



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**Sayısal Arazi Modeli Üretiminde CSF ve ATIN
LiDAR Zemin Filtreleme Algoritmalarının
Karşılaştırılması Üzerine Bir Çalışma**

Sultan Hilal KELEŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Sultan Hilal KELEŞ tarafından hazırlanan “**Sayısal Arazi Modeli Üretiminde CSF ve ATIN LiDAR Zemin Filtreleme Algoritmalarının Karşılaştırılması Üzerine Bir Çalışma**” adlı tez çalışması 02/02/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Ferruh YILDIZ

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Lütfiye KARASAKA

Üye

Doç. Dr. Murat UYSAL

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

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.

Sultan Hilal KELEŞ

Tarih:02.02.2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

Sayısal Arazi Modeli Üretiminde CSF ve ATIN LiDAR Zemin Filtreleme Algoritmalarının Karşılaştırılması Üzerine Bir Çalışma

Sultan Hilal KELEŞ

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Lütfiye KARASAKA

2021, 61 Sayfa

Jüri
Dr. Öğr. Üyesi Lütfiye KARASAKA
Prof. Dr. Ferruh YILDIZ
Doç. Dr. Murat UYSAL

Üç boyutlu sayısal modeller yeryüzüne ait detayların belirlenmesinde birçok disiplin için önemli bilgi kaynağıdır. Geçmişten günümüze kadar bu modeller yersel ve fotogrametrik ölçümler gibi pek çok yöntemle üretilmektedir. Bu modellerin üretilmesine kullanılmaya başlanan yöntemlerden biri de Airborne LiDAR tarama sistemidir. Özellikle 20 yy. sonlarına doğru yaygınlaşan bu teknoloji, batı ülkelerinde birçok farklı faaliyette kullanılırken, ülkemizde henüz yaygın değildir. Yeryüzüne ait sayısal modellerin üretilmesinde LiDAR teknolojisi geleneksel yöntemler ile kıyaslandığında emek, zaman ve doğruluk açısından büyük avantajları ile ön plana çıkmaktadır. Düzensiz bir nokta bulutu topluluğundan oluşan LiDAR verilerini işlemek oluşturacağımız sayısal modeller için önemli bir süreçtir. Bu süreç içinde, ham LiDAR verilerinin filtrelenmesi önemli aşamalardandır. LiDAR verilerini filtreleyerek zemin noktalarını belirleyen birçok farklı filtreleme algoritmaları vardır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde her algoritmanın farklı arazi yüzeyleri için güçlü ve zayıf yönleri bulunmaktadır. Her algoritma içeriğinde farklı parametreleri barındırır. Bu çalışmada büyük çoğunluğunun sık ağaçlık alanlardan ve dik yamaçlardan oluşan zorlu bir arazi yüzeyi için CSF ile ATIN algoritmalarının Hava LiDAR nokta verisinden zemin noktalarını filtrelemedeki performansları test edilmiştir. Uygulama sürecinde her iki algoritma parametrelerinde farklı değerlerle filtreleme işlemi yapılarak zemin ve obje noktaları ayrılmıştır. Çalışma sonucunda her değer için filtrelenen zemin noktalarından Sayısal Arazi Modeli oluşturulmuştur. Üretilen arazi modellerinin doğrulukları referans olarak kullandığımız Sayısal Arazi Modeli ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak farklı filtreleme teknikleri ile işlem yapan algoritmaların zemin noktalarını filtrelemede ve Sayısal Arazi Modeli üretimindeki avantaj ve dezavantajları değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Filtreleme; Hava Lidarı; Sayısal Arazi Modeli; Sınıflandırma

ABSTRACT

MS THESIS

A Study on Comparison of CSF and ATIN LiDAR Ground Filtering Algorithms in Digital Terrain Model Production

Sultan Hilal KELEŞ

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

Advisor: Asst. Prof. Dr. Lütfiye KARASAKA

2021, 61 Pages

**Jury
Asst. Prof. Dr. Lütfiye KARASAKA
Prof. Dr. Ferruh YILDIZ
Assoc. Prof. Dr. Murat UYSAL**

Three-dimensional numerical models are important sources of information for many disciplines in determining the details of the earth. From the past to the present, these models are produced by many classical methods such as photogrammetry and geodetic measurement. One of the methods used to produce these models is the LiDAR scanning system. Especially in the 20th century this technology, which became widespread towards the end, was used in many different activities in western countries, but it is not yet widespread in our country. In the production of digital models belonging to the earth, LiDAR technology stands out with its great advantages in terms of labor, time and accuracy compared to traditional methods. Processing LiDAR data consisting of an irregular point cloud is an important process for the numerical models we will create. In this process, filtering of raw LiDAR data is an important step. There are many different filtering algorithms that determine ground points by filtering LiDAR data. When the studies are examined, the strengths and weaknesses of each algorithm are determined for different terrain surfaces. Each algorithm has different parameters in its content. In this study, the performance of CSF and ATIN algorithms in filtering the ground points from the Air LiDAR point data was tested for a difficult land surface consisting of dense woodland areas and steep slopes. In the application process, the ground and object points are separated by filtering with different values in both algorithm parameters. As a result of the study, a Digital Terrain Model was created from the ground points filtered for each value. The accuracy of the produced land models were compared with the Digital Terrain Model we use as a reference. As a result, the advantages and disadvantages of algorithms operating with different filtering techniques in filtering the ground points and in the production of Digital Terrain Model were evaluated.

Keywords: Airborne LiDAR; Classification; Digital Terrain Model; Filtering;

ÖNSÖZ

Bu çalışmada Hava LiDAR verileri ile Sayısal Arazi Modeli üretimi için kullanılan filtreleme algoritmalarının performansları test edilmiştir. Öncelikle çalışma sürecini birlikte yürüttüğümüz beni dinleyen, özgün fikirleri ile yönlendiren kıymetli Hocam Dr. Öğr. Üyesi Lütfiye KARASAKA'ya,

Çalıştığım kurum olan SEGAR HAVACILIK ailesine,

Her sorumu sabırla dinleyip çözümler sunan değerli çalışma arkadaşım Havacılık ve Uzay Mühendisi Suat Çiftçi'ye,

Fikirlerine ve estetik bakış açısına güvendiğim sevgili çalışma arkadaşım Şehir Plancısı ve GIS Uzmanı Hatice Tuğcu'ya,

Çalışma kapsamında kullandığımız LiDAR verisini temin etmemize destek veren EMI Grup Bilgi Teknolojileri A.Ş.'ye,

Bugünlere gelmemde büyük emekler veren ve hayatımın her alanında beni destekleyip yanımda olan sevgili ailem ve kardeşlerim Bekir Can ve İrem Keleş'e,

teşekkürlerimi sunarım.

Sultan Hilal KELEŞ
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
1 GİRİŞ	1
2 KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3 HAVA LiDAR SİSTEMİ	8
3.1 Hava LiDAR Sistemi Çalışma Prensipleri	8
3.2 Nokta Bulutunun Depolanmasında .LAS (Log ASCII Standart) Formatı 11	
4 LiDAR SİSTEMİNDE YANSIMA BİLGİSİ	15
4.1 Çoklu Yansımaya (Discrete Return).....	15
4.2 Tam Dalga Formu (Full Waveform).....	16
5 HAVA LiDAR VERİLERİNDE FİLTRELEME BİLGİSİ	18
5.1 Hava LiDAR Verilerinde Zemin Noktaları Özellikleri.....	18
6 MATERYAL VE YÖNTEM	20
6.1 Materyal	20
6.1.1 Çalışma alanı	20
6.1.2 Kullanılan veriler	22
6.2 Yöntem.....	25
6.2.1 ATIN filtreleme algoritması.....	26
6.2.2 CSF (Cloth Simulation Filtering) filtreleme algoritması	28
6.2.3 SAM'ın doğruluk analizi.....	32

7	ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	33
7.1	CSF Algoritması ile Filtreleme	33
7.1.1	CSF algoritması ile filtreleme sonuçları	33
7.1.2	CSF algoritması filtreleme sonuçları ile referans modelin karşılaştırılması 36	
7.2	ATIN Algoritması ile Filtreleme.....	42
7.2.1	Filtreleme öncesi sınıfların belirlenmesi.....	43
7.2.2	ATIN algoritması ile filtreleme sonuçları.....	45
7.2.3	ATIN algoritması filtreleme sonuçları ile referans modelin karşılaştırılması	47
7.3	CSF ve ATIN Algoritmalarının Filtreleme Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	52
8	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	55
	KAYNAKLAR	59

KISALTMALAR

ASCII	: American Standard Code for Information Interchange
ATIN	: Adaptive Triangulated Irregular Network
CSF	: Cloth Simulation Filtering
GNSS	: Global Navigation Satellite System
GPS	: Global Positioning System
IMU	: Inertial Measurement Unit
KYM	: Kanopi Yükseklik Modeli
LAS	: Log ASCII Standart
LiDAR	: Light Detection and Ranging
SAM	: Sayısal Arazi Modeli
SYM	: Sayısal Yüzey Modeli
TIN	: Triangulated Irregular Network



2 GİRİŞ

Günümüzde gelişen ve yeryüzüne ait üç boyutlu sayısal modellerin üretilmesinde kullanılmaya başlanan yöntemlerden biri LiDAR (Light Detection and Ranging) tarama sistemidir. 20. yy. ın sonlarına doğru gelişen bu teknoloji ABD, Kanada ve İngiltere gibi ülkeler başta olmak üzere çeşitli faaliyetlerde yaygın olarak kullanılmakta ve yeryüzüne ait analizler başarıyla gerçekleştirilmektedir. Ülkemizde ise bu teknoloji henüz çok yaygın kullanılmamaktadır.

Mobil, yersel ve hava LiDAR sistemleri olarak üç gruba ayrılan bu sistemlerden Hava platformlu LiDAR teknolojisi 1960'lı yıllarda uçaklardan denizaltı tespitleri için tasarlanmıştır (lidar-uk, 2020).Daha sonraki yıllarda ise çevreye yönelik uygulamalarda arazi haritalarının üretilmesinde hızlı, ekonomik ve yüksek doğruluklu sonuçlar üretmesi ile tercih edilmiştir.

LiDAR teknolojisi geleneksel yöntemler ile kıyaslandığında büyük avantajlarıyla ön plana çıkmaktadır. Bir LiDAR sistemi saniyede binlerce lazer sinyali kullanır ve bu yönüyle çeşitli modeller, analizler ve sınıflandırmalar için önemli olan nokta sıklığını sağlamaktadır.

LiDAR teknolojisi, yoğun nokta verisi sayesinde objeler üzerindeki hassas değişimleri de belirleyebilmektedir. Bu özelliği ile enerji nakil hatları, binalar, bitki örtüsü vb. bölgeler haritalanabilmektedir (Varlık ve Uray, 2017).

Özellikle ormanların yapısal özelliklerinin belirlenmesi ve bitki örtüsü analizi ormancılık sektörü için önemli olan uygulamalardan biridir. Geleneksel yöntemlerle geniş ve sık ormanlık alanlarda bireysel ağaç sayısı ve ağaç karakterlerini belirlemek zaman alıcıdır. LiDAR nokta bulutunda, zeminden yansıyan noktalardan SAM (Sayısal Arazi Modeli), en üst noktalardan ise SYM (Sayısal Yüzey Modeli) oluşturulmaktadır. Bu iki yüzey arasındaki fark alınarak bölgedeki ağaç yüksekliklerinin dağılımını görselleştiren ağaç yükseklik modeli oluşturulur. Çok geniş ve çeşitli türde bitki örtüsü içeren ormanlık alanlardaki bu analizlerin yersel tekniklerle yapılması oldukça zordur.

Üzerinde yaşadığımız yeryüzü dinamik bir yapıdadır ve hareketlilik gösterir.Bu hareketliliğe sebep olan iç ve dış kuvvetlerin etkisiyle oluşan deprem, erozyon, taşkın vb. doğa olayları sonucu oluşan değişimlerin izlenilmesi ve sonucunun hassas bir şekilde haritalanması lazer sinyallerini aktif olarak kullanan LiDAR teknolojisi ile gerçekleştirilmektedir.Aynı zamanda orman yangınlarını önleme adına yangınların

davranışlarını belirleme ve inceleme konusunda yine bu sistemlerden üretilen modellerden yararlanılabilir (Duran ve Üstündağ, 2008).Orman yangınları toprak, örtü, tepe ve gövde olmak üzere dört gruba ayrılır (Atay, 1986). Yayılmaları ise birbirleri ile bağlantılıdır. Tepe yangınlarının oluşmasına genellikle örtü yangınları sebep olur (Küçük ve ark., 2009). Dolayısıyla yangın türlerindeki geçişler bitki örtüsü ile bağlantılı ilerlemektedir. Bu nedenle orman yangınlarının yayılımını gözetebilmede bitki örtüsü türlerinin ve özneliklerinin doğru bir şekilde belirlenmesi ve risk haritalarının oluşturulması LiDAR sistemleri mümkün olabilmektedir.

Yukarıda bahsedildiği gibi Hava LiDAR verileri ile yeryüzüne ait birçok uygulamada; çevre yönetimi, afet risk analizleri, ormancılık uygulamaları, üç boyutlu arazi modellerinin oluşturulmasında kolaylıklar sağlanılmaktadır. Bu çalışmaların yapılması sürecinde Hava LiDAR verilerinin doğru analizi ve sınıflandırılması da önemli bir süreçtir.

LiDAR verilerinde toplanan veriler yeryüzüne ait yapay ve doğal tüm nesnelere içermektedir (Doğruluk ve ark., 2018). Tüm nesnelere düzensiz olarak dağılan nokta bulutunda sınıflandırma işlemi, noktanın ait olduğu obje grubuna atanmasıdır. Filtreleme işlemi ise zemine ait noktalardan diğer noktaların ayrılması şeklinde bir sınıflandırma yapar (Soycan ve ark., 2011; Süleymanoğlu 2016; Karasaka ve Keleş, 2020).

Yeryüzüne ait SAM, SYM ve KYM (Kanopi Yükseklik Modeli) modellerinin oluşturulmasında ham LiDAR verisinde yeryüzüne ait olan zemin noktalarının belirlemesi, filtrelenmesi ilk ve önemli bir aşamadır. Birçok çalışmada yeryüzüne ait noktaların belirlenmesinde farklı filtreleme algoritmaları vardır. Bu algoritmaların arazi yüzeyinin yapısına bağlı olarak güçlü ve zayıf yönleri tespit edilmiştir.

LiDAR nokta verilerinin filtrelenmesi için açık kaynak kodlu ve ticari yazılımlarda birçok algoritma geliştirilmiştir. Ancak filtreleme sürecinde iyi bir verim alabilmek adına milyonlarca noktayı içeren nokta bulutu verisini işleyecek güçlü bir yazılıma ihtiyaç vardır. Dolayısıyla otomatik ve hızlı filtreleme algoritmalarının geliştirilmesi önemli bir konudur (Sulaiman ve ark., 2010).

LiDAR yeryüzüne yönelik uygulamalarda kullanımda kısmen yeni bir teknolojidir. Elde edilen ham verinin birçok algoritma arasından arazi türüne yönelik en doğru algoritma ile filtrelenmesi konusunda kullanıcılar karar vermekte zorlanabilirler. Genel olarak zemin filtreleme algoritmaları zemin tipi için en doğru değerler

belirlendiğinde iyi performans gösterirler. Bu nedenle algoritmaların parametre değerlerinin gereklerini bilmeden filtreleme yapmak hatalı sonuçlara neden olur (Meng ve ark., 2010).

Bu çalışmada dik yamaçlardan ve yoğun bitki örtüsünden oluşan zorlu bir arazi yüzeyi için işlenmemiş Hava LiDAR verilerinden, farklı tekniklerle çalışan CSF ve ATIN algoritmalarının zemin noktalarını filtrelemedeki performansları değerlendirilmiştir. Öncelikle filtrelemede farklı parametreleri kullanan her iki algoritmanın teknik özellikleri açıklanmıştır. Daha sonra her iki algoritma için çalışma alanının özellikleri doğrultusunda en uygun parametreleri belirlemek adına farklı değerler kullanarak filtreleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Filtreleme parametreleri bölgesinin karakteristik özelliklerine (zemin yapısı, bitki örtüsü, yükseklik değerleri, eğimi vb.) göre belirlenmiştir. Aynı zamanda uçuş sırasında eş zamanlı olarak alınan sayısal hava fotoğraflarından elde edilen ortofotolar bu parametrelerin belirlenmesinde yardımcı kaynak olarak kullanılmıştır. Filtreleme işlemi sonrasında diğer noktalardan ayrılan zemin noktalarından Sayısal Arazi Modeli üretilmiştir. Elde edilen arazi modellerinin doğrulukları referans olarak kullandığımız arazi modeli ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak farklı tekniklere dayanan iki algoritmanın zemin noktalarını filtrelemede veri işleme süreçleri, avantajları ve dezavantajları ele alınmıştır.

3 KAYNAK ARAŞTIRMASI

LiDAR sistemlerinden elde edilen nokta bulutu yeryüzüne ait yoğun miktarda veri içermektedir. Bu veri setinden birçok amaca hizmet eden sonuçlar üretmek, zemin noktalarının obje noktalarından ayrılmasını gerektirir. (Sánchez ve ark., 2019). Binlerce veya milyonlarca veri bulunduran nokta bulutu dosyalarından zemin noktalarını elle ayırmak oldukça karmaşık ve zaman alıcı bir süreçtir. Aynı zamanda içinde birçok bilginin bulunduğu büyük boyuttaki noktaları işlemek için güçlü bir yazılım da gerekmektedir (Sulaiman ve ark., 2010). Zemin ve obje noktaları ayrımını otomatik yapabilmek adına birçok filtreleme algoritması ya da yöntem bulunmakta ve geliştirilmektedir. Her algoritma ise içeriğinde farklı özellikte parametreler bulundurur. Birden fazla filtreleme algoritmasını test eden Doğruluk ve ark. (2018) kırsal olarak tanımladıkları içinde ağaçların, binaların ve enerji nakil hatları gibi zemin dışı objelerin bulunduğu bir çalışma alanında dört farklı filtreleme algoritmasının SYM üretiminde başarısını test etmişlerdir. Çalışmalarında filtreleme işlemini gerçekleştirmek için ALDPAT yazılımını kullanmışlardır. Bu algoritmalar; Maksimum Yerel Eğim (MLS) yöntemi, komşu noktalar arasındaki eğim değerini, Genişleyen Pencere İle Yükseklik Eşiği (ETEW) yöntemi noktalar arasındaki yükseklik farkını, Uyarlanabilen Üçgenler Ağı (ATIN) yöntemi noktalar arasında açı ve mesafeyi, Kademeli Morfolojik (PM) Filtreleme yöntemi ise kademeli olarak artan pencere boyutu ile yükseklik eşik değerini temel alarak filtreleme yapan algoritmalar. Çalışmalarında dört farklı filtreleme algoritması ile dört farklı SYM üretmişlerdir. Ürettikleri SYM'lerin doğruluklarını referans verilerden ürettikleri SYM ile karşılaştırarak KOH (Karesel Ortalama Hata) değerlerini analiz etmişlerdir. Çalışma sonucunda filtreleme algoritmaları sırasıyla, MLS ile ± 0.205 m, ETEW ile ± 0.159 m, ATIN ile ± 0.139 m. ve PM2D ile ± 0.215 m. KOH değerlerine ulaşmışlardır. Bu sonuçlara göre en düşük KOH değerini ATIN algoritması vermiştir. Oluşturdukları fark haritalarını incelediklerinde tüm algoritmalar için yüksekliklerin aniden değiştiği bölgelerde hataların arttırdığını gözlemlemişlerdir.

Birçok filtreleme algoritması içinden zemin yüzeyi için en doğru algoritmayı bulmak zordur. Çünkü her algoritma farklı yöntemi içermekte ve kullanıcıların parametre koşullarını anlamaları gerekmektedir. Ayrıca algoritmalar farklı zemin yüzeylerinde farklı sonuçlar gösterebilmektedir. Özellikle yükseklik farkının fazla

olduğu bölgelerde zemin noktalarını obje noktalarından ayırmakta zorluklarla karşılaşılabilir (Meng ve ark., 2010). Yükseklik farklarının değişken ve fazla olduğu beş farklı arazi tipinde Varlık ve Uray (2017) “Üçgenleme ve Enterpolasyon Temelli LiDAR Filtreleme Algoritmalarının Performans Analizi” adlı çalışmalarında, hava LiDAR verisinden arazi yüzeyini temsil eden SAM üretilmesi için filtreleme algoritmalarını incelemişlerdir. Arazi türlerini farklı olarak seçmelerinin nedeni ise algoritmaların performansını test etmektir. Çalışma kapsamında geliştirdikleri Kriging enterpolasyon temelli filtre (KRIGF) tekniği ile üçgenleme temelli ATIN algoritmasının performansları karşılaştırılmıştır. Farklı tipte arazi özelliklerine sahip 5 bölge için LiDAR verisini işleyerek bu bölgelere ait SAM üretmişlerdir. Çalışmalarında Kriging enterpolasyon temeline dayanan bir filtreleme algoritması geliştirmişlerdir. Bu teknik ile nokta bulutunu gridlere bölünmüş ve en düşük kota sahip noktalardan Kriging enterpolasyon yöntemi ile yüzey oluşturmuşlardır. Çalışma alanındaki noktalar bu yüzeye olan yükseklik farklarına göre filtrelenmiştir. Kriging enterpolasyon temelli filtreleme algoritmasını Matlab programlama dilinde yazmışlar ve ham nokta bulutu verisi ".txt" formatında programa girmişlerdir. Filtreleme sonuçlarını referans arazi modeli ile karşılaştırdıklarında, ATIN algoritmasının yükseklik farklarının olduğu (tepelik, kısmen yamaç) arazi tipinde daha başarılı sonuçlar çıkardığını analiz etmişlerdir. KRIGF algoritması ise yamaçlardaki yapıları kaldırmada başarılı olmuş ancak ani yükseklik değişiminin olduğu bölgelerde arazi yüzeyini yumuşatmıştır.

