

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAVA LİDAR VERİLERİNİN SINIFLANDIRILMASI VE ORMAN AĞAÇLARINA
AİT ÖZNİTELİKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ
İSTANBUL BELGRAD ORMANI ÖRNEĞİ**

BİLGE CİVELEKOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
UZAKTAN ALGILAMA VE CBS YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. FÜSUN BALIK ŞANLI**

İSTANBUL, 2015

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAVA LİDAR VERİLERİNİN SINIFLANDIRILMASI VE ORMAN AĞAÇLARINA
AİT ÖZNİTELİKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ
İSTANBUL BELGRAD ORMANI ÖRNEĞİ**

Bilge CİVELEKOĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması 23/11/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Füsun BALIK ŞANLI

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Füsun BALIK ŞANLI

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Bülent BAYRAM

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Dursun Zafer Şeker

İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında bana her türlü destek ve yardımı sunan, bilgi, tecrübe ve güleryüzü ile çalışmalarına yol gösteren Sayın Hocam Doç. Dr. Füsun Balık Şanlı' ya,

Bana yeni fikirler sunan ve tez süresince karşılaştığım problemleri çözmemde yardımcı olan Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Kutalmış Gümüş'e,

Bitmeyen sorularımı her zaman büyük bir sabırla dinleyen ve cevapsız bırakmayan değerli arkadaşım İbrahim Alkan'a,

Çalışma verilerimi sağlayan İstanbul Büyükşehir Belediyesi Harita Birimine ve yazılım desteği veren BGS Bilgi Sistemleri ailesine,

Çalışma alanım ile ilgili sorularımı yanıtızsız bırakmayan Harita Mühendisi Sayın Serdar Bayburt'a,

Yardımlarıyla beni yalnız bırakmayan sevgili arkadaşım Mahmut Erdem Demir'e,

Ve bu çalışmam boyunca maddi ve manevi hiçbir desteği esirgemeyen sevgili aileme,

Teşekkürü bir borç bilirim.

Kasım, 2015

Bilge CİVELEKOĞLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez.....	3
BÖLÜM 2	
LİDAR.....	4
2.1 Hava Lidar Tarama Sistemleri	5
2.1.1 Hava Lidar Tarayıcısının Teknik Özellikleri.....	7
2.2 Hava Lidar Verisi	10
2.2.1 Hava Lidar Verisine Ait Öznitelikler	11
BÖLÜM 3	
MATERYAL VE YÖNTEM	15
3.1 Çalışma Alanı.....	15
3.2 Lidar Verisi	16
3.3 Yöntem.....	17

3.3.1	Kraus ve Pfifer Algoritması	18	
3.3.2	Axelsson Algoritması	19	
BÖLÜM 4			
BULGULAR.....			22
4.1	Sınıflandırma	22	
4.2	Tarama Açısının Nokta Bulutu Üzerindeki Etkisi.....	31	
4.3	Ağaç Özniteliklerinin Çıkarımı ve Ağaç Türlerinin Tahmini.....	33	
4.4	Ağaç Yüksekliklerinin İzlenmesi ve İstatistiksel Analizleri.....	33	
BÖLÜM 5			
SONUÇ VE ÖNERİLER			40
KAYNAKLAR.....			42
ÖZGEÇMİŞ.....			45

SİMGE LİSTESİ

X_G	Nesneye ait yeryüzü koordinatları
X_0	GPS anteninden alınan yer koordinatları
P_G	Lazer ünitesiyle GPS faz merkezi arasındaki mesafe vektörü
$R_{\omega,\phi,\kappa}$	Yer kontrol sistemi ile IMU koordinat sistemi paralel olduğunda kullanılan dönüşüm matrisi
$R_{\Delta\omega,\Delta\phi,\Delta\kappa}$	IMU koordinat sistemi ile lazer ünitesi koordinat sistemi birbirine paralel olduğunda kullanılan dönüşüm matrisi
$R_{\alpha,\beta}$	Lazer ünitesi koordinat sistemi ile lazer ışınları koordinat sistemi paralel olduğunda kullanılan dönüşüm matrisi
ρ	Lazer ünitesiyle nesne arasındaki lazer aralığı ya da lazer ışınının ve ışık hızının yayılma ve ulaşma süresi arasındaki fark

KISALTMA LİSTESİ

ALS	Airborne Laser Scanning
ASPRS	American Society for Photogrammetry and Remote Sensing
GPS	Global Konumlama Sistemi
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
IMU	İnersiyal Ölçme Sistemi
INS	İnersiyal Konumlama Sistemi
ITRF-96	International Terrestrial Reference Frame
SAM	Sayısal Arazi Modeli
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TIN	Triangular Irregular Network
UTC	Universal Time Coordinated
UTM	Universal Transversal Mercator
WGS 84	World Geodetic System
3B	Üç Boyutlu

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	Lazer tarama yöntemleri..... 5
Şekil 2. 2	Hava lidar sistemi 7
Şekil 2. 3	Riegl LMS-Q680i tarayıcı 8
Şekil 2. 4	Tarayıcının ve tarama açısının genel görünümü 8
Şekil 2. 5	Verinin ön işlem süreci..... 9
Şekil 2. 6	Lidar verisinin konumlandırılmasında ana prensip 10
Şekil 2. 7	Nokta verisi öznitelikleri 11
Şekil 2. 8	Çoklu yansıyan lazer ışını 12
Şekil 2. 9	Lidar çalışma verisinden farklı yansıma değerlerine ait görünüm..... 13
Şekil 2. 10	Yansıma sinyalleri ve lazer ışını arasındaki ilişki 14
Şekil 3. 1	Çalışma alanının konumu 16
Şekil 3. 2	Nokta bulutuna ait öznitelikler 17
Şekil 3. 3	Dördüncü bloğa ait noktaların özniteliklerinin görünümü 17
Şekil 3. 4	Bina noktalarının belirlenmesi için Scop++ işlem adımları 18
Şekil 3. 5	Bitki örtüsü noktalarının belirlenmesi için Scop++ işlem adımları..... 19
Şekil 3. 6	Düzensiz yüzeye ait TIN yapısı 19
Şekil 3. 7	Düzensiz ilerleyen yüzeyde sanal (mirror) noktalar..... 20
Şekil 3. 8	Yeryüzeyini sınıflandırma makrosu 20
Şekil 4.1	Çalışma alanına ait bloklara ayrılmış genel görünüm 23
Şekil 4.2	Tarama açısına göre sınıflandırılan verinin uçuş şeritleri görünümü..... 23
Şekil 4.3	Sınıflandırma listesi görünümü 24
Şekil 4.4	a)Sınıflandırılmış su alanı b)Noktaların yansıma görünümü 24
Şekil 4.5	Gürültü noktaları için kullanılan ilk makro penceresi 25
Şekil 4.6	Gürültü noktaları için kullanılan ikinci makro penceresi 25
Şekil 4.7	Gürültü noktaları için kullanılan üçüncü makro penceresi 26
Şekil 4.8	a) Çalışma alanından üretilen SYM b) Çalışma alanından üretilen SAM..... 26
Şekil 4.9	Çalışma alanı kesit profilinden noktaların yansıma görünümü 27
Şekil 4.10	Yansıma değerlerinin renk karşılıkları 27
Şekil 4.11	Yansıma değerine göre noktaların sınıflandırılması..... 27
Şekil 4.12	Yeryüzeyi noktalarına ait sınıflandırma makro penceresi 28
Şekil 4.13	Alçak bitki örtüsü için sınıflandırma makrosu..... 29
Şekil 4.14	Orta seviye bitki örtüsü için sınıflandırma makroları..... 29
Şekil 4.15	Yüksek seviye bitki örtüsü için sınıflandırma makroları..... 30
Şekil 4.16	Otomatik sınıflandırılma için hazırlanan makro penceresi 30

Şekil 4.17	Tarayıcı açısına göre üst üste binen alanların filtrelenmesi.....	31
Şekil 4.18	a) Nokta bulutu yansıma değerleri b) Sınıflandırılmış nokta bulutu.....	33
Şekil 4.19	Hava lidar verisiyle ağaç gövdesi yarı çapı ve ağaç yüksekliği ölçümü	34
Şekil 4.20	Belgrad ormanında bulunan 6 farklı ağaca ait kesitler	35
Şekil 4.21	Tanımlanan kesitlerin yazılım üzerindeki görünüşleri.....	35
Şekil 4.22	a) SYM b) SAM c) Ağaç yükseklik modeli	37
Şekil 4.23	Farklı veri gruplarına ait ağaç yükseklik haritaları	38

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 4. 1	Farklı özellikteki nokta bulutu verilerinin sınıflandırma sonuçları 32
Çizelge 4. 2	Farklı nokta bulutu verilerinin bloklar üzerindeki ağaç tipleri sayıları 36
Çizelge 4. 3	Tarama açılarına göre ağaç sınıfının yüzde olarak yükseklik dağılımı..... 38
Çizelge 4. 4	Minimum ve maksimum değerlere göre istatistiksel olarak analizi 39

**HAVA LİDAR VERİLERİNİN SINIFLANDIRILMASI VE ORMAN AĞAÇLARINA
AİT ÖZNİTELİKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ
İSTANBUL BELGRAD ORMANI ÖRNEĞİ**

Bilge CİVELEKOĞLU

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Füsun BALIK ŞANLI

Hava lidar, arazi topografyasının belirlenmesinde, 3B kent modellerinin üretiminde ve kent planlamasında, orman alanları ölçümünde ve arazinin jeomorfolojik yapısının belirlenmesinde kullanımı giderek artan bir teknolojidir. Hava lidar sisteminde genel olarak lazer tarayıcı, global konumlama sistemi (GPS) ve inersiyal ölçme sistemi (IMU) bulunmaktadır. Gelişmiş ülkelerde 2003 yılından itibaren ormancılık alanında hava lidar çalışmaları yürütülürken Türkiye'deki ilk büyük ölçekli hava lidar çalışması Nabucco (2009-2011) projesidir. Bu çalışmada, yüksek yoğunluktaki (55nokta/m²) hava lidar verisinin sınıflandırılması ve sonrasında ormanlık alanda bulunan ağaçlara ait ağaç yüksekliği, ağaç türü gibi analizlerin yapılabilirliği araştırılmıştır. Kalibrasyonu yapılmış lidar verinin sınıflandırılması için TerraScan yazılımı ile bazı parametreler denenmiştir. İlk olarak veri karmaşası yaşanmaması açısından su sınıfı ayrı bir sınıfa atanmıştır. Çoklu yansıma bilgisi ve Axelsson algoritması prensibiyle çalışan yeryüzü noktalarını sınıflandırma adımları sayesinde veri "Amerikan Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği" (ASPRS) tarafından belirlenen altı farklı sınıfa (gürültü noktaları, yeryüzü noktaları, alçak seviye-orta seviye-yüksek seviye bitki örtüsü noktaları ve su alanı noktaları) ayrılmıştır. En zor aşamalardan biri olan yeryüzü noktaları ile karışan gürültü

noktaları otomatik ve manuel araçlarla düzenlenmiştir. Son olarak aēalara ait bazı öznelikler nokta bulutundan alınan kesitler sayesinde belirlenmiştir. Belirlenen altı farklı aēa tipi çalışma alanı için yaklaşık olarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda tarama açısının nokta bulutu verisi üzerindeki etkileri karşılaştırılmış ve aēa sınıfına olan etkilerine ait istatistiksel sonuçlar incelenmiştir. Tüm bu incelemeler Microstation, TerraScan, Matlab ve Surfer yazılımları kullanılarak yapılmıştır. Sonuç olarak hava lidar verisinin sadece lidar sistem donanımlarına deēil yazılım ve algoritmalara da baēlı olduēu grlmştir.

Anahtar kelimeler: Hava lidar, Sınıflandırma, Yansıma, Tarama Açısı, Aēa znelikleri

**ESTIMATION OF FOREST TREE TYPES STRUCTURE BY USING
CLASSIFICATION OF AIRBORNE LIDAR DATA
A CASE STUDY: ISTANBUL, BELGRAD FOREST**

Bilge CİVELEKOĞLU

Department of Geomatic Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Füsün BALIK ŞANLI

Airborne lidar is a progressively used technology for land survey applications as, 3D city planning and modeling, forest survey and geomorphologic structure determination etc. Airborne Lidar systems basically consist of laser scanners, global positioning system (GPS) and Inertial Measurement Unite (IMU). Since 2003, forestry studies are in progress in industrial countries, however in Turkey first large scale airborne lidar project is Nabucco (2009-2011). In this study, classification of high density forest (55points/m²) and the possibility to predict tree height, above ground tree species biomass and canopy cover are investigated with airborne laser scanning (ALS) data. With calibrated lidar data, some classification parameters were used on TerraScan software. First of all, to avoid confusion, water areas were removed. Through multiple echo (discrete echo) information and "ground classification" which uses Axelsson algorithm, lidar data has been separated into six classes as well as in "American Society for Photogrammetry and Remote Sensing" ASPRS classification list (low points, ground, low-medium-high vegetation, water). The most difficult step was to separate ground and low points, for this step automatic and also manual corrections were done. After all, some forest tree structure was detected with cross sections and was searched tree

types of forest. 6 tree types have been calculated the numbers of trees were calculated approximately. Moreover, scan angle comparisons were done with different lidar point data and the statistical results about the tree classes were calculated. All analyses were done with Microstation, TerraScan, Matlab and Surfer software. As a result, it is concluded that airborne lidar is not only dependent on different paramaters in lidar system hardware but also software and algorithms.

Key words: Airborne Lidar, Classification, Echo, Scan angle, Tree structure

1.1 Literatür Özeti

Günümüzde lidar teknolojisi sayesinde yeryüzüne ait detayları ayrıntılı bir biçimde incelememiz mümkün olabilmektedir. Klasik bir lidar sisteminde yersel veya hava aracı üzerinde konumlandırılmış bir lazer tarayıcı, GPS/INS bulunmaktadır ek olarak bazı sistemlere kamera, IMU sistemleri vb. eklenebilmektedir. Lidar sistemleri de radar sistemleri gibi aktif uzaktan algılama sistemleridir ve radardan farklı olarak mikro dalga yerine, lazer sinyallerini kısa elektromanyetik dalgalar şeklinde göndererek veri elde etmektedir (Çelik vd., 2014). Lidar, yüksek yoğunluklu ve geometrik özellikli sayısal yükseklik verisini, yersel ölçümler ile yaklaşık aynı doğrulukta ve bunun yanında sayısal hava fotogrametrisinden daha hızlı şekilde oluşturmaya yatkın bir teknolojidir, aynı zamanda işlemler daha otomatik, hava ve ışıktan bağımsız ve yer kontrol noktalarına gereksinimin daha az olduğu bir şekilde veriler sayısal olarak elde edilebilmektedir (Çelik vd., 2014). Hava aracına takılan lazer tarayıcı tarafından yayılan yüksek frekanslı kızılötesi lazer ışınları sayesinde nesnelere ait 3 boyutlu bilgiler, nesnenin uzaklığı ve konum bilgileri tarayıcı sistemler tarafından kaydedilebilmektedir. Lidar nokta bulutu verisi ile kentsel alanların üç boyutlu modellenmesi (Vosselman ve Dijkman, 2001), orman ekolojik yapısının yansıma tiplerine göre belirlenmesi (Miura ve Jones, 2009), yerleşim alanları içerisindeki ağaçların çıkarılması (Liu vd., 2011), arazi modellerinin üretilmesi (Polat ve Uysal, 2014) ve enerji nakil hatlarının belirlenmesi (Cheng vd., 2014) gibi bir çok alana hizmet edebilir.

Lidar tarama teknolojisinde iki farklı yöntemden bahsedilebilir. Bunlardan ilki hava lidar, ikincisi yersel lidardır. Yersel lidar tarayıcıların hava lidar tarayıcılarından farkı tarama işlemi esnasında yersel tarayıcıların sabit kalmasıdır (İBB proje, 2007).

Lidar tarama ile yapılan işlemlerde fotogrametri ile ilgili birçok yaklaşım esas alınmaktadır ancak iki teknik arasında bazı değişiklikler bulunmaktadır. Lidar tarayıcılar uçağa takılı olarak arazinin üç boyutlu modellenmesinde kullanılmasıyla beraber yer durak noktalarında yapılan tarama işlemleri ile her türlü karmaşık yapılı cismin üç boyutlu modellenmesinde kullanılmaktadır. Günümüzde yapılan uygulamalarda lidar tarama verileri ile nesnenin üst yüzey geometrisi elde edilmektedir (İBB proje, 2007).

Hava lidar verisi, arazi örtüsü ve arazi kullanım özelliklerini sınıflandırmak için her geçen gün artarak kullanılan bir teknolojidir (Wagner vd., 2008). Aynı zamanda sınıflandırılan yeryüzeyine ait noktalar ile yüksek doğruluklu arazi modelleri (SAM, SYM) üretilebilmektedir.

Özellikle son yıllarda İngiltere ve Amerika başta olmak üzere lidar ve üç boyutlu hava fotogrametri tekniklerini kullanan ulusal bilgi toplama yazılımları geliştirilmiştir ve günümüzde yüksek kaliteli büyük boyutlu veriler üretilmektedir (Çelik vd., 2014). Türkiye’de, Nabucco (2009-2011), İstanbul Büyükşehir Belediyesi (2012) ve Harita Genel Komutanlığına (2014) ait hava lidar projeleri gerçekleştirilmiştir.

