #1 ve #2 ile farklı uçuş kayıt bilgilerine sahip olduğu için bu bölgede metrekareye düşen nokta yoğunluğunun ve nokta sıklığının düşük seviyede olduğu metaveri bilgilerinden gözükmemektedir.

3.4.1. Filtreleme

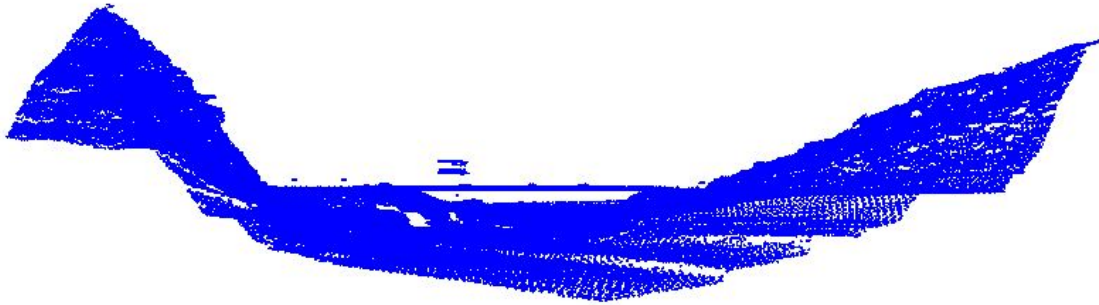
Çizelge 3.14' deki çalışma bölgesinin minimum ve maksimum yükseklik değerlerinden gürültü değeri içerip içermediği anlaşılmadığı için *Global Mapper* ticari yazılımı ile çalışma bölgesine ait nokta bulutu nitel olarak incelenmiştir. İnceleme sonucu minimum ve maksimum yükseklik değerleri arasında gürültü değerlerinin olduğu görülmüştür. Bu gürültü değerlerinin yüzey çıkarımında sonucu değiştirmeyeceği ama sınıflandırma aşamasında pürüzlü noktalar olarak gözükeceği için nokta bulutu verisinden bu gürültü değerleri için filtreleme parametreleri seçilmiştir. Gürültü değerlerini filtreleme parametreleri seçiminde, çalışma bölgesi #1 ve #2' nin gürültü değerleri filtreleme parametrelerinden de görüleceği gibi hava LiDAR nokta bulutunun nokta aralığı değerinin yaklaşık 2 katı bir değer alınıp soyutlanacak nokta bir seçildiğinde sağlıklı bir gürültü değerleri filtreleme parametresi elde ettiğimiz görülmüştür. Bu yüzden bu çalışma bölgesi içinde gürültü değerlerinin kaldırılması için “adım_xy= 1,2”, “adım_z=1,2” ve “izole=1” parametre değerleri seçilmiş ve filtrelenen gürültü değerlerinin nokta bulutundan kaldırılması kararı verilmiştir. Çizelge 3.14' de nokta

bulutu verisinden gürültü noktalarının kaldırılmadan önceki ve gürültü noktalarının ayıklanmasından sonraki durumunun metaveri değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.14 Gürültü değerlerinin kaldırılmadan önceki ve sonraki çalışma bölgesi metaverisi durumu

Durum		Gürültülü	Gürültüsüz
Nokta Sayısı	Toplam	173480	173453
	1. Dönüş	172811	172789
	2. Dönüş	634	629
	3. Dönüş	35	35
	Son Dönüş	172802	172779
	Tekli Dönüş	172168	172148
	Çoklu İlk Dönüş	643	641
	Çoklu Son Dönüş	634	631
Z_{min.} (m)		766,50	766,50
Z_{mak.} (m)		832.19	832,19
nokta/m²		2,823	2,823
Nokta Aralığı (m)		0,646	0,646

Şekil 3.15’ de belirlenen parametre değerleri ile gürültü değerlerinden izole edilmiş çalışma alanının hava LiDAR nokta bulutu görüntüsü profilden gösterilmiştir.



Şekil 3.15 Gürültü değerleri filtrelenmiş nokta bulutu

3.4.2. Zemin ve Zemin Üstü Nokta Ayrımı

Çalışmanın gürültü değerleri filtreleme sonucunu aldıktan sonra çıplak zemin ve zemin üstü nesne ayrımı için aşamalı düzensiz üçgen ağ yoğunlaştırma filtrelemesi gerçekleştirilmiştir. Çalışma bölgesi çalışma bölgesi #1 ve #2’ ye kıyasla keskin eğim değişim değerlerinin yaşandığı engebeli bir arazi tipine ve bozkır bir bitki örtüsüne sahiptir.

Çalışmada *lasground* modülü, grid büyüklüğü (step size), zemin TIN yüksekliği (bulge), TIN' e katılacak nokta yüksekliği (spike), uzaklık mesafesi (offset), standart sapma (standart deviation) parametrelerinin değerleri için bir dizi deneme yapılmıştır. Parametre değerlerinden TIN' e katılacak nokta yüksekliği değeri 1' den 5' e kadar 1 artırılarak adım büyüklüğü değeri 6' dan 10' a kadar 1 artırılarak, zemin TIN yüksekliği değeri 0,2' den 1' e 2 artırılarak, uzaklık mesafesi sabit alınarak ve standart sapma değerleri ise 1' den 5' e kadar 1 artırılarak denemeler yapılmıştır. Yapılan denemelerin çıktı sonuçları *Global Mapper* yazılımı ile açılıp metaverileri ve 3B görsel sonuçları nitel ve nicel olarak analizi yapılmıştır. Çıplak zemin ve zemin üstü nesnelerin çıkarımı için yapılan bir dizi denemeler Çizelge 3.15' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.15 PTIN parametre deneme değerlerinin bir kısmı

Grid büyüklüğü (m)	Zemin-TIN yüksekliği (m)	TIN' e katılacak nokta yüksekliği (m)	Uzaklık mesafesi (m)	Standart sapma (cm)
10,00	1,00	1,00	0,05	5,00
9,00	0,80	2,00	0,05	4,00
8,00	0,60	3,00	0,05	3,00
7,00	0,40	4,00	0,05	2,00
6,00	0,20	5,00	0,05	1,00

Deneme sonuçları *LAStools* yazılımı ile nitel olarak incelenmiştir ve sırasıyla 10-0,2-5-0,05-1 parametre değerleri gürültü değerlerinden filtrelenen çalışma bölgesine uygulanmıştır. 173453 hava LiDAR noktasının 128687 noktası çıplak zemin, 44766 noktası henüz sınıflandırılmamış zemin üstü olarak ayrılmış olup, çıplak zemin için minimum kot değeri 766,50 m maksimum kot değeri 832,19 m, zemin üstü noktalar için minimum kot değeri 767,08 m, maksimum kot değeri 831,91 m bulunmuştur. Bulunan bu değerler Çizelge 3.16' da gösterilmiştir.