Hava LiDAR verileri bir çalışma bölgesinde her türlü objeye ait nokta içerdiğinden farklı disiplinlerin (jeoloji, tarım, ormancılık, arkeoloji vb.) amacına hizmet eden çalışmalarda mevcuttur. Ağca ve Popescu (2012) çalışmalarında hava LiDAR verileri ile Texas eyaletinde bulunan Huntsville şehrinde mevcut bitki örtüsünün yapısal özelliklerini incelemişlerdir. Yoğun bitki örtüsü içeren çalışma bölgeleri için tüm yansımaları içeren bir nokta verisi ile çalışmışlardır. Çalışmalarında hava LiDAR verilerinin yanında karşılaştırma yapmak için yersel ölçümler ve bitki örtüsü analizi için uydu görüntülerini kullanmışlardır. Yersel ölçümler ile çalışma bölgelerinde bulunan bitki örtüsü detaylı olarak incelenmiş ve ağaç yükseklikleri, her bir ağacın gövde çapı, taç yüksekliği vb. ölçümler yapılmıştır. Analizde yersel ölçümler ile hava LiDAR verileri karşılaştırılmıştır. LiDAR verileri ile analizlerini Quick Terrain Modeler (QTM) yazılımı ile gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında LiDAR nokta bulutunun analizi için geliştirilen ‘Height Bins Yöntemi’ (Popescu ve Zhao, 2008)

kullanılmıştır. 'Height Bins Yöntemi' ile nokta bulutundan çok bantlı veriler elde edilmektedir. Bu yöntem ile tüm nokta bulutundan farklı yüksekliklere ait 11 tane görüntü verisi oluşturmuşlardır. İstatistiksel bir analiz yapabilmek için oluşturulan görüntüler üzerinden bağımsız değişkenler elde edilmiştir. Daha sonra üretilen bağımsız değişkenler ile doğrusal ve çoklu değişken regresyon analizleri ile bitki örtüsüne (ağaç yüksekliği, ağaç gövde çapı, ağaç taç yoğunluğu vb.) yönelik en iyi modeller seçilmiştir. Çalışma sonucunda yersel ölçümler ile elde ettikleri veriler ile hava LiDAR verileri ile regresyon analizi sonucunda elde ettikleri verilerden oluşturdukları haritaları karşılaştırmışlardır. Hava LiDAR verileri ile daha doğru sonuçlar elde etmişler ve orman yanıcı madde yükünü gösteren haritalar oluşturmuşlardır. Çalışma sonucunda elde ettikleri haritalar yangın simülasyonlarında model olarak alınmış ve yangın risk analizlerinde kullanılmıştır. Aynı zamanda Hava LiDAR verileri ile elde ettikleri haritalardan FARSITE programında girdi olarak kullanmış ve tepe yangını simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Birçok modelleme, simülasyon ve doğru tahmin için veri kullanmada hava LiDAR verilerinin doğruluğunu vurgulamışlardır.

Yine geliştirilen algoritmalarla nokta bulutundan otomatik olarak ağaçların tespiti son zamanlarda yaygın olan çalışmalarındandır. Bu alana yönelik bir uygulama olarak, Büşra ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada LiDAR nokta bulutundan otomatik olarak ağaçların tespit edilmesi ile ilgili sistemler geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri sistemler dört ana bileşenden oluşmakta ve nokta bulutuna dair birçok işlem yapmaktadır. Sistemlerinde, nokta verilerine dair öznelik bilgilerini oluşturma, hatalı noktaları ayıklama, zemin ve zemin dışı noktaları filtreleme, ve ağaçların konumlarını otomatik olarak tespit edilmesi gibi işlevler bulunmaktadır. Sistemlerini geliştirmek ve sonuç ürünleri elde edebilmek için bir dizi algoritma kullanmışlardır. Çalışmalarında SAM ve SYM üretmek için Kademeli Morfolojik Filtreleme (Progressive Morphological Filtering) yöntemini kullanmışlardır. Filtreledikleri yer üstü noktalarından ağaçları otomatik tespiti için K-Means kümeleme algoritmasını tercih etmişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde çalışma alanında %75 oranında başarı ile ağaçların otomatik olarak tespit edildiği görülmüştür. K-Means kümeleme algoritması ile yaptıkları ağaç tespitinde, yoğun ağaçların olduğu kısımlarda daha fazla ağaç tespit edildiği ve hatalı sonuçların çıktığını gözlemlemişlerdir. K-Means kümeleme algoritmasındaki hatalı ağaç tespitinin nedeni olarak algoritmanın kümeleme işlemini tarama yönünde gerçekleştirmesinden kaynaklı olacağı sonucuna varmışlardır.

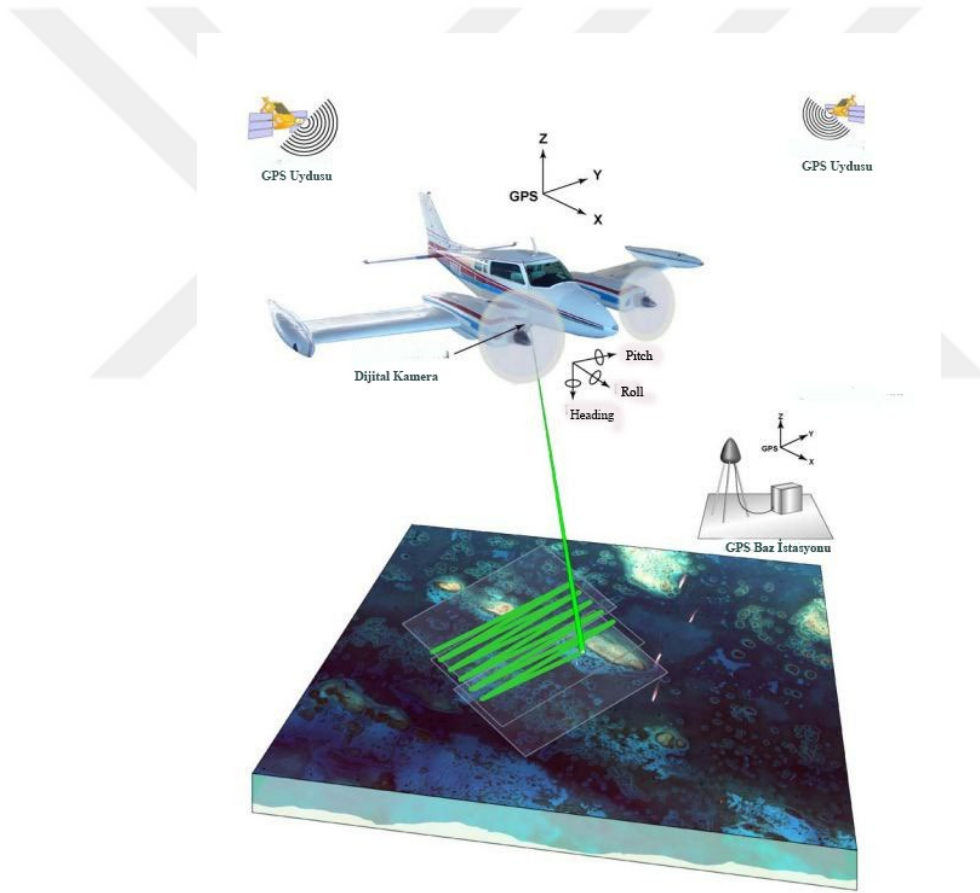
Son yapılan çalışmaları incelediğimizde bazı filtreleme algoritmalarının farklı yöntemlerin kombinasyonu ile geliştirildiği de görülmektedir. Bununla ilgili Meng ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada iki farklı çalışma bölgesinde MAF (Multilevel Adaptive Filter) filtreleme algoritmasını test etmişlerdir. Çalışmalarında kullandıkları veriler, Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Derneği (ISPRS) tarafından sağlanan Stuttgart şehrinde Vaihingen / Enz bölgesi ile Kuzeybatı Çin'de Heihe Nehri havzasında bulunan yoğun ormanları içeren bir alana aittir. Farklı tipteki arazileri seçen araştırmacılar, filtreleme parametrelerinde genel olarak bulunan sabit eşik değerinin arazi yüzeyinde dalgalanmaların olduğu yerlerde filtreleme sonucuna olumsuz etki edebileceğinin önemini vurgulamaktadırlar. Bu nedenle tek bir algoritmadaki sınırlandırmaların üstesinden gelmek, filtrelemedeki doğruluğu artırmak için morfolojik yeniden yapılandırma (Morphological Reconstruction) ve çok katmanlı TPS (Thin Plate Spline) enterpolasyonunun kombinasyonu olan çok düzeyli uyarlanabilir filtre (MAF) geliştirmişlerdir. Genel bir ifade ile TPS enterpolasyonu, tüm kontrol noktalarını içeren sürekliliği olan bir yüzey oluşturma eğilimindeyken, morfolojik yeniden yapılandırma ile her yinelemede DEM üretilerek zemin pikselleri çıkartılır ve eşik değer arazi eğimi ile güncellenmektedir. Çalışma sonucunda MAF algoritması her iki bölge için başarılı sonuçlar vermiştir. Çalışma bölgeleri kıyaslandığında Kuzeybatı Çin'de Heihe Nehri havzasında bulunan yoğun ormanları içeren alanda daha başarılı sonuçlar görülmüştür.

Son zamanlarda farklı çalışmaların arka planında adını sıklıkla duyduğumuz biyolojik sinir ağlarından esinlenilerek geliştirilen yapay zeka ile LiDAR noktalarına yönelik çalışmalar geliştirilmektedir. Şen ve Bayaslı (2020) yapay sinir ağı yöntemi olan Kendini Düzenleyen Haritalar (KDH) yöntemi ile LiDAR nokta bulutunu kümelere ayırmışlardır. KDH ağının parametreleri ise noktalara ait x,y,z ve yoğunluk bilgileridir. KDH yöntemi ile bu değişkenlere göre kümeleme işlemi, nöron sayısı ve hata hesabıyla birlikte Matlab programında bir kod yazılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda hava LiDAR verileri ile zemin noktalarının filtrelenmesinde KDH yönteminin belirlenen nöron sayısı ile etkin olarak kullanılabildiği görülmüştür.

4 HAVA LiDAR SİSTEMİ

4.1 Hava LiDAR Sistemi Çalışma Prensibi

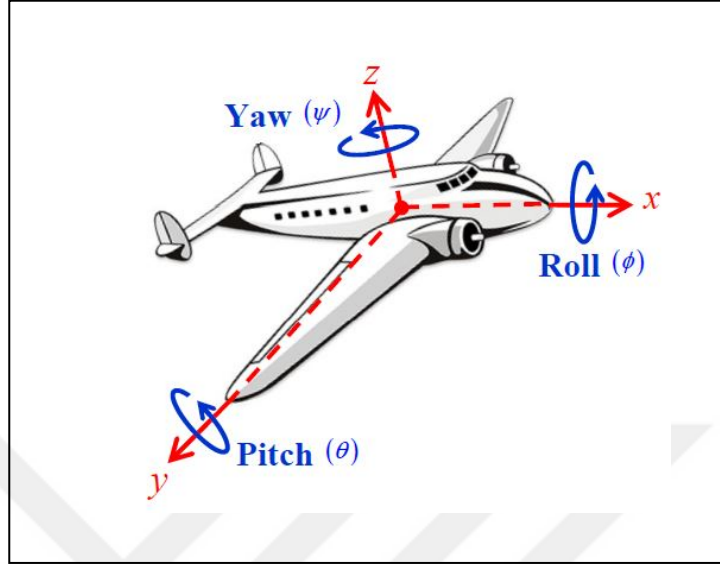
Bir Hava LiDAR sistemi lazer tarayıcı, GPS (Global Positioning System), IMU (Inertial Measurement Unit) ve genel olarak tercih edilen dijital kameradan oluşmaktadır (Şekil 3.1). Hava aracına (uçak, İHA, helikopter vb.) monte edilen lazer tarayıcı yüksek enerjili kızılötesi sinyaller üretir ve yeryüzündeki yapay veya doğal tüm objelere yollar, objelerden yansıyan sinyalin gidişi ve dönüşü arasında geçen süreden lazer tarayıcı ile obje arasındaki uzaklık kaydedilir (Yıldırım ve Şeker, 2006).



Şekil 3.1. Hava LiDAR sistemi (Crane ve ark., 2002)

Lazer tarayıcı sinyal göndererek mesafeyi ölçerken, GPS sistemi uydular ile etkileşim halinde olup hava aracının konumunu, IMU sistemi ise hava aracının hızını ve doğrusal olmayan hareketinden kaynaklanan farklı yönlerdeki açısal hareketlerini kayıt

eder (Şekil 3.2). IMU bileşeninin kaydettiği açısal değerler “Yaw, Pitch , Roll” olarak ifade edilmektedir (Şimşek, 2020).



Şekil 3.2. IMU sistemi ve açısal hareketleri (Hashim, 2019)

Şekil 3.2 'de hava aracı gövdesinin üç eksene ilişkin dönme hareketi Euler açıları ile ifade edilmiştir. Yaw (Ψ) açısı z ekseni, Pitch (θ) açısı y ekseni ve Roll (ϕ) açısı ise x ekseni etrafındaki hareketi ifade etmektedir (Hashim, 2019).

Hava aracının hareketli olmasından dolayı GPS alıcısının kaydettiği konum değerlerinin doğrulukları düşüktür. Bu nedenle çalışma bölgesinde 30 km'lik bir çap dahilinde statik GNSS alıcıları konumlandırılır. Bu alıcılar hava aracındaki GNSS alıcılarının kaydettiği konum değerlerini doğrulamak için belirli aralıklarda kayıtlar yapmaktadır. Tüm sistemlerden alınan veriler işlenerek LiDAR nokta bulutu üretilmektedir (Şimşek, 2020).

LiDAR noktalarının koordinatları yukarıda bahsettiğimiz sistemlerin ürettiği parametre değerleri ile elde edilmektedir. Bu değerlere ilişkin matematik model eşitlik 3.1'de gösterilmektedir.

$$\vec{X}_G = \vec{X}_O + R_{yaw,pitch,roll} \vec{P}_G + R_{yaw,pitch,roll} R_{\Delta\omega,\Delta\theta,\Delta\kappa} R_{\alpha,\beta} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\rho \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Şekil 3.3 ile görsel olarak ifade edilen denklemde;

\vec{X}_G : LiDAR noktasının konumunu ifade etmektedir.

\vec{X}_O : IMU koordinat sistemi ile Yer koordinat sistemi arasındaki vektördür.

\vec{P}_G : IMU koordinat sistemi ile lazer ünitesi arasında dengeleyici vektördür.

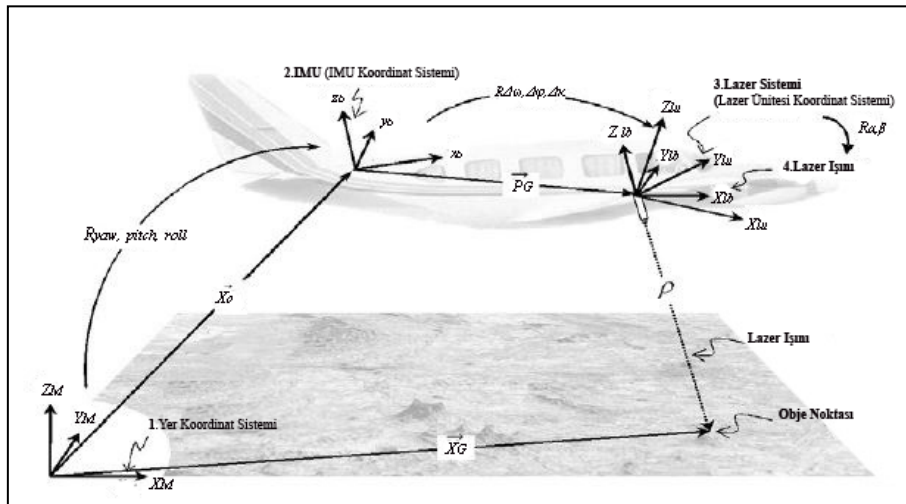
$\vec{\rho}$: Lazer ünitesinden gönderilen sinyalin obje noktasına ulaştığı mesafeye eşit olan vektördür.

$R_{yaw, pitch, roll}$: Yer koordinat sistemi ile ve IMU koordinat sistemi arasındaki dönüşüm matrisini (rotation matrix) belirtmektedir.

$R_{\Delta\omega, \Delta\phi, \Delta\kappa}$: IMU koordinat sistemi ile lazer ünitesi koordinat sistemi arasındaki dönüşüm matrisini (rotation matrix) belirtmektedir.

$R_{\alpha, \beta}$: "α" ve "β" ayna tarama açılarıdır. İfade ayna tarama açıları ile birlikte, lazer ışını koordinat sistemi ve lazer ünitesi ile ilişkili dönüşüm matrisini (rotation matrix) belirtmektedir.

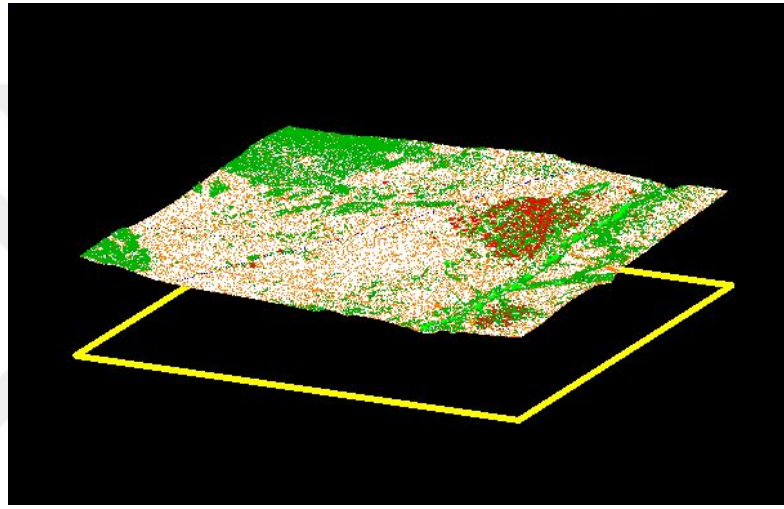
Yukarıda belirtildiği gibi LiDAR noktasının konumu olan X_G , $R_{yaw, pitch, roll}$, $R_{\Delta\omega, \Delta\phi, \Delta\kappa}$ ve $R_{\alpha, \beta}$ uygun rotasyonları elde edildikten sonra üç vektörün \vec{X}_O , \vec{P}_G ve $\vec{\rho}$ toplamı ile elde edilmektedir (Habib ve Rens, 2007).



Şekil 3.3. LiDAR denkleminde yer alan parametre değerleri ve koordinat sistemleri (Habib ve Rens, 2007).

4.2 Nokta Bulutunun Depolanmasında .LAS (Log ASCII Standart) Formatı

LiDAR nokta bulutu, tarandıkları yeryüzünün canlı (insan, kuş vb.) veya cansız (elektrik direği, araba, bina vb.) özelliklerini temsil eden üç boyutlu nokta verileridir (Şekil 3.4). Kayıt edilen her nokta için X,Y ve Z koordinatları, yoğunluk, uçuş açısı vb. özel bilgiler bulunmaktadır. Nokta bulutunda kaydedilen bilgiler en çok LAS veya ASCII (.xyz) formatında saklanmaktadır. LAS, LiDAR verilerinin değişimi için açık / yayımlanmış standart ve ikili bir dosya formatıdır (ArcMAP, 2019).



Şekil 3.4. Lazer tarayıcı ile elde edilen nokta bulutu verisi

LAS, Mart 2003 yılında Amerikan Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Derneği ASPRS tarafından geliştirilmiş ve yayınlanmış bir formattır. Günümüzde tüm hava lazer sistemleri ve bunlarla çalışan yazılımlarla yaygın olarak kullanılmaktadır. İkili dosya formatında olup, büyük boyutlu dosyalar için idealdir. ASCII dosya formatı, LAS formatı ile kıyaslandığında bazı dezavantajları ortaya çıkmaktadır. ASCII dosya formatında yükseklik verilerinin okunması ve yorumlanması çok daha yavaştır. Diğer bir problem ise LiDAR verilerine ait bilgilerin kaybolabilmesidir. LAS dosya formatı LiDAR verilerinin saklanması için daha başarılıdır (ASPRS, 2019).

Bu bağlamda LiDAR verilerinin saklanması, düzenlenmesinde ve yayınlanmasında yaygın olarak kullanılan format LAS formatıdır. LAS dosyasında hava LiDAR noktalarına ait birçok öznelik saklanır (Tablo 3.1).

Tablo 3.1. Nokta verilerinin saklanmasında LAS (1.4) formatı öznitelikleri (veri kayıt formatı 10)

Item	Format	Size	Required
X	long	4 bytes	*
Y	long	4 bytes	*
Z	long	4 bytes	*
Intensity	unsigned short	2 bytes	
Return Number	4 bits (bits 0- 3)	4 bits	*
Number of Returns (given pulse)	4 bits (bits 4- 7)	4 bits	*
Classification Flags	4 bits (bits 0-3)	4 bits	
Scanner Channel	2 bits (bits 4-5)	2 bits	*
Scan Direction Flag	1 bit (bit 6)	1 bit	*
Edge of Flight Line	1 bit (bit 7)	1 bit	*
Classification	unsigned char	1 byte	*
User Data	unsigned char	1 byte	
Scan Angle	short	2 bytes	*
Point Source ID	unsigned short	2 bytes	*
GPS Time	double	8 bytes	*
Red	unsigned short	2 bytes	*
Green	unsigned short	2 bytes	*
Blue	unsigned short	2 bytes	*
NIR	unsigned short	2 bytes	*
Wave Packet Descriptor Index	unsigned char	1 byte	*
Byte Offset to Waveform Data	unsigned long long	8 bytes	*
Waveform Packet Size in Bytes	unsigned long	4 bytes	*
Return Point Waveform Location	float	4 bytes	*
Parametric dx	float	4 bytes	*
Parametric dy	float	4 bytes	*
Parametric dz	float	4 bytes	*
Minimum PDRF Size	67 bytes		

LAS dosyasında tutulan LiDAR verisine ait özniteliklerden;

- X,Y,Z konum bilgileri uzun tam sayı değeri olarak saklanır.
- Yoğunluk (Intensity): Geri dönen sinyalin büyüklüğünün tamsayı olarak karşılığıdır.
- Dönüş Numarası (Return Number): Lazer çıkış sinyallerinin geri dönüş sayısıdır. Lazer sinyallerinin birçok geri dönüşü olabilir. Bu nedenle dönüş sırasına göre işaretlenmelidir. İlk dönüşün dönüş sayısı bir, vb.(beşinci dönüşe kadar).
- Dönüş Sayısı (Number of Returns): Dönüş sayısı, gönderilen lazer sinyalinin toplam geri dönüş sayısıdır. Yani bir lazer sinyali toplam beş dönüşten iki geri dönüş kaydetmiş olabilir.
- Sınıflandırma Etiketleri (Classification Flags):Nokta ile ilişkili özel nitelikleri bulundurur.
- Tarayıcı Kanalı (Scanner Channel): Çok kanallı sistemlerin kanalını belirtir.Tek tarayıcı sistemler için bu değer 0'dır.Dört kanala kadar desteklenir (0-3).
- Tarama Yönü İşareti (Scan Direction Flag):Sinyalin gönderildiği anda tarayıcı aynasının yönünü gösterir. Bir bit değeri, pozitif tarama yönünde 1'dir, negatif tarama yönünde ise değeri 0'dır.
- Uçuş Hattı Kenarı (Edge of Flight Line) : Biten bir tarama hattında yön değiştirmeden önceki son noktasını belirtir. Nokta taramanın sonunda olduğunda 1 değerini verir.
- Sınıflandırma (Classification): Sınıflandırma alanı, belirli bir sınıflandırma kümesi ile tanımlanır. Sınıflandırılmamış bir nokta sıfır değerini alır.
- Kullanıcıya Ait Veriler (User Data): Kullanıcının takdirine bağlı olarak kullanılabilen alandır.
- Tarama Açısı (Scan Angle):Lazer sinyalinin tarayıcıdan çıktığı açıdır.
- Nokta Kimliği (Point Source ID):Noktanın kaynak dosyasını belirtir. Sayısal değerlerle noktanın kaynağı olan dosya kimliğine karşılık gelir.
- GPS Zamanı (GPS Time): Lazer sinyalinin, uçaktan yayıldığı andaki noktaya ait olan GPS zamanı bilgisidir.

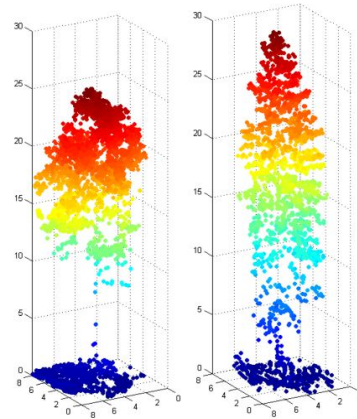
- Kırmızı, Yeşil, Mavi (RGB): LiDAR noktalarını renklendiren kırmızı, yeşil ve mavi (RGB) görüntü değerleridir.
- Yakın Kızılötesi Verileri (NIR): Noktaların, LiDAR sensörleri aynı anda toplanan yakın kızılötesi değeridir.
- Dalga Boyuna Ait Veriler (Wave Packet Descriptor Index): Buradaki kayıtlar dalga boyuna ait bilgileri içerir.
- Dalga biçimdeki verilere Bayt Uzaklığı (Byte Offset to Waveform Data): Lazer sinyali çıkışındaki başlangıç dalga formunun boyutunu ifade eder.
- Bayt Cinsinden Dalga Boyu Formu Boyutu (Waveform Packet Size in Bytes): Yansıyan sinyalin dalga boyunun bayt cinsinden değeridir.
- Yansıyan Sinyalin Dalga Formunun Konumu (Return Point Waveform Location): Dijital olarak kaydedilen ilk yansıyan sinyalden pikosaniye cinsinden uzaklığıdır.
- Parametreler (dx,dy,dz): X,Y,Z nokta koordinatlarının hesaplanmasında denklem ile ilişkili parametre değerlerini belirtir (LAS Specification 1.4 - R14, 2019).

5 LİDAR SİSTEMİNDE YANSIMA BİLGİSİ

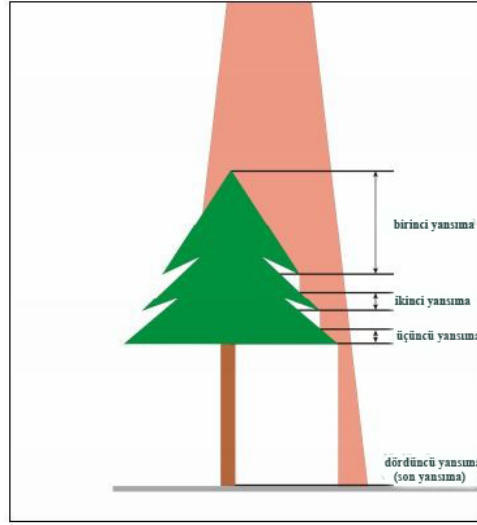
Yeryüzüne ait uygulamalarda kullanılan hava LiDAR sistemleri çoklu yansımaya (discrete return) ve tam dalga formu (full waveform) olarak iki şekilde yansımaya bilgisi kaydetmektedir.

5.1 Çoklu Yansımaya (Discrete Return)

Çoklu yansımada, gönderilen tek bir lazer sinyalinde birden fazla genel olarak ise dört yansımaya bilgisi (ilk, birinci, ikinci, son) kaydedilir. Son yıllarda cihazların geliştirilmesiyle tek bir sinyal için altı adete kadar yansımaya bilgisi kaydedilebilmektedir (Gatziolis ve Andersen 2008). Çoğu ticari çoklu yansımaya sensörü için ardışık geri dönüşler birkaç metrelik (~2.0–3.5 m) aralıklarla sonuçlanır (Ussyshkin ve Theriault, 2011). Genellikle ilk geri dönüşler bitki örtüsünün üst kısımlarından bina tepelerinden kaynaklanır. Aynı sinyale ait son geri dönüşler ise zemin bilgisini verir. Yansımalar arasındaki bu yükseklik farklarından yararlanılarak, nokta verisine ait sınıflandırmalar yapılabilir. Örneğin, ilk ve son yansımaya değerleri arasındaki yansımalarından bitki örtüsü analizi ya da ağaç yükseklikleri tespit edilebilir (Şekil 4.1). Yansımada her zaman çoklu dönüşler olmayabilir. İlk geri dönüş zemine de ait olabilir, bu durumda tek bir yansımadan bahsedebiliriz. Şekil 4.2’de de görüldüğü gibi sinyal yükseklik farkından dolayı doğrultusu boyunca izler bırakıp ara dönüşler yapmıştır. Çoklu yansımaya bilgisi, LiDAR sistemlerinde daha çok tercih edilen yansımaya türüdür.



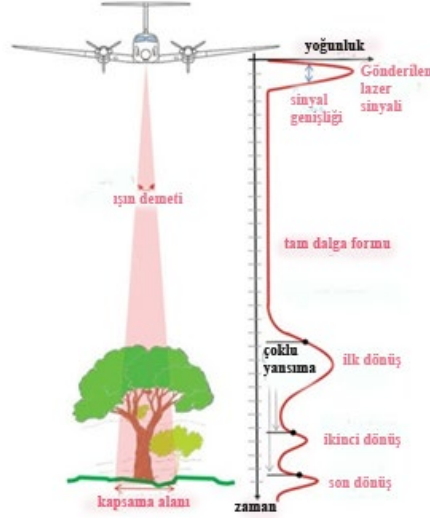
Şekil 4.1. Çoklu yansımadan yararlanılarak ağaçların sınıflandırılması (Lindberg ve Holmgren, 2017)



Şekil 4.2. Çoklu yansırma yapan lazer sinyali (Rossmann ve ark., 2007)

5.2 Tam Dalga Formu (Full Waveform)

Tam dalga formuna göre kayıt alan sensör geri dönen sinyalin sabit zaman aralıklarıyla (tipik olarak 15 cm mesafede) sürekli enerjisini kaydeder (Şekil 4.3). Yani yansıyan enerjinin tam dalga şeklini kaydeder. Bu nedenle daha fazla depolama alanı tutar ve işlenmesi daha karmaşıktır (Ussyshkin ve Theriault, 2011). Aşağıdaki şekilde bir ağaçtan yansıyan lazer sinyallerin hareketi verilmiştir. Sinyal, ağacın farklı bölümlerinden; dallar, yapraklar ve zeminden yansımaktadır. Bu örnekte çoklu yansırma sistemi (discrete return) üç geri dönüş kaydederken, tam dalga biçimi (full waveform) sürekli olarak enerjinin geri dönüşünü kaydetmektedir. Şekilde tepe noktaları lazer sinyalinin yansıtıldığı nesnenin yoğunluğundan kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.3. Tam dalga formundaki lazer sinyalinin hareketi (Fernandez-Diaz ve ark., 2014)

Tam dalga formunun başlıca avantajı, nokta bulutunda daha fazla bilgiyi tutmasıdır. Bu bilgi ile detay gerektiren uygulamalarda veya daha iyi bir sınıflandırma yapmak için önemli olabilir. Araştırmacılar tam dalga formu verisine daha çok, yoğun ormanlık alanlarda ulaşılması güç olan zemin bilgisinin çıkarılmasında ve bitki örtüsü haritalamasında kullanılmaktadırlar (Terrasolid, 2019). Tam dalga formu dosyalarında tüm noktalara ait yansıma ve zaman bilgilerini bulabiliriz. Tam dalga formu dosyaları şerit bilgisini içeren (flightline) nokta bulutu verilerinde bulunmaktadır (Civelekoğlu, 2015).

6 HAVA LiDAR VERİLERİNDE FİLTRELEME BİLGİSİ

Ham LiDAR verisinde tarama yapılan alanda yeryüzüne ait doğal ve yapay bütün objeler bulunmaktadır. SAM üretmeden önce zemine ait noktaların diğer tüm noktalardan ayrılması gerekmektedir. Tüm noktalardan sadece zemin noktalarının belirlenmesi işi filtreleme olarak adlandırılmaktadır (Meng ve ark., 2009).

İşlenmemiş nokta bulutu yeryüzüne ait tüm nesnelere kapsar (Şekil 5.1). Nokta bulutundan çeşitli modeller (SAM, SYM, KYM) üretebilmek için, noktaların ait oldukları nesnelere sınıflandırılması gerekmektedir. Bunun ilk aşaması ise zemin noktalarının belirlenmesidir. Zemin noktalarını belirlemek için birçok algorithmada çeşitli parametreler geliştirilmiştir. Bu algorithmlar temel olarak, noktadan noktaya komşuluk analizleri, yükseklik ve eğim farkları, devamsızlık gibi parametrelere göre tasarlanmıştır (Demir ve Acar, 2007).



Şekil 5.1. İşlenmemiş nokta bulutu verisi

6.1 Hava LiDAR Verilerinde Zemin Noktaları Özellikleri

Ham LiDAR verisinde zemin noktaları genellikle yüzey alanı içindeki en düşük seviyedeki noktalardır. Bunu dışındaki noktalar ise ağaç, bina, araba gibi nesnelere yansıyan noktalardır. Bu ayrımı yapabilmek adına Meng ve ark. (2010) zemin noktalarının fiziksel özelliklerini belirlemiş ve dört grupta açıklamışlardır:

En düşük yükseklik: Nokta bulutunda zemin noktaları en düşük yükseklik değerine sahiptir.

Zemin yüzeyinin dikliği: Yüzey eğimi, komşu zemin noktaları arasında daha düşükken, zemin ve obje noktaları arasında daha fazladır.

Zemin noktaları arasındaki yükseklik farkı: Bir zemin noktasından diğerine olan yükseklik farkı düşüktür. Noktalar arasında yükseklik farkının artması ise binalar, çalılar, ağaçlar gibi nesnelere ait noktaların varlığını gösterir.

Zemin yüzeyin homojenliđi: Nesnelerden temizlenmiş zemin yüzeyi nispeten pürüzsüzdür.

Bu özellikler zemin filtreleme algoritmalarının geliştirilmesinde ortak özelliklerdir. Çoğu algoritma bu dört fiziksel parametreden birini esas alarak filtreleme yapmaktadır. Ancak kullanılan tüm algoritmalar farklı arazi yüzeyleri için farklı sonuçlar verebildiğinden en iyi algoritma seçimi araştırma konusudur. Filtreleme algoritmalarının, filtrelemede zorlandığı zemin yapılarını Sithole ve Vosselman (2004) aykırı değerler, yüzeye ekli nesnelere, karmaşık objeler, devamsız yüzeyler ve bitki örtüsü olarak 5'e ayırmıştır. Bu zemin yapılarında çalışan filtreleme algoritmalarının hemen hemen hepsinde hatalı sonuçlar ortaya çıktığı belirlenmiştir (Süleymanoğlu ve Soyca, 2017).

7 MATERYAL VE YÖNTEM

7.1 Materyal

7.1.1 Çalışma alanı

Çalışma alanı olarak Türkiye'nin Akdeniz Bölgesinde yer alan Antalya İli, Alanya İlçesi, Kocaoğlanlı köyünün dik yamaçlı ve yoğun bitki örtüsünü kapsayan bir alan seçilmiştir. (Şekil 6.1). Toplam çalışma alanı deniz seviyesinden yüksekliği 150 ila 300 m. aralığında değişmekte olup yüzölçümü 28 hektardır. Çalışma alanına ait veriler, TM projeksiyon ve WGS 84 datumuna göre referanslandırılmıştır.



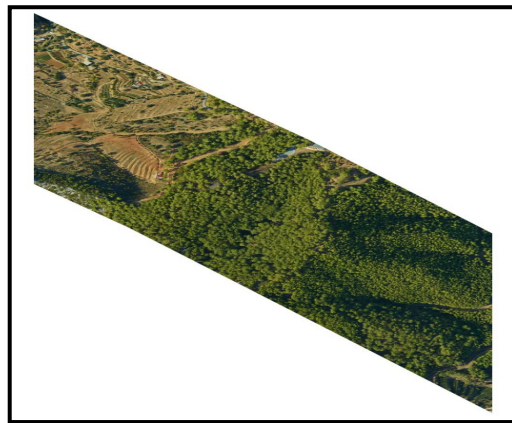
Şekil 6.1. Çalışma alanı

Bölgedeki dik yamaçlar, erozyondan korunmak önlemleriyle merdiven basamağı şeklinde sekileme (teraslama) olarak adlandırılan bir yöntemle korunmaktadır. Yüksek yerlerde ise makilerden oluşan sık orman bulunmaktadır (Şekil 6.2).



Şekil 6.2. Çalışma alanı arazi yapısı

Havadan lazer tarama, tarım veya orman alanları gibi yoğun bitki örtüsünün olduğu dik eğimli yamaçlarda, lazer sinyalinin zemin yüzeyine ulaşabilmesi yönünden son derece hızlı ve verimli bir yöntemdir. Bu çalışma alanının kuzeydoğu ve kuzeybatı bölümlerinde 7 adet bina ve genelinde yoğun ormanlık alanlar ile dik yamaçlar bulunması nedeniyle bölgeye ait SAM'ın Hava LiDAR yöntemi kullanılarak yapılması tercih edilmiştir. Ayrıca aynı uçuşta eş zamanlı olarak elde edilen sayısal görüntülerden üretilen ortofotolar referans veri olarak kullanılmıştır (Şekil 6.3).



Şekil 6.3. Çalışma alanı ortofotosu

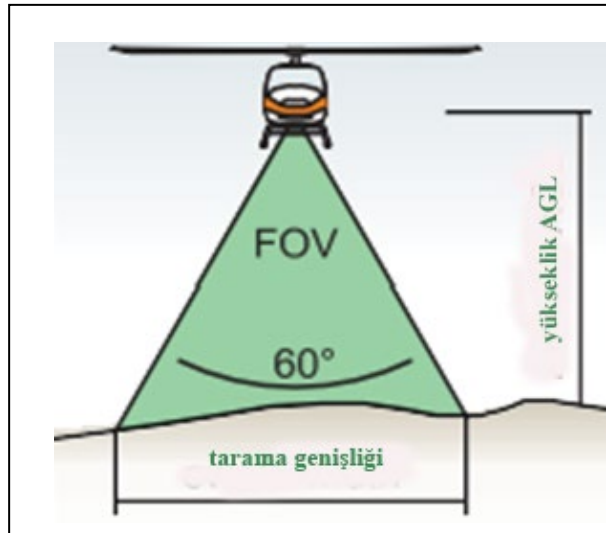
7.1.2 Kullanılan veriler

7.1.2.1 Kullanılan lazer tarayıcı teknik özellikleri

Çalışmada kullanılan LiDAR verileri 26 Eylül 2018 tarihinde gerçekleşen uçuş ile elde edilmiştir. Uçuş, RIEGL VQ-580 model lazer tarayıcısı ile 450-500 metre uçuş yüksekliğinde gerçekleştirilmiştir. Ham veri 12,113,500 adet lazer noktasından oluşmaktadır. LiDAR verilerinin yoğunluğu yaklaşık olarak m^2 de 45-50 noktadır.

RIEGL VQ-580 lazer tarayıcı hızlı hat tarama mekanizması ile özellikle karlı ve buzlu yüzeyler gibi olumsuz atmosferik koşullarda bile başarılı ölçümler yaparak veri elde etmektedir. Lazer tarayıcıların özelliklerinde yaygın olarak bilinen bir terim olan Pulse Repetition Rate (PRR) değeri, atımlı olarak çalışan lazer sinyallerinin saniyedeki atım sayısıdır. RIEGL VQ-580 ise maksimum 380 kHz'lik darbe tekrarlama hızında ve yaklaşık 1200 m. kadar uçuş yüksekliğinde çalışabilmektedir. Tarayıcı 60^0 lik geniş görüş açısı sayesinde birçok açıdan taramayı ve doğru veri yakalamayı sağlar. Tarayıcı aynı zamanda GNSS/IMU sistemi ile bağlantılı olacak şekilde donatılmıştır (Riegl Data Sheet VQ-580, 2015).

Lazer tarayıcıların veri toplama biçimi (paralel, eliptik, Z şekli gibi) birbirinden farklı olabilir. Bu tarayıcı 60^0 lik tarama açısıyla doğrusal, tek yönlü ve paralel tarama tipinde veri toplamaktadır (Şekil 6.4).



Şekil 6.4. RIEGL VQ-580 tarama modeli (Riegl Data Sheet VQ-580, 2015)

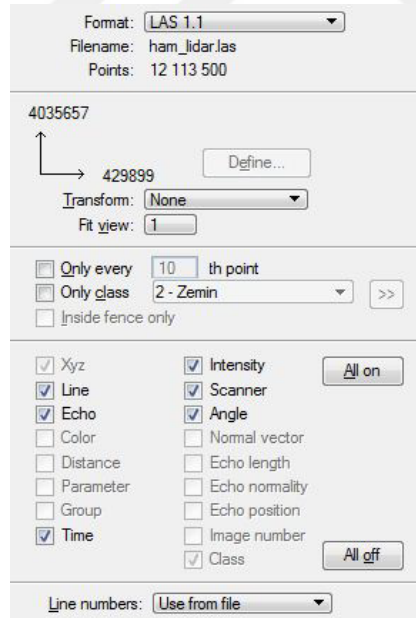
Bu tarayıcının teknik özellikleri Çizelge 6.1'de açıklanmıştır.

Çizelge 6.1. RIEGL VQ-580 teknik özellikleri

Tarama mekanizması	Döner çokgen ayna
Tarama açısı	60°
Tarama hızı	10-150 tarama / sn
Tarama türü	Paralel
Doğruluğu	25 mm
Hassasiyeti	25 mm
Lazer dalga boyu	Yakın kızılötesi
Lazer darbeleri tekrarlama aralığı	380 kHz
Işın demeti sapması	0.2 mrad
Yansıyan sinyal yoğunluk değeri	16 bit yoğunluk bilgisi

7.1.2.2 LAS 1.1 formatı nokta bulutu özellikleri

Çalışmada kullandığımız LiDAR verileri LAS 1.1 formatında olup içeriğinde GPS zaman bilgisi, uçuş şeridi bilgisi, yoğunluk, tarama açısı, yansıma bilgisi bulunmaktadır (Şekil 6.5).



Şekil 6.5. LAS 1.1 formatı nokta bulutu

- **Line** (Uçuş şeridi bilgisi): LiDAR noktasının hangi uçuş hattına bağlı olduğunu belirtir.
- **Echo** (yansımaya bilgisi): Yayılan bir lazer sinyalinin hangi yansıma değerine ait olduğu bilgisini verir (ilk yansıma ,ikinci yansıma vb.).
- **Time** (GPS zamanı): Lazer sinyalinin, uçaktan yayıldığı andaki noktaya ait olan GPS zamanı bilgisidir.
- **Intensity** (Yoğunluk): Bu değer yayılan lazer sinyalinin, çarptığı nesneye göre geri yansımalarının bir ölçütüdür. Sinyalin geri dönüş gücü çarptığı nesnenin yapısına göre değişmektedir. Yansıtıcı yüzeyin yapısı ve sinyalin geri dönüş gücü ile ilişkilidir. Nokta sınıflandırmada özellik tespitinde önemlidir.
- **Scan angle** (Tarama açısı): Taramanın kaç derecelik açı ile gerçekleştiği bilgisini verir (Las Specification Version 1.1, 2005).

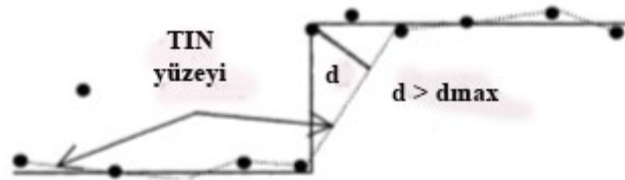
7.2 Yöntem

Antalya İli, Alanya İlçesi, Kocaoğlanlı köyünün dik yamaçlı ve yoğun bitki örtüsünü kapsayan çalışma alanı zor bir arazi karakteri göstermesi nedeniyle klasik ölçme yöntemleri ile ölçülmesi zor ve zaman alıcıdır. Bu alanın LiDAR verileri ile SAM üretimi için 12,113,500 adet lazer noktasından oluşan kısım kesilerek hazırlanmıştır. Projede zemin noktalarını filtrelemek için ATIN ve CSF algoritmaları kullanılmıştır. Her iki algoritma zemin noktalarını filtrelemek için farklı parametreler geliştirmişlerdir. Dolayısıyla kullanıcı her algoritmanın gerektirdiği parametreleri çalışma bölgesi için uygun olarak belirlemelidir. Bu parametreleri belirlemek adına, bölgeye ait LiDAR tarama ile eş zamanlı olarak elde edilen ortofotolar ile nokta bulutundan aldığımız kesitler referans alınmıştır. Çalışma alanında en doğru filtrelemeyi yapabilmek ve iyi bir SAM üretmek adına, her iki algortmada da zemin filtreleme parametreleri değiştirilerek modeller oluşturulmuştur. Elde edilen üç boyutlu arazi modellerinin doğrulukları referans arazi modeli ile karşılaştırılarak yükseklik farklarından karesel ortalama hataları hesaplanarak belirlenmiştir. Ayrıca farklı parametre değerleri ile üretilen arazi modellerinde filtreleme sonuçlarını görsel olarak inceleyebilmek için üç boyutlu kabartmalı haritalar oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda CSF ve ATIN algoritmalarının zemin noktalarını filtrelemedeki avantajları ve dezavantajları değerlendirilmiştir.

7.2.1 ATIN filtreleme algoritması

Birçok algoritma zemin noktalarını filtrelemek için yükseklik ve eğim değerlerini temel almıştır. Bu algoritmalar içinde kademeli bir sınıflandırma örneği gerçekleştiren, ve zemin noktalarını belirlemede daha başarılı sonuçlar veren Peter Axelsson'un (1999) "Axelsson Algoritması" adlı algoritmasıdır.

Axelsson üçgen tabanlı bir filtreleme algoritması geliştirmiştir. Öncelikle düğüm noktaları olarak adlandırdığı en düşük yüksekliğe sahip az sayıdaki noktalardan başlayarak seyrek bir TIN yüzey (Triangular Irregular Networks) oluşturur ve kademeli olarak modele yeni noktalar ekler. Nokta bulutu belirlediğimiz parametrelere göre bir eğrilik ile sınırlandırılır ve altında kalan yeni noktalar TIN yüzeyine eklenir. Belirlediğimiz parametrelerin çalışma sistemi ise, TIN yüzeyine olan açı ve bu yüzeyi oluşturan noktalara uzaklık değerine göre işlem yapmaktadır. Şekil 6.6'de görüldüğü gibi kalabalık ve kentsel alanlarda yüzey sürekli olarak devam etmez ve bazı kenarlar belirlediğimiz parametrelerden oluşturduğumuz eşik değerinden yüksek değerde olabilir bu durumda yüzeyin sürekliliği bozulur ve noktalar TIN yüzeyinden atılmaktadır (Axelsson, 2000).



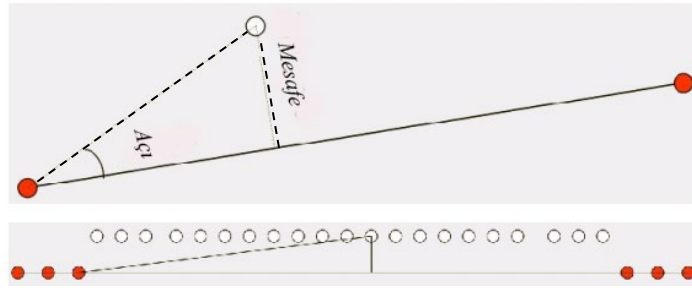
Şekil 6.6. Sürekli bir yüzeye ait olmayan TIN yapısı (Axelsson, 2000)

Axelsson'un düğüm noktaları olarak adlandırdığı noktaların seçiminde dikkat ettiği bazı unsurlar vardır. Öncelikle çalışma alanı gridlere bölünür ve en küçük yüksekliğe sahip noktalar zemin noktası olarak belirlenir. İlk nokta seçimi ise maksimum bina boyutu ile kontrol edilir. Eğer çalışma alanımızdaki en yüksek bina boyu 60 m. ise algoritma 60*60'lık bir alan olduğunu ve bu alan içinde zemin seviyesinde en az bir yeryüzü noktası olması gerektiğini varsayar. Bu noktalardan kötü en düşük olanı da zemin noktası olarak değerlendirir. Bu başlangıç ile algoritma seçtiği ilk zemin noktalarından TIN yüzeyini oluşturur. Üretilen bu ilk modeldeki üçgenler çoğunlukla zemin seviyesinin altındadır, sadece köşeler yeryüzüne temas etmektedir.

Algoritma yinelemelerde yüzeye daha çok nokta ekleyerek modeli yukarı hizalandırır. Noktalar eklendikçe gerçek zemin yüzeyini gösteren model ortaya çıkar (TerraScan User Guide, 2016).

Algoritmanın yineleme parametreleri, bir noktanın zemin noktası olarak kabul edilmesi ve yüzeye eklenmesi için üçgen düzleme olan yakınlık durumunu inceler. Şekil 6.7'de gösterilen parametre penceresinde iterasyon açısı, aday nokta ile üçgen yüzeydeki en yakın üçgenin tepe noktası arasındaki maksimum açıdır. Bu parametre aynı zamanda zemin tabakasında kaç noktanın sınıflandırıldığını kontrol eden özelliğe sahiptir. Algoritmanın diğer bir parametresi olan iterasyon mesafesi ise, yineleme sırasında üçgenler oluşturulduğunda noktalar arasında büyük sıçramaların oluşmasını önler (Şekil 6.8). Bu parametre düşük bitki örtüsü veya düşük yüksekliğe sahip binalarda yüksek zemin noktalarının oluşmasını önler. TIN yüzeyine daha fazla nokta eklenmediğinde yineleme işlemi durur (TerraScan User Guide, 2016).

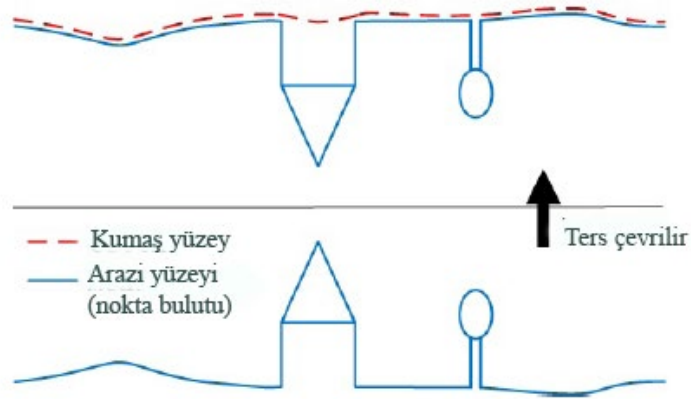
Şekil 6.7 . Zemin noktaları filtreleme parametreleri (TerraScan User Guide, 2016)



Şekil 6.8. İterasyon açısı ve mesafesi (TerraScan User Guide, 2016)

7.2.2 CSF (Cloth Simulation Filtering) filtreleme algoritması

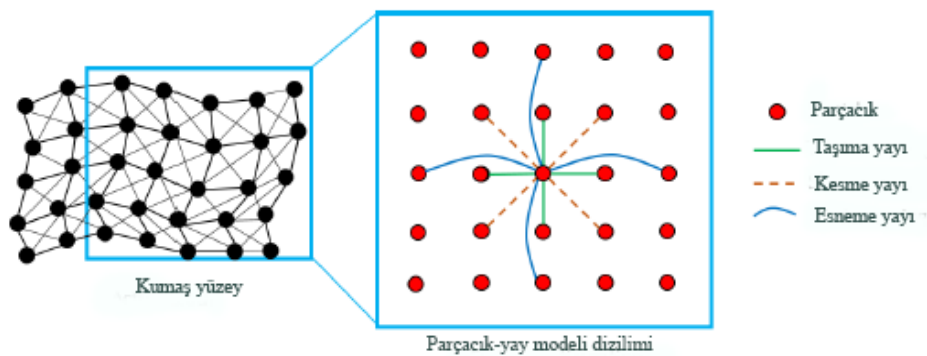
CSF (Cloth Simulation Filtering) algoritmasında zemin noktalarını filtreleme işlemi basit bir fiziksel işlemin mantığına dayanır. Öncelikle arazi yüzeyine yukarıdan bir kumaş parçası düştüğünü hayal edelim. Kumaş parçası yerçekiminin etkisiyle çalışma alanını kapsayacaktır. Kumaşın, tüm yüzeyi saracak biçimde yumuşak bir yapısı olduğu varsayılır. Bu işlemde kumaş yüzeyin aldığı son şekil SYM olacaktır. Algoritma Sayısal Arazi Modeli üretiminde ise farklı bir method uygular. Öncelikle çalışma alanımızı kapsayan ham haldeki nokta bulutu ters çevrilir ve ters yüzeye yukarıdan kumaş parçası bırakılır. Nokta bulutunu saracak kumaşın sertlik değeri, yapısı belirlenir. Kumaşın aldığı nihai şekil SAM'dır (Zhang ve ark., 2016). Bu algoritmadaki fiziksel süreç kumaş yüzeyin modellenmesi ile ilgili bir tekniğe dayandırılmıştır (Weil, 1986). Algoritmaya genel bakış Şekil 6.9'da ifade edilmiştir. Bu algoritmada kumaş olarak betimlenen yüzeyin düğüm noktalarına karşılık gelen LiDAR noktaları arasındaki etkileşim analiz edilerek işlenmemiş nokta verileri zemin ve zemin olmayan olarak ayrılır.



Şekil 6.9. Kumaş simülasyonu (CSF) algoritmasına genel bakış (Zhang ve ark., 2016)

7.2.2.1 CSF algoritmasının matematiksel temeli

Kumaş yüzey olarak adlandırılan bu yüzey ara bağlantılara sahip ve sabit bir kütle taşıyan parçacıklardan oluşan (kütle-yay modeli gibi) bir grid yüzey olarak modellenmiştir (Provot, 1995). Bu parçacıkların üç boyutlu uzaydaki konumları kumaş yüzeyin şeklini belirler. Kumaş yüzeydeki parçacıkların aralarındaki ilişki ise Hooke yasalarından “sanal yay” tanımına uymaktadır. Şekil 6.10'da gösterilen parçacıklar üç tür yay tipi ile etkileşirler ve hareket ederler. Bunlar; kesme yayı (shear spring), taşıma yayı (traction spring) ve esneme yayı (flexion spring) olarak adlandırılmıştır (Zhang ve ark., 2016).



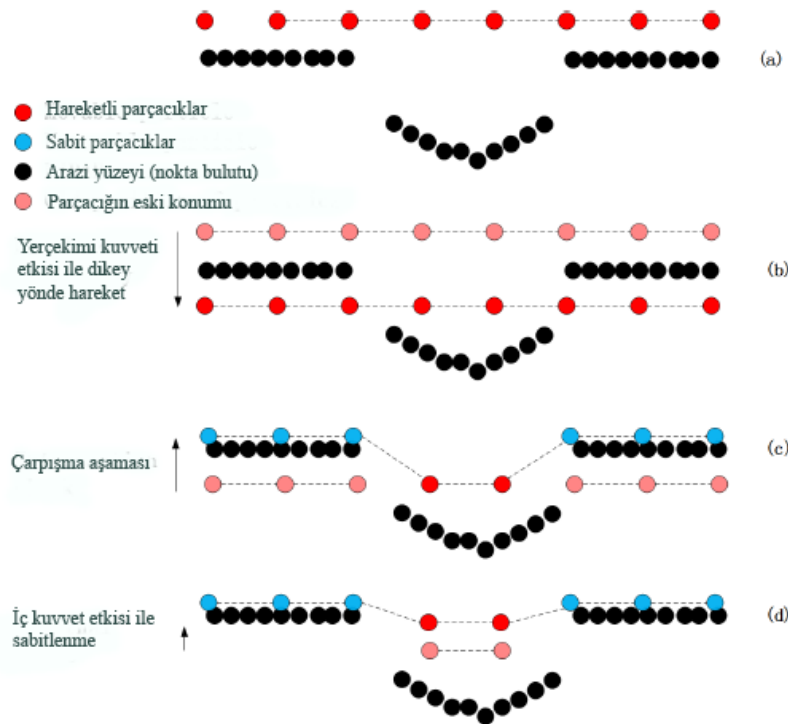
Şekil 6.10. Kütle yay modelinin şematik gösterimi (Zhang ve ark., 2016)

Kumaşın şeklini belirli bir zamanda simüle etmek için, üç boyutlu uzaydaki tüm parçacıkların konumları hesaplanır. Bir parçacığın konumu ve hızı, üzerine etkiyen

kuvvetler tarafından belirlenir. Parçacıkların konum ve hızları, Newton'un ikinci yasasına dayanarak hesaplanır (Zhang ve ark., 2016).

7.2.2.2 CSF algoritmasının filtreleme işlemine modifikasyonu

CSF algoritmasındaki kumaş simülasyonunun, LiDAR noktalarının filtrelenmesine uyarlanabilmesi için birtakım değişiklikler yapılmıştır. Kumaş olarak betimlenen yüzeydeki parçacığın hareketi, arazi yüzeyi ile temas için dikey yönde gerçekleşmektedir. Yüzeydeki bir parçacığın konumu, arazi yüzeyinin altında veya eşit olduğunda parçacık ile arazi yüzeyi kesişecektir. Parçacık doğru konuma yani zemine ulaştığında hareketi duracaktır. Bir parçacığın konumu dış ve iç kuvvetlerin net kuvveti ile belirlenir. Bu fiziksel süreçte öncelikle bir parçacığın yer çekimi kuvvetinden yer değiştirmesi hesaplanır. Parçacığın nihai konumu ise iç kuvvetlere göre son halini alır (Zhang ve ark., 2016).



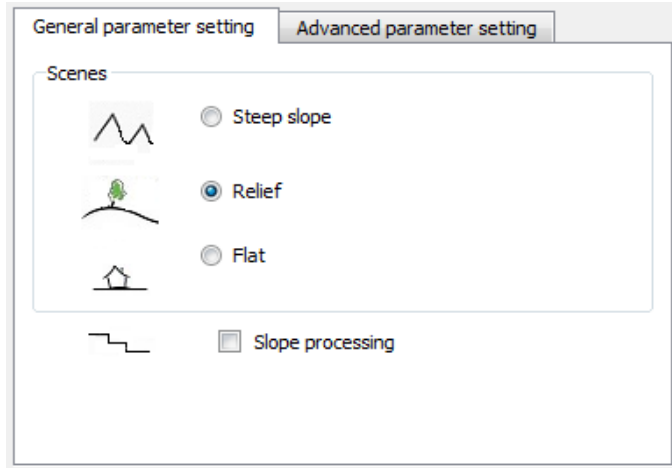
Şekil 6.11. CSF filtreleme algoritmasının fiziksel adımları (Zhang ve ark., 2016)

Şekil 6.11' de CSF algoritmasının fiziksel süreçteki ana adımlarını göstermektedir. (a) başlangıç adımında algortimanın kumaş yüzey olarak adlandırdığı

belirli aralıklardaki parçacıklardan (düğüm noktaları) oluşan yüzeyi görülmektedir. Bu yüzeydeki hareketli parçacıklar, işlenmemiş ve ters çevrilmiş nokta bulutu üzerine gelecek şekilde konumlanmıştır. (b) adımında yüzey üzerindeki parçacıklar yerçekimi kuvvetinin (dış kuvvet) etkisiyle dikey yönde harekete başlayacak ve orijinal nokta bulutuna doğru hareket edeceklerdir. (c) çarpışma aşaması olarak adlandıracağımız bu adımda, zemin noktaları ile kesişip yüzey altında kalan parçacıklar kontrollü olarak zemin üzerine taşınır ve yerleşirler. (d) aşamasında parçacıklar, birbirleri ile etkileşimleri sonucu ortaya çıkan kuvvetlerin (iç kuvvet) etkisiyle, son konumlarına sabitlenirler. İşlem sonucunda kumaş yüzey üzerindeki parçacıklar zemin sınıfına ayrılır.

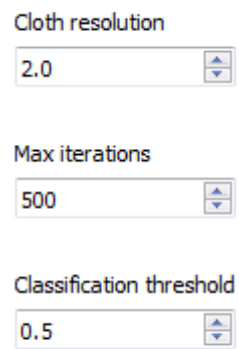
7.2.2.3 CSF algoritması filtreleme parametreleri

CloudCompare yazılımı CSF algoritmasının filtreleme parametrelerini sağlamaktadır. Bu aşamada kullanıcı tarafından ayarlanması gereken parametreler genel ve gelişmiş olmak üzere iki başlığa ayrılmıştır. Genel parametrelerde çalıştığımız bölgenin arazi karakteristiği belirlenir. Genel parametrelerdeki arazi tipleri; dik yamaç, hafif eğimli ve düz olmak üzere üç grupta sunulmuştur (Şekil 6.12).



Şekil 6.12. CSF filtreleme algoritması genel parametreler

Gelişmiş parametreler ise; grid çözünürlüğü (cloth resolution), maksimum yineleme (max iterations), sınıflandırma eşiği (classification threshold) olmak üzere sayısal değerlerden oluşmaktadır (Şekil 6.13).



Cloth resolution
2.0

Max iterations
500

Classification threshold
0.5

Şekil 6.13. CSF filtreleme algoritması gelişmiş parametreler

Bu parametreler sırasıyla;

- **grid çözünürlüğü (cloth resolution):** Arazi yüzeyini saran örtü yüzeyin grid boyutlarıdır. Örtü yüzeyde bulunan komşu iki parçacık (düğüm noktası) arasındaki yatay mesafeyi temsil eder.
- **maksimum yineleme (max iterations):** Simülasyonunun maksimum tekrar sayısıdır.
- **sınıflandırma eşiği (classification threshold):** Noktaların, simülasyon ile oluşturulmuş arazi (örtü) yüzeyi arasındaki mesafeye bağlı olarak zemin ve obje olarak ayrıldığı bir eşik değeridir.

7.2.3 SAM'ın doğruluk analizi

Farklı filtreleme algoritmalarından yararlanarak oluşturacağımız Sayısal Arazi Modellerinin doğrulukları referans olarak kullanacağımız yatayda 5-10 cm. düşeyde ise 10 cm. doğruluğa sahip Sayısal Arazi Modeli ile karşılaştırılmıştır. Bu değerlendirme için eşitlik 6.1'den yararlanılarak 277,547 adet nokta ile modellerin yükseklik farklarından karesel ortalama hatası hesaplanmıştır. Eşitlikte ürettiğimiz modeldeki yükseklik değerleri Z_i , referans arazi modelindeki yükseklik değerleri ise \bar{Z}_i olarak ifade edilmektedir. Eşitlikteki n değeri ise değerlendirmede kullanılan toplam nokta sayısını belirtmektedir.

$$KOH_Z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z}_i)^2}{n}} \quad (6.1)$$

8 ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

8.1 CSF Algoritması ile Filtreleme

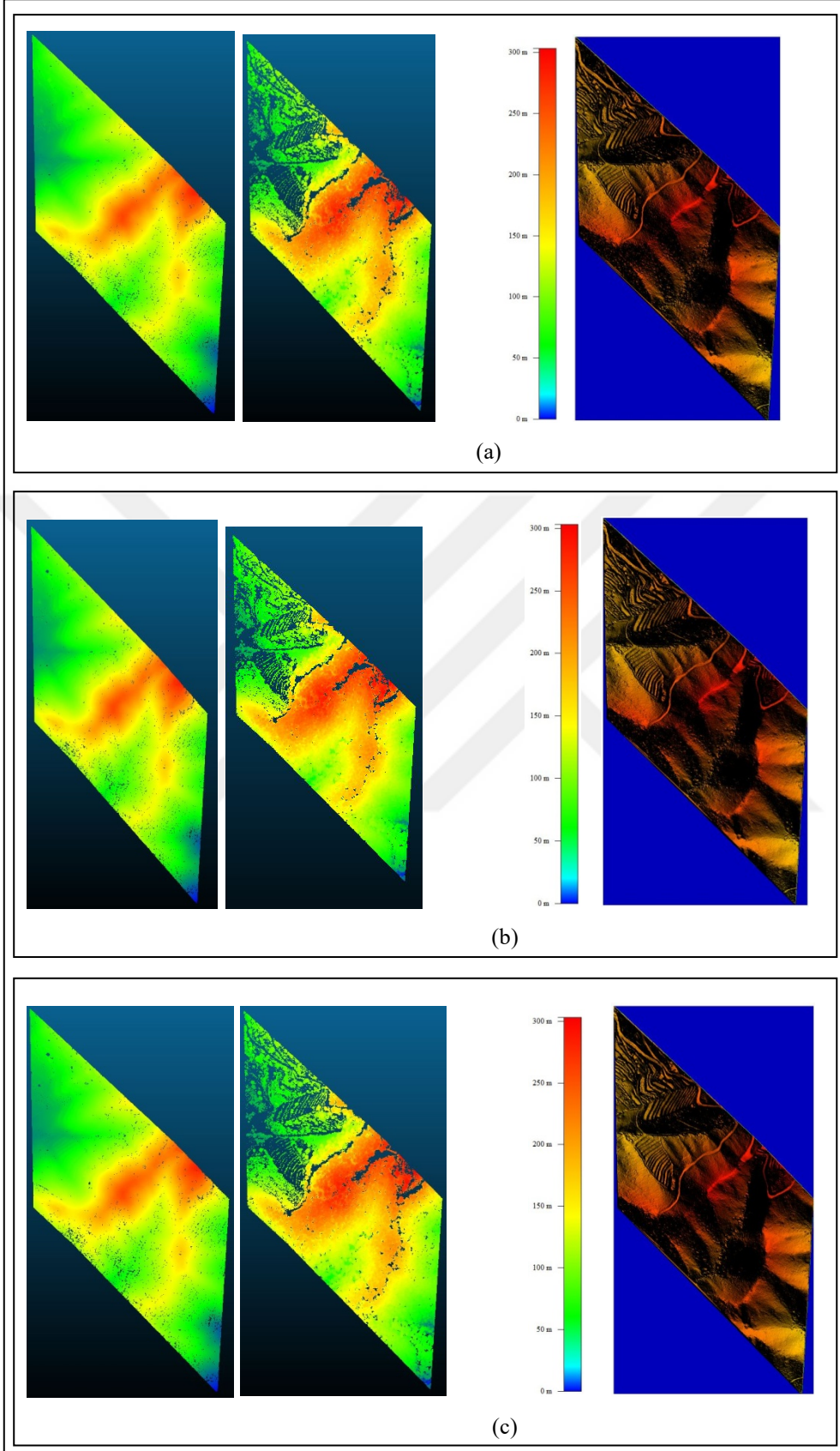
Çalışma alanımızı kapsayan işlenmemiş 12,113,500 adet LiDAR nokta verileri için CSF algoritması ile filtreleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı dik yamaçlar ve eğimli bölgelerden oluştuğu için algoritma parametrelerinde arazi tipi dik yamaçlı arazi olarak belirlenmiştir. Gelişmiş parametrelerde ise; sınıflandırma eşiği 0.5, maksimum yinleme sayısı 1000 alınarak farklı grid çözünürlüğü (0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1, 2) değerleri ile filtreleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

8.1.1 CSF algoritması ile filtreleme sonuçları

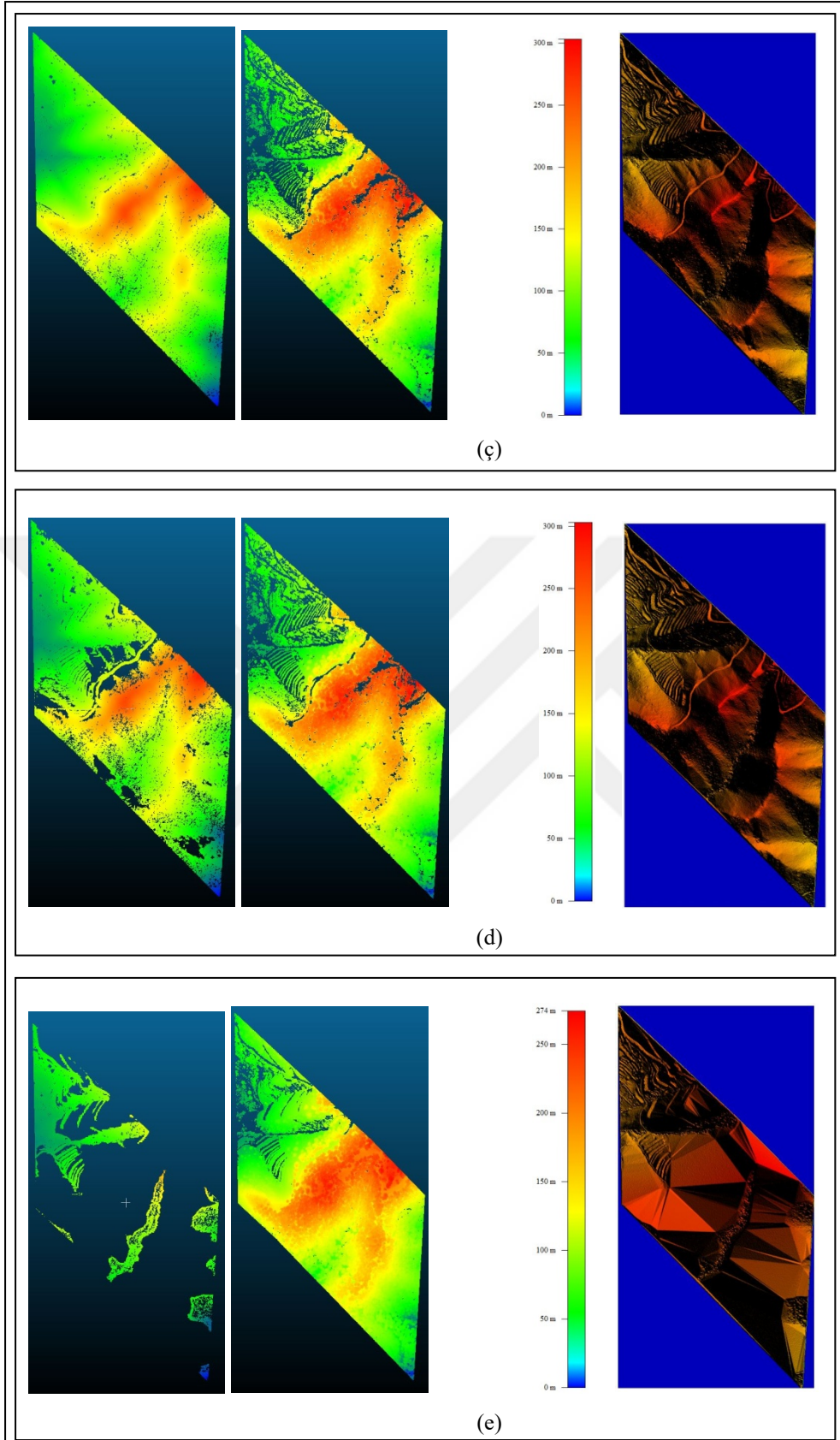
CSF algoritması ile farklı grid çözünürlük değeri ile filtreleme yapılmış zemin ve obje noktaları ayrılmıştır. Obje noktalarından ayrılan zemin noktalarına üçgenleme (triangulasyon) işlemi yapılarak SAM oluşturulmuştur. Filtreleme sonuçları incelendiğinde grid çözünürlük değeri arttıkça daha az zemin noktası üretilmiştir (Çizelge 7.1). Grid çözünürlüğü parametresindeki artış ile üretilen modellerde arazi yüzeyindeki bozulmaların giderek arttığı görülmüştür. Zemin ve obje noktaları ile SAM'dan oluşan uygulamaların görsel sonuçları Şekil 7.1 ve Şekil 7.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.1. CSF algoritması zemin filtrelemesi sonuçları.

Grid çözünürlüğü	Filtrelenen Zemin Nokta Sayısı
0.2	5,529,470
0.3	5,419,973
0.4	5,328,275
0.5	5,218,743
1	4,152,422
2	1,368,301



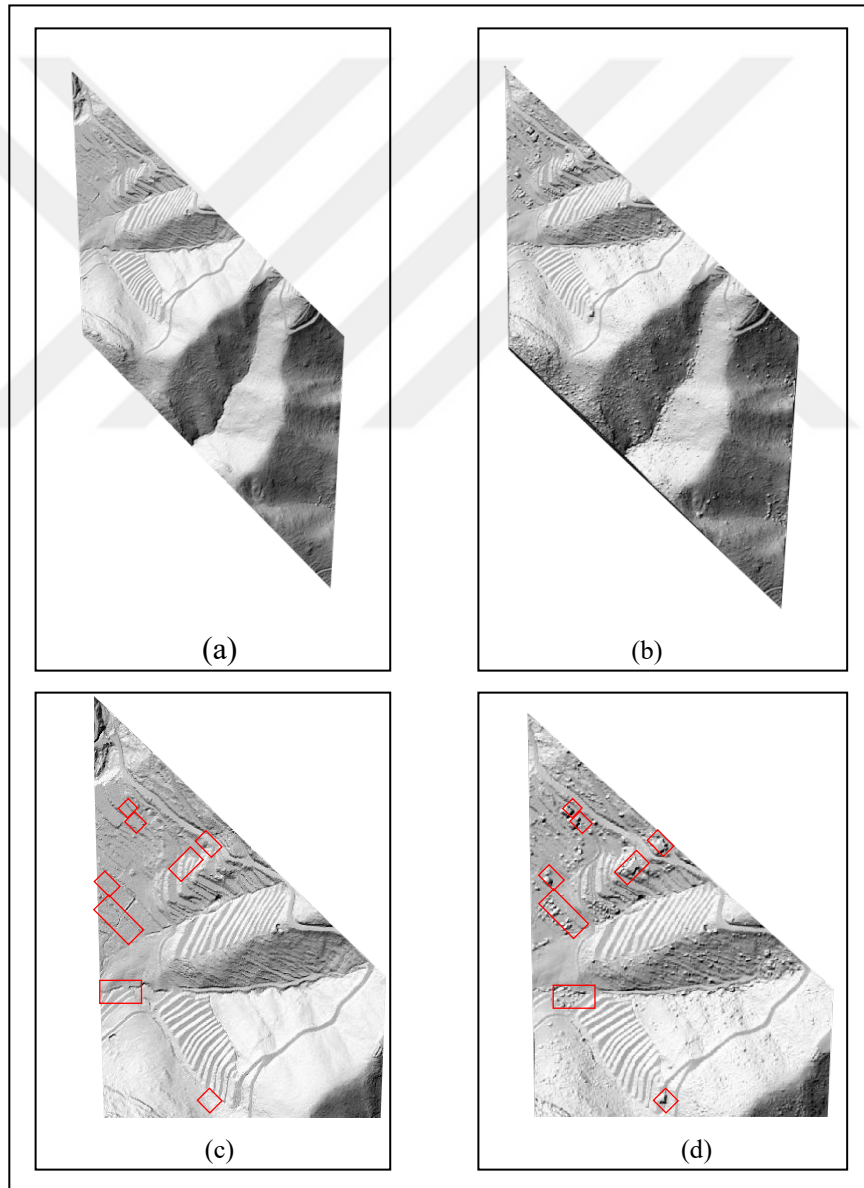
Şekil 7.1. Filtreleme sonucu ayrılan zemin ve obje noktaları ile SAM. (a) 0.2 grid çözünürlüğü (b) 0.3 grid çözünürlüğü, (c) 0.4 grid çözünürlüğü.



Şekil 7.2.Filtreleme sonucu ayrılan zemin ve obje noktaları ile SAM. (ç) 0.5 grid çözünürlüğü (d) 1 grid çözünürlüğü, (e) 2 grid çözünürlüğü.

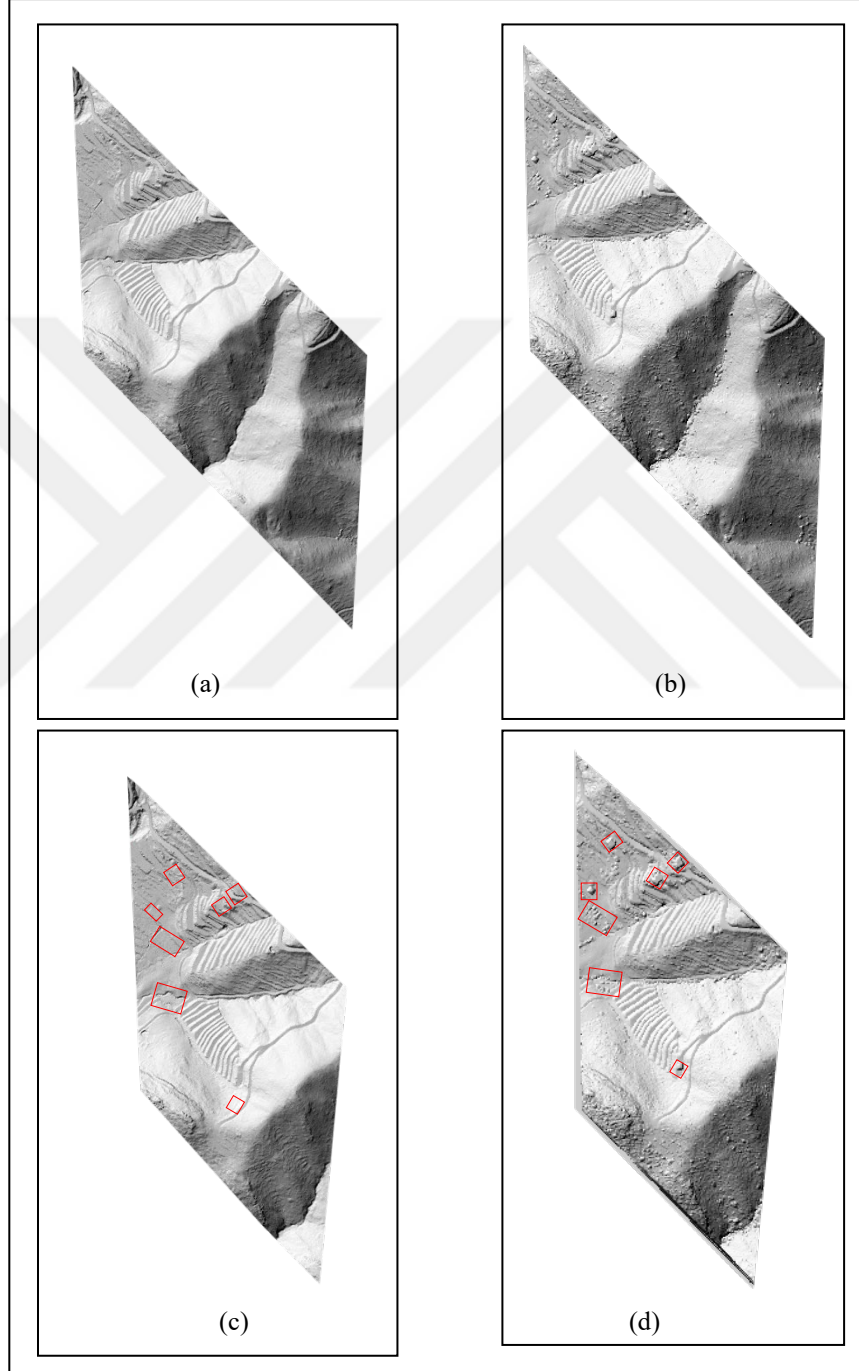
8.1.2 CSF algoritması filtreleme sonuçları ile referans modelin karşılaştırılması

CSF algoritması ile farklı parametre değerleri ile yaptığımız filtreleme sonuçları kabartmalı görünümde referans model ile karşılaştırılmıştır. Uygulama sonucunda 0.2 grid çözünürlüğü değeri ile filtrelenerek üretilen SAM'ı incelediğimizde dik yamaçların bulunduğu yoğun bitki örtüsüne sahip alanlarda genel olarak iyi bir filtreleme göstermiş ve arazi yüzeyini ortaya çıkarmıştır. Ancak çalışma alanının kuzeybatısında bulunan binaları ve ağaç topluluklarını tespit edememiş ve filtreleyememiştir. Üretilen SAM'ın karesel ortalama hatası ise ± 0.47 m. olarak hesaplanmıştır (Şekil 7.3).



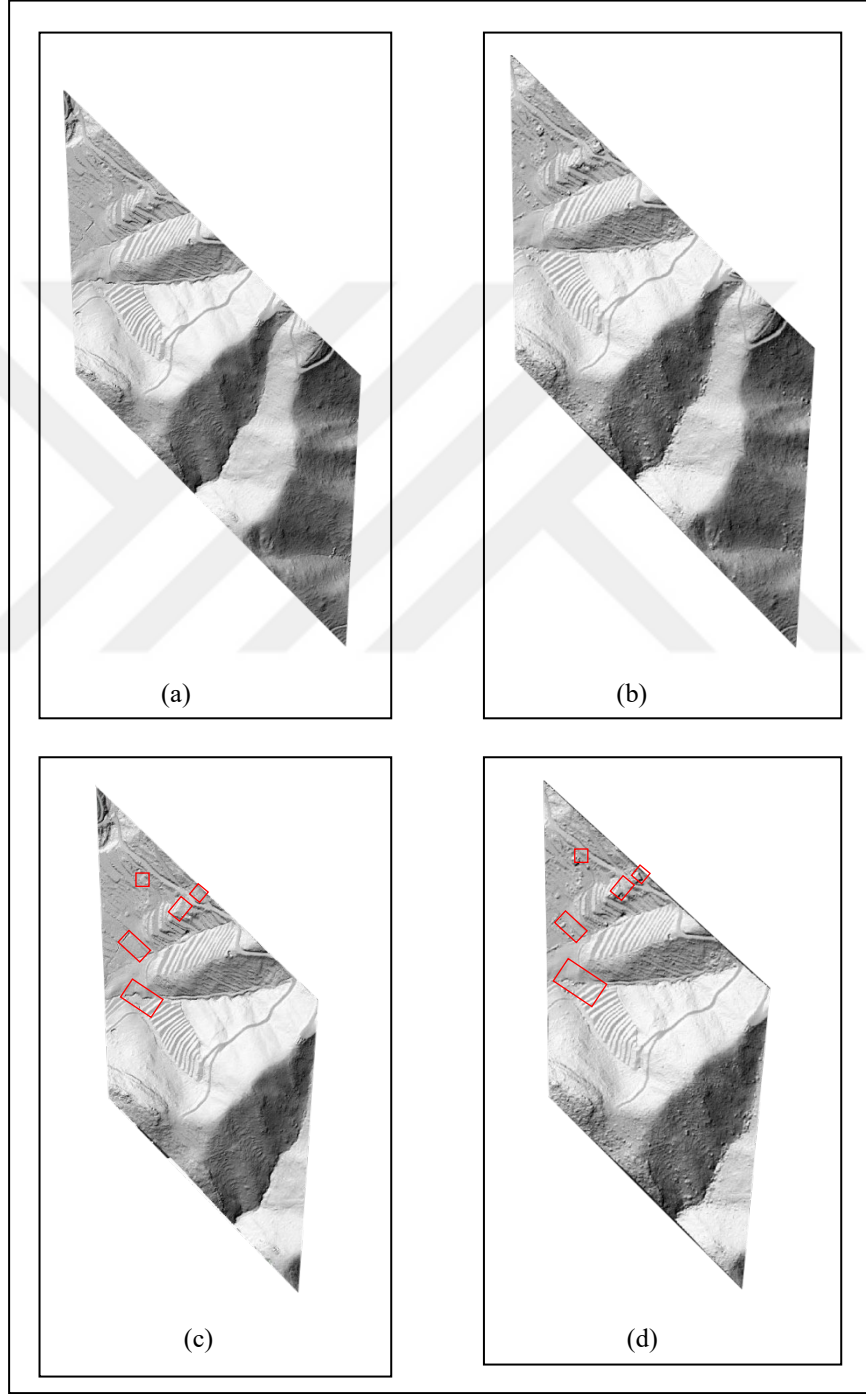
Şekil 7.3. a) Referans SAM b) 0.2 grid çözünürlüğü ile üretilen SAM c) Referans SAM filtrelenen objeler d) 0.2 grid çözünürlüğü üretilen SAM filtrelenemeyen objeler

0.3 grid çözünürlüğü değeri ile filtrelenerek üretilen modele genel olarak baktığımızda ise 0.2 grid değeri ile üretilen arazi modelinden farklı olarak kuzeybatı bölgesinde bir bina filtrelenmiştir (Şekil 7.4). Üretilen SAM'ın karesel ortalama hatası ± 0.52 m. olarak hesaplanmıştır.



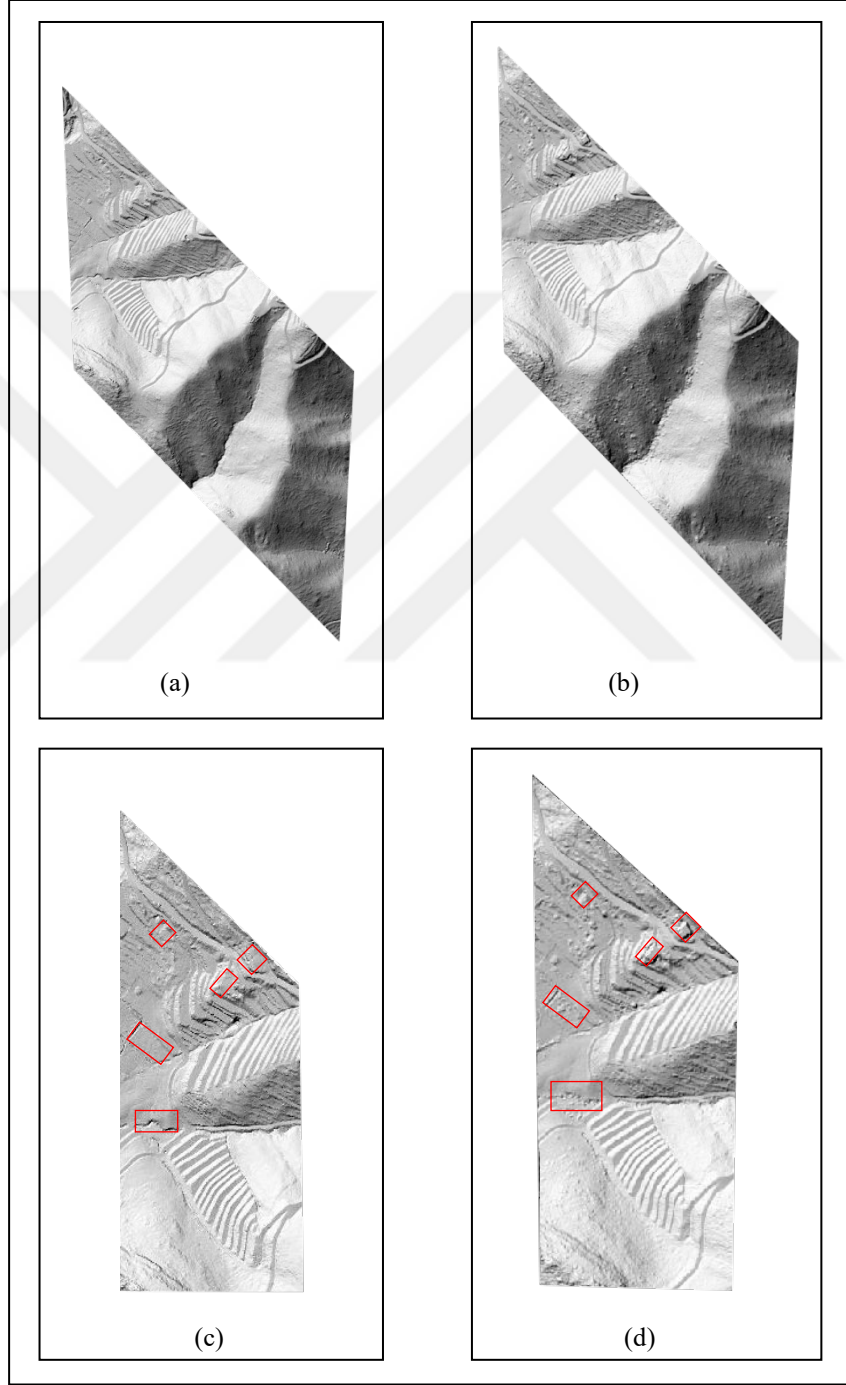
Şekil7.4. a)Referans SAM b) 0.3 grid çözünürlüğü ile üretilen SAM c)Referans SAM filtrelenen objeler d) 0.3 grid çözünürlüğü üretilen SAM filtrelenemeyen objeler

0.4 grid çözünürlüğü filtreleme değeri ile üretilen SAM modelini incelediğimizde, kuzeybatı yönüneki binaların bir kısmı ile yamaç başında kaldırılamayan binayı filtrelediği ve ağaçların bir kısmını daha iyi filtrelediği görülmektedir.0.4 grid çözünürlüğü değeri daha iyi bir filtreleme yapmıştır (Şekil 7.5). Üretilen SAM'ın karesel ortalama hatası ise ± 0.44 m'dir.



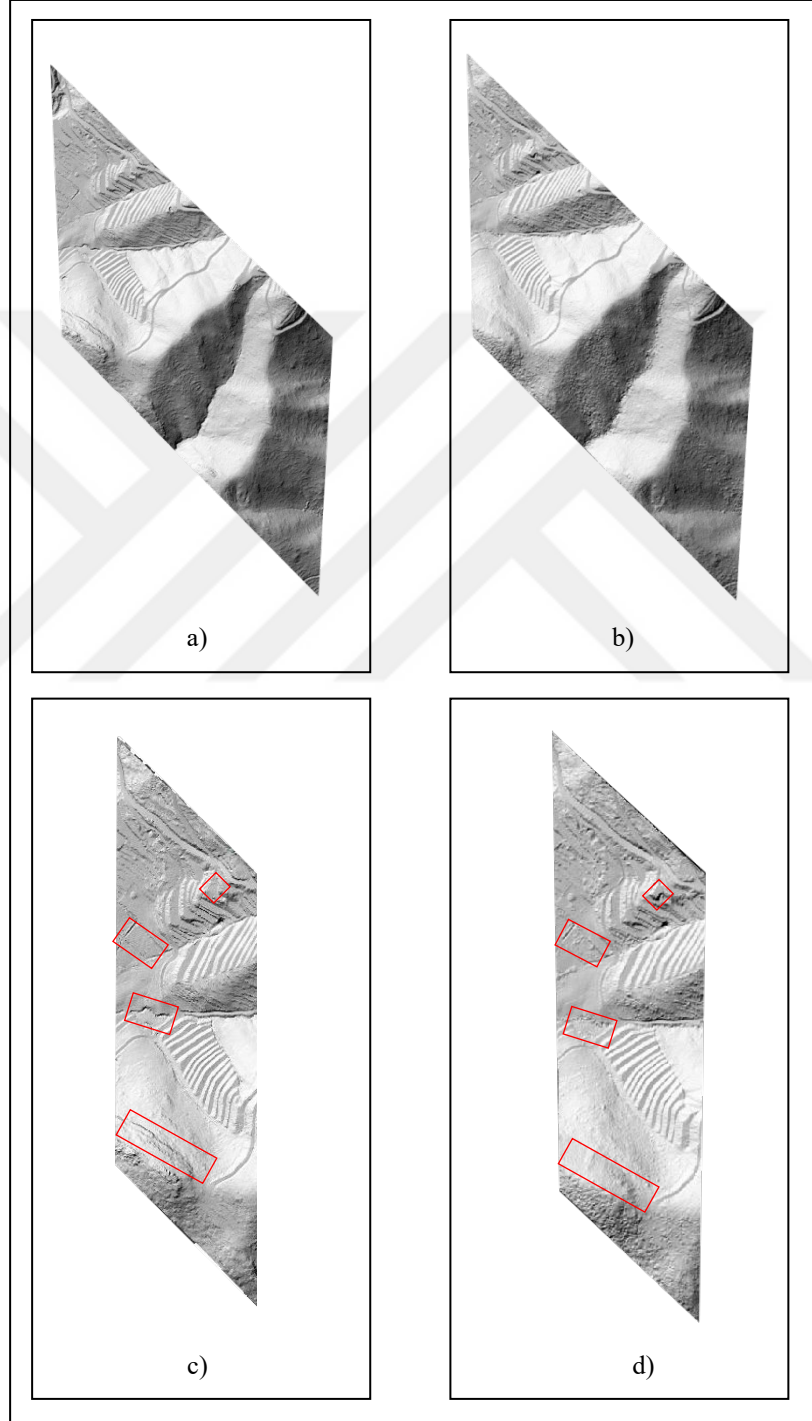
Şekil 7.5. a)Referans SAM b) 0.4 grid çözünürlüğü ile üretilen SAM c)Referans SAM filtrelenen objeler d) 0.4 grid çözünürlüğü üretilen SAM filtrelenemeyen objeler

0.5 grid çözünürlüğü değeri ile üretilen arazi modeli binaları filtrelemede 0.4 değeri ile üretilen model ile benzer sonuçlar vermiştir. Bölgenin kuzeyinde eğimin arttığı alandaki binaları kaldıramamıştır. Çalışma alanının batısında bulunan ağaç topluluğu altındaki zemin karakteristiğini belirleyememiştir (Şekil 7.6). Bu grid değeri ile üretilen SAM'ın karesel ortalama hatası ± 0.34 m'dir.



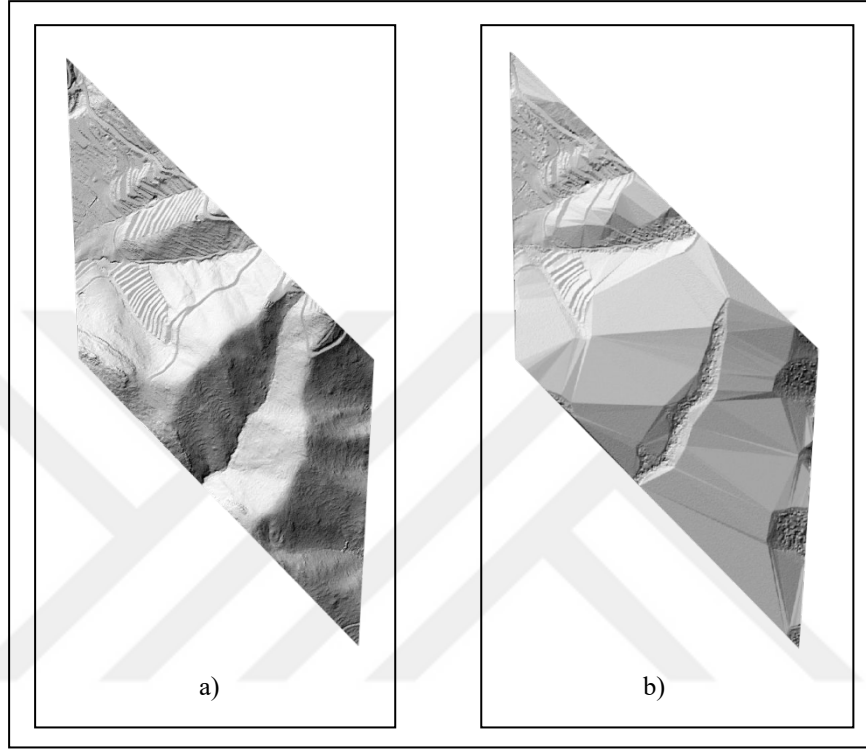
Şekil 7.6. a)Referans SAM b) 0.5 grid çözünürlüğü ile üretilen SAM c)Referans SAM filtrelenen objeler d) 0.5 grid çözünürlüğü üretilen SAM filtrelenemeyen objeler

1 grid çözünürlüğü değeri ile filtreleme sonucu üretilen SAM'ı incelediğimizde çalışma alanının kuzeybatı bölgesindeki bir bina haricinde diğer binaları filtrelemede en başarılı sonucu vermiştir. Ancak bölgenin güney kısmında araziye tam olarak tespit edememiş ve yüzeyi törpülemiştir. (Şekil 7.7). Üretilen SAM modelinin karesel ortalama hatası ise ± 0.68 m'dir.



Şekil 7.7. a)Referans SAM b) 1 grid çözünürlüğü ile üretilen SAM c)Referans SAM filtrelenen objeler d) 1 grid çözünürlüğü üretilen SAM filtrelenemeyen objeler

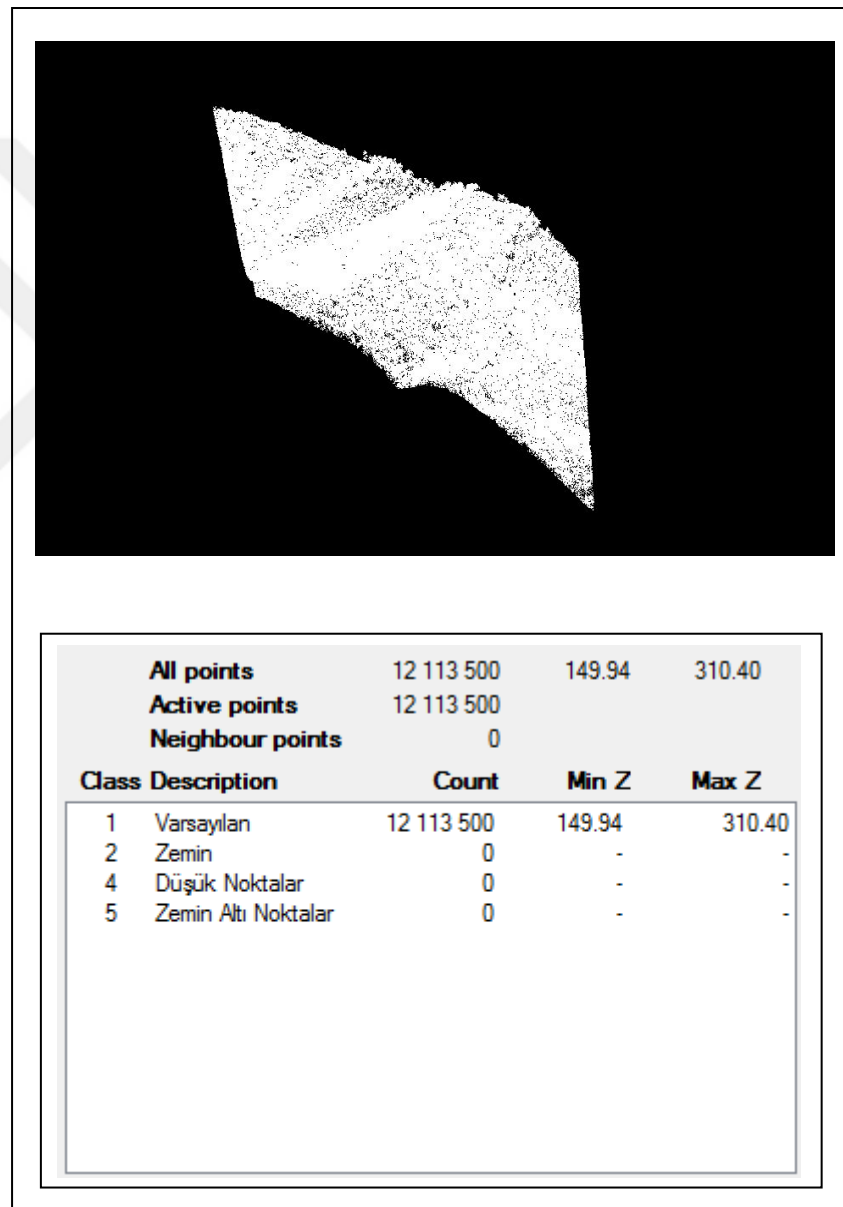
2 grid çözünürlüğü değeri filtreleme sonucunda çalışma alanı genelinde en kötü performansı göstermiştir. Özellikle dik yamaçlar fazlasıyla yumuşatılmış ve arazi gerçek karakteristiğini kaybetmiştir (Şekil 7.8). Üretilen arazi modelinin karesel ortalama hatası ± 18.29 m'dir.



Şekil 7.8. a)referans SAM b) 2 grid çözünürlüğü ile üretilen SAM

8.2 ATIN Algoritması ile Filtreleme

Kocaoğlanlı köyünün dik yamaçlı ve yoğun bitki örtüsünü kapsayan 28 ha'lık çalışma alanı için 12,113,500 adet lazer noktasından oluşan kısım, ATIN filtreleme algoritması ile filtrenmek üzere TerraScan'da bir proje oluşturulmuştur. Verideki mevcut tüm noktalar filtrenmeyip sınıflandırılmadığından default (varsayılan) sınıfındadır. Aynı zamanda verinin yükseklik değerleri minimum 149.94 m. ve maksimum 310.40 m. aralığındadır (Şekil 7.9).



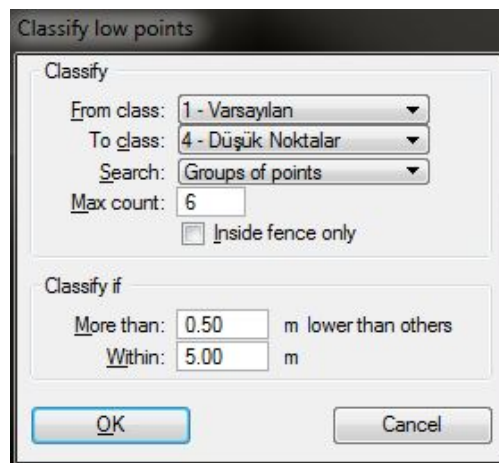
Şekil 7.9. Çalışma alanı işlenmemiş nokta bulutu verisi ve sınıflar

8.2.1 Filtreleme öncesi sınıfların belirlenmesi

Bu aşamada ATIN algoritması ile zemin noktalarını filtrelemek için öncelikle 4 ana nokta sınıfı hazırlanmıştır. İyi bir filtreleme yapabilmek için her sınıf birbirleri ile bağıntılı olacak şekilde ayarlanmalı ve parametreleri çalışma alanımıza göre belirlenmelidir. Parametreleri belirlemek için bölgeye ait ortofotolar, bölgenin topoğrafik durumu ve nokta bulutundan yapılan çıkarımlar ile değerlendirmeler yapılmıştır. Oluşturduğumuz her sınıf farklı renk kodları ile ifade edilmiştir.

8.2.1.1 Düşük noktaların filtrelenmesi

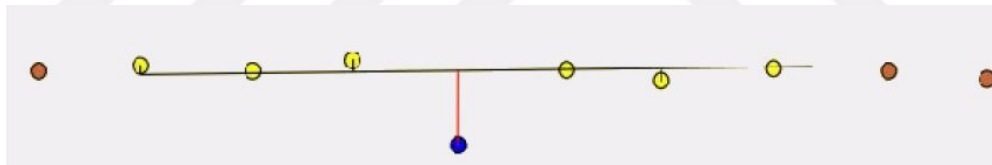
Genel olarak nokta bulutu içinde en düşük yüksekliğe sahip noktalar zemin noktaları olarak varsayılır. Ancak bazen yansımadan veya atmosferik nedenlerden dolayı nokta bulutu içine daha düşük yüksekliğe sahip hatalı noktalar olabilir. Gürültü noktaları olarak adlandırılan bu noktalar doğru bir model üretmek adına tespit edilip ayrı bir sınıfa atanması gerekmektedir. Bu filtre zemin seviyesinden çok daha düşük seviyedeki noktaları tespit etmek için kullanılmıştır. Uygulamada hatalı noktaları tespit etmek için arama parametrelerinde 5 m. yarıçaplı bir alan içinde zemin noktalarında 50 cm'den daha alçak noktalar aranmıştır (Şekil 7.10).Yapılan filtreleme sonucunda elimizde bulunan nokta bulutunda düşük nokta tespit edilmemiştir.



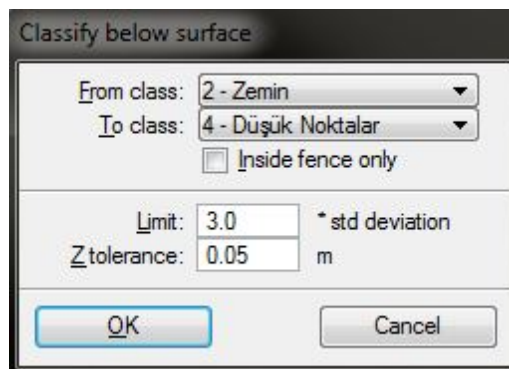
Şekil 7.10. Düşük noktaları filtreleme penceresi

8.2.1.2 Zemin yüzeyi altında kalan noktaların filtrelenmesi

Zemin noktaları filtrelendikten sonra gerçek zemin yüzeyi altında kalan noktaların tespiti için yüzey altı filtresi kullanılmıştır. Bu filtrede her nokta, etrafındaki en yakın komşu 25 nokta ile karşılaştırılır. Komşu noktalardan bir düzlem belirlenir ve noktalar ile düzlem arasındaki yükseklik farklarının standart sapması hesaplanır. Nokta, düzlemin üzerinde veya parametre değerlerinde belirtilen tolerans değerden daha aşağı seviyede ise aykırı olarak sınıflandırılmaz. Noktanın düzleme uzaklığı, standart sapmanın düzlemin altında programca belirtilen belirli bir limit değer ile çarpımından fazlaysa yüzey altı bir nokta olarak tanımlar ve düşük nokta sınıfına atar (Şekil 7.11) (TerraScan User Guide, 2016). Uygulamada parametre değerlerinde programca tavsiye edilen değerler dikkate alınarak limit değer standart sapmanın 3 katı, tolerans değer ise 5 cm. olarak belirlenmiştir (Şekil 7.12). Filtreleme sonucunda; 4° için 61, 6° için 55, 8° için 43, 10° için 45 yüzey altı nokta tespit edilmiş ve düşük nokta sınıfına atanıp zemin noktalarından ayrılmıştır.



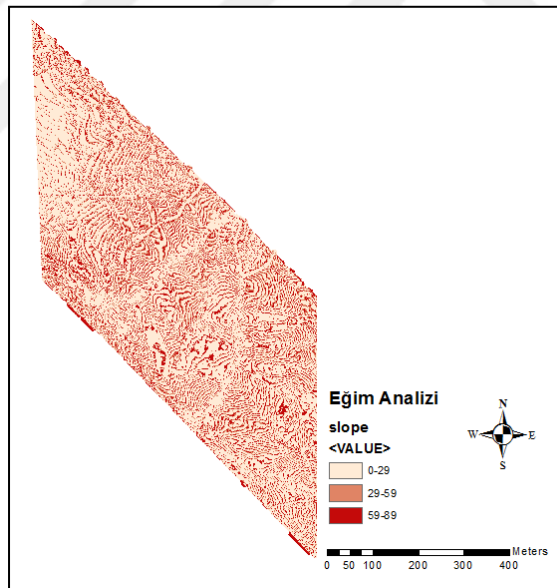
Şekil 7.11. Zemin yüzeyi altında kalan hatalı nokta (TerraScan User Guide, 2016)



Şekil 7.12. Zemin yüzeyi altında kalan noktaların filtreleme penceresi

8.2.2 ATIN algoritması ile filtreleme sonuçları

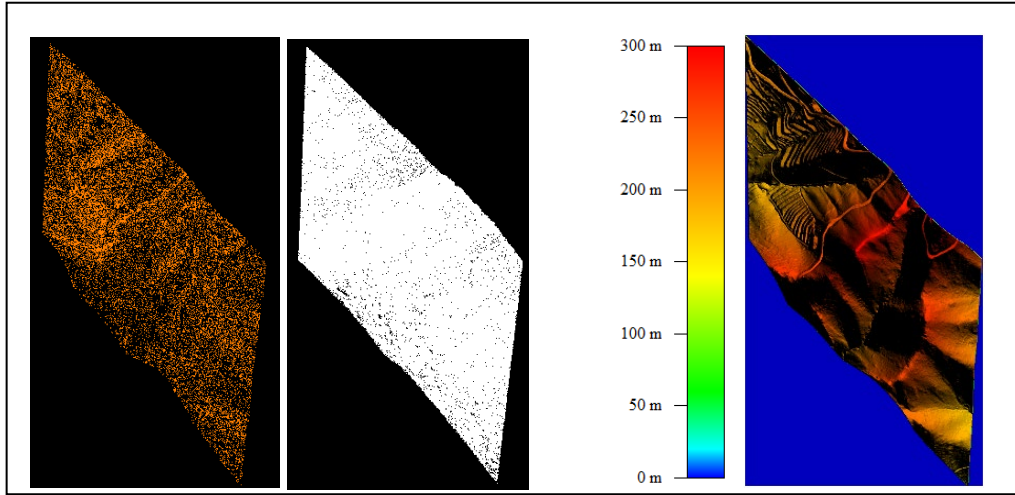
ATIN algoritması ile 12,113,500 adet işlenmemiş LiDAR nokta verileri filtrelenerek zemin ve zemin dışındaki noktalar ayrılmıştır. Bu aşamada iyi bir filtreleme yapabilmek için parametre değerleri, önerilen değer aralıkları ile birlikte çalışma alanımızın özellikleri incelenerek analiz edilmiştir. Zemin filtreleme parametresinde bulunan arazi açısı değerini belirlemek için ArcMap 10.5 yazılımında çalışma alanının eğim haritası oluşturulup incelenmiştir (Şekil 7.13). Filtreleme öncesi süreçte yapılan bu değerlendirmeler sonucunda bu çalışma alanı için maksimum bina boyutu 100, iterasyon mesafesi 1.40 m, arazi açısı 90° (en dik eğim) olarak ve iterasyon açısı sırasıyla 4° ,6° ,8° , 10° değerleri uygulanarak filtrelemeler yapılmıştır. Uygulama sonucunda zemin ve zemine ait olmayan noktalar ile üretilen SAM görsel sonuçları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



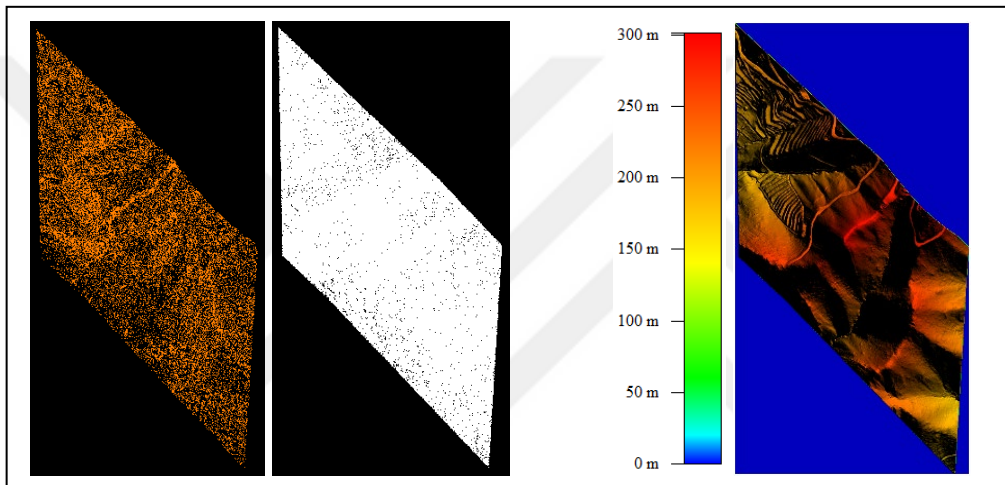
Şekil 7.13. Çalışma alanı eğim haritası

Çizelge 7.2. ATIN algoritması zemin filtreleme sonuçları.

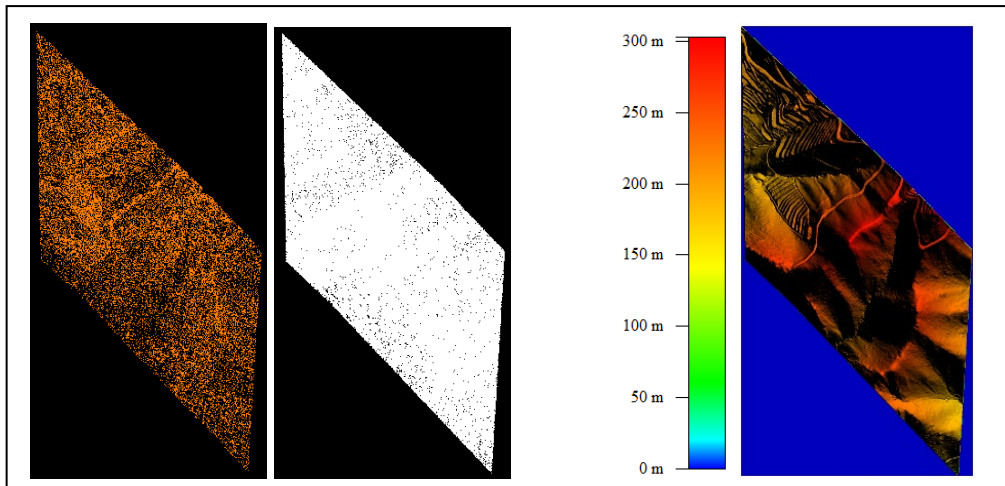
İterasyon Açısı	Filtrelenen Zemin Nokta Sayısı
4°	944,631
6°	1,154,848
8°	1,240,845
10°	1,294,566



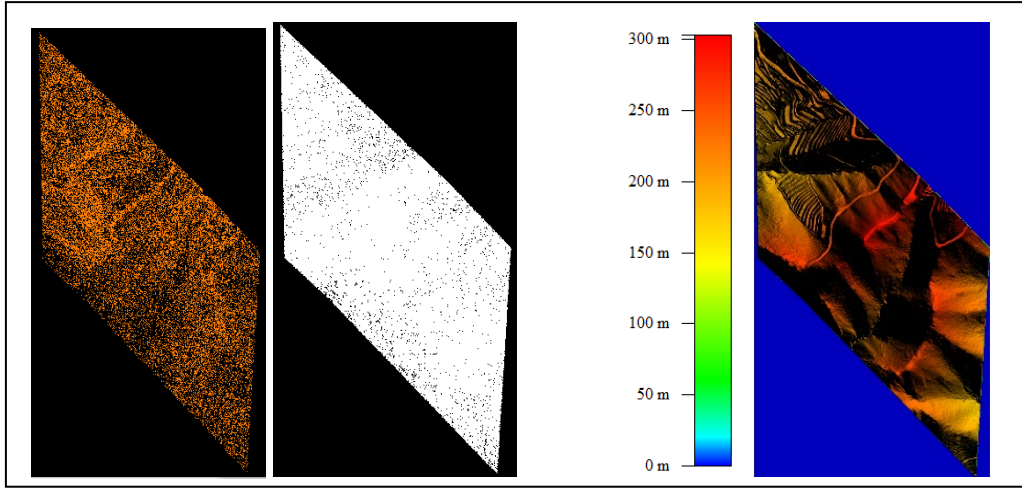
Şekil 7.14. 4° iterasyon açısı ile filtrelenen zemin noktaları, zemin dışı noktalar ve SAM



Şekil 7.15. 6° iterasyon açısı ile filtrelenen zemin noktaları, zemin dışı noktalar ve SAM



Şekil 7.16. 8° iterasyon açısı ile filtrelenen zemin noktaları, zemin dışı noktalar ve SAM

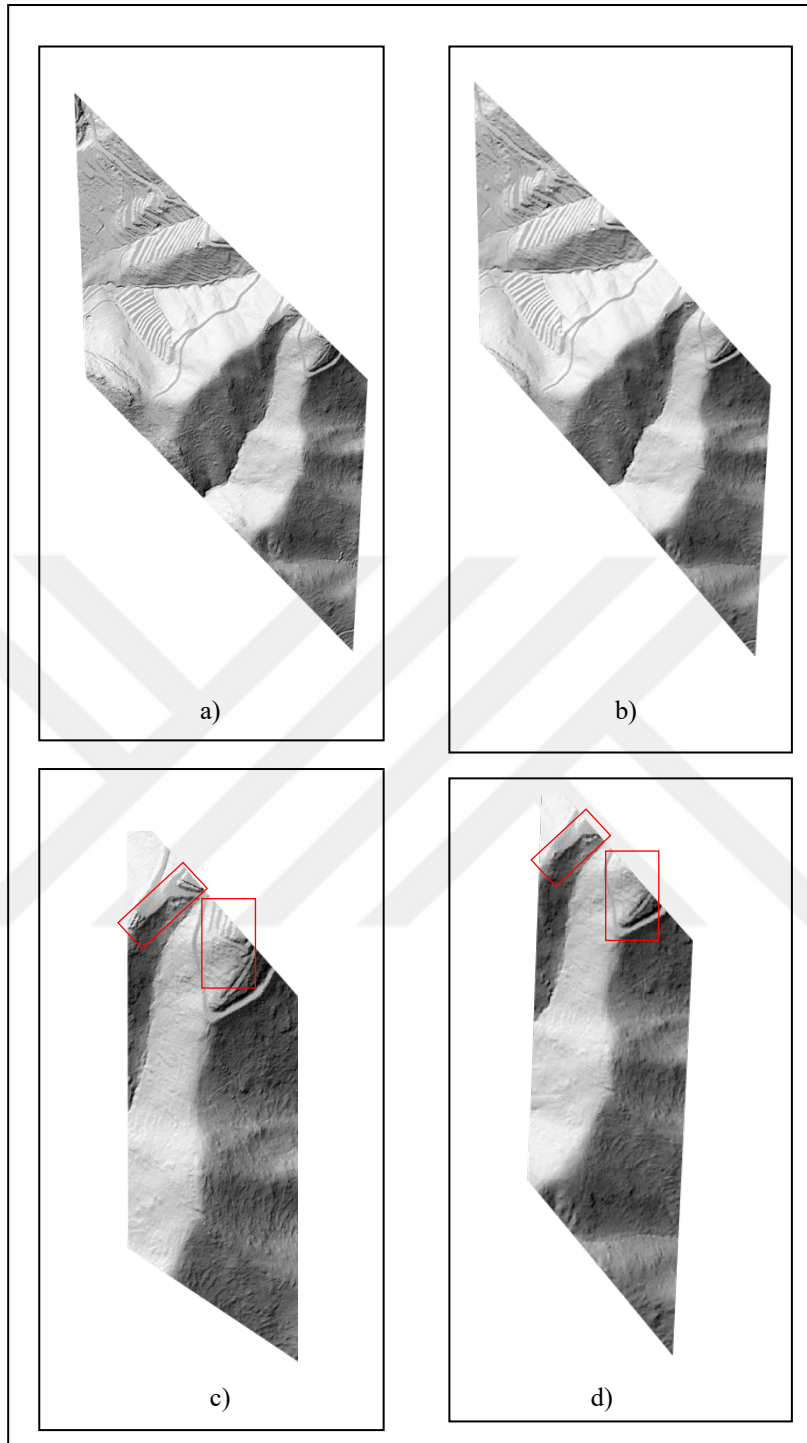


Şekil 7.17. 10° iterasyon açısı ile filtrelenen zemin noktaları, zemin dışı noktalar ve SAM

8.2.3 ATIN algoritması filtreleme sonuçları ile referans modelin karşılaştırılması

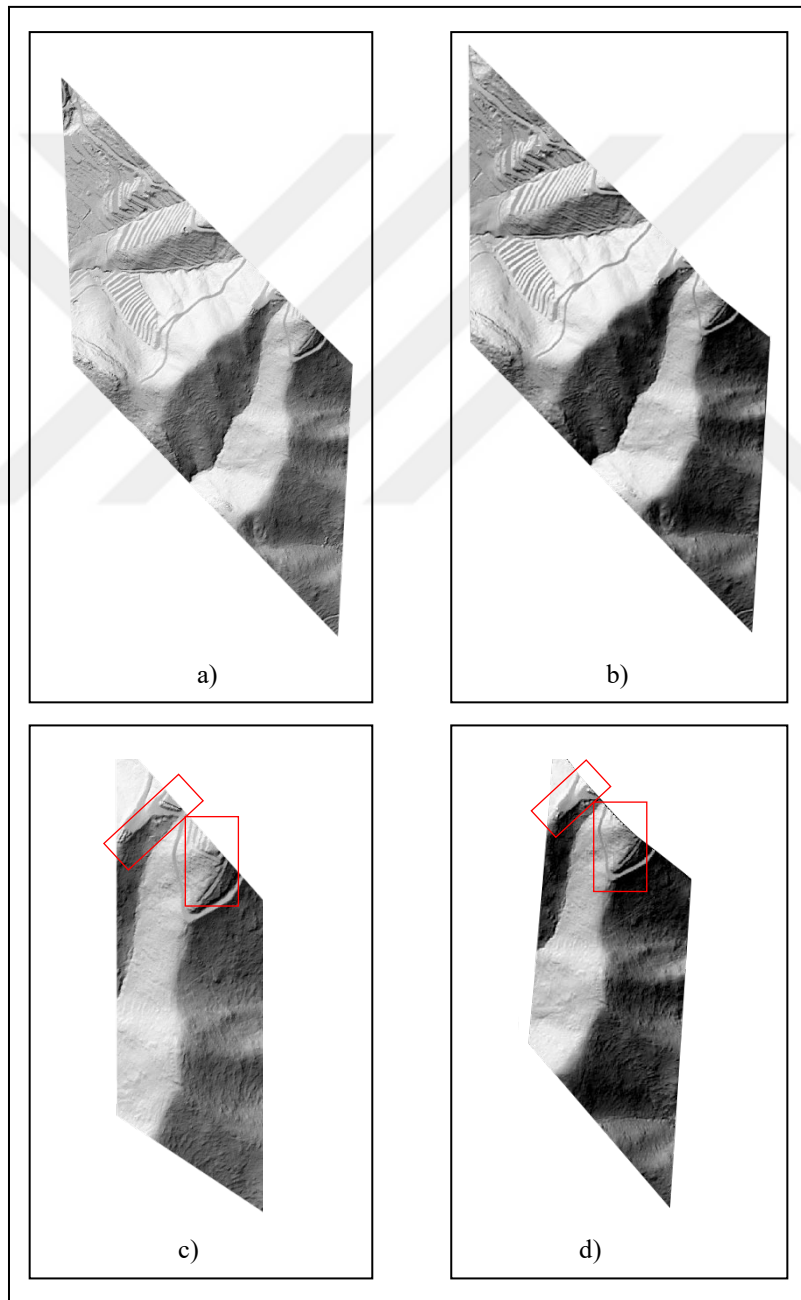
ATIN algoritmasında farklı parametre değerleri ile filtreleme sonucu üretilen arazi modellerini daha ayrıntılı incelemek için kabartmalı görünümde referans model ile karşılaştırılmıştır.

İlk olarak 4° iterasyon açısı değeriyle filtrelenen noktalardan üretilen modeli incelediğimizde, genel olarak arazi yüzeyini filtrelemede iyi bir performans göstermiştir. Bölgenin yoğun ağaçlık alanları altında kalan arazi yüzeyi ortaya çıkmıştır. Modelde çalışma alanındaki tüm binaların filtrelendiği görülmektedir. Ancak orta kısımlardaki dik yamaçta bulunan bina ile birlikte altında yapay olarak doldurulmuş zemin yüzeyini de düzleştirmiştir. Ek olarak çalışma alanının doğusunda kalan dik yamaç başındaki zemin yüzeyinde de düzleşmeler görülmektedir (Şekil 7.18). Üretilen modelin karesel ortalama hatası ise $\pm 29,64$ m'dir.



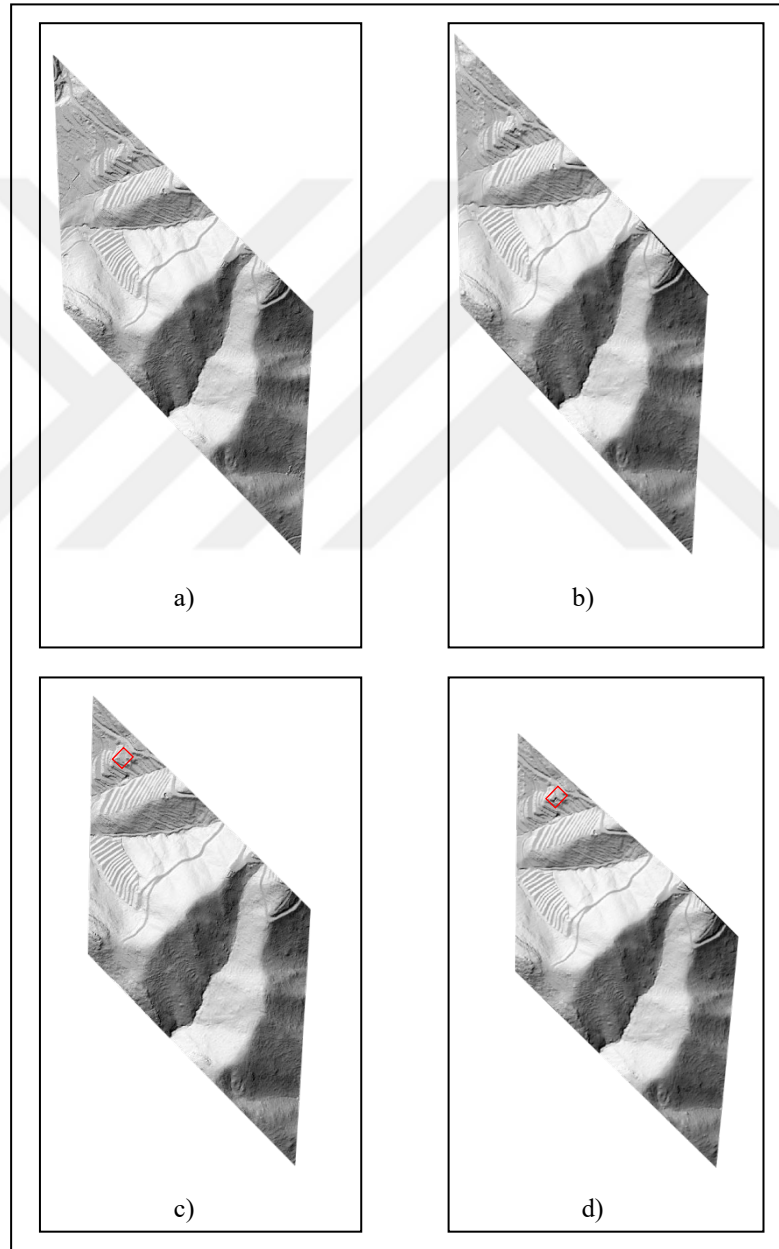
Şekil 7.18 . a)Referans SAM b) 4° iterasyon açığı değeriyle üretilen SAM c)Referans SAM filtrelenen objeler d) 4° iterasyon açığı değeriyle üretilen SAM filtrelenemeyen objeler

6° iterasyon açısı değeriyle filtrelenerek üretilen modeli incelediğimizde, çalışma alanındaki tüm binaların filtrelendiği görülmektedir. Çalışma alanının kuzeydoğu bölümünde dik yamaçta yer alan binayı filtreleyip bina altındaki doldurulmuş yapay zemini kısmen törpülemiştir. Ayrıca aynı bölgede diğer dik yamaçtaki zemin yüzeyi daha belirgindir. 4° iterasyon açısı değeri ile üretilen model ile kıyaslandığında daha iyi sonuçlar ortaya çıkmıştır (Şekil 7.19). Üretilen modelin karesel ortalama hatası ise $\pm 1,52$ m'dir.



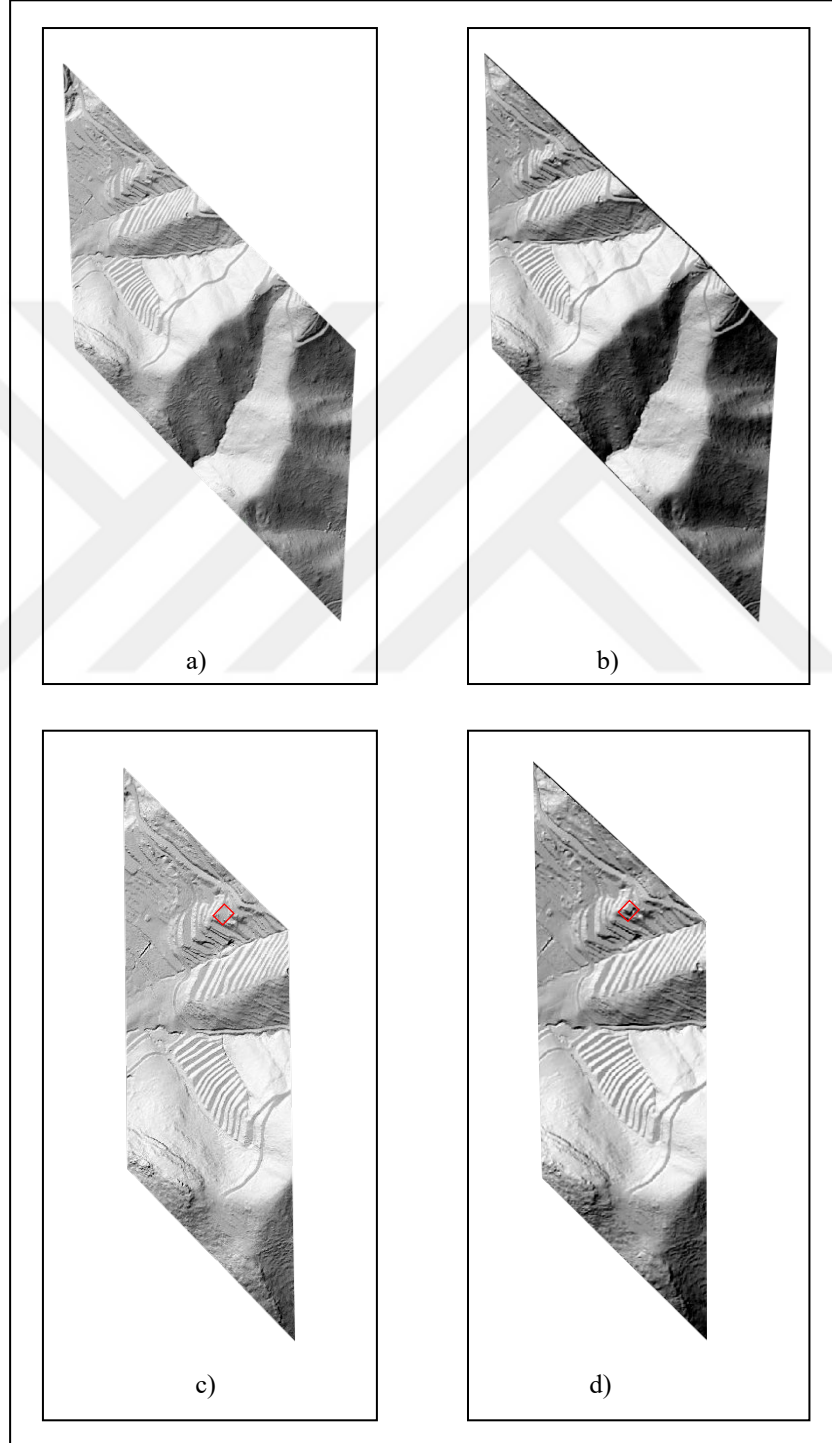
Şekil 7.19 . a)Referans SAM b) 6° iterasyon açısı değeriyle üretilen SAM c)Referans SAM filtrelenen objeler d) 6° iterasyon açısı değeriyle üretilen SAM filtrelenemeyen objeler

8° iterasyon açısı değeriyle filtrelenerek üretilen modeli incelediğimizde, çalışma alanı genel olarak yoğun ağaçlardan ve diğer objelerden temizlenmiştir. Bölgenin kuzeydoğusundaki tepede yer alan arazi karakteristiğini ve yapay olarak doldurulmuş zemini belirlemede 4° ve 6° iterasyon açısı değeri sonucunda üretilen modellere kıyasla daha başarılı olup referans yüzeye yakın sonuçlar görülmektedir. Ancak çalışma alanının kuzeybatısında tepe başında yer alan bir binayı filtreleyememiştir (Şekil 7.20). Üretilen modelin karesel ortalama hatası $\pm 0,21$ m'dir.



Şekil 7.20. a)Referans SAM b) 8° iterasyon açısı değeriyle üretilen SAM c)Referans SAM filtrelenen objeler d) 8° iterasyon açısı değeriyle üretilen SAM filtrelenemeyen objeler

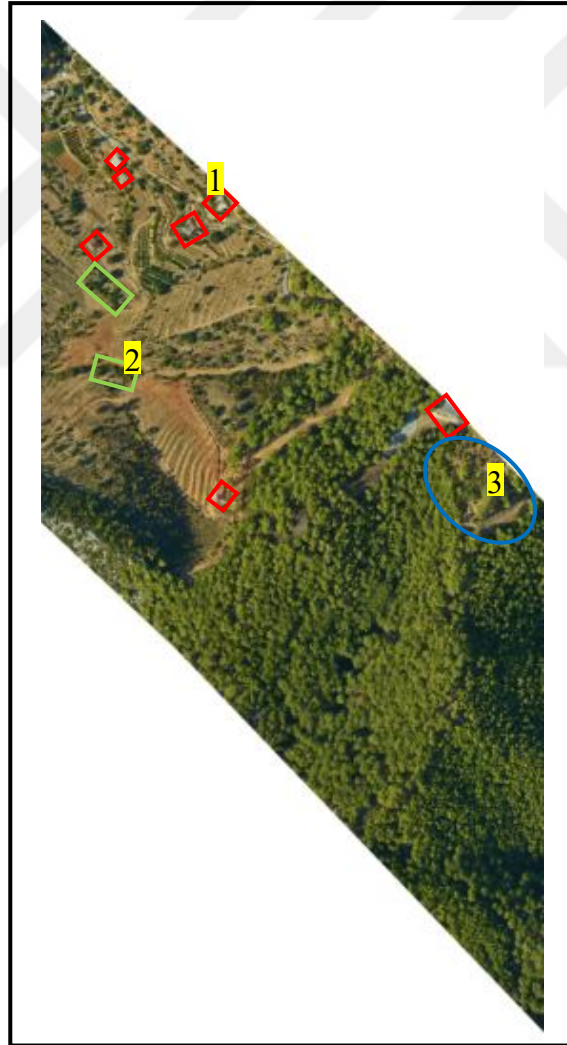
10° iterasyon açısı değeri ile üretilen model, 8° iterasyon açısı değeri ile üretilen model ile benzer sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Bölgede filtrelenmeyen bir bina bulunmaktadır. Zemin yüzeyi karakteristiğini belirlemede en başarılı sonuçlar ortaya çıkmıştır. Bu değerlendirmeler ile referans yüzeye en yakın sonuçlar görülmektedir (Şekil 7.21). Üretilen modelin karesel ortalama hatası $\pm 0,20$ m'dir.



Şekil 7.21 . a)Referans SAM b) 10° iterasyon açısı değeriyle üretilen SAM c)Referans SAM filtrelenen objeler d) 10° iterasyon açısı değeriyle üretilen SAM filtrelenemeyen objeler

8.3 CSF ve ATIN Algoritmalarının Filtreleme Sonuçlarının Değerlendirilmesi

CSF ve ATIN filtreleme algoritmaları ile yaptığımız uygulama sonuçlarını değerlendirdiğimizde, iki algoritma için çalışma alanının orta bölümlerinde yer alan yoğun ormanlık alanların genel olarak (CSF algoritması 2 grid çözünürlüğü dışında) iyi bir şekilde filtrelendiği görülmektedir. Ancak her parametre değeri için filtreleme sonuçlarını kabartmalı haritalardan detaylı olarak gözlemlediğimizde çalışma alanının belirli bölgelerinde binaların filtrelenmediği, ağaç topluluklarının kaldırılmadığı ve arazi yüzeyinde düzleşmelerin olduğu görülmektedir. Çalışma alanındaki bu bölgeler Şekil 7.22'de işaretlenmiştir.



Şekil 7.22 . Çalışma alanındaki bölgeler, 1) binalar 2) ağaç toplulukları 3) zemin yüzeyi

Şekil 7.22'de işaretlediğimiz bölgelerde filtreleme sonuçlarının etkileri gözlemlenmiştir. Çizelge 7.3 ve 7.4'te CSF ve ATIN algoritmalarının filtreleme sonuçları ve bu bölgelere göre etkileri ifade edilmektedir.

Çizelge 7.3. CSF algoritması filtreleme sonuçları ve Şekil 7.22'deki bölgelere etkisi

Grid Çözünürlüğü Değeri	Filtrelenen Zemin Nokta Sayısı	Karesel Ortalama Hata (KOHZ) (m)	Filtrelenen Bina Sayısı (1)	Ağaç Topluluklarında Filtreleme (2)	Zemin Yüzeyinde Düzleşme (3)
0.2	5,529,470	± 0.47	1	filtrelenemedi	düzleşme yok
0.3	5,419,973	± 0.52	2	filtrelenemedi	düzleşme yok
0.4	5,328,275	± 0.44	4	kısmen filtrelendi	düzleşme yok
0.5	5,218,743	± 0.34	4	kısmen filtrelendi	düzleşme yok
1	4,152,422	± 0.68	6	Kısmen filtrelendi	düzleşme yok
2	1,368,301	± 18.29	bozuk model	bozuk model	bozuk model

Çizelge 7.4. ATIN algoritması filtreleme sonuçları ve Şekil 7.22'deki bölgelere etkisi

İterasyon Açısı Değeri	Filtrelenen Zemin Nokta Sayısı	Karesel Ortalama Hata (KOHZ) (m)	Filtrelenen Bina Sayısı (1)	Ağaç Topluluklarında Filtreleme (2)	Zemin Yüzeyinde Düzleşme (3)
4°	944,631	± 29.64	7	filtrelendi	düzleşme var
6°	1,154,848	± 1.52	7	filtrelendi	kısmen var
8°	1,240,845	± 0.21	6	filtrelendi	düzleşme yok
10°	1,294,566	± 0.20	6	filtrelendi	düzleşme yok

Uygulama sonuçlarını incelediğimizde dik yamaçların, yoğun bitki örtüsünün ve binaların bulunduğu çalışma bölgemizde ATIN algoritması ile daha doğru bir filtreleme işlemi ve daha düşük karesel ortalama hata değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. Uygulama sonuçlarını çalışma bölgemize benzer yerlerde yapılan çalışmalar ile değerlendirdiğimizde, Varlık ve Uray (2017) beş farklı bölgeye ait nokta verileri ile yaptıkları çalışmalarında fazla eğimli, tepe üzerinde binaların ve bitki örtüsünün bulunduğu arazi tipinde ATIN algoritması ile filtreleme sonucu ürettikleri SAM 'da eğimin fazla olduğu yerlerde iyi bir filtreleme yapıldığını gözlemlemişlerdir. Ancak yamaçlar ile bütünleşik binaların bir kısmı filtrelenememiş ve yol kenarındaki dik şevlerin bir kısmı tespit edilememiştir. Ürettikleri modelin karesel ortalama hatası ±1.10 m. olmuştur. Nehir, düzlükleri ve kademeli olarak artan yamaçları içeren bölgede ATIN algoritması ile yaptıkları filtreleme sonucu oluşturdukları SAM'da ise kademeli olarak artan yamaçta nokta kaybı görülmemiştir. Bölgede tepe üzerinde

bulunan bina filtrelenirken, bitki örtüleri tam olarak kaldırılmamıştır. Bu bölge için ürettikleri modelin karesel ortalama hatası ± 0.73 m. olmuştur. LiDAR verilerinin filtrelenmesinde farklı algoritmaları inceleyen Doğruluk ve ark. (2018) zemin dışı objeleri bulunduran kırsal bir çalışma alanında en düşük karesel ortalama hata değerini ATIN algoritması ile yaptıkları filtreleme sonucunda ± 0.139 m. bulmuşlardır. Kırsal bir çalışma alanı ile yerleşim alanını içeren bir çalışma bölgesinde filtreleme algoritmalarını test eden Süleymanoğlu ve Soyca (2017) her iki bölge için ATIN algoritması ile yaptıkları filtreleme sonucunda daha başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. ATIN algoritması ile elde ettikleri karesel ortalama hata değerleri, kırsal alanlarda ± 0.35 m. yerleşim alanlarında ise ± 0.51 m. olarak bulunmuştur. ATIN algoritması ile elde ettiğimiz filtreleme sonuçları yapılan çalışmalar ile benzer nitelikte olup daha başarılı sonuçlar verdiğini desteklemiştir.

CSF algoritması büyük boyuttaki nokta verilerini hızlı bir şekilde işlemesi yönünden dikkat çekicidir. Bununla ilgili olarak, Asghar'ın (2017) Batı Kanada'da dik yamaçları, yoğun bitki örtüsünü ve binaları içeren çalışma bölgesinde, İHA tabanlı nokta verileri ile yaptığı filtreleme işleminde CSF algoritması diğer algoritmalarla benzer şekilde bitki örtüsünün, düşük nesnelere ve binaların filtrelenmesinde bazı hatalar göstermiştir. Ancak zorlu bir arazi yüzeyine ait 50 milyondan fazla nokta verisini işlemesi ve hesaplama hızı bakımından diğer algoritmalarla göre başarısı vurgulanmıştır. Untoro ve ark. (2018) çeşitli özellikler gösteren topografyaya sahip Endonezya'da Piyungan, Srimulyo bölgesindeki çalışma alanında İHA kaynaklı SYM'den CSF algoritması ile filtreleme işlemi gerçekleştirerek SAM üretmişlerdir. Grid çözünürlüğü değerlerini artırarak (0.5, 1 ve 2) yaptıkları filtreleme sonucunda uygulama sonucumuza benzer olarak azalan sayıda zemin noktası üretmişlerdir. Giderek artan grid çözünürlüğü değeri ile ürettikleri modellerde bozulmalar gözlemlenmişler ve hata değerleri grid çözünürlüğü değeri arttıkça artmıştır. Polat'ın (2019) yılında farklı tipteki objeleri içeren İstanbul ili Bahçelievler ilçesine ait bir yerleşim alanında LiDAR verilerinden CSF algoritması ile SAM üretmiştir. Referans arazi modeli ile karşılaştırdıkları SAM'ın karesel ortalama hatasını ± 0.11 m. civarlarında bulmuşlardır. Benzer çalışmalar ile uygulama sonuçlarımızı değerlendirdiğimizde CSF algoritması ile elde edilen sonuçlar parametrelere ve çalışma bölgesine göre değişebilmektedir.

9 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Geniş alanlarda hava LiDAR teknolojisinden yararlanılarak SAM'ın elde edilmesi birçok avantajı ile ön plandadır. Özellikle ülkemizdeki gibi yoğun bitki örtüsüne sahip ve eğimin yüksek olduğu alanlarda ya da ulaşım riskinin bulunduğu bölgelerde klasik yöntemlerle yapılan çalışmalar hız, zaman ve güvenlik yönünden olumsuz etkilenmektedir. Ayrıca yoğun bitki örtüsünün olduğu alanlarda doğru bir zemin yapısına ulaşabilmek her zaman mümkün olmayabilir. LiDAR teknolojisi yüksek nokta sıklığı sağladığından bu tür arazilerde yapılan çalışmalarda nadir görülebilen yüzey şekillerini yüksek doğrulukla belirleyebilmektedir. LiDAR nokta verilerinin işlenmesi süreci üretilecek bir SAM için önemlidir. Bu süreç içerisinde arazi modelini oluşturacak zemin noktalarının diğer noktalardan ayrılması için birçok filtreleme algoritması geliştirilmiştir.

Bu çalışmada yoğun bitki örtüsünden ve dik yamaçlardan oluşan zorlu bir arazi yüzeyinde, işlenmemiş hava LiDAR verileri ile SAM üretmek için ATIN ve CSF algoritmalarının zemin noktalarını filtrelemedeki performansları araştırılmıştır. Her iki algortmada farklı filtreleme mantığına dayanarak LiDAR verilerinde işlem yapmaktadır. Farklı filtreleme teknikleri kullanan her iki algoritma ile zemin noktalarını filtreleme ve SAM üretmedeki performansları test edilmiştir. Uygulama sonucunda elde edilen Sayısal Arazi Modellerinin doğruluklarını test etmek için referans olarak kullandığımız arazi modeli ile yükseklik farklarından Karesel Ortalama Hataları hesaplanmıştır. Ayrıca sonuçların görsel olarak analizi için üç boyutlu kabartmalı haritalar oluşturularak incelenmiştir.

CSF algoritması ile 12,113,500 adet nokta hava LiDAR verisi ile başladığımız uygulamada çalışma alanı sık ağaçlardan ve eğimli bölgelerden oluştuğu için algoritmanın filtreleme parametrelerinde arazi tipi dik yamaçlı olarak seçilmiştir. Gelişmiş parametreler olarak tanımlanan değerlerde ise sınıflandırma eşik değeri 0.5, maksimum yineleme sayısı 1000 alınarak farklı grid çözünürlüğü değerleri ile (0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1, 2) filtreleme yapılmıştır. Algoritma her grid çözünürlüğü değerinde giderek azalan sayıda zemin noktası belirlemiştir. Filtreleme sonuçları için arazi yüzeyi üç boyutlu kabartmalı haritalardan incelendiğinde, grid çözünürlüğü parametresi 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, ve 1 değerleri alınarak oluşturulan arazi modellerinde dik yamaçların bulunduğu yoğun bitki örtüsüne sahip alanlarda genel olarak iyi bir filtreleme

göstermiştir. Ancak çalışma bölgesinin kuzeybatı bölgesinde yer alan binalar ile yamaç başlangıcındaki ağaç topluluğunu filtrelemede benzer sonuçlar gösterip başarılı olunamamıştır. 0.2 grid çözünürlüğü değeri en fazla zemin noktasına sahiptir ancak çalışma alanının kuzeybatısında bulunan hiçbir binayı filtreleyememiştir. Bu değerle üretilen modelin karesel ortalama hatası ± 0.47 m'dir. Devamında 0.3 grid çözünürlüğü değeri ile oluşturulan arazi modeli 0.2 grid çözünürlüğü değerinden üretilen arazi modelinden farklı olarak kuzeybatı bölgesinde bir bina filtrelemiş ancak alanın kuzey bölümündeki dik yamaçta kısmen düzleşmeler yapmıştır. 0.3 grid çözünürlüğü ile üretilen modelin karesel ortalama hatası ± 0.52 m olarak hesaplanmıştır. 0.4 ile 0.5 değerleri ise birbirleri ile benzer sonuçlar ortaya çıkarmış, kuzeybatı bölgesindeki binaların bir kısmını filtrelemişlerdir. Her iki değerle de yamaç başlangıcında bulunan ağaç topluluğunu filtrelemede daha iyi sonuçlar görülsede zemin karakteristiğini tam olarak belirleyememişlerdir. 0.4 ile 0.5 grid çözünürlüğü değeri ile üretilen arazi modellerinin karesel ortalama hataları sırasıyla; ± 0.44 m. ile ± 0.34 m'dir. 1 grid çözünürlüğü değeri ile oluşturulan SAM çalışma bölgesinin kuzeybatı bölgesinde bulunan bir bina haricinde diğer binaları filtrelemede en başarılı sonucu vermiştir. Ancak bölgenin güney kısmında arazi yapısı tam olarak tespit edilememiş ve yüzeyde düzleşmeler görülmüştür. 1 grid çözünürlüğü değeriyle üretilen modelin karesel ortalama hatası ± 0.68 m. olarak hesaplanmıştır. 2 grid çözünürlüğü değeri ile üretilen arazi modeli diğer değerlerle kıyasla en kötü performansı göstermiştir. Çalışma alanındaki dik yamaçlar fazlasıyla düzleştirilmiş arazinin doğal yapısı bozulmuştur. Bu değerle üretilen modelin karesel ortalama hatası ± 18.29 m. olarak hesaplanmıştır. Genel ifadeyle, 2 grid çözünürlüğü haricindeki tüm değerler çalışma alanının orta bölümünde yer alan yoğun bitki örtüsünü kaldırmada iyi bir sonuç göstermiştir. Ancak kuzeybatı bölümünde yer alan binaları filtrelemesinde tüm değerler için başarılı bir sonuç gözlemlenememiştir. Bu değerler arasında binaları filtrelemede 1 grid çözünürlüğü değeri en iyi sonucu göstermiştir.

CSF algoritması ile farklı değer aralıkları ile yaptığımız filtreleme sonucunda grid çözünürlüğü parametresinin zemin noktalarını filtrelemede etken olduğunu ortaya çıkmıştır. Uygulama sonuçlarında görüldüğü gibi bu algorithmada grid çözünürlüğü değeri ardışık olarak arttıkça filtrelenen zemin nokta adedi azalmakta, kaba ve hatalı bir topoğrafya oluşmaktadır. Özellikle 2 grid çözünürlüğü değerinde üretilen arazi modelinde görülüşüğü gibi daha az zemin noktası belirlenmiş ve üretilen SAM'ın

genelinde bozulmalar meydana gelmiştir. Bu bağlamda CSF algoritmasında dik ve eğimli arazilerde daha fazla zemin noktası belirlemek ve doğru bir arazi modeli üretebilmek için grid çözünürlüğü (Cloth Resolution) parametresinde daha düşük değerler kullanılmalıdır. Daha düz arazi tipi için ise daha yüksek değerler uygun olabilir.

ATIN algoritması ile zemin noktalarının filtrelenmesi için ilk olarak 4 ana nokta sınıfı hazırlanmıştır. Bu sınıflandırma ile 12,113,500 adet işlenmemiş nokta ilk olarak varsayılan sınıfına atanmıştır. Zemin noktalarından daha aşağı seviyede olabilecek hatalı noktaları bulabilmek için düşük nokta sınıfı, zemin sınıflandırması yapıldıktan sonra gerçek zemin yüzeyinin altında kalan noktaları bulmak için ise zemin altı noktalar sınıfı oluşturulmuştur. Bu sınıflar daha doğru bir zemin filtrelemesi ve model üretimi adına belirlenmiştir. Zemin sınıfında filtreleme parametreleri için maksimum eğim 90° , maksimum bina boyutu 100 m. ve iterasyon mesafesi 1.40 m. olarak sabit alınmak üzere, 4° , 6° , 8° , 10° farklı iterasyon açıları sırasıyla uygulanarak filtreleme yapılmıştır. Her filtreleme sonucunda zemin noktası olmayan ve modelde bozulmalara sebep olabilecek noktalar düşük nokta sınıfına atanmış ve model oluşturmada zemin noktalarından ayrılmıştır. Filtreleme sonuçları incelendiğinde her iterasyon değerinde farklı sayıda zemin noktası belirlenmiştir. İterasyon açısının düzenli olarak arttığında üretilen zemin nokta sayısının da arttığı görülmüştür. Tüm değerler dik yamaçların bulunduğu yoğun bitki örtüsüne sahip alanlarda genel olarak iyi bir filtreleme göstermiş ve arazi karakteristiğini başarılı biçimde ortaya çıkarmıştır. Ancak daha detaylı bir gözlem için üç boyutlu kabartmalı haritalarını oluşturduğumuz arazi modellerini incelediğimizde, 4° ve 6° iterasyon açısı değeriyle üretilen modellerin çalışma alanındaki tüm binaları filtrelediği sadece bölgenin kuzeydoğusundaki dik yamaçta bulunan zemin yüzeyini düzleştirdiği ve arazi yüzeyini tam olarak tespit edemediği görülmektedir. Zemindeki düzleşmenin etkisi 4° iterasyon açısı değeri için daha fazladır. 8° ve 10° iterasyon açısı değerleri ile üretilen modellerde ise benzer sonuçlar görülmektedir. Bu iki değer için bölgede filtrelenmeyen bir bina bulunmaktadır. Ancak 4° ve 6° iterasyon açısı değerleri ile kıyaslandığında çalışma alanının kuzeydoğusunda belirlenemeyen ve düzleştirilen arazi yüzeyi 8° ve 10° iterasyon açısı değerlerinde en iyi sonucu vermiştir. Üretilen modellerin Karesel Ortalama Hata (KOH) cinsinden yükseklik doğrulukları 4° iterasyon açısı değeri için $\pm 29,64$ m. iken 6° iterasyon açısı değeri için $\pm 1,52$, 8° için $\pm 0,21$ m. ve 10° iterasyon açısı değeri için $\pm 0,20$ m. bulunmuştur. Bu sonuçlara göre

iterasyon açısı değeri arttığında KOH değeri azaldığı dolayısıyla hem görsel hem de doğruluk bakımından daha iyi sonuçlar ortaya çıktığı görülmüştür. Bu değerlendirme sonuçlarına göre ATIN filtreleme algoritmasında, görsel ve doğruluk bakımından 8° ve 10° iterasyon açısı değerleri ile çalışma alanımız için en iyi SAM üretildiği sonucuna varılmıştır.

ATIN algoritması ile yaptığımız filtreleme sonucunda iterasyon açısı değeri parametresinin zemin noktalarını filtrelemede etken olduğu ortaya çıkmıştır. Maksimum eğimin 90° 'lere ulaştığı çalışma bölgemizde iterasyon açısı değeri arttıkça daha fazla zemin noktası belirlendiği sonucuna varılmıştır. Bu nedenle eğimin yüksek olduğu arazi tipinde daha yüksek değerde iterasyon açısı kullanılması önerilmektedir.

ATIN ve CSF algoritmaları ile farklı parametrelerle yaptığımız filtreleme ve SAM üretimi sonucunda, ATIN algoritması ile oluşan modeller daha düşük karesel ortalama hata değerlerine sahip olup daha fazla obje filtrelemiştir. Ancak detaylı olarak incelendiğinde az da olsa arazi yüzeyinde hatalar bulunmaktadır. Dolayısıyla her iki algoritma için yaptığımız filtreleme sonuçlarında en iyi sonuçta bile kaldırılamayan objeler görülmektedir. Bu sonuç filtreleme sonrasında arazi yüzeyinin ortofotolar ile detaylı analizi yapılarak objelerin manuel olarak filtrelenmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Ayrıca bina gibi daha yüksek yapıların kaldırılabilmesi için algoritmaların çalışma alanındaki yapılara göre daha fazla öznelik bilgisi içeren parametrelerle donatılması daha verimli sonuçları ortaya çıkartabilir.

KAYNAKLAR

- Ağca, M. ve Popescu, S. C., 2012, HAVASAL LİDAR VERİLERİ İLE BİTKİ ÖRTÜSÜNÜN YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE HARİTALANMASI. IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012). Zonguldak.
- Altınışik, S., 2012, AIRBORNE LİDAR TEKNOLOJİSİ İLE SAYISAL HARİTA ÜRETİMİ VE ŞIRNAK ÖRNEĞİ, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4 (3), 16-22.
- ArcMAP, 2019, <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/storing-LiDAR-data.htm>:
- ASPRS, 2019, http://www.asprs.org/a/society/committees/LiDAR/LiDAR_format.html:
- Asghar, U. 2017, LANDSLIDE MAPPING FROM ANALYSIS OF UAV-SFM POINT CLOUDS, A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF, Master Of Applied Science, *The University Of British Columbia, B.Sc.E, University of Engineering and Technology, Peshawar, 2010.*
- Atay, İ., 1986, Sivil Kültürde Yangın Kültürü, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 36 (4), 63-70.
- Axelsson, P., 1999, Processing of laser scanner data—algorithms and applications, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54, 138–147.
- Axelsson, P., 2000, DEM Generation from laser scanner data using adaptive TIN models, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33 (110-117).
- Birdal, A. C., Avdan, U. ve Türk, T., 2016, İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE ELDE EDİLEN VERİLERDEN AĞAÇ YÜKSEKLİKLERİNİN TAHMİN EDİLMESİ. 6. UZAKTAN ALGILAMA-CBS SEMPOZYUMU (UZAL-CBS 2016). Adana.
- Civelekoğlu, B. 2015, Hava LiDAR Verilerinin Sınıflandırılması Ve Orman Ağaçlarına Ait Özniteliklerin Değerlendirilmesi İstanbul Belgrad Ormanı Örneği, *YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ*.
- Crane, B. M., Clayton, T., Raabe, E., Stoker, J., Handley, L., Bawden, G., Morgan, K. ve Queija, V., 2002, Report of the U.S. Geological Survey LiDAR Workshop Sponsored by the Land Remote Sensing Program and held in St. Petersburg, FL, November 2002, 04-106.
- 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. İstanbul: ss.x-x.
- Doğruluk, M., Aydın, C. C. ve Yanalak, M., 2018, Kırsal Alanlarda SYM Üretiminde Filtreleme Yöntemlerinin Performans Analizi: Hava LiDAR Uygulaması; İstanbul Örneği, *Geomatik*.
- Duran, C. ve Üstündağ, Ö., 2008, Mekansal Analizlerde Hava LiDAR (Light Detection And Ranging) Verilerinden Yararlanma Olanakları, *e-Journal of New World Sciences Academy Social Sciences*, 3 (C0068), 453-463.
- Fernandez-Diaz, J. C., Carter, W. E., Shrestha, R. L. ve Glennie, C. L., 2014, Now You See It... Now You Don't: Understanding Airborne Mapping LiDAR Collection and Data Product Generation for Archaeological Research in Mesoamerica, *Remote Sensing*, 6 (10), 9951-10001.

- Gatziolis, D. and Andersen, Hans-Erik., 2008, A Guide to LIDAR Data Acquisition and Processing for the Forests of the Pacific Northwest, *United States Department of Agriculture, General Technical Report PNW-GTR-768, Pacific Northwest Research Station.*
- Habib, A. Rens, J.V., (2007). "Quality Assurance and Quality Control of Lidar Systems and Derived Data". Advanced Lidar Workshop, University of Northern Iowa.
- H. A. Hashim, "Special Orthogonal Group SO(3), Euler Angles, Angle-axis, Rodriguez Vector and Unit-Quaternion: Overview, Mapping and Challenges." arXiv preprint arXiv:1909.06669, 2019.
- Jura, M., 2019, Automatic analysis of video content in the process of monitoring of industrial facilities, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 679.
- KARASAKA, L , KELEŞ, S . (2020). CSF (Cloth simulation filtering) Algoritmasının Zemin Noktalarını Filtrelemedeki Performans Analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* , 20 (2) , 267-275
- Küçük, Ö., Bilgili, E., Durmaz Dinç, B., Sağlam, B. ve Baysal, İ., 2009, Örtü Yangının Tepe Yangınına Geçişine Etkili Olan Faktörler, *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 9 (2), 80-85.
- LAS-1.4, http://www.asprs.org/wp-content/uploads/2019/03/LAS_1_4_r14.pdf , (2019) lidar-uk, <http://lidar-uk.com/what-is-lidar/> ,2020
- Lindberg, E. ve Holmgren, J., 2017, Individual Tree Crown Methods for 3D Data from Remote Sensing, *Current Forestry Reports*, 3 (1), 19-31.
- Meng, X., Wang, L., Silván-Cárdenas, J. L. ve Currit, N., 2009, A multi-directional ground filtering algorithm for airborne LIDAR, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64 (1), 117-124.
- Meng, X., Currit, N. ve Zhao, K., 2010, Ground Filtering Algorithms for Airborne LiDAR Data: A Review of Critical Issues, *Remote Sensing*, 2 (3), 833-860.
- Meng, X. Lin, Y. Yan, L. Gao, X. Yao, Y. Wang, C. and Luo, S., 2019, Airborne LiDAR Point Cloud Filtering by a Multilevel Adaptive Filter Based on Morphological Reconstruction and Thin Plate Spline Interpolation, *Electronics 2019*, 8, 1153.
- Polat. N., 2019, LiDAR verilerinin CSF algoritmasıyla filtrelenmesi ve Sayısal Arazi Modeli üretimi, *Türkiye LİDAR Dergisi*, 1(1), 21-25.
- Popescu, S. C., Zhao, K., 2008, A voxel-based lidar method for estimating crown base height for deciduous and pine trees. *Remote Sensing of Environment*, 112, 767-781.
- Provot, X., 1995, Deformation Constraints in a Mass-Spring Model to Describe Rigid Cloth Behaviour, *Institut National de Recherche en Informatique et Automatique (IA)*, B.P. 105.
- Riegl Data Sheet VQ-580, 2015, http://www.riegl.com/uploads/tx_pxriegl/downloads/DataSheet_VQ-580_2015-03-23.pdf:
- Rossmann, J., Schluse, M., Bücken, A. ve Krahwinkler, P., 2007, USING AIRBORNE LASER SCANNER DATA IN FORESTRY MANAGEMENT: A NOVEL APPROACH TO SINGLE TREE DELINEATION. ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007, Espoo. Finland.
- Sánchez, J.M. Álvarez, A.V. Vilariño, D.L. Rivera, F.F. Domínguez, J.C. Pena, T.F. 2019, Fast Ground Filtering of Airborne LiDAR Data Based on Iterative Scan-Line Spline Interpolation, *Remote Sensing*, 11, 2256; doi:10.3390/rs11192256.

- Sithole, G. ve Vosselman, G., 2004, Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 59 (1-2), 85-101.
- Sulaiman, N. S., Majid, Z. ve Setan, H., 2010, DTM GENERATION FROM LiDAR DATA BY USING DIFFERENT FILTERS IN OPEN – SOURCE SOFTWARE, *Geoinformation Science Journal*, 10 (2), 89-109.
- Soycan, M., Tunahioğlu, N., Öcalan, T., Soycan, A., & 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.
- Süleymanoğlu, B., 2016. LiDAR Tekniği ile Elde Edilen Nokta Bulutların Sınıflandırılması ve Filtreleme Algoritmalarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 120
- Süleymanoğlu, B. ve Soycan, M., 2017, Hava LiDAR Verilerinde Kullanılan Filtreleme Algoritmalarının İncelenmesi. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı. Ankara.
- Şahin, B. Güzel, C. Baş, S. Türker, M., 2018, 3DETECTOR - LIDAR NOKTA BULUTU VERİSİNDEN OTOMATİK AĞAÇ KONUMU BELİRLEME SİSTEMİ, VII. UZAKTAN ALGILAMA-CBS SEMPOZYUMU (UZAL-CBS 2018), Eskişehir.
- Şen, A. Bayaslı, B., 2020, Hava Lidar verilerinin denetimsiz yapay sinir ağları kullanılarak filtrelenmesi, *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 8, 18-29.
- Şimşek. İ., 2020, SEL – TAŞKIN MODELLERİNDE HAVA LiDAR VERİLERİNİN KULLANIMI: ULUS ÇAYI ÖRNEĞİ , YÜKSEK LİSANS TEZİ, *SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ* , İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ.
- TerraScan User Guide, 2016, <https://www.terrasolid.com/download/tscan.pdf>
- Terrasolid, 2019, http://www.terrasolid.com/solutions/forest_inventory.php
- Untoro, M.A.S., Bustomi, A.F., Umarhadi, D.A., Dharmawan, R.D., 2018, Vertical Accuracy of a Ground Filtered UAV-derived DEM using Cloth Simulation Filtering Algorithm, *2018 4th International Conference on Science and Technology (ICST)*, Yogyakarta, Indonesia.
- Ussyshkin, V. ve Theriault, L., 2011, Airborne LiDAR: Advances in Discrete Return Technology for 3D Vegetation Mapping, *Remote Sensing*, 3 (3), 416-434.
- Varlık, A. ve Uray, F., 2017, Üçgenleme ve Enterpolasyon Temelli LiDAR Filtreleme Algoritmalarının Performans Analizi, *AKÜ FEMÜBİD 17 (2017) Özel Sayı*, 156-165. .
- Weil, J., 1986, The synthesis of cloth objects, *ACM Siggraph Comput. Graph.*, 20, 49-54.
- Yıldırım, A. ve Şeker, D. Z., 2006, Fotogrametrik harita üretiminde kullanılan görüntülerin maliyet analizi, *itüdergisi/d*, 5 (1), 83-90.
- Zhang, W., Qi, J., Wan, P., Wang, H., Xie, D., Wang, X. ve Yan, G., 2016, An Easy-to-Use Airborne LiDAR Data Filtering Method Based on Cloth Simulation, *Remote Sensing*, 8, 501.