



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAVA LİDAR NOKTA BULUTU VERİLERİ FİLTRELEME
ALGORİTMALARININ GELİŞTİRİLMESİ VE PERFORMANSLARININ
KARŞILAŞTIRILMASI

FIRAT URAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2016
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Fırat URAY tarafından hazırlanan “HAVA LİDAR NOKTA BULUTU VERİLERİ FİLTRELEME ALGORİTMALARININ GELİŞTİRİLMESİ VE PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması .../.../... Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Murat UYSAL

.....

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Abdullah VARLIK

.....

Üye

Prof. Dr. İbrahim KALAYCI

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Ahmet COŞKUN

F.B.E. Müdürü

Bu tez çalışması Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 161319007 nolu proje ile desteklenmiştir.

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

Fırat URAY

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAVA LİDAR NOKTA BULUTU VERİLERİ FİLTRELEME ALGORİTMALARININ GELİŞTİRİLMESİ VE PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

FIRAT URAY

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Abdullah VARLIK

2016, ix + 71 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. İbrahim KALAYCI

Doç. Dr. Murat UYSAL

Yrd. Doç. Dr. Abdullah VARLIK

Hava ve yersel lazer tarama tekniği son yirmi yılda mekânsal ölçmeler için tercih edilen bir ölçüm teknolojisi olmuştur. Sektördeki birçok firma hava ve yersel lazer tarama cihazlarını kullanmakta, veri toplama, işleme ve görüntüleme yazılımlarını geliştirmektedir. Yüksek kalitedeki 3 boyutlu nokta bulutu verisi Sayısal Arazi Modeli (SAM), 3 boyutlu kent modelleri, orman izleme ve yönetimi, şeritvari haritalama ve kültürel mirasların belgelenmesi gibi geniş çapta çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. LiDAR sistemlerinin maliyeti ve doğruluğu yersel ve fotogrametrik ölçüm metotlarıyla kıyaslanabilir durumdadır. Bu nedenlerden dolayı LiDAR, ölçme ve planlama uygulamaların temel bileşeni olan SAM üretilmesinde geniş çaplı olarak kullanılmaktadır. LiDAR kullanılan uygulamalarda hassas ve doğru bir SAM elde edilebilmesi amacıyla lazer sensörün kaydettiği verinin zemin noktası ya da zemine ait olmayan bir nokta mı olduğunun belirlenmesi için filtreleme gerekli bir işlemdir. Yükseklik farkının fazla ve değişken olduğu bölgelerde zemin ve obje verilerini ayırt etmek başlı başına bir problem kabul edilmektedir. Bununla beraber arazinin raster modeli hesaplanırken öncelikle zemin dışındaki objelere ait noktalar kaldırılırsa doğru SAM elde edilebilir. LiDAR'ın yaygınlaşmasıyla birlikte bu veri tiplerine ve filtreleme tekniklerine aşina olmayan kullanıcılar birçok zemin filtreleme algoritması içinden seçim yapmakta zorlanmaktadır. Genellikle arazi yüzeyinin uygun koşulları sağlaması durumunda bu filtreleme algoritmaları verimli şekilde çalışmaktadır. Bu tez çalışmasında Adaptive Triangulated Network (ATIN) ve Morfolojik temelli filtreleme algoritmaları ile tez kapsamında geliştirilen Uyarlanmış Üçgenleme Filtresi ve Enterpolasyon temelli algoritma ile oluşturulan filtreleme metotlarının performans analizi ve birbirleri ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Filtreleme algoritmaları, Fotogrametri, Lidar, Morfolojik filtre, Uzaktan algılama, Üçgenlenmiş düzensiz ağ.

ABSTRACT

MS THESIS

**IMPROVING OF AIRBORNE LIDAR POINT CLOUD DATA FILTERING
ALGORITHMS AND PERFORMANCE COMPARISON**

Firat URAY

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL SCIENCE OF NECMETTIN
ERBAKAN UNIVERSITY**

THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN SURVEY ENGINEERING

Advisor: Asst. Prof. Abdullah VARLIK

2016, ix + 71 Pages

Jury

**Prof. İbrahim KALAYCI
Assoc. Prof. Murat UYSAL
Asst. Prof. Abdullah VARLIK**

Within last two decades airborne and terrestrial laser scanning systems have become ingrained survey technologies for obtain of geospatial information. A large of companies generally use airborne and terrestrial laser scanners and develop data acquisition, processing and visualization software packages. The high quality 3D point clouds produced by laser scanners are used for a wide range applications including the production of Digital Terrain Models (DTM), 3D city models, forest management and monitoring, corridor mapping and documentation of cultural heritage. Costs and accuracy of LIDAR systems can comparable to topographic and photogrammetric surveys. For those reasons, LIDAR data is being used widespread in producing DTM which is fundamental element of survey and planning applications. In almost all LIDAR applications, point filtering is an essential step to detect which LIDAR points are from the object features and which are from the ground surface. Distinguishing ground from non-ground objects can be a tough challenge in itself in regions with high elevation variability. Also, DTMs can only be produced if object points are removed primarily for creating to a raster DEM. With the widespread use of LIDAR, users who are not familiar with this data generally find it complicated to select and use from among many filtering algorithms. In general, this filtering algorithms working efficiently when land surface provides suitable conditions. In this thesis, main goal is compare and analysis of Adaptive Triangulated Network (ATIN), Morphological filter algorithms, Concerted Triangulated Filter and Kriging Interpolation Based filter method which is derived from these most-preferred filter algorithms.

Keywords: Filtering Algorithms, Photogrammetry, LIDAR, Morphological Filter, Remote Sensing, Triangulated Irregular Network

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması boyunca bana rehberlik eden, bilgisi ve tecrübesini paylaşan tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Abdullah VARLIK 'a en içten şükranlarımı sunar ve bana desteklerini esirgemeyen Necmettin Erbakan Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü öğretim elemanlarına teşekkür ederim.

Bunun yanında bütün eğitim hayatım boyunca beni destekleyen ve yüreklendiren aileme sonsuz minnetlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iv
KISALTMALAR	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç.....	2
1.2. Çalışma Bölgesi.....	2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	9
2.1. SYM ve SAM	9
2.2. LiDAR Sistemleri	10
2.4. LiDAR'ın Kullanım Alanları	14
2.5. LiDAR Filtreleme Teknikleri.....	15
2.6. SAM Üretimi ve Doğruluk Değerlendirmesi	16
3. FİLTRELEME ALGORİTMALARI.....	18
3.1. Matematiksel Morfolojik Tabanlı Filtreler	18
3.2. Enterpolasyon Tabanlı Filtreler	20
3.3. Kademeli Üçgen Sıklaştırma Temelli Filtreler	21
3.4. Bölütleme ve Kümeleme Temelli Filtreler	23
4. YÖNTEM.....	24
4.1. Adaptive Triangulated Network (ATIN) Filtreleme Algoritması.....	24
4.2. Uyarlanmış Üçgenleme Tabanlı Filtre (uÜTF)	29
4.3. Basit Morfolojik Filtre (bMF).....	40
4.4. Kriging enterpolasyon temelli filtre (KRIGF).....	45
5. ANALİZ VE YORUMLAR.....	51
5.1. 3B Standart Sapma Analizi	53
6. SONUÇLAR	63
KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ.....	70

KISALTMALAR

LiDAR: Light Detection and Ranging

SYM: Sayısal Yükseklik Modeli

SAM: Sayısal Arazi Modeli

3B: 3 Boyut

GPS: Global Positioning System

IMU: Inertial Measurement Units

ASPRS: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing

ISPRS: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing

TIN : Triangulated Irregular Network

KOH: Kareseel Ortalama Hata

ATIN: Adaptive Triangulated Irregular Network

bMF : Basit Morfolojik Filtre

uÜTF : Uyarlanmış Üçgenleme Tabanlı Filtre

KRIGF: Kriging Filtre

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 SAMP11 verisine ait filtrelenmemiş nokta bulutu	3
Şekil 1.2 SAMP11 verisine ait ISPRS referans Sayısal Arazi Modeli	4
Şekil 1.3 SAMP12 verisine ait filtrelenmemiş nokta bulutu	4
Şekil 1.4 SAMP12 verisine ait ISPRS referans Sayısal Arazi Modeli	5
Şekil 1.5 SAMP23 verisine ait filtrelenmemiş nokta bulutu	5
Şekil 1.6 SAMP23 verisine ait ISPRS referans Sayısal Arazi Modeli.....	6
Şekil 1.7 SAMP52 verisine ait filtrelenmemiş nokta bulutu	6
Şekil 1.8 SAMP52 verisine ait ISPRS referans Sayısal Arazi Modeli.....	7
Şekil 1.9 SAMP71 verisine ait filtrelenmemiş nokta bulutu	7
Şekil 1.10 SAMP71 verisine ait ISPRS referans Sayısal Arazi Modeli.....	8
Şekil 2.1 Yüzey Modeli ve Sayısal Arazi modeli	9
Şekil 2.2 Tarama mekanizması ve desenler.....	10
Şekil 2.3 Hava lidar sistem şeması	12
Şekil 2.4 Lidar ayak izi (footprint) ve dönüş sinyalleri (Diaz, 2011).....	13
Şekil 2.5 Örnek “.las” nokta bulutu verisi	14
Şekil 3.1 Morfolojik filtre operatörleri	18
Şekil 3.2 Morfolojik açınım tekniği ile filtreleme	19
Şekil 3.3 Enterpolasyon temelli filtreleme	20
Şekil 3.4 Enterpolasyon fonksiyonunun ağırlıklandırılması	21
Şekil 3.5 Yoğunlaştırılmış üçgenlenmiş düzensiz ağ modeli.....	22
Şekil 3.6 Üçgenlenmiş düzensiz ağ filtreleme (Pfeifer, 2008)	22
Şekil 3.7 Sürekli yüzeylerde nokta bölütlemesi.....	23
Şekil 4.1 SAMP11 veri setinin üretilen Sayısal Arazi Modelleri (A) Referans SAM (B) ATIN algoritması ile üretilen SAM.....	25
Şekil 4.2 SAMP12 veri setinin üretilen Sayısal Arazi Modelleri (A) Referans SAM (B) ATIN algoritması ile üretilen SAM	26
Şekil 4.3 SAMP23 veri setinin üretilen Sayısal Arazi Modelleri (A) Referans SAM (B) ATIN algoritması ile üretilen SAM	27
Şekil 4.4 SAMP52 veri setinden üretilen referans Sayısal Arazi Modeli.....	27

Şekil 4.5 SAMP52 veri setinden ATIN algoritması ile üretilen referans Sayısal Arazi Modeli.....	28
Şekil 4.6 SAMP71 veri setinden üretilen referans Sayısal Arazi Modeli.....	28
Şekil 4.7 SAMP71 veri setinden ATIN algoritması ile üretilen referans Sayısal Arazi Modeli.....	29
Şekil 4.8 Yamaçlarda üçgen yüzeyleri ve aynalama tekniği.....	30
Şekil 4.9 İki aşamalı yapılan filtreleme şeması.....	30
Şekil 4.10 SAMP11 veri setinin üretilen Sayısal Arazi Modelleri (A) Referans SAM (B) uÜTF algoritması ile üretilen SAM.....	32
Şekil 4.11 SAMP11 veri seti için noktalar ve üçgen yüzeyleri arasındaki mesafe histogramı grafiği.....	32
Şekil 4.12 SAMP11 veri seti için noktalar ve üçgen yüzeyleri arasındaki açı histogramı grafiği.....	33
Şekil 4.13 SAMP12 veri setinin üretilen Sayısal Arazi Modelleri (A) Referans SAM (B) uÜTF algoritması ile üretilen SAM.....	33
Şekil 4.14 SAMP12 veri seti için noktalar ve üçgen yüzeyleri arasındaki mesafe histogramı grafiği.....	34
Şekil 4.15 SAMP12 veri seti için noktalar ve üçgen yüzeyleri arasındaki açı histogramı grafiği.....	34
Şekil 4.16 SAMP23 veri setinin üretilen Sayısal Arazi Modelleri (A) Referans SAM (B) uÜTF algoritması ile üretilen SAM.....	35
Şekil 4.17 SAMP23 veri seti için noktalar ve üçgen yüzeyleri arasındaki mesafe histogramı grafiği.....	36
Şekil 4.18 SAMP23 veri seti için noktalar ve üçgen yüzeyleri arasındaki açı histogramı grafiği.....	36
Şekil 4.19 SAMP52 veri setinin üretilen Referans Sayısal Arazi Modeli.....	36
Şekil 4.20 SAMP52 veri setinin uÜTF algoritması ile üretilen Sayısal Arazi Modeli...37	37
Şekil 4.21 SAMP52 veri seti için noktalar ve üçgen yüzeyleri arasındaki mesafe histogramı grafiği.....	37
Şekil 4.22 SAMP52 veri seti için noktalar ve üçgen yüzeyleri arasındaki açı histogramı grafiği.....	38
Şekil 4.23 SAMP71 veri setinin üretilen Referans Sayısal Arazi Modeli.....	38
Şekil 4.24 SAMP71 veri setinin uÜTF algoritması ile üretilen Sayısal Arazi Modeli...38	38
Şekil 4.25 SAMP71 veri seti için noktalar ve üçgen yüzeyleri arasındaki mesafe histogramı grafiği.....	39

Şekil 4.26 SAMP71 veri seti için noktalar ve üçgen yüzeyleri arasındaki açılı histogramı grafiği.....	39
Şekil 4.27 SAMP11 veri setinin üretilen Sayısal Arazi Modelleri (A) Referans SAM (B) bMF algoritması ile üretilen SAM.....	41
Şekil 4.28 SAMP12 veri setinin üretilen Sayısal Arazi Modelleri (A) Referans SAM (B) bMF algoritması ile üretilen SAM.....	42
Şekil 4.29 SAMP23 veri setinin üretilen Sayısal Arazi Modelleri (A) Referans SAM (B) bMF algoritması ile üretilen SAM.....	42
Şekil 4.30 SAMP52 veri setinin üretilen Referans Sayısal Arazi Modeli.....	43
Şekil 4.31 SAMP52 veri setinin bMF algoritması ile üretilen Sayısal Arazi Modeli....	43
Şekil 4.32 SAMP71 veri setinin üretilen Referans Sayısal Arazi Modeli.....	44
Şekil 4.33 SAMP71 veri setinin bMF algoritması ile üretilen Sayısal Arazi Modeli....	44
Şekil 4.34 SAMP11 veri setinin üretilen Sayısal Arazi Modelleri (A) Referans SAM (B) KRIGF algoritması ile üretilen SAM.....	46
Şekil 4.35 SAMP12 veri setinin üretilen Sayısal Arazi Modelleri (A) Referans SAM (B) KRIGF algoritması ile üretilen SAM.....	47
Şekil 4.36 SAMP23 veri setinin üretilen Sayısal Arazi Modelleri (A) Referans SAM (B) KRIGF algoritması ile üretilen SAM.....	48
Şekil 4.37 SAMP52 veri setinin üretilen Referans Sayısal Arazi Modeli.....	48
Şekil 4.38 SAMP52 veri setinin KRIGF algoritması ile üretilen Sayısal Arazi Modeli.	49
Şekil 4.39 SAMP71 veri setinin üretilen Referans Sayısal Arazi Modeli.....	49
Şekil 4.40 SAMP71 veri setinin KRIGF algoritması ile üretilen Sayısal Arazi Modeli.	50
Şekil 5.1 3B yüzeylerin karşılaştırılması.....	53

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Veri Setlerinin Özellikleri.....	3
Çizelge 4.1 ATIN algoritması için referans ISPRS Sayısal Arazi Modeli ile doğruluk analizi sonuçları.....	25
Çizelge 4.2 uÜTF için referans ISPRS Sayısal Arazi Modeli ile doğruluk analizi sonuçları.....	31
Çizelge 4.3 bMF için referans ISPRS Sayısal Arazi Modeli ile 3 boyutlu karşılaştırma sonuçları.....	40
Çizelge 4.4 KRIGF için referans ISPRS Sayısal Arazi Modeli ile 3 boyutlu karşılaştırma sonuçları.....	46
Çizelge 5.1 SAMP11 verisi için referans SAM ile test filtrelerinden üretilen SAM yüzeylerinin karşılaştırması	54
Çizelge 5.2 SAMP12 verisi için referans SAM ile test filtrelerinden üretilen SAM yüzeylerinin karşılaştırması	56
Çizelge 5.3 SAMP23 verisi için referans SAM ile test filtrelerinden üretilen SAM yüzeylerinin karşılaştırması	58
Çizelge 5.4 SAMP52 verisi için referans SAM ile test filtrelerinden üretilen SAM yüzeylerinin karşılaştırması	60
Çizelge 5.5 SAMP71 verisi için referans SAM ile test filtrelerinden üretilen SAM yüzeylerinin karşılaştırması	61
Çizelge 6.1. Filtreleme tekniğine göre karesel ortalama hata grafiği	63
Çizelge 6.2. Filtreleme tekniğine göre standart sapma değerleri grafiği.....	64

1. GİRİŞ

LiDAR (Light Detection and Ranging) ölçme teknolojisi, lazer sensöründen iletilen sinyalin tekrar sensöre dönüş süresini ölçerek obje noktaları ile sensör arasındaki mesafeyi belirleyerek yüksek doğrulukta konumsal veri elde edilmesinde kullanılan lazer tarayıcı algılama sistemidir. Yer referans sistemi ile LiDAR sensörleri birleştğinde yoğun ve coğrafi referanslı nokta yükseklik ölçümleri yapılabilir. GPS/IMU sistemi kullanılarak lazer ışınının gönderildiği andaki konum ve dönüklük bilgileri ölçülerek objenin X,Y,Z koordinatları elde edilir. Fotogrametrik sistemlerle birlikte klasik ölçüm ve haritalama sistemleri ile kıyaslandığında LiDAR teknolojisi, geniş alanlarda yüksek çözünürlüklü harita yapımı için hızlı ve hassas bir alternatif olmayı sağlayan ve Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) üretimi için öncelikli tercih edilen kabul görmüş bir tekniktir. Günümüzde pek çok Avrupa ülkesi ile Amerika Birleşik Devletleri ulusal SYM ürünlerinin üretimi için LiDAR sistemini kullanmaktadır.

Yoğun LiDAR nokta bulutları, yüksek çözünürlükte ve hassasiyette SYM üretimi için olanak sağlamaları yanında yükseklik bilgisine dayanarak nokta bulutlarının analizi ile binalar, ağaçlar, elektrik ve boru hatları gibi yüzey elemanlarının doğru şekilde haritalanmasında kullanılmaktadır. Yüksek yoğunluklu veri setleri, farklı ölçek ve çözünürlüklerde elemanların belirlenmesinde kullanıcılara izin vermektedir. Bu yoğun nokta bulutları küçük yükseklik değişiklerini saptayabildiği gibi dokusal çeşitliliklerle beraber bitki örtüsünün üst yüzeylerinin dâhi belirlemeye olanak sağlamaktadır. LiDAR sinyallerinin çoklu dönüş yapabilme özellikleri sayesinde bitki örtüsünün yükseklik yapısı belirlenebilmekte ve bu sayede bitki sınıflandırması işlemi de kolaylaşmaktadır. Genel olarak bu niteliklerinden dolayı LiDAR teknolojisi, SYM üretimi için klasik fotogrametrik metotların (fotogrametrik teknikler veya otomatik görüntü eşleme ve yükseklik çıkarma teknikleri) yerini almaya başlamıştır.

Yeryüzüne ait noktaları ayırt edip sınıflandırabilmek için birçok filtreleme algoritması geliştirilmiştir. Kısmen düz bir yüzeye sahip, az sıklıkta ve yoğunlukta objeler içeren arazi tipinde birçok algoritma başarılı filtreleme yapmaktadır. Fakat eğimli ve bina, bitki örtüsü ve ağaçlık gibi çeşitli boyutlardaki yüzey objeleri barındıran LiDAR verilerinde filtreleme doğruluğunda düşüş görülmektedir. Yüksek eğimli bölgelerde yoğun nokta verisi ve yoğun yüzey objeleri içeren arazilerde filtreleme performanslarında azalma görülmektedir. Doğal karmaşıklığa sahip LiDAR verilerinin en doğru şekilde filtrelenebilmesi en önemli ihtiyaçlardandır, bu sebeple bahsedilen

karmaşık arazi yüzeylerini en hassas şekilde sınıflandırabilen algoritmalar öncelikli tercih edilmekte ve nispeten pahalı ücretlerle kullanıcılara ulaşmaktadır (Meng, 2010). Herkese açık kullanıma sunulan LiDAR verileri sayesinde araştırmacılar açık kaynak kodlu algoritmalar geliştirebilmektedir. Bu tez çalışmasında en çok tercih edilen ve çeşitli araştırmalar sonunda doğruluğu en yüksek kabul edilen algoritmalarından türetilen yeni teknikler anlatılacaktır. Bu amaçla Axelsson tarafından geliştirilen üçgenleme temelli algoritma Adaptive Triangulated Irregular Network (2000), Killian tarafından ortaya konulan morfolojik temelli Progressive Morphological (1996) ve Kriging enterpolasyon tekniğine dayanan filtreleme tekniği Matlab yazılımında formülize edilerek referans model ile doğruluk analizi yapılacaktır.

1.1. Amaç

Bu çalışmanın asıl amacı hâlihazırda ticari yazılımla sunulan üçgenleme temelli bir filtreleme tekniği olan (Axelsson, 2000) tarafından geliştirilen ATIN (Adaptive Triangular Irregular Network) algoritması ile şekil temelli filtreleme algoritması olan morfolojik filtreleme (Pingel, 2015) tekniklerinin parametreleri açısından incelenip revize edilerek doğruluklarının artırılmasıdır. Ayrıca Kriging tekniğine dayanan enterpolasyon tabanlı bir filtre uyarlayarak bir filtreleme algoritması geliştirilerek de bu filtreleme teknikleri ile karşılaştırılması ve performans analizi yapılması hedeflenmektedir.

Test verileri Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Topluluğu (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) (ISPRS) tarafından tüm araştırmacı ve geliştiricilere internet üzerinden sunulan, çeşitli arazi tipleri içeren LiDAR nokta bulutlarından oluşmaktadır. Test LiDAR nokta bulutları Almanya'nın Vaihingen/Stuttgart bölgesine ait olup Leica ASL50 hava LiDAR sistemi ile taranmıştır.

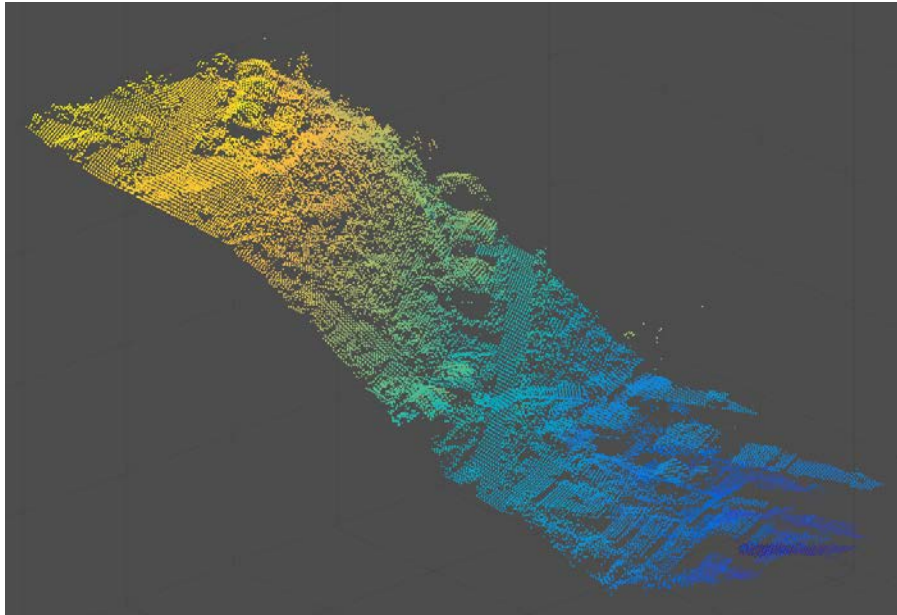
1.2. Çalışma Bölgesi

Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Topluluğu tarafından sağlanan farklı arazi özelliklerine sahip 5 adet LiDAR nokta bulutu veri seti test edilecek algoritmalar ile filtrelenerek SAM elde edilmiştir. Farklı arazi tiplerinin seçilmesinin sebebi ise farklı filtreleme algoritmalarının arazi tiplerine göre değişken performans göstermesidir (Meng, 2010).

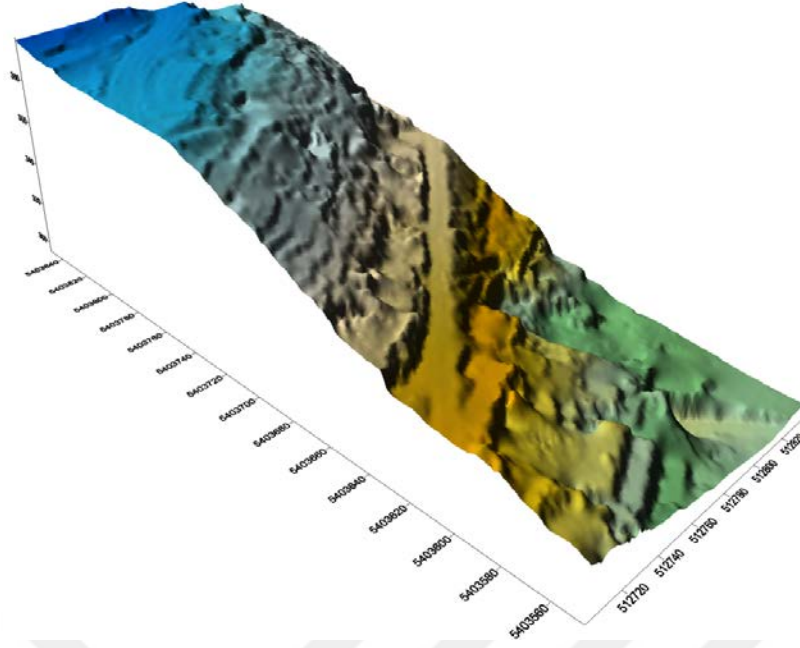
Çizelge 1.1. Veri Setlerinin Özellikleri

Veri Adı	Boyut	Arazi Tipi	Eğim	Kot Aralığı (m)
SAMP11	134 x 303 m	Fazla eğimli, tepe üzerinde yapılar ve bitki örtüsü bulunmaktadır.	Yamaç	295 - 404
SAMP12	205 x 270 m	Kısmen düz, bina ve yollar içermektedir.	Düşük	325 - 357
SAMP23	150 x 206 m	Düz, iç içe büyük boyutlu yapılar içermektedir.	Düşük	284 - 327
SAMP52	450 x 300 m	Nehir ve düzlükler ile kademeli yamaç içermektedir.	Yüksek	249 - 347
SAMP71	400 x 220 m	Düz arazide köprülü yol içermektedir.	Düz	293 - 310

İlk veri seti yerleşim yerine aittir ve tez içerisinde SAMP11 olarak isimlendirilmektedir. LiDAR nokta bulutunun yoğunluğu 1 nokta/m² olup 38010 adet koordinat verisi içermektedir. Verinin özelliği tepenin yamacında yerleşim bölgesi bulunması ve bitki örtüsü ile karışık bir şekilde yayılmasıdır. Çoğu algoritmanın yamaçlardaki objeleri filtreleme de zorlandığı düşünüldüğünde geliştirdiğimiz algoritma için iyi bir test verisi olacaktır. SAMP11 veri setine ait filtrelenmemiş nokta bulutu ve referans SAM aşağıda verilmiştir.

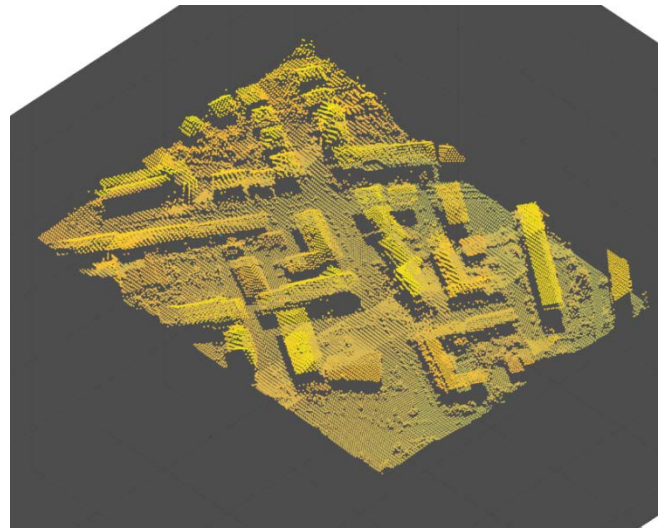


Şekil 1.1. SAMP11 verisine ait filtrelenmemiş nokta bulutu

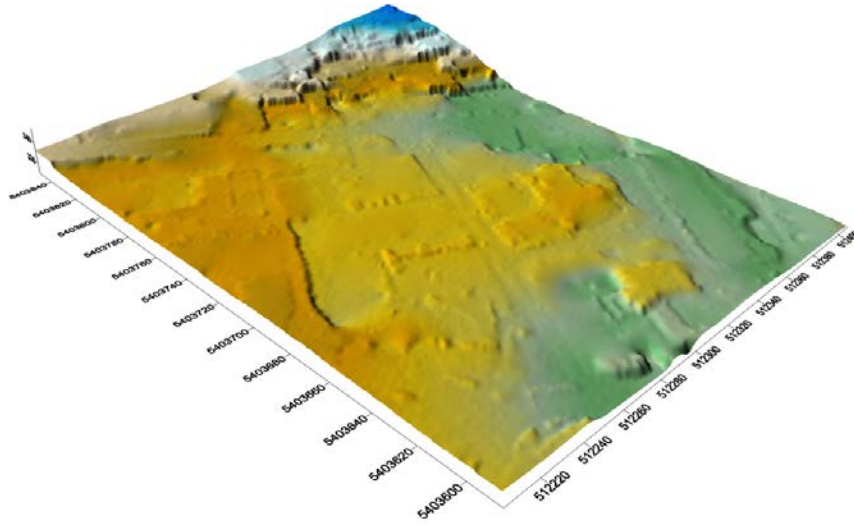


Şekil 1.2. SAMP11 verisine ait ISPRS referans Sayısal Arazi Modeli

İkinci veri seti yerleşim yerine aittir ve tez içerisinde SAMP12 olarak isimlendirilmektedir. LiDAR nokta bulutunun yoğunluğu 1 nokta/m² olup 52119 tane koordinat verisi içermektedir. Düz bir arazide farklı boyutlarda yapılar içermektedir. Filtreleme algoritmalarının daha yüksek performans sergilediği bir arazi tipidir. SAMP12 veri setine ait filtrelenmemiş nokta bulutu ve referans SAM aşağıda verilmiştir.