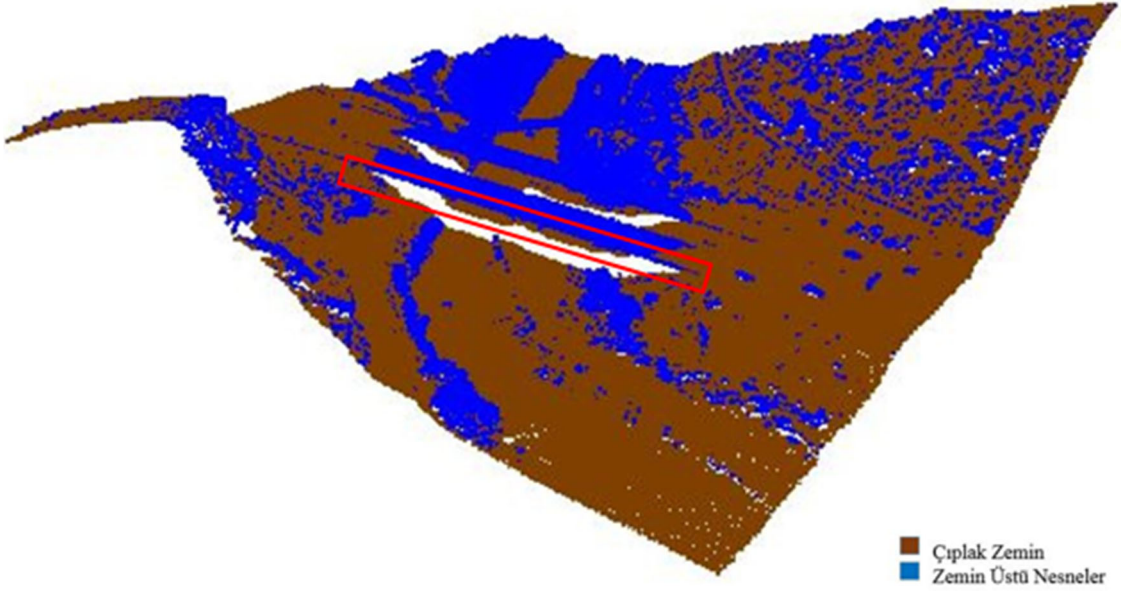
Çizelge 3.16 PTIN algoritması sonucu metaveri

	Çıplak zemin	Zemin üstü
Nokta sayısı	128687	44766
Min. Kot (m)	766,50	767,08
Max. Kot (m)	832,19	831,91
Ort. Kot (m)	799,345	799,495

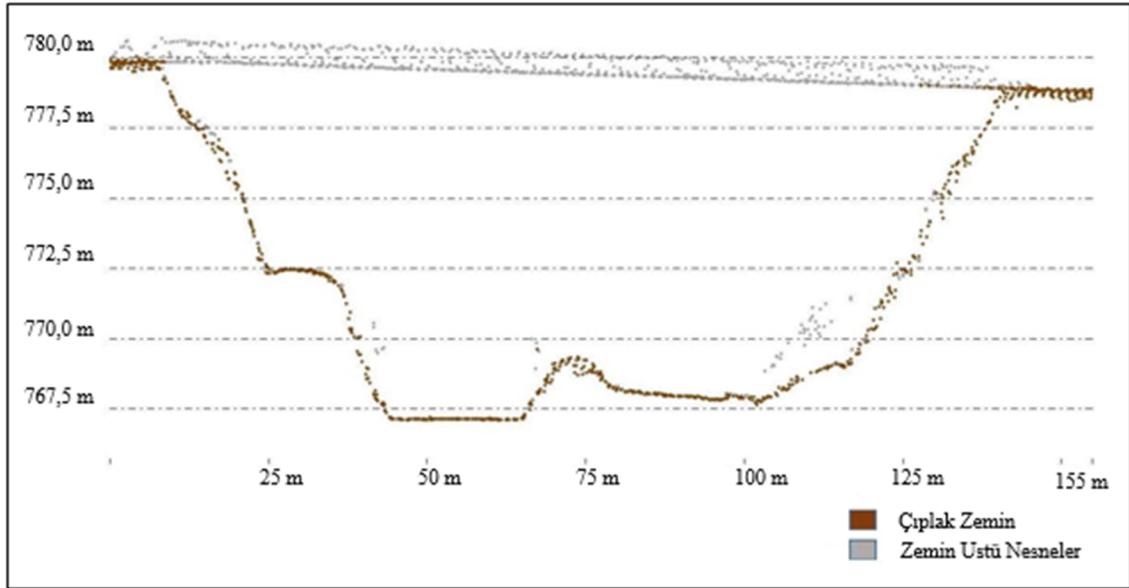
Şekil 3.16 (a)' da çalışma bölgesinin Google Earth görüntüsü gösterilmiştir. Şekil 3.16 (b)' de optimum parametreler ile elde edilmiş çıplak zemin ve zemin üstü nesnelerin ayrımını içeren hava LiDAR nokta bulutunun belli bir açıdan görüntüsü gösterilmiştir.



a)



b)



c)

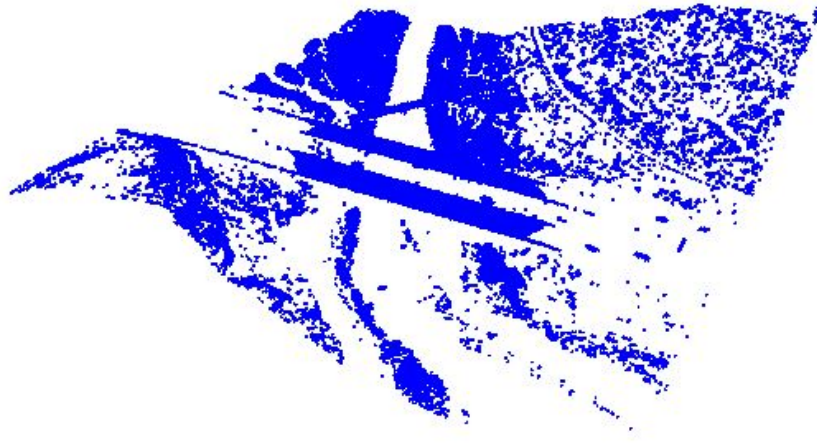
Şekil 3.16 (a) Çalışma bölgesi Google fotoğrafı, (b) Çıplak zemin ve zemin üstü nesne ayrımı, (c) PTIN algoritması uygulaması sonucu köprü ve çıplak zemin bağlantı noktalarının durumu

Köprünün Şekil 3.16 (b)' de belirtilmiş olan birinci köprü dış banket yerlerinin profil kesitleri Şekil 3.16 (c)' de gösterilmiştir.