Özdemir vd. (2012) çalışmalarında lidar verileriyle ormanlık alana ait analizler yapmıştır. Araziden elde edilen verilerle ve hava lidar verisinden elde edilen ağaç boyutları çeşitliliğini arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Ayrıca hava lidar nokta verisi ile arazi verileri arasındaki korelasyonları, hava lidardan elde edilen ve raster tabanlı bitki örtüsü alanı yükseklik modeli (canopy height model) ile ilişkili grid hücre boyutları etkilerini, hava lidar verisinden elde edilen grid tabanlı bitki örtüsü yükseklik modeli ve ağaç boyutları çeşitliliği indeksleri arasındaki ilişkileri analiz etmiştir.

Bir diğer ormanlık alana ait çalışmada ise, orman karakteristik özelliklerini belirlemek için makine öğrenme tekniklerinin yararları incelenmiştir. Veri iki önemli method olan destek vektör makinaları (support vector machines) ve Gauss yöntemi olarak incelenip karşılaştırılmıştır (Liu vd., 2011). Bu tez çalışmasında ise yukarıda verilen örneklere benzer olarak yine hava lidar verileri ile herhangi bir yersel veri kullanılmadan sadece

yüksek frekanslı lazer ışınları ile çalışan bir uzaktan algılama tekniği olan lidar ile elde edilmiş çoklu yansıma verileri analiz edilmiştir ve orman alanı sınıflandırılması yapıp orman ağaç türlerinin özniteliklerinin belirlenmesine çalışılmıştır. Tezin 2. bölümünde hava lidar sistemleri ve hava lidar verisi, 3. bölümünde; materyal ve yöntemler, 4. bölümünde; çalışma alanından elde edilen bulgular ve 5. bölümünde; çalışmaya dair sonuç ve öneriler sunulmuştur.

1.2 Tezin Amacı

Bu tezin amacı, yüksek yoğunluktaki hava lidar nokta bulutu verilerinin sınıflandırılmasıyla, tarama açısının lidar nokta bulutu üzerindeki etkileri ve ormanlık alanlardaki ağaçların yükseklik ve ağaç gövde yarıçapları gibi özelliklerinin ölçülebilirliği ve ağaç çeşitliliğinin araştırılmasıdır.

1.3 Hipotez

Hava lidar nokta bulutu verisi ile ormana ilişkin bazı (ağaç yüksekliği, gövde yarıçapı vb.) öznitelikler belirlenebilir.

Lidar taramadaki nokta sıklığı uçuş yüksekliğine, uçuş hızına, tarayıcının açısına ve tarayıcının ölçme frekansına bağlıdır. Lidar sistemi ile ağaç özniteliklerinin belirlenmesinde tüm tarama açıları ile elde edilen nokta bulutlarının birlikte değerlendirilmesinin doğruluğa etkisi olabilir.

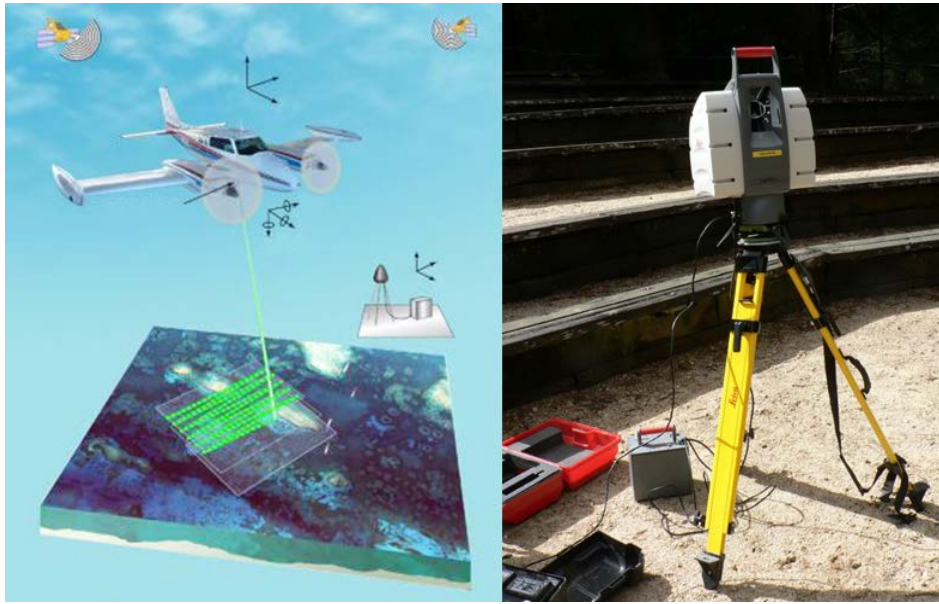
Hava lidar ölçümleri ile olası doğal afet sonucu orman alanlarının tahribi izlenebilir, kaybolan ağaç türleri belirlenebilir.

BÖLÜM 2

LİDAR

Klasik jeodezi veya uydu temelli topografik ölçümler ve fotogrametrik ölçüm teknikleri üç boyutlu verilerin toplanması için uzun yıllar kullanılmıştır. Klasik jeodezik ölçümler ormanlık alanların üç boyutlu (3B) modellenmesi için hem zaman kaybı hemde ekonomik olmayan bir yöntemdir. Ayrıca, fotogrametrik yöntem hızlıdır fakat orman bitki örtüsünün sadece üst yüzeyinin modellenmesi için kullanışlı değildir. Ölçme sistemlerindeki gelişmeler ve yazılımlar üzerinde geliştirilen algoritmalar, yeni 3B modelleme metodları üretmeyi mümkün hale getirmiştir. Son yıllarda kullanımı giderek artan LİDAR (Light Detection and Ranging) sistemi topografik verinin toplanmasında doğruluk, zaman, maliyet olarak önemli avantajlar sağlamaktadır (Soycan vd., 2011). Fakat veri açısından değerlendirilecek olunursa, hava lidar sistemlerinin yansıma özelliğinden dolayı havanın sisli ve yağmurlu olduğu durumlarda nokta bulutu verisinde gürültü (noise) denilen noktalar oluşabilmektedir. Lazer taramada, özellikle değerlendirme işlemlerinde fotogrametri ile ilgili birçok yaklaşım esas alınmaktadır. Uzaktan Algılama'da lazer taramanın uzun süredir lidar olarak kullanıldığını lazer tarama terminolojisinin sınıflandırılması açısından hatırlatmak gerekmektedir (İBB proje, 2007). Lidar tarama yöntemlerini ikiye ayırabiliriz bunlar; a) hava lidar tarama ve b) yersel lidar taramadır (Şekil 2.1). Bu iki sistem donanımsal olarak farklılık göstermekle beraber lazer tarama yapılan alana da bağlı olarak nokta verisi hacminde de farklılıklar gösterebilmektedir. Sistemlerde bulunan tarayıcı yapılar tarafından gönderilen ışınların cisimlerden yansımasıyla veriye ait üç boyutlu konum (X,Y,Z) ve zaman gibi bilgiler elde edilmektedir. Çoklu yansıma özelliğine sahip hava lidar

sistemleri 35 yılı aşkın süredir yeryüzünün haritalanmasında kullanılmaktadır (Wehr vd., 1999). Üç boyutlu otomatik sayısallaştırmada kullanılan yersel tarayıcı cihazları 2000 yılından sonra piyasada ticari amaçlı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yersel tarama yönteminde hareket etmeyen tarayıcı, tek tek durak noktalarından taranacak cisim için birbirleri ile çok az örtüşen nokta kümeleri oluşturarak tarama yapar. Durak noktası belirleme için GPS kullanılır. Ayrıca 3B lidar tarama sistemleri, jeodezik ölçümlere ve fotogrametrik yöntemlere etkili alternatif bir yöntem olarak gösterilmektedir (İBB proje, 2007).



a)Hava lidar tarama¹

b)Yersel lidar tarama²

Şekil 2.1 Lidar tarama yöntemleri

2.1 Hava Lidar Tarama Sistemleri

Uçağa veya helikoptere takılan lazer tarayıcıdan gönderilen yüksek frekanslı kızılötesi ışınlar cisim üzerinden yansır ve tarayıcı ile cisim arasındaki uzaklık bir impulsun gidiş dönüş arasındaki süreden hesaplanır. Şekil 2.2’de görüldüğü üzere, hava lidar taramada sistem bileşenleri; global konumlandırma sistemi (GPS), inersiyal ölçme ünitesi (IMU) ve tarayıcıdır. Sisteme ek olarak kamera da eklenebilir. GPS, IMU ve tarama işlemleri mikro saniye aralığında birbirleri ile uyum içerisinde çalışmaktadırlar

¹ <http://soundwaves.usgs.gov/2007/09/meetings2.html>

² <https://en.wikipedia.org/wiki/Lidar>

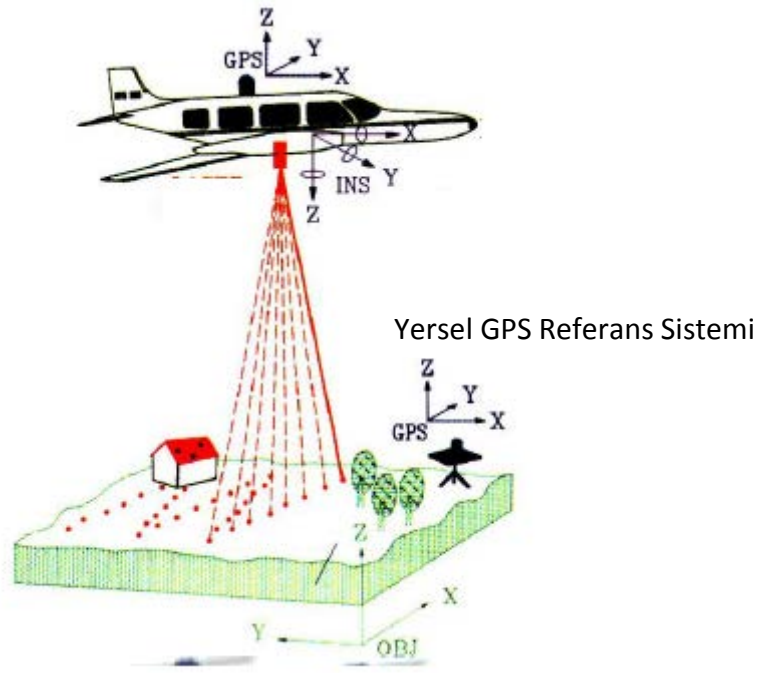
(İBB proje, 2007). Tarayıcılar yansıma değerlerini, GPS ise konum bilgilerini kaydeder, IMU'dan elde edilen uçağa ait yöneltme parametreleri ile ise lazer nokta bulutuna ait kalibrasyonlar yapılmaktadır. Verinin doğruluğu tüm sistem parametrelerine bağlıdır.

Havada hareket eden lidar sensörünün 3 boyutlu konumu duyarlı nokta konumlama (precise point positioning) ile olan GPS ölçümlerine veya bir yada birkaç referans istasyonunun rölatif konumlaması ile belirlenir. Referans olarak alınan noktaların duyarlı konumları çalışılan koordinat sisteminde santimetre doğruluğunda alınır. GPS ile toplanan veriler elipsoidal yüksekliktir, ortometrik yükseklik veya deniz seviyesinden olan ortalama yükseklik, jeodezik yükseklik kullanılarak hesaplanır. Sonuç olarak lidar sensörünün enlem, boylam ve yükseklik bilgisi belirlenen zaman aralıklarında konum bilgisi olarak kaydedilir (Soycan vd., 2011).

Lazer ölçüm sistemi gönderici (transmitter), alıcı (receiver), kontrol ünitesi ve tarayıcı aynasından (scanning mirror) oluşur. Uçuş şeridi üzerinde hareket eden hava aracında bulunan lazer tarama ünitesinin lidar sensörü, tarayıcı aynası ile lazer ışını gönderir, lazer ışının tarama açısını ölçer ve herbir ışının eğim açısını tarama açısı ve IMU verileriyle beraber kaydeder. Ayrıca lazer ışınının gidiş dönüş arasındaki süre de kaydedilir. Sistemin bir diğer bileşeni olan IMU, x,y,z koordinat değerleri "roll, pitch, heading" değerlerine karşılık gelir ve koordinat düzlemindeki açısal sapmaları ifade eder (Soycan vd., 2011).

Tarayıcı sistemlerle elde edilen tüm veriler, ön işleme sürecinden geçtikten sonra veri işleme sonrası (post processing) aşamasına geçebilir.

Tarayıcı sistemler kendi içerisinde tarama türü bakımında farklılıklar göstermektedir, örneğin zig zag, elips vb. şekillerde tarama yapan türleri bulunmaktadır. Uçuşlar şeritler halinde ve üzerine bindirmeli alanlar olacak şekilde yapılmaktadır. Bunun için uçuşlardan önce uçuş hattı belirleme çalışmaları yapılır. Böylelikle veri setlerinin daha sağlıklı değerlendirilmesi sağlanır.



Şekil 2.2 Hava lidar sistemi ¹

2.1.1 Hava Lidar Tarayıcısının Teknik Özellikleri

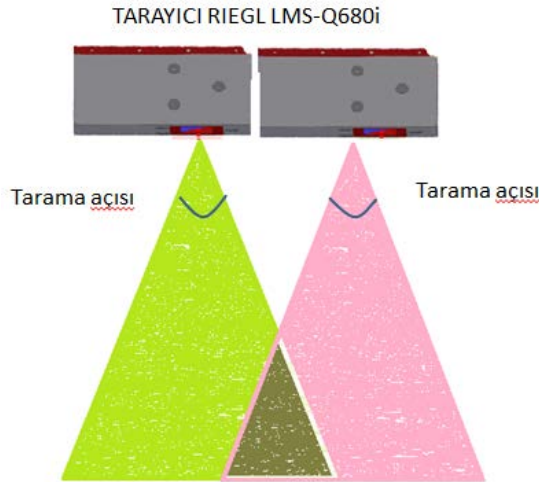
Piyasada çeşitli lazer tarama cihazları bulunmaktadır örneğin, Optech ve Riegl ticari firmalarına ait farklı teknik özelliklere ait tarayıcılardır. Bu çalışmada Riegl markasına ait LMS-Q680i tarayıcısı kullanılmıştır (Şekil2.3) . Bu tarayıcıya ait teknik özellikler; dalga boyu yakın kızılötesi, ölçme hızı 266 kHz, toplam tarama açısı 60° (Şekil 2.4), lazer puls tekrarlama aralığı 400 kHz, tarama türü paralel tarama, tarayıcı hızı saniyede 10 ila 200 tarama hattı, 20 mm ye kadar yüksek tarama doğruluğu olarak sıralanabilir. Ağırlığı 17.5 kg, boyutları ise 480x212x229 mm'dir. Işın demeti sapması (laser beam divergence) 0.5 mrad'a eşit ve daha küçük olabilir. Ayrıca cisimlere ait daha detaylı analizler yapılabilmesi amacıyla her bir yansıma değeri için yüksek çözünürlüklü 16 bit lik veri kaydetme kapasitesi bulunmaktadır (Riegl, 2012).

¹ İBB,2007. Fotogrametrik Harita Üretiminde Digital Hava Resim Çekme Makinaları ve Lazer Tarama Yöntemlerinin Kullanım Olanakları

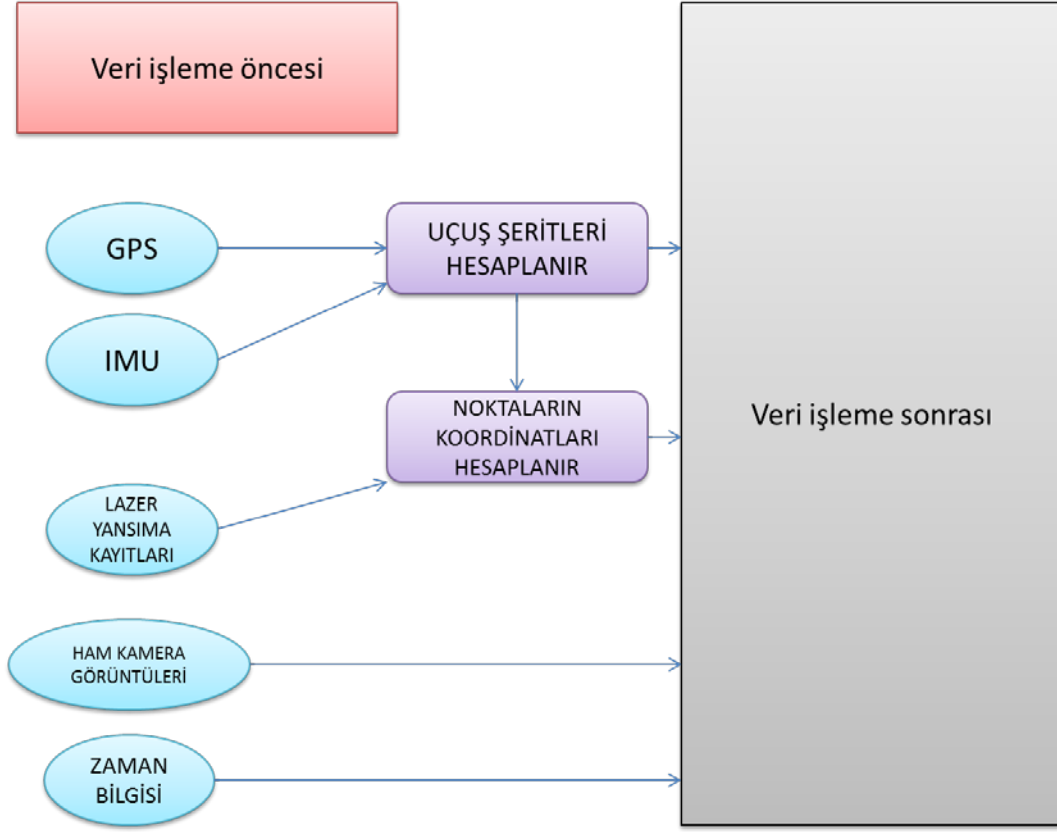


Şekil 2.3 Riegl LMS-Q680i tarayıcı (Riegl Data Sheet,2012)

Şekil 2.5'te tarayıcı ile toplanan bu veriler ön işleme (pre-processing) adımlarına geçmektedir. Veri işleme öncesinde GPS ve IMU bilgileriyle uçuş şeritleri (trajectories) hataları ve sonrasında koordinat bilgileri düzeltilerek hesaplanır. Lazer nokta bulutu yapılacak olan analizlere bağlı olarak tam dalga formu verisi dahil veya yalnız çoklu yansıma değeri olarak çıkarılır ve uçuş şerit ve zaman bilgileri ile birlikte veri işleme sonrası (post processing) adımlarına geçilir. Kamera görüntüleri, veri işleme sonrası adımlarında sınıflandırma doğruluğunun artırılması için kullanılır. Veri işleme öncesi için donanıma ait yazılımlar kullanılmaktadır. Örneğin Riegl firmasına ait RiProcess ve RiAnalyze bu yazılımlar arasında yer almaktadır.