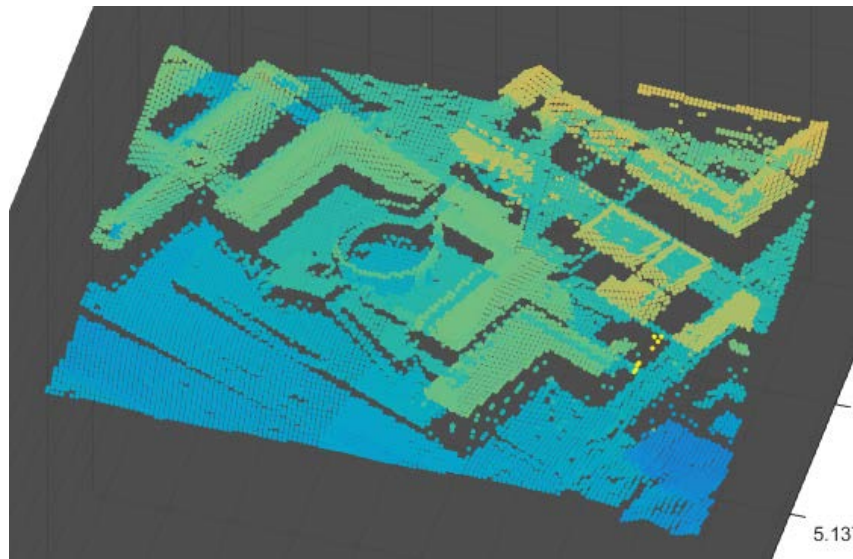


Şekil 1.3. SAMP12 verisine ait filtrelenmemiş nokta bulutu

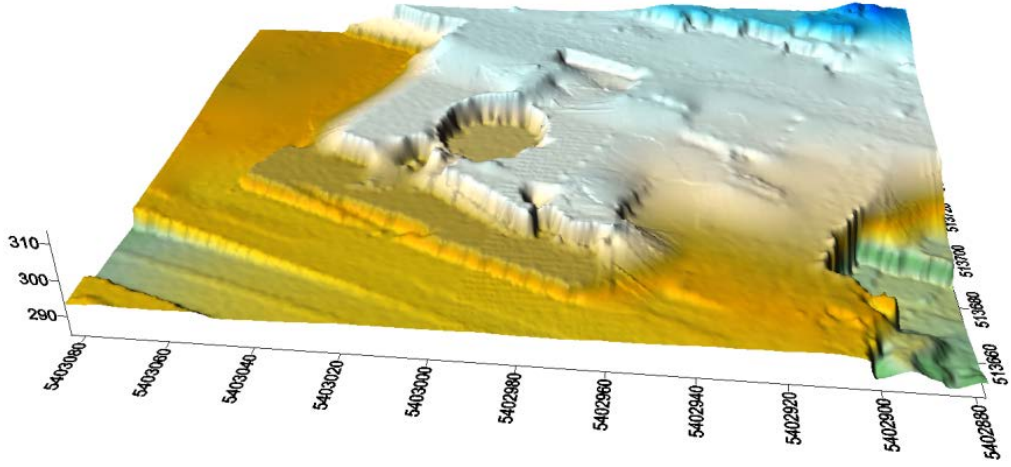


Şekil 1.4. SAMP12 verisine ait ISPRS referans Sayısal Arazi Modeli

Üçüncü veri seti yerleşim yerine aittir ve tez içerisinde SAMP23 olarak isimlendirilmektedir. LiDAR nokta bulutunun yoğunluğu yaklaşık 1 nokta/m² olup 25095 tane koordinat verisi içermektedir. Kademeli yükseklik artış gösteren bir arazide iç içe geçmiş yapılar içermektedir. SAMP23 veri setine ait filtrelenmemiş nokta bulutu ve referans SAM aşağıda verilmiştir.

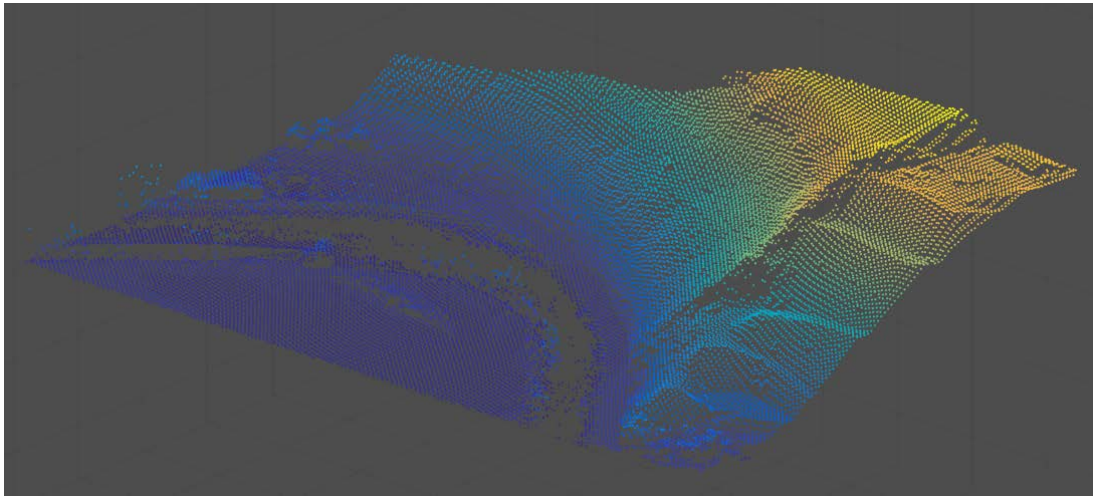


Şekil 1.5. SAMP23 verisine ait filtrelenmemiş nokta bulutu

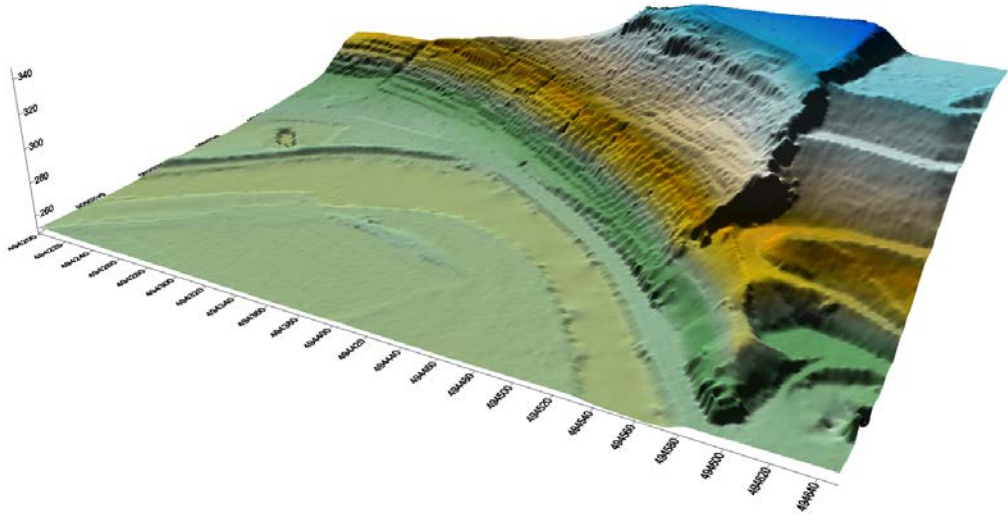


Şekil 1.6. SAMP23 verisine ait ISPRS referans Sayısal Arazi Modeli

Dördüncü veri seti kırsal bir bölgeye aittir ve tez içerisinde SAMP52 olarak isimlendirilmektedir. LiDAR nokta bulutunun yoğunluğu yaklaşık 1 nokta/m² olup 22474 tane koordinat verisi içermektedir. Bölgenin bir kısmında dik yamaçlar bulunurken bir kısmı da düzlüktür. Nehir yatağının kıyılarında ağaçlar ve orta boylu bitki örtüsü bulunmaktadır. Bu veri seti de eğimli bölgeleri filtreleme algoritmaları için zorlayıcı olmaktadır. SAMP52 veri setine ait filtrelenmemiş nokta bulutu ve referans SAM aşağıda verilmiştir.

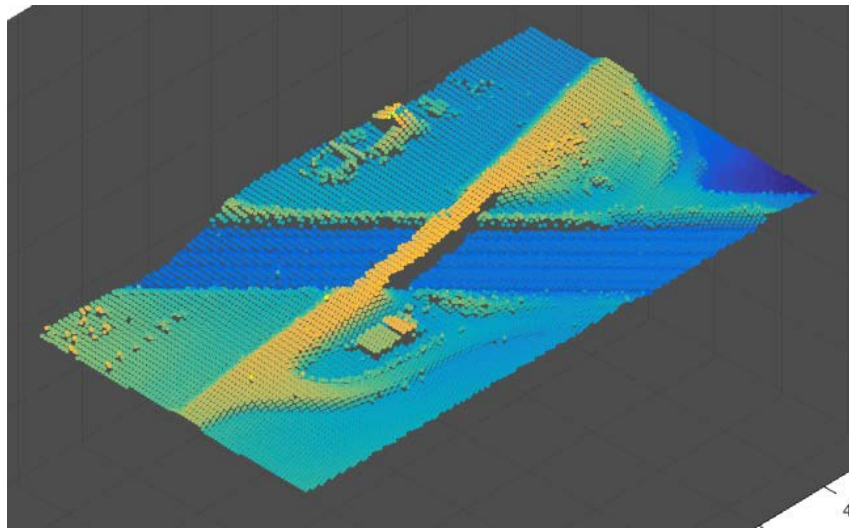


Şekil 1.7. SAMP52 verisine ait filtrelenmemiş nokta bulutu

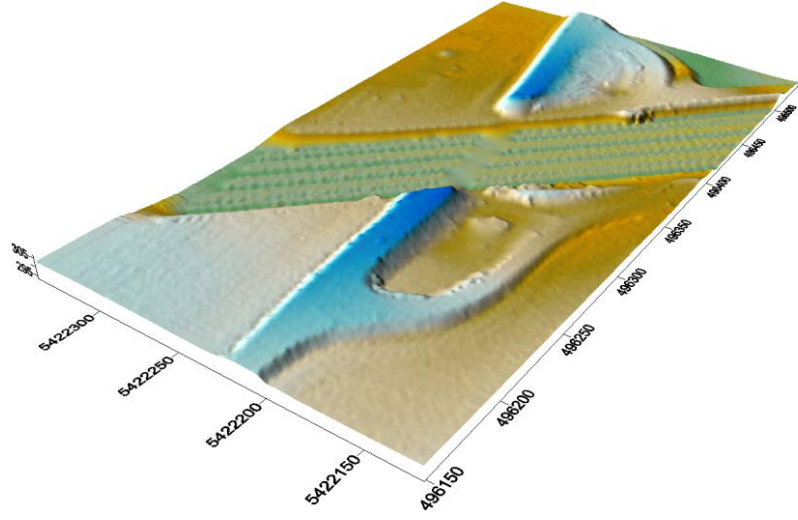


Şekil 1.8. SAMP52 verisine ait ISPRS referans Sayısal Arazi Modeli

Beşinci veri seti köprülü yol içeren yerleşim yerine aittir ve tez içerisinde SAMP71 olarak isimlendirilmektedir. LiDAR nokta bulutunun yoğunluğu yaklaşık 1 nokta/m² olup 15645 adet koordinat verisi içermektedir. Bu veri setinin temel özelliği köprülü yolun yapay tepe üzerine inşa edilmiş olmasıdır ve bu nedenle köprü ve araziye tam olarak ayırt etme işi algoritmalar için zor olmaktadır. SAMP71 veri setine ait filtrenmemiş nokta bulutu ve referans SAM aşağıda verilmiştir.



Şekil 1.9. SAMP71 verisine ait filtrenmemiş nokta bulutu



Şekil 1.10. SAMP71 verisine ait ISPRS referans Sayısal Arazi Modeli

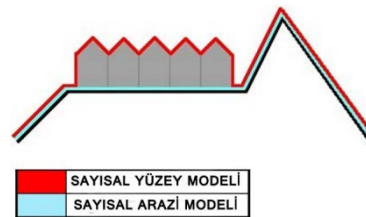
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. SYM ve SAM

Topoğrafik yüzeyin dijital olarak gösterilmesi için kullanılan Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) yeryüzünü bitki örtüsü ve insan yapımı yapılarda dâhil şekliyle üç boyutlu koordinat sisteminde X, Y ve Z yükseklik değerleriyle ifade eden model olarak tanımlanabilir. Bu modeller genellikle raster formatında veya TIN (Triangulated Irregular Network) yani üçgenlenmiş düzensiz ağ modelleri ile gösterilir. Sayısal görüntü şeklinde ifade edilen SYM'ler de görüntüde ki her piksel bir yükseklik değeri barındırır. TIN ise rastgele dağılmış X, Y ve Z koordinatları bilinen noktalar ile hesaplanan birbiriyle kesişmeyen üçgenler kümesi olarak tanımlanabilir. Bu veriler eşyükselti eğrilerinin oluşturulması, hacim hesaplamaları, eğim, yüzey alanları gibi hesaplamalarda kullanılır.

Sayısal Arazi Modeli (SAM), genellikle sayısal yükseklik modeliyle aynı anlamda kullanılan fakat insan yapımı tüm objeler ve bitki örtüsü hariç arazi yüzeyini temsil eden, yükseklik değerleri bulunan noktalardan oluşan, arazinin gerçek şeklinin daha iyi biçimde sunulmuş biçimidir. SYM'den oluşturulan bu Arazi Modelleri kullanılarak üretilen eşyükselti eğrileri yüzeyin gerçek şeklini daha iyi yansıtır. Nehir ve su toplama çizgileri gibi kırık hatları içeren coğrafi elemanlar, doğal özellikler ve yükseklikleri içeren yapıdadır. Ayrıca arazi yapısı, eğimi, eğriliği, görsel yapısı hakkında üretilmiş verileri de içerebilir. SAM, yalın yeryüzüne ilişkin SYM'nin eş anlamlısıdır (Maune vd. 2011).

Sayısal Arazi Modelleri, topoğrafik harita yapımı dışında da geniş çapta kullanım alanına sahiptir, bunlar; Hidroloji haritaları, taşkın tehlike ve risk haritaları, haberleşme ağının planlaması ve analizi, ulaşımda, şehir planlamasında, doğal kaynak ve orman yönetimi gibi farklı uygulamalardır (Hill, 2000).



Şekil 2.1. Yüzey Modeli ve Sayısal Arazi modeli

2.2. LiDAR Sistemleri

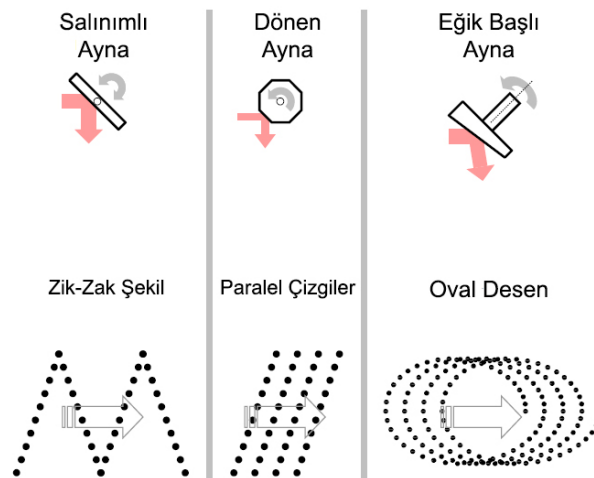
LiDAR sistemleri kullanıldıkları amaca ve projeye göre üç ana grup altında toplanmaktadır. Bunlar;

- Hava LiDAR (Airbone Lidar),
- Yersel LiDAR(Terrestrial Lidar),
- Mobil LiDAR(Mobile Lidar)'dır.

Hava Lidar sistemleri, lazer tarayıcı, GPS; Küresel konum belirleme sistemi (Global Positioning System) ve IMU; Dâhili ölçüm ünitesi (Internal Measurement Unit) bütünlük sisteminden oluşmaktadır. Bu sistemler lazer ışınlarını elektromanyetik dalgalar halinde göndererek yeryüzü üzerinden veri toplamaktadır. GPS/IMU entegrasyonu sayesinde yeryüzüne ilişkin 3B (üç boyutlu) veri elde edilebilmektedir (Yılmaz, 2015). LiDAR sisteminin karakteristik özellikleri şu şekildedir:

Tarama sıklığı: Lazer cihazının 1 saniyede ki yaydığı sinyal sayısı ile ifade edilir. Eski cihazlarda bu sayı birkaç bin sinyal iken modern LiDAR sistemlerinde 550Khz'e (550,000 sinyal/saniye) kadar desteklenmektedir. Yüksek frekanslı bu cihazlar hem daha yoğun veri elde etmeyi hem de uçuş süresi ile maliyeti azaltmayı sağlar.

Tarama deseni: Uçuş doğrultusu boyunca kullanılan tarama mekanizmasına bağlı olarak düz bir yüzeyde lazer sinyallerinin oluşturduğu desendir.



Şekil 2.2. Tarama mekanizması ve desenler

Işın açıklığı: Lazer sensöründen yayılan ışın fotonları, sinyal yayılma hattından biraz saparak ince silindirik bir yapı yerine dar bir koni oluşturur. “Işın açıklığı” terimi lazer cihazı ile ışınların çarptığı düzlem arasındaki mesafenin meydana getirdiği ışın çapında ki artışı ifade eder. Tipik ışın açıklık değeri 0.1 ile 1.0 miliradyan aralığındadır. Örneğin 0.3 miliradyanlık açıklıkta lazer cihazından 1000 m uzaklıkta oluşan ışın çapı yaklaşık 30 cm’dir. Işın çapından bağımsız olarak sensörden yayılan sinyal enerjisinin miktarı aynı kalacağından daha büyük ışın açıklığı olduğu durumlarda sensöre dönen sinyal geniş alana yayılarak düşük bir sinyal-gürültü oranına neden olur.

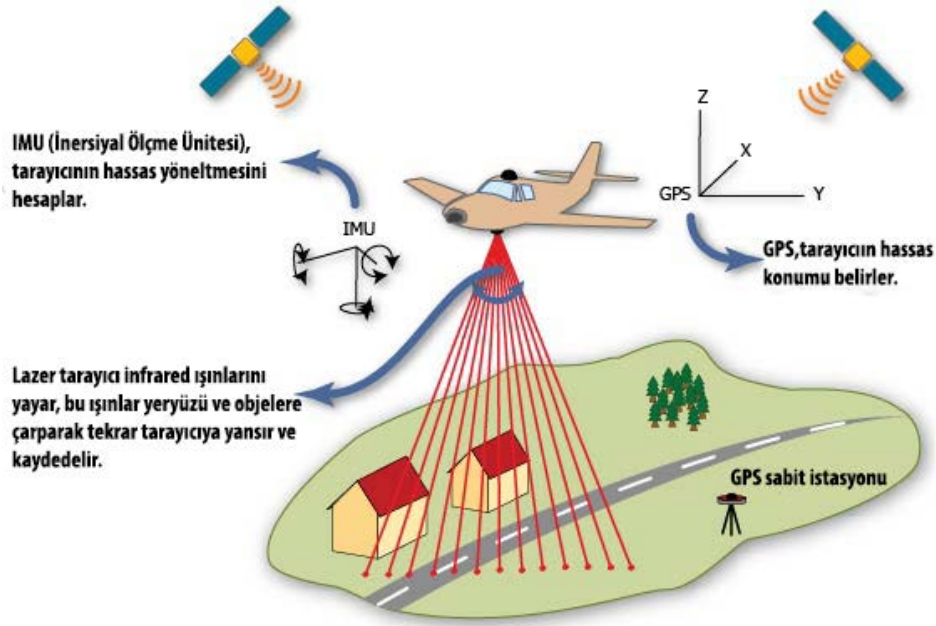
Tarama açısı: LiDAR cihazının odak düzlemi ile ışın ekseninin yaptığı açıdır. Modern cihazlarda 15 dereceyi geçmemektedir. Uçağın sancak tarafında bu açı pozitif değer alırken iskele tarafında ise negatif değer alır. Tarama açısı ile uçuş yüksekliğin birleşimi tarama şerit bölgesini belirler.

Puls boyu: Nanosaniye (ns) biriminde gösterilen sensörden yayılan bir pulsun süresidir. Çoklu dönüş olan sistemlerde sinyalin mesafe çözünürlüğü veya bir pulsdan yansıyan ardışık dönüşlerin arasındaki mesafeyi belirler.

Dönüş sayısı: Tek bir ışıdan geri yansıyan her bir sinyal dönüşlerinin maksimum aldığı değerdir. Biraz eski sistemlerde sadece ilk ve son dönüşler belirlenebilirken modern sistemlerde ise tek bir ışıdan çoklu dönüşler (en fazla 5 kez) belirlenebilir.

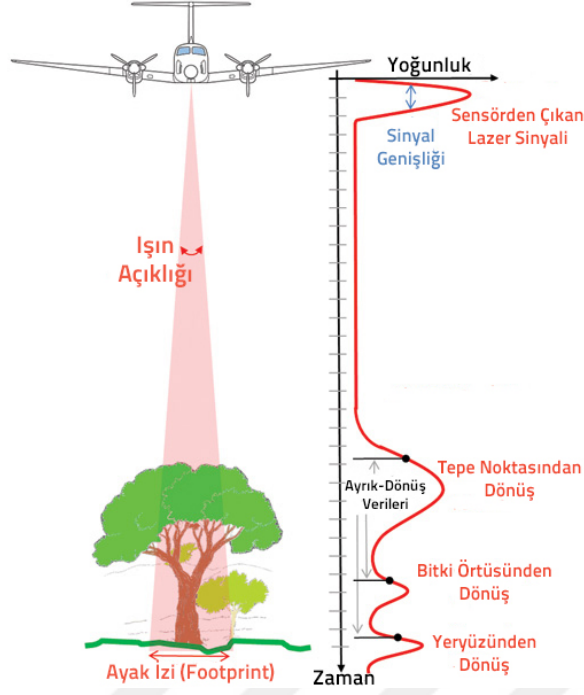
LiDAR ayak izi: Sensörün kaydettiği lazer ışınları ve LiDAR sensörüne dönüş yapan enerji ve ekoların zeminden yansıdığı LiDAR sensörü örneklem bölgesine LiDAR ayak izi ismi verilir. LiDAR ayak izinin boyutu LiDAR’ın görüş alanının yeryüzü üzerinde ki anlık yansımasıdır.

Lazer sensöründen yansıyan ışın yeryüzünden tek bir ışın olarak ya da çoklu dönüş olarak sensöre geri gelebilir. Lazer ışını her yansıdığı yüzeyde bölünerek zemine ulaşır, bu yansımaların her birisi tekrar sensöre döner böylece çoklu dönüş gerçekleşmiş olur. Lazer ışınının ayak izi (footprint) üzerinde birçok objenin yüksekliği bu çoklu dönüş ile belirlenebilir.



Şekil 2.3. Hava lidar sistem şeması

Ayrık-dönüştü ve tam dalga LiDAR sistemleri olmak üzere LiDAR sistemleri iki kategoride sınıflandırılabilir. Tam dalga LiDAR sistemleri geniş bir ayak izinden devamlı durumdaki dalgalardan dönen enerjiyi toplar, ayrık-dönüştü sistemlerde ise küçük bir ayak izinden bir veya birkaç ayrı yansımayı kaydedip genel olarak yüksek çözünürlükte arazi ve orman altı yüzeylerin haritalanmasında kullanılır. LiDAR ayak izi, sensörlerin zeminden topladığı temel bilgiden birisidir ve ayak izinin boyutu LiDAR uzaktan algılama sisteminde kritik bir parametre durumundadır. Lazer ışın demeti ile yer yüzeyinin kesişim bölgesi olarak nadir noktasından geçen bir LiDAR ayak izi dairesel biçimdedir ve genellikle dairesinin çapıyla matematiksel olarak gösterilir. LiDAR ayak izi tarama geometrisi ve topoğrafyanın durumuna göre değişiklik gösterir. Çeşitli arazi koşulları ve tarama mekanizmaları şartları altında LiDAR ayak izinin boyutunun belirlenmesi, 3 boyutlu harita uygulamalarında daha iyi sonuçlar elde etmek için önemlidir. (Sheng, 2008)



Şekil 2.4. Lidar ayak izi (footprint) ve dönüş sinyalleri

Her lazer ışını X, Y ve Z değeri ile birlikte ek bilgiler taşır. Bunlar; yoğunluk, dönüş numarası, dönüş sayısı, sınıflandırma numarası, RGB renk değerleri, GPS zamanı, tarama açısı ve tarama yönü olarak sınıflandırılır. İşlenmiş mekânsal LiDAR verileri nokta bulutu olarak isimlendirilir. Lazer nokta bulutları işleme aşamasından sonra veri içindeki zemin, bina, orman, yol gibi yüzey elemanları sınıflandırılır.

Üç boyutlu koordinat sisteminde tanımlı bu nokta bulutları için genelde “.LAS” ve “.ASCII” veri formatları kullanılır. Bu tez çalışmasında kullanacağımız veri setleri daha yeni bir depolama sistemi olan LAS formatındadır.

LAS dosya formatı ASPRS (Amerikan Fotogrametri ve Uzaktan Algıma Topluluğu) tarafından LiDAR veya başka kaynaklı üç boyutlu nokta bulutu verilerini depolama amaçlı geliştirilmiştir. Birçok farklı LiDAR donanım ve yazılımının desteklediği çıktı formatı olarak bilinmektedir. Bu ikili sayı (binary) dosya sistemi çoğu şirket tarafından kullanılan kendine özgü sistemler veya genel ASCII dosya değişim formatına bir alternatiftir. Bazı sistemlerin kendine özgü dosya formatlarının bir sistemden diğerine kolayca dönüştürülememesi açıkça bilinen bir problemdir. ASCII formatındaki koordinat verilerinin okunmasının yavaş olması, küçük boyutlu verilerin

bile diskte geniş yer kaplaması ve ASCII dosyalarında LiDAR veri kaybının fazla olması dezavantajlarından birkaçıdır. Dört revizyon geçirdikten sonra Kasım 2011’de 1.4 versiyonu çıkarılmıştır (ASPRS, 2013).

LiDAR verilerinin filtrelenmesi için kullanılan algoritmalar incelenmeden önce bu nokta bulutu verilerinin doğruluk, yoğunluk gibi karakteristik özellikleri bilinmelidir (Polat, 2014)

1	X	Y	Z	Intensity	Return Number	Number Of Return	Classification
2	309227.13	6143496.73	466.79	154	1	2	5
3	309227.12	6143496.59	466.74	112	1	2	5
4	309227.09	6143496.45	466.63	161	1	2	5
5	309227.09	6143496.24	466.87	330	1	2	5
6	309227.1	6143496.04	467.09	252	1	2	5
7	309227.08	6143495.9	467.04	226	1	2	5
8	309227.05	6143495.78	466.83	130	1	2	5
9	309227.03	6143495.61	466.87	199	1	2	5
10	309227.5	6143496.75	466.83	76	1	2	5
11	309227.49	6143496.59	466.84	35	1	2	5
12	309227.48	6143496.41	467	193	1	2	5
13	309227.47	6143496.24	467.03	54	1	2	5
14	309227.47	6143496.04	467.23	211	1	2	5
15	309227.42	6143495.97	466.81	315	1	2	5
16	309227.41	6143495.8	466.86	193	1	2	5
17	309227.39	6143495.64	466.84	189	1	3	5

Şekil 2.5. Örnek “.las” nokta bulutu verisi

2.4. LiDAR’ın Kullanım Alanları

LiDAR sağladığı yüksek çözünürlük ve doğruluk açısından topoğrafik harita yapımı için tercih edilmektedir. Hava fotoğrafları ile birlikte kullanıldığında yol, bina ve bitki örtüsü haritalaması için kullanılabilir. Sunduğu üç boyut özelliği ile LiDAR’ı özel yapan, karmaşık topoğrafyalar, dağlık araziler de dâhil yer yüzeyi modellerinin haritalanması için uygun olmasıdır. Yüksek çözünürlüklü eş yükselti haritaları gibi diğer topoğrafik ürünlerde LiDAR verilerinden üretilebilir. SYM üretimi dışında da LiDAR verisinin kullanıldığı çok büyük bir alan vardır. Bu veriler arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıflandırması, obje algılama, kıyı şeridi izleme, orman envanteri, üç boyutlu kentsel görselleştirme, şehir planlama, su ve hava kirliliği gibi çevresel modellemeler, su baskını gibi afetlerin modellenmesi ve simülasyonu, ulaşım planlaması, petrol ve gaz aramaları, taş ocakları ve maden arama çalışmaları ve hücresel şebeke planlamaları alanlarında kullanılmaktadır. Optik sistemler ile LiDAR verilerinin entegrasyonu da

önemli bir araştırma konusu olmuştur. Farklı mekânsal ve zamansal çözünürlükte çalışan farklı sensörlerin başarılı entegrasyonunun LiDAR uygulamalarının sayısını artıracığından şüphe yoktur.

2.5. LiDAR Filtreleme Teknikleri

LiDAR verilerinin filtrelenmesi için birçok teknik araştırma konusu olmuştur (Jenkins, 2006). Morfolojik yaklaşımda 3B nokta bulutu verisi üzerinde şekle ve biçime dayalı yani morfolojik birçok işlem serisi uygulanır. Üçgenlenmiş düzensiz ağ (TIN) üretim tekniğinde LiDAR noktaları en düşük noktalara dayalı üçgenlenmiş yüzeyden kısıtlı açı ve mesafe altında Delaunay üçgenlemesi metodu kullanılır. Enterpolasyon tabanlı yaklaşımda iteratif enterpolasyon hesabıyla zemin yaklaşık olarak hesaplanır. Bu enterpolasyon algoritması hiyerarşik yaklaşımla genişletilerek filtreleme sonuçlarını ve hesaplama hızını iyileştirmiştir. Eğim tabanlı filtreleme tekniğinde ise ayırt edici derecede farklı olan zemin noktası ve diğer noktalar arasındaki geçişlerin varsayımı hesaplanarak bir filtreleme yaklaşımı izlenir. Mevcut algoritmaların bazı gelişmeler göstermiş olmasına rağmen özellikle ani yükseklik değişimleri barındıran yüzeylerde noktalar arasındaki yükseklik farklarının bir objeden veya araziden kaynaklandığı durumlardaki belirsizliği yok etme aşamasında tam anlamıyla filtreleme problemi çözülememiştir (Meng, 2010).

Zemin filtreleme işleminde yöntem seçilirken aynı zamanda LiDAR sinyal dönüşlerinin numaraları ve tipleri, ön işlem adımları, giriş veri formatı, iteratif özellikleri, komşulukların tanımlanması gibi kilit faktörler önemli hususlardır. Bir filtreleme algoritması seçilirken ilk önce göz önünde bulundurulması gereken etmen en uygun LiDAR dönüş sinyalinin seçilmesidir. Çoklu dönüş içeren verilerde bile çoğu araştırmacı zemin filtrelemesi için ilk dönüş sinyalini seçmektedir. Ormanlık alanlarda zemin yüzeyi elde edilmek istendiğinde ise araştırmacılar ikinci dönüş sinyali, son dönüş sinyali veya ilk dönüş ile son dönüşlerden oluşan bir kombinasyon verisini seçmektedir, bunun sebebi ise son dönüş sinyallerinin ağaç çatısının içinden geçerek arazi yüzeyinden veri getirmesidir.

LiDAR verilerinde zemin noktaları çıplak yeryüzünden genelde ait olduğu bölge içinde en düşük yüzeyden ölçülerek elde edilir. Zemine ait olmayan noktalar ise çıplak yeryüzünün üzerinde ki ağaçlar, binalar, köprüler gibi objelerden ölçülerek elde edilir.

Arazi noktalarının uygun olarak belirlenmesi amacıyla zemin noktalarını objelere ait noktalardan ayırt edecek fiziksel karakteristiklerini anlamak önemlidir.

Bunlardan ilki en düşük yüksekliğe sahip noktalardır. Birçok filtreleme algoritmasının temeli bu noktalara dayalıdır. Yeryüzünün dikliği bir başka karakteristik özelliktir. Zemin noktalarının kendi aralarında ki eğim obje noktaları ile arasındaki eğime kıyasla daha düşüktür. Bu sebepten çoğu filtreleme algoritması belli bir eşik değerinde ki eğim bilgisini kullanarak çalışır. Bir başka fiziksel özellik ise yer yüzeyinde ki yükseklik farklarıdır. Zemin noktaları kendi aralarında obje noktalarına kıyasla daha düşük yükseklik farkına sahiptir ve filtreleme algoritmaları için ayırt edicidir. Yeryüzün sürekliliği ise bir başka ayırt edici özellik olabilir. Arazi yüzeyi sürekli ve düzgün bir yapıya sahiptir. Ağaçlar ve binalar gibi obje noktaları ise arazi yüzeyinin sürekliliğini bozan ve filtrelenmesi gereken elemanlardır. Morfolojik temelli filtreleme algoritmaları bu karakteristik özelliklerden yararlanarak çalışır.

Bunlar birçok filtreleme algoritmasının varsayım olarak ele aldığı ortak karakteristik özelliklerdir. Bazı durumlarda yer yüzeyi bu özelliklerin hepsini barındırmaz ve noktaların sınıflandırılmasında yanlışlar yapılabilir. Bu duruma en iyi örneklerden birisi kayalık yapıdaki uçurumların keskin yükseklik değişimi içermesinden dolayı birçok algoritmanın bunları yer yüzeyi olarak sınıflandıramaması olabilir.

2.6. SAM Üretimi ve Doğruluk Değerlendirmesi

Koordinat bilgisi içeren noktalar yığından üretilen sürekli yüzeyler SAM olarak adlandırılır. Bu model oluşturulurken verideki boşluklar bütün noktalar yığını enterpole edilerek doldurulur ve belirli bir koordinat değerindeki yükseklikler bu yolla hesaplanır. Bu sayede sürekliliği olan arazi yüzeyi elde edilmiş olur. Enterpolasyon yöntemleri noktaların yüksekliklerini belirleme tekniklerine göre matematiksel farklılıklar gösterebilir. LiDAR verileri filtrelenme ve enterpolasyon işleminden sonra düşey doğruluğu iyi dağılmış kontrol noktaları ile karesel ortalama hata (KOH) hesaplanarak değerlendirilir (Hodgson, 2004).

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

Üretilen modelden elde edilen yükseklik değerleri Z_i , kontrol noktalarının yükseklik değerleri ise \bar{Z}_i olarak gösterilirken çalışma bölgesinde ki toplam nokta sayısı ise n ile ifade edilmiştir.

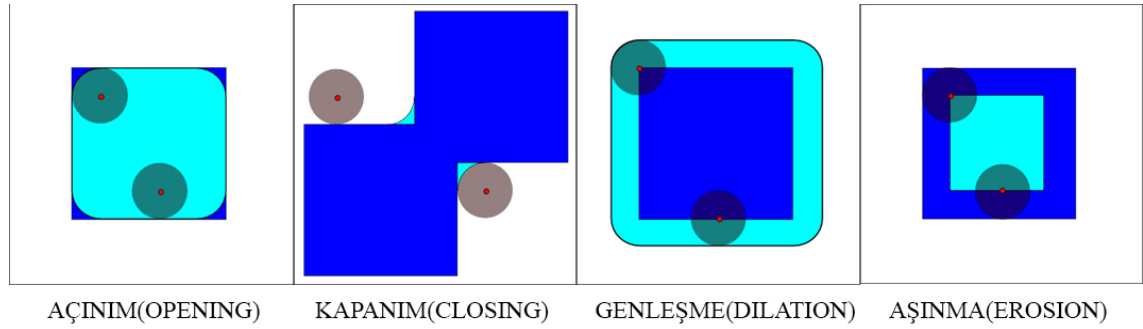
Test verilerinin doğruluk değerlendirilmesi yapılırken referans kontrol verisi yüksek doğruluğa sahip olmalıdır. Bunlar klasik yersel ölçüm metotlarıyla, GPS ölçümleri veya yüksek doğrulukta referans verisi ile yapılabilir. GPS uyduları, yoğun ormanlık alan ve yüksek yamaçlı bölgelerde temiz sinyal almakta zorlanacağı için klasik ölçümler bu çalışma alanlarında tercih edilebilir.

Ülkemizde SAM ve SYM üretimi ile ilgili doğruluk kıstası harita yapım yönetmeliğinde belirtilmemiştir. Bu tez çalışmasında referans veriler ISPRS tarafından ilk olarak otomatik ve daha sonra uydu görüntüleri yardımıyla operatörler tarafından filtrelenmiş LiDAR nokta bulutlarından elde edilmiştir. Veriler hâlihazırda otomatik filtreleme yapan bütün algoritmalarından elde edilecek filtrelenmiş verilerden daha yüksek bir doğrulukta üretilmiştir. Bu nedenle tezde kullanacağımız algoritmalar için yeterli bir doğrulukta referans olmuşlardır.

3. FİLTRELEME ALGORİTMALARI

3.1. Matematiksel Morfolojik Tabanlı Filtreler

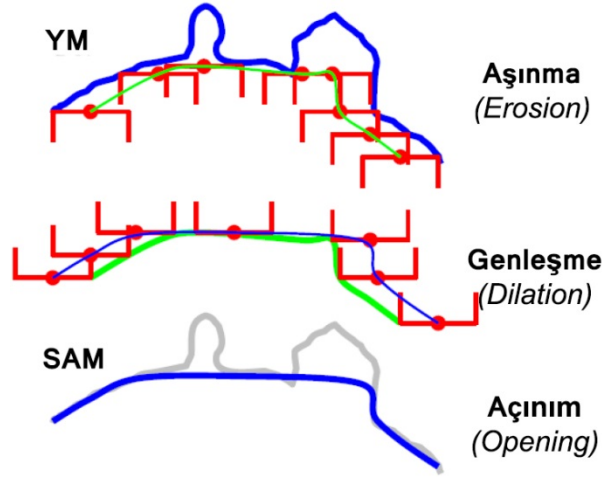
Morfolojik yaklaşım objelerin şekilleriyle ya da şekil ölçüleriyle ilgilenir (Harlick, 1992). Morfolojik filtrelerle LiDAR verileri üzerinde yapılan çeşitli deneyler, bu filtrelerin zemine ait olmayan objeleri (binalar, ağaçlar vb.) ayırt edebilme yeteneği olduğunu göstermiştir (Kobler, 2007). Temel işlem adımları çekirdek operatörüne bağlı açınım, kapanım, genişleme ve aşınma şeklindedir (Meng, 2009).



Şekil 3.1. Morfolojik filtre operatörleri

Aşınma(erosion) operatörünün temel görevi görüntüyü ya da modeli kenarlarından erozyona uğratmaktır. Sonuçta piksel grupları ve aralarındaki boşluklar küçülür. Seçilen yapı taşı elemanına göre gürültülü şekiller düzeltilir. Genişleme(dilation) operatörü ise görüntüyü ya da modeli kenarlarından genişleterek piksel gruplarını büyütür ve aralarındaki boşlukları küçültür. Açınım(opening) operatörü temel olarak aşınma operatörünü takip eden genişleme operatörü işlemidir. Kapanım ise bunun tam tersi yani genişleme operatörünü takip eden aşınma işlemidir.

Örnek verecek olursak Lohmann (2000) genişleme ve aşınma içeren çift seviyeli bir morfolojik filtreyi obje çıkarımı için test etmiştir. Araştırmacı, çalışma alanıyla ve interaktif işlem süreciyle ilgili gerekli bilgilerin yeterli olması durumunda bu yöntem için umut verici sonuçlar elde etmiştir. Birçok morfolojik filtreleme metodu farklı boyutlardaki objelerin ayırt edilmesi işleminde arama penceresinin sabit boyutlu olmasından dolayı zorlanmış ve etkisiz bir filtreleme uygulamıştır.

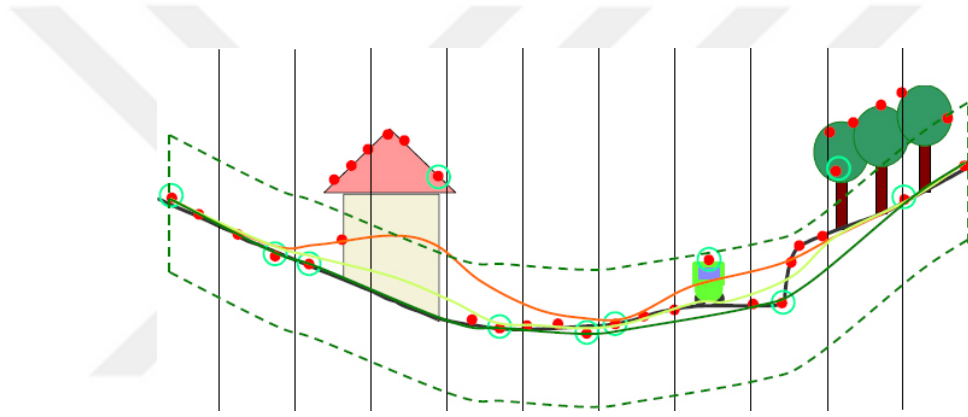


Şekil 3.2. Morfolojik açınım tekniği ile filtreleme

Arefi ve Hanh (2005) pencere boyutunu kademe kademe değiştirerek obje noktalarını ayırt eden ve arazi yüzeyini yeniden oluşturan jeodezik genişleme tabanlı bir morfolojik metot geliştirmişlerdir. Sonuçlar geniş binalar gibi farklı boyutlardaki objelerin filtrelenmesinde arama penceresi boyutunun seçiminin kritik önem taşıdığını göstermiştir. Zhang (2003) pencere boyutu aşamalı olarak büyüyen bir metot içeren kademeli morfolojik filtre önermiştir. Başka bir çalışmada ise büyüyen arama penceresi metoduyla maksimum yerel eğim tabanlı filtre ve yükseklik temelli filtre, morfolojik filtre ile karşılaştırılmıştır. Üç metot içerisinde en az hata yapan kademeli morfolojik filtre olmuştur. Ayrıca kademeli morfolojik filtre, arama penceresinden daha büyük boyutlara sahip objeleri filtrelerken sınırlarının korunmasında daha iyi bir yeteneğe sahip olduğunu göstermiştir. Chen (2007) açınım operatörünü kullanarak pencere boyutunu aşamalı büyüten ve aşamalı olarak obje noktalarını ayırt eden morfoloji tabanlı bir metot geliştirmiş, buna ek olarak arama penceresinin boyutunun sınırlamasını en aza indirmek için iki aşamalı bir işlem süreci önermiştir. Bu algoritma ilk olarak orman örtüsüne ait noktaları nispeten küçük bir arama penceresi iterasyonu ile daha sonra ise filtreleme işlemini tekrarlayarak geniş binaları büyük boyutlu pencere ile sınıflandırmaktadır. Cui (2013) morfolojik filtreleme algoritmasını kümeleme temelli bir yaklaşım ile iyileştirerek karışık arazi tiplerinde daha iyi performans elde etmiştir. Bu yaklaşımda yine farklı arama pencere boyutları kullanılmış ve her noktaya komşuluklarına göre ağırlıklandırma yapılarak algoritma iyileştirilmiştir.

3.2. Enterpolasyon Tabanlı Filtreler

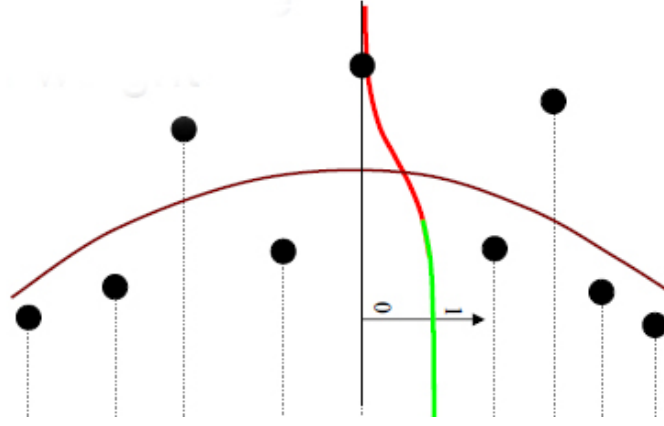
Enterpolasyon tabanlı yaklaşımların temel ilkesi noktaların ölçülen yükseklikleri ile çeşitli enterpolasyon yöntemi ile hesaplanmış yükseklik değerlerini karşılaştırmaktır. Bu filtreleme tekniğinde zemine yaklaşık olarak tüm noktalardan geçen bir yüzey modeline dayalı algoritma kullanılır (Lohmann, 2000). Doğrusal enterpolasyon metotlarını kullanan araştırmacılar yerel obje noktalarının etkisini en aza indirmek için genellikle bir iterasyon işlem stratejisi uygulamaya ihtiyaç duyarlar. Noktalar ile bu yüzey modeli arasındaki farkı hesaplayan kaba bir yüzey modeli kullanılır. Eğer ölçülen noktalar bu kaba yüzeyin üzerinde ise bir sonraki iterasyonda yüzeyin oluşturulmasında etkileri azalır tam tersi durumda ise etkileri artar.



Şekil 3.3. Enterpolasyon temelli filtreleme

Örnek olarak Kraus (1998, 1999, 2001) ağırlıklı doğrusal en küçük kareler enterpolasyonuna dayanan bir iteratif yaklaşım sunmuştur. Bu metodun ana fikri zemin noktalarının genellikle negatif hata miktarı, obje noktalarının ise pozitif hata miktarı alması nedeniyle negatif hatalı noktalara yüksek ağırlık, pozitif hatalı olanlara ise düşük ağırlık uygulayan bir ağırlık fonksiyonu tasarlanmasıdır.

Araştırmacılar bu filtreleme tekniğini ormanlık ve meskûn alanları kapsayan bir harita yapım projesinde başarıyla test etmişler ve bu tekniği ormanlık bölgelerde yapılacak uygulamalar için geliştirmişlerdir (Schickler, 2001). Engebeli ve sarp arazilerde yapılan çalışmalarda bu metotlar uygulanmaya çalışıldığında bazı sınırlamalar ortaya çıkmış ve sarp arazilere uyum sağlayacak bir sürümü geliştirilmiştir (Lee 2003).



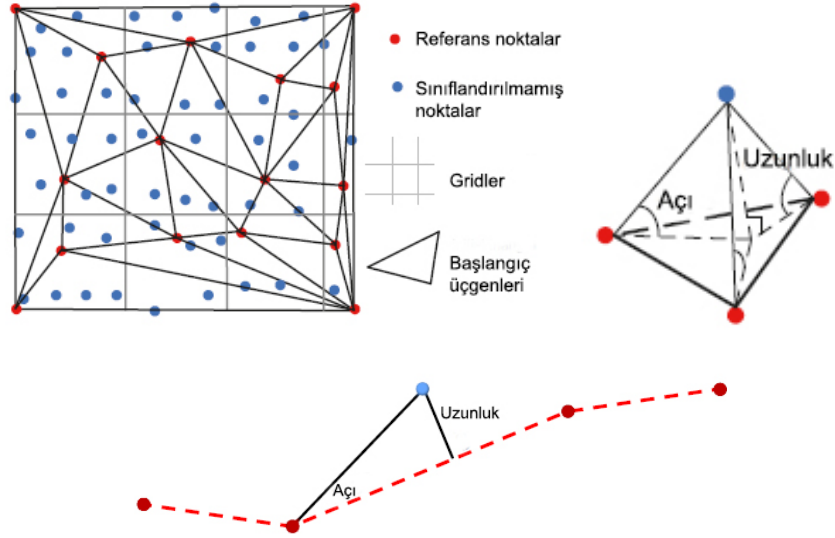
Şekil 3.4. Enterpolasyon fonksiyonunun ağırlıklandırılması

Başka bir farklı enterpolasyon yöntemi ise thin-plate spline (TPS) modeldir (Briggs, 1974, Jain, 1995). Evans ve Hudak (2007) enterpolasyonun hücre boyutunu değiştirerek TPS yöntemini kullanan çoklu ölçekli bir iteratif filtreleme işlemi oluşturmuşlardır. Bu çalışmanın sonuçları ele alındığında orman bölgesindeki çalılklardan oluşan bitki örtüsünün filtrenmesinde gelişmeler gösterdiği belirtilmiştir.

3.3. Kademeli Üçgen Sıklaştırma Temelli Filtreler

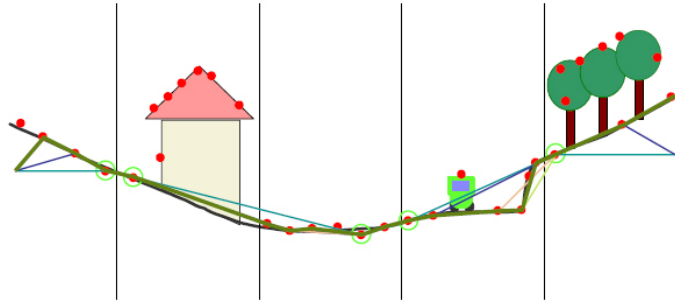
Enterpolasyon temelli filtreleme benzer olarak bu filtreler kademeli olarak daha çok noktayı zemin noktası olarak sınıflandırır. Enterpolasyon temelli metot ile aralarındaki fark daha sonra ki aşama için enterpolasyona ihtiyaç olmamasıdır. Axelsson (2000) ilk aşamada tüm nokta veri setini gridlere bölerek her gridin içerisinde ki en düşük yüksekliğe sahip noktayı seçerek başlangıç temel noktaları kabul eder ve bu noktalar kullanılarak referans üçgenlenmiş düzensiz ağ (TIN) modeli oluşturulur.

Her bir üçgenin içinde bulunan henüz sınıflandırılmamış noktalar üçgen yüzeyine olan mesafe ve üçgeni oluşturan noktalardan test noktasına en yakın noktayla kendisini birleştiren doğrunun üçgen yüzeyi ile arasındaki açı eşik değerlerinin altında kalıyor ise zemin noktası, eşik değeri aşıyor ise obje noktası olarak sınıflandırılır. Bir sonraki iterasyon işlemine geçmeden önce tüm zemin noktaları mevcut üçgen ağına dâhil edilir. Bu sayede tüm zemin ve obje noktaları sınıflandırılana kadar üçgen modeli yoğunlaştırılmış olur. Axelsson'un metodu kademeli sıklaştırılan üçgen düzensiz ağ (TIN) olarak bilinir. Sithole (2004) yaptığı araştırmada sekiz zemin filtreleme algoritmasını test etmiş ve ATIN algoritmasının sonuçları dikkat çekici olmuştur.



Şekil 3.5. Sıklaştırılmış üçgen düzensiz ağ modeli

Haugerud (2001) üçgenlemeyi kullanarak yeryüzünün sürekliliğini temel alan bir algoritma geliştirmiştir. Bu algoritma yer yüzeyinin keskin köşeler dışında genelde pürüzsüz olduğunu varsayar. Eğimi yüksek noktalar obje noktaları olarak sınıflandırılır. Bu teknik ilk olarak üçgen model oluşturularak veriyi gridlere böler ve her griddeki merkez noktaya o griddeki tüm noktaların ortalama değeri atanır. Daha sonra test edilecek noktaların eğimi bu ortalama değere göre hesaplanır ve sınıflandırma gerçekleştirilir. Testlere göre bu filtre küçük boyutlu binaları ve köprüleri filtreleyebilirken büyük boyutlu yapıları ve kısa binaları tespit edememiştir. Bunun sebebi algoritmanın sabit arama penceresi kullanması ve pencere boyutundan büyük yapıları tanıyamamasıdır.



Şekil 3.6. Üçgenlenmiş düzensiz ağ filtreleme (Pfeifer, 2008)

3.4. Bölütleme ve Kümeleme Temelli Filtreler

Bölütleme temelli yaklaşımda genelde obje bölütlerinin zemin bölütlerinden yukarıda olduğu varsayılır. Bu filtreleme tekniği iki aşamadan oluşmaktadır; ilk aşamada varlıklar bölütlere ayrılır ikinci aşamada ise oluşturulan bölütlere göre filtreleme yapılır. Bir bölütleme işlemi ilk olarak zeminden otomatik seçilen referans noktadan bölge büyüme(region growing) metodu ile başlatılır (Tóvári, 2005). Daha sonra noktalara ait üç tane matematiksel ölçüye dayalı olarak bir bölümün içinde ki noktalar tarafından temsil edilen matematiksel düzleme komşu noktalar kademeli olarak dâhil edilir ve son olarak LiDAR nokta bulutları yüzey objelerine karşılık gelen bölümlere ayrılır. İkinci aşamada bu bölümler, objelerin oluşturduğu bölütlerin ağırlıklarını en aza indirmek için uyarlanan bir ağırlık fonksiyonunun dâhil edilmesiyle yapılan en küçük kare doğrusal enterpolasyon işlemi için temel öğeleri oluştururlar (Filin, 2006).



Şekil 3.7. Sürekli yüzeylerde nokta bölütlemesi

Küçük ve nispeten düz bir bölgede üzerinde bulunan iki binanın olduğu çalışma alanında yapılan deneylerde bina bulunan alanda obje yüzeyi yanlış hesaplanmış ve yukarı doğru bir eğri oluşturmuştur. Bunun sebebi kısmen objelerin yüzey enterpolasyon hesabından çıkartılması yerine küçük bir ağırlıkla bu işleme katılmasıdır. Bölütleme ve kümeleme filtreleme tekniği uygulanan çoğu deney nispeten düz zemin olan yüzeylerde gerçekleştirilmiştir (Tóvári, 2005, Jacobsen, 2003, Filin, 2002, Roggero 2001). Yükseklik yapısı fazla homojen olmayan yüzeyler bu filtreleme metodlarını zorlayacakları için engebeli araziden oluşan karmaşık yüzeylerde yapılacak olan çalışmalarda performansını ayrıca değerlendirmek gerekecektir.

4. YÖNTEM

Çalışma kapsamında test edilecek algoritmalar belirlenirken daha önce yapılmış araştırmalardan yola çıkarak farklı arazi tiplerinde farklı sonuçlar veren filtreleme teknikleri seçilmiştir (Sithole, 2004). Matlab programlama dilinde yazılan morfolojik temelli, üçgenleme temelli uyarlanmış TIN filtreleme algoritması ve Kriging enterpolasyon tabanlı filtreleme ile TerraSolid ticari yazılımı ile birlikte sunulan ATIN algoritmasının doğruluğu araştırılmıştır. Referans SAM ile kıyaslanarak sonuçlar analiz edilmiştir.

Test LiDAR nokta bulutları TerraScan firmasının yazılımına entegre ettiği ATIN (Axelsson 2000) filtreleme algoritması ile filtrelenmiş ve SAM oluşturulmuştur. Her veri seti için filtreleme parametreleri belirlenirken histogram değerleri göz önünde bulundurulmuştur. Yeniden uyarladığımız morfolojik ve üçgenleme temelli algoritmalar için de histogram değerleri belirlenerek filtreleme işlemi için gerekli eşik parametre sınırlarına karar verilmiştir. Parametreler belirlendikten sonra test verileri filtrelenmiş ve Surfer 12 yazılımında Kriging enterpolasyonu ile SAM oluşturulmuştur.

4.1. Adaptive Triangulated Network (ATIN) Filtreleme Algoritması

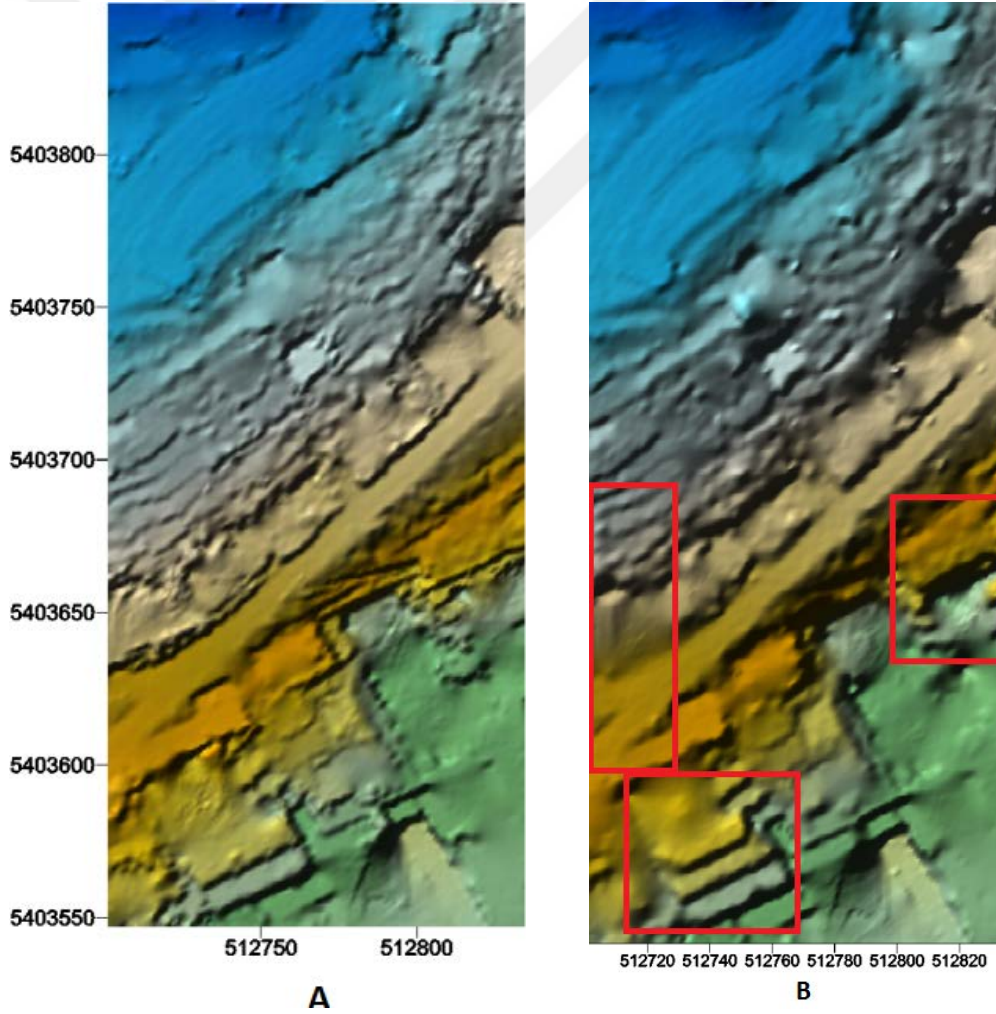
Axelsson (2000) tarafından geliştirilen bu algoritma TerraScan firması tarafından iyileştirilerek LiDAR işleme yazılımına entegre edilmiştir. Sithole (2004) tarafından yapılan deneyde on beş farklı test bölgesinde en iyi filtreleme performansını ATIN göstermiştir. Benzer sonuçlar iki farklı algoritma ile daha kıyaslandığında da ortaya çıkmıştır (Meng, 2009, Silván-Cárdenas, J.L., 2006). Algoritmanın yazarı, bu filtreleme tekniğinin matematiksel temellerini açıkça belirtmemiştir. Bu tekniğin temeli, nokta bulutunun gridlere bölünerek her bir griddeki en düşük yüksekliğe sahip noktaların belirlenerek zemin noktası olarak kabul edilmesi ve daha sonra bu noktalardan delaunay üçgenlemesi yapılmasına dayanır. Veri setindeki tüm noktalar, içinde buldukları yani ait oldukları üçgen yüzeyi ile arasındaki mesafe ve test noktasına en yakın üçgen köşe elemanı ile üçgen yüzeyi arasındaki kalan açı bulunur. Bu değerler belirtilen parametrelerin altında kalıyorsa test noktası zemin noktası olarak, tersi durumda ise obje noktası olarak sınıflandırılır ve sıradaki test noktasına geçerek her bir nokta için bu sınamaya yapılır. Böylece zemine ait yeni noktalar üçgenlemeye eklenerek bir sonraki iterasyon için üçgenler sıklaştırılmış olur.

Her iterasyondan önce parametre değerleri yeniden hesaplanır ve sınıflandırılmamış nokta kalmayana dek iterasyona devam edilir.

ATIN algoritması ile filtrelenen 5 farklı çalışma bölgesi için oluşturulan SAM ile ISPRS referans Arazi Modelinin doğruluk analizi için elde edilen karesel ortalama hata değerleri Çizelge 4.1 de verilmiştir.

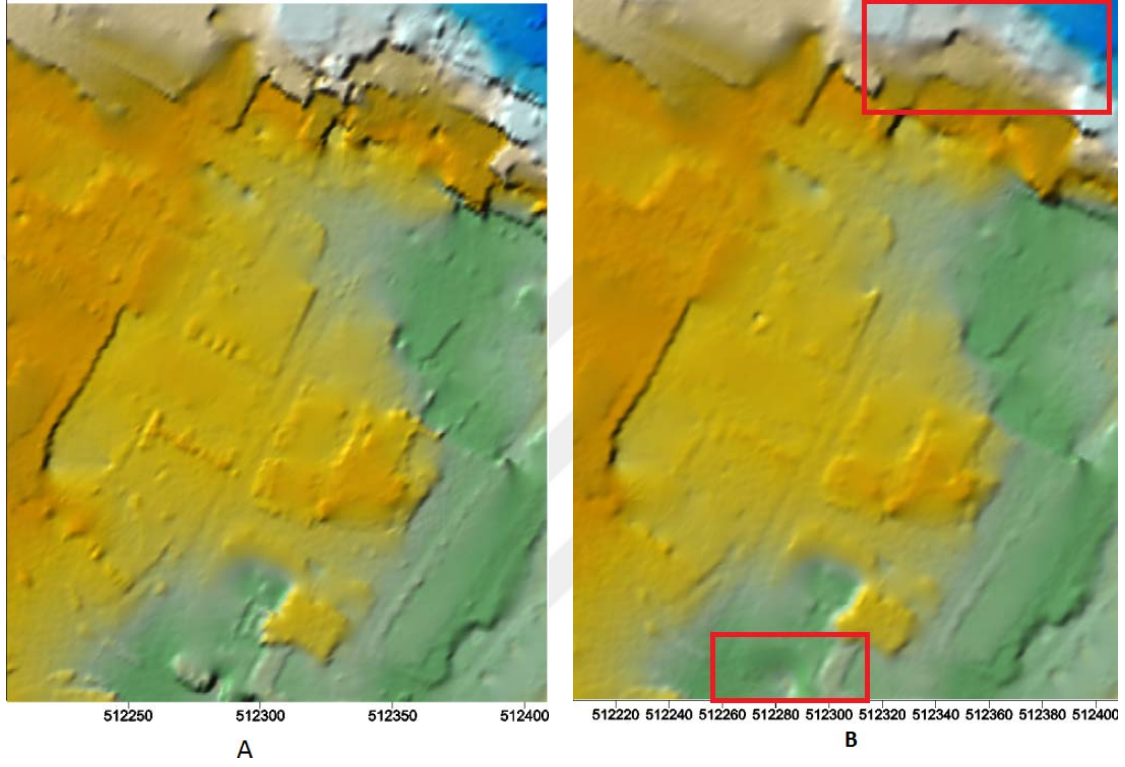
Çizelge 4.1. ATIN algoritması için referans ISPRS Sayısal Arazi Modeli ile doğruluk analizi sonuçları

	SAMP11	SAMP12	SAMP23	SAMP52	SAMP71
KOH (m)	1.10	0.52	1.42	0.73	0.20



Şekil 4.1. SAMP11 veri setinin üretilen Sayısal Arazi Modelleri (A) Referans SAM (B) ATIN algoritması ile üretilen SAM

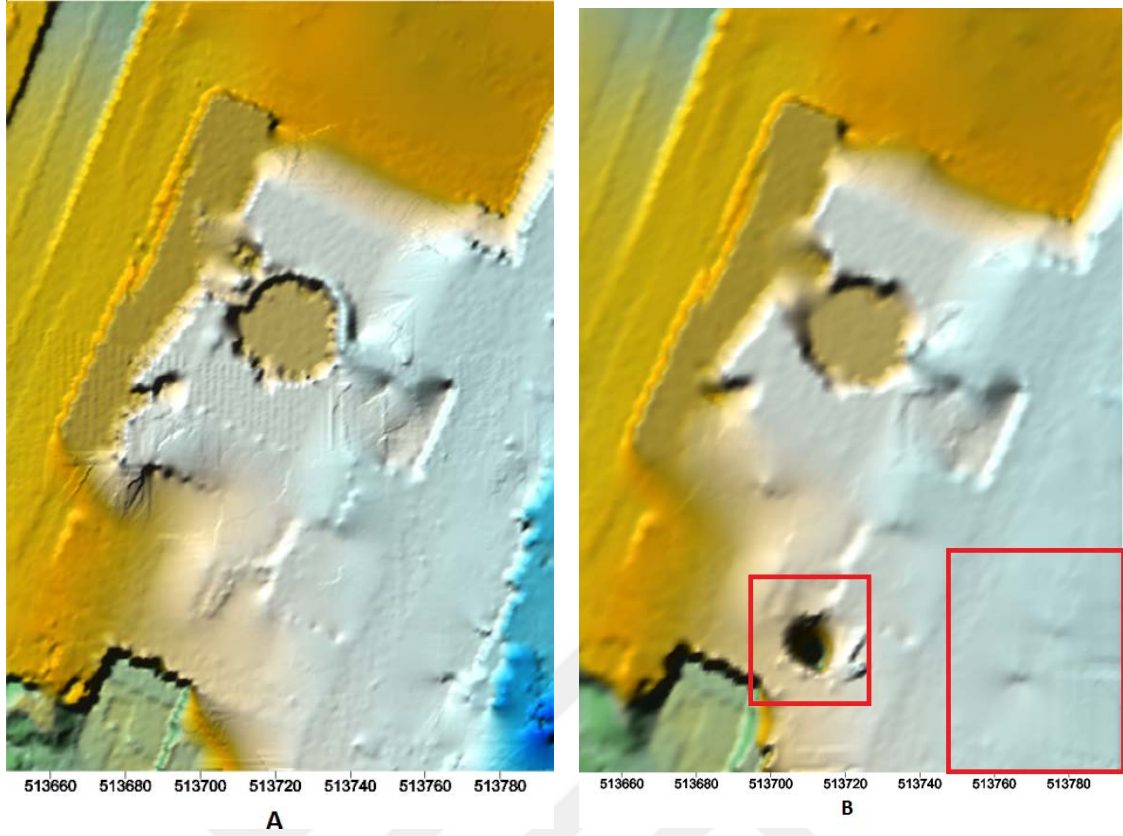
ATIN tekniği, SAMP11 örneğinde kısmen iyi bir performans göstermiştir. Şekil 4.1 de görüldüğü üzere eğimin fazla olduğu bölgelerde bitki örtüsüne ait noktaları oldukça iyi şekilde tespit ederken yamaçlarla bütünleşik binaların bir kısmını filtrelemede zorlanmıştır. Ayrıca yol kenarındaki dik şevlerin sadece bir bölümünü tespit edememiştir.



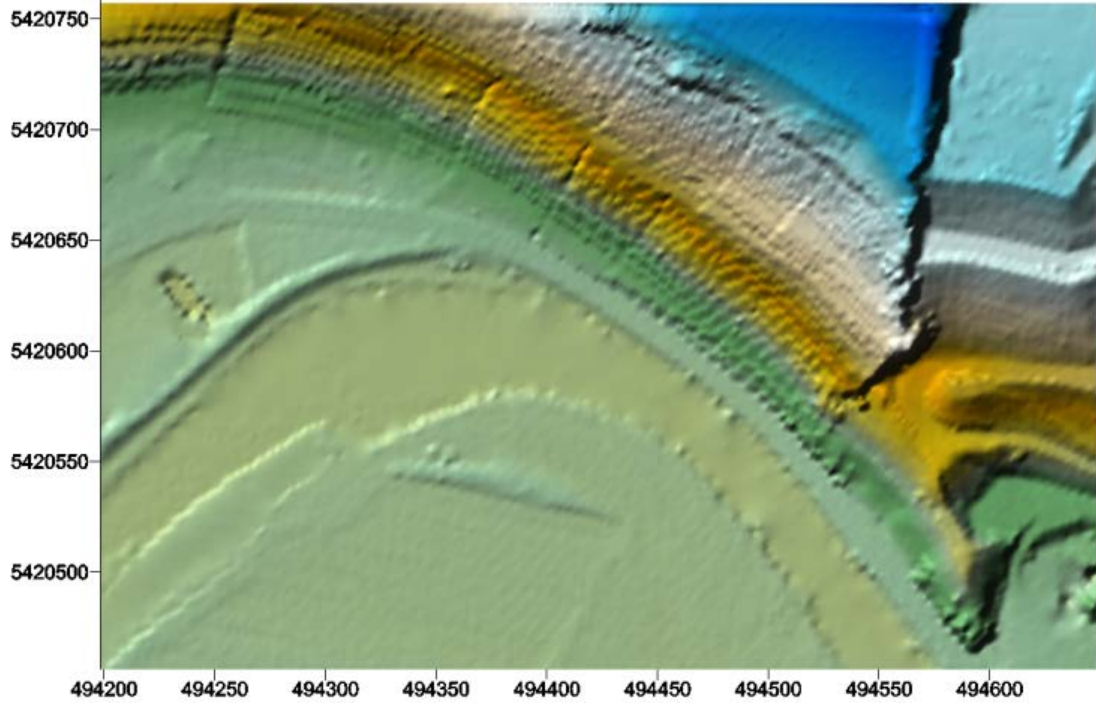
Şekil 4.2. SAMP12 veri setinin üretilen Sayısal Arazi Modelleri (A) Referans SAM (B) ATIN algoritması ile üretilen SAM

ATIN tekniği, SAMP12 örneğinde oldukça iyi bir performans göstermiştir. Şekil 4.2 de görüldüğü üzere eğimin fazla olduğu bölgelerde ki binaları filtrelerken ani kot değişiminin olduğu bu bölgedeki araziyi tam olarak ortaya çıkaramamıştır. Bahsedilen bölge dışında ki kısımlarda arazi yüzeyini oldukça başarı şekilde belirlemiştir.

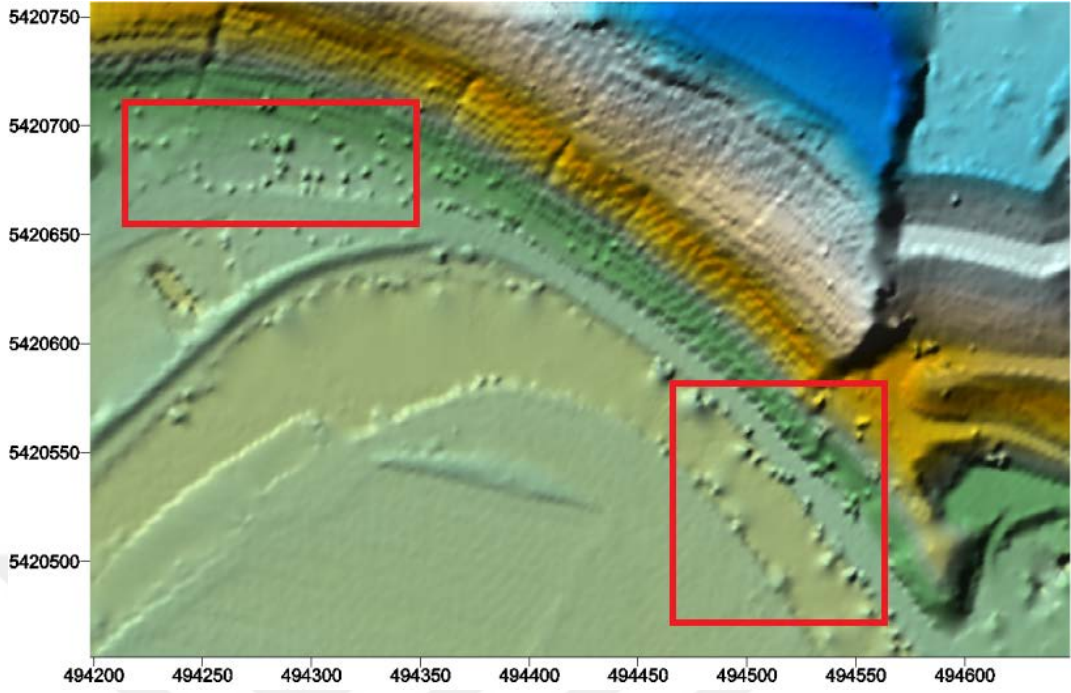
SAMP23 verisi için ise Şekil 4.3 de görüldüğü üzere veri setinin sağ alt köşesinde ki bölgede arazi kotundaki değişimi ATIN filtresi yakalayamamıştır. Ayrıca verideki bazı bölgelerdeki aykırı noktaların ayıklanamamasından dolayı arazi modelinin sürekliliği bozulmuştur.



Şekil 4.3. SAMP23 veri setinin üretilen Sayısal Arazi Modelleri (A) Referans SAM (B) ATIN algoritması ile üretilen SAM

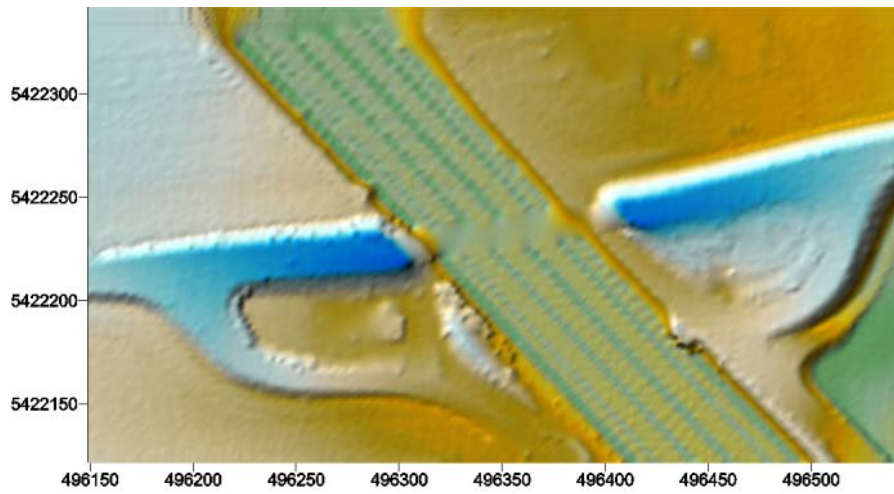


Şekil 4.4. SAMP52 veri setinden üretilen referans Sayısal Arazi Modeli

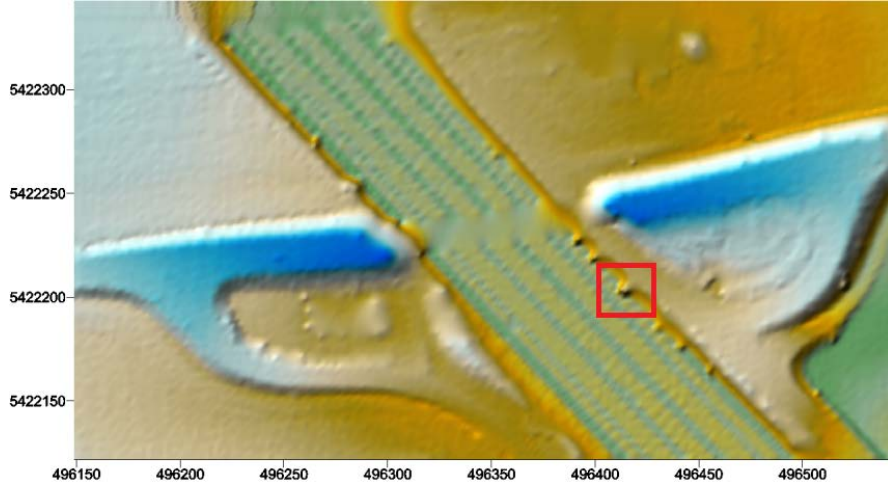


Şekil 4.5. SAMP52 veri setinden ATIN algoritması ile üretilen referans Sayısal Arazi Modeli

Şekil 4.5 de görüldüğü üzere kademeli yüksekliği artan yamaçlarda veri kaybı olmamıştır. Tepenin üzerindeki binayı filtrelerken başarılı olmuştur. Ayrıca nehir yatağının kıyısındaki ağaçları ve yamacın başlangıcındaki bitki örtüsünü tam olarak kaldıramamıştır.



Şekil 4.6. SAMP71 veri setinden üretilen referans Sayısal Arazi Modeli



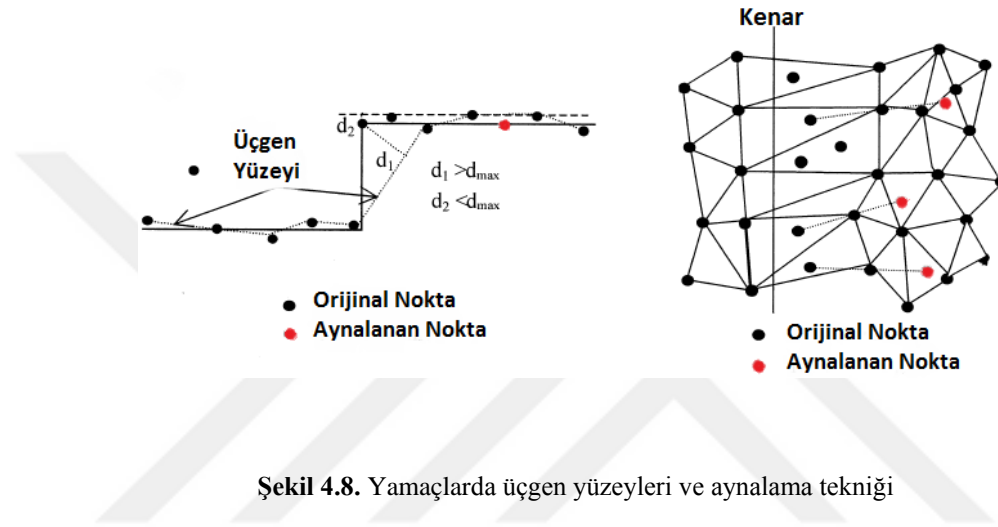
Şekil 4.7. SAMP71 veri setinden ATIN algoritması ile üretilen referans Sayısal Arazi Modeli

ATIN algoritması, SAMP71 örneğinde oldukça iyi bir sonuç ortaya koymuştur. Şekil 4.7 de görüldüğü üzere yol kenarında şevde bulunan bitki örtüsünün büyük bir kısmını filtrelemiş ve fakat ana yol kenarında ufak boyutta ki arazi uzantısını sınıflandıramamıştır.

4.2. Uyarlanmış Üçgenleme Tabanlı Filtre (uÜTF)

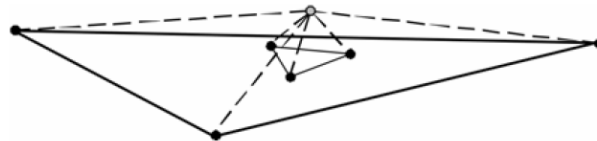
Axelsson tarafından geliştirilen algorithmadan uyarladığımız bu tekniğin, ATIN algoritmasından en büyük farkı ilk aşamada zemin olarak sınıflandırılan noktaların ikinci iterasyonda üçgenlenmemesi bunun yerine tekrar gridlere bölünerek grid noktalarının üçgenlenerek filtreleme yapılmasıdır. Son iterasyonda bulunan zemin noktalarının sayısı ile bir önce ki sıklaştırmada elde edilen zemin nokta sayısının farkı toplam nokta bulutundaki veri sayısına oranlanır. Bu oranın belli bir değerin altına düşmesi durumunda grid boyutunu küçülterek tekrar minimum yükseklikte ki noktalar belirlenir üçgenleme yeniden yapılarak iterasyon şeklinde zemin noktaları sıklaştırılır. Ayrıca filtreleme işlemine başlamadan önce ham nokta bulutundaki düşük ve yüksek kotlu aykırı noktalar filtreleme performansını etkilememesi amacıyla ayıklanmıştır. Bu işlem için öncelikle ham nokta bulutu 1m'lik gridlere bölünmüş ve her griddeki minimum kotlu noktalardan geçen bir minimum yüzey elde edilmiştir. Thin Plate Spline enterpolasyon metodu ile oluşturulan bu minimum yüzey referans olarak kabul edilmiş ve en başta belirlenen arazinin maksimum eğimine göre eşik değerleri aşan noktalar aykırı nokta olarak tespit edilerek ham veriden çıkartılmıştır.

ATIN tekniği yamaç bölgelerde zemin noktalarının eşik değeri kolayca aşacağı için bu noktaları hatalı sınıflandırabilmektedir. Dik yamaçlardaki önceden belirlenen arazi eğimini aşan üçgenlerin içerdiği test noktaları için aynalama tekniği ile filtreleme yapılmıştır. Bu tekniğin temeli yamaçtaki test edilecek noktanın kendisine en yakın üçgen köşe noktasına göre aynalanması ve aynalanan noktanın parametrelerle test edilmesidir. Eğer aynalanan nokta parametreleri aşmıyorsa test noktası zemin noktası olarak sınıflandırılır.



Şekil 4.8. Yamaçlarda üçgen yüzeyleri ve aynalama tekniği

Klasik ATIN algoritmasında büyük üçgenlerle filtreleme yapılırken çoğu zemine yakın objeler (kısa boylu bitki örtüsü vb.) zemin noktası olarak yanlış sınıfa dâhil edilir. Bunun sebebi bahsedilen obje noktasının üçgen elemanlarıyla üçgen yüzeyi arasındaki açının küçük olması ve belirtilen parametrelerin altında kalmasıdır (Wang, 2015). Ayrıca test edilecek noktaların dâhil oldukları delaunay üçgeni belirlenirken bazı test noktaları üçgenleme alanının dışında kalabilmektedir. Bu problemin çözümü için çalışma alanının sınırlarından 5 metre dışarıda çerçeve noktaları oluşturup bunlar da üçgenlemeye dâhil edilmiştir.



Şekil 4.9. İki aşamalı yapılan üçgenleme şeması

Bu çalışmada ortaya koyduğumuz uÜTF tekniğinin ATIN algoritmasından farklı ise üçgen boyutları küçültülerek yapılan bir sonraki sınıflandırma adımında yanlış filtrelenen obje noktaları daha küçük üçgenlerle test edildiğinde belirlenen açı değerini aşacağı için obje noktası olarak sınıflandırılır ve zemin noktalarına dâhil edilmez.

uÜTF algoritması için dört adet parametre kullanıcı tarafından belirlenmektedir. İlk olarak veride yer alan en büyük yapının genişliğinden daha büyük bir grid boyutu seçilir. Maksimum arazi eğimi kullanıcının yorumuna göre yapılır. Noktalar ile üçgen arasındaki başlangıç mesafe ve açı değerleri histogramdan alınır (Axelsson, 2000).

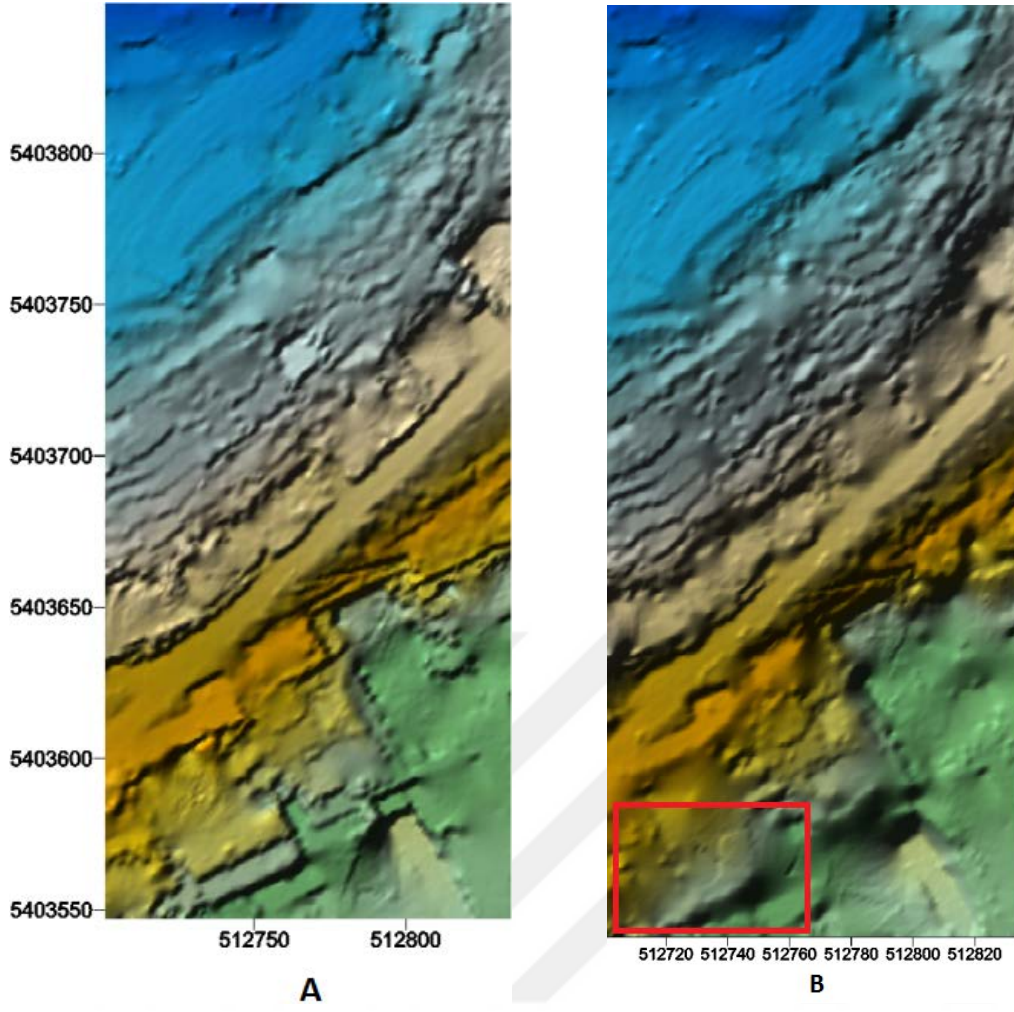
Uyarlanmış Üçgen Temelli Filtre algoritması ile filtrelenen 5 farklı çalışma bölgesi için oluşturulan SAM ile ISPRS referans Arazi Modelinin doğruluk analizi için elde edilen Karesel Ortalama Hataları (KOH) Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. uÜTF için referans ISPRS Sayısal Arazi Modeli ile doğruluk analizi sonuçları

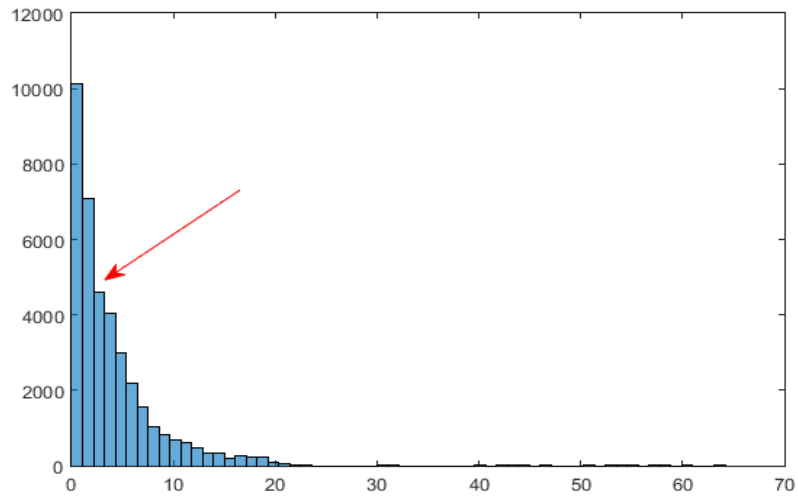
	SAMP11	SAMP12	SAMP23	SAMP52	SAMP71
KOH (m)	1.56	0.56	0.75	1.16	0.18

uÜTF tekniği SAMP11 bölgesinde kısmen başarılı sonuçlar vermiştir. Şekil 4.10 da görüldüğü üzere dik yamaçlı bölgedeki binaları tam olarak çıkaramazken bitki örtüsünü başarılı şekilde filtrelemiştir. Yol kenarındaki şevlerin bir kısmını belirleyebilmiştir.

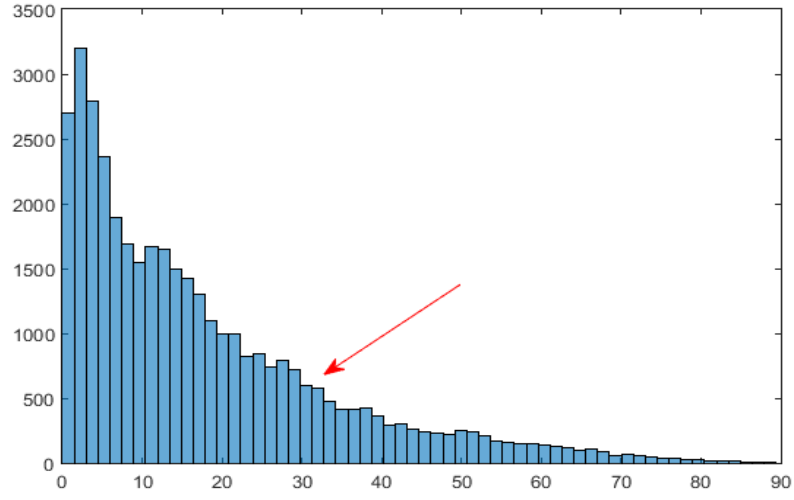
SAMP11 verisi için parametre değerleri seçilirken grid boyutu 30 m ve maksimum arazi eğimi % 17 olarak belirlenmiştir. Başlangıç mesafe ve açı değerleri sırasıyla Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 de verilen histogram grafiğinden yorumlanarak seçilmiştir. Bundan yola çıkarak mesafe değeri 2 m ve açı değeri 30° olarak belirlenmiştir. Histogramdan parametreler seçilirken değerlerdeki ani değişimlerin başladığı eşik değerler göz önünde bulundurulmuştur.



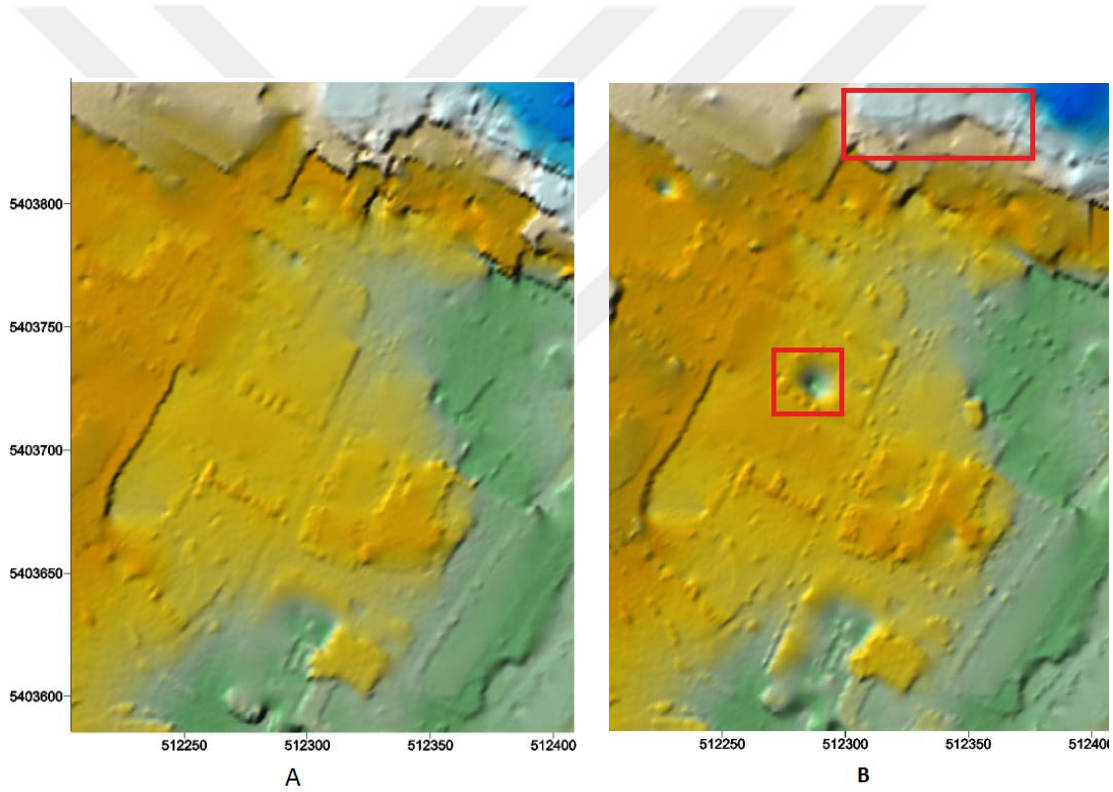
Şekil 4.10. SAMP11 veri setinin üretilen Sayısal Arazi Modelleri (A) Referans SAM (B) uÜTF algoritması ile üretilen SAM



Şekil 4.11. SAMP11 veri seti için noktalar ve üçgen yüzeyleri arasındaki mesafe histogramı grafiği



Şekil 4.12. SAMP11 veri seti için noktalar ve üçgen yüzeyleri arasındaki açı histogramı grafiği

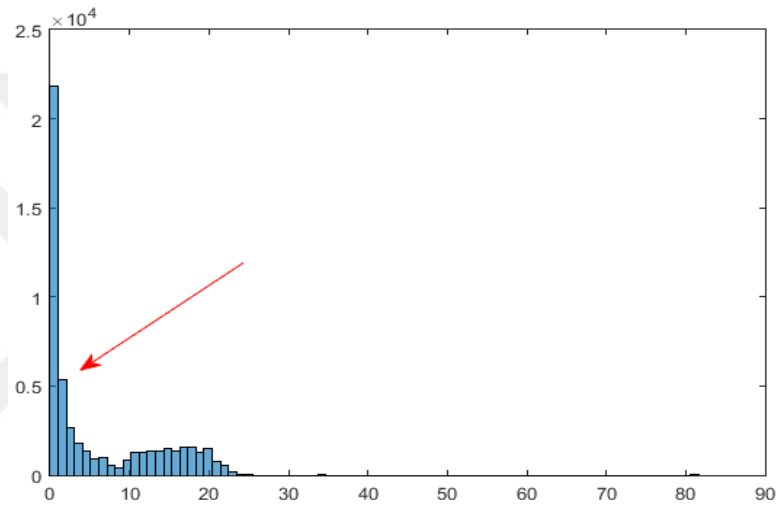


Şekil 4.13. SAMP12 veri setinin üretilen Sayısal Arazi Modelleri (A) Referans SAM (B) uÜTF algoritması ile üretilen SAM

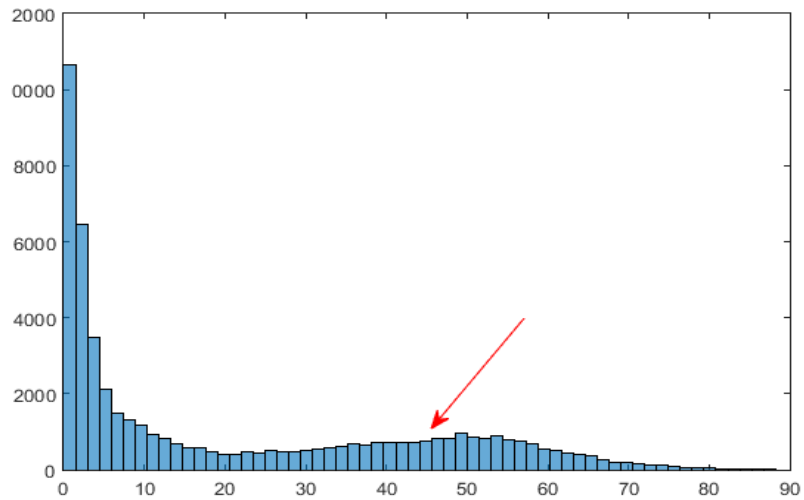
SAMP12 test verisinin filtreleme sonuçları incelendiğinde Şekil 4.13 de uÜTF algoritması düşük kotlu aykırı noktayı temizleyemediği için arazinin sürekliliği işaretlenen kısımda bozulmuştur. Ayrıca yol üzerindeki araçları tespit edememiştir.

Kuzey kısmında ki eğimli bölgedeki yapıları filtrelerken arazideki ani kot değişimlerini yakalayamamıştır.

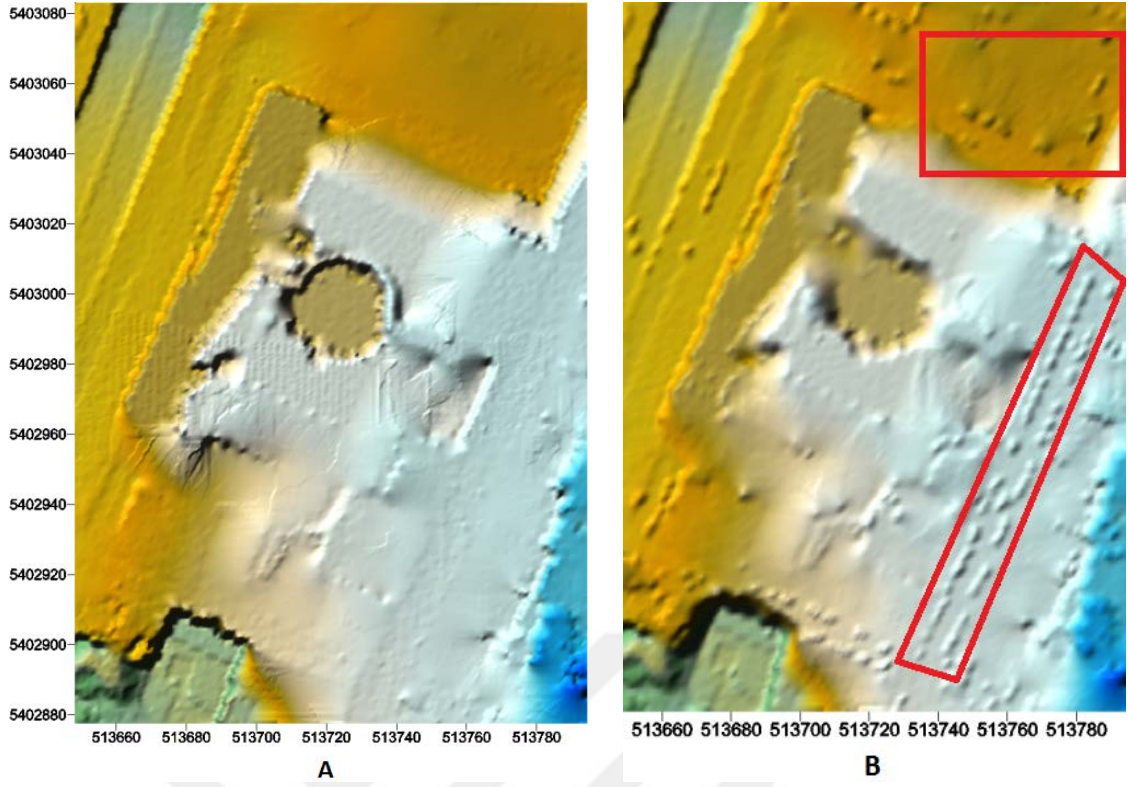
SAMP12 verisi için parametre değerleri seçilirken grid boyutu 30 m ve maksimum arazi eğimi % 3 olarak belirlenmiştir. Başlangıç mesafe ve açı değerleri sırasıyla Şekil 4.14 ve Şekil 4.15 de verilen histogram grafiğinden yorumlanarak seçilmiştir. Bundan yola çıkarak mesafe değeri 2 m ve açı değeri 45° olarak belirlenmiştir. Histogramdan parametreler seçilirken değerlerde ki ani değişimlerin başladığı eşik değerler göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 4.14. SAMP12 veri seti için noktalar ve üçgen yüzeyleri arasındaki mesafe histogramı grafiği



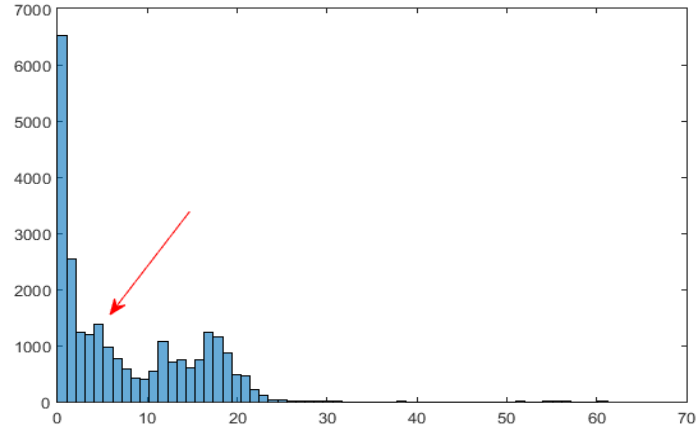
Şekil 4.15. SAMP12 veri seti için noktalar ve üçgen yüzeyleri arasındaki açı histogramı grafiği



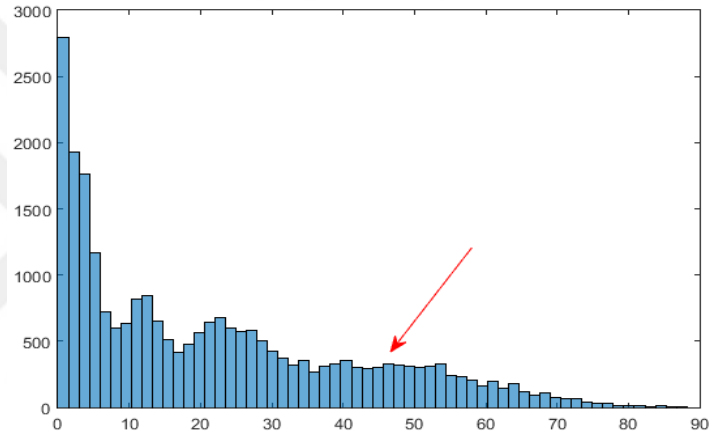
Şekil 4.16. SAMP23 veri setinin üretilen Sayısal Arazi Modelleri (A) Referans SAM (B) uÜTF algoritması ile üretilen SAM

SAMP12 örneğindeki gibi uÜTF, Şekil 4.16’da görüldüğü gibi SAMP23 verisinde de yol üzerindeki araçları filtreleyememiştir. Buna rağmen arazideki kot değişimlerini başarılı şekilde yakalamış ve gayet başarılı performans göstermiştir.

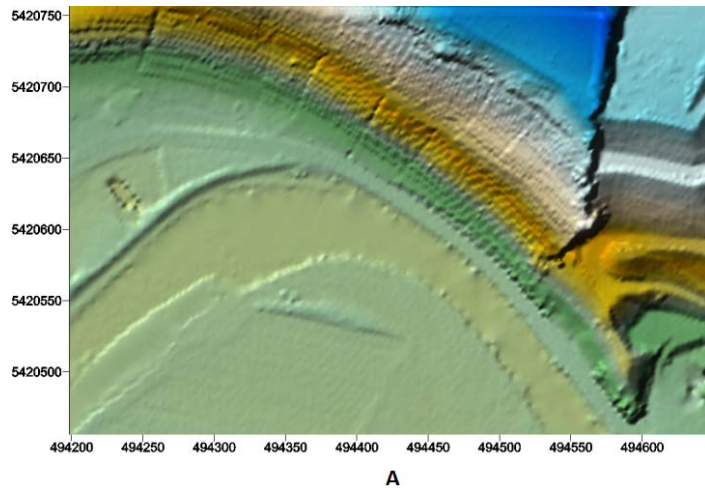
SAMP23 verisi için parametre değerleri seçilirken grid boyutu 40m ve maksimum arazi eğimi % 15 olarak belirlenmiştir. Başlangıç mesafe ve açı değerleri sırasıyla Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de verilen histogram grafiğinden yorumlanarak seçilmiştir. Bundan yola çıkarak mesafe değeri 4m ve açı değeri 45° olarak belirlenmiştir. Histogramdan parametreler seçilirken değerlerdeki ani değişimlerin başladığı eşik değerler göz önünde bulundurulmuştur.



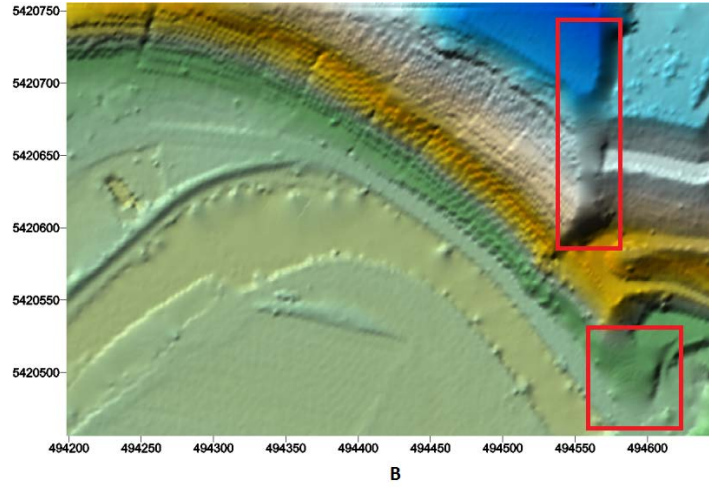
Şekil 4.17. SAMP23 veri seti için noktalar ve üçgen yüzeyleri arasındaki mesafe histogramı grafiği



Şekil 4.18. SAMP23 veri seti için noktalar ve üçgen yüzeyleri arasındaki açı histogramı grafiği



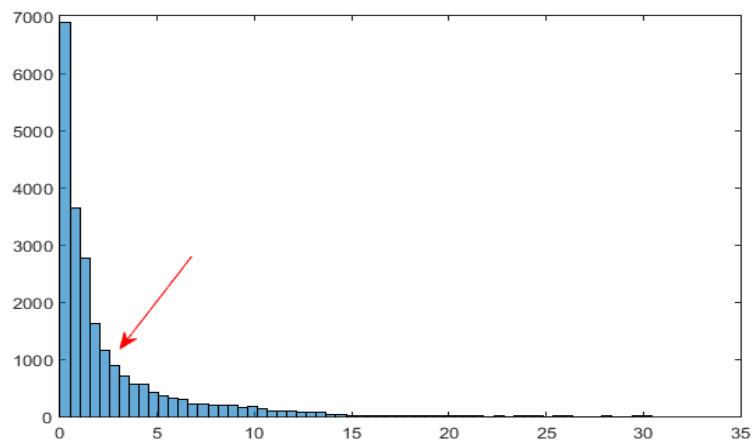
Şekil 4.19. SAMP52 veri setinin üretilen Referans Sayısal Arazi Modeli



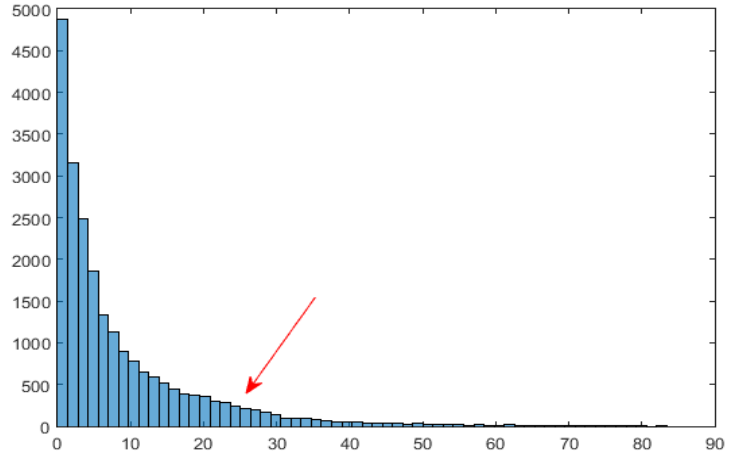
Şekil 4.20. SAMP52 veri setinin uÜTF algoritması ile üretilen Sayısal Arazi Modeli

Şekil 4.20’de görüldüğü gibi dik yükseltileri tam olarak belirleyemeyen uÜTF, tepenin üzerindeki binayı filtreleyebilmiştir. Kademeli yüksekliği artan bölgede veri kaybı olmamıştır.

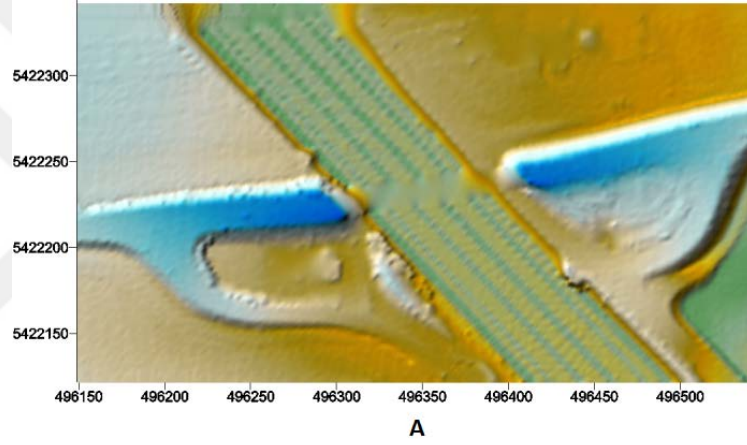
SAMP52 verisi için parametre değerleri seçilirken grid boyutu 35m ve maksimum arazi eğimi % 10 olarak belirlenmiştir. Başlangıç mesafe ve açı değerleri sırasıyla Şekil 4.21 ve Şekil 4.22’de verilen histogram grafiğinden yorumlanarak seçilmiştir. Bundan yola çıkarak mesafe değeri 2,4m ve açı değeri 25° olarak belirlenmiştir. Histogramdan parametreler seçilirken değerlerdeki ani değişimlerin başladığı eşik değerler göz önünde bulundurulmuştur.



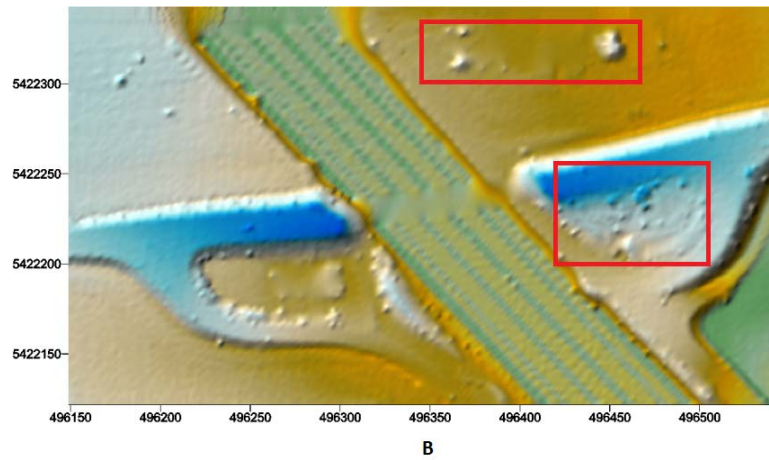
Şekil 4.21. SAMP52 veri seti için noktalar ve üçgen yüzeyleri arasındaki mesafe histogramı grafiği



Şekil 4.22. SAMP52 veri seti için noktalar ve üçgen yüzeyleri arasındaki açı histogramı grafiği



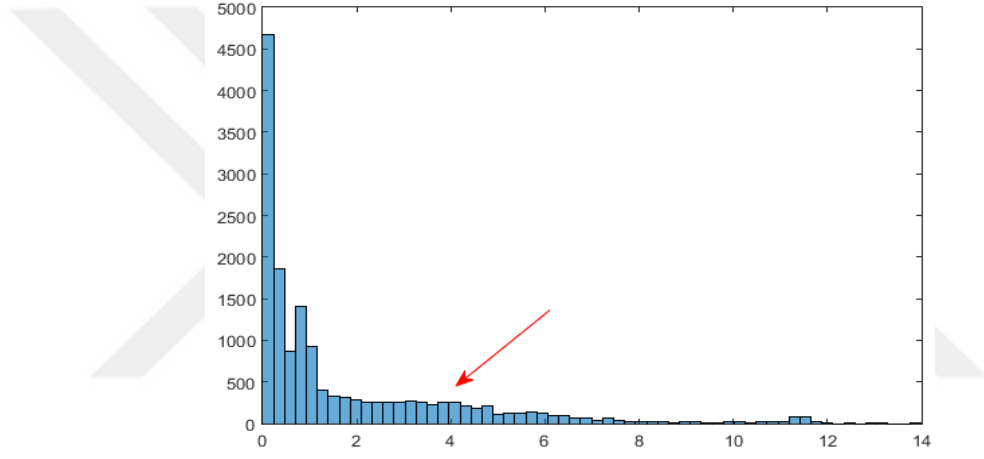
Şekil 4.23. SAMP71 veri setinin üretilen Referans Sayısal Arazi Modeli



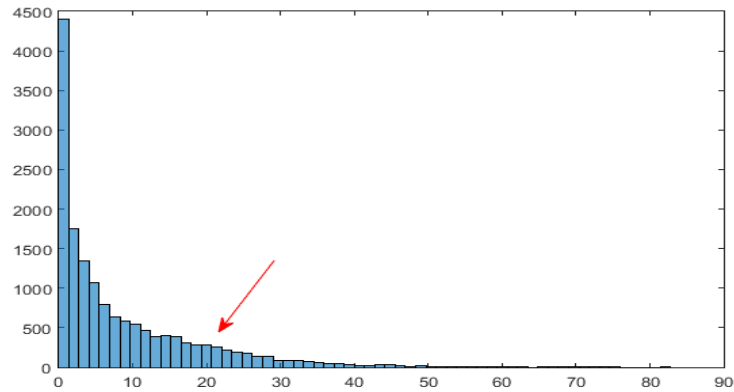
Şekil 4.24. SAMP71 veri setinin uUTF algoritması ile üretilen Sayısal Arazi Modeli

Şekil 4.24 da işaretlenen bölgelerde obje noktalarını hatalı sınıflandıran uÜTF, SAMP71 örneğinde bunlar dışında oldukça başarılı bir performans göstermiştir. Yol kenarındaki şevleri ve arazi uzantısını belirleyebilmiştir.

SAMP71 verisi için parametre değerleri seçilirken grid boyutu 25m ve maksimum arazi eğimi % 5 olarak belirlenmiştir. Başlangıç mesafe ve açı değerleri sırasıyla Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da verilen histogram grafiğinden yorumlanarak seçilmiştir. Bundan yola çıkarak mesafe değeri 4m ve açı değeri 20° olarak belirlenmiştir. Histogramdan parametreler seçilirken değerlerdeki ani değişimlerin başladığı eşik değerler göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 4.25. SAMP71 veri seti için noktalar ve üçgen yüzeyleri arasındaki mesafe histogramı grafiği



Şekil 4.26. SAMP71 veri seti için noktalar ve üçgen yüzeyleri arasındaki açı histogramı grafiği

4.3. Basit Morfolojik Filtre (bMF)

Morfolojik filtrelerin temeli görüntü işleme tekniklerini kullanarak nokta bulutunda obje ve zemine ait noktaları ayırt etmektir. Tekniğin temeli gridlere ayrılan nokta bulutunda her bir griddeki minimum yüksekliğe sahip noktalar belirlenerek temel minimum yüzeyin oluşturulması ve morfolojik açınım operatörünün bu üretilen yüzeye uygulanmasıdır. Bu sınıflandırmayı yaparken görüntü işlemedeki genişleme ve aşınma operatörlerini kullanarak veride ki göreceli yükseklik farkı bulunan noktaları belirleyerek bunları daha düşük yüksekliğe indirger. Bunu yaparken bir yapıtaşı elemanı (genelde kare ve çember şeklinde) kullanır (Pingel, 2013). Eğer açınım operatörü uygulanmış veri ile ham veri arasındaki yükseklik farkı belirlenen eşik değeri aşıyorsa obje noktası olarak sınıflandırılır (Zhang, 2003). Bu işlem adımları, arama penceresinin boyutu verideki en büyük yapının boyutundan daha fazla oluncaya kadar devam eder. Arama penceresi büyüdükçe daha önceden belirlenen eğim parametresine bağlı olarak yükseklik eşik değeri de artar.

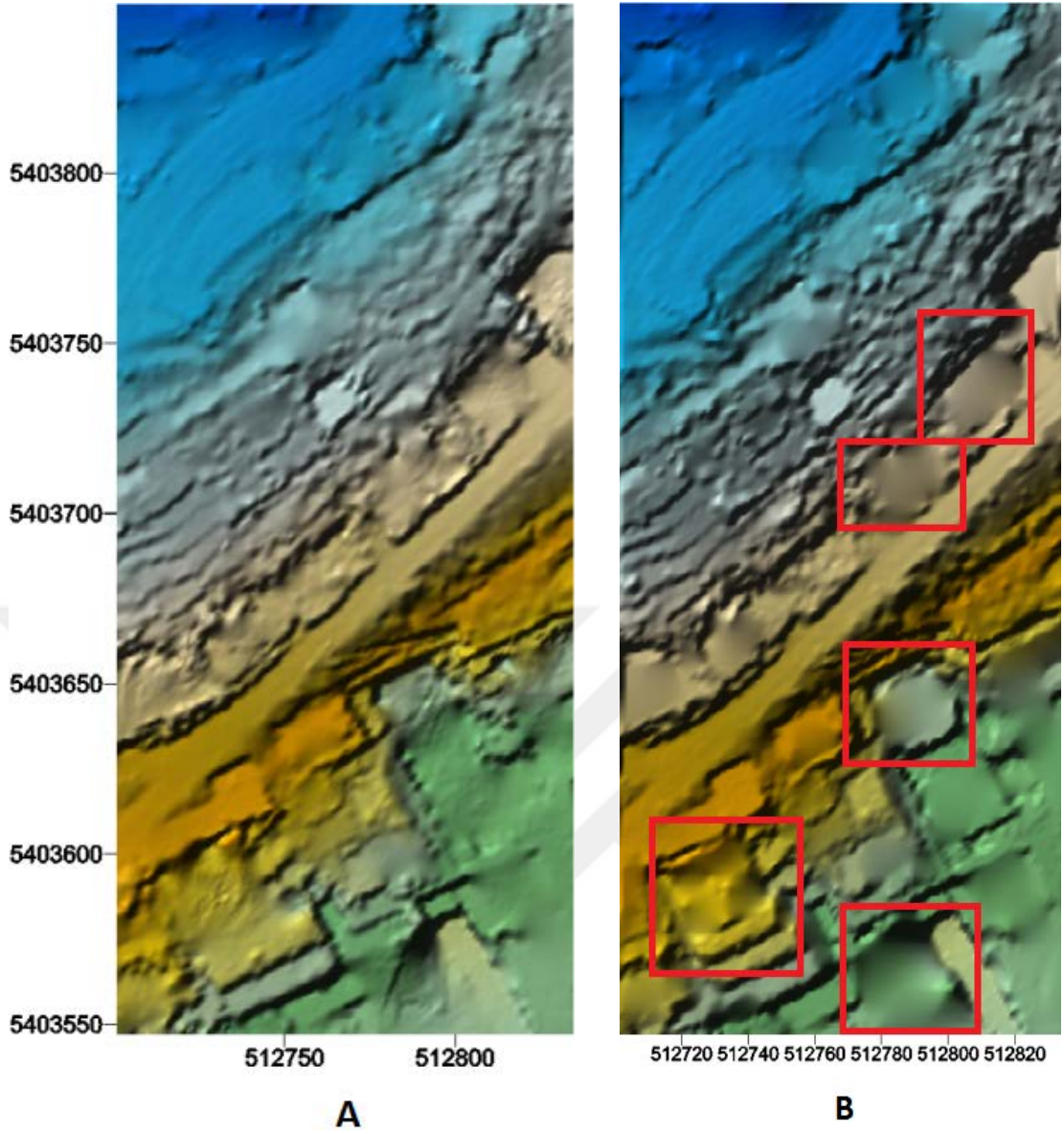
bMF algoritmasının Zhang(2003) ve Chen(2007) tarafından ortaya koyulan teknikten farkı arama penceresinin boyutu katlanarak değil de her iterasyonda bir piksel olarak kullanıcının önceden belirlediği boyuta ulaşana kadar artar.

bMF algoritması ile filtrelenen 5 farklı çalışma bölgesi için oluşturulan SAM ile ISPRS referans Arazi Modelinin doğruluk analizi için elde edilen Karesel Ortalama Hataları (KOH) Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. bMF için referans ISPRS Sayısal Arazi Modeli ile 3 boyutlu karşılaştırma sonuçları

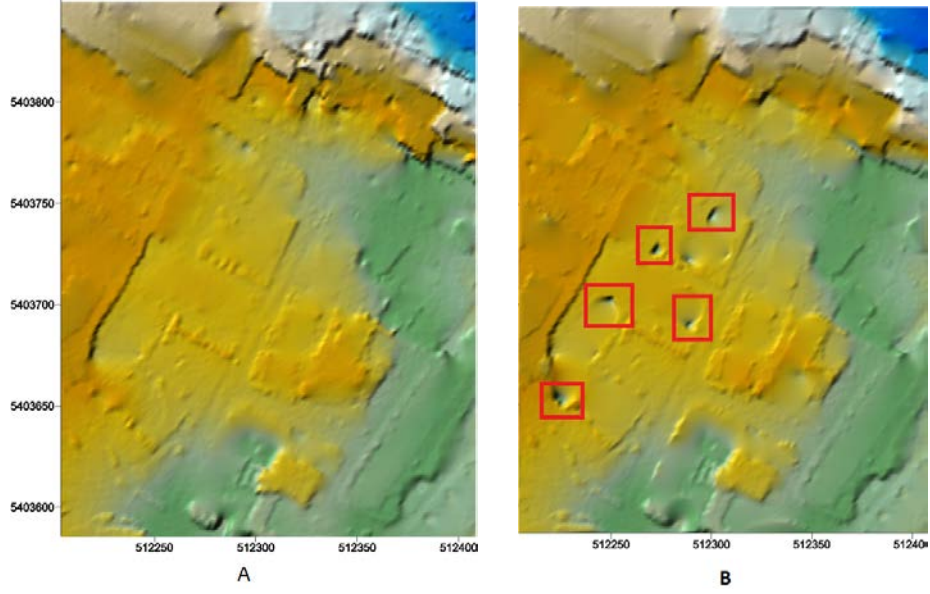
	SAMP11	SAMP12	SAMP23	SAMP52	SAMP71
KOH (m)	1.07	0.31	0.81	1.51	0.65

Basit Morfolojik Filtre, SAMP11 örneğinde kısmen iyi bir performans göstermiştir. Şekil 4.27’de görüldüğü üzere eğimin fazla olduğu bölgelerde bitki örtüsüne ait noktaları kabul edilebilir şekilde tespit ederken yamaçlarla bütünleşik binaların bir kısmını filtrelemede zorlanmıştır.



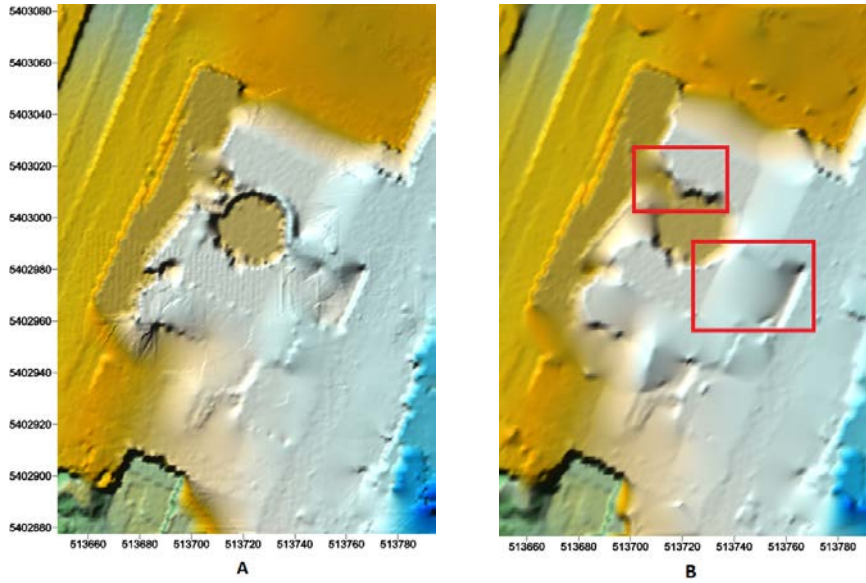
Şekil 4.27. SAMP11 veri setinin üretilen Sayısal Arazi Modelleri (A) Referans SAM (B) bMF algoritması ile üretilen SAM

bMF, SAMP12 örneğinde oldukça iyi bir performans göstermiştir. Şekil 4.28’de görüldüğü üzere aykırı noktalardan kaynaklanan arazi modelinin sürekliliğini bozan hatalar meydana gelmiştir. Hafif eğimli olan sağ üst bölgede ise yapıların çoğunu filtrelerken kısmen küçük boyutlarda ki dikliklerin bazılarını tespit edememiştir.

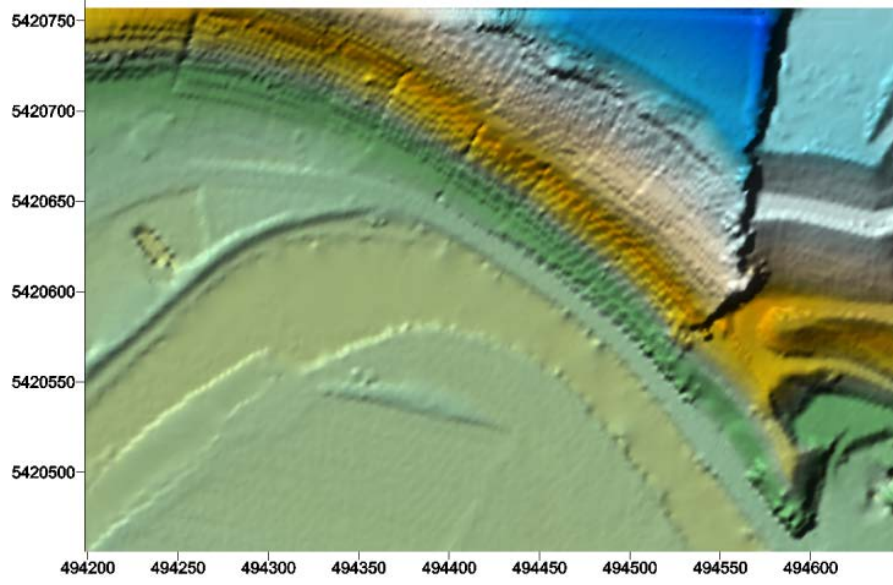


Şekil 4.28. SAMP12 veri setinin üretilen Sayısal Arazi Modelleri (A) Referans SAM (B) bMF algoritması ile üretilen SAM

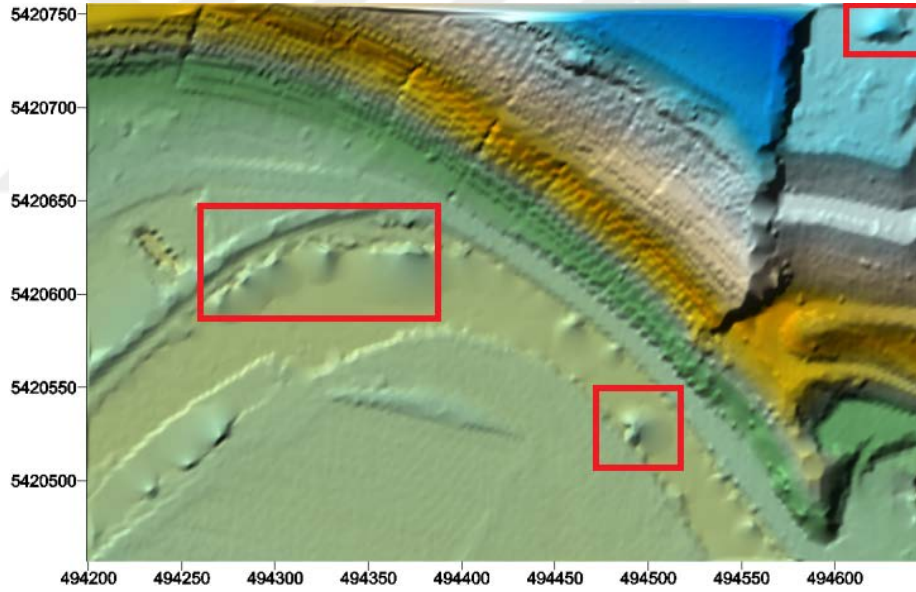
bMF, SAMP23 örneğinde kabul edilebilir bir performans göstermiştir. Şekil 4.29'da görüldüğü üzere iç içe geçmiş binaların arasında kademeli artan arazi yüzeyinin tespitini oldukça iyi şekilde belirlemiştir. Bunun yanında arazide ki anlık değişim gösteren bölgelerde değişimi yakalayamamıştır.



Şekil 4.29. SAMP23 veri setinin üretilen Sayısal Arazi Modelleri (A) Referans SAM (B) bMF algoritması ile üretilen SAM

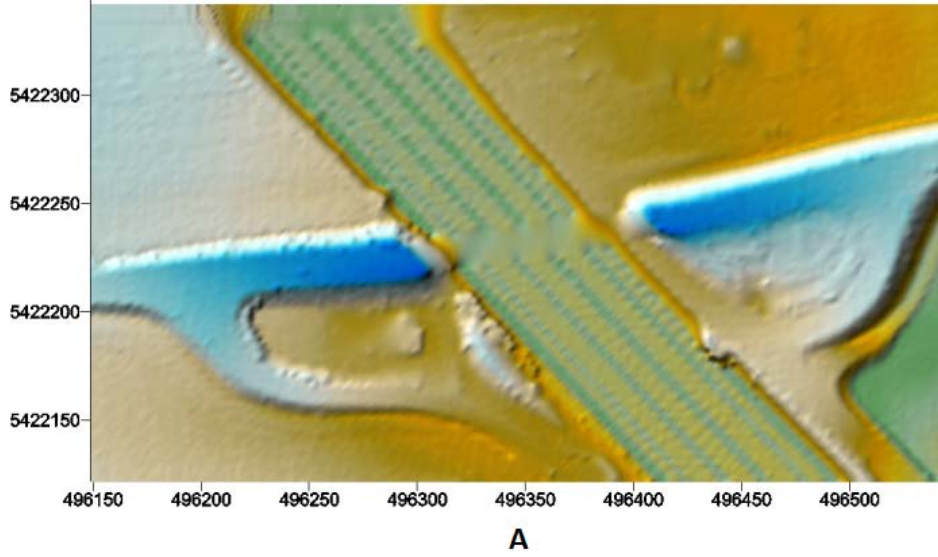


Şekil 4.30. SAMP52 veri setinin üretilen Referans Sayısal Arazi Modeli

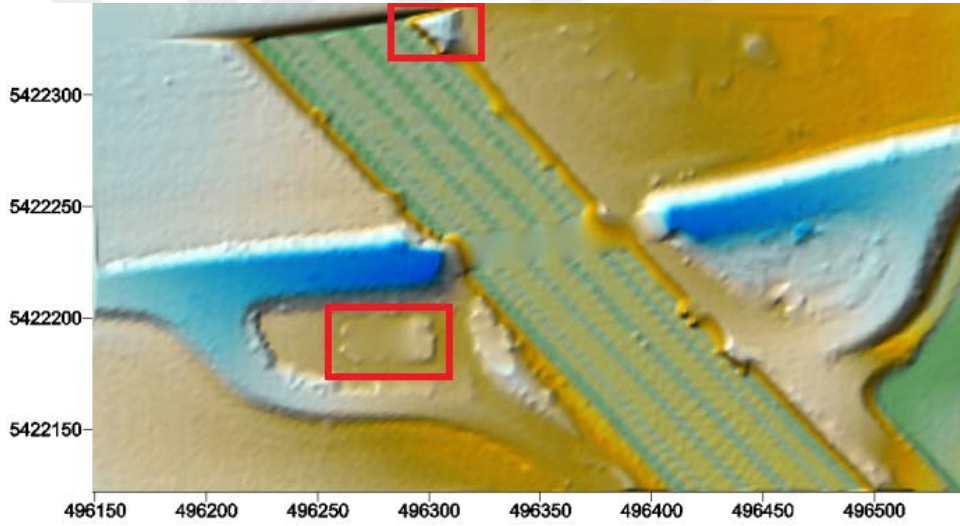


Şekil 4.31. SAMP52 veri setinin bMF algoritması ile üretilen Sayısal Arazi Modeli

Basit Morfolojik Filtreleme algoritması, SAMP52 örneğinde oldukça iyi bir performans göstermiştir. Şekil 4.31 de görüldüğü üzere kademeli yüksekliği artan yamaçlarda veri kaybı olmamıştır. Tepenin üzerindeki binayı filtreleme de tam anlamıyla başarılı olamamıştır. Ayrıca nehir yatağının kıyısındaki seyrek bitki örtüsünü tam olarak kaldıramamıştır.



Şekil 4.32. SAMP71 veri setinin üretilen Referans Sayısal Arazi Modeli



Şekil 4.33. SAMP71 veri setinin bMF algoritması ile üretilen Sayısal Arazi Modeli

Basit Morfolojik Filtreleme algoritması, SAMP71 örneğinde oldukça iyi bir sonuç vermiştir. Arazi ile bütünleşik köprülü yolu yükseklik farkına rağmen iyi şekilde ayırt edebilmiştir. Şekil 4.33 de görüldüğü üzere yol kenarında şevde bulunan bitki örtüsünün büyük bir kısmını filtrelemiştir.

4.4. Kriging enterpolasyon temelli filtre (KRIGF)

Kriging enterpolasyon yöntemi bilinen yakın noktalardan alınan verileri kullanarak diğer noktalardaki verilerin optimum değerlerini kestiren bir enterpolasyon yöntemidir (İnal,2002). Kriging yöntemini diğer enterpolasyon yöntemlerinden ayıran en önemli özellik tahmin edilen her bir nokta veya alan için bir varyans değerinin hesaplanabilmesidir ki bu tahmin edilen değer in güven derecesinin bir ölçüsüdür (Başkan, 2004).

$$\bar{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad (2)$$

Formül (2) de $\bar{Z}(s_0)$ aranılan değer, N modeli oluşturan nokta sayısı, λ_i aranılan her \bar{Z} değerine karşılık ağırlık değeri, $Z(s_i)$ ise $\bar{Z}(s_0)$ hesabında kullanılan bilinen noktalardır. Kriging’de ağırlıklar, kestirim hataları ortalaması sıfır ve varyans minimum olacak şekilde belirlenir (Yaprak, 2008).

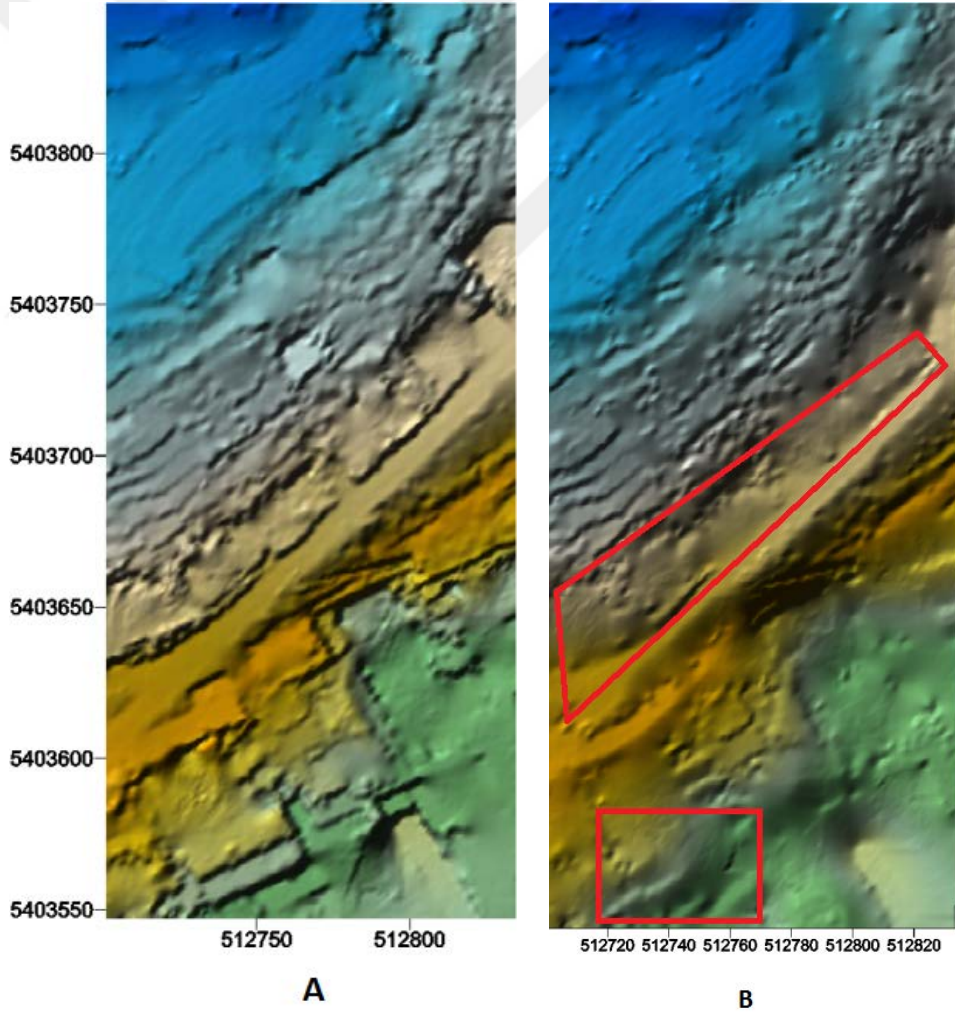
Enterpolasyon tabanlı filtreleme tekniğinin temeli, nokta bulutu gridlere bölünerek bu gridlerdeki en düşük kotlu noktalar kullanılarak Kriging enterpolasyon tekniği ile yüzey oluşturulması ve tüm noktaların bu yüzeye olan yükseklik farkına göre sınıflandırmasına dayanır. Veriyi gridlere bölerken kayan gridler oluşturulur. Kayan gridlerin özelliği seçilen grid boyutunun belli bir oranda bindirmeli olarak veriye uygulanması anlamına gelmektedir.

Gridler içerisindeki minimum yüksekliğe sahip noktalardan polinom yüzey geçirilerek ilk referans yüzeyi hesaplanır. Referans yüzeyi oluşturulduktan sonraki adımda ise enterpolasyondan kullanılacak dayanak noktaların bu yüzeye göre yükseklik farkları bulunarak belirlenen eşik değerin altında kalan noktalar dayanak noktası olarak belirlenir. KRIGF yönteminde yükseklik eşik değeri 1m seçilmiştir. Daha sonraki aşamada bu dayanak noktalarından Kriging enterpolasyon tekniği ile yüzey geçirilir ve kot farkı eşik değerin altında kalan noktalar zemin noktası olarak sınıflandırılır. Zemin noktası olarak atanan noktalar daha küçük boyutlu gridlere bölünerek noktalar sıklaştırılır ve ikinci kez enterpolasyon ile yüzey geçirilir. Tekrar sınıflandırılmamış noktalar işleme sokulur ve şartı sağlayan noktalar zemin noktası olarak etiketlenir. Bu çalışmada grid sıklaştırma işlemi grid boyutu 2m olana dek tekrarlanmıştır.

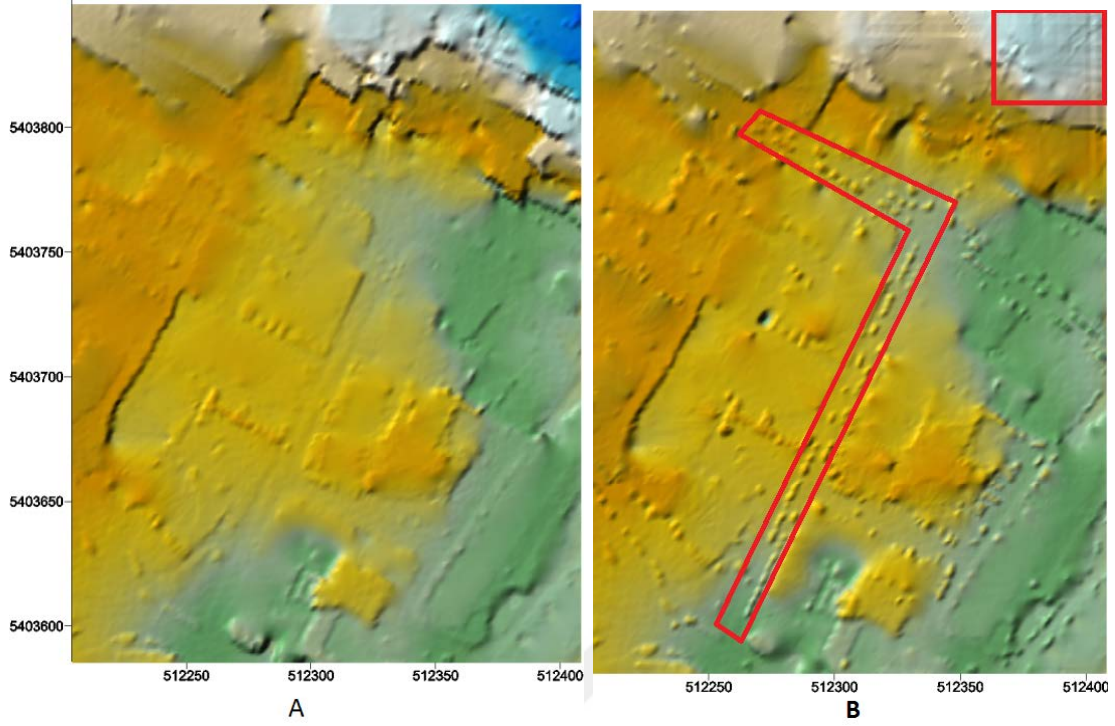
Çizelge 4.4. KRIGF için referans ISPRS Sayısal Arazi Modeli ile 3 boyutlu karşılaştırma sonuçları

	SAMP11	SAMP12	SAMP23	SAMP52	SAMP71
KOH (m)	1.55	0.95	1.53	1.29	0.19

KRIGF filtreleme algoritması, SAMP11 verisinde ortalama bir performans göstermiştir. Ani yükseklik değişimi olan bölgelerde araziye tam olarak belirleyememiştir. Bunun yanında eğimli yerlerde bulunan zemin noktalarını başarılı şekilde sınıflandırmıştır. Verinin güneyinde bulunan kademeli yapıları ise tam olarak belirleyememiş ve o bölgede araziye oldukça yumuşatmıştır.



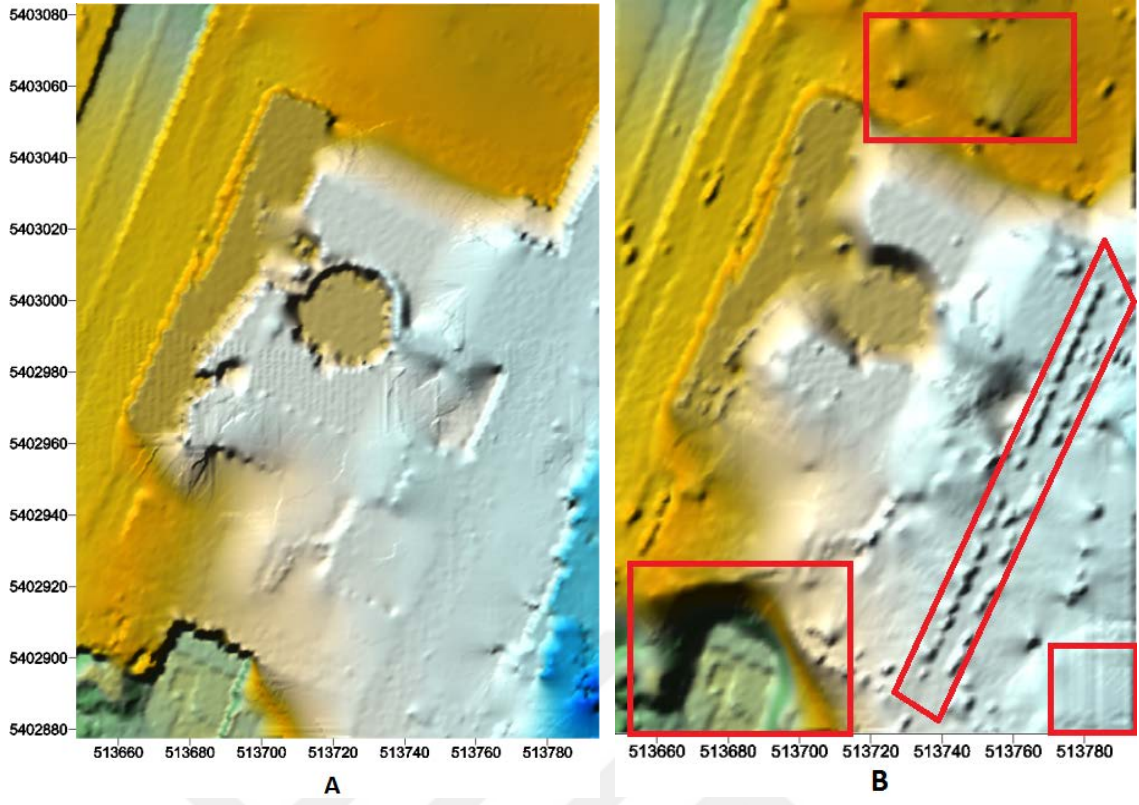
Şekil 4.34. SAMP11 veri setinin üretilen Sayısal Arazi Modelleri (A) Referans SAM (B) KRIGF algoritması ile üretilen SAM



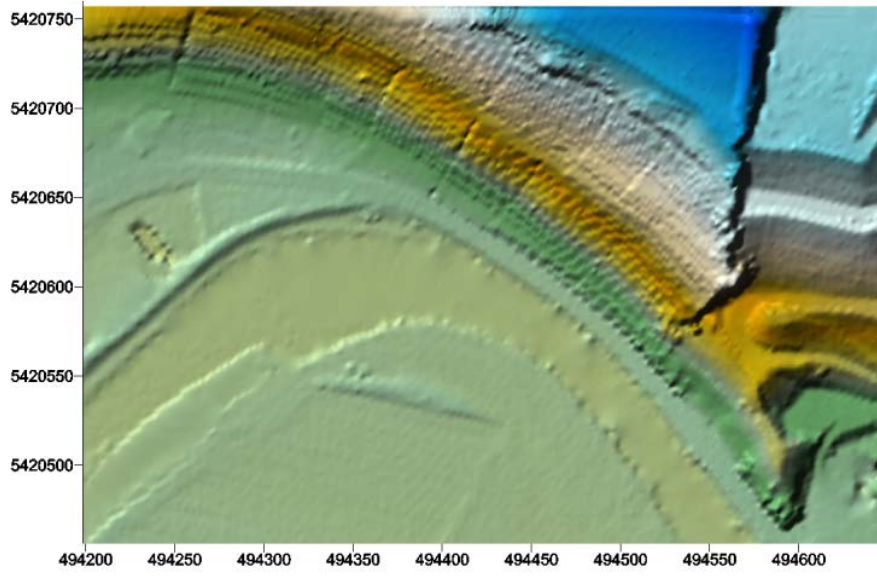
Şekil 4.35. SAMP12 veri setinin üretilen Sayısal Arazi Modelleri (A) Referans SAM (B) KRIGF algoritması ile üretilen SAM

SAMP12 verisinde Şekil 4.35’de görüldüğü üzere işaretlenen kısımlardaki yol üzerinde bulunan araçlar KRIGF algoritması tarafından belirlenememiş ve sınıflandırılmamıştır. Bölgenin kuzey doğusundaki yüksekliğin arttığı kısımda ise ani yükseklik değişikliklerini tespit edemediği için arazi yüzeyini yumuşatmıştır. Bu çalışmada test edilen algoritmalarla kıyaslandığında SAMP12 verisi için en kötü sonucu vermiştir.

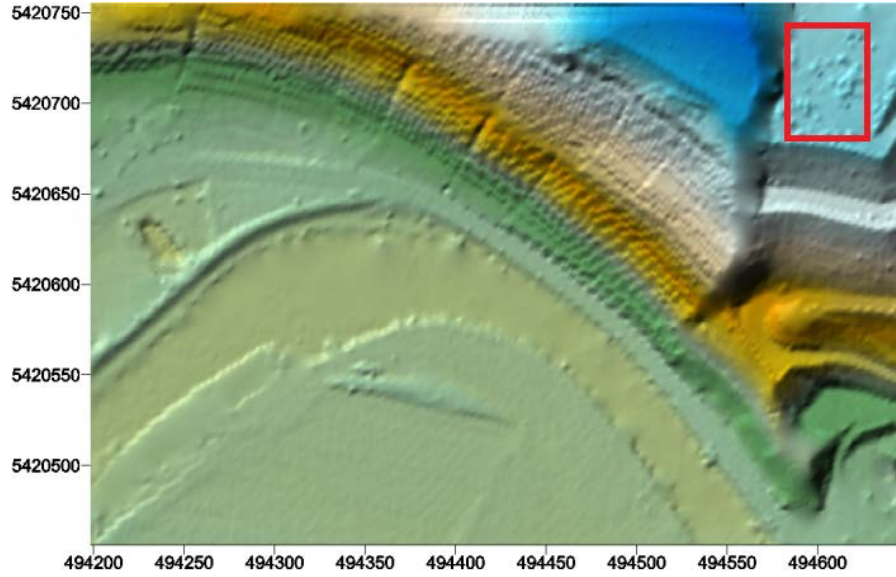
KRIGF algoritması SAMP23 verisinde yol üzerinde bulunan araçları tespit edememiş ve filtreleyememiştir. Bölgenin güney batı kısmında bulunan yükseklik değişimini referansa kıyasla tam olarak belirleyememiştir. Ayrıca güney doğu kısmında ki binaları filtrelerken aynı zamanda binaların altındaki zemini tam olarak tespit edememiş ve araziye yumuşatmıştır.



Şekil 4.36. SAMP23 veri setinin üretilen Sayısal Arazi Modelleri (A) Referans SAM (B) KRIGF algoritması ile üretilen SAM

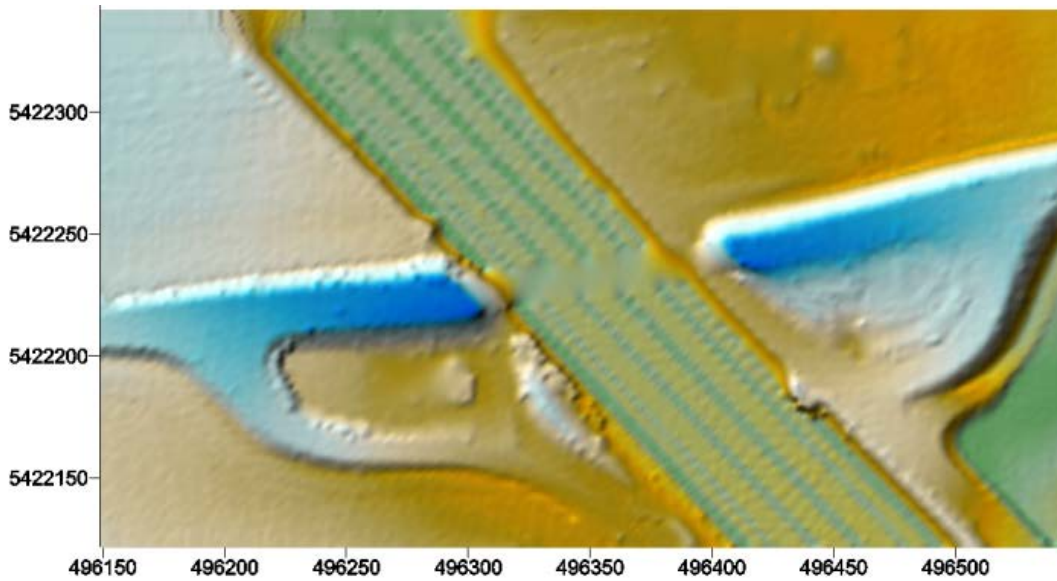


Şekil 4.37. SAMP52 veri setinin üretilen Referans Sayısal Arazi Modeli

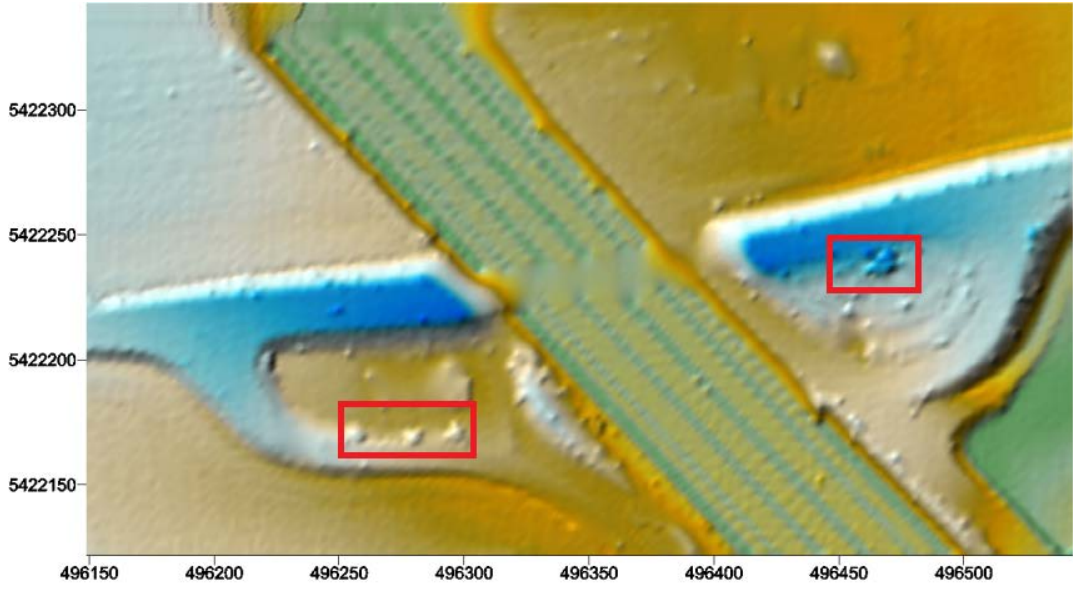


Şekil 4.38. SAMP52 veri setinin KRIGF algoritması ile üretilen Sayısal Arazi Modeli

SAMP52 verisinde KRIGF tekniği uÜTF ve bMF algoritmalarına kıyasla iyi bir performans göstermiştir. Nehir yatağı kenarında ki bitki örtüsünü başarılı şekilde filtrelerken kuzey doğu kısmında ki yamaçta bulunan binayı da tam olarak kaldırmıştır. Enterpolasyon temelli filtrelerin yükseklik değişimi olan bölgelerde ki yetersiz kalışı göz önünde bulundurulduğunda KRIGF algoritması bu veride oldukça iyi bir performans göstermiştir.



Şekil 4.39. SAMP71 veri setinin üretilen Referans Sayısal Arazi Modeli



Şekil 4.40. SAMP71 veri setinin KRIGF algoritması ile üretilen Sayısal Arazi Modeli

KRIGF algoritması SAMP71 veri setinde bMF algoritmasına göre iyi bir performans gösterirken ATIN ve uÜTF algoritmalarına yakın bir sonuç vermiştir. Şekil 4.40'da işaretlenen kısımlardaki bitki örtüsü hariç veri seti referansa göre oldukça iyi sınıflandırılmıştır.

5. ANALİZ VE YORUMLAR

Çalışma kapsamında dört adet filtreleme algoritması ISPRS referans verilerine karşı test edilmiş ve doğruluk karşılaştırması yapılmıştır. Ticari yazılımla beraber kullanıcılara sunulan ATIN algoritması Basit Morfolojik filtreleme algoritmasına kıyasla tepelik ve kısmen yamaç bölgelerde obje noktalarını tespit etmede daha başarısız olmuştur. Bununla beraber uÜTF ve KRIGF yamaçlarda ki yapıları kaldırmış fakat ani yükseklik değişimi olan bölgelerde bu kot değişimlerini yakalayamamış araziye kısmen yumuşatmıştır. KRIGF algoritması da uÜTF tekniğe benzer sonuçlar vermiştir.

ATIN, SAMP11 veri setinde yamaçlarda bulunan binaların bir kısmını tespit edemezken aynı verideki yol kenarında bulunan şevleri bMF algoritması ATIN filtresine göre daha belirli halde çıkartmıştır. KRIGF tekniği ise şev ve ani yükseklik değişikliklerini tam olarak tespit edememiş ama eğimli arazideki bitki örtüsü ve yapıları kaldırmıştır. uÜTF ise yol kenarındaki şevlerin bir kısmını iki algoritmaya kıyasla tam olarak belirleyememiştir. bMF algoritmasının en büyük dezavantajı eğimli bölgelerdeki binaları kaldırırken yapının çevresindeki zemin noktalarını da obje olarak sınıflandırmasıdır. ATIN ve uÜTF algoritmaları aynı bölgede binaları kaldırırken daha yumuşak arazi geçişine olanak sağlamıştır. Sonuç olarak SAMP11 veri seti için, uÜTF için 1.56 m ve KRIGF için 1.55 m gibi yüksek bir karesel ortalama değeri elde ederken ATIN 1.10 m ve bMF 1.07 m ve gibi kısmen daha iyi bir sonuç çıkartmıştır.

SAMP12 veri seti incelendiğinde bMF algoritması eğimi artan bölgede ki binaları ATIN ve uÜTF algoritmalarına göre daha başarılı şekilde belirlemiş ve arazi yapısını gerçeğe daha yakın şekilde oluşturmuştur. Fakat veri setinde ki aykırı noktaları temizlemede bu iki algoritma kadar başarılı olamamıştır. uÜTF ve KRIGF yol üzerindeki araçları tespit edemezken diğer iki algoritma başarılı şekilde araçları kaldırmıştır. ATIN ve uÜTF ani kot değişimi olan kuzey-doğu kısmında araziye kısmen yumuşatırken KRIGF algoritması bu bölgede daha başarısız olmuştur. Genel olarak arazi modelinin karşılaştırması yapıldığında bMF 0.31 m karesel ortalama hata değeri elde edilirken ATIN ile bu değer 0.52 m, uÜTF için 0.56 m ve KRIGF için 0.95 m olmuştur.

Üçüncü veri seti olan SAMP23 kademeli yükseklikte iç içe geçmiş binalar içermektedir. Verinin güney-doğu kısmında bulunan eğimli bölgede ki yapıları bMF ve uÜTF oldukça iyi şekilde filtrelemiş ve arazi yüzeyini korumuştur. ATIN ve KRIGF algoritmaları bahsedilen bölgedeki arazi yüzeyinin gerçek yüksekliğini koruyamamıştır. Veri setindeki aykırı noktaları bMF ve uÜTF başarılı şekilde arazi modelinden ayırırken ATIN ve KRIGF filtreleri ise bu bölgede kısmen başarısız olmuştur. uÜTF ve KRIGF algoritmaları yol üzerindeki araçları tespit edemezken diğer iki algoritma araçları filtreleyebilmiştir. Görsel analizde belli başlı arazi öğelerini tam olarak sınıflandıramadığı görülse de morfolojik temelli algoritma diğer tekniklere göre bu veri setinde başarılı olmuştur. SAMP23 veri seti için bMF'nin karesel ortalama hatası 0.81 m olurken uÜTF 0.75 m gibi daha düşük bir hata ortaya koymuştur. ATIN ve KRIGF algoritmaları ise sırasıyla 1.42 m ve 1.53 m karesel ortalama hataya sahip olmuştur.

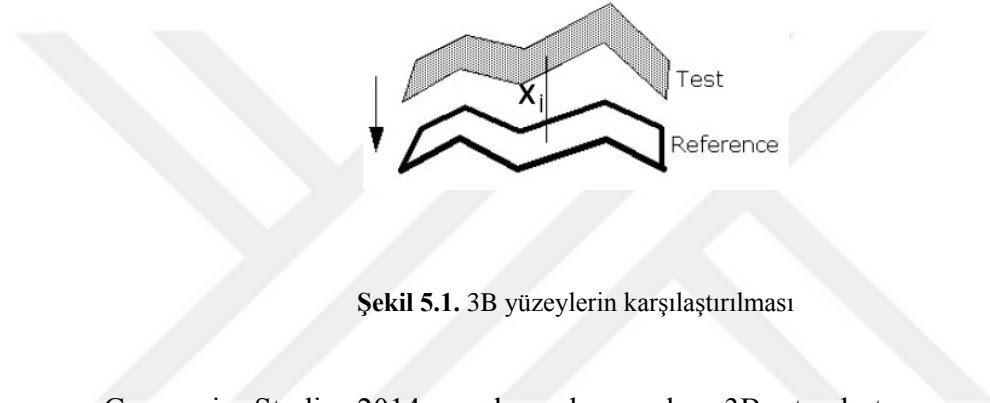
SAMP52 verisi hem düzlük hem de dik yamaçlardan oluşan karışık bir LiDAR nokta bulutudur. Veri setinin ortasında bulunan nehir yatağının kenar kısımlarında bulunan bitki örtüsü ve ağaçlık kısımda bMF ve ATIN algoritmaları zorlanırken uÜTF ve KRIGF aynı bölgede kısmen daha iyi filtreleme yapmıştır. Bu bölge de üçgenleme tabanlı filtreler bMF filtresine karşı daha iyi sonuçlar elde etmiştir. Yamacın başlangıcındaki bitki örtüsünü uÜTF ve bMF tespit edebilerken ATIN için aynı şey söylenememektedir. Fakat yamacın en tepe noktasında bulunan binayı bMF dışındaki diğer algoritmalar tam olarak belirleyip filtrelemiştir. Uyarladığımız üçgenleme tabanlı algoritmanın SAMP52 veri setindeki en büyük dezavantajı, arazinin dik tepelik kısımlarını tam olarak tespit edememesidir. Her dört algoritma içinde karesel ortalama hata değerleri sırasıyla ATIN için 0.73 m, uÜTF için 1.16 m, KRIGF için 1.29 m ve bMF için 1.51 m olmuştur.

Son veri seti olan SAMP71 anayol ve bunun üzerinden geçen bir köprülü yolu içermektedir. Köprülü yol arazi yüzeyinden başlayan bir yolla bağlanmıştır. ATIN, uÜTF ve KRIGF oldukça iyi sonuçlar elde etmiştir. ATIN sadece ana yol kenarındaki arazinin ufak bir uzantısını tespit edememiştir. Köprünün uzantısı olan yolun hemen kenarındaki binayı en başarılı şekilde uÜTF tespit ederken aynı zamanda düzlük kısımda bulunan yapıyı filtrelemede diğer iki algoritmaya göre daha başarısız olmuştur. Üretilen arazi modellerinin görsel analizi yapıldığında morfolojik filtre dışındaki diğer teknikler benzer şekilde referans arazi modeline yakın sonuçlar elde etmiştir.

Algoritmaların bu veri seti için karesel ortalama hataları uÜTF, KRIGF ve ATIN için sırasıyla 0.18 m, 0.19 m ve 0.20 m olurken bMF için 0.65 m değeri elde edilmiştir.

5.1. 3B Standart Sapma Analizi

3B Standart Sapma analizinde iki yüzey üst üste bindirilerek yüzeyler arasındaki farklar belirlenir. Standart sapma iki yüzey arasındaki yükseklik farkları bulunarak hesaplanır (Sulaiman, 2010). Bu tez çalışmasında ISPRS test verilerinden elde edilen SAM ile ATIN, Uyarlanmış Üçgen Filtre ve Basit Morfolojik Filtre ile üretilen SAM arasında karşılaştırma yapılmıştır.



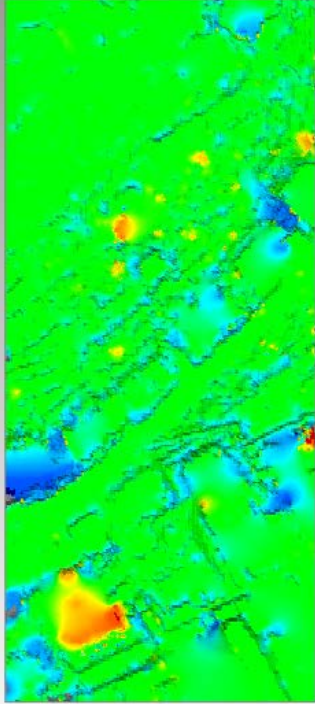
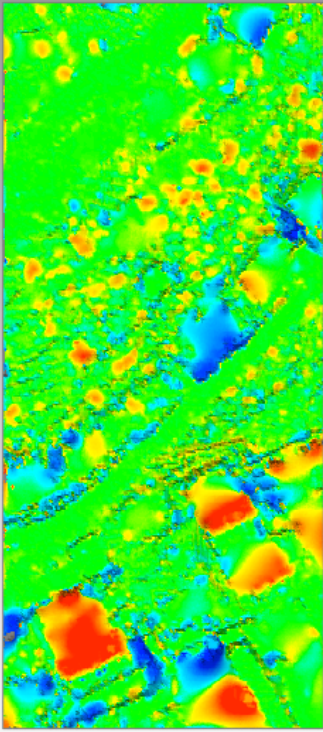
Şekil 5.1. 3B yüzeylerin karşılaştırılması

Geomagic Studio 2014 yazılımında yapılan 3B standart sapma analizi bir referans arazi yüzeyi ile test arazi yüzeyi üzerindeki her nokta arasında ki yükseklik farkı yardımıyla bulunur. Bu yükseklik farkları x , farkların ortalaması \bar{x} ve toplam nokta sayısı n olarak ifade edilirse standart sapma formülü (3) deki gibi gösterilebilir.

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3)$$

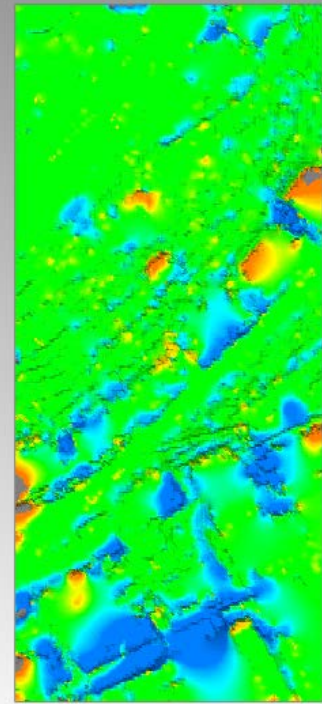
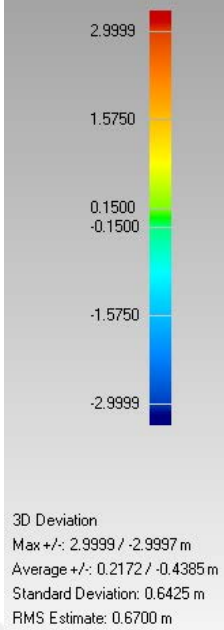
Bu yazılım lazer tarayıcı ve kamera verileri ile 3 boyutlu model verilerini XYZ veya ASCII formatında okuyabilmektedir. Çalışma kapsamında üretilen arazi modelleri arasındaki standart sapma analizleri SAMP11, SAMP12, SAMP23, SAMP52 ve SAMP71 veri setleri için sırasıyla Çizelge 5.1, Çizelge 5.2, Çizelge 5.3, Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5 de verilmiştir.

Çizelge 5.1. SAMP11 verisi için referans SAM ile test filtrelerinden üretilen SAM yüzeylerinin karşılaştırması

Standart Sapma	Sonuç Ürünü
<p>ISPRS SAM – TerraScan SAM</p> <p>Standart Sapma = 0.70 m</p>	 <p>3D Deviation Max +/-: 8.8159 / -7.3283 m Average +/-: 0.2972 / -0.3627 m Standard Deviation: 0.7044 m RMS Estimate: 0.7302 m</p>
<p>ISPRS SAM – bMF SAM</p> <p>Standart Sapma = 0.54 m</p>	 <p>3D Deviation Max +/-: 2.9996 / -2.9997 m Average +/-: 0.2812 / -0.2811 m Standard Deviation: 0.5372 m RMS Estimate: 0.5390 m</p>

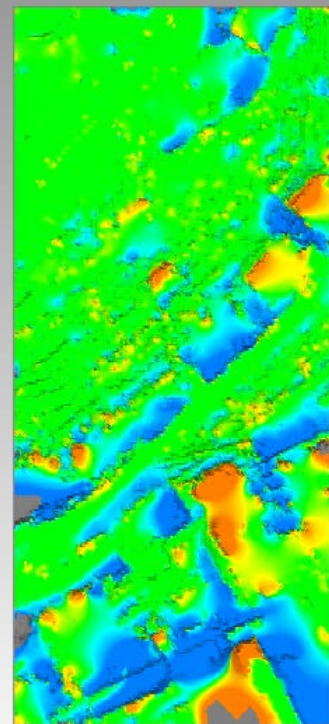
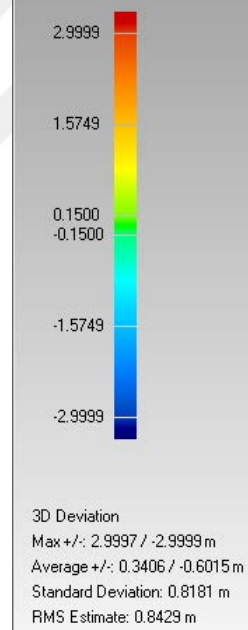
ISPRS SAM –
uÜTF SAM

Standart Sapma =
0.64 m

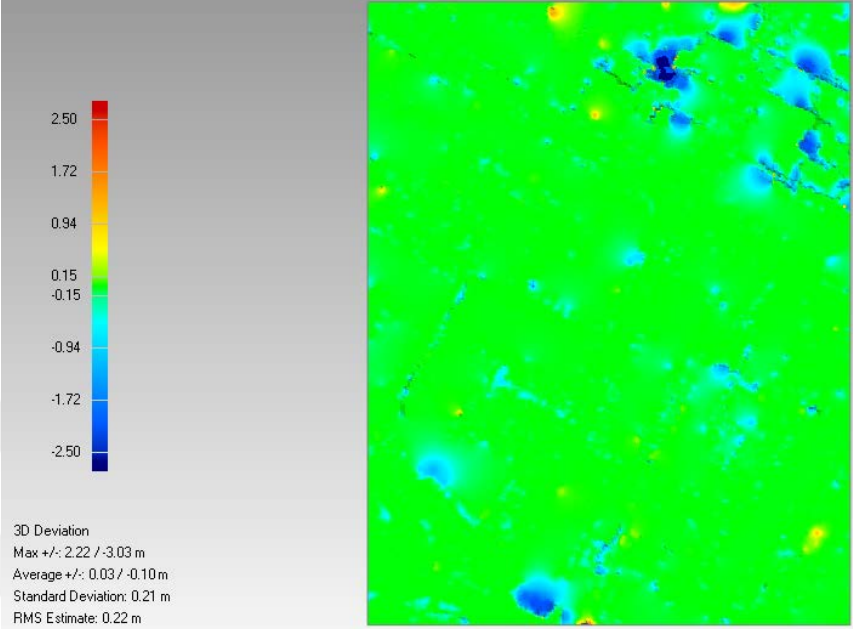
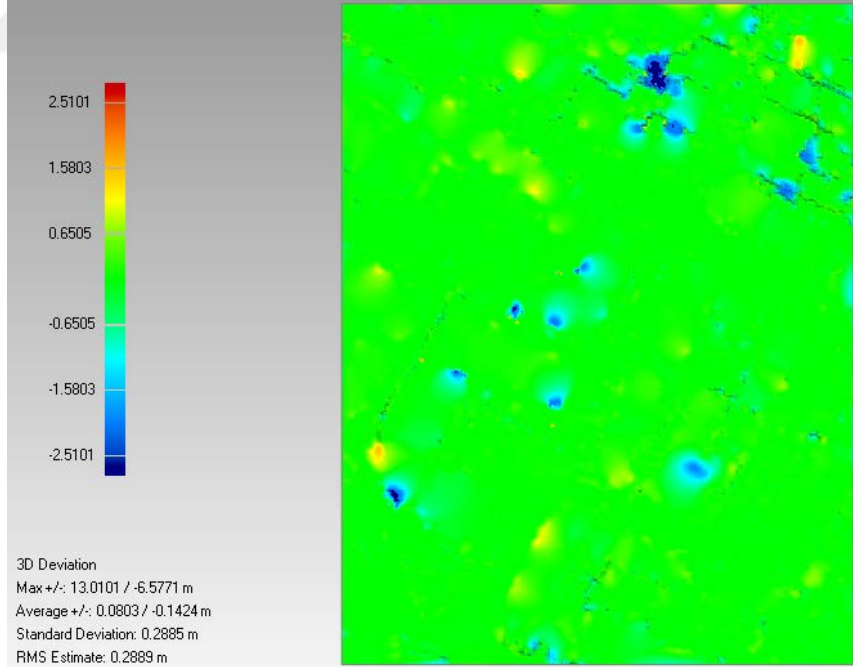


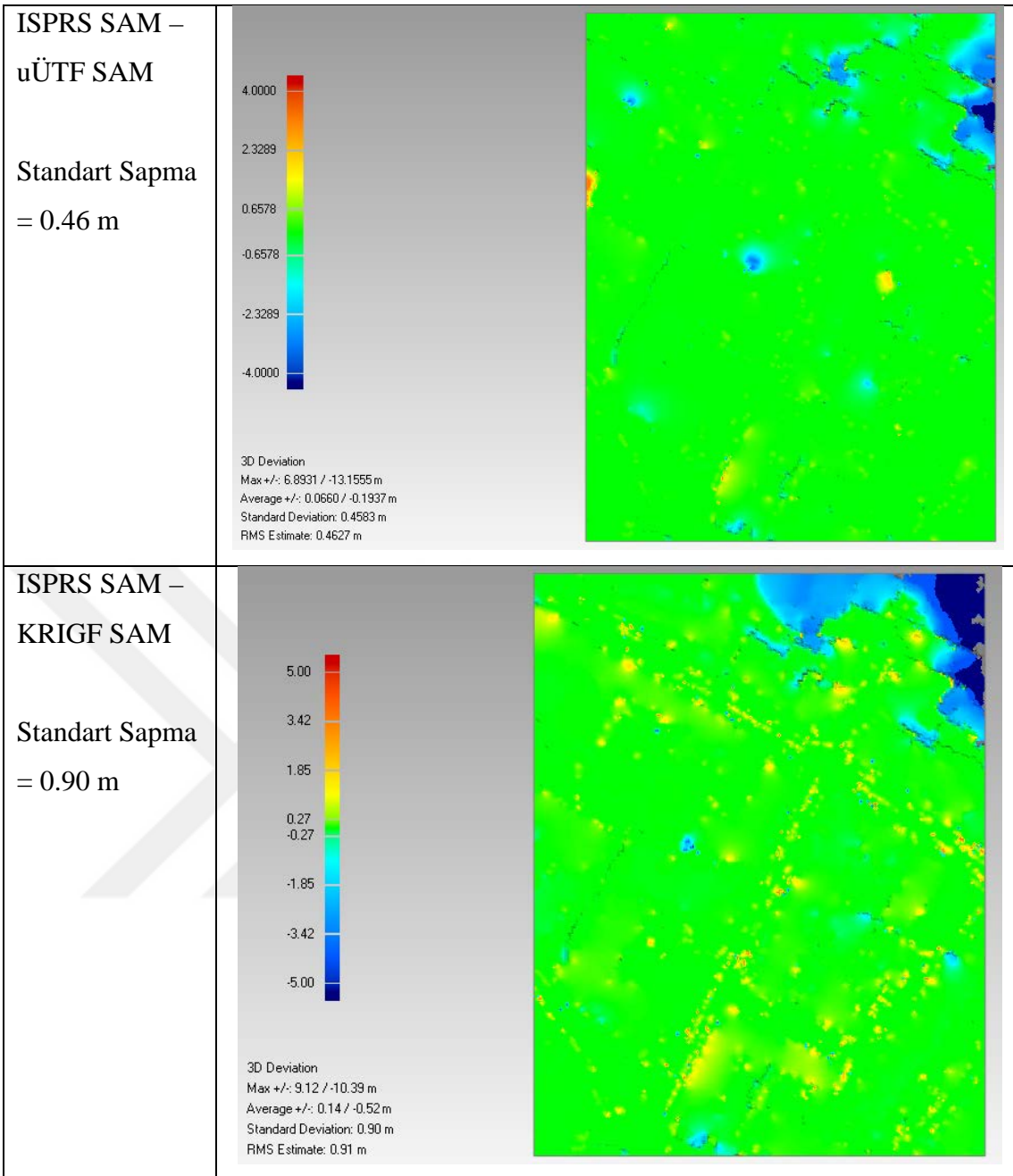
ISPRS SAM –
KRIGF SAM

Standart Sapma =
0.82 m

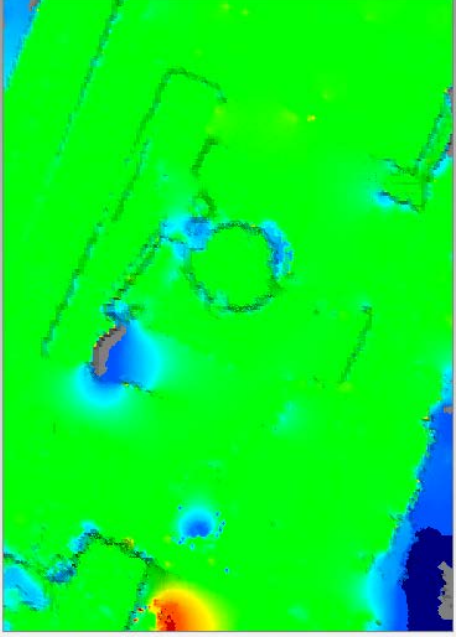
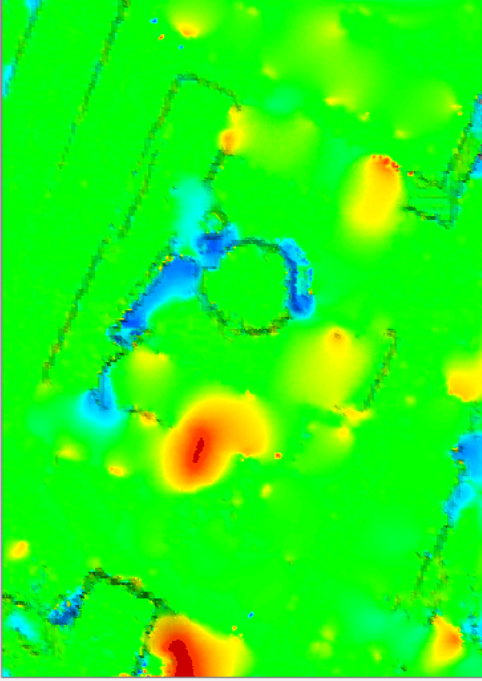


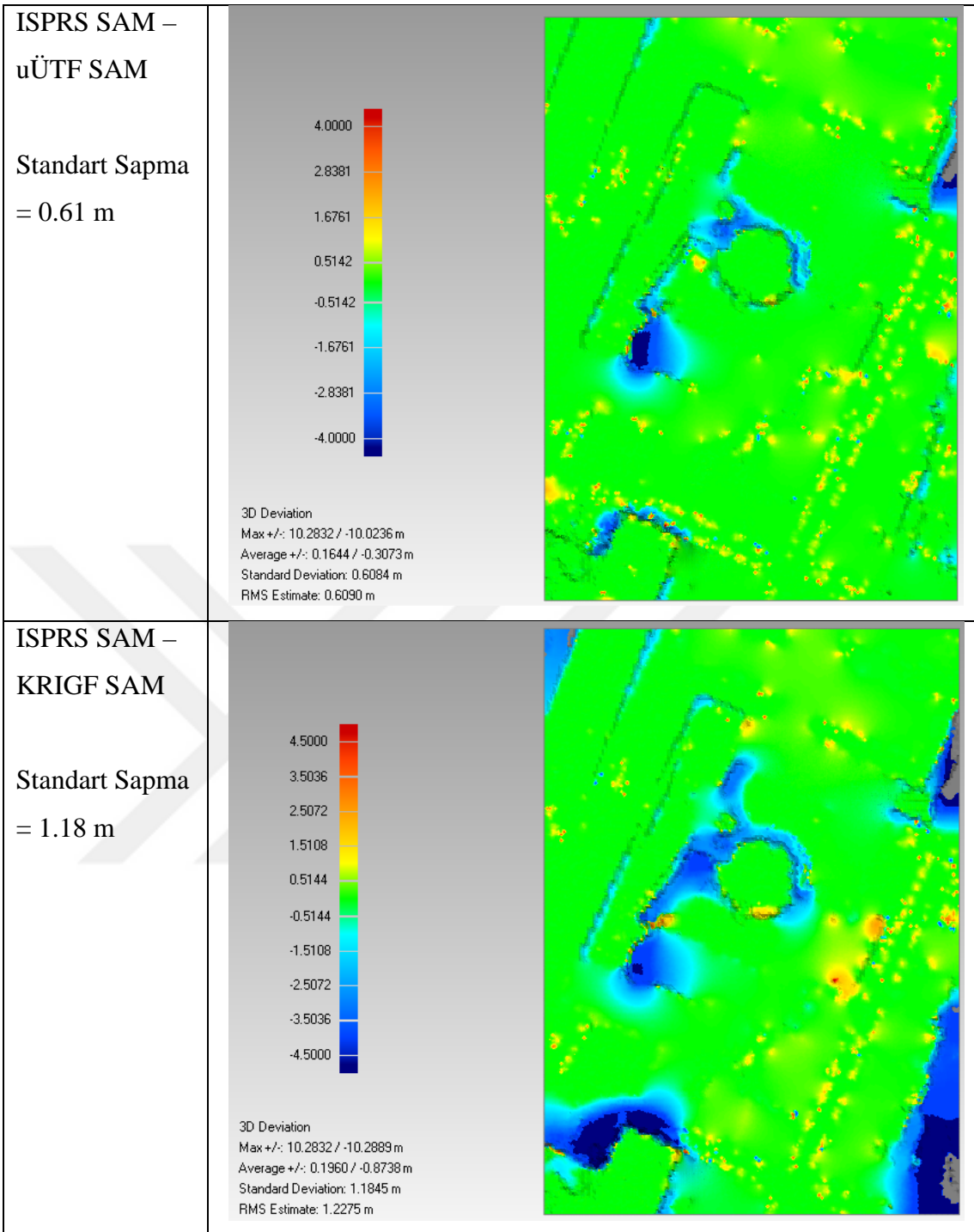
Çizelge 5.2. SAMP12 verisi için referans SAM ile test filtrelerinden üretilen SAM yüzeylerinin karşılaştırması

Standart Sapma	Sonuç Ürünü
ISPRS SAM – TerraScan SAM Standart Sapma = 0.21 m	 <p>3D Deviation Max +/-: 2.22 / -3.03 m Average +/-: 0.03 / -0.10 m Standard Deviation: 0.21 m RMS Estimate: 0.22 m</p>
ISPRS SAM – bMF SAM Standart Sapma = 0.29 m	 <p>3D Deviation Max +/-: 13.0101 / -6.5771 m Average +/-: 0.0803 / -0.1424 m Standard Deviation: 0.2885 m RMS Estimate: 0.2889 m</p>



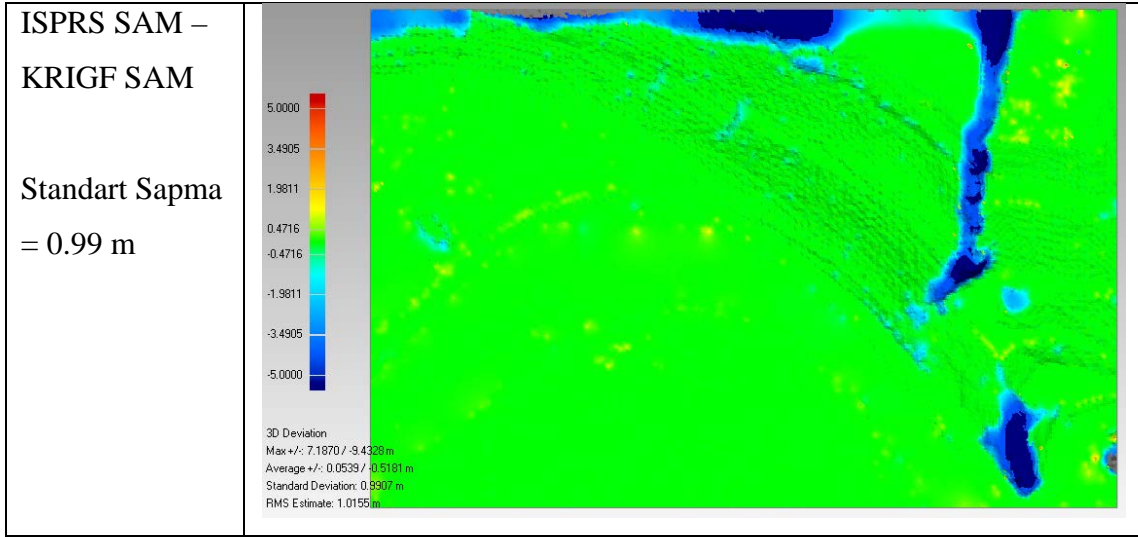
Çizelge 5.3. SAMP23 verisi için referans SAM ile test filtrelerinden üretilen SAM yüzeylerinin karşılaştırması

Standart Sapma	Sonuç Ürünü
<p>ISPRS SAM – TerraScan SAM</p> <p>Standart Sapma = 1.03 m</p>	 <p>3D Deviation Max +/-: 10.2824 / -10.2378 m Average +/-: 0.1721 / -0.4294 m Standard Deviation: 1.0383 m RMS Estimate: 1.0675 m</p>
<p>ISPRS SAM – bMF SAM</p> <p>Standart Sapma = 0.62 m</p>	 <p>3D Deviation Max +/-: 9.8738 / -10.2365 m Average +/-: 0.2917 / -0.2114 m Standard Deviation: 0.6201 m RMS Estimate: 0.6292 m</p>



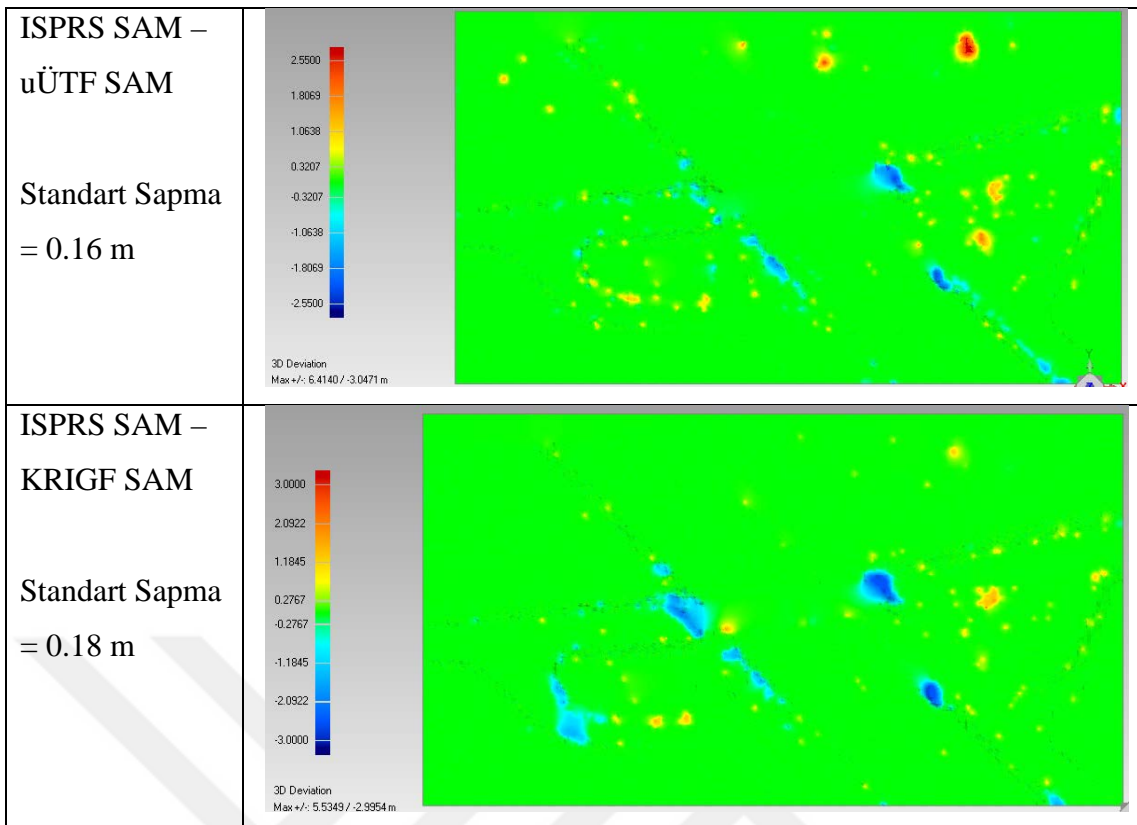
Çizelge 5.4. SAMP52 verisi için referans SAM ile test filtrelerinden üretilen SAM yüzeylerinin karşılaştırması

Standart Sapma	Sonuç Ürünü
ISPRS SAM – TerraScan SAM Standart Sapma = 0.56 m	<p>3D Deviation Max +/-: 18.5878 / -15.7088 m Average +/-: 0.0971 / -0.2165 m Standard Deviation: 0.5632 m RMS Estimate: 0.5647 m</p>
ISPRS SAM – bMF SAM Standart Sapma = 1.56 m	<p>3D Deviation Max +/-: 22.4610 / -22.4968 m Average +/-: 0.2935 / -0.3342 m Standard Deviation: 1.5581 m RMS Estimate: 1.5584 m</p>
ISPRS SAM – uÜTF SAM Standart Sapma = 0.88 m	<p>3D Deviation Max +/-: 7.4920 / -11.0342 m Average +/-: 0.0795 / -0.4093 m Standard Deviation: 0.8832 m RMS Estimate: 0.8948 m</p>



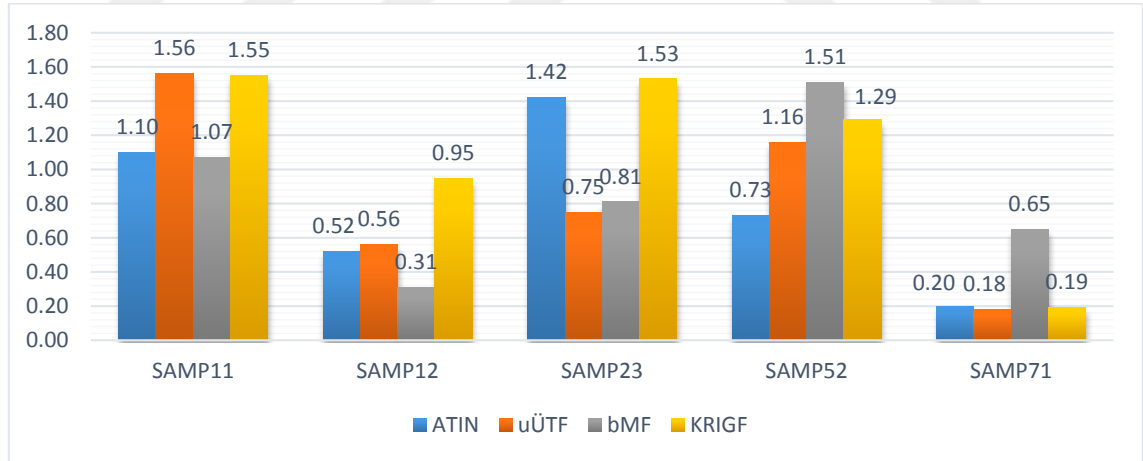
Çizelge 5.5. SAMP71 verisi için referans SAM ile test filtrelerinden üretilen SAM yüzeylerinin karşılaştırması

Standart Sapma	Sonuç Ürünü
<p>ISPRS SAM – TerraScan SAM</p> <p>Standart Sapma = 0.20 m</p>	
<p>ISPRS SAM – bMF SAM</p> <p>Standart Sapma = 0.72 m</p>	

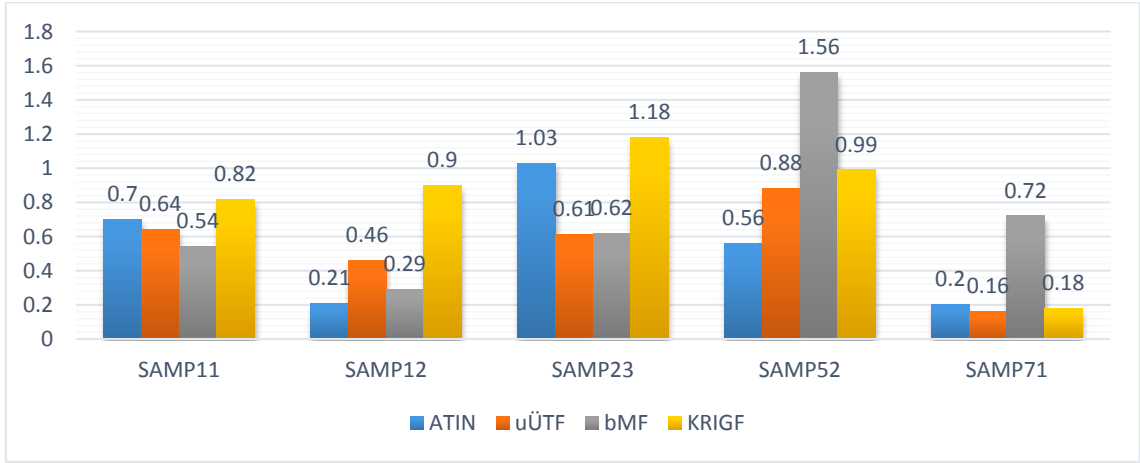


6. SONUÇLAR

LiDAR verilerini ve sistemini analiz çalışmaları son yıllarda oldukça fazla ilgi çeken bir konu olmuştur. Zemin filtreleme işlemi SYM oluşturma ve yeryüzü üzerinde obje tanıma konularında öncelikli bir işlem adıdır. Günümüze kadar çok sayıda araştırmacı yeryüzünü tanımlamak için algoritmalar geliştirmiştir fakat şimdiye kadar mevcut algoritmalar içinden belli bir çalışma bölgesinde kullanabilecekleri filtreleme tekniğini seçmek için kullanıcılara yardımcı olacak kapsamlı ve karşılaştırılmalı bir referans bulunmamaktadır. LiDAR filtreleri çoğunlukla zeminin eğim ve yükseklik fark eşik değerleri göz önüne alınarak oluşturulmakta ve geliştirilmektedir. İterasyon kullanan çoğu algoritma, filtreleme işlemini başlatmak için ilk referans yükseklik değeri olarak zeminden bir değere ihtiyaç duyar, araştırmacılar bu parametre için genellikle noktaların en düşük kotlu olma özelliğini kullanırlar. Bu tür filtreleme algoritmaları kullanılırken seçilen mantıksız referans değerleri, aykırı noktaların filtrelenip kaldırılmasında hataya neden olmaktadır (Meng, 2010). Bu yüzden çalışılan arazi karakteristiğine göre filtreleme parametreleri bölgedeki fiziksel unsurlar göz önüne alınarak belirlenmelidir (Polat, 2014).



Çizelge 6.1. Filtreleme tekniğine göre karesel ortalama hata grafiği



Çizelge 6.2. Filtreleme tekniğine göre standart sapma değerleri grafiği

Bu tez çalışmasında üçgen temelli, morfolojik temelli ve enterpolasyon tabanlı uyarlanan filtreler belli coğrafi özellikleri taşıyan veri setlerinde test edilmiş ve sonuçları karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır. TerraScan yazılımına entegre edilen, Axelsson (2000) tarafından ortaya konan üçgen tabanlı algoritmasının iyileştirilmiş versiyonu olan ATIN yine bahsedilen teknikten uyarlanan üçgen temelli algoritmamız eğimin fazla olduğu arazilerde (SAMP11 ve SAMP52) Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2’de görüldüğü üzere ATIN’den daha kötü bir performans göstermiştir. Buna karşı binaların yoğun olduğu nispeten düzlük arazi tipinde (SAMP12 VE SAMP23) geliştirdiğimiz uÜTF algoritması ATIN tekniğine göre daha iyi sonuçlar elde etmiştir. Bahsi geçen arazi tipinde yine morfolojik tabanlı uyarlanan algoritma bMF, ATIN tekniğine göre iyi sonuçlar üretmiştir. Araziyle bütünleşik yol ve köprü olan veri setinde (SAMP71) tüm algoritmalar oldukça başarılı performans göstermiş fakat morfolojik filtre diğer üç tekniğe göre karesel ortalama hatalar açısından kıyaslandığında Çizelge 6.1’de görüldüğü üzere en kötü sonucu vermiştir.

Bu çalışmanın sonuçlarına ek olarak LiDAR filtreleme algoritmaları ile ilgili yapılan deneysel araştırmalara bakıldığında mevcut filtreleme tekniklerinin güçlü ve zayıf olduğu noktalar model bazında değerlendirilmiş ve karşılaştırılmış bunun sonucunda bazı bulgular elde edilmiştir. Kademeli morfolojik filtre keskin yüzey elemanlarını iyi analiz etmiş ve saklamış bunun yanında işlem süresi de oldukça hızlı olmuştur. Fakat performansı arazi örtüsünde ki değişikliklere karşı duyarlı olmuştur. Üçgenlenmiş ağ temelli filtrelerde de performansları arazi örtüsünün değişimine karşı hassas olmuş ayrıca hesaplama süresi uzamıştır. Ancak tüm filtreler için geçerli olan

ortak zorluklar ise obje özelliklerine yakın yükseklik ve genişliğe sahip olan zemin elemanlarının ölçü yakınlıklarından kaynaklanmaktadır. Bu bilgiler ışığında bundan sonraki aşamalarda filtrelerin geliştirilmesi için bazı öneriler şu şekilde sıralanabilir. Eğim faktörlerini kullanan filtrelerin yetenekleri çalışılan bölgeye özel eğim bilgisi kullanılarak artırılabilir. Üçgenleme temelli filtrelerde ise üçgen köşeleri arasındaki mesafeyi azaltacak uygun boyutlu bloklardan ilk referans zemin noktası seçilerek performansında iyileştirme yapılabilir. Böylece sınıflandırma hataları azalır ve işlem süresinde iyileşme görülebilir.

Bugüne kadar yapılan araştırmalarda elde edilen verilere göre filtrelemede ulaşılan en iyi sonuçlar incelendiğinde yeryüzüne en yakın üretilen arazi modellerinde bile hata olduğu görülmüştür. Otomatik filtreleme sürecinde hataları en aza indirmek için parametrelerin değiştirilmesi ve belli bir kalite ile sınırlandırılması yorucu bir iş olacaktır. Bunun yerine filtreleme performansının artırılması ve sonuçların iyileştirilmesi için türetilen fonksiyonlar ve bölgesel yakınlık ile ilgili işlem adımları eklenir ve uygulanırsa gerçekte daha faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

Arefi, H. and Hahn, M., 2005, A morphological reconstruction algorithm for separating off-terrain points from terrain points in laser scanning data. *ISPRS Workshop Laser Scanning WG III/3-4 V/3*, Enschede, The Netherlands.

ASPRS, Las Format.,2010. <https://www.asprs.org/committee-general/laser-las-file-format-exchange-activities.html> (Erişim 15.11.2015).

Axelsson, P., 1999, Processing of laser scanner data—algorithms and applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 54 (2–3), 138–147.

Axelsson, P., 2000, DEM Generation from Laser Scanner Data Using Adaptive TIN Models, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B4. Amsterdam, 110-117.*

Briggs, I., 1974, Machine contouring using minimum curvature. *Geophysics* 1974, 39, 39–48.

Chen, Q., Gong, P., Baldocchi, D.D. and Xie, G., 2007, Filtering airborne laser scanning data with morphological methods. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 73, No. 2, 175-185.*

Cui, Z., Zhang, K., Zhang, C., Chen, S.,2013, A cluster-based morphological filter for geospatial data analysis. *Proceedings of the 2nd ACM SIGSPATIAL International Workshop on Analytics for Big Geospatial Data*. New York, ACM Press, 1-7.

Diaz, J. C. F., 2011, Lifting the canopy veil: airborne LiDAR for archeology of forested areas. *Imaging Notes Magazine*, 26. http://www.imagingnotes.com/go/article_freeJ.php?mp_id=264#2 (Erişim 10.11.2015).

Evans, J.S., Hudak, A.T. (2007) A multiscale curvature algorithm for classifying discrete return LiDAR in forested environments. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 2007, 45, 1029–1038.

Filin, S., 2002, Surface clustering from airborne laser scanning data. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2002, XXXIV, 119–124.

Filin, S., Pfeifer, N., 2006 Segmentation of airborne laser scanning data using a slope adaptive neighborhood. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 2006, 60, 71–80.

Harlick, R.M., Shapiro, L.G., 1992, *Computer and Robot Vision*; Addison-Wesley: Reading, MA, USA, 1992.

Haugerud, R.A., Harding, D.J., 2001, Some algorithms for virtual deforestation (VDF) of LiDAR topographic survey data. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens.* 2001, XXXIV, 219–226.

- Hill, J.M., Graham, L.A., Henry, R.J., Cotter, D.M., Ping, A., Young, P., 2000, Wide-area topographic mapping and applications using airborne light detection and ranging (LiDAR) technology. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 66, 908–914.
- Hodgson, M.E., Bresnahan, P., 2004, Accuracy of airborne Lidar-derived elevation: empirical assessment and error budget, *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 2004, 70, 331–339.
- İnal, C., Turgut, B. ve Yiğit, C.Ö., 2002, Lokal Alanlarda Jeoit Ondüasyonlarının Belirlenmesinde Kullanılan Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30.Yıl Sempozyumu*, 16-18 Ekim 2002,Konya.
- Jacobsen, K., Lohmann, P., 2003, Segmented filtering of laser scanner DSMs. *In Proceedings of the ISPRS Working Group III/3 workshop '3-D Reconstruction From Airborne Laserscanner and InSAR Data'*, Dresden, Germany, October 2003.
- Jain, R., Kasturi, R., Schunck, B. G., 1995, *Machine Vision; McGraw-Hill*: New York, NY, USA, 1995.
- Jenkins, L.G., 2006, Key drivers in determining LiDAR sensor selection. *In Proceedings of ISPRS Commission VII Mid-Symposium 'Remote Sensing: from Pixels to Processes'*, Enschede, The Netherlands; 2006; pp. 342–357.
- Killian, J., Haala, N., Englich, M., 1996, Capture and evaluation of airborne laser scanner data. *International archives of photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences 31 (Part B3)*, 383–388.
- Kobler, A., Pfeifer, N., Ogrinc, P., Todorovski, L., Oštir, K., Džeroski, S., 2007, Repetitive interpolation: a robust algorithm for DTM generation from aerial laser scanner data in forested terrain. *Remote Sens. Environ*, 108, 9–23.
- Kraus, K., Pfeifer, N., 1998, Determination of terrain models in wooded areas with aerial laser scanner data. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens*, 53, 193–203.
- Kraus, K., Rieger, W., 1999, Processing of laser scanning data for wooded areas. *In Photogrammetric Week'99*; Fritsch, D., Spiller, R., Eds.; Wichmann Verlag: Stuttgart, Germany, pp. 221–231.
- Kraus, K. and Pfeifer, N., 2001, Advanced DTM generation from LiDAR data. *ISPRS Workshop on Land Surface Mapping and Characterization Using Laser Altimetry*, USA, 23-30.
- Lee, H.S. and Younan, N.H., 2003, DTM extraction of LiDAR returns via adaptive processing. *IEEE Transactions On Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 41 No. 9, 2063-2069.
- Li, Y., Wu, H., Xu, H., An, R., Xu, J. and He, Q., 2013, A gradient-constrained morphological filtering algorithm for airborne LiDAR, *Optics & Laser Technology* 54, 288-296.

- Lohmann, P., Koch, A. and Schaeffer, M., 2000, Approaches to the filtering of laser scanner data. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing*. 33, 540-547.
- Maune, D., 2011, Digital Elevation Model (DEM) Whiepaper NRCS High Resolution Elevation Data, *USDA Natural Resources Conversation Service National Geospatial Management Center*.
- Meng, X., Wang, L., Currit, N., 2009, Morphology-based building detection from airborne LIDAR data. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 2009, 75, 427–442.
- Meng, X., Currit, N. and Zhao, K., 2010, Ground Filtering Algorithms for Airborne LiDAR Data: A Review of Critical Issues, *Remote Sensing* 2, 833-860.
- Pfeifer, N. and I.P.F. Team, 2008, DSM/DTM Filtering, *Intenational School on Lidar Technology, IIT Kanpur, India*.
- Pingel, T.J., Clarke, K.C., McBride, W.A., 2013, An improved simple morphological filter for the terrain classification of airborne LIDAR data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 77, 21–30.
- Polat, N., Uysal, M., 2014, Farklı Filtreleme Yöntemleri İle LiDAR Nokta Bulutlarından Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi, *Yüksek Lisans Tezi, Afyon Karahisar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon*.
- Polat, N., Uysal, M., 2014, Investigating performance of Airborne LiDAR data filtering algorithms for DTM generation. *Measurement* 63, 61–68.
- Roggero, M., 2001, Airborne laser scanning: clustering in raw data. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2001, XXXIV, 227–232.
- Schickler, W., Thorpe, A., 2001, Surface estimation based on LiDAR. *In Proceedings of ASPRS Annual Conference, St. Louis, MO, USA, April 2001*.
- Seo, S. and O’Hara, C. G., 2008, Parametric Investigation of the Performance of Lidar Filters Using Different Surface Contexts, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 74, No. 3, 343-362*.
- Sheng, Y., 2008, Quantifying the size of a lidar footprint: A set of generalized equations. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 5 No. 3, 419-422.
- Silván-Cárdenas, J.L., Wang, L., 2006 A multi-resolution approach for filtering LiDAR altimetry data. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 2006, 61, 11–22.
- Sithole, G., Vosselman, G., 2004, Experimental comparison of filter algorithms for bare earth extraction from airborne laser scanning point clouds. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 2004, 59, 85–101.
- Sulaiman, N. S., Majid, Z. and Setan, H., 2010, DTM generation from LiDAR data by using different filters in open-source software. *Geoinformation Science Journal*, 10 (2). pp. 89-109. ISSN 1511-9491.

- Tóvári, D., Pfeifer, N., 2005, Segmentation based robust interpolation—a new approach to laser filtering. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2005, 36, 79–84.
- Wang, H., Shugen, W., Qi, C., Weihua, J., Mingwei, S., 2015, An Improved Filter of Progressive TIN Densification for LiDAR Point Cloud Data. *Wuhan University Journal of Natural Sciences*. August 2015, Volume 20, Issue 4, pp 362-368.
- Yaprak, S., Arslan, E., 2008, Kriging Yöntemi ve Geoit Yüksekliklerinin Enterpolasyonu. *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi* 2008/1, 36-42.
- Yılmaz, M., Uysal, M., Yılmaz, İ., 2015, Hava LiDAR Nokta Bulutundan Sayısal Yükseklik Modeli Üretiminde Veri Seyrekleştirme Algoritmalarının Karşılaştırılması. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 15. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 25-28 Mart 2015, Ankara.
- Zhang, K., Chen, S., Whitman, D. and Shyu, M., 2003, A progressive morphological filter for removing nonground measurements from airborne LiDAR data. *IEEE Transactions On Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 41, No. 4, 872-882.
- Zhang, K. and Whitman, D., 2005, Comparison of Three Algorithms for Filtering Airbone Lidar Data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 71, No. 3, 313-324.
- Zhang, J. and Lin, X., 2013, Filtering Airbone Lidar Data by Embedding Smoothness-Constrained Segmentation in Progressive TIN Densification, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 81, 44-59.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Fırat URAY
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Beyşehir 13/10/1988
Telefon : 0506 889 92 36
Faks :
E-mail : furay@konya.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Ali Akkanat Anadolu Lisesi/Beyşehir	2006
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi/Konya	2012
Yüksek Lisans:		
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2014-	Necmettin Erbakan Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANLARI

Fotogrametri, Uzaktan algılama, Lazer Tarayıcılar, 3B Modelleme

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

1. Uray F., Varlık A. ve Metin A., "3D Architectural Surveying of Diyarbakir Wall's Ulu Beden Tower with Terrestrial Laser Scanner" Procedia Earth and Planetary Science, 15, 73-78 (2015)
2. Uray F., Varlık A. ve Metin A., "Sokak Sağlıklaştırma Projelerinde Lazer Tarayıcı İle Mimari Rölöve Alımı: Sille Mahallesi Örneği", TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu, 21-23 Mayıs 2015.
3. Yakar, M., Yıldız, F., Batuk, F., Toz G., Yılmaz, H.M., Uray, F., Metin, A., The Preparation of The Architectural Surveyings With Photogrammetric Measurement Technics of Emir Ishak Bey Tomb and 3D Modelling, XXIIIrd International CIPA Symposium, 2011.
4. Yakar, M., Karasaka, L., Metin, A., Uray, F., Kahya, I., Tanık, H., Beyşehir Taş Köprü'nün Fotogrametrik Ölçüm Teknikleri İle Mimari Rölövesinin Hazırlanması ve 3 Boyutlu Modellenmesi, TUFUAB, 23-26 Şubat 2011.

5. Yakar, M., Uray, F., Metin, A., Kahya, I., Mersin Latin İtalyan Katolik Katedral Okulu Üç Boyutlu Modelleme Çalışması ve Animasyonu, TMMOB 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 18-22 Nisan 2011.
6. Yakar, M., Yıldız, F., Uray, F., Metin, A., Photogrammetric Measurement of The Meke Lake and Its Environment with Kite Photographs to Monitoring of Water Level to Climate Change. ISPRS Commission V Mid-Term Symposium, 613-616, 2010.