Şekil 3.16 (b)' de görüleceği üzere, hava LiDAR nokta bulutundaki köprü zemin üstü nesne olarak tanımlanmıştır. Köprü ile çıplak arazinin birleşim yerlerinde, köprü başlangıcı ve bitişinin başarılı bir şekilde çıkarıldığı gözlemlenmiştir. Yalnız köprü nesnesinin orta şeridi dış banket kısmına kıyasla daha fazla çıplak zemin olarak filtrelendiği gözükmemektedir. Diğer bir deyişle algoritma köprü nesnesinin dış banket kısımları ile çıplak zemin arasında bir yükseklik farkı olduğunu tanımlayıp dış banketi köprünün bir parçası olarak olumlu şekilde tanımlıyor. Ama dış banket noktaları ile yaklaşık aynı kotta ve hizada olan köprü orta şerit kısmını köprü parçası olarak tanımlayamadığı görülmüştür.

Köprü nesnesi profil kesit noktaları belirlenirken, arazi sevi ile köprünün birleşim yerlerinden bir metre genişliğinde kesitler alınmıştır. Çıplak zemine köprünün bağlantı noktaları araç üst geçidi ile karşılaştırıldığında, köprü nesnesinin daha az nokta yoğunluğuna ve daha seyrek nokta sıklığına sahip olduğu için köprü nesnesinin araziyle birleşiminin daha olumlu olduğu nitel olarak gözlenmiştir.

Bu aşamada hava LiDAR verisinden çıplak zemin filtrelenip veriden sökülmezse, sınıflandırma işleminde istenmeyen sonuçlar ile karşılaşmıştır. Bu yüzden yer filtrelemesi ile elde edilen çıplak zemin, gürültü değerlerinden arındırılmış nokta bulutundan *las2las* modülü ile elimine edilerek, *LAStools* yazılımında nitel olarak analizi yapılmıştır ve kalan hava LiDAR noktaları sınıflama yapılması için hazırlanmıştır. Şekil 3.17' de zemin üstü nesnelerin ilk hava LiDAR nokta bulutundan sökülmüş hali gösterilmiştir.



Şekil 3.17 Zemin üstü tarama noktaları

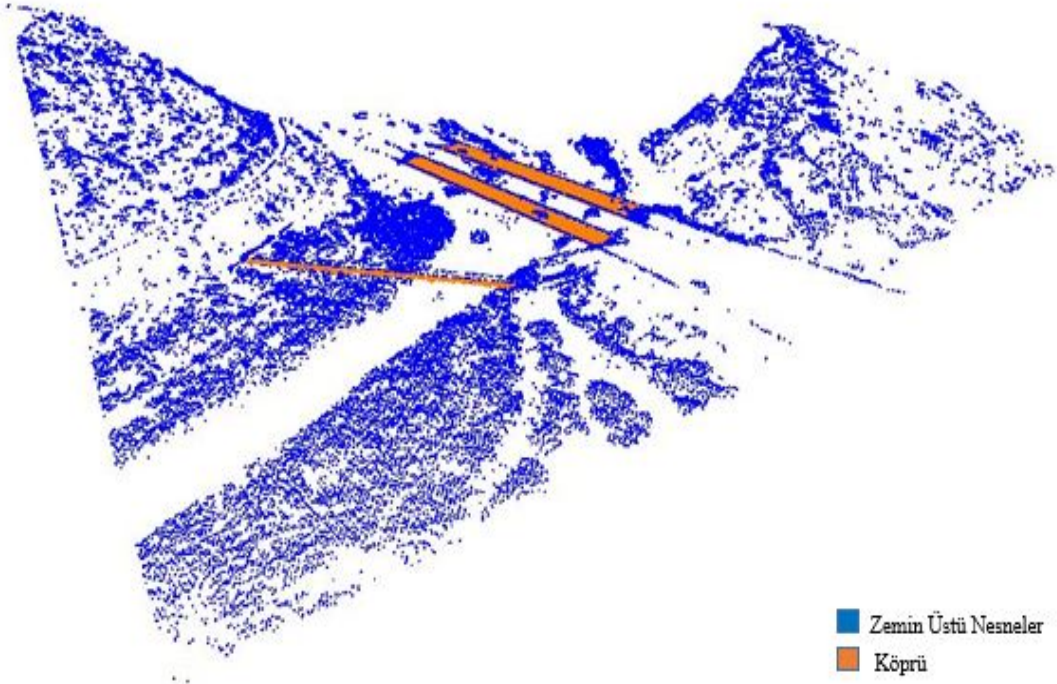
3.4.3. Köprü Tespiti

Köprü çıkarımı için hazırlanmış 44766 toplam nokta içeren minimum yükseklik değeri 767,08 m ve maksimum yükseklik değeri 831,91 m olan zemin üstü nesnelerin bu metaveri değerleri incelendikten sonra bu nokta bulutu verilerinin sınıflandırılıp köprünün çıkarılması için bir dizi sınıflandırma parametresi denenmiştir. Çalışmada *lasclassify* modülü, arama alanı boyutu (search area size), yapı düzlemselliği (building planarity), bitki örtüsü pürüzlülüğü (forest ruggedness), zeminden uzaklık mesafesi (ground offset) parametrelerine bağlı olarak arama alanı boyutu parametresi için 2' den 8' e kadar 2 artırılarak, yapı düzlemselliği parametresi için 0,03' den 0,12' e kadar 0,03 artırılarak, bitki örtüsü pürüzlülüğü parametresi için 10 sabit olarak alınmıştır. Ve zeminden uzaklık mesafesi için ise 1,5-4,25 arası 1 artırım değerleri alınmış ve denenmiştir. Çizelge 3.17' de parametre deneme dizilerinin bir kısmı gösterilmiştir.