Şekil 2.4 Tarayıcının ve tarama açısının genel görünümü



Şekil 2.5 Verinin ön işlem süreci (TerraSolid 2015'ten uyarlanmıştır.)

Tarayıcı sistem ile elde edilen ham lidar verisi (raw data), Riprocess yazılımı içerisinde işlenerek yazılımın kendi koordinat sistemi (genelde WGS 84) ile birlikte çıkar. Daha sonra şerit bilgisiyle birleşen lazer verisi için koordinat dönüşümleri uygulanır. Sonuç ürün olarak lazer tarama verisi WGS 84 veya UTM koordinatlarında elde edilebilir. Elde edilen bu veriyle nokta bulutu filtreleme işlemleri, sınıflandırma yapılabilir, sayısal arazi modeli (SAM), sayısal yükseklik modeli (SYM) ve 3B modeller üretilebilir (Riegl RiProses DataSheet, 2014).

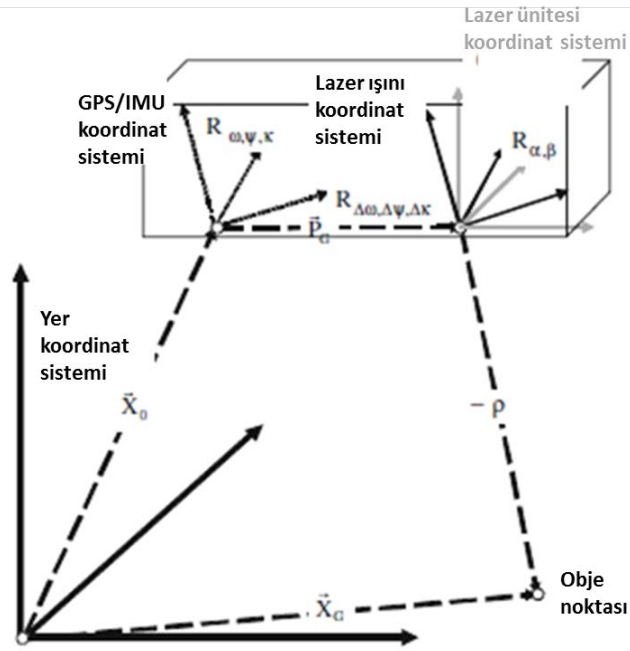
RiAnalyze ile ise yine donanımdan çıkarılan ham lazer verisi işlenerek, lazer nokta bulutu tam dalga formu verileri ve koordinat (GPS), zaman (UTC), tarayıcı açısı bilgilerine sahip bir şekilde çıkarılır. Bu yazılım nesnelere ait daha detaylı incelemelerde bulunmak amaçlı kullanılır. Nokta bulutundaki tüm yansıma değerleri (ilk, orta ve son yansıma vb.) elde edilir. Bunlara ek olarak puls genişliği (pulse width), puls derinliği (pulse amplitude) bilgilerine de yine ulaşılabilir (Riegl RiAnalyze DataSheet, 2014).

Şekil 2.5'te belirtilen veri işleme sonrası (post processing) adımları için piyasada mevcut bazı ticari yazılımlar örneğin; TerraSolid lidar yazılımları, LAsTools, ENVI lidar

uygulamaları ve akademik ortamlarda geliştirilen lidar algoritmaları (Axelsson 1999, Vosselman 2000 vb.) kullanılmaktadır.

2.2 Hava Lidar Verisi

Hava lidar sistemi ile toplanan ve “veri işleme öncesi” sürecinden geçen nokta bulutu verileri farklı formatlara sahip olabilir. Bu formatlardan en sık kullanılanı “.las” formatı olup bunun yanında ASCII, .xyz text, fast binary, scan binary, grass sites formatları ile de nokta bulutu verisi kaydedilip çalışabilmektedir. Lidar verisinin konumu için Şekil 2.6’da görülen temel prensip kullanılmaktadır (Habib, 2007).



Şekil 2.6 Lidar verisinin konumlandırılmasında ana prensip (Habib, 2007’den uyarlanmıştır.)

$$\vec{X}_G = \vec{X}_0 + R_{\omega, \phi, \kappa} R_{\Delta \omega, \Delta \phi, \Delta \kappa} \vec{P}_G + R_{\omega, \phi, \kappa} R_{\Delta \omega, \Delta \phi, \Delta \kappa} R_{\alpha, \beta} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\rho \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

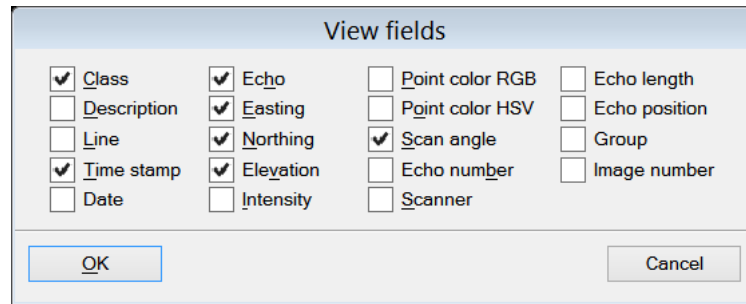
Eşitlik 2.6’da verilen prensibe göre, X_G vektörü: nesneye ait yeryüzü koordinatları, X_0 vektörü: GPS anteninden alınan yer koordinatları, P_G vektörü: lazer ünitesiyle GPS faz merkezi arasındaki mesafe vektörü, $R_{\omega, \phi, \kappa}$: yer kontrol sistemi ile IMU koordinat sistemi paralel olduğunda kullanılan dönüşüm matrisi (rotation matrix), $R_{\Delta \omega, \Delta \phi, \Delta \kappa}$: IMU koordinat sistemi ile lazer ünitesi koordinat sistemi birbirine paralel olduğunda

kullanılan dönüşüm matrisi, $R_{\alpha,\beta}$: lazer ünitesi koordinat sistemi ile lazer ışınları koordinat sistemi paralel olduğunda kullanılan dönüşüm matrisi, ρ : lazer ünitesiyle nesne arasındaki lazer aralığı yada lazer ışınının ve ışık hızının yayılma ve ulaşma süresi arasındaki fark olarak tanımlanmıştır (Şekil2.6) (Habib ve Stoker, 2007).

Hava lidar sistemlerinde oluşan temel hata kaynakları; görüş mesafe (offset) hatası, görüş açısı hatası, lazer aralığı hatası, lazer ışınının açısal hatası, lazer aralığı, GPS, IMU ve lazer ışını açısal gürültüsüdür. Toplanan verinin alanı ise uçuş hızına ve yüksekliğine, lazer ışınının sapmasına, lazer puls aralığına ve tarama açısına bağlıdır. Tüm bu değişkenler nokta bulutu yoğunluğunu etkilemektedir (Habib ve Stoker, 2007).

2.2.1 Hava Lidar Verisine Ait Öznitelikler

Hava lidar verisine ait birçok öznitelik verisi bulunmaktadır. Şekil 2.7’de görüldüğü gibi bu çalışmada yalnızca zaman bilgisi, yansımaya bilgisi, konum bilgisi ve tarama açısı bilgisi içeren nokta bulutu verisi kullanılmıştır.



View fields			
<input checked="" type="checkbox"/> Class	<input checked="" type="checkbox"/> Echo	<input type="checkbox"/> Point color RGB	<input type="checkbox"/> Echo length
<input type="checkbox"/> Description	<input checked="" type="checkbox"/> Easting	<input type="checkbox"/> Point color HSV	<input type="checkbox"/> Echo position
<input type="checkbox"/> Line	<input checked="" type="checkbox"/> Northing	<input checked="" type="checkbox"/> Scan angle	<input type="checkbox"/> Group
<input checked="" type="checkbox"/> Time stamp	<input checked="" type="checkbox"/> Elevation	<input type="checkbox"/> Echo number	<input type="checkbox"/> Image number
<input type="checkbox"/> Date	<input type="checkbox"/> Intensity	<input type="checkbox"/> Scanner	

Şekil 2.7 Nokta verisi öznitelikleri

Hava lidar verisine ait özniteliklerden bazıları aşağıda sıralanmıştır;

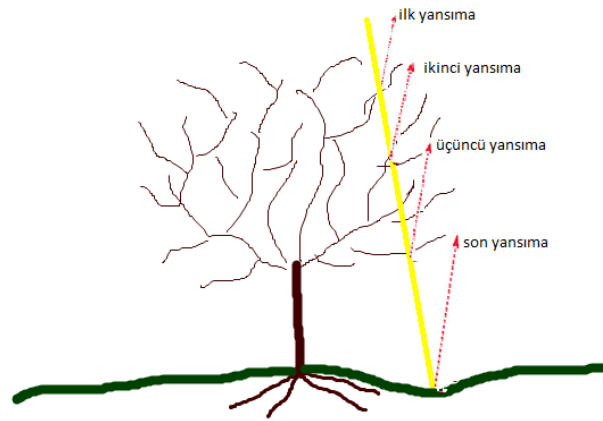
Şerit bilgisi (flightline), noktanın hangi uçuş şeritine ait olduğu bilgisini verir.

Zaman bilgisi (time stamp), noktaya ait kaydedilen UTC zaman bilgisi içerir.

Sınıf bilgisi (class), noktaların veri işleme süreci sonrasında atandıkları sınıf bilgisini numaralandırılmış şekilde gösterir.

Yansımaya bilgisi (echo), noktanın hangi yansımaya değerinde olduğunu belirtir. (ilk yansımaya, son yansımaya vb.)

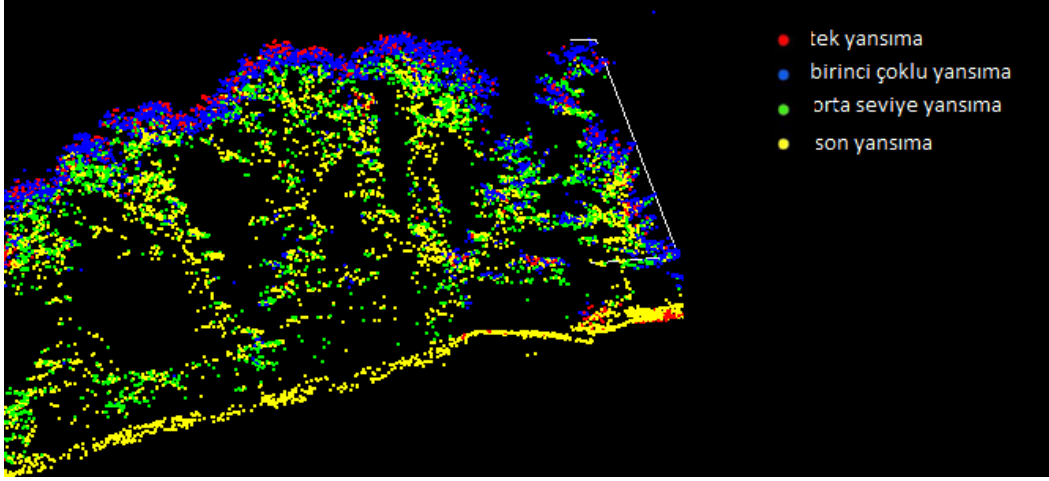
Yapraklarını döken ağaçlar, bina kenarları ve yüksek ağaçlar her zaman çoklu yansıma değerine sahiptirler (Liu vd., 2011). Işın yeryüzeyine doğru hareket ederken tek bir lazer pulsusu birçok kez yansıyabiliyorsa (Şekil 2.8) (multiple return) bu durum farklı mesafelerde bulunan nesnelere olduğunun bir göstergesidir (Katzenbeisser, 2003). Objeler farklı yüksekliklerdeyse, objelerin boyutları büyükse ve yansıyabilen yüzeylerse, lazer ışınlarının yarıçapları yeterli büyüklükteyse ve diğer nesnelere de değebilecekse çoklu yansımalar söz edilebilir (Liu vd., 2011).



Şekil 2.8 Çoklu yansıyan lazer ışını

Şekilde 2.8’de görülebildiği gibi ilk yansıma (only echo) değerleri genel olarak ağaçların tepe noktalarına gelmiş diğer ışınlar ise yansıyarak yüzeye inmeye devam etmiştir. Su gibi yüzeylerde lazer ışını daha az yansıyabilir veya yansımayabilir. Bu yüzden su alanına ait nokta bulutunda boşluklar oluşabilir.

Çalışma alanındaki ağaçların çoklu yansıyabildiği Şekil 2.9’daki gibi görülmüştür. Bu şekilde olduğu gibi kırmızı noktalar tek yada ilk yansıma, mavi noktalar birinci çoklu yansıma (first of many), yeşil noktalar ise orta seviye yansıma (intermediate returns), sarı noktalar ise son yansıma (last of many returns) değerindedir.



Şekil 2.9 Lidar çalışma verisinden farklı yansima değerlerine ait görünüm

Konum bilgisi (Easting, Northing, Elevation), noktanın x,y,z olarak konum bilgisini verir.

Yoğunluk bilgisi (intensity), belirli dalga boyu aralığında gönderilen ışının geri yansima miktarıdır ve noktaya ait yoğunluk değerini verir.

Tarama açısı (scan angle), noktanın hangi açıyla tarandığı bilgisini verir.

Nokta rengi (point color RGB), nokta bulutu eğer yersel veya mobil taramaysa elde edilen veri RGB değerine sahip olabilir. Noktanın RGB değerini verir.

Yansima sayısı (Echo number), noktanın kaç kere yansıdığını gösterir.

Yansima boyu (echo lenght), noktanın yansima boyu bilgisini verir.

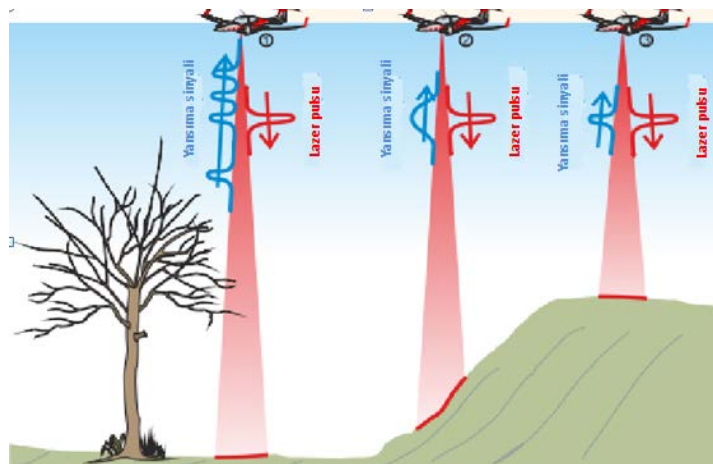
Yansima konumu (echo position), noktanın yansima konumu bilgisini verir.