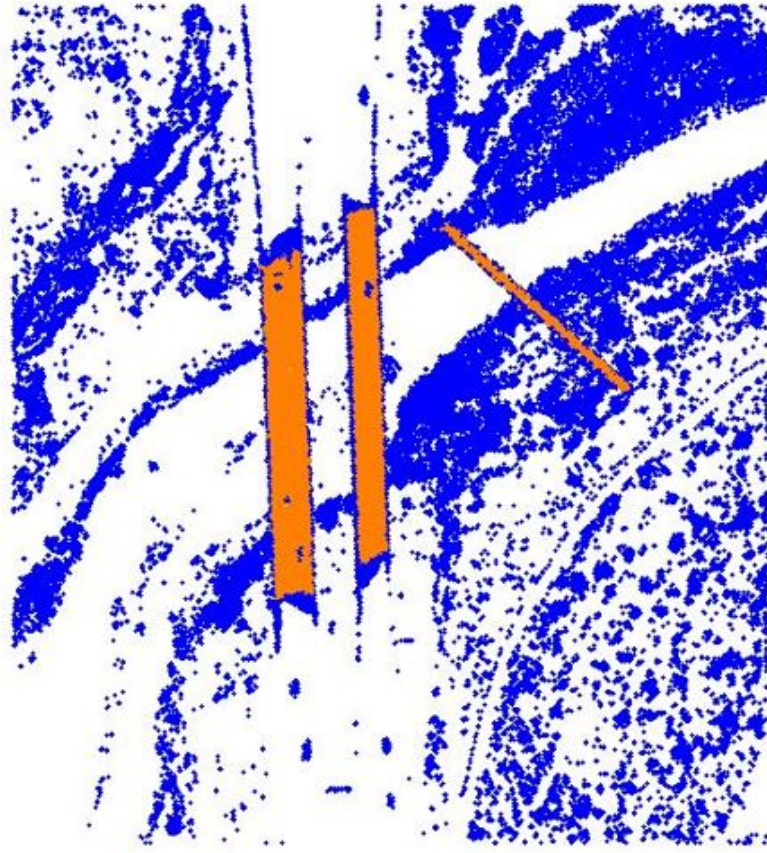
Çizelge 3.17 Sınıflandırma parametre deneme değerlerinin bir kısmı

Arama alanı boyutu (m)	Yapı düzlemselliği (m)	Bitki örtüsü pürüzlülüğü (m)	Zeminden uzaklık mesafesi (m)
2,00	0,03	10,00	1,25
4,00	0,06	10,00	2,25
6,00	0,09	10,00	3,25
8,00	0,12	10,00	4,25

Deneme sonuçları nitel olarak incelendikten sonra sınıflandırma işlemi için sırasıyla 2-0,03-10-1,25 optimum parametre değerleri ile sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Yapı düzlemselliği parametresi azaldıkça köprü yakınında ki aykırı değerlerin azaldığı gözlenmiştir. Bitki örtüsü pürüzlülüğü parametresi yükseldikçe köprüye eklenen nokta sayısından bir değişme olmuyor yalnız köprüye bitişik bitki örtüsünü seyrekleştirmede yahut bitki örtüsü çıkarımı yapılmasının istenilmemesi durumunda yüksek bir değer alınmasının etkili olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 3.18' de 7334 nokta ile minimum kot değeri 770,73 m ve maksimum kot değeri 781,70 m olan hava LiDAR nokta bulutundan filtrelenmiş köprü nokta bulutu belli bir açıdan gösterilmiştir.



Şekil 3.18 Köprü çıkarımı

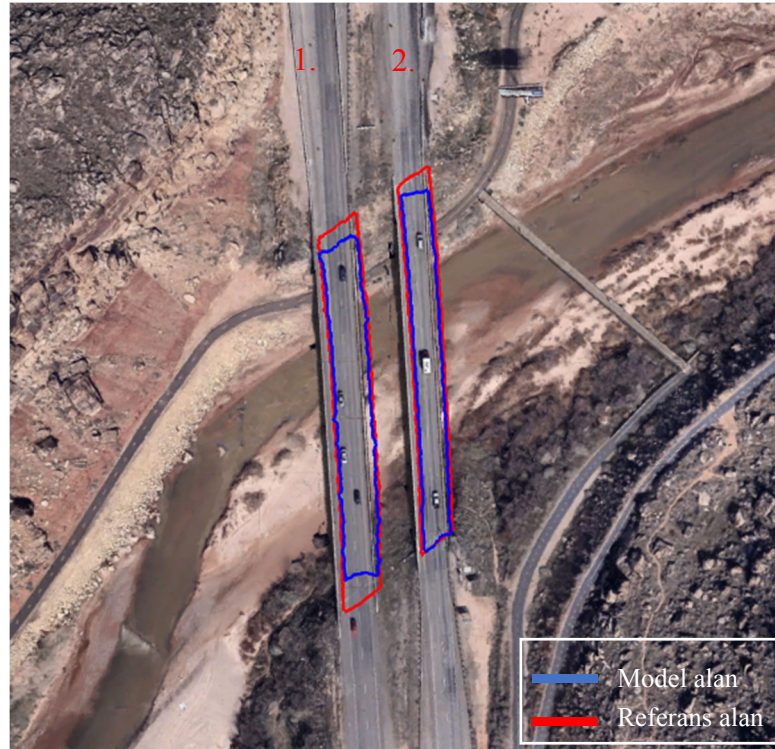


Şekil 3.19 Köprülerin üstten görünümü

Şekil 3.19’ de çıkarımı yapılan köprülerin üstten diğer zemin üstü verileri ile gösterilmiştir. Axelsson’ un Aşamalı Düzensiz Üçgen Ağ Yoğunlaştırma filtrelemesinin çalışma bölgesinde çıkarımı yapılan köprü’nün sağ tarafında yaklaşık olarak 6,5 m daha düşük kotta bulunan, dere üzerine kurulan yaya üst geçidini de başarı ile çıkardığı gözlemlenmiştir. Yalnız bu nedenle, çalışma bölgesinde ki tüm köprü çeşitleri için eğer köprülerin hepsi tek bir taramada analizlerinin yapılması durumunda, hepsinin yanlış tespitler olmadan tespit edilmeleri beklenebilirdi.

3.4.4. Doğruluk Analizi

Çalışma alanına ait verilerin doğruluk analizi nitel ve nicel gözlem olarak yapılmıştır. Nitel gözlemde hava LiDAR verisinin projeksiyon bilgileri girilerek çıkarılan sonuçlar Google Earth üzerine yansıtılmıştır ve çıkarımı yapılan köprü’nün sınırları burada analiz edilmiştir. Google Earth üzerine yansıtılmış araç üst geçidinde mavi çizgiler model alanı yani hava LiDAR nokta bulutu verisinden filtreleme ve sınıflandırma işlemleri sonucu elde edilen alan gösterilmiştir, kırmızı çizgilerle hava LiDAR nokta bulutu verisinden manuel olarak elde edilen köprü referans alanı gösterilmiştir. Şekil 3.20’ de Google Earth üzerine yansıtılmış, filtrelenmiş ve nokta bulutu sınırları otomatik olarak çizdirilmiş köprü gösterilmiştir.



Şekil 3.20 Filtreleme sonucu köprü sınırları

Nicel Gözlem olarak referans alan ile model alanın karşılaştırılması yapılmıştır. Bölüm 2.2.4.' de yapılacak doğruluk analizi yönteminden detaylı bir şekilde bahsedilmiştir. Hava LiDAR nokta bulutundan köprü çıkarımında, referans alan ile model alanı üst üste çakıştırdığımızda iki alanın kesişim değeri birinci köprü için 1405,90 m², ikinci köprü için 1117,46 m² dir. Model alanın referans alandan farklı olarak kapladığı alan değeri birinci köprü için olmamasına karşın, ikinci köprü için 0,60 m²' dir. Referans alanın model alandan farklı olarak kapladığı alan değeri birinci köprü için 358,54 m², ikinci köprü için 258,83 m²' dir. Çizelge 3.18' da doğruluk analiz sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 3.18 Çalışma Bölgesi #3 doğruluk analiz değerleri

Köprü	Model ve referans alanın kesişimi $M \cap R$ (m²)	Model alanın referans alandan farkı $M \setminus R$ (m²)	Referans alanın model alandan farkı $R \setminus M$ (m²)	Doğruluk (%)	Hassasiyet (%)	Kalite (%)
1.	1405,90	0,00	358,54	100	80	80
2.	1117,46	0,60	258,83	100	81	81

Bu bilgiler üzerinden sırasıyla çıkarılan birinci köprünün hassasiyeti % 80 ve ikinci köprünün hassasiyeti % 81 oranında referans nesne ile uyduğu, model nesnenin her iki köprü içinde % 100 oranında doğruluk gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu çalışma bölgesinde uygulanan köprü tespiti filtreleme yönteminin; birinci köprü için kalite değeri % 80, ikinci köprü için % 81' lik performans ile çalıştığı sonucuna varılmıştır.

4. TARTIŞMA

Belli bir görüntüdeki hava LiDAR nokta bulutunda, köprülerin sayısı genellikle düşük olduğundan bu tez çalışmasında açıklanan çalışma bölgeleri için çeşitli hava LiDAR nokta bulutlarından köprüler seçilmiştir. Otomatik köprü çıkarımı için İstanbul ili 1 ve 2, Utah eyaleti için 3 numaralı çalışma bölgeleri seçilmiştir. Bu bölgelerin hava LiDAR nokta bulutu taramalarını analiz etmek için *lasnoise* modülü ile gürültü değerleri, *lasground* modülüne eklenmiş olan Aşamalı Düzensiz Üçgen Ağ Yoğunlaştırma algoritması ile çıplak zemin ve zemin üstü nesnelere birbirinden ayrımı ve *lasclassify* modülü ile sınıflandırma algoritması denenmiştir. Bu algoritmaların her biri için farklı parametre değerleri kullanılmış olup hava LiDAR nokta bulutundan köprüler ve üst geçitlerin otomatik çıkarım çalışması tamamlanmıştır. Analiz sonuçlarını bir araya getirdiğimizde algoritmanın köprüleri kalite yüzdesi yüksek bir şekilde tespit ettiği görülmüştür.

Kullanılan algoritmalar öncelikle, lazer tarayıcı verilerindeki köprülerin varlığını tespit etmek içindir. Bu bakımdan, algoritmalar çok başarılı görünüyor. Test edilen tüm veri setlerinde köprüler her zaman tespit edilmiştir. Yalnız kullanılan algoritmalarda parametre değerlerinden sadece birinin üzerinde yapılan değişim değerlerinin, istenilen sonuçları vermediği görülmüştür. Bu yüzden parametre değerlerinin tek tek hepsinin belirli bir permütasyon ile birlikte kullanılmasının daha sağlıklı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Gürültü değerlerini filtrelemek için *lasnoise* modülü kullanılmıştır. Gürültü değerlerini filtreleme parametreleri seçiminde, hava LiDAR nokta bulutunun nokta aralığı değerinin (nokta sıklığı) yaklaşık 2 katı bir değer alınmıştır. Soyutlanacak nokta için ise bir seçildiğinde yahut soyutlanacak nokta için nokta yoğunluğu değerlerine göre bir değer seçimi yapıldığı zaman çalışma bölgeleri için sağlıklı bir gürültü değerleri filtreleme parametresi elde ettiğimiz nitel izlenimler sonucunda da görülmüştür.

Çıplak zemin ve zemin üstü nesnelere birbirinden ayırıp sınıflandırmak için *lasground* modülünü ile gelen Axelsson' un Aşamalı Düzensiz Üçgen Ağ Yoğunlaştırma filtrelemesi kullanılmıştır. Bu filtre için parametre değerleri seçiminde, aynı hava LiDAR nokta bulutu paftasında yer alan çalışma bölgesi 1 ve 2 için aynı parametre değerleri kullanarak istenilen sonuçların alındığı görülmüştür. Bu nedenle, çalışma bölgesi 1 ve 2 için eğer köprülerin hepsi tek bir taramada analizlerinin yapılması durumunda, hepsinin yüksek doğrulukla tespit edilmeleri beklenebilirdi. Yalnız bu iki çalışma bölgesi için nitel

gözlem analizleri yapıldığında; ikinci çalışma bölgesindeki araç üst geçidin çıplak toprak ile birleşim yerleri ile birinci çalışma bölgesindeki yaya üst geçidinin çıplak toprak ile birleşim yerleri karşılaştırıldığında, araç üst geçidinin çıplak toprak ile her iki taraftaki birleşim yerlerinin daha fazla miktardaki kısmının çıplak zeminin bir uzantısı olarak algılandığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni köprülerin çıplak toprak ile birleşim yerlerinin eğim miktarları olduğu görülmüştür. Bundan dolayı yaya üst geçidinin çıplak zeminle birleşim yerinin eğimi araç üst geçidine göre daha fazla olduğu için birleşim yerindeki daha az kısmı çıplak zemin gibi davranmıştır. Üçüncü çalışma bölgesindeki köprü imalatı içinde aynı analiz sonuçlarının geçerliği olduğu görülmüştür. PTIN algoritmasının doğruluk analizi sonucu kalite sonuçları baz alınarak algoritmanın nokta yoğunluğundan ve nokta aralığından etkilenmediği sonucuna varılmıştır. Köprüler arası karşılaştırma işlemi yapıldığında PTIN algoritmasının yaya üst geçidini çıplak zemin ile ayırımının daha başarılı bir şekilde gerçekleştirdiği gözükmektedir. Ayrıca algoritmanın ikinci çalışma bölgesindeki binaları da başarıyla filtrelediği görülmüştür ve çalışma bölgelerindeki üçüncü çalışma bölgesi gibi ani eğim değişim değerlerinin yaşandığı engebeli bir arazi tipinde yahut diğer çalışma bölgeleri gibi düz, düşük eğimli arazi tipinde başarılı bir şekilde çalıştığı görülmüştür.