Yansima sayısı ve yansima boyu bilgileri eğer nokta bulutu verimiz tam dalga formu (full wave form) bilgisine sahipse elde edilebilir. Tam dalga boyu bilgisi ile örneğin yoğun alçak bitki örtüsü olan alanlardaki kayıp yeryüzü noktasını ve kayıp enerji nakil hattı noktalarını çıkarabiliriz. Yoğun alçak bitki örtüsü (low vegetation) veya yüksek bitki örtüsü (high vegetation) sebebiyle, yer yüzeyine kadar yansıyabilen bir lazer ışını yoksa tam dalga boyu bilgisini kullanabiliriz. Çoklu yansima değeri, yansima uzunluğu normal ve konumu ile ilgili bazı özellikleri barındırır. Tam dalga formu dosyaları uçuş şerit bilgisinden elde edilmektedir yani şerit bilgisi de içeren nokta bulutu ile ilişkilidir. Tam dalga boyu, tüm noktalara ait yansima değeri ve zaman bilgilerini de kapsamaktadır. Tarayıcı sistemlere ait yazılımlar, lazer nokta bulutuna müdahale

ederek mümkün olan optimum noktayı seçebilirler yani en güçlü noktaları genellikle de ilk veya son yansıma değeri, çoklu yansıma değerinden elde edilir. Çoğunlukla, yazılımlardaki bu çıkarma yöntemi düzgün işlemektedir. Fakat, bazı bölgelerde müdahale edilen bu noktalar optimum değerleri veremeyebilir örneğin, eksik nokta bulutuna ait iletim hatları veya yoğun bitki örtüsü altında kalmış yer yüzeyi. Her iki sorun için de tarayıcı sistem yazılımları yansıyan sinyallere ait noktayı çıkarabilir fakat bu yine de uygulama için aranan en optimum nokta olmayabilir (TerraScan User Guide, 2014).

Hava lidar sistemi iki farklı yöntemle çalışır; bunlardan birincisi tam dalga formuna göre verinin kaydı, ikincisi ise çoklu yansımadır (discrete return) (Alexander vd., 2010). Çoklu yansıma sağlayan sistemler zaman bilgisi ile birlikte tek bir dönüş kaydeder (Mallet vd., 2011). Çoklu yansıma bilgisine göre nesneye ait daha fazla lazer puls bilgisi içeren tam dalga formu verisi arazi yapısına ait düşey kesit profillerinde daha başarılı olmaktadır (Tseng vd., 2014).

Kırmızı lazer ışınları, ışık hızında yüzeye ulaşan lazer sinyallerini, mavi sinyal ise yüzeyden yansıyıp tarayıcıya ulaşan yansıma sinyalidir. Şekil 2.10'da görüldüğü gibi ilk durumda lazer ışını ilk olarak ağaca çarparak üç yansıma sinyali üretmiş ve en son olarak yüzeye çarparak farklı bir yansıma sinyali daha üretmiştir. İkinci durumda lazer ışını yüzeyden küçük bir açıyla yansıdığı için geniş yansıma sinyali üretmiştir. Üçüncü durumda ise, lazer ışını yüzeye dik konumda ulaşıp yansımış ve sonuç olarak tek bir yansıma sinyali üretmiştir (Riegler, 2012).



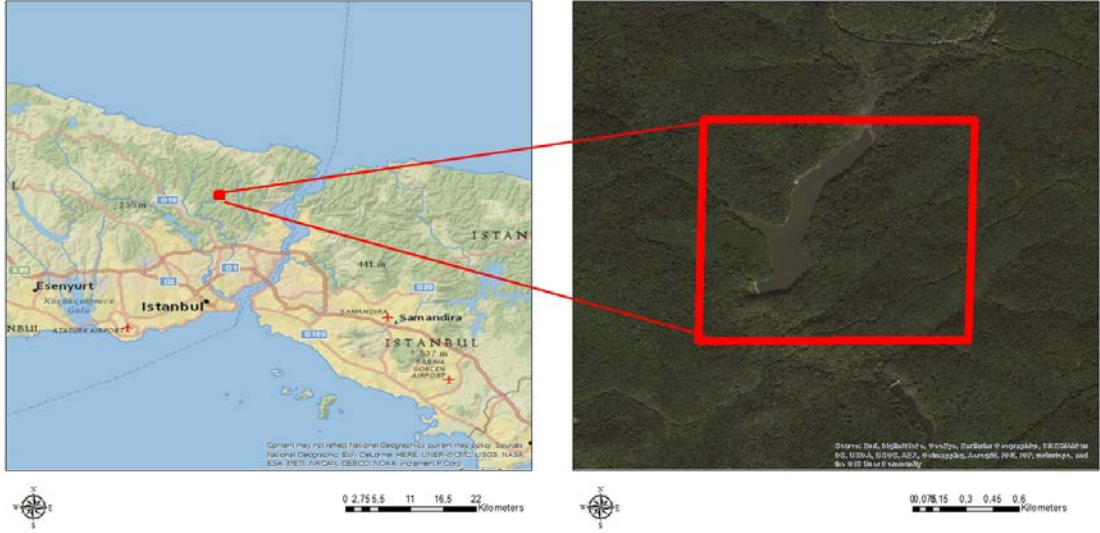
Şekil 2.10 Yansıma sinyalleri ve lazer ışını arasındaki ilişki (Riegler Data Sheet LMS-Q680i,2012 den uyarlanmıştır.)

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada İstanbul ili Belgrad ormanı bölgesine ait hava lidar nokta verisi kullanılmıştır. Çalışmada Microstation V8i yazılımı üzerinde çalışan TerraScan uygulaması kullanılmıştır. TerraScan lidar yazılımı 2000 yılında Arttu Soinen tarafından üretilmiştir. Çalışma anlatımında kullanılan ekran görüntüleri Microstation V8i, TerraScan ve Matlab yazılımlarına aittir.

3.1 Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak, İstanbul Avrupa yakası, Sarıyer ilçesinde bulunan Belgrad ormanı alanı seçilmiştir. Çalışma alanı 28°57' 22.42"-28°57' 57.07" doğu boylamları ve 41°10' 52.48"- 41°10' 30.01" kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır. Bu alan yaklaşık 56 hektar olup İstanbul iline ait 1/1000 ölçekli F21c10a3d ve F21c10a4c numaralı paftaların örttüğü alanın bir kısmını içermektedir. Alan genel olarak ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing) in belirlediği standart sınıf listesinde tanımlanan yeryüzeyi, düşük, orta ve yüksek bitki örtüsü ve su alanları sınıf türlerinden oluşmaktadır. Çalışma alanının ormanlık alan içerisinde yer almasından dolayı bitki örtüsü sınıfı çoğunluktadır. Çalışma alanı için genel ortalama nokta yoğunluğu m² de 55 noktadır. 2008 epoğunda hesaplanan ITRF-96 proje datumu verisi kullanılmıştır, buna göre ortalama konum hatası x-y için 10 ila 12 cm, z için ise ± 5-10 cm'dir. Şekil 3.1'de çalışma alanının konumu gösterilmektedir. Ağaç çeşitliliğinin çok olabileceği düşünülerek bu alan tercih edilmiştir.



Şekil 3.1 Çalışma alanının konumu

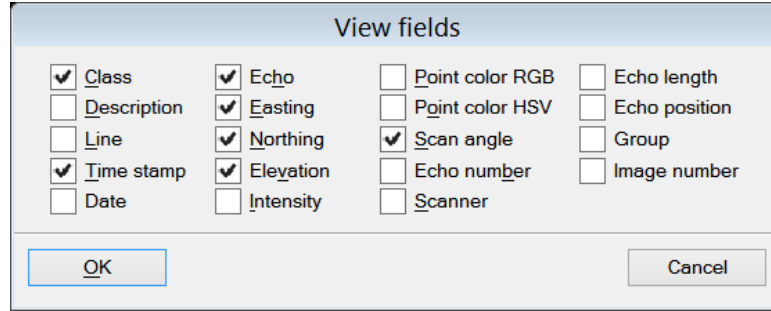
3.2 Lidar Verisi

Çalışma alanına ait hava lidar verileri 4 Ekim 2012 tarihinde saat 08.05 ile 08.45 arasında yapılan uçuşla toplanmıştır. Bölgenin yüksekliği ise ortalama 100-150 m olup lazer tarama verileri yaklaşık 500m yükseklikten (uçuş yüksekliği) toplanmıştır. Lidar taramaları RIEGL Q680i marka tarayıcıyla ve veri ön işleme adımları (pre-process) yine RIEGL firmasının kendi yazılımı olan RiProcess yazılımı ile gerçekleştirilmiş olup lazer dalga boyu yakın kızılötesi, 400 KHz lik bir tarama, $\pm 30^\circ$ veya toplamda 60° lik bir açı ile taranmıştır. Yine RiProcess yazılımı ile nokta bulutunun kalibrasyonu yapılmıştır.

Nokta bulutu yükseklik verileri, uygulamalara ve lazer tarama sistemlerine bağlı olarak birçok farklı özneliği barındırabilir ayrıca nokta yoğunluğu, çoklu yansıma ve yansıma genliği (amplitude registration) filtreleme ve modelleme algoritmalarını etkileyen özelliklerdendir (Axelsson, 2000). Çoklu yansıma bilgisi, bitki örtüsü ve yer yüzeyi ayrımı ve ormancılık uygulamalarındaki derinlik analizleri tahminlerinde filtreleme ve modelleme algoritmaları çok önemlidir (Axelsson, 2000). Lidar nokta bulutlarına ait diğer özneliklerden bazıları GPS, zaman bilgisi, uçuş şeridi bilgisi, yansıma bilgisi, tarayıcı açısı ve yüksekliktir.

Şekil 3.2'de doğu kuzey yükseklik bilgileri X,Y,Z yi temsil etmekte, "line" ise uçuş şeridi bilgisini temsil etmektedir. Buradaki uçuş şeridi bilgisi hangi lidar nokta verisinin hangi uçuş şeridine dahil olduğu bilgisini bize söyler. Üst üste bindirme olan alanlar için bu

bilgi önemlidir. Eğer lidar nokta bulutu verisine kalibrasyon yapılmamış ise şerit bilgisinden alınan kesitlerle bu durum gözlemlenebilir. Veri, daha kolay kontrol etmek amacıyla ve veri işleme sürecini kısaltmak için 4 adet bloğa ayrılmıştır. Şekil 3.3’de 4. bloğa ait sınıflandırılmış noktaların özniteliklerin görünümü bulunmaktadır. Sütunlar sırasıyla sınıfa atanan numara bilgisi, GPS zaman bilgisi, yansıma bilgisi, x,y,z ve tarama açısını göstermektedir.



Şekil 3.2 Nokta bulutuna ait öznitelikler

5	376136.368516	Only	412834.80	4560990.49	+130.57	+61
5	376136.368519	First	412834.57	4560990.46	+131.55	+61
5	376136.368519	Intermedia	412835.15	4560990.44	+130.50	+61
5	376136.368522	First	412835.07	4560990.40	+131.31	+61
5	376136.368522	Intermedia	412835.73	4560990.38	+130.10	+61
5	376136.368524	First	412835.45	4560990.34	+131.22	+61

Şekil 3.3 Dördüncü bloğa ait noktaların özniteliklerinin görünümü

3.3 Yöntem

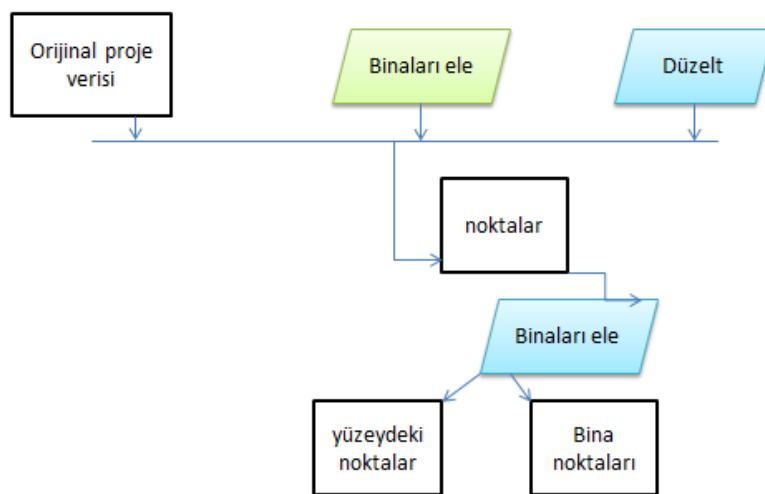
Literatürde lidar nokta bulutunu sınıflandırmak için birçok yöntem vardır. Bunlar yükseklik farkı, eğim tabanlı (slope based), morfolojik ve çoklu ölçekleme (multi-scale) olarak ayrılabilir. En çok kullanılan yöntemlerden “eğim tabanlı” kategorisinde değerlendirilen algoritmalara örnek verecek olursak bunlardan ilki Peter Axelsson’un 1999 yılında ürettiği “Axelsson algoritması”, ikincisi ise Vosselman’ın 2000 yılında ürettiği “Vosselman algoritması” olabilir. Axelsson’a göre sınıflandırma, kullanıcının tanımladığı eğim eşiği ve minimum mesafe gibi parametrelere bağlıdır (Axelsson, 1999). Vosselman (2000) ise yükseklik farkından yola çıkarak filtreleme methodu üretmiştir, iki nokta arasındaki kabul edilebilir yükseklik farkı noktaların arasındaki

mesafe fonksiyonu olarak tanımlanır. Yükseklik farkından yararlanılarak geliştirilen Kraus ve Pfeifer algoritması (1998) da nokta bulutu için geliştirilen bir başka yaklaşımdır. Bu algorithmada lidar nokta verilerini sınıflandırmak için noktaları, yüzeyde olan ve olmayan noktalar olarak ayırarak enterpolasyon ve filtreleme yöntemi üretilmiştir (Kraus ve Pfeifer, 1998).

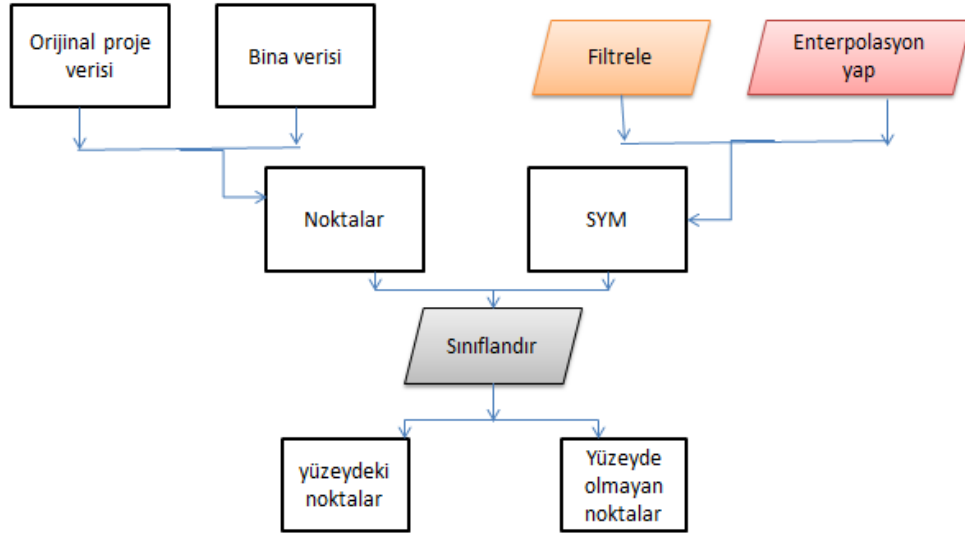
3.3.1 Kraus ve Pfeifer Algoritması

Kraus ve Pfeifer (2001) lidar nokta bulutu ile , yaklaşık yeryüzünü enterpole etmiştir. Geriye kalan artık noktalar (yüzeyden diğer lidar noktalarına olan mesafe) ağırlık fonksiyonuna eklenip hesaplatılmıştır. Negatif artık noktalar yüzey noktaları olarak ve büyük ağırlık değerine sahip noktalar olarak tanımlanırken, pozitif noktalar ise yüzey olmayan noktalar ve küçük ağırlık değerine sahip noktalar olarak kabul edilmiştir (Kraus ve Pfeifer, 1998). Yeni yüzey, ağırlık fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Bu algoritma ile ağırlık değerleri atama ve yeni yüzey hesaplama işlemleri iteratif olarak maksimum iterasyon sayısına ulaşılan kadar yapılır (Kraus ve Pfeifer, 2001).

Scop++ yazılımı Kraus ve Pfeifer algoritması kullanarak çalışmaktadır (Kraus ve Pfeifer 1998). Bu yazılım ham nokta bulutunu yüzeyde olan (terrain) ve yüzeyde olmayan (off-terrain) olarak ayırmaktadır. Şekil 3.4'de bina noktalarının belirlenmesi için Scop++ işlem adımları, Şekil 3.5'de ise bitki örtüsü noktalarının belirlenmesi için Scop++ işlem adımları görülmektedir.



Şekil 3.4 Bina noktalarının belirlenmesi için Scop++ işlem adımları (Demir ve Acar, 2007)

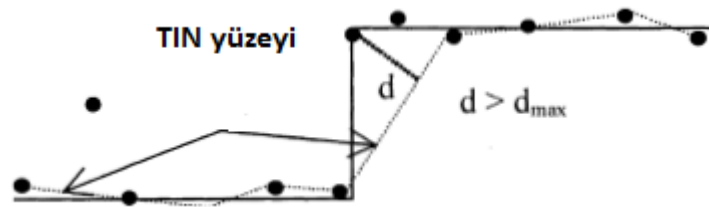


Şekil 3.5 Bitki örtüsü noktalarının belirlenmesi için Scop++ işlem adımları (Demir ve Acar, 2007)

3.3.2 Axelsson Algoritması

Axelsson tarafından geliştirilen “Adaptive TIN” filtreleme algoritması düğüm (seed) noktaları olarak tanımlanan noktalarla (Triangular Irregular Network) TIN oluşturur. Bu filtreleme algoritması belirlenen eşik parametrelerine bağlı olarak iteratif olarak her seferinde TIN yüzeyine nokta ekler. Çalışılan alanın yüzey açısı, eğimi ve yükseklik farkı gibi değerlerinden optimum medyan değerler belirlenir (Axelsson 2000). Filtreleme tüm noktalar sınıflandırılana kadar devam eder (Axelsson 2000).