Lasground modülünde sonuçlardaki değişimi en fazla etkileyen parametre değerleri olan, adım büyüklüğü yani arama pencere ebadı ve TIN' e katılacak nokta yüksekliği parametre değerleridir. Özellikle arama penceresi ebadı için çalışma bölgesindeki en büyük nesnenin boyutu ebadında bir değer girilmelidir. Bu tez çalışmasında en büyük nesne boyutu olarak köprüler ve üst geçitler dikkate alınmıştır. PTIN algoritması parametresi olan arama pencere ebadı (adım büyüklüğü) parametresi için otomatik çalışıp tarama alanındaki en büyük nesneyi algılayabilecek bir düzeltme yapılması durumunda daha hızlı işlem yeteneği ve vakit kazanımı getireceği öngörülmüştür.

Yer üstü nesnelerin sınıflandırılması için kullanılan *lasclassify* modülünde, köprüleri sınıflandırma parametreleri seçiminde sonuçlardaki değişimi en fazla etkileyen parametre değerleri olan, arama alanı boyutu ve zeminden uzaklık mesafesi parametre değerleridir. Köprü çıkarımının sağlanması için arama alanı boyutu parametre değeri, hava LiDAR nokta bulutunda binaların olması durumunda bu nesnelerin boyutu ebadından daha büyük bir değer girilmelidir. Nitekim önerilen bu yöntemin çalışma bölgesi #2 için sağlıklı sonuçlar getirdiği görülmüştür. Zeminden uzaklık mesafesi parametre değeri, girilen yükseklik eşik değerinden sonra, çıplak zeminden verilen değer

ve yukarı olmak üzere komşu noktaları bulma kararını verir. Bu yüzden çalışma bölgesindeki en düşük yükseklik olarak üst geçitlerin zeminden olan yaklaşık gabari yükseklikleri göz önüne alınmıştır.

Algoritmalar ayrıca bir köprünün başladığı ve bittiği yeri belirlemek için de kullanılmışlardır. Yalnız bu konuda algoritmaların başarısı açık değildir. Bunun için köprünün çıplak toprağa bağlandığı yer, kullanıcının yorumuna ve şevli toprak dolgusunun mevcudiyetine bağlıdır. Bir köprünün başlangıcı ve bitişindeki bu beklenen özelliklerden dolayı, doğru sınıflandırılmamış köprü noktalarının sayısına göre algoritmanın doğruluğunun test edilmesi güvenilir olmayan bir ölçü olarak kabul edilmemiştir. Ancak doğruluk analizi sonucu hassasiyet, doğruluk ve kalite hesaplamalarında bu yanlış sınıflandırılmış noktalar dahil edilerek bir nicel gözlem ortaya konmuştur.

LiDAR nokta bulutundan önerilen algoritma ile tespit edilen köprünün gerçek değerlerle uyumu; doğruluk, hassasiyet ve kalite parametreleri ile ifade edilmiştir. Bunlardan doğruluk ve hassasiyet parametreleri tespit edilen köprünün gerçek değer ile uyumunu alansal değerlerle ifade ederler. Ancak kalite parametresi tespit edilen köprünün gerçek değer ile hem alansal hem de sınır uyumunu yani birebir çakışmasını ifade eder. Bu nedenle köprülerin tespitinde başarı ve doğruluk performansını en iyi tanımlayan kriter kalite parametresidir diyebiliriz.

Çalışma bölgelerinde çıkarılan ürünlerin hassasiyeti; çalışma bölgesi #1 için % 99, çalışma bölgesi #2 için % 79, çalışma bölgesi #3 için % 80 oranında referans nesne ile uyduğu gözlemlenmiştir.

Çalışma bölgelerinde model nesnenin; çalışma bölgesi #1 için % 97, çalışma bölgesi #2 için % 99, çalışma bölgesi #3 için % 100 oranında doğruluk gösterdiği gözlemlenmiştir.

Çalışma bölgelerinde uygulanan filtreleme yönteminin kalite değerleri çalışma bölgesi #1 için % 96, çalışma bölgesi #2 için % 78, çalışma bölgesi #3 için % 80 performans ile çalıştığı sonuçlarına varılmıştır.

Nokta bulutunun çıplak zemin ve zemin üstü noktalar olarak sınıflandırma işleminden sonra köprü ve üst geçit nesnelere, zemin ile köprü üst noktası arasındaki düşey mesafesinin bulunması için, çıkarılan köprü veya üst geçit nesnesine ait nokta bulutu içerisinde ortalama köprü Y, X, Z' si üretilmiştir. Bulunan koordinat değerlerinin düşey doğrultusuna karşılık gelen nokta çıplak zemin noktasıdır. Bu çıplak zemin noktasının kot değeri nokta enterpolasyonu ile bulunmuştur. Her iki nokta arasındaki

ilişki ile zemin ve köprü üst noktasının yüksekliği elde edilmiştir. Uygulanan yöntem Çalışma bölgesi #1’ de bulunan yüksek kot farkı içeren birleşik yapıdaki yaya üst geçidinde, üst geçidin 2 ayrı kottaki kısımları parçalara ayrılarak her bir parçaya ayrı ayrı önerilen bu yöntem uygulanmıştır. Önerilen yöntem ile köprü veya üst geçitlerin gabari yükseklikleri LiDAR nokta bulutundan elde edilebilir. Köprü uygulamalarında prekast kirişler 0,50-1,40 m. ortalama yüksekliğe sahiptir. Belirlenen bu ortalama kiriş boyu ile gabari yüksekliğinin elde edilebilmesi için düşey mesafeden kiriş yüksekliği çıkarılarak yaklaşık gabari yüksekliği bulunabilir. Çizelge 4.1’ de çalışma bölgelerine ait çıplak zemin ve köprü üst noktası arasındaki düşey mesafeler ve gabari yükseklikleri gösterilmiştir. Üçüncü çalışma bölgesinin büyük nokta aralığına sahip olması nedeni ile kiriş yüksekliği belirsiz özelliktedir.

Çizelge 4.1 Çalışma bölgelerine ait çıplak zemin ve köprü nesnesi arası düşey mesafe ve gabari değerleri

Çalışma Bölgesi	Mevki	Y (m)	X (m)	Z (m)	Düşey mesafe (m)	Yaklaşık Gabari (m)
#1 (1. kısım)	Anayol üst geçidi	414272,62	4548578,67	122,42	6,24	5,74
	Çıplak zemin	414272,62	4548578,67	116,18		
#1 (2. kısım)	Tali yol üst geçidi	414262,57	4548607,65	119,35	5,74	5,24
	Çıplak zemin	414262,57	4548607,65	113,61		
#2	Araç üst geçidi	414139,50	4548594,26	114,66	6,01	5,51
	Çıplak zemin	414139,50	4548594,26	108,65		
#3 (1. köprü)	Köprü	270222,69	4105705,91	779,47	12,38	11,88
	Çıplak zemin	270222,69	4105705,91	767,09		
#3 (2. köprü)	Köprü	270253.91	4105705.66	779,58	11.37	10,87
	Çıplak zemin	270253.91	4105705.66	768,21		

5. SONUÇ

Tez çalışmasında uygulanan algoritmaların nokta bulutlarındaki köprüleri tespit etmek için iyi çalıştığı bulunmuştur. Çalışmada uygulanan algoritmaların kullanılabilirlik seviyesini artırmak için çeşitli köprü şekillerinde ve tasarımlarında (katlı kavşak, köprülü kavşak tipleri vb.) denenmesi gerektiği düşünülmektedir.

Teknoloji günden güne hızlı bir şekilde geliştiği için hava LiDAR nokta bulutundan köprü tespitinde manüel filtrelemeye mukayesen otomatik filtrelemenin yaygınlaşacağı düşünülmektedir. Fakat yapılan araştırmalar ve çalışma bölgelerine uygulanan yöntemler doğrultusunda mevcut kullanılan algoritma ile bütün olarak bir otomatik filtreleme uygulanamayacağı görülmüştür. Bu doğrultuda köprü filtreleme yönteminin tamamen otomatikleştirilmesi için inceleme ve analizlerin artırılması gerektiği öngörülmüştür. Bunun yanında bu tez çalışmasında uygulanan otomatik köprü çıkarımı algoritması olarak kullanılan filtreleme yöntem aşamalarının hibrit bir algoritma ortaya koymak için birleştirilmesi gerektiği öngörülmektedir. Ayrıca yapılacak hibrit algoritmada köprü filtreleme veriminin artırılması için LiDAR teknolojisi tarafından elde edilen x, y, z konum bilgisinin yanı sıra ışın şiddeti / yansıma değerleri ve ek RGB değerlerinin kullanılabileceği ve algoritma işlem aşamasına eklenebileceği düşünülmektedir. Bunlara ek olarak LiDAR nokta bulutundan köprülerin otomatik çıkarımında hava fotoğrafları da yardımcı veri olarak kullanılabilir. Böylelikle daha uygulanabilir bir otomatik filtreleme geliştirilebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Axelsson, P., 1999, Processing of laser scanner data—algorithms and applications, *ISPRS Journal of Photogrammetry Remote Sensing*, 54 (2-3), 138-147.
- Baltsavias, E. P., 1999, Airborne laser scanning: basic relations and formulas, *ISPRS Journal of Photogrammetry Remote Sensing*, 54 (2-3), 199-214.
- Brovelli, M. A., Cannata, M. ve Longoni, U., 2002, Managing and processing LIDAR data within GRASS, *Proceedings of the GRASS Users Conference*.
- Cheng, L., Wu, Y., Wang, Y., Zhong, L., Chen, Y. ve Li, M., 2014, Three-dimensional reconstruction of large multilayer interchange bridge using airborne LiDAR data, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations Remote Sensing*, 8 (2), 691-708.
- Elmqvist, M., Jungert, E., Lantz, F., Persson, A. ve Soderman, U., 2001, Terrain modelling and analysis using laser scanner data, *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing Spatial Information Sciences*, 34 (3/W4), 219-226.
- Flood, M., 2001, LiDAR activities and research priorities in the commercial sector, *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing Spatial Information Sciences*, 34 (3/W4), 3-8.
- Habib, A., Bang, K. I., Kersting, A. P. ve Chow, J., 2010, Alternative methodologies for LiDAR system calibration, *Remote Sensing*, 2 (3), 874-907.
- Haugerud, R. A. ve Harding, D., 2001, Some algorithms for virtual deforestation (VDF) of LIDAR topographic survey data, *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing Spatial Information Sciences*, 34 (3/W4), 211-218.
- Houzelle, S. ve Giraudon, G., 1992, Automatic feature extraction and localization using data fusion of radar and infrared images, *In AGARD, Radiolocation Techniques 9 p (SEE N93-23598 08-32)*.
- Kilian, J., Haala, N. ve English, M., 1996, Capture and evaluation of airborne laser scanner data, *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing*, 31, 383-388.
- Kraus, K. ve Pfeifer, N., 2001, Advanced DTM generation from LIDAR data, *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing Spatial Information Sciences*, 34 (3/W4), 23-30.
- Lemmens, M., 2011, Airborne lidar, In: *Geo-information*, Eds: Springer, p. 153-170.
- Loménie, N., Trias-Sanz, R. ve Barbeau, J., 2003, Integrating Textural and Geometric Information for an Automatic Bridge Detection System, *Geoscience and Remote Sensing Symposium* IGARSS*, 39v52-3954.