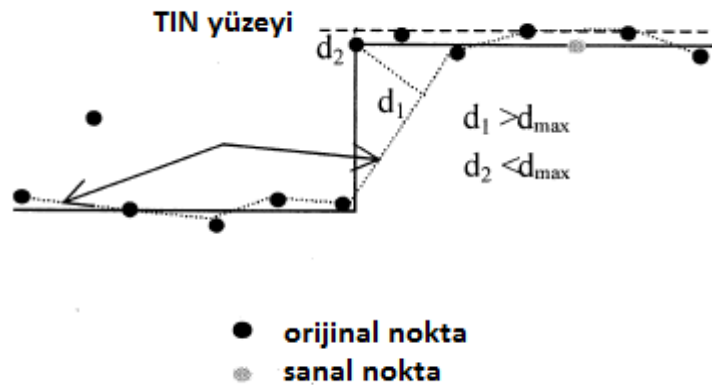
Örneğin yoğun şehir alanlarında eğer bir yüzey düzensiz ilerliyorsa (Şekil3.6), bunları düzenlemek zordur. Fakat kenarlar eşik değerinden yüksek çıkarsa Şekil 3.6’da görüldüğü gibi TIN yüzeyi kesilecektir (Axelsson 2000).



Şekil 3.6 Düzensiz yüzeye ait TIN yapısı (Axelsson, 2000)

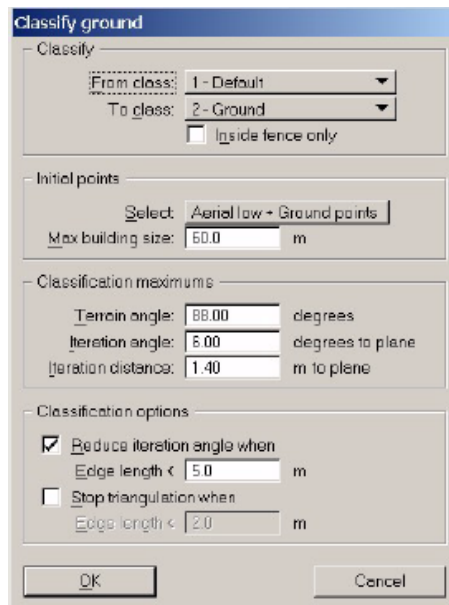
Yüzey üzerinde aralığın fazla olduğu durumda TIN yüzeyi arada sanki nokta varmış gibi yüzeyi oluşturmaya devam eder (Şekil 3.7), sanal (mirror) nokta en yakın düğüm noktasına yakın şekilde konumlanır. İteratif işlemler TIN yapısına daha fazla nokta

eklenmediğinde sona erer. Yazılım sayesinde işlemleri verilen değer aralığına göre iterasyonu sonlandırmak mümkündür (Axelsson, 2000).



Şekil 3.7 Düzensiz ilerleyen yüzeyde sanal (mirror) noktalar (Axelsson, 2000)

Şekil 3.8'deki makro penceresinde görüldüğü gibi, parametreler hangi noktaların yüzeyde olduğunu ve TIN yapısına katılması gerektiğini belirler. İterasyon açısı, noktalar arasındaki maksimum açığı belirler. İterasyon mesafesi üçgenleme yapılırken noktalar arasında büyük sıçramaların olmamasını sağlar. Düz alanlar için küçük iterasyon açısı (4 civarı) daha dağlık alanlar için daha büyük (10 civarı) iterasyon açısı kullanılmalıdır. Şekil 3.8'de bulunan makro penceresi Axelsson algoritmasıyla çalışmakta ve yeryüzeyini sınıflandırmak için kullanılmaktadır (TerraScan User Guide, 2015).



Şekil 3.8 Yeryüzeyini sınıflandırma makrosu

İşlemler, yeryüzeyine çarpan bazı alçak noktaları seçerek başlar, bu seçilen alçak noktalarla ilk üçgen model üretilir. Maksimum bina büyüklüğü parametresi ile ilk nokta seçimini kontrol etmiş oluruz. Eğer maksimum bina boyutu 60 m ise tüm 60mx60m' lik alanların en az bir defa yeryüzeyine değmesini algoritma değerlendirir ve bunların arasından en kotu en küçük olanını yeryüzü noktası olarak alır. (TerraScan User Guide, 2015). Algoritmada aynı zamanda kenar uzunluğu belirli bir seviyeden kısa ise "iterasyon açısını düşür" ve kenar uzunluğu belirli bir seviyeden kısaysa "üçgenlemeyi bitir" gibi seçenekler de bulunur.

BÖLÜM 4

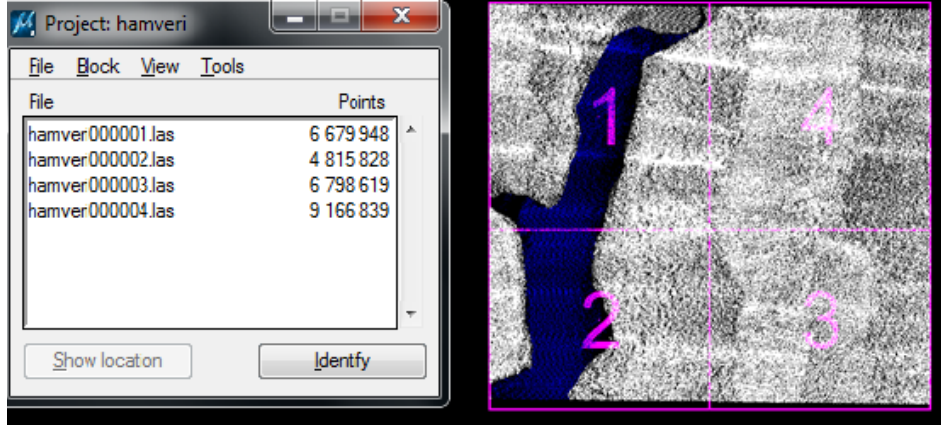
BULGULAR

Bu bölümde TerraScan ve Microstation v8i yazılımı ile çalışma alanına ait veri işleme süreci anlatılmıştır. Sınıflandırma ve ağaç verilerine ait bazı özneliklerin (ağaç sayısı, ağaç türü, ağaç yükseklikleri vb.) belirlenebilirliği ve bu verilerin istatistiksel sonuçları değerlendirilmiştir.

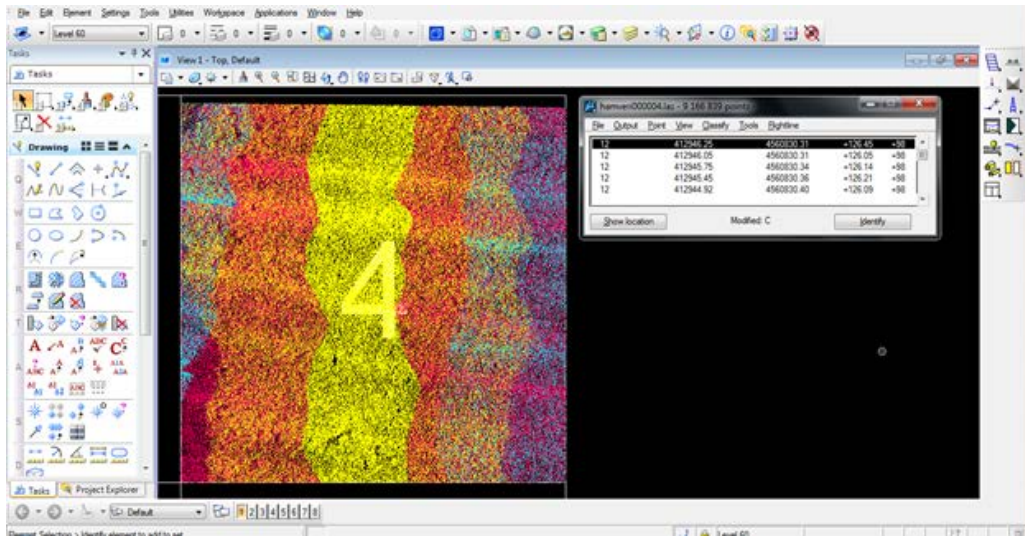
4.1 Sınıflandırma

Hava lidar nokta bulutu verileri Microstation platformu üzerinde çalışan TerraScan lidar yazılımı ile sınıflandırılmış ve sınıflandırılırken farklı parametrelerin nokta bulutu üzerindeki etkileri incelenmiştir. İlk olarak hava lidar verileri hiçbir seyreltme işlemi yapılmadan 4 bloğa ayrılarak proje oluşturulmuştur. Şekil 4.1’de olduğu gibi bloklar halinde verinin işlenmesiyle hem bilgisayar performansı artmıştır hem de veri kaybının önüne geçilmiştir. Veriler milyonlarca noktadan oluşan yoğun bir veri olduğu için blok blok değerlendirilmiştir. Hava lidar verisinde ilk olarak su alanı manuel yöntemlerle ayrı bir sınıfa alınmıştır. Noktaların ekranda açık olması yine bilgisayar performansını etkileyeceği için proje üzerinden yalnızca çalışılan blok açık kalacak şekilde ve kesitler alınarak alana ait parametre araştırmaları yapılmıştır. Diğer işlem adımları yazılım içerisindeki otomatik seçeneklerle ve gerektiği durumlarda manuel seçeneklerle yapılmıştır. Son olarak tarama açısının nokta bulutu üzerindeki etkilerinin araştırılması için 20, 40 ve 60 derecelik açılara göre veri filtrelenmiş ve filtrelenen veriler ayrı sınıfa atanıp geriye kalan nokta bulutu verisi ile sınıflandırmalar yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Hava lidar verileri üst üste binen uçuş şeritlerinden oluşur bu sebeple

üst üste binen alanların azalması verinin hem daha kolay işlenmesini hem de bu alanlarda bulunan nesnelerin algoritmalar tarafından daha kolay çözümlenmesini sağlar. Şekil 4.2’de tarama açısına göre sınıflandırılan nokta bulutu verisinin uçuş şeritleri farklı renklendirme yapılarak gözle ayırt edilebilecek hale getirilmiştir. Çalışma alanının tamamında üst üste bindirmenin çok sık olduğu gözlemlenmiştir.



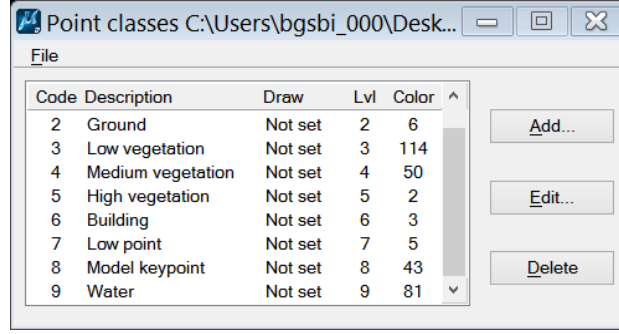
Şekil 4.1 Çalışma alanına ait bloklara ayrılmış genel görünüm



Şekil 4.2 Tarama açısına göre sınıflandırılan verinin uçuş şeritleri görünümü

Yazılım ile ASPRS tarafından oluşturulan standart sınıf listesi kullanılmaktadır, alanın özelliklerine bağlı olarak kullanıcı yazılımda bulunan sınıf listesini güncelleyebilmektedir. Şekil 4.3’te olduğu gibi sınıf listesinde sınıfların başındaki rakamlar sınıfın atandığı numaralar olup 2 numaradan den 9 numaraya kadar tanımlanan sınıflar sırasıyla yeryüzü verisi, alçak bitki örtüsü, orta seviye bitki örtüsü, yüksek seviye bitki örtüsü, bina verisi, gürültü, filtrelenmiş yeryüzü verisi ve su alanı

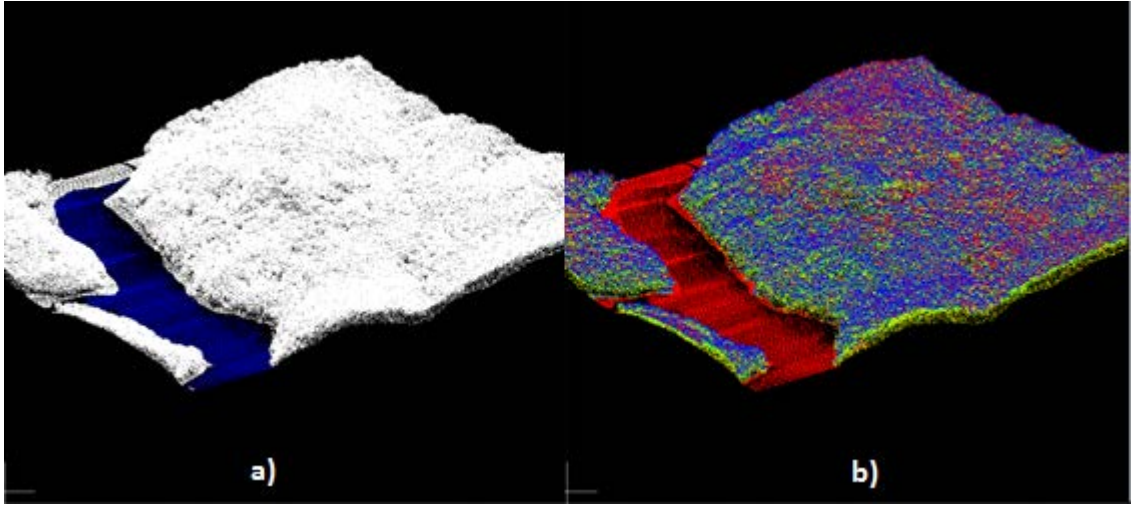
noktalarıdır. Yeryüzeyi noktalarının filtrelenmesiyle oluşan 8 numaralı sınıf SAM ve SYM üretmek için kullanılmaktadır.



Code	Description	Draw	Lvl	Color
2	Ground	Not set	2	6
3	Low vegetation	Not set	3	114
4	Medium vegetation	Not set	4	50
5	High vegetation	Not set	5	2
6	Building	Not set	6	3
7	Low point	Not set	7	5
8	Model keypoint	Not set	8	43
9	Water	Not set	9	81

Şekil 4.3 Sınıflandırma listesi görünümü

Özellikle lidar nokta bulutu verisiyle sınıflandırma veya SYM, SAM gibi arazi modelleri üretimi yapılacaksa su alanının kaldırılması önemlidir bu yüzden çalışmada su üzerinden yansıyan noktalar veri karmaşası yaşatmaması için en başta su sınıfına atanmıştır. Şekil 4.4 a)'da görüldüğü gibi mavi görünümlü alan su sınıfına atanmıştır.

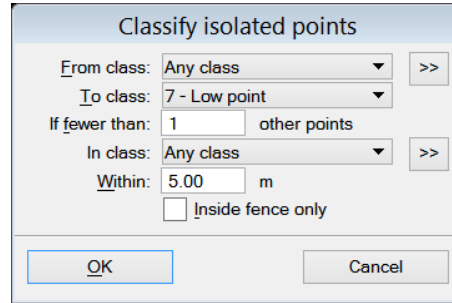


Şekil 4.4 a) Sınıflandırılmış su alanı b) Noktaların yansımaya görünümü

Şekil 4.4 b)'de olduğu gibi nokta bulutu verisi çoklu yansımaya değerine sahip olabilir. Farklı yansımaya değerlerinin kırmızı, yeşil, mavi ve sarı renklerine atanmasıyla, alan yansımaya değerlerine göre renklendirilmiştir. Bu sayede alanın genel karakteristik özellikleri hakkında ön bilgi edinilmiştir.

İlk olarak, lidar nokta bulutları bir çok etkenden dolayı gürültü dediğimiz noktaları barındırabilir. Bunlar hava koşulları, kuşlar veya yer yüzeyindeki çukurlardan kaynaklanabilir. Bu gürültü noktalarını temizlemek için yazılımda bulunan gürültü

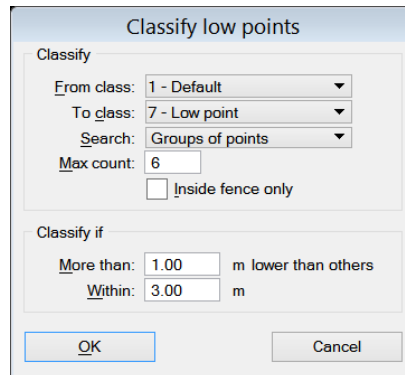
noktaları makroları (classify low points, classify isolated points) kullanılmıştır. Veri işleme süreçlerinde sırasıyla önce “classify isolated points” makrosu çalıştırılıp gürültü noktalarına ait alan 5 metrelik yarıçapla üç boyutlu olarak taranmıştır, (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Gürültü noktaları için kullanılan ilk makro penceresi

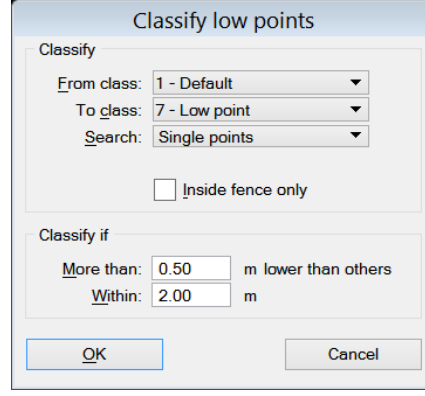
Şekil 4.5’de bulunan makroyla daha çok hava koşullarından kaynaklanan ve kuşlara çarpan gürültü noktaları belirlenebilmektedir. Ek olarak bu makro yeryüzeyinin altındaki noktaları da bulabilmektedir.

İkinci olarak, “classify low points” makrosu çalıştırılarak yeryüzeyinin altında kalan ve hatalı olarak kümelenen komşu gürültü noktaları sınıflandırılmıştır. Şekil 4.6’da olduğu gibi bu makroda kullanılan parametrelerle gürültü noktaları 3 metrelik yarıçapla taranmış ve yeryüzeyi noktalarına göre 1 metre aşağıdaysa noktalar seçilmiştir.



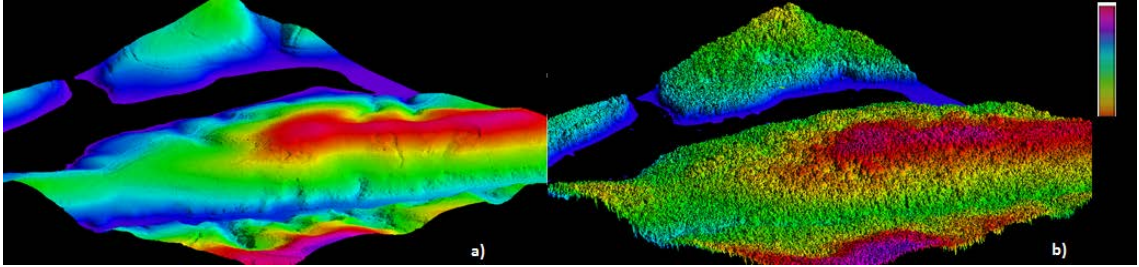
Şekil 4.6 Gürültü noktaları için kullanılan ikinci makro penceresi

Üçüncü olarak, yine “classify low points” makrosu çalıştırılmıştır fakat farklı olarak noktalar küme olarak değil tek başına düzensiz bir noktaysa bu düzensiz gürültü noktasının bulunmasını sağlamıştır. Bu işlem için Şekil 4.7’deki gibi 2 metrelik yarıçapla diğerlerinden yarım metre aşağıda kalan noktaları araması için gerekli parametreler girilmiştir.



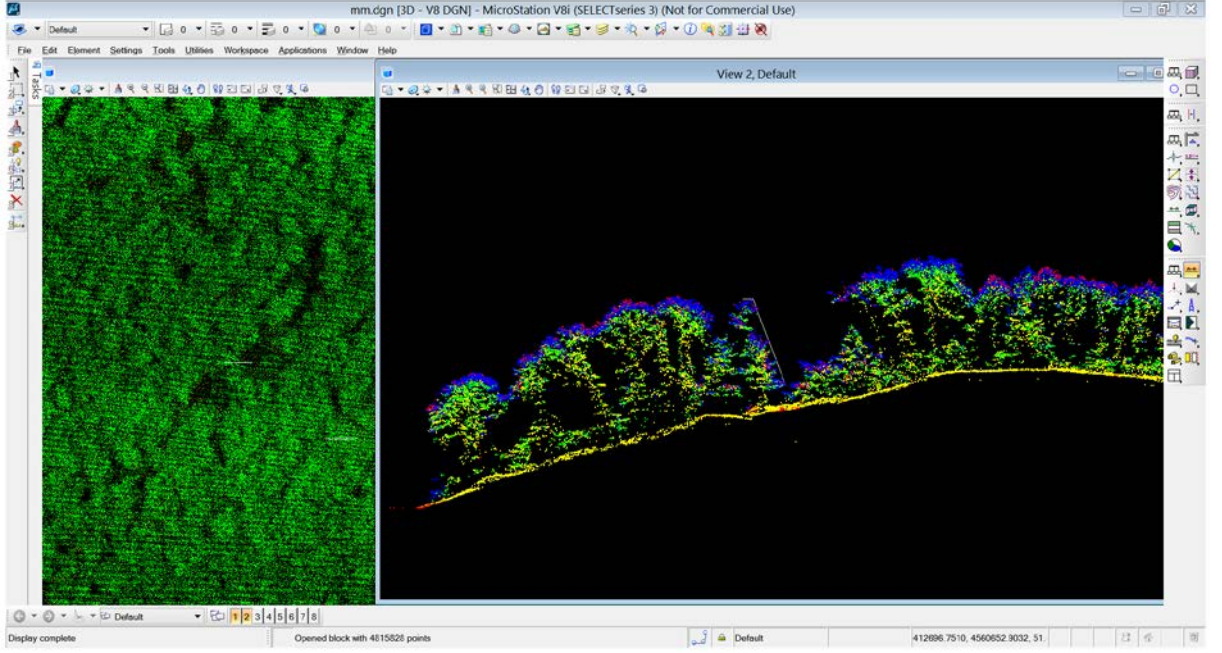
Şekil 4.7 Gürültü noktaları için kullanılan üçüncü makro penceresi

Tüm bu otomatik veri işleme adımları sonrasında hala gürültülü noktaların olup olmadığı nokta bulutundan alınan kesitlerle düşey ekseninde incelenmiştir. Sonuç olarak sınıflanmayan gürültü noktaları tespit edilmiş ve her bir bloktaki sınıflanmayan gürültü noktaları manuel olarak yazılım içerisindeki araçlarla sınıflandırılmıştır. Ayrıca kalan gürültü noktalarının tespiti ve kontrolü için sınıflandırma sonunda yeryüzü noktalarından üretilen SYM ile tekrar kontroller yapılmıştır. Şekil 4.8 a)'da sınıflandırma sonrası üretilen sayısal yükseklik modeli, Şekil 4.8 b)'de sınıflandırma sonrası üretilen sayısal arazi modeli görülmektedir.



Şekil 4.8 a) Çalışma alanından üretilen SYM b) Çalışma alanından üretilen SAM

Çalışma alanında yoğun lidar nokta bulutu olmasından dolayı yansımaya değerleri Şekil 4.9'daki gibi düşey kesitler alınarak incelenmiştir ve orman alanının hangi yansımaya değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Sonuç olarak Şekil 4.10'da görüldüğü gibi yansımaya çeşitleri olarak; tek yansımaya, birinci çoklu yansımaya, orta seviye yansımaya ve son yansımaya değerine sahip noktalar olduğu gözlemlenmiştir. Nokta bulutu verisi sınıflandırma için 4 ana tabakaya ayrılmıştır bunlar; yeryüzeyi, alçak bitki örtüsü (0-1m arası), orta seviye bitki örtüsü (1-5 m arası) ve yüksek seviye bitki örtüsü (5m ve daha fazla yükseklikte olanlar) sınıflarıdır.

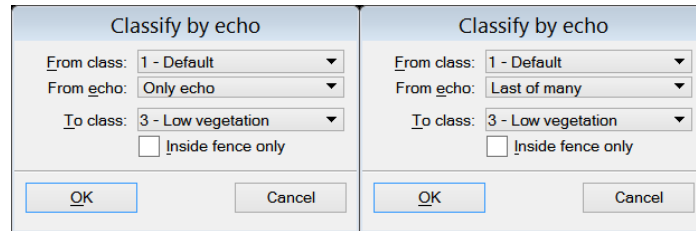


Şekil 4.9 Çalışma alanı kesit profilinden noktaların yansımaya görünümü



Şekil 4.10 Yansımaya değerlerinin renk karşılıkları

Sınıflandırmanın daha doğru yapılabilmesi için yansımaya değerleri kullanılmıştır. Bunun için Şekil 4.11'deki gibi "classify by echo" makrosuyla tek yansımaya değerine sahip noktalar ve son yansımaya değerine sahip noktalar alçak bitki örtüsü sınıfına atanmıştır. Böylelikle yeryüzeyine ait noktalar ve tüm bitki sınıfına ait noktalar yansımaya değeri kullanılarak tek bir sınıfta toplanmıştır. Tek bir sınıfta toplanan bu noktalar sırasıyla diğer sınıflara atanmıştır.



Şekil 4.11 Yansımaya değerine göre noktaların sınıflandırılması

Yeryüzü sınıfı “classify ground” makrosuyla iteratif olarak noktaların TIN yüzey modeli oluşturmasıyla yapılmıştır. Şekil 4.12’de de görüldüğü gibi yeryüzeyine ait noktaları çıkarabilmek için yazılımda , “max buildig size” parametresi 5 m seçilmiştir çünkü bina olmayan alanlarla bu parametre minimum değerlerde alınmalıdır. “terrain angle” parametresi 88 derece seçilmiştir bu parametre yeryüzeyinde izin verilen en dik eğimi ifade eder dolayısıyla çalışma alanında 88 dereceden dik bir eğim olmadığı için maksimum değer girilerek yazılımın optimum değerler elde etmesi amaçlanmıştır. Noktalar arasındaki maksimum açıyı ifade eden “iteration angle” için 4 ile 10 derece arası bir değer verilebilmektedir. Çalışma alanı için 4 ve 10 derece aralığındaki tüm değerler denenmiştir ve sınıflandırılan yeryüzü noktaları kesitlerle gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda en optimum parametrenin 6 derece olduğuna karar verilip makroya eklenmiştir. İterasyon boyunca üçgenlenen yüzeyden noktanın maksimum mesafesi anlamına gelen “iteration distance” parametresi için yazılım üzerinde 0.5 ile 1.5 metre arası değer girilebilmektedir. Yine bu değer aralığındaki denemeler sonucu iterasyon mesafesi için 1.4 m değeri ile makro hesaplatılmıştır. Bu işlemler ile yeryüzeyi sınıfına ait noktalar TIN (triangular irregular network) sıklaştırma algoritmasıyla eklenerek tanımlanmaktadır (Axelsson, 1999).

Şekil 4.12 Yeryüzeyi noktalarına ait sınıflandırma makro penceresi

Son aşama olarak bitki örtüsüne ait sınıflar için sınıflandırma adımları gerçekleştirilmiştir. Sırasıyla önce alçak bitki örtüsü, orta seviye bitki örtüsü ve yüksek seviye bitki sınıfları sınıflandırılmıştır. Bu sınıflar için sınıfı olmayan noktalar (default noktalar) ve sınıflandırma adımlarının başında yansıma değerlerine göre belirlenen alçak bitki örtüsü sınıfındaki noktalar kullanılmıştır. Şekil 4.13'deki gibi alçak seviye bitki örtüsü için 0-1 metre arası değerler seçilmiştir. Zaten ilk adımlarda yansıma değerlerindeki tüm değerler alçak bitki örtüsü sınıfına atandığı için sadece sınıfı olmayan noktalar bu sınıfa çağırılmıştır.

Şekil 4.13 Alçak bitki örtüsü için sınıflandırma makrosu

Orta seviye bitki örtüsü sınıfı için Şekil 4.14'deki makro pencerelerinde de görüldüğü gibi 1 metre ile 5 metre değer aralığı girilmiştir. Bu sefer hem sınıfı olmayan noktalardan hem de alçak bitki örtüsünde bulunan orta seviye bitki örtüsü verileri toplanmıştır.

Şekil 4.14 Orta seviye bitki örtüsü için sınıflandırma makroları

Yüksek seviye bitki örtüsü için Şekil 4.15'deki makro pencerelerinde görüldüğü gibi minimum yükseklik değeri 5m ve maksimum yükseklik değeri 9999m girilmiştir. Aynı

işlem hem sınıfı olmayan noktaları hem de alçak bitki örtüsü sınıfındaki noktaları kullanarak yapılmıştır.

Classify by height from ground	Classify by height from ground
Ground class: 2 - Ground >>	Ground class: 2 - Ground >>
Max triangle: 100.0 m	Max triangle: 100.0 m
From class: 3 - Low vegetation	From class: 1 - Default
To class: 5 - High vegetation	To class: 5 - High vegetation
<input type="checkbox"/> Inside fence only	<input type="checkbox"/> Inside fence only
Min height: 5.000 m	Min height: 5.000 m
Max height: 9999.000 m	Max height: 9999.000 m
OK Cancel	OK Cancel

Şekil 4.15 Yüksek seviye bitki örtüsü için sınıflandırma makroları

Tüm bu işlemleri adım adım nokta bulutuna uygulayıp değişimleri görebildiğimiz gibi, Şekil 4.16'daki gibi yazılım sayesinde hepsini otomatik olarak belirlediğimiz sırayla da yaptırmamız mümkündür. Parametrelerin tamamı çalışılan alanlara göre değişiklik gösterebilir. Özellikle şehir alanları için yeryüzü makrosu parametreleri değişiklik gösterecektir. Bu sebeple sınıflandırma işlemlerinin alana özel yapılması ve sınıflandırma makrolarının teker teker yapılıp değişimlerin gözlenmesi ve kontrol edilmesi daha doğru sonuçlar üretmemizi sağlayacaktır.

Macro - dogrusinifblok3.mac

File Run

Description: Process flightlines separately

Author: Process scanners separately

```

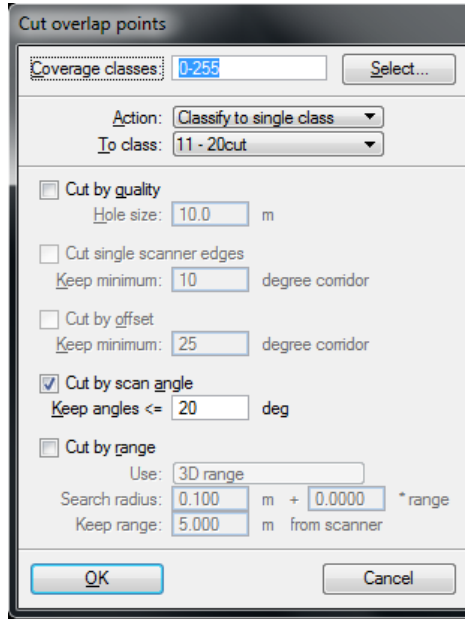
FnScanClassifyIsolated("0-255",7,1,"0-255",5.00,0)
FnScanClassifyLow(1,7,6,1.00,3.00,0)
FnScanClassifyLow(1,7,1,0.50,2.00,0)
FnScanClassifyEcho(1,3,0,0)
FnScanClassifyEcho(1,3,3,0)
FnScanClassifyGround("3",2,"3",1,5,0,88.00,6.00,1.40,-1,5,0,0,2,0,0)
FnScanClassifyHgtGrd(2,100.0,1,3,0.000,1.000,0)
FnScanClassifyHgtGrd(2,100.0,3,4,1.000,5.000,0)
FnScanClassifyHgtGrd(2,100.0,1,4,1.000,5.000,0)
FnScanClassifyHgtGrd(2,100.0,3,5,5.000,9999.000,0)
FnScanClassifyHgtGrd(2,100.0,1,5,5.000,9999.000,0)

```

Şekil 4.16 Otomatik sınıflandırılma için hazırlanan makro penceresi

4.2 Tarama Açısının Nokta Bulutu Üzerindeki Etkisi

Üst üste binen uçuş şerit alanlarının tarama açısına göre filtrelenmesi ve bu işlemin lidar nokta bulutu üzerindeki etkilerinin araştırılması amacıyla toplamda 60 derece olan tarama açısı için, Şekil 4.17'deki gibi tarama açıları yirmişer arttırılarak 20, 40 ve 60 derecelik açılarla hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 4.17 Tarayıcı açısına göre üst üste binen alanların filtrelenmesi

Açılara göre filtrelenen bu nokta bulutları için ilk yapılan sınıflandırmada kullanılan parametrelerin aynıları kullanılarak sınıflandırma işlemleri yapılmıştır. Sınıflandırma sonunda oluşan farklılıklar Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

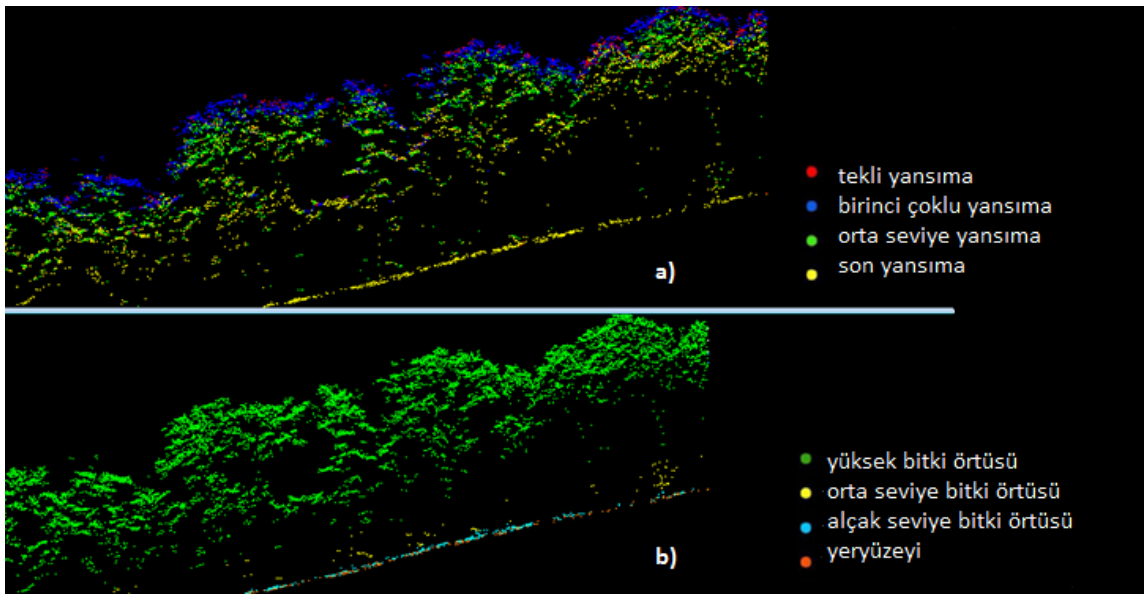
Çizelge 4.1 Farklı özellikteki nokta bulutu verilerinin sınıflandırma sonuçları

Kesilmeyen veri	Gürültü noktası	Yeryüzü noktası	Alçak bitki ört.	Orta seviye bitki ört.	Yüksek seviye bitki ört.	Su alanı	Kesilen alan	Ağaç alanı
blok1	1102	235999	691226	362333	5113516	289254	0	4320318
blok2	1398	163216	400745	293124	3583905	372011	0	2981926
blok3	920	211145	522267	298434	8130675	0	0	5111374
blok4	954	171587	335217	136266	6151951	0	0	6815910
20derece	Gürültü noktası	Yeryüzü noktası	Alçak bitki ört.	Orta seviye bitki ört.	Yüksek seviye bitki ört.	Su alanı	Kesilen alan	Ağaç alanı
blok1	534	171763	277382	174363	2497794	279868	3291556	2117567
blok2	453	107860	157640	145906	1692178	371263	2339226	1441261
blok3	513	96947	126111	55143	2742740	0	3774880	2317348
blok4	719	130374	208307	133817	3442203	0	5248733	2900921
40derece	Gürültü noktası	Yeryüzü noktası	Alçak bitki ört.	Orta seviye bitki ört.	Yüksek seviye bitki ört.	Su alanı	Kesilen alan	Ağaç alanı
blok1	534	171763	277382	174363	2497794	279868	3291556	2117567
blok2	453	107860	157640	145906	1692178	371263	2339226	1441261
blok3	513	96947	126111	55143	2742740	0	3774880	2317348
blok4	719	130374	208307	133817	3442203	0	5248733	2900921
60derece	Gürültü noktası	Yeryüzü noktası	Alçak bitki ört.	Orta seviye bitki ört.	Yüksek seviye bitki ört.	Su alanı	Kesilen alan	Ağaç alanı
blok1	534	171763	277382	174363	2497794	279868	3291556	2117567
blok2	453	107860	157640	145906	1692178	371263	2339226	1441261
blok3	513	96947	126111	55143	2742740	0	3774880	2317348
blok4	719	130419	208397	133826	3442351	0	5248441	2894402

Tarama açısına göre kesilmeden işlenen ilk veri ile üst üste binen alanlarda tarama açılarında göre kesilen nokta bulutu verilerinin sınıflandırma sonuçlarında farklı sınıflandırma sonuçları çıkmıştır. Özellikle ilk veri ile nokta verisi kesilen diğer verilerin arasında nokta sayıları bakımından kabaca yarı yarıya azalma diyebileceğimiz değişimler gözlemlenmiştir. Ayrıca tarama açısına göre kesilen alanlara ait sınıf nokta sayılarının 60 derecelik tarama ile kesilen alandaki 4. blok haricinde aynı değerlere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Tablo 4.1’de 40 dereceye göre kesilen alanın nokta sayısı 4. blokta 5248733, yine 4. blokta 60 dereceye göre kesilen alanın nokta sayısı ise 5248441 çıkmıştır. Bu duruma göre 4. blok için üst üste binen uçuş şeritlerinde 40 dereceden küçük alanlar, 60 dereceden küçük alandan daha fazladır diyebiliriz. 40 derece tarama açısına göre kesilen alan daha fazla olduğu için sınıflandırılan nokta sayısı 60 derecelik tarama açısına göre daha azdır sonucuna ulaşılmaktadır.

4.3 Ağaç Özneliklerinin Çıkarımı ve Ağaç Türlerinin Tahmini

Yazılımla yapılan otomatik işlemler ve hemen ardından yapılan manuel düzeltmeler sonrasında ağaç alanlarına ait analizler yapılmış ve Şekil 4.18’de olduğu gibi yansımalarla sınıf ilişkisi incelenmiştir. Ağaçlar düşey kesitlerle, alanın tamamı taranacak şekilde araştırılmış ve ağaç tipleri incelenmiştir. Daha düşük yoğunlukta veya alçak bitki örtüsü bulunan alanlara ait kesitlerde ağaçların daha görünür olduğu fark edilmiştir. Ormanlık alan içerisinde farklı türde ağaçların olduğu ve aynı zamanda Şekil 4.19’da olduğu gibi ağaç yüksekliği ve ağaç yarıçapı gibi detayların da ölçülebildiği gözlemlenmiştir.

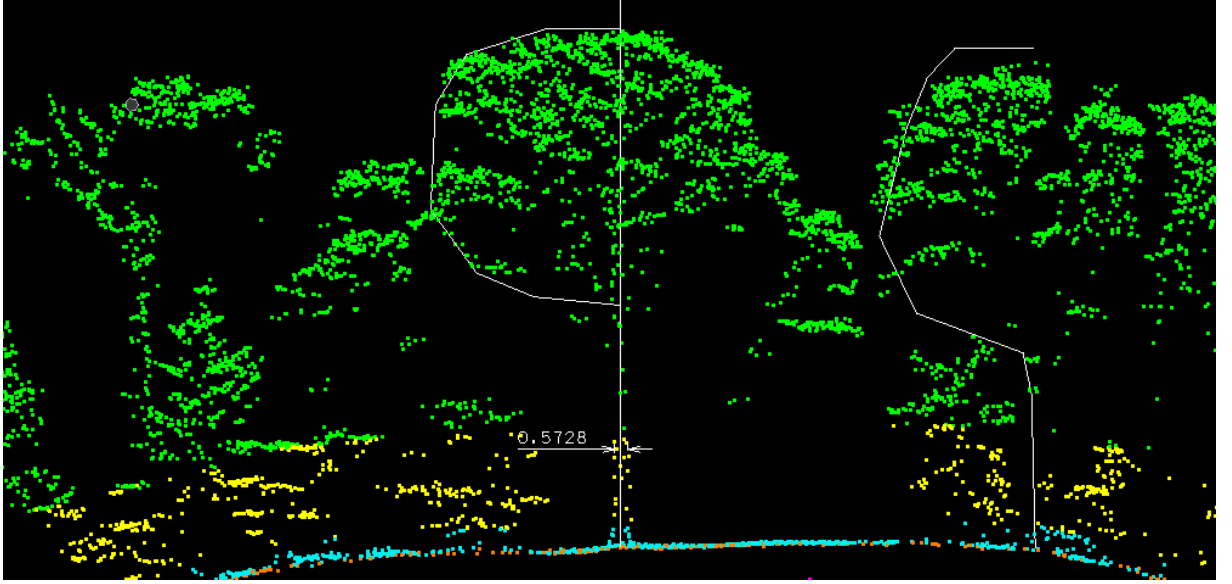


Şekil 4.18 a) Nokta bulutu yansımalar değerleri b) Sınıflandırılmış nokta bulutu

Şekil 4.18 a) LİDAR nokta bulutuna ait yansımalar değerlerine örnek bir kesit görünümüdür. Tekli yansımalar, birinci çoklu yansımalar, orta seviye yansımalar, sonuncu çoklu yansımalar noktaları sırasıyla kırmızı, mavi, yeşil ve sarı renklerine atanmıştır. Şekil 4.18 b) ise sınıflandırılmış lidar nokta bulutu verisinde sınıfların renklere atanmış genel görünümüdür. Yüksek bitki örtüsü, orta seviye bitki örtüsü, alçak bitki örtüsü, yeryüzeyi sınıfları sırasıyla yeşil sarı mavi ve turuncu renklere atanmıştır.

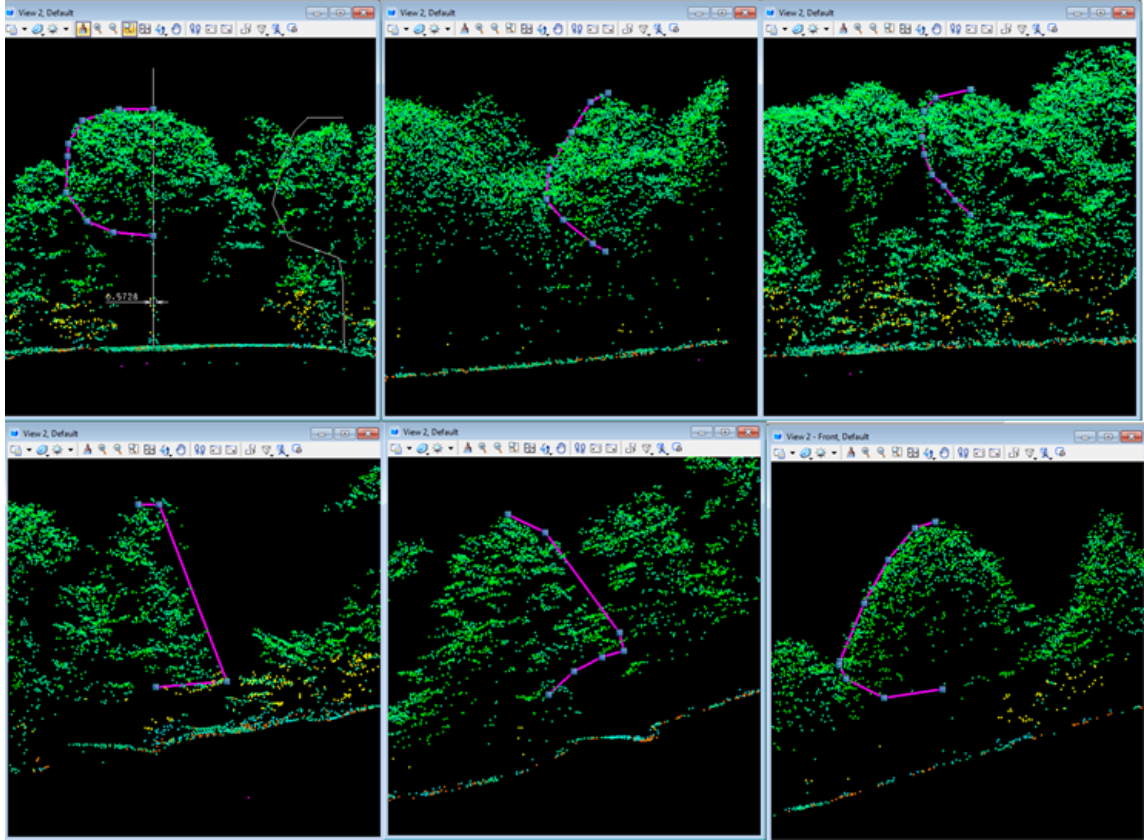
Ormanlık alana ait çalışma alanı 0-1 m arası alçak bitki örtüsü, 1-5 m orta seviye bitki örtüsü, 5 m ve sonrası içinse yüksek seviye bitki örtüsü olarak sınıflandırılmıştır. Şekil 4.17’deki gibi ormanlık alandaki sınıfların hangi yansımalar değerlerinden geldiğine bir göz gezdirilirse, yeryüzeyine ait noktaların tek yansımalar ve son yansımalar değerinden

geldiğini, alçak bitki örtüsü noktalarının orta seviye yansımaya değerinden geldiği, orta ve yüksek seviye bitki örtüsü noktalarının ise tüm çoklu yansımaya değerlerinden oluşabildiği görülmüştür.

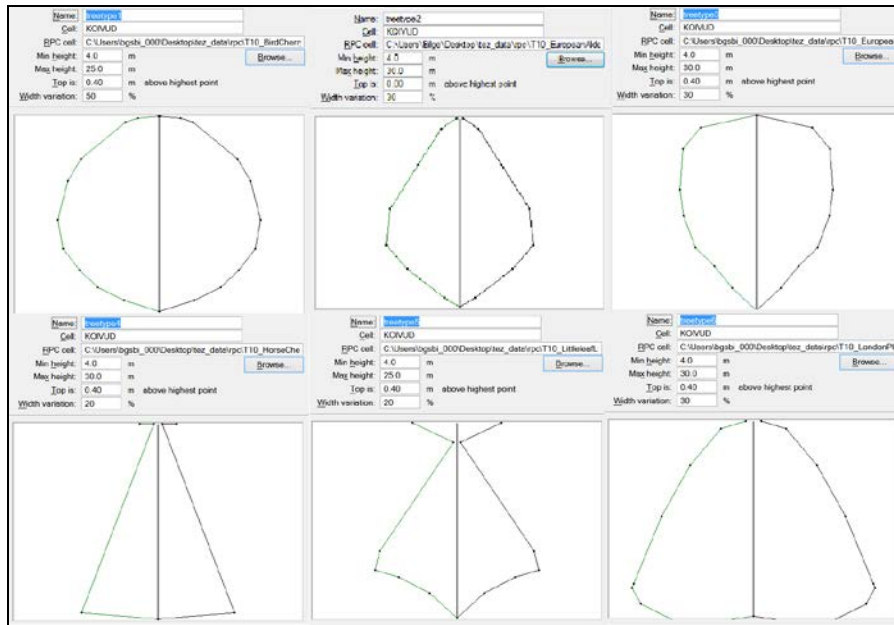


Şekil 4.19 Hava lidar verisiyle ağaç gövdesi yarı çapı ve ağaç yüksekliği ölçümü

Şekil 4.19’da da görüldüğü gibi kimi ağaçların kesitlerinin oldukça belirgin olduğu ve ağaçlara ait özniteliklerin açık bir şekilde ölçülebildiği görülmüştür. Yükseklik, gövde yarıçapı, tür gibi ağaçlara ait özniteliklerden sayılabilir. Ağaç türlerinin belirlenmesi için öncelikle sınıflandırılmış lidar nokta bulutu içerisinde kesitler alınarak 6 farklı ağaç türü belirlenmiştir (Şekil 4.20) ve belirlenen bu ağaçların kesitleri çizilip yazılım içerisinde tanıtılmıştır (Şekil 4.21). Belirlenen bu 6 farklı ağaç tipi daha sonra yazılım sayesinde hiç bir eleme yapılmayan nokta bulutu verisi için ve 20, 40 ve 60 derecelik tarama açısına göre kesilen nokta bulutu verileri için blok blok saydırılmıştır.



Şekil 4.20 Belgrad ormanında bulunan 6 farklı ağaca ait kesitler



Şekil 4.21 Tanımlanan kesitlerin yazılım üzerindeki görünüşleri

Sınıflandırma sonucunda hesaplanan ağaç sayıları Çizelge 4.2’de verilmiştir. Ağaç tipleri ve ağaç sayıları her bir nokta bulutu verisi için 4 blokta ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

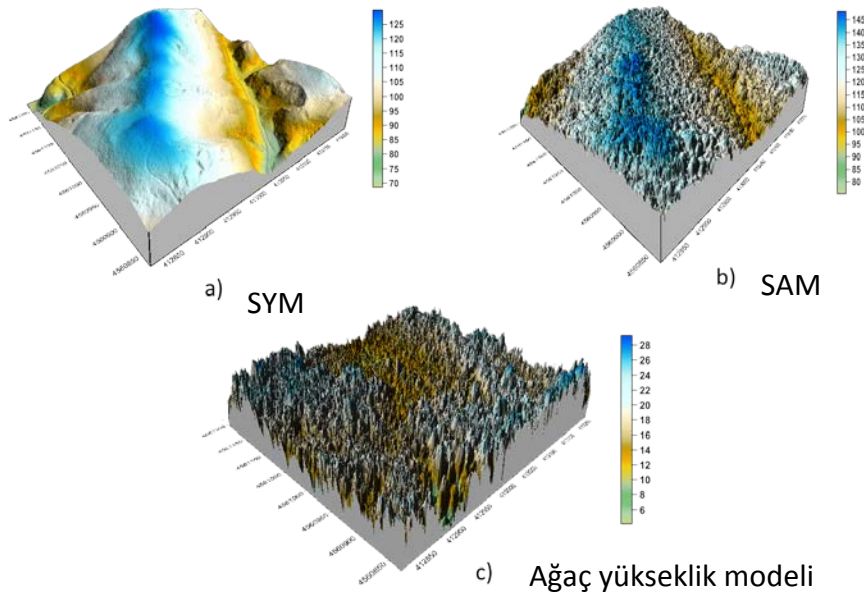
Çizelge 4.2 Farklı nokta bulutu verilerinin bloklar üzerindeki ağaç tipleri sayıları

Kesilmeden işlenen veri	Blok1	Blok2	Ağaç sayıları	Blok3	Blok4
Ağaç tipleri					
tip1	77		90	50	137
tip2	127		92	76	194
tip3	279		255	271	388
tip4	142		129	278	232
tip5	242		145	121	413
tip6	136		87	180	181
toplam ağaç sayısı	1003		798	976	1545
20 derecelik kesilen veri					
Ağaç tipleri					
tip1	73		99	60	151
tip2	155		133	94	291
tip3	258		273	295	426
tip4	110		108	187	138
tip5	213		122	128	363
tip6	160		94	194	194
toplam ağaç sayısı	969		829	958	1563
40 derecelik kesilen veri					
Ağaç tipleri					
tip1	73		99	60	151
tip2	155		133	94	291
tip3	258		273	295	426
tip4	110		108	187	138
tip5	213		122	128	363
tip6	160		94	194	194
toplam ağaç sayısı	969		829	958	1563
60 derecelik kesilen veri					
Ağaç tipleri					
tip1	73		99	60	150
tip2	155		133	94	290
tip3	258		273	295	416
tip4	110		108	187	133
tip5	213		122	128	347
tip6	160		94	194	207
toplam ağaç sayısı	969		829	958	1543

Belirlenen 6 tip ağacın sayılarının bloklara dağılımları incelendiğinde kesilmeden işlenen nokta bulutu verisinin tüm ağaç tipleri dahil toplam ağaç sayısı blok 1 için 1003 adet iken tarama açısına göre kesilen verilerin tamamında 969 adet ağaç hesaplanmıştır. Kesilmeden işlenen ilk verinin blok 2'deki toplam ağaç sayısı 798 adet, diğer üç verinin toplam ağaç sayısı ise 829 adet olarak hesaplanmıştır. Kesilmeden işlenen ilk verinin blok 3'deki toplam ağaç sayısı 976 adet iken diğer üç verinin toplam ağaç sayısı 958 adet olarak hesaplanmıştır. Kesilmeden işlenen ilk verinin blok 4'deki toplam ağaç sayısı 1545 adet iken diğer üç verinin toplam ağaç sayısı 1563 olarak hesaplanmıştır.

4.4 Ağaç Yüksekliklerinin İzlenmesi ve İstatistiksel Analizleri

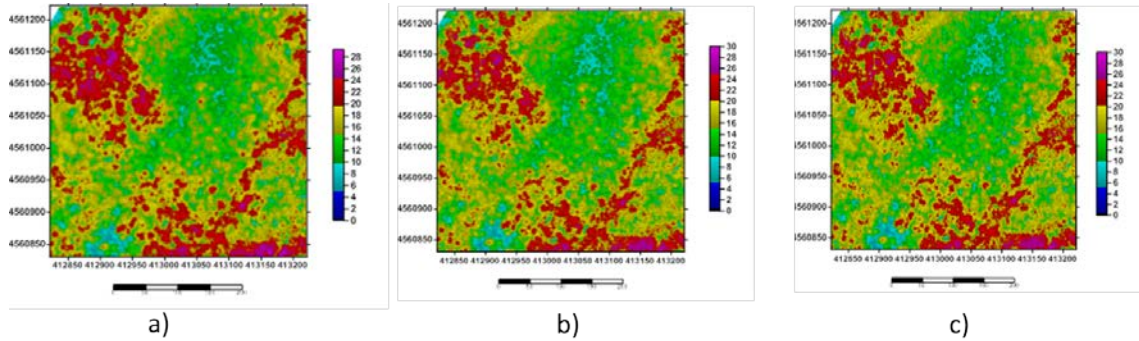
Nokta bulutu elenmeden sınıflandırılan veriden elde edilen yeryüzeyi ve ağaç sınıflarına ait modeller üretilmiştir. Şekil 4.22'da a) yeryüzeyi noktalarından üretilen çıplak yüzey modeli (SYM) ve b) ağaç sınıfından üretilen yüzey modelinin renklere göre yükseklik değerlerinin değişimi görülmektedir (SAM). Üretilen bu iki modelin farkları alınarak sadece ağaç alanlarına ait yükseklik modeli üretilmiş ve ağaç yüksekliklerinin 6-28m arasındaki değişimleri daha kolay görülebilmıştır (Şekil 4.22 c)).



Şekil 4.22 a) SYM, b) SAM, c) Ağaç yükseklik modeli

Tarama açılarında göre sınıflandırılan nokta bulutu verilerindeki ağaç yüksekliklerinin daha detaylı incelenmesi için yüksekliklerin renklere göre ayrıldığı haritalar üretilmiştir

(Şekil 4.23). Tarama açılarından 20 ve 40 derece olan sınıflandırma verilerinin aynı olmasından dolayı bu karşılaştırma, nokta bulutu elenmeyen veri, 20 ve 60 derecelik tarama açısına göre elenen veriler alınarak yapılmıştır.



Şekil 4.23 Farklı veri gruplarına ait ağaç yükseklik haritaları

Şekil 4.23’de a) nokta bulutu elenmeyen verinin ağaç yükseklik haritası, b) tarama açısı 20 dereceye göre elenen nokta bulutundan elde edilen ağaçların yükseklik haritası, c) tarama açısı 60 dereceye göre elenen nokta bulutundan elde edilen ağaçların yükseklik haritası görülmektedir. Buradan da görüldüğü gibi ağaçlar yüksekliklerine göre haritalanabilir. Daha sonra elde edilen bu haritalara göre ağaç yüksekliklerinin sınıflandırılması yapılmıştır. Çalışma bölgesini kapsayan ormanlık alanların yüzde olarak yükseklik dağılımları Çizelge 4.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 Tarama açılarına göre ağaç sınıfının yüzde olarak yükseklik dağılımı

Açı	Aralık (metre)		%
0	4.12	9.15	3.50
	9.15	14.19	26.10
	14.19	19.23	44.40
	19.23	24.26	23.70
	24.26	29.31	2.20
20	4.65	9.73	5.00
	9.73	14.81	29.70
	14.81	19.90	43.30
	19.90	24.98	20.30
60	24.98	30.07	1.70
	4.65	9.73	5.00
	9.73	14.81	29.70
	14.81	19.90	43.40
60	19.90	24.98	20.10
	24.98	30.07	1.70

Ağaç alanlarının farklı veri grupları arasındaki ilişkisi istatistiksel olarak analiz edilmiştir (Çizelge 4.4). Buna göre tarama açısı 20 ve 60 dereceye göre kesilen nokta bulutundaki ağaç alanlarının minimum ve maksimum ağaç yüksekliklerinde ve ağaç sayısı

dağılımında bir değişiklik olmadığı ancak tarama açısına göre kesilmeyen nokta bulutunda minimum ve maksimum değerinin diğerlerine göre daha küçük olduğu fakat ağaç nokta sayısının daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun yanında tarama açısına göre elenmeyen nokta bulutu ağaç sınıfının standart sapma değerinin diğer iki standart sapma değerinden daha küçük olduğu gözlemlenmiştir. Buna göre bu çalışma için elenmeyen nokta bulutu verisinin daha doğru sonuçlar üretebileceği görülmüştür.

Çizelge 4.4 Minimum ve maksimum değerlere göre istatistiksel olarak analizi

Açı	Nokta Sayısı	Min.	Maks.	Ort.	Std. Hata	Varyans	Ort. Sapma	Std. Sapma
0 derece	157003	4.115	29.300	16.444	0.010	16.306	3.287	4.038
20 derece	156983	4.650	30.060	16.533	0.010	17.028	3.357	4.126
60 derece	156983	4.650	30.060	16.526	0.010	17.047	3.358	4.129

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada hava lidar verileri ile ağaç alanlarına ait öznelik analizlerinin yapıp yapılmayacağı TerraScan yazılımı kullanılarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Yapılan analizler sonucunda lidar nokta bulutu verisi; yeryüzeyi, alçak-orta-yüksek seviye bitki örtüsü ve su sınıfı olarak ayrılmıştır. Daha sonra sınıflandırılan alanda bulunan ağaçlara ait ağaç gövde çapı, ağaç tipi, ağaç yüksekliği gibi özneliklerin çıkarılabilirliği değerlendirilmiştir.

Hava lidar nokta bulutu verileri sınıflandırılmasına başlanmadan önce bloklara ayrılmasının veri kaybını önlediği ve veri işleme süresini bilgisayar performansı açısından kısalttığı görülmüştür. Bunun yanında nokta bulutu verisinin sadece otomatik süreçlere değil manuel süreçlere de ihtiyacı olduğu anlaşılmıştır. Otomatik ve manuel sınıflandırması yapılan nokta bulutu verisinin yeryüzü sınıfına ait noktalarından üretilen SYM model ile kontrolünün yapılmasının sınıflandırma doğruluğunu arttıracığı tespit edilmiştir.

Çoklu yansıyan lidar verisinin sınıflandırma üzerinde olumlu etkisi olduğu görülmüştür, çünkü sınıflandırmaya başlamadan önce hangi yansıma değerinin hangi sınıfa ait olduğu analiz edilebilmiştir. Buna göre tek yansıma değerinin yeryüzeyine, tek ve birinci çoklu yansıma değerlerinin alçak bitki örtüsü sınıfına ve diğer tüm çoklu yansıma değerlerinin ise orta ve yüksek seviye bitki örtüsüne ait olduğu görülmüştür.

Hava lidar nokta bulutu verisi ile orman alanına ait özneliklerin belirlenebildiği ancak daha seyrek yerleşmiş yüksek bitki örtüsüne ait ağaç kesitlerinin daha belirgin olduğu ve gövde çapı, yükseklik gibi değerlerin daha kolay incelenebildiği tespit edilmiştir.

Tarama açısının nokta bulutu üzerinde seyreltme etkisi olduğu görülmüştür. Tarama açısına göre kesilmeyen alana ait nokta verileri ile tarama açısına göre seyreltilen veriler arasında büyük farklar oluşmuştur. Dolayısıyla üst üste binen uçuş şeritlerinin nokta sayısına ve ağaç sayısına etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tarama açıları ile yapılan sınıflandırma sonuçlarında ve ağaç sayılarında büyük benzerlik olduğu görülmüştür. Tarama açısına göre 20, 40 ve 60 derecelik kesilen alanlardan, 60 derecelik tarama açısına göre kesilen nokta bulutu verisinin sadece 4. bloğundaki sınıflandırma değerleri ve ağaç sayıları farklı çıkmıştır. Nokta sayısı elenmeyen veri ile tarama açısına göre elenen veriler arasında ağaç tip sayılarının farklı olduğu gözlemlenmiştir.

Ağaçların yükseklik haritalarının çıkarılabildiği ve bu haritalardan ağaç yüksekliklerinin alan üzerinde yüzde olarak dağılımlarının yapılabildiği görülmüştür. Tarama açısına göre nokta sayısı elenmeyen verinin tarama açılarına göre nokta sayısı elenen verilere göre standart sapması daha küçük çıkmıştır.

Hava lidar ölçümleri ile elde edilen nokta bulutlarının sınıflandırılması ile olası doğal afet sonucu orman alanlarının tahribi izlenebilir ve kaybolan ağaç türlerinin yaklaşık sayısı belirlenebilir.

Lidar verileri ile birlikte yersel ölçümlerin ve diğer fotogrametrik verilerin de olduğu çalışmalarla daha fazla kıyaslama ve daha detaylı istatistiksel analizler yapılabilir. Örneğin, yüksek bindirmeli stereo fotoğraflardan elde edilen nokta bulutları ile karşılaştırılarak analizler yapılabilir.

Lidar verisinde, ortalama konum hatası x-y için 10 ila 12 cm, z için ise $\pm 5-10$ cm'dir. Dolayısı ile "Büyük Ölçekli Harita Üretim Yapım Yönetmeliği"ne göre konum ve yükseklik doğruluğu 1/1000 ölçeği için uygundur.

KAYNAKLAR

- [1] Çelik, H., Baş, N., ve Coşkun, G., (2014). “ Taşkın Modelleme ve Risk Analizinde LİDAR Verisiyle Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi”, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, (4):117-125.
- [2] Vosselman, G., ve Dijkman, S., (2001). “3D Building Model Reconstruction From Point Clouds and Ground Plans”, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, (34).
- [3] Miura, N., ve Jones, S., (2009). “Characterizing Forest Ecological Structure Using Pulse Types and Heights of Airborne Laser Scanning”, Remote Sensing of Environment, (114):1069-1076.
- [4] Liu, J., Shen, J., Zhao, R., ve Xu, S. (2011), “Extraction of individual tree crowns from airborne LİDAR data in human settlements”, Mathematical and Computer Modelling, (58): 524-535.
- [5] Polat, N., ve Uysal, M., (2014). “Hava Lidar Verilerinin Eğim Temelli Algoritma ile Filtreleme Performansının Araştırılması”, V. UZAL-CBS, 14-17 Ekim 2014 İstanbul.
- [6] Cheng, L., Tong, L., Wang, Y., ve Li, M., (2014). “Extraction of Urban Power Lines from Vehicle-Borne LİDAR Data”, Remote Sensing, (6):3302-3320.
- [7] İBB,(2007), Fotogrametrik Harita Üretiminde Digital Hava Resim Çekme Makinaları ve Lazer Tarama Yöntemlerinin Kullanım Olanakları.
- [8] Wagner, W., Hollaus, M., Briese, C. ve Ducic, V., (2008). “3D Vegetation Mapping Using Small-footprint Full-waveform Airborne Laser Scanners”, International Journal of Remote Sensing (29):1433–1452.
- [9] Ozdemir, İ., Donoghue, D., (2012). “Modelling Tree Size Diversity From Airborne Laser Scanning Using Canopy Height Models With Image Texture Measures”, Forest Ecology and Management (295):28-37.
- [10] Soycan, M., Tunalıođlu, N., Ocalan, T., Soycan, A., ve Gümüş, K., (2011). “Three Dimensional Modeling of a Forested Area Using an Airborne Light Detection and Ranging Method”, Arabian Journal for Science and Engineering 36 (4): 581-595.

- [11] Wehr A., Lohr, U., (1999). "Airborne Laser Scanning-an Introduction and Overview", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing (54):68–82.
- [12] USGS, Hava Lidar Sistemi, <http://soundwaves.usgs.gov/2007/09/meetings2.html>, 10/11/2015.
- [13] Wikipedia, Yersel Lidar Sistemi, <https://en.wikipedia.org/wiki/Lidar>, 10/11/15.
- [14] Riegl, Lazer Tarayıcı, Data Sheet LMS-Q680i, www.riegl.com, 01/11/15.
- [15] TerraSolid, Lidar, TerraSolid presentation, www.terrasolid.com, 05/02/15.
- [16] Riegl, Data Sheet Riprocess, <http://www.riegl.com/products/software-packages/riprocess/>, 01/11/15.
- [17] Riegl, Data Sheet Rianalyze, <http://www.riegl.com/products/software-packages/rianalyze/>, 01/11/15.
- [18] Habib, A.F., (2007). "Quality Assurance and Quality Control of Lidar Systems and Derived Data". Advanced LidarWorkshop, University of Northern Iowa.
- [19] Stoker, J., (2007). "Introduction to Lidar technology". New Jersey Lidar Remote SensingWorkshop, Rutgers University, New Brunswick.
- [20] Katzenbeisser, R., (2003) "Echo detection, Technica Note TopoSys". Toposys, www.toposys.com, 07.06.11.
- [21] TerraSolid, TerraScan User's Guide, <http://www.terrasolid.com>, 01/02/15.
- [22] Alexander, C., Tansey, K., Kaduk, J., Holland, D. ve Tate, N.J., (2010). "Backscatter Coefficient as an Attribute for the Classification of Full-waveform Airborne Laser Scanning Data in Urban Areas", ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. (65):423–432.
- [23] Mallet, C., Bretar, F., Roux, M., Soergel, U. ve Heipke, C., (2011). "Relevance Assessment of Full-waveform Lidar Data for Urban Area Classification", ISPRS J. Photogramm. Remote Sensing, (66):71–84.
- [24] Tseng, Y., Wang, C., Chu, H. ve Hung, Y., (2014). "Waveform-based Point Cloud Classification in Land-cover Identification", International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, (34):78-88.
- [25] Axelsson, P., 2000. "DEM generation from Laser Scanner Data Using Adaptive TIN Models", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, (33):110-117.
- [26] Axelsson, P., (1999). "Processing of laser scanner data—algorithms and applications", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, (54): 138–147.
- [27] Vosselman, G. (2000). "Slope Based Filtering of Laser Altimetry Data", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing and Spatial Information Sciences, (33):935-942.
- [28] Kraus, K., ve Pfeifer N., (1998). "Determination of Terrain Models in Wooded Areas with Airborne Laser Scanner Data", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, (53):193-203.

- [29] Kraus, K. ve Pfeifer N., (2001). "Advanced DTM generation from Lidar Data", International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, (34):23-30.
- [30] Demir, N., ve Acar, U., (2007). " Hava Lidar Verilerinin Sınıflandırılması ve Grid Biçimine Dönüştürülmesi", Tufuab 2007 4th Symposium of Turkish Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 5-7 Haziran 2007 İstanbul, Türkiye.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Bilge Civelekoğlu
Doğum Tarihi ve Yeri : 28/12/1987-Kastamonu
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : bilgecivelekoglu@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Harita Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	-
Lisans	Harita Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2012
Lise	Fen Bilimleri	Göl Anadolu Öğretmen Lisesi	2006

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2013-2015	BGS Bilgi Sistemleri	Harita Mühendisi