- Petzold, B., Reiss, P. ve Stössel, W., 1999, Laser scanning—surveying and mapping agencies are using a new technique for the derivation of digital terrain models, *ISPRS Journal of Photogrammetry Remote Sensing*, 54 (2-3), 95-104.
- Rodriguez, E. ve Martin, J., 1992, Theory and design of interferometric synthetic aperture radars, *IEE Proceedings F (Radar and Signal Processing)*, 147-159.
- Roggero, M., 2001, Airborne laser scanning-clustering in raw data, *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing Spatial Information Sciences*, 34 (3/W4), 227-232.
- Rutzinger, M., Rottensteiner, F. ve Pfeifer, N., 2009, A comparison of evaluation techniques for building extraction from airborne laser scanning, *Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations Remote Sensing*, 2 (1), 11-20.
- Shufelt, J. A., 1999, Performance evaluation and analysis of monocular building extraction from aerial imagery, *IEEE Transactions on Pattern Analysis Machine Intelligence*, 21 (4), 311-326.
- Sithole, G. ve Vosselman, G., 2001, Filtering of laser altimetry data using a slope adaptive filter, *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing Spatial Information Sciences*, 34 (3/W4), 203-210.
- Sithole, G. ve Vosselman, G., 2003, Automatic structure detection in a point-cloud of an urban landscape, *2003 2nd GRSS/ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas*, 67-71.
- Sithole, G., 2005, Segmentation and classification of airborne laser scanner data, *Publications on Geodesy*, 59.
- Sithole, G. ve Vosselman, G., 2006, Bridge detection in airborne laser scanner data, *ISPRS Journal of Photogrammetry Remote Sensing*, 61 (1), 33-46.
- Sohn, G. ve Dowman, I., 2002, Terrain surface reconstruction by the use of tetrahedron model with the MDL criterion, *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 336-344.
- Trias-Sanz, R. ve Loménie, N., 2003, Automatic bridge detection in high-resolution satellite images, *International Conference on Computer Vision Systems*, 172-181.
- Vosselman, G., 2000, Slope based filtering of laser altimetry data, *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing*, 33 (B3/2; PART 3), 935-942.
- Vosselman, G. ve Maas, H.-G., 2010, Airborne and terrestrial laser scanning, CRC press, p.
- Wack, R., Wimmer, A. ve Sciences, S. I., 2002, Digital terrain models from airborne laserscanner data—a grid based approach, *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing*, 34 (3/B), 293-296.
- Wang, Y. ve Zheng, Q., 1998, Recognition of roads and bridges in SAR images, *Pattern recognition*, 31 (7), 953-962.

- Wehr, A. ve Lohr, U., 1999, Airborne laser scanning—an introduction and overview, *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 54 (2-3), 68-82.
- Wehr, A., 2018, LiDAR systems and calibration, In: Topographic laser ranging and scanning, Eds: CRC Press, p. 159-200.
- Xu, S. ve Xu, S., 2018, A Minimum-Cost Path Model to the Bridge Extraction from Airborne LiDAR Point Clouds, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 46 (9), 1423-1431.
- Zheng, Y., Wang, C. Y., Chen, J. B. ve He, D. X., 2013, A method of bridge outline extraction based on airborne LiDAR data, *Applied Mechanics and Materials*, 1048-1055.

İNTERNET KAYNAKLARI

- URL.1 LAStools, <https://www.cs.unc.edu/~isenburg/lastools/> [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2019].
- URL.2 Yıldız, F., *Büyük Ölçekli Harita Üretiminde LiDAR ve Ortofoto*, <https://studylibtr.com/doc/1372830/b%FCy%FCk-%F6l%E7ekli-harita-%FCretiminde-lidar-ve-ortofoto> [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2019].
- URL.3 *LAS Specification Version 1.4 – R13*, https://www.asprs.org/wp-content/uploads/2010/12/LAS_1_4_r13.pdf [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2019].
- URL.4 *Storing LiDAR Data*, <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/storing-lidar-data.htm> [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2019].
- URL.5 *Open Topography*, <https://opentopography.org/> [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2019].
- URL.6 *USGS Earth Explorer*, <https://earthexplorer.usgs.gov/> [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2019].
- URL.7 *United States Interagency Elevation Inventory*, <https://coast.noaa.gov/inventory/> [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2019].
- URL.8 *LiDAR Data for the United Kingdom*, https://catalogue.ceda.ac.uk/list/?return_obj=obj&id=8049,8042,8051,8053 [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2019].
- URL.9 *LiDAR Data for Northern Spain*, <ftp://ftp.geo.euskadi.net/lidar/> [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2019].
- URL.10 *GEOSUD*, <http://ids.equipex-geosud.fr/web/guest/donnees-lidar-satellite> [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2019].
- URL.11 *ALDPAT*, <http://lidar.ihrc.fiu.edu/lidartool.html> [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2019].

- URL.12 *FUSION/LDV*, http://forsys.cfr.washington.edu/FUSION/fusion_overview.html [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2019].
- URL.13 *GRASS GIS*, <https://grass.osgeo.org/screenshots/lidar/> [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2019].
- URL.14 *Fullanalyze*, <http://fullanalyze.sourceforge.net/> [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2019].
- URL.15 *MCC-LiDAR*, <https://sourceforge.net/projects/mcclidar/> [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2019].
- URL.16 *FugroViewer*, <https://www.fugro.com/about-fugro/our-expertise/technology/fugroviewer> [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2019].
- URL.17 *lasnoise*, http://www.cs.unc.edu/~isenburg/laszip/download/lasnoise_README.txt [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2019].
- URL.18 *lasground*, <http://lbi-archpro.org/als-filtering/lbi-project/results/lastools/guidelines-2> [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2019].
- URL.19 *lasground*, http://lastools.org/download/lasground_README.txt [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2019].
- URL.20 *lasground*, <http://lbi-archpro.org/als-filtering/lbi-project/results/lastools/filtering-algorithm-2> [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2019].
- URL.21 *lasclassify*, http://lastools.org/download/lasclassify_README.txt [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2019].
- URL.22 *LMS-Q680İ*, http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/10_DataSheet_LMS-Q680i_28-09-2012_01.pdf [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2019].
- URL.23 *Open Topography*, <http://opentopo.sdsc.edu/lidarDataset?opentopoID=OTLAS.092018.6341.1> [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2019].
- URL.24 *Global Mapper*, <https://www.blumarblegeo.com/products/global-mapper.php> [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2019].
- URL.25 *Şişli Kent Bilgi Sistemi*, <https://kentrehberi.sisli.bel.tr/> [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2019].

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Murat Ersin KORKMAZ
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Niksar - 01/06/1989
Telefon : 0543 409 9624
Faks : -
E-Posta : korkmazmuratersin@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Taşköprü Anadolu Lisesi	Taşköprü	KASTAMONU	2007
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi	Selçuklu	KONYA	2014
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi	Selçuklu	KONYA	-
Doktora	:	-	-	-

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2012	Kayı Holding	Stajyer
2014	My Bilgi Harita	Harita Mühendisi
2015	Palet İnşaat ve Ticaret A.Ş.	Harita Mühendisi
2015	Oze İnşaat Beton San. ve Tic. Ltd. Şti.	Etüt Şefi
2016	Taşyapı İnşaat Taahhüt Sanayi ve Ticaret A.Ş.	Etüt Şefi

UZMANLIK ALANI

Karayolu ve Sanat Yapıları
 Hava LiDAR Nokta Bulutu Analizi

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR