

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**LİDAR VERİLERİ KULLANARAK ENERJİ NAKİL HATLARININ VE
HATLARA RİSK OLUŞTURAN YÜKSEK OBJE KONUMLARININ
OTOMATİK OLARAK BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisi Elif MUŞ

**HAZİRAN 2019
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**LİDAR VERİLERİ KULLANARAK ENERJİ NAKİL HATLARININ VE
HATLARA RİSK OLUŞTURAN YÜKSEK OBJE KONUMLARININ
OTOMATİK OLARAK BELİRLENMESİ**

Elif MUŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
" HARİTA YÜKSEK MÜHENDİSİ "
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 / 05 / 2019

Tezin Savunma Tarihi : 14 / 06 / 2019

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DİHKAN

Trabzon 2019

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Harita Mühendisliği Anabilim Dalında
Elif MUŞ tarafından hazırlanan**

**LİDAR VERİLERİ KULLANARAK ENERJİ NAKİL HATLARININ VE HATLARA RİSK
OLUŞTURAN YÜKSEK OBJE KONUMLARININ OTOMATİK OLARAK BELİRLENMESİ**

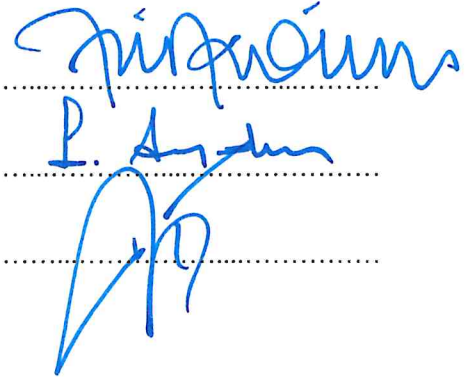
başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 28 / 05 / 2019 gün ve 1806 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Fevzi KARSLI

Üye : Doç. Dr. Cevdet Coşkun AYDIN

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DİHKAN



**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

‘LiDAR Verileri Kullanarak Enerji Nakil Hatlarının ve Hatlara Risk Oluşturan Yüksek Obje Konumlarının Otomatik Olarak Belirlenmesi’ adlı bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda “Yüksek Lisans Tezi” olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmanın başlangıcından bitimine kadar hiçbir destek ve yardımdan kaçınmadan çalışmamı yönlendiren, bilimsel alanda bana katkı sağlayan danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DİHKAN’a emeklerinden ötürü sonsuz minnet ve şükranlarımı sunarım.

Eğitime olan desteklerinden dolayı TEDAŞ ailesine, tez hazırlama süreci boyunca değerli katkı ve yönlendirmelerini benden esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Fevzi KARSLI’ya ve tanıştığımız günden beri manevi desteğini hissettiğim sevgili arkadaşım Pınar Yeşim LİMANDAL’a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, tüm eğitim ve öğrenim hayatım boyunca ve özellikle bu çalışma süresince desteklerini esirgemeyen canım Annem ve değerli aileme teşekkürlerimi sunar, yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmanın bundan sonra yapılacak olan ilgili çalışmalar için yol gösterici olmasını temenni ederim.

Elif MUŞ
Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “LiDAR Verileri Kullanılarak Enerji Nakil Hatlarının ve Hatlara Risk Oluşturan Yüksek Obje Konumlarının Otomatik Olarak Belirlenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DİHKAN’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 14/06/2019

Elif MUŞ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ	X
KISALTMALAR DİZİNİ	XI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Uzaktan Algılamaya Genel Bakış	6
1.3. LiDAR Nedir?	8
1.3.1. Hava LiDAR (Airbone LiDAR) Tekniği	9
1.4. Literatür Araştırması	11
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	13
2.1. Çalışmanın Amacı	13
2.2. Çalışma Alanı	15
2.3. Zemin ve Zemin Üstü Noktaların Tespiti	16
2.3.1. CSF Algoritması	16
2.4. Zemin Noktaları ile Üçgen Yüzey Oluşturma ve Zemine Yakın Alçak Noktaların Eleminasyonu	19
2.5. Vokselizasyon ve Voksel Öznitelik Belirleme	19
2.5.1. Yükseklik Değerleri Varyansına Göre Filtreleme ve Otsu Eşikleme	21
2.5.2. RANSAC (Rastgele Örneklem Konsensüsü) ile Doğru ve Eğri Analizleri	22
2.5.2.1. RANSAC Çalışma Prensipleri	22
2.5.2.2. Doğru ve Eğri Analizleri	24
2.5.3. Voksel Komşuluk Filtreleme	24
2.5.4. Tel ve Pilon Noktalarının Ayrıştırılması	27
2.6. İçbükey Gövde (Concave Hull) Oluşturma ve Riskli Obje Analizleri	30

3.	BULGULAR VE İRDELEME	32
3.1.	Doğruluk Analizi	33
3.2.	Doğruluk (Correctness) , Bütünlük (Completeness) ve Kalite (Quality) Ölçütlerinin İrdelenmesi	35
3.3.	Doğruluk Analizinde Elde Edilen Sonuçların Literatürdeki Çalışmalar ile Karşılaştırılması.....	37
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	38
5.	KAYNAKLAR	40
ÖZGEÇMİŞ		



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

LİDAR VERİLERİ KULLANILARAK ENERJİ NAKİL HATLARININ ve HATLARA RİSK OLUŞTURAN YÜKSEK OBJE KONUMLARININ OTOMATİK OLARAK BELİRLENMESİ

Elif MUŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr.Öğr. Üyesi Mustafa DİHKAN
2019, 44 Sayfa

Enerji Nakil Hatlarına (ENH) yönelik tehditlerin etkisini azaltmak ve potansiyel riskleri yok etmek için hatların periyodik olarak gözlemlenmesi büyük önem taşımaktadır. Risk unsurlarının bazıları doğal sebeplerden (bitki örtüsü, heyelan, ağaçlar, çığ, fırtına vb.) kaynaklanırken bazıları da insan faktörü (emniyet mesafesini ihlal eden inşaatlar ve yapılar, hafriyat dökülmesi, hırsızlık vb.) nedeniyle oluşabilmektedir. Bu çalışmada LiDAR verilerini kullanarak ENH iletken teller ve pylonları otomatik olarak tespit edebilen bir algoritma geliştirilmiştir. Ayrıca tespit edilen ENH ile belirli emniyet mesafeleri konumsal olarak analiz edilmiş ve risk oluşturabilecek yer üstü objelerinin varlığı denetlenmiştir. Geliştirilen algorithmada Cloth Simulation Filtering (CSF) metodu ile zemin noktaları tespit edilerek bu noktalara yakın düşey mesafedeki alçak obje noktaları elemine edilmektedir. Kalan nokta bulutu 3x3x3 m boyutlarında voksellere ayrılmıştır. Otomatik belirlenen tohum voksellerinden başlayarak 26 komşu vokselle için yapılan arama işleminde yükseklik değerleri varyansı ve RANSAC ile fit edilen doğru eğimleri gibi öznitelikler analiz edildikten sonra içbükey gövde (konkavhull) fonksiyonu ile tel ve pylonların nihai tespiti gerçekleştirilmiştir. Önerilen yaklaşım sayesinde yapılacak periyodik uygulamalar ile yersel arazi faaliyetleri yapılmaksızın ENH bileşenleri (tel ve pylon) gözlemleri, ve bakımları hızlı biçimde gerçekleştirilebilecektir.

Anahtar Kelimeler: ENH, LiDAR, CSF, Voksel, RANSAC, ENH Yönetimi

Master Thesis

SUMMARY

AUTOMATIC DETECTION OF POWER TRANSMISSION LINES AND RISK HIGH
OBJECT LOCATIONS USING LiDAR DATA

Elif MUŞ

Karadeniz Technical Universty
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geomatics Engineering Department
Supervisor: Dr. Öğr. Member Mustafa DİHKAN
2019, 44 Pages

The periodic monitoring of energy lines to lessen the impacts of threats and to destroy the potential risks against the Power Transmission Lines (PTL) is highly important. The risks can involve natural causes (vegetation, landslides, trees, avalanches, storms etc.) on one hand and the human factor (constructions and buildings breaking the safety distance, dumping the excavated material, theft etc.) on the other hand. In this study, an algorithm, which can automatically detect PTLs wires and pylons using the LIDAR data, is developed. Specific safety distances are also spatially analyzed and the existence of risky ground objects is examined with the help of the detected PTLs. In the newly developed algorithm, ground points are located and the low object points in vertical distance to these ground points are eliminated using the Cloth Simulation Filtering (CSF) method. The remaining point cloud is separated into voxels of 3x3x3 m in size. In the search of 26 neighbour voxels; starting from automatically determined seed voxel, final detection of wire and pylons has been determined by the algorithm of ‘concave hull’ after their straight slopes which are fitted by height values variant and RANSAC were analysed. Periodic applications on the basis of the proposed approach will make it easy to monitor and maintain PTLs component (wires and pylons) without topographic works.

Keywords: PTL, LiDAR, CSF, Voxel, RANSAC, Powerline Management

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Enerji nakil hattı bileşenleri.....	2
Şekil 2. Hava LiDAR sistemi.....	9
Şekil 3. Akış diyagramı.....	14
Şekil 4. Çalışma alanı	15
Şekil 5. CSF tekniği	16
Şekil 6. CSF algoritması ile üretilen zemine ait noktalar	17
Şekil 7. CSF algoritması ile üretilen zemin üstü noktalar	18
Şekil 8. CSF algoritması ile üretilen zemin ve zemin üstüne ait noktaların birlikte gösterimi	18
Şekil 9. Zemine yakın alçak noktalardan filtrelenmiş noktalar	19
Şekil 10. Voksel geometrisi	20
Şekil 11. Nokta bulutuna ait tüm voksellerin ağırlık merkezi noktalarının gösterimi.....	20
Şekil 12. Yükseklik değerleri varyansına göre filtrelenmiş noktalar.....	21
Şekil 13. Seçilen örnek voksel içindeki noktaların 3B görünümü.....	23
Şekil 14. Voksel içindeki noktalara uygulanan RANSAC ile çizgi yakalama	24
Şekil 15. Tohum voksel tespiti.....	25
Şekil 16. Voksel komşuluğa göre filtreleme (Yeşil Noktalar).....	26
Şekil 17. Voksel komşuluklarına göre filtreleme sonrası iletken Teller ve Pilon noktaları	26
Şekil 18. Önerilen algoritma ile tespit edilen Pilonlar	28
Şekil 19. Tel Noktaları İle Oluşturulmuş İçbükey Gövde	28
Şekil 20. Önerilen algoritma ile tespit edilen Tel noktaları	29
Şekil 21. Tel ve Pilonlara ilişkin noktaların birlikte gösterimi	30
Şekil 22. İçbükey gövde, tel ve riskli obje noktalar.....	31
Şekil 23. Sınıflandırılmış referans verisi	34
Şekil 24. Doğruluk, bütünlük ve kalite şeması	36

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Doğruluk analizi sonuçları.....	34
Tablo 2. Üretilen model ile referans model arasındaki Doğruluk, Bütünlük ve Kalite değerlerinin karşılaştırılması.....	36



KISALTMALAR DİZİNİ

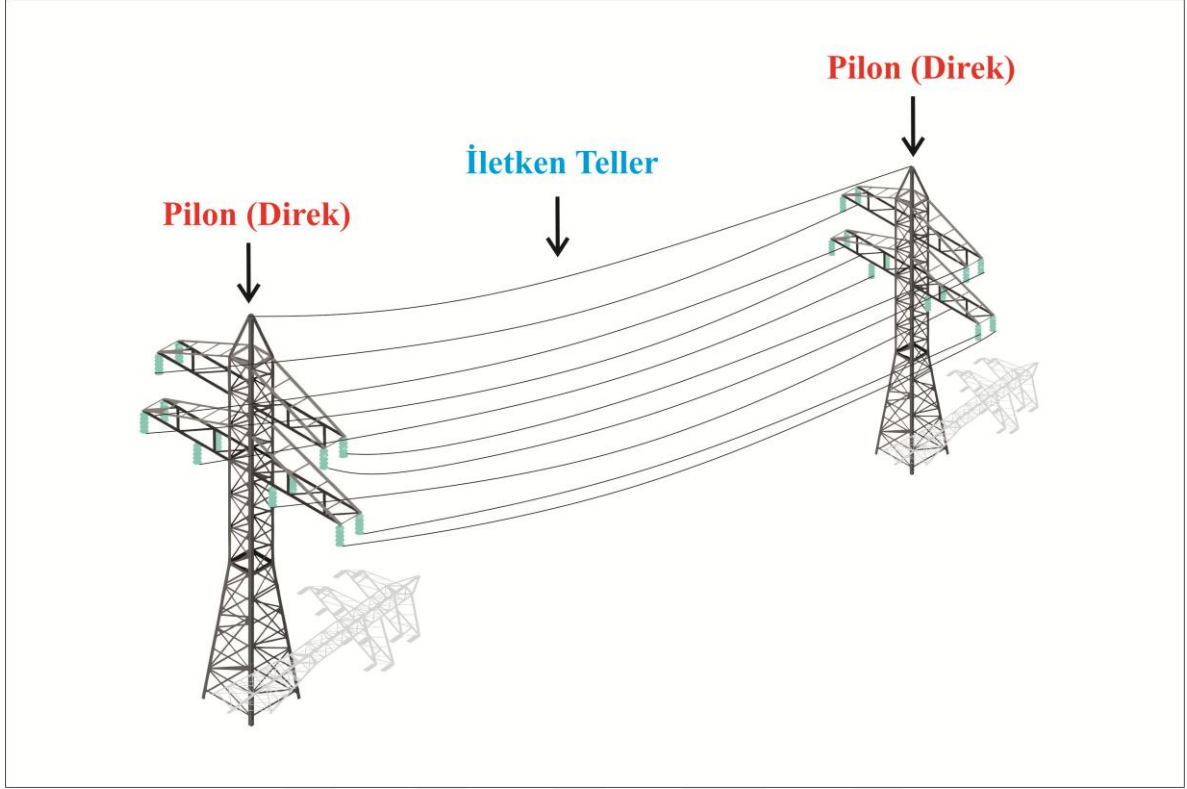
CSF	: Cloth Simulation Filtering (Arazi Simülasyon Filtresi)
ENH	: Enerji Nakil Hattı
GPS	: Global Konumlandırma Sistemi (Global Positioning System)
GIS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri (Geographical Information Systems)
IMU	: İnersiyal Ölçme Aleti (Inertial Measurement Unit)
ISPRS	: Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği
İHA	: İnsansız Hava Aracı
MATLAB	: Matrix Laboratory
LiDAR	: Işınlardan Yakalanması ve Ölçülmesi (Light Detection and Ranging)
RANSAC	: Rastgele Örneklem Konsensüsü
SAM	: Sayısal Arazi Modeli
SAR	: Yapay Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar)
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
UA	: Uzaktan Algılama
VPLD	: Voksel Tabanlı Parça Bazlı Hat Dedektörü
α	: Çizgi Yönü
a, b	: Çeviri Parametreleri
c	: Ölçeklendirme Parametresi
d	: Çizginin Düzlem Orijinine Olan En Yakın Mesafesi : Seçilen Noktaların Modele Uymaması
n	: İterasyon Sayısı
p	: Doğru Modelin Seçilme Olasılığı
s	: Model Parametre Hesabı İçin Gerekli Olan Minimum Nokta Sayısı
u	: Ağırlık Merkezine Olan Uzaklık
x, y	: Orijin Koordinatları : Varyans : Ağırlıklı Ortalama
Pr	: Olasılık Fonksiyonu

1. GENEL BİLGİLER

1.1.Giriş

19. yüzyıl sonlarına doğru aydınlatma amacıyla kullanılmaya başlanan elektrik enerjisi yıllar içinde çeşitlenen kullanım alanları ile birlikte kentlerde ve sanayide oldukça yoğun miktarlarda talep edilir hale gelmiştir. Artan elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanabilmesi için yeni üretim tesislerinin kurulması ve iletim hatlarının yaygınlaştırılması gerekmiştir. Böylece elektrik enerjisi sistemleri gelişmiş ve enerji üretimi, iletimi ve dağıtımını birer mühendislik dalı haline gelmiştir. Dolayısıyla hızlı ve sürekli enerji arzı sağlamak adına gelişmiş enerji dağıtım sistemleri ve nakil hatları kullanılarak transfer işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bu durum arz güvenirliliği yönü ile değerlendirildiğinde özellikle elektrik hatlarının standartlara uygun olarak inşa edilmesi ve periyodik bakımlarının gerçekleştirilmesi oldukça önemli kılmaktadır. Bu sayede elektrik enerjisinin minimum kayıplarla uzun mesafelere transfer edilebilmekte, kentlere ve sanayi bölgelerine dağıtılabilmektedir.

Elektrik santrallerinden iletilerek kentlere, sanayilere ve evlerimize kadar elektriğin dağıtımını sağlayan enerji nakil hattının (ENH) anlamını tanım olarak vermek gerekirse; elektrik santralinde kontrollü ve planlı olarak elde edilmiş elektrik enerjisinin, santrallerden iletilip abonelere kadar dağıtılmasını sağlayan hatlardır. Elektriğin iletilmesi işlemi, ENH bileşenleri olan iletken teller ve iletken telleri taşıyan pylonlar (direkler) sayesinde yapılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Enerji nakil hattı bileşenleri

ENH bileşenlerinin (iletken teller ve pilonlar) tanımını tam olarak vermek gerekirse:

İletken Teller: Elektrik enerjisinin iletilmesinde ve dağıtılmasında kullanılan, hem enerji taşıma kapasitesi hem de mekanik dayanım yönünden uygun olarak seçilen ENH bileşenleridir. İletken teller, gerekli esnekliği sağlamak, askı ve gergi noktalarında oluşan titreşimler sebebiyle kopmanın önlenmesi amacıyla spiral şekilde örgülü olarak yapılır.

Pilon (Direk): Santrallerde üretilen elektrik enerjisinin tüketim ve kullanma bölgelerine iletilmesi ve dağıtılmasında iletken telleri taşıyan, toprakla iletken arasında yalıtkanlık sağlayan ve hat boyunca uygun aralık ve yükseklikte, teknik şartnamelerine göre yerleştirilen donanımlara denir. Durdurucu, taşıyıcı, nihayet, branşman ve tevzi direk gibi çeşitleri bulunurken yapıldıkları malzemeye göre demir, beton ve ağaç direkler olarak ENH'nın döşenmesinde kullanılmaktadır.

Elektrik hatlarının döşenmesinde maliyet, hattın güzergâhı, coğrafik durum, arazi durumu, hattın güvenlik konumu gibi hususlar incelenir. Elektrik hattının güvenli bir şekilde yapımı ve hatların bakımının sağlanarak elektriğin minimum kayıplarla iletilmesi ve

kesintilerin en aza indirgenmesi toplumun elektriğe olan bağımlılığı açısından çok önemlidir.

ENH bileşenlerinde oluşabilecek korozyon ve mekanik hasardan kaynaklı arızaları tespit etmek düzenli kontrol gerektiği gibi elektrik hatlarına yakın büyüyen ağaçlar, altyapıya zarar verebilir ve hatta büyük elektrik kesintilerine veya orman yangınlarına neden olabilmektedir. Bu nedenle, kesilmesi gereken ağaçları veya ağaç dallarını tespit etmek için güç hattı koridorunun içindeki ve yakınındaki bitki örtüsünün düzenli kontrollerine de ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, fırtınalar ve diğer doğal afetler ormanlara ve elektrik hatlarına büyük ölçüde zarar verebilmekte ve genellikle zor koşullarda, aniden oluşan hasarların tespit edilmesi gerekmektedir (Matikainen vd. 2016). Doğa, insan sağlığı ve özellikle de enerji arz güvenilirliğini tehdit eden bu tür riskleri tespit etmek ve ortadan kaldırmak için elektrik hatlarının belirli periyotlar ile sürekli gözlemlenmesi gerekmektedir. Bu kentsel ve kırsal enerji tedarik yönetimi ve bilimsel planlama yönü ile oldukça önemlidir. Bununla birlikte, elektrik hatlarının uzun coğrafi mesafeler boyunca konumlanması, geleneksel araziye dayalı incelemeler ile bu tür gözlemlerin yapılmasını zahmetli ve masraflı kılmaktadır. Buna karşın günümüzde gelişmiş uzaktan algılama teknolojilerinden biri olan Lazer Tarama Sistemlerinden, enerji nakil koridorunda bulunan hatların ve diğer arazi örtüsü elemanlarının gözlemlenmesi amacıyla yüksek 3B konum doğruluğuna sahip LiDAR (Light Detection and Ranging) nokta bulutu verisi kullanılması sayesinde gözlemlenmesi çok uzun zaman alan araştırma süresi ve işçilikten önemli oranda tasarruf sağlanabilmektedir (McManamon, 2012). Ayrıca Hava LiDAR sistemlerinin geniş alanlarda hızlı veri alabilme kabiliyeti sayesinde gözlem periyotları oldukça sıklaştırılabilmekte ve riskli durumlar hızla analiz edilebilmektedir.

Literatüründe güç hattı ve risklerin tespitine yönelik farklı uzaktan algılama yöntemleri önerilmiş ve uygulanmıştır (Mu vd. 2009, Li vd. 2012). Uygulanan veri kaynakları optik uydu ve hava görüntüleri, termal görüntüler, sentetik açıklıklı radar (SAR) görüntülerinden güç hattı bileşenlerinin ayrıntılı fotoğraflarına kadar uzanmaktadır (Matikainen vd. 2016). Çeşitli yöntemlerle havadan kaydedilen renkli/kızılötesi görüntüler veya videolar aracılığıyla, enerji hattı tesislerinin hasar durumu tespit edilmiştir (Yamamoto ve Yamada, 1997). Birkaç örnekle özetlenecek olursa; Carande vd. (1998) güç hattı pylonlarının, X bandı InSAR verilerinden elde edilen yükseklik ve tutarlılık verilerinden tanımlanabileceğini ifade ettiği gibi Woods vd. (2004), dikey engellerin algılanması için InSAR verilerinden oluşturulan dijital yüzey modelleri (SYM'ler) kullanılarak morfolojik

filtreleme, yükseklik, boyut ve şekle dayalı kriterler ile enerji hattına ait bileşen tespiti yapılabildiğini ifade etmiştir. Öte yandan Yan vd. (2012), TerraSAR ve COSMO-SkyMed uydularından X band SAR görüntülerinde güç hattı pylon ve tellerinin geri saçılmasını inceleyerek bu çalışma ile aynı zamanda güç hatlarının yönelimi ile SAR görüntülerinde görünürlüğü arasındaki bağımlılığı göstermiştir. Sha vd. (2014) ise 20 TerraSAR görüntüsünden oluşan bir zaman serisi kullanarak altı iletkenli güç hattı segmentinin geri saçılma davranışı ile tespit edilebilirliğini incelemiştir. Fakat yapılan çalışmalarda kullanılan görüntü tabanlı yöntemlerin pasif doğası nedeniyle, yalnızca yeterli güneş ışığı bulunduğu veri toplanabilmesi, bulutlu ve sisli havalarda istenilen kalitede görüntü verisi toplanmasının zor oluşu ve kamera duyarlılığı ile görüş açısı değişimlerine bağlı olumsuz etkenlerden dolayı sınırlı düzeyde başarı elde edilebilmiştir (Matikainen vd. 2016). Ayrıca bu yaklaşımların arazi örtüsü/kullanımına ve topografyasına bağlı olarak zaman ve doğruluk açısından uygun olmadığı gözlemlenmiştir (Jones ve Earp, 2001).

Hava LiDAR verilerinin yukarıda ifade edilen hata kaynaklarından minimum düzeyde etkilenmesine karşın, üretilen nokta bulutu verisinin yoğun hacmi verinin manuel veya yarı-otomatik teknikler ile analiz edilebilmesini oldukça zorlaştırmaktadır. Genellikle kentsel bölgelerde yapılara, kırsal bölgelerde ise bitki örtüsü gibi yüksek objelere yakın konumlanması sebebiyle enerji hattı noktalarının LiDAR nokta bulutu verileri kullanılarak doğru ve hızlı bir şekilde çıkarılmasını zorlaştırır. Bu nedenle, kentsel ve kırsal enerji hatlarının hava LiDAR verilerinden çıkarılması için yüksek verimli, hızlı ve otomatik yöntemlerin geliştirilmesi günümüzde önemli bir araştırma konusudur (Wang vd. 2017).

Son dönemde uzaktan algılama teknolojilerinde meydana gelen gelişmeler, araştırmalarda kullanılan yersel ve hava LiDAR verilerinin daha yüksek nokta yoğunluğu ve konum doğruluğu ile elde edilebilmesine imkân tanımaktadır (Kim ve Sohn, 2010). Lidar verileri kullanılarak geliştirilen ve geliştirilmeye devam eden algoritmalar sayesinde tespit edilen enerji nakil hattı bileşenlerinin haritalanması, hasar tespiti ve bakımları daha kısa sürede yapılabilmektedir. Bu sayede son yıllarda hava LiDAR verileri kullanılarak elektrik nakil hattı bileşenlerinin otomatik veya yarı-otomatik tespitine yönelik araştırmalar oldukça yoğunlaşmıştır.

Araştırmalara konu olan enerji nakil hattı katener eğri tespiti çalışmalarına örnek verilecek olursa; Ussyshkin ve Smith (2007), iletim hatlarını iki aşamalı bir süreçle modellemiştir. İlk adımda, güç hattının azimutu x ve y koordinatlarına düz bir çizginin yerleştirilmesiyle belirlenmiştir. Ardından dönüştürülen x ve z koordinatları, katener

eğrisinin geleneksel 2B denklemini çözmek için kullanılmıştır. Benzer yaklaşımla Jwa ve Sohn (2012), Piecewise Model Growing (PMG) adlı yeniden yapılanma yöntemi ile iki farklı geometrik form için 2B çizgi denklemi kullanarak iletim hatlarının yönelimini, ardından X-Z düzleminde hiperbolik kosinüs form ile katener modeline dayalı yeniden yapılanmayı tahmin etmiştir. Akselsson (1999) ise, Hough dönüşümü ile enerji hattına ait paralel doğruları 2B XY düzleminde (1) eşitliği ile arayarak sınıflandırma işlemi yapmıştır.

$$x \sin \alpha + y \sin \alpha - d = 0 \quad (1)$$

Burada α çizgi yönünü, d ise çizginin düzlem orijinine olan en yakın mesafesini temsil etmekte olup; arama alanı oldukça geniş olduğundan güç hattına ait paralel çizgiler, herhangi bir yön bilgisine sahip olmayan farklı objelere ait kenarlarla karşılaştırıldığında arama işleminin azaltılması açısından güç hattı tespitinin koridor ölçümü ile daha sağlıklı tespit edilebileceği vurgulanmıştır. Diğer bir çalışma ile güç hattına ait katener eğrileri için her biri farklı parametrelerle tanımlanmış 3B denklem önerilerinde bulunan Chan vd. (2011), eğri üzerindeki nokta kümesinin x-y koordinatlarının ağırlık merkezinden uzaklığı (u) ile x ve y eksenleri boyunca orijin koordinatlarına (x_m, y_m) göre çeviri parametrelerini (a , b) ve ölçeklendirme parametresini (c) kullanarak tanımladığı ;

$$u = \pm \sqrt{(x - x_m)^2 + (y - y_m)^2} \quad (2)$$

$$z = a + c * (\cosh((u-b)/c) - 1) \quad (3)$$

(2) ve (3) eşitlikleri ile değişkenler arasında yüksek korelasyon olmadan, 3 boyutlu uzayda farklı yönleri ve şekilleri olan katener eğrilerini etkili bir şekilde modelleyebildiğini ve önerdiği modelin, mobil LiDAR sistemlerinin kendi kendini kalibre etmesi için bir koşul olarak kullanılabileceğini ifade etmiştir.

Jwa vd. (2009) ise güç hattı noktalarını çıkarmak için önerdiği kapsamlı yaklaşımda, Hough dönüşümünü, özvektörleri ve nokta yoğunluğunu kullanmış ve her bir güç hattındaki noktaları tanımlamak için parçalı bir katener eğrisi modeli büyütme algoritması önermiştir. Jwa ve Sohn (2012) bu yaklaşım ile 120 m yükseklikten elde edilmiş yüksek yoğunluklu nokta bulutu verisi kullanarak oldukça başarılı sonuçlar elde etmiştir. Melzer ve Briese

(2004), aşağıdan yukarıya bir strateji kullanarak güç hattı noktalarını çıkarmış ve her bir güç hattını tanımlamak için Hough dönüşümünü yinelemeli olarak uygulamıştır. McLaughlin (2006), Gaussian karışım modeli kullanan nokta özelliklerine göre güç hattı noktalarını sınıflandırmıştır. Cheng vd. (2014) ise, Delaunay üçgenlemesine sahip bir nokta kümeleme yöntemi olan AutoClust algoritmasını kullanarak voksel komşuluk analizinden sonra her kümeye uygun çizgileri Hough dönüşümü ile tespit etmiştir.

Genel olarak, yukarıda bahsedilen çalışmalara bakıldığında, enerji nakil hattı bileşenlerinin tespiti iki temel amaç için gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda birincil olarak tel sarkma miktarının tahmininde kullanılan katener eğrisi gibi yaklaşımlar ile 3 boyutta tel ve pylonların konumlarının tespit edilmesi, ikincil olarak ise enerji iletim ve dağıtım hatlarına zarar verme ihtimali olan bitki örtüsü ve yapılar gibi çeşitli yüksek objelerin tespiti amaçlanmaktadır (McLaughlin, 2006).

Bu amaç doğrultusunda geliştirilen algoritma ile ilk aşamada CSF zemin çıkarma algoritması kullanılarak 3B nokta bulutu verisi içinde zemin noktaları tespit edilerek filtrelenen LiDAR verisi, daha sonra vokselizasyon ve Rastgele Örneklem Konsensüsü (RANSAC) yardımı ile tespit edilen uygun doğrusal dağılımlı noktalar ve bu noktalara en uygun fit olan doğru ve eğri analizleri uygulanarak tel ve pylonların tespiti sağlanmıştır. Fisher ve Bolles tarafından 1981’ de geliştirilen RANSAC algoritması, LiDAR nokta bulutu verisi içinden otomatik doğru ve eğri çıkarım işlemine oldukça üstün bir araç olarak kullanılmaktadır. Ayrıca geleneksel model kestirim algoritmalarının aksine, kullandığı az sayıdaki girdi verisi ile en uygun model üreten RANSAC’ın geliştirilen algoritmadaki başarısı oldukça yüksek olmuştur.

1.2.Uzaktan Algılamaya Genel Bakış

Uzaktan Algılama (UA) herhangi bir fiziksel temas olmaksızın yeryüzü hakkında bilgi edinebilme, kaydetme ve inceleme tekniği olup yeryüzü ile ilgili yapılan çalışmaların başarısı kullanılacak bilginin doğruluğu ve güvenilirliği ile yakından ilişkilidir. Söz konusu bilgilerin hızlı ve ekonomik bir şekilde elde edilebilmesi önemli bir ihtiyaçtır. Bu noktada uzaktan algılama teknolojileri sunduğu önemli avantajlar sayesinde yeryüzü ile ilgili yapılan birçok çalışmada etkin olarak kullanılan önemli bir veri kaynağı konumundadır. Algılayıcıların, algılama tekniğinde kullandıkları enerji kaynaklarına göre aktif veya pasif algılayıcı sistemler olarak ikiye ayrılır.

Pasif algılayıcılar, cisimlerin yaydıkları enerjiyi alırlar ve enerjinin kaynağı genellikle güneş olduğu için sadece gündüz algılama yaparlar. Bu sistemlerden bazıları LANDSAT, SPOT, IRS, IKONOS vb. uydulardır. Hava fotoğrafları da pasif uzaktan algılama sistemi ürünleridir. Aktif algılama sistemleri ise kendi elektromanyetik ışık kaynağına sahip algılama sistemleri olmak üzere Syntetic Aperture Radar kısaca SAR olarak adlandırılırlar. Aktif algılama sistemleri InSAR ve havadan lazer tarama (ALS) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. InSAR sistemi elektromanyetik spektrumun mikrodalga bölgesinde algılama yaparken LiDAR sistemleri ile yakın kızılötesi bölgede algılama yapılabilmektedir. SAR sistemleri, pasif sistemlerden daha uzun dalga boylarında çalıştıklarından dolayı karanlıkta, siste, bulutlu alanlarda görüntüleme yapabilmektedir. Cisimlerle doğrudan temas etmeden fiziksel özellikleri hakkında bilgi elde etme bilimi olarak tanımlanan uzaktan algılama teknikleri ile yeryüzünün farklı konumsal, spektral, radyometrik ve zamansal çözünürlüklerde görüntülenmesi ve izlenmesi sağlandığı gibi LiDAR tekniğinde yüksekliğe de bağlı olmak koşulu ile yatay ve dikey doğrultuda ± 15 cm doğruluktan söz etmek mümkündür (Brennan ve Webster, 2006).

Her uzaktan algılama tekniğinin kendine özgü avantajları - dezavantajları ve entegre bir yaklaşımı vardır. Entegre yaklaşımlar, örneğin, uydu verilerine dayalı kaba izlemenin ardından değiştirilen veya sorunlu alanların farklı hava ve yersel platformlar üzerinde konumlandırılmış (helikopterler, İHA ve mobil) algılama sistemleri kullanılarak detaylı bir şekilde incelenmesini içerebilir. ALS ile bitki örtüsü izleme, SAR ve optik görüntü verileri gibi ilgili alanlardaki bilgiler, yararlı izleme yaklaşımları geliştirmek için etkin bir şekilde kullanılmalıdır. Örneğin, enerji hattı koridorlarında bitki örtüsü izlemesi için ALS verilerinin kullanımı sadece birkaç çalışmada ele alınmıştır, ancak genel olarak ALS tabanlı bitki örtüsü izlemesi aktif bir araştırma konusu olmuştur (Matikainen vd. 2016).

Uzaktan algılamaya dayalı yaklaşımlar, ağdaki sorunlu noktaları tespit etmek ve bitki örtüsünün büyümesini izlemek için de kullanıldığı gibi havadan ve yersel platformlardan biri olan İHA' lar ve lazer tarama gibi hızla gelişen uzaktan algılama teknikleri ile etkili, esnek ve yüksek derecede otomatik izleme yöntemlerinin geliştirilmesi muhtemeldir. Otomatik izleme yaklaşımlarının yeteneklerini göstermek ve doğrulamak için çeşitli ortamlarda büyük testler ve pratik izleme koşulları gerekmektedir. Bunlar ayrıca ormanlardaki elektrik hatları gibi zor durumları da içermelidir. Etkili entegre yaklaşımlar geliştirmek için, dikkatli kalite analizleri ve farklı veri kaynakları, yöntemler ve bireysel algoritmalar arasında karşılaştırmalar yapılması gerekmektedir (Matikainen vd. 2016).

1.3.LiDAR nedir?

Light Imaging Detection and Ranging (LiDAR), düşük maliyetli, nokta yoğunluğu yüksek ve istenilen doğrulukta sayısal yükseklik verisine ihtiyaç duyan kullanıcılar için, klasik ölçme yöntemleri ve sayısal hava fotogrametrisi ile karşılaştırıldığında daha az arazi çalışması ve değerlendirme maliyeti gerektiren bir uzaktan algılama sistemidir. Sunduğu yüksek 3B konum doğruluğu sayesinde karmaşık topoğrafyalar, dağlık araziler de dâhil geniş alanlarda yüksek çözünürlüklü harita yapımı için hızlı ve hassas bir alternatif olmaktadır. Ayrıca yeryüzüne ilişkin verilerin elde edilmesinde klasik hava fotoğraflarının sınırlı kalması, insanoğlunu uzaydan, geniş alanların daha hızlı ve ayrıntılı biçimde algılanmasını sağlayan çeşitli uzaktan algılama araç, gereç ve tekniklerini geliştirmeye yöneltmiştir.

LiDAR teknolojisinde "waveform" (çoklu dönüş) özelliği sayesinde lazer pulsu (lazer demeti) bir objeye çarptıktan sonra parçalanarak yoluna devam eder ve bu özelliği sayesinde bir lazer pulsundan çoklu dönüşler elde edilir. Ormanlık ve diğer bitki örtüsünün olduğu alanlarda da lazer pulsu ağaçların sadece yüzeylerinden değil, ağaçların ve ormanın altında kalan topoğrafya, elektrik hatları, bina gibi tüm objelerden veri alabilmektedir.

Enerji iletim ve dağıtım hatları, karayolu, boru hatları gibi koridor tipi projelerin planlanması ve etüt çalışmalarında kullanılan LiDAR verileri ile hassas mühendislik hesaplamaları yapılarak elde edilen üç boyutlu altlıklar ile kent modeli ve şehir planlama çalışmaları gibi birçok alanda çözümler üretilebilmektedir. Bununla birlikte LiDAR sistemleri arazi kullanımı belirleme, doğal ortam analizi, yenileme çalışmaları, orman yönetimi, afet planlama, ulaşım, kentsel gelişim, akarsu izleme ve değerlendirme, 3 boyutlu nokta bulutu üzerinden hâlihazır harita üretimi, rüzgar santralleri için en uygun yer belirleme analizleri, enerji nakil hatlarının etüd projelerinin yapılması ve modellemesi, elde edilen veriler üzerinden GIS veri tabanı yönetimi gibi faaliyetlerde başarıyla kullanılabilir.

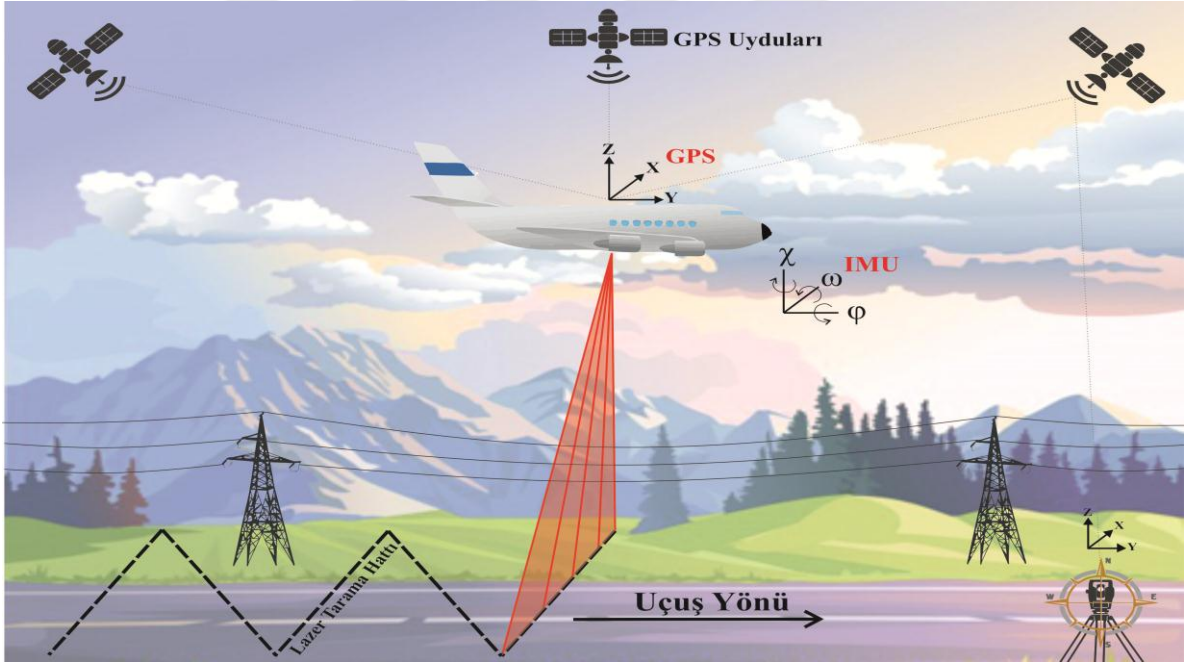
LiDAR sistemleri kullanım amaçlarına ve üzerinde buldukları platformlara göre üç ana grup altında toplanmaktadır. Bunlar;

- 1) Hava LiDAR (Airbone LiDAR),
- 2)Yersel LiDAR(Terrestrial LiDAR),
- 3) Mobil LiDAR(Mobile LiDAR)'dır.

Bu çalışmada hava LiDAR verileri kullanılarak “Enerji Nakil Hatlarının ve Hatlara Risk Oluşturan Yüksek Obje Konumlarının Otomatik Olarak Belirlenmesi” üzerinde çalışılmıştır.

1.3.1.Hava LiDAR (Airbone LiDAR) Tekniği

1960’lardan sonra geliştirilen Hava LiDAR sistemi dünyada yaygın olarak kullanılan yeni nesil haritalama tekniği olup, lazer tarayıcı, IMU (inersiyal ölçme aleti), GPS (Global Konumlandırma Sistemi) ve kamera entegrasyonundan oluşmaktadır. Hava aracı üzerinde konumlandırılmış lazer tarayıcı sayesinde saniyede yüz binlerce ölçüm yapmaktadır (Şekil 2). GPS/IMU sistemi kullanılarak lazer ışınının gönderildiği andaki konum ve dönüklük bilgileri ölçülerek objenin X,Y,Z koordinatları elde edilebilmektedir (Liu, 2008).



Şekil 2. Hava LiDAR sistemi

Hava aracı planlanan uçuş hatları boyunca ilerlerken lazer tarama ile eş zamanlı olarak kaydedilen görüntüler sayesinde yüksek çözünürlüklü doğru-ortofotolar üretilebilmektedir. Tarama sonrası elde edilen LiDAR verisi işlenerek nokta bulutuna dönüştürülmektedir. Bu nokta bulutu topoğrafya, bitki örtüsü, bina, enerji iletim ve dağıtım hatları gibi sınıflara ayrılmaktadır. Bu sınıflandırılmış verinin topoğrafya sınıfı kullanılarak

arazinin çok hassas sayısal arazi modeli (SAM) ve yükseklik değerleri LiDAR verisine dâhil olduğu için arazi ve üzerindeki bina, eş yükselti eğrileri, bitki örtüsü gibi bütün objeleri tanımlayan sayısal yüzey modeli (SYM) üretilebilmektedir (Liu, 2008).

Hava LiDAR sistemlerinde kullanım alanları olarak elektrik iletim hatları ,petrol ve doğalgaz boru hatları, karayolu-demiryolu etüt ve planlama projeleri için koridor harita üretiminde, sel-taşkın analizi gibi hidrografik çalışmalarda, heyelan vb. risk haritalarının oluşturulması örnek verilebilir. Ayrıca Hava LiDAR ile çok geniş alanları kısa sürede, doğruluktan ödün vermeden, düşük maliyetle haritalamak mümkün olduğu gibi Hava LiDAR haritalama yöntemlerinin diğer yöntemlere göre avantajlarını aşağıdaki gibi sıralanabilir :

- Zaman
- Maliyet
- Doğruluk
- Hassasiyet

Enerji nakil hattı bakım ve onarım çalışmaları dijital kameralar, kızılötesi termografi vb. cihazlarla yapılabildiği gibi, hatta ait tehditlerin tespiti için çıplak gözle bakım personelleri aracılığıyla da yapılabilmektedir. Fakat bu durum yüksek zaman, emek ve işgücü gerektirdiği gibi çalışma verimliliğini de düşürmektedir. Hava LiDAR teknolojisinin yaygınlaşması ile önceleri helikopterle yapılan bakım ve denetim çalışmaları havada çalışan personellerin güvenlik riski ve yüksek hava sahası kontrolü gibi çeşitli sorunlara neden olduğundan İHA teknolojisinin gelişmesi ile birlikte bu sorunlar çözüme kavuşarak elektrik hattı denetimi ve enerji sektörü teknolojisinin gelişimi için yeni bir alternatif oluşmuştur. İHA'lar elektrik hatlarına yakın uçuş kabiliyetleri (Li vd. 2010), düşük maliyet ve manuel müdahale imkânları sayesinde yüksek işgücü ihtiyacı ve zaman açısından verimliliği büyük ölçüde arttırmıştır. Günümüzde İHA'lar enerji hatlarının denetiminde temel olarak enerji hattı koridorundaki emniyet mesafelerini ihlal eden ağaç, bina vb. yüksek denetlenmesini hedef aldığı gibi aynı zamanda pylon ve tellere ait hasarların tespit ve deformasyonlarının izlenmesinde de kullanılmaktadır (Li ve Guo, 2018).

Kesintisiz elektrik dağıtımını sağlamak için, elektrik hatlarının etkin bir şekilde izlenmesi ve bakımı gereklidir (Matikainen vd. 2016). Bu amaç doğrultusunda Hava LiDAR

sistemi, mekânsal veri elde etmek için hızlı, verimli ve yüksek hassasiyetli bir yöntemdir ve enerji sektörü güç hatlarını izlemek için temel bir araç olduğu kabul görmüştür (Ussyshkin vd. 2011).

1.4. Literatür Araştırması

LiDAR teknolojisi gelişmeden önce enerji nakil hattı çıkarımı hava fotoğrafları üzerinden, görüntünün çözünürlüğüne bağlı olarak yarı otomatik olarak yapılabilmekteydi. Bu amaçla, görüntü işleme teknikleri ile yatay XY düzleminde tespit edilen enerji nakil hatları için genellikle Hough ve Radon dönüşümleri kullanılmıştır (Liu vd. 2009 ve Grigillo vd. 2015). Yan vd. (2007) pikseller üzerinde çizgi dedektör maskesi ile görüntüdeki çizginin parlaklığı, paralelligi ve doğrusallık özellikleri kullanılarak güç hattına ait olduğu düşünülen pikseller tespit edilmiştir. Daha sonra enerji hattı bölümlenerek her parçaya radon dönüşümü uygulanmıştır. Bu dönüşüm her parçanın eğim ve başlangıç - bitiş uzaklıklarına göre eşik alınan değerleri aynı anda sağlayan parçalara çizgi yerleştirebilmektedir. Son aşamada görüntüde tespit edilemeyen komşu çizgi parçalarına Kalman Filtresi uygulanıp eksik parçalar kestirilerek güç hattı çıkarılmıştır.

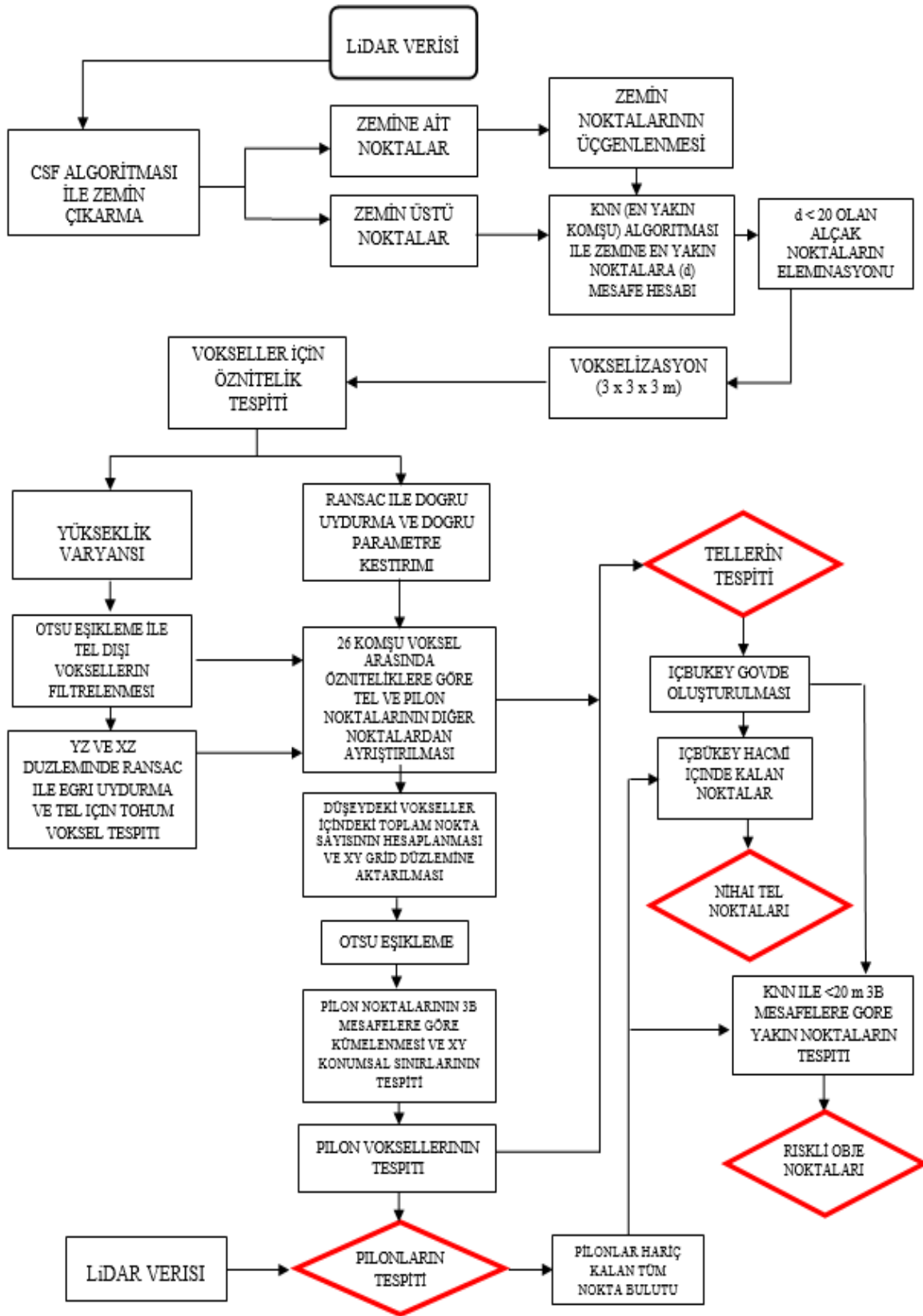
LiDAR teknolojisinde meydana gelen gelişmeler ile birlikte LiDAR nokta bulutu verisi üzerinden ENH elemanlarının tespitine yönelik araştırmalar hız kazanmıştır. Sohn vd. (2012)' ye göre nokta bulutundaki veri karmaşıklığının azaltılması amacıyla öncelikle enerji nakil hattının otomatik olarak çıkarılması gerekmektedir. Bunun için eğrinin parçalara ayrılmasıyla hatta ait eğri parametrelerinin tahmin edilmesi gerekmektedir. İlgili araştırmada Voksel Tabanlı Parça Bazlı Hat Dedektörü (VPLD) ile hat çizgilerinin birbirine göre açıklığı dikkate alınarak nokta bulutu uygun boyutlu voksellere bölünmüş ve komşu vokseller içindeki noktaların doğrusallığı, aynı yönde kümelenmeleri (yakınlık), yoğunluk ve süreklilik (katener) göstermeleri gibi özelliklerden faydalanılarak ENH tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Melzer ve Briese (2004), XY düzlemindeki paralel tel tespitinde 2B Hough dönüşümü kullandıktan sonra teli bölümlendirilerek her bölüme eğri uydurma teknikleri uygulamıştır. McLaughlin (2006) ise; her bir elipsoidal komşuluk içinde bulunan iletim hatlarının yerel afin modellerini hesaplayarak, keyfi seçilen bir yerel afin modelinden başlayarak katener parametrelerini iteratif olarak tahmin etmeye çalışmıştır. Ardından, tüm yerel afin modellerini toplayarak güç hattını modellemiştir. Öte yandan Guo vd. (2016) güç hattı rekonstrüksiyon sonuçlarını iyileştirmek için iki komşu pylon arasında bağlamsal pylon

bilgisini ve tel grubunun dağılım özelliğini kullanan RANSAC tabanlı bir yöntem önermiştir. Burada ana varsayım, bir gruptaki güç hatlarının aynı yönde ve sarkmaların paralel olduğu ve bu bilgilerin ENH 3B modelinin oluşturulması için başlangıç parametrelerinin kestiriminde etkili bir şekilde kullanılabileceğidir. Zhang vd. (2016) demir yoluna ait güç hattını karmaşık ray sisteminden otomatik ve hızlı bir şekilde çıkartmak için “Region Growing” yöntemi ile seçilen bir tohum ve genişleme yönüne bağlı olarak ENH tespiti yapan algoritmayı sunmuştur. Genel olarak, yapılan birçok araştırmaya rağmen, ENH bileşenlerinin hava LiDAR verileri yardımıyla otomatik tespitine yönelik araştırmalarda farklı çalışma bölgelerinde istenilen doğruluk düzeyine ulaşamamıştır. Bu sebeple konu ile ilgili araştırmalar hatta yakın bina ve bitki örtüsü kaynaklı tespit hatalarını ortadan kaldırmak ve doğruluk düzeyini arttırmak adına yoğun olarak devam etmektedir (Chen, 2007).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, Hava LiDAR verileri kullanılarak enerji nakil hattı iletken tel ve pylonların ve bunları tehdit eden yüksek yer üstü objelerinin otomatik olarak belirlenmesine yönelik bir algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmaya ilişkin akış diyagramı Şekil 3'te gösterilmiştir. Söz konusu algoritma Matlab R2018b platformunda kodlanarak seçilen örnek veri üzerinde başarıyla uygulanmıştır. Önerilen yaklaşım sayesinde yapılacak periyodik uygulamalar ile yersel arazi faaliyetleri yapılmaksızın enerji nakil hattı bileşenleri otomatik olarak tespit edilerek ilgili kontrol, denetleme işlemleri hızlı biçimde gerçekleştirilebilecektir. Bu sayede zaman, maliyet ve insan gücünden büyük oranda tasarruf sağlanacaktır.

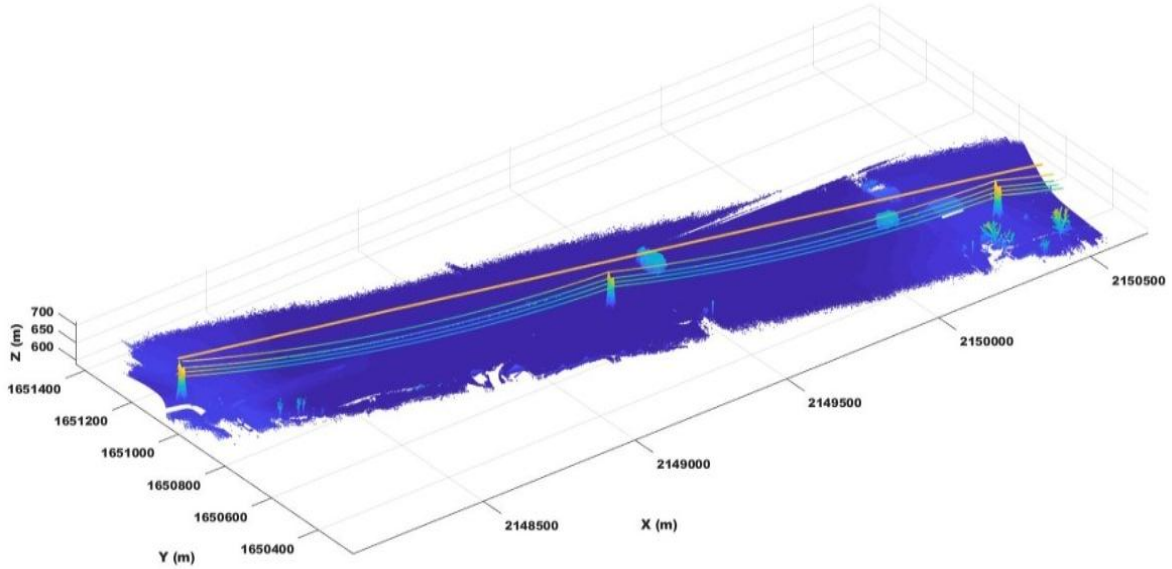


Şekil 3. Akış diyagramı

2.2.Çalışma Alanı

Çalışmada Amerika Birleşik Devleti, Alabama eyaletine bağlı Priceville şehrinde bulunan ve yarı - kentsel arazi örtüsü karakterine sahip 136,06 hektar büyüğünde bir bölgenin İnsansız Hava Aracı (İHA) üzerine monte yüksek çözünürlüklü LiDAR sistemi ile 17 nokta/m² yoğunluğunda şeritvari taranmış ve UTM sisteminde referanslandırılarak kaydedilmiş veri seti kullanılmıştır. Söz konusu İHA-LiDAR verisi, 905nm dalga boyunda lazer ışını kullanan ve 10 Hz'de ± 2 cm hassasiyet sağlayabilen Velodyne HDL-32 sensörü ile toplanmıştır. Üretilen nokta bulutu verisi toplam 23.437.256 noktadan oluşmakta olup '*.las' formatında kaydedilmiştir (Şekil 4).

144x85 mm boyutunda olan Velodyne HDL-32 LiDAR sensörü, görüş alanı dikeyde 360° yatayda 41° olup 32 lazer sensörü sayesinde ± 2 cm hassasiyetle otomotiv, haritalama, topografya, İHA, tarım ve jeoloji alanlarında büyük ölçekli projelerin yüksek doğruluk, önemli maliyet tasarrufları ve iyileştirilmiş verimlilikle tamamlanmasına olanak sağlamaktadır (URL-1, 2019).



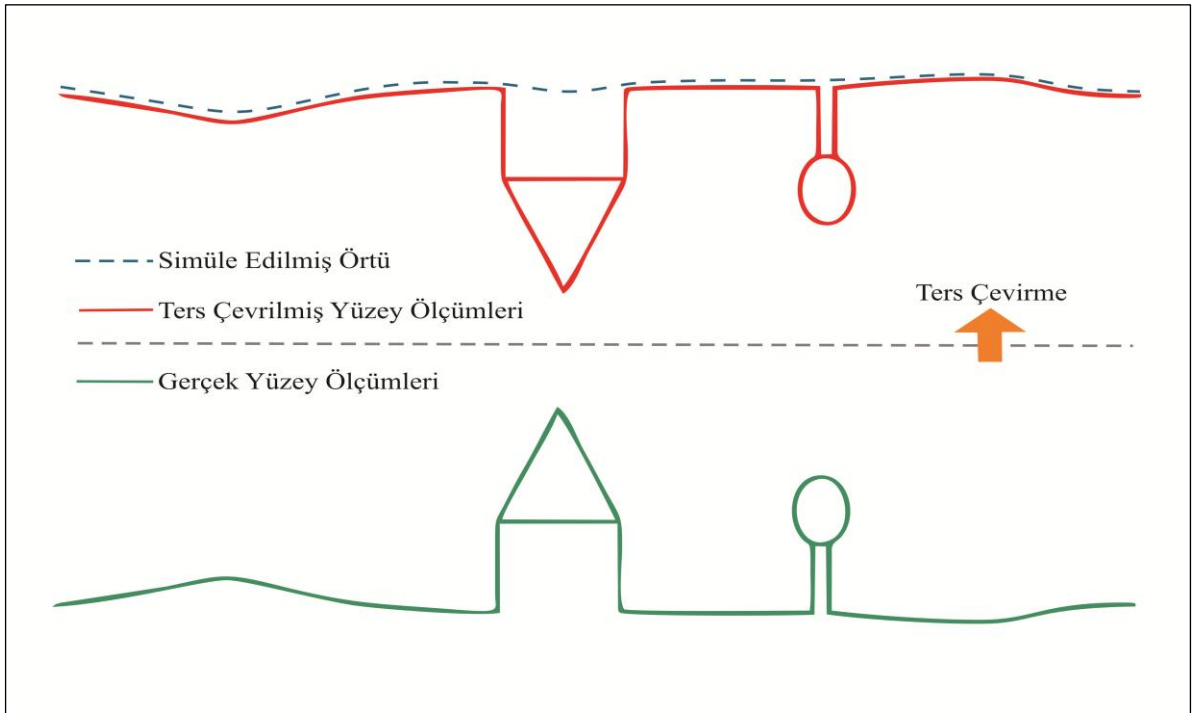
Şekil 4. Çalışma alanı

2.3. Zemin ve Zemin Üstü Noktaların Tespiti

Yeryüzüne ait noktaların ayırt edilip sınıflandırılabilmesi için birçok LiDAR filtreleme algoritması geliştirilmiştir. Fazla eğimli olmayan düz ve obje yoğunluğu az olan çalışma bölgelerinde bu algoritmalar başarılı sonuçlar elde etmiştir. Fakat eğimli ve çeşitli boyutlardaki bina, bitki örtüsü vb. objeleri içeren bölgelerde filtreleme doğruluğu düşmektedir. 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 edilmektedir (Meng vd. ,2010). Bu çalışmada Cloth Simulation Filtering (CSF) algoritması kullanılarak zemine ait noktalar başarı ile tespit edilmiştir.

2.3.1. CSF Algoritması

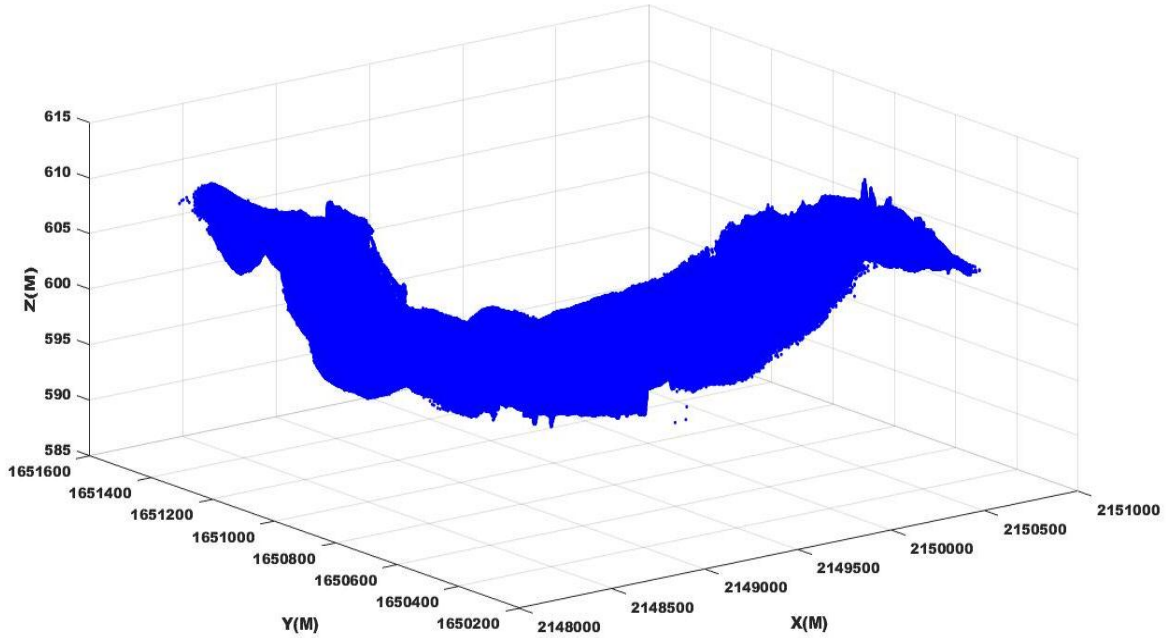
LiDAR nokta bulutlarını yer ve yerüstü noktalar olarak ayırarak sayısal arazi ve sayısal yüzey modelleri oluşturmak için önemli bir adımdır.



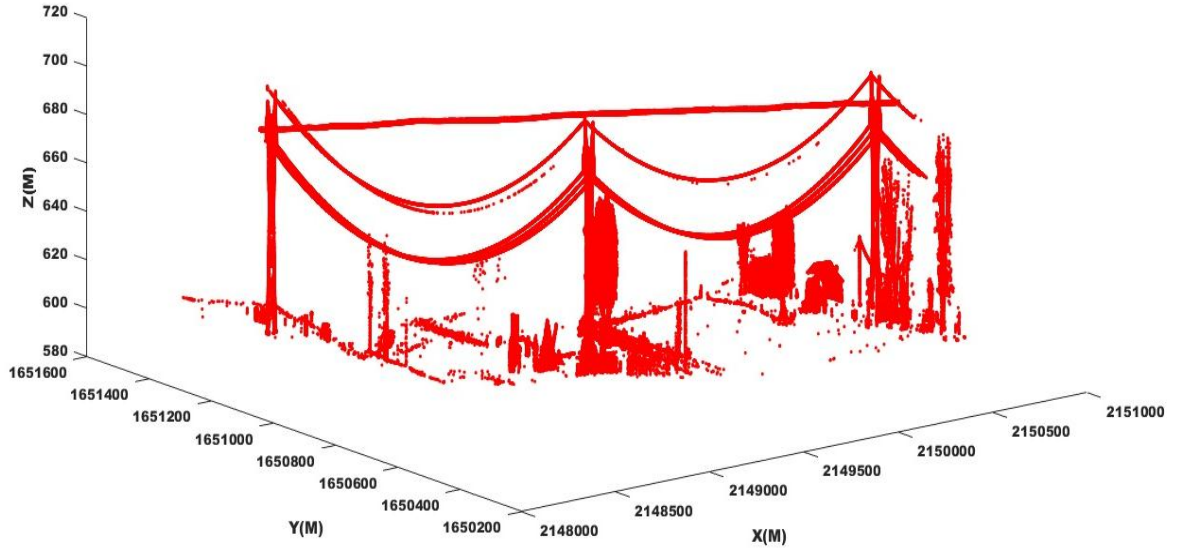
Şekil 5. CSF tekniği

Bu teknikte LiDAR bulutu ilk önce ters çevrilir ve arazi yüzeyinin sert kumaşla kaplandığı düşünülürse, kumaşın nihai şekli Sayısal Arazi Modeli olup; orijinal nokta bulutuna kaplanan kumaşın yüzeye yapışacak kadar yumuşak olduğu varsayıldığında ise bezin son şekli Sayısal Yüzey Modeli'dir (Şekil 5). Geleneksel filtreleme algoritmalarına kıyasla, parametreler daha az sayıdadır ve tanımlanması kolaydır.

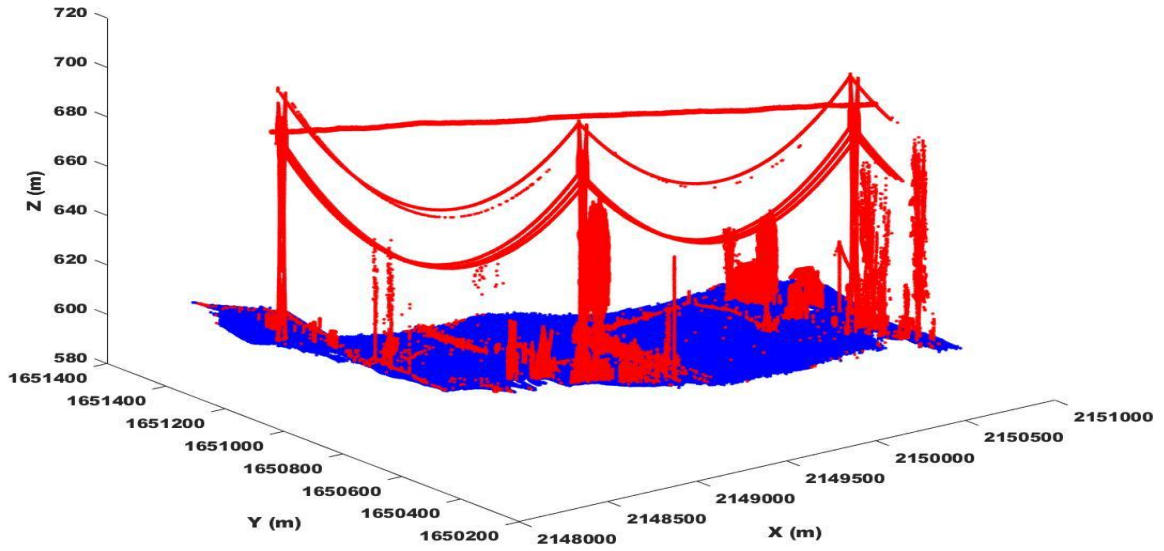
Çalışmanın ilk aşamasında 3B nokta bulutu verisi içinde zemin noktalarının tespit edilerek filtrelenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla CSF zemin algoritmasından faydalanılmıştır. CSF algoritması ham nokta bulutu ile bir kumaş örtü düşünülerek simüle edilmiş arazi yüzeyi arasındaki mesafelere bağlı olarak, nokta bulutunu beş parametre (simüle edilen arazi yüzey topografyasını temsil eden kumaş kalınlığı, komşu iki parçacık arasındaki yatay mesafeyi ifade eden grid çözünürlüğü, zemin ve zemin üstü nokta sınıflandırma eşiği, parçacıkların yerçekiminden dolayı yer değiştirmesini kontrol eden zaman eşiği ve simülasyon yinelemesi) ile zemin ve zemin üstü olarak sınıflandıran bir yaklaşımdır (Zhang vd. 2016). Bu aşamada ayrıştırılarak kaydedilen zemin ve zemin üstü noktalar Şekil 6,7 ve 8'de gösterilmiştir.



Şekil 6. CSF algoritması ile üretilen zemine ait noktalar



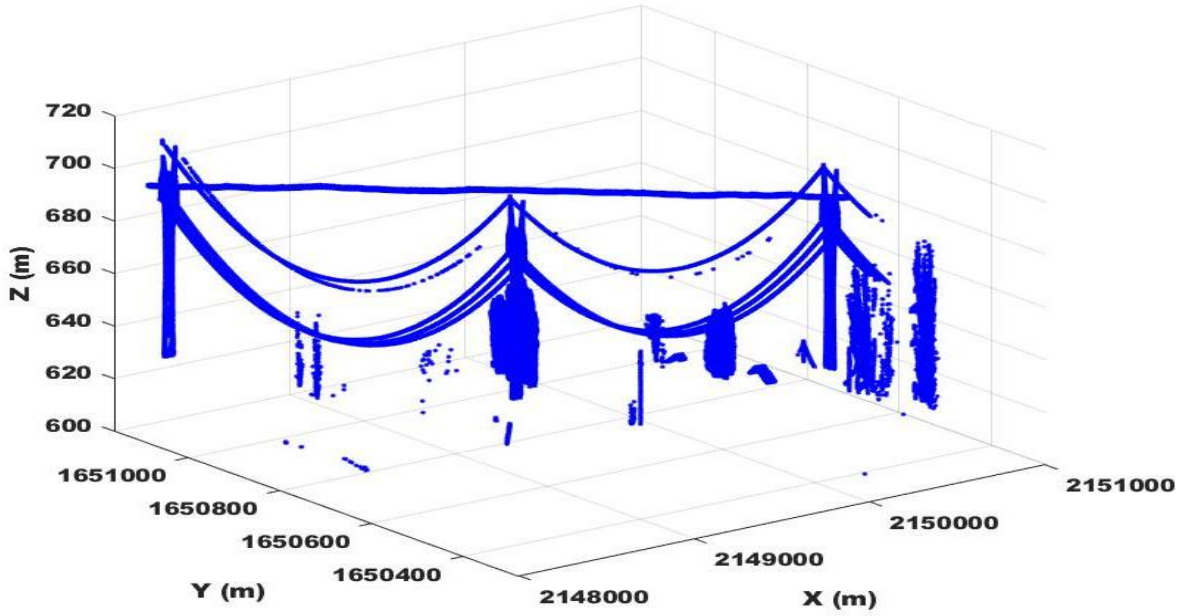
Şekil 7. CSF algoritması ile üretilen zemin üstü noktalar



Şekil 8. CSF algoritması ile üretilen zemin ve zemin üstüne ait noktaların birlikte gösterimi

2.4. Zemin Noktaları ile Üçgen Model Oluşturma ve Zemine Yakın Alçak Noktaların Eleminasyonu

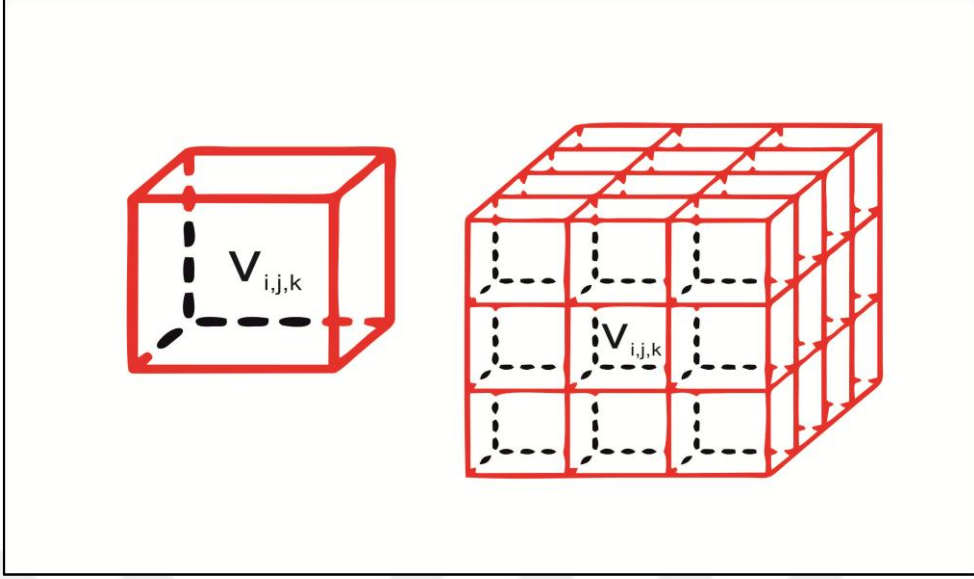
Zemine yakın alçak noktaların elemine edilebilmesi amacıyla, önceki aşamada tespit edilen zemin noktaları kullanılarak "delaunay" metoduna göre üçgen yüzey modeli oluşturulmuştur. Bu aşamada KNN (k-en yakın komşu) sınıflandırma algoritması yardımıyla zemine yakın alçak noktaların üçgen yüzeye olan 3B mesafeleri hesaplanmıştır. Ardından uygulanan 20 m mesafe eşiği sayesinde alçak objelere ait noktalar elemine edilerek sadece yüksek objelere ve güç hattına ilişkin noktaların veri içinde kalması sağlanmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. Zemine yakın alçak noktalardan filtrelenmiş noktalar

2.5. Vokselizasyon ve Voksel Öznitelik Belirleme

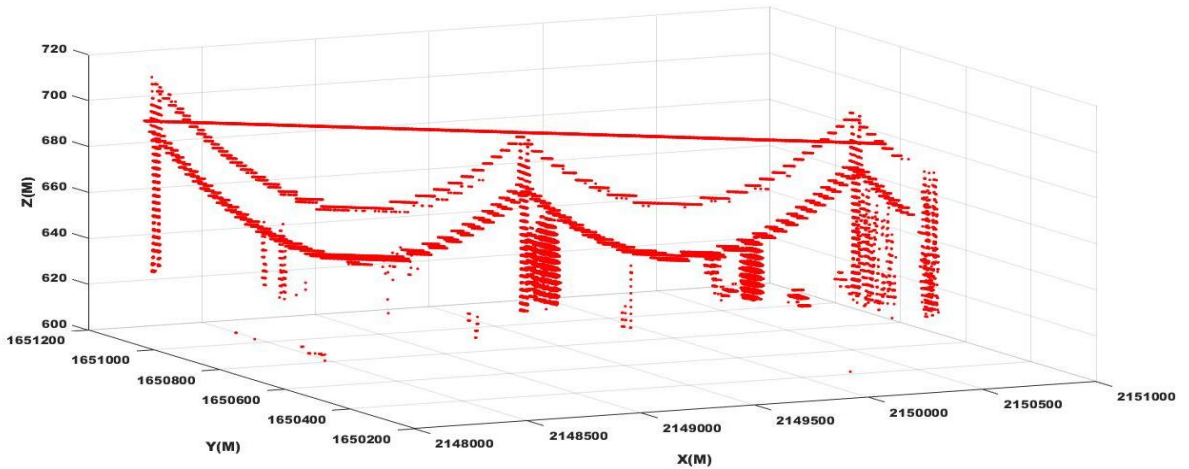
Çalışmanın bu aşamasında zemin noktalarından elemine edilmiş nokta bulutu ile bir noktayı 3 boyutlu uzayda tanımlayan grafik bilgisini ifade ettiği ve LiDAR verileri için istatistikler oluşturabileceğimiz uygun bir geometrik yapı sağladıkları için vokseller kullanılmıştır (Şekil 10).



Şekil 10. Voksel geometrisi

Voksel içindeki nokta yoğunluğu belirli bir segmentteki nokta sayısına ve hacmine bölünmesiyle hesaplanır. Genel olarak, zemin ve bina çatısı ve ağaçlar için nokta yoğunluğu çok fazla olurken ve güç hattının nokta yoğunluğu daha azdır.

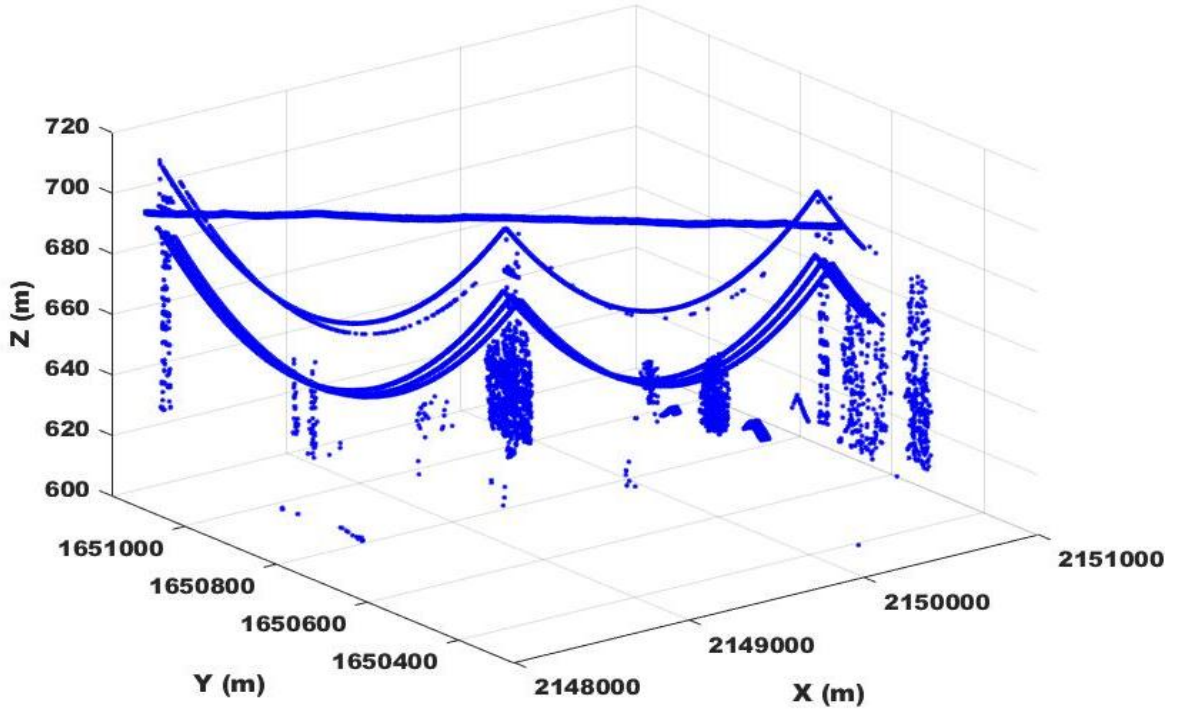
Zemine en yakın alçak noktaların elemine edilmesinden sonra elimizde kalan nokta bulutu 3x3x3 m kenar boyutunda toplamda 9591 voksele ayrılmış ve her voksel için ilgili indisler ve ağırlık merkezi konumları kaydedilmiştir (Şekil 11). Ardından her bir voksel içinde kalan nokta bulutu verisine ilişkin çeşitli tanımlayıcı özneliklerin belirlenmesi aşamasına geçilmiştir.



Şekil 11. Nokta bulutuna ait tüm voksellerin ağırlık merkezi noktalarının gösterimi

2.5.1.Yükseklik Değerleri Varyansına Göre Filtreleme ve Otsu Eşikleme

Öncelikle vokselere ait yükseklik değerlerinin varyansı üzerinden histogram tabanlı Otsu eşikleme algoritması ile otomatik bir eşik değeri belirlenmiş ve bu eşik değere göre vokseller içinde yükseklik değerleri varyansı düşük olanlar elemine edilmiştir. Bu sayede iletken teller dışındaki yüksek objelere ait noktaların bir kısmı daha filtrelenmiştir (Şekil 12).



Şekil 12. Yükseklik değerleri varyansına göre filtrelenmiş noktalar

Burada bahsedilen otsu eşikleme algoritması histogram tabanlı bir yaklaşım olup gri seviye görüntüler üzerinde yaygın olarak kullanılan bir eşik değeri tespit yöntemidir. Algoritma verinin obje ve diğer nesnelere olmak üzere iki sınıftan oluştuğu kabulüne göre öznitelik üzerinden eşik değeri belirleyebilmektedir. Bu amaçla algoritmada sınıf içi ve sınıflararası varyans değerlerinden faydalanılmaktadır. Tüm eşik değerleri için bu iki sınıfın sınıf içi varyans değeri (4) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^N (x - x_i)^2 \Pr(x_i) \quad (4)$$

Eşitlikte, x_i değeri ağırlıklı ortalama, $Pr(x_i)$ değeri ise olasılık fonksiyonudur. Bu varyans değerinin en küçük olmasını sağlayan eşik değeri, optimum eşik değeridir. Sınıf içi varyans değeri minimum değerinde iken sınıflar arası varyans değeri maximum değerinde olur. Sınıflar arası varyans değerinin hesaplanması daha az işlem gerektirdiğinden ötürü arka plan ve ön plan sınıfları arası varyans hesaplanması ile daha çabuk sonuç alınabilmektedir (Otsu, 1979).

2.5.2. RANSAC (Rastgele Örneklem Konsensüsü) ile Doğru ve Eğri Analizleri

2.5.2.1. RANSAC Çalışma Prensibi

RANSAC, matematiksel bir modelin parametrelerini, aykırı değerlerin tahminler üzerinde hiçbir etkisi olmadığında, aykırı değer içeren bir dizi gözlemlenmiş veriden tahmin etmek için kullanılan yinelemeli bir yöntem olup, diğer bir deyişle bir modelin parametrelerini gözlemlenen verilerin rastgele örneklenmesiyle tahmin etmek için kullanılan bir öğrenme tekniği olarak tanımlanabilir. Veri öğeleri hem inliers hem de outliers içeren bir veri kümesi göz önüne alındığında, RANSAC en uygun uyumu elde etmek için oylama düzenini kullanır. Bu nedenle, bir outlier algılama yöntemi olarak da yorumlanabilir. Algoritma ilk olarak 1981 yılında bir uygun yer tespit problemini çözmek amacıyla kullanılmıştır.

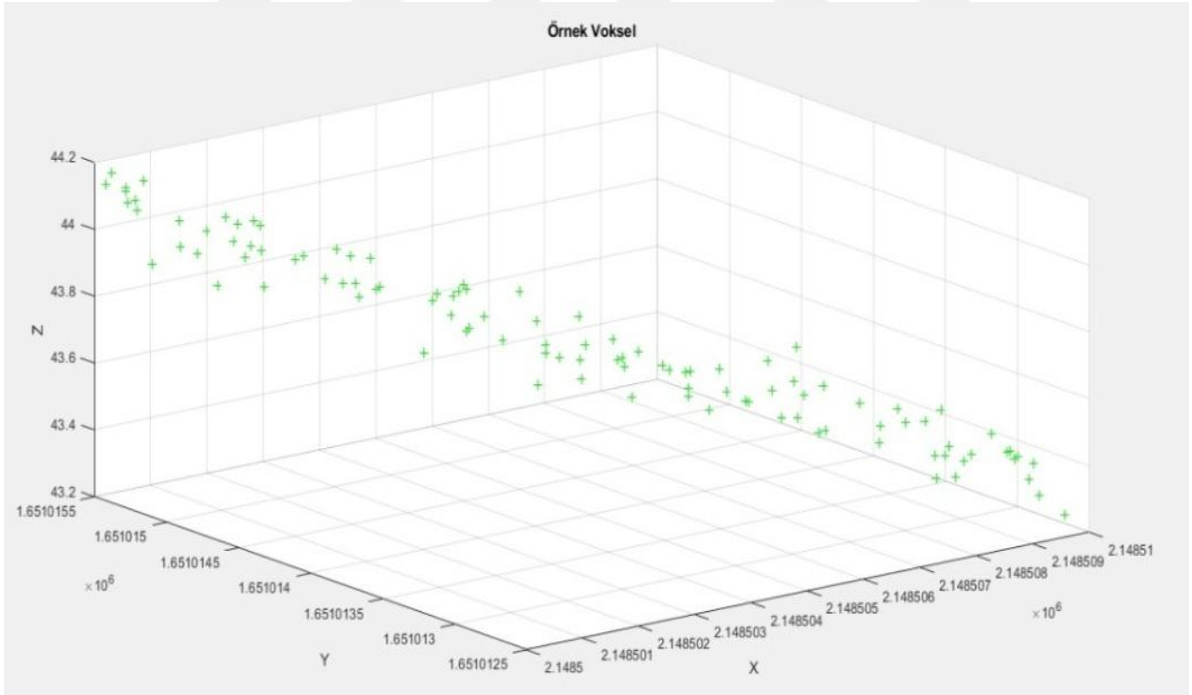
Bu yöntemde temel varsayım, verinin "inliers", yani dağılımı bazı model parametreleriyle açıklanabilen veriler olsa da, gürültüye maruz kalabilen ve modele uymayan veriler olan "outliers" den ibaret olduğudur. RANSAC, aykırı noktaları dışlamayı ve yalnızca hesaplayıcısında hesaplamalarını kullanan doğrusal bir model bulmayı dener. Bu, doğrusal modelleri verinin birkaç rastgele örneklemesine yerleştirmek ve verilerin bir alt kümesine en uygun olan modeli döndürmek suretiyle yapılır (Tarsha vd., 2007).

Kısaca RANSAC çalışma prensibi özetlenecek olursa, öncelikle veri içinden rastgele noktaların seçilir, ardından seçilen bu noktalarla bir model oluşturulur (düzlem, doğru vb.). Daha sonra diğer noktaların bu modelle olan hatalarının hesaplanması ile aynı işlem n iterasyon sayısı kadar devam ettirilir. RANSAC, seçilen matematik modele göre %60 düzeyinde hatalı ölçü olması veya yanlış eşleme olduğunda bile örnekler arasından doğruya

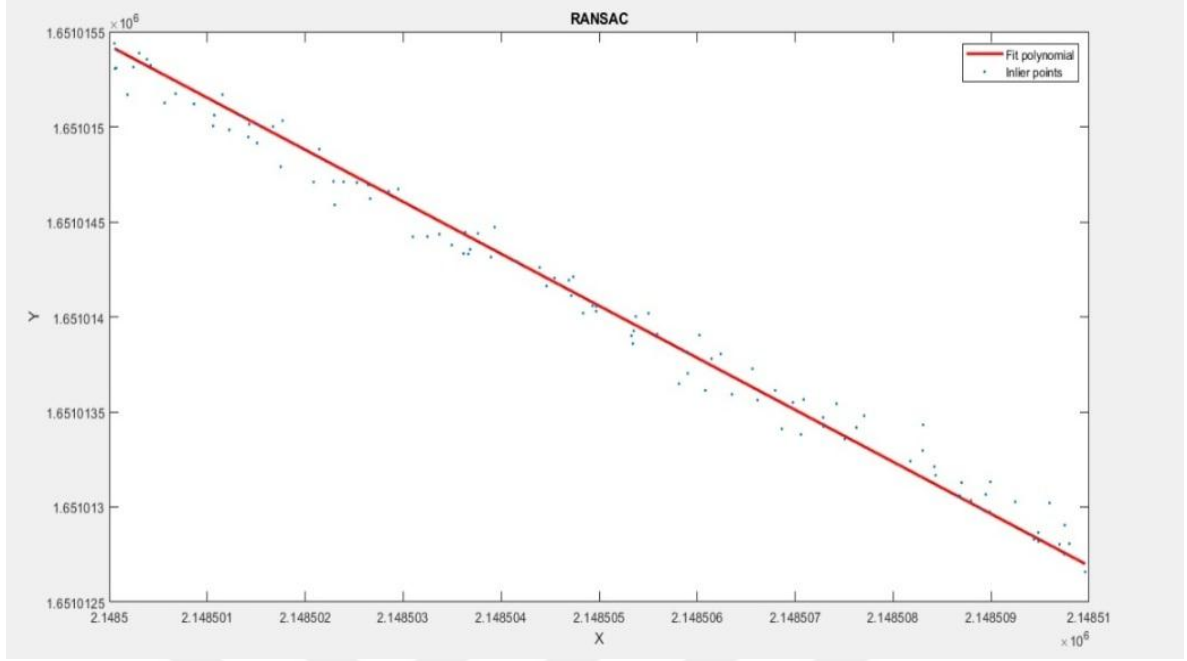
en yakın sonucu verebilmesi ile en yaygın kullanılan eliminasyon yöntemlerinden olmuştur (Hartley ve Zisserman, 2000). RANSAC genel matematik modeli (5) eşitliğinde verilmiştir.

$$n = \frac{\log(1-p)}{\log(1-(1-\epsilon)^s)} \quad (5)$$

Eşitlikte n iterasyon sayısı iken p doğru modelin seçilme olasılığı, s model parametre hesabı için gerekli olan minimum nokta sayısı, ϵ ise seçilen noktaların modele uymamasını ifade etmektedir. Tüm iterasyon, ham nokta bulutu içinden seçilen test kümelerinin yeterli güven aralığına ulaşmasıyla son bulmaktadır. RANSAC' ın yukarıda anlatılan çalışma prensibini özetleyen uygun bir çalışma örnek verecek olursak; doğru oluşturabilmek için gerekli olan minimum nokta sayısı s=2 seçilmesi ile voksellere bölünen nokta bulutundan, enerji hattının geçtiği öngörülen örnek bir vokselle seçilmiştir (Şekil 13). XY düzlemi üzerinde RANSAC metodu örnek vokselle veri içindeki hattı temsil ettiği düşünülen noktalara uygulanarak çizgi yakalanmıştır (Şekil 14).



Şekil 13. Seçilen örnek voksel içindeki noktaların 3B görünümü



Şekil 14.Voksel içindeki noktalara uygulanan RANSAC ile çizgi yakalama

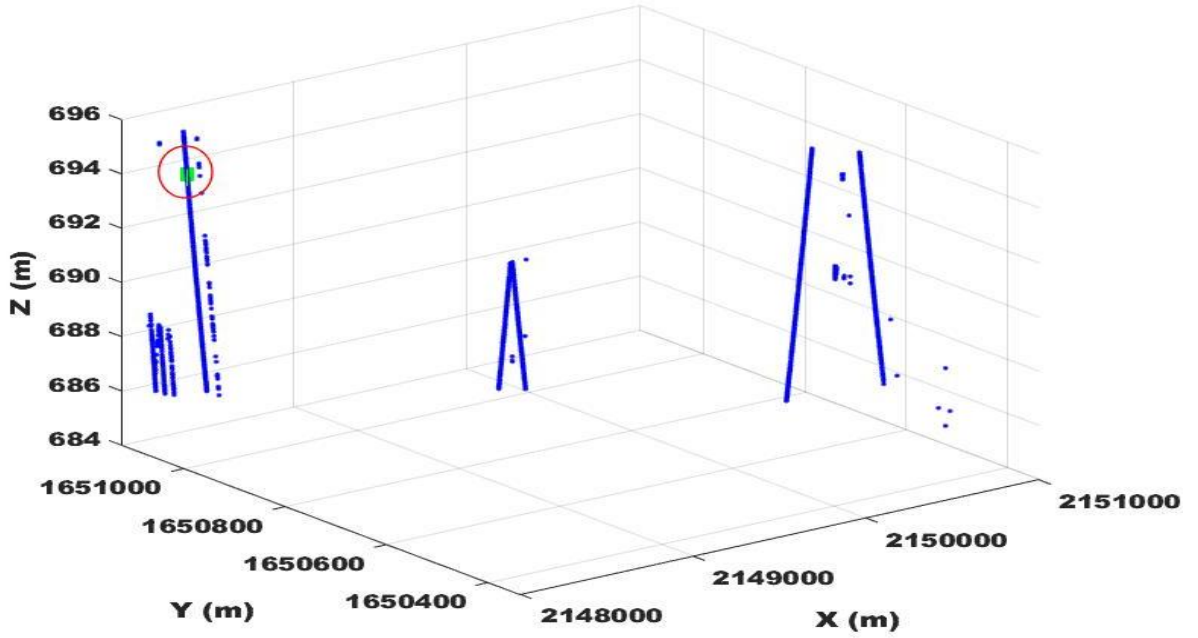
2.5.2.2.Doğru ve Eğri Analizleri

Çalışmanın bu aşamasında her bir voksel için ilgili noktaların yükseklik değerlerinin varyansı, noktalar arasında RANSAC yardımı ile tespit edilen uygun doğrusal dağılımlı noktalar ve bu noktalara en uygun fit olan doğruya ilişkin parametreler MATLAB’ da geliştirilen algoritma ile hesaplanarak kaydedilmiştir. Burada global olarak XZ ve YZ düzlemlerinde iletken tellerin eğrisel dağılım göstermesi öncül olarak bilinen bir geometrik koşuldur. Buradan hareketle RANSAC yardımı ile bir önceki aşamadan geriye kalan noktalardan hem XZ hem de YZ düzlemlerinde uygun eğrisel dağılımda olanlar vokseller içindeki çizgi eğimleri yardımıyla geliştirilen algoritma sayesinde tespit edilmiş ve voksel özniteliklerine kaydedilmiştir.

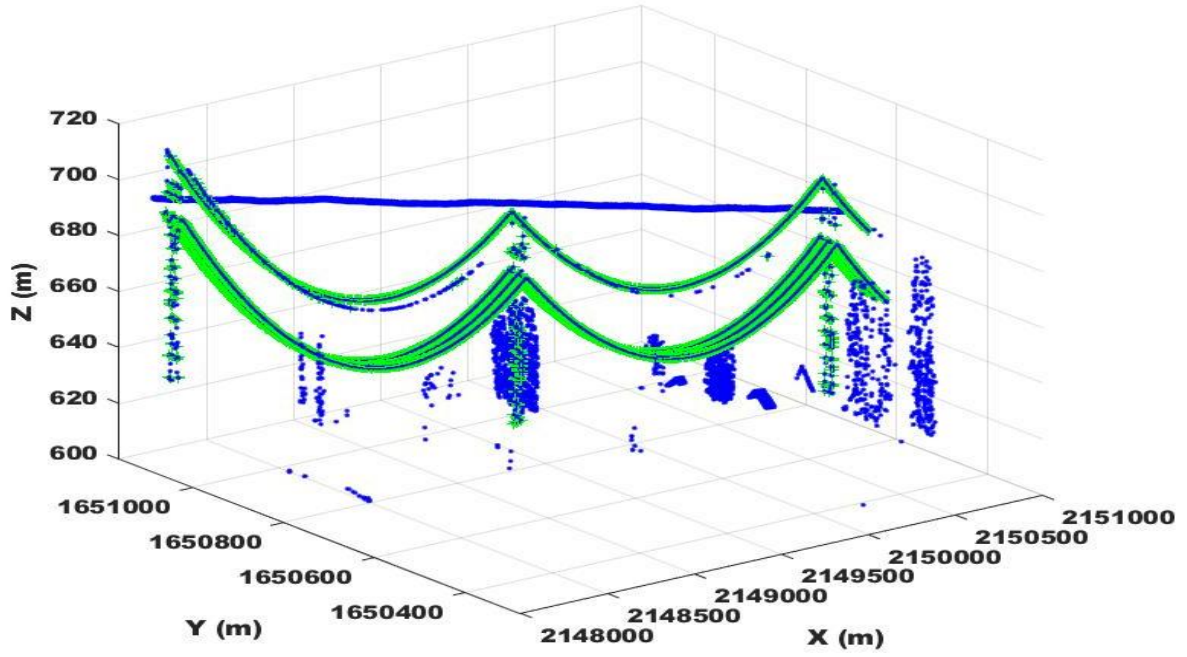
2.5.3.Voksel Komşuluk Filtreleme

Önerilen algoritmada teller ve pilonlara ait noktalar dışındaki diğer yüksek objelere ilişkin kalan tüm noktaların filtrelenebilmesi amacıyla belirli bir tohum vokselinden başlayarak 26 lokal voksel komşuluğunda vokseller arası öznitelik ilişkileri incelenmiştir. Bu aşamada kullanılacak tohum vokselleri teller üzerindeki noktaları içerecek şekilde

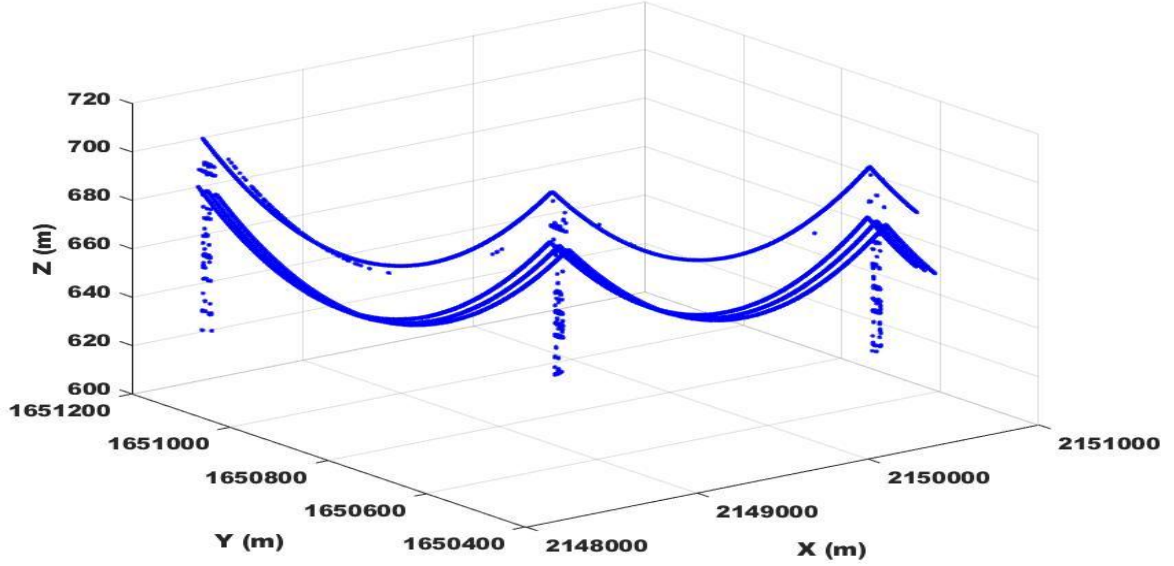
önerilen algoritmada otomatik olarak belirlenebilmektedir. Bu aşamada tellerin belli bölümlerine ilişkin noktalar kalmakta olup bu durum tohum vokselinin tespiti için yeterlidir. Kalan noktalardan herhangi bir bölümü içeren bir voksel tohum vokseli olarak seçilmiş ve iteratif arama işlemi başlatılmıştır. Arama sürecinde merkez ve ona komşu 26 voksel arasındaki 3B mesafe farkı 20 m değerinden küçük olan ve aynı zamanda evvelce tespit edilmiş doğru parametrelerinden mutlak eğim değerleri farkı 1'den küçük olan vokseller tel vokseli olarak kabul edilmiştir (Şekil 15). Arama işlemi tüm vokseller bitinceye değin devam ettirilerek sadece tel ve pilonlara ait noktaların tespiti sağlanmıştır (Şekil 16 ve 17).



Şekil 15. Tohum voksel tespiti



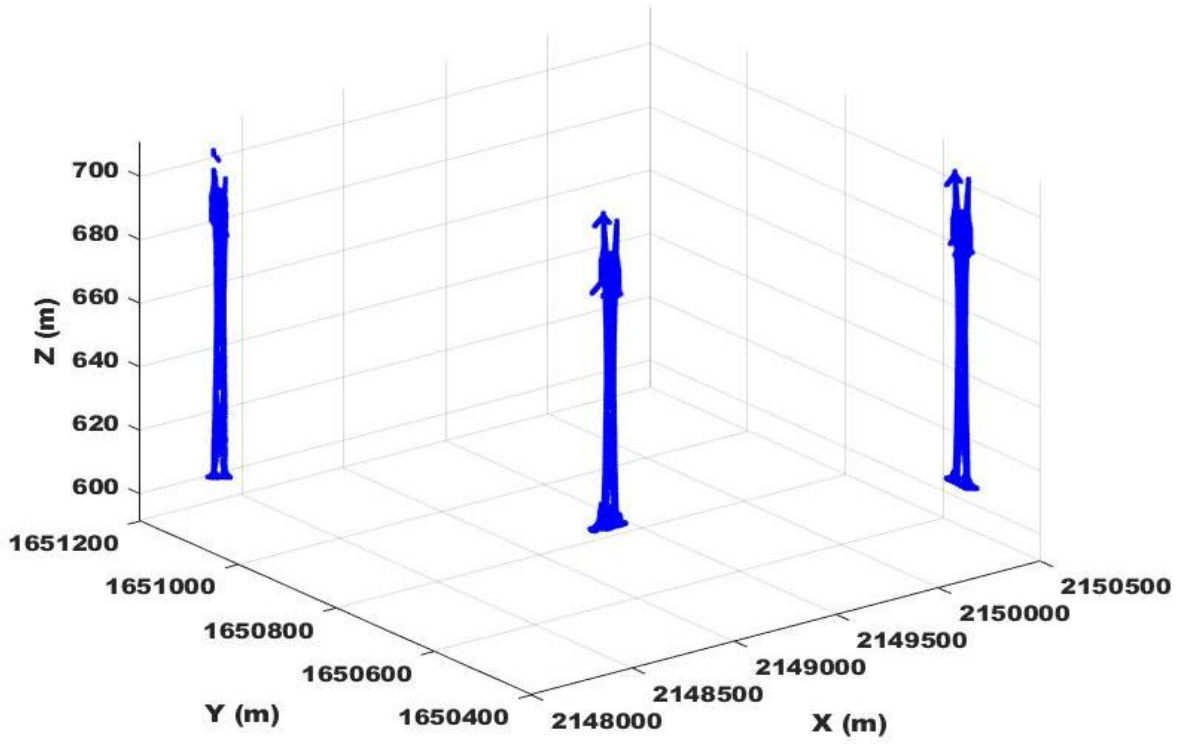
Şekil 16. Voksel komşuluğa göre filtreleme (Yeşil Noktalar)



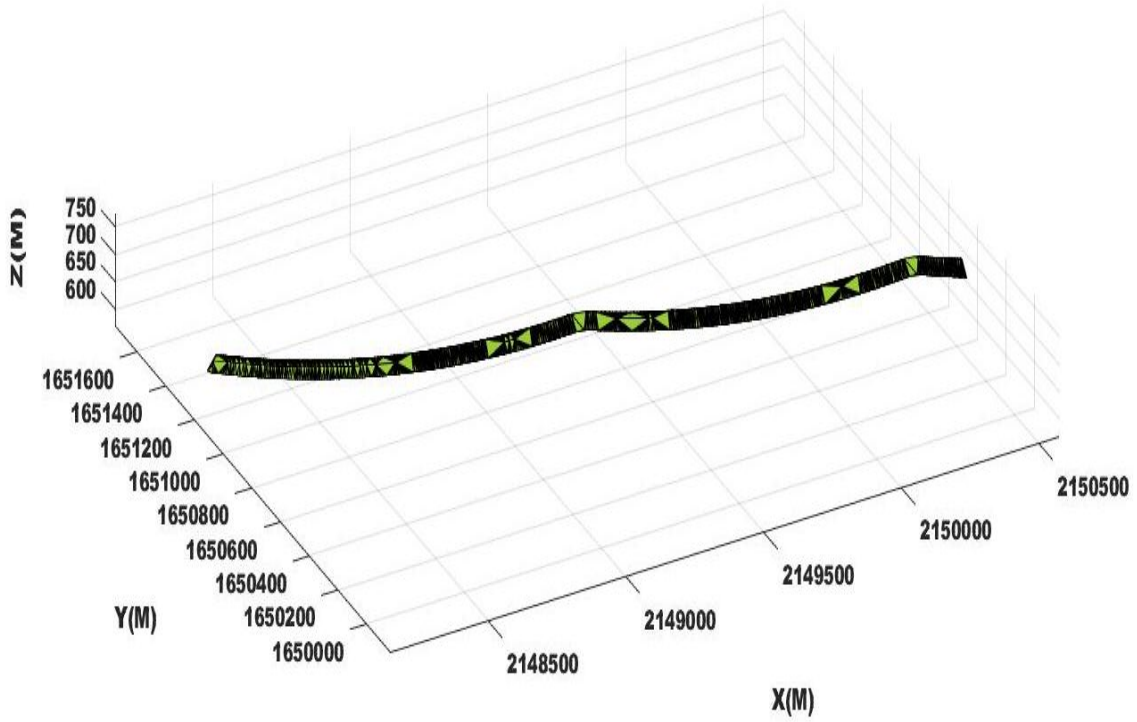
Şekil 17. Voksel komşuluklarına göre filtreleme sonrası iletken Teller ve Pilon noktaları

2.5.4. Tel ve Pilon Noktalarının Ayrıştırılması

Önerilen algoritmanın son aşamasında tespit edilen tel ve pilon noktalarının ayrıştırılması ve önceki filtreleme süreçlerinde tel veya direğe ait olup kaybedilen noktalarının geri kazanılması işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla önceki aşamada tespit edilen tel ve pilon voksellerinin düşeydeki toplam nokta yoğunlukları hesaplanarak 2 boyutlu XY grid düzleminde temsil edilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu safhada XY düzleminde pilon gridlerinin yoğunluk değerleri ile tel gridlerinin yoğunluk değerleri arasında ciddi oranda fark oluşmaktadır. Buradan hareketle grid nokta yoğunluk histogramlarına göre Otsu eşik değeri kolayca hesaplanmış ve bu eşik değeri yardımıyla tel ve pilon vokselleri kolayca ayrıştırılarak tel ve pilon vokselleri içinde kalan noktalar ayrıştırılmıştır. Bu aşamada pilon vokselleri tespit edilmiş olmasına karşın birden fazla sayıda pilon olmasından ötürü bu vokseller içindeki noktalarında kendi içinde konumsal olarak kümelenmesi ve küme konumsal (X/Y) sınırlarının tespit edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla pilon noktalarının birbirine olan 3B mesafelerinden faydalanılarak bir veri kümeleme işlemi gerçekleştirilmiş ve iki pilon arasındaki 3B mesafenin belli bir değerden fazla olması gerekliliği ön bilgisi de kullanarak kümeleme işlemi tamamlanmıştır. Bu aşamada her bir pilon alanı için X/Y konumsal sınırlar elde edilmiş olup filtrelenmemiş tüm LiDAR verisi içinde X ve Y koordinatları arasında kalan tüm yüksekliklerdeki noktalar pilon noktası olarak belirlenmiştir (Şekil 18). Ayrıca pilonlar haricinde geriye kalan tüm noktalar kaydedilmiştir. Tespit edilmiş tel noktaları kullanılarak önceki filtreleme adımlarında tel üzerinde olup elemine edilmiş az sayıda noktanın geri kazanımı amacıyla tel noktalarının kapsadığı hacmi tanımlayan bir içbükey gövde (concave hull) oluşturulmuştur (Şekil 19).

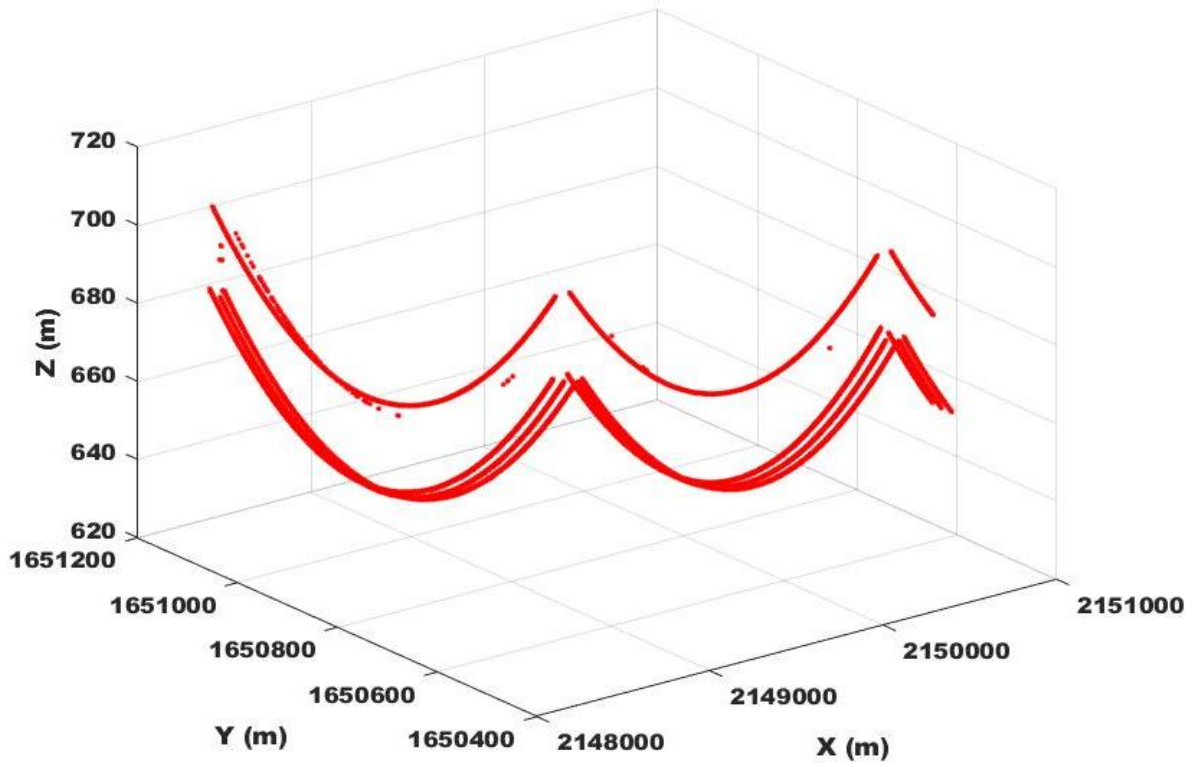


Şekil 18. Önerilen algoritma ile tespit edilen Pilonlar

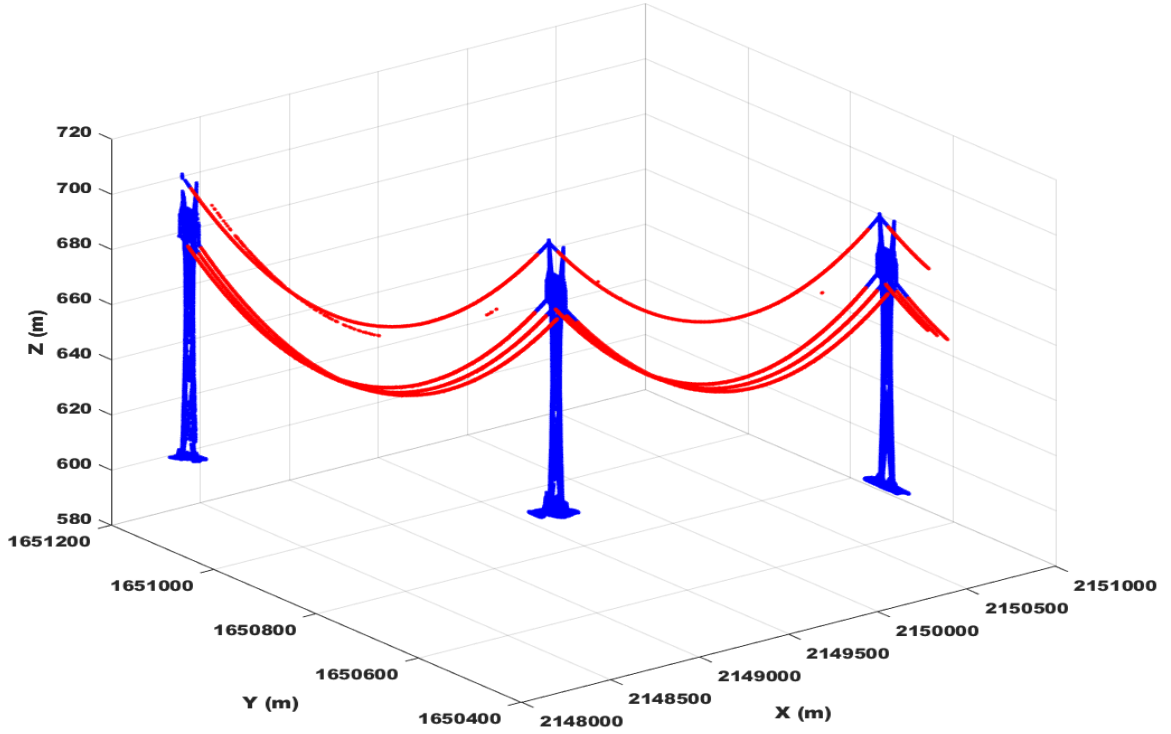


Şekil 19. Tel Noktaları İle Oluşturulmuş İçbükey Gövde

Ardından filtrelenmemiş nokta bulutu verisinden içbükey gövde hacmi içinde kalan tüm noktalar yapılan konumsal analiz ile tespit edilerek nihai tel noktaları elde edilmiştir (Şekil 20). Önerilen algoritma ile çıkarılan tel ve pilon noktaları Şekil 21' de görülmektedir.



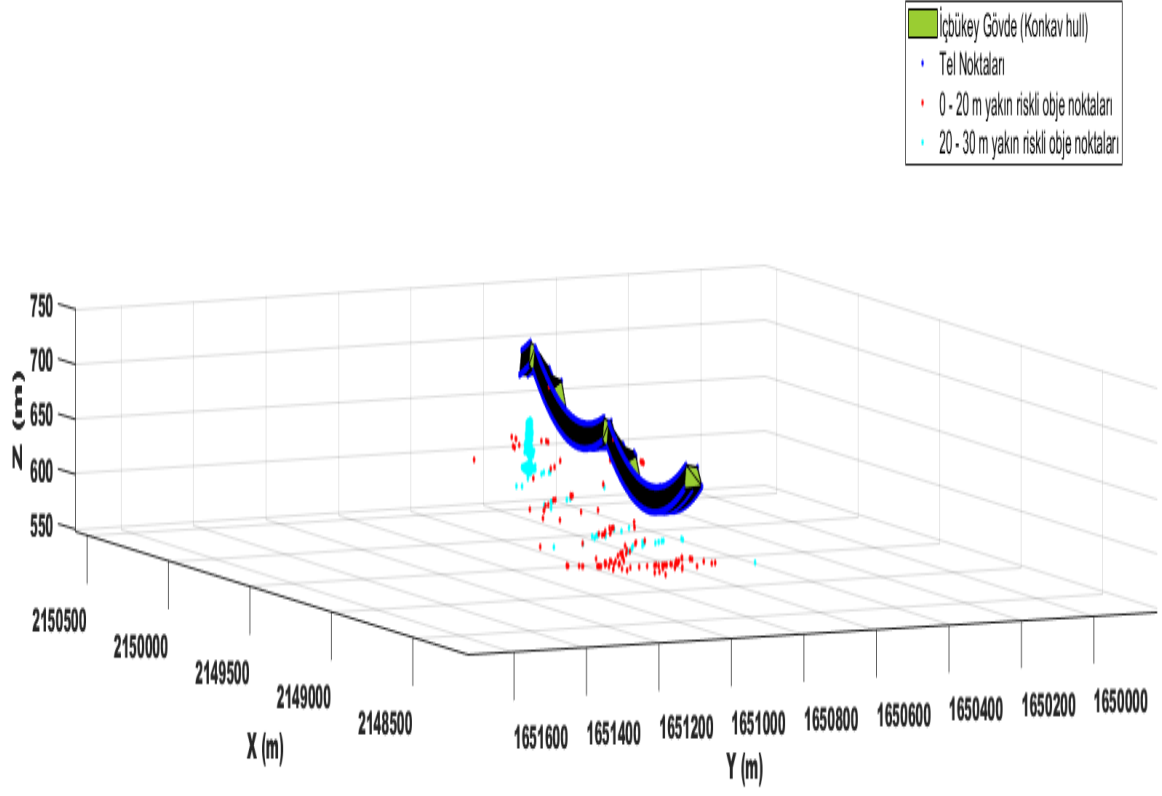
Şekil 20. Önerilen algoritma ile tespit edilen Tel noktaları



Şekil 21. Tel ve Pilonlara ilişkin noktaların birlikte gösterimi

2.6. İçbükey Gövde (Concave Hull) Oluşturma ve Riskli Obje Analizleri

Önerilen algoritmanın son aşamasında ise iletken tellere belirli 3B mesafeler içinde bulunan riskli obje noktalarının otomatik tespit işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla pilonlardan ayıklanmış tüm nokta bulutu verisinin önceki aşamada üretilmiş içbükey gövde yüzeyine 3B mesafeleri KNN algoritması ile hesaplanmıştır. Elde edilen mesafeler değerlendirilerek 0-20 m ve 20-30 m uzaklıktaki riskli obje noktası konumları belirlenmiştir. İçbükey gövde, tel ve riskli obje noktaları Şekil 22' de görülebilmektedir.



Şekil 22. İçbükey gövde, tel ve riskli obje noktalar

3.BULGULAR VE İRDELEME

Günümüzde enerji hattı bileşeni olan iletken tellere, 3B eğri uydurma birçok metrolojide yaygın bir sorundur. Genel olarak tel ve pylonların tespitindeki doğruluk, modelleme tekniklerine bağlıdır. Bu çalışmada geleneksel yöntemlere göre daha başarılı sonuç üreten Hava LiDAR verileri ile enerji nakil hatlarının ve yüksek yerüstü objelerinin geliştirilen algoritma ile otomatik olarak tespiti amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda kullanılan Hava LiDAR sisteminin, yersel ölçmeler, sayısal hava fotogrametrisi, radar ve uydu görüntülerine göre daha az arazi çalışması, düşük değerlendirme maliyeti, geniş alan verisini çok kısa sürede elde etme, her türlü arazi koşulunda zemin bilgisine ulaşabilme, yüksek çözünürlük, doğruluk ve nokta sıklığı, konum ve yükseklik verisini birlikte elde etme avantajları bulunmaktadır. Hava LiDAR teknolojisi geleneksel ölçüm sistemiyle karşılaştırıldığında, yüksek hassasiyetli 3B konumsal bilgisi vermesi ve enerji nakil hatlarına ait bilgileri elde edebilmesi açısından benzersiz teknik avantajlara sahiptir. Bunun yanı sıra, Hava LiDAR sistemi veri yoğunluğu, doğruluk, hız ve maliyet avantajları sebebiyle hat koridorlarında Sayısal Arazi Modeli üretimi, bina, bitki-ağaç, vb. arazi nesnelere tespit ve haritalanması amacıyla da kullanılmaktadır. Enerji hattı gözlemlenmesinde yüksek girdi maliyeti ve riski LiDAR teknolojisinin İHA sistemlerine entegrasyonu sayesinde önemli oranda aşılmıştır. Çalışmada kullanılan LiDAR sistemi ile donatılmış İHA platformları ile yüksek konum doğruluğuna sahip 3B nokta bulutu verileri elde edilebilmekte, 3B model oluşturularak riskli obje analizleri gerçekleştirilebilmektedir (Li ve Guo, 2018). Bu çalışmada hava LiDAR verileri kullanılarak enerji nakil hattına ait tel ve pylon noktalarının otomatik tespitine yönelik yeni bir algoritma geliştirilmiştir.

Geliştirilen algoritmada kullanılan CSF yöntemi, çok sayıda parametreye ihtiyaç duyan geleneksel algoritmalar ile karşılaştırıldığında, yalnızca kumaş çözünürlüğünü, yineleme sayısını ve sınıflandırma eşliğini ve diğer birkaç sabit parametre ile zemin noktalarını çıkardığı tespit edilmiştir. CSF algoritmasının diğer bir yararı da, simüle edilen kumaşın bazı durumlarda doğrudan nihai SAM olarak işlem görmesi, bu da zemin noktalarının enterpolasyonunu engellemesi ve ayrıca eksik verilerin alanlarını geri kazanmasıdır (Zhang vd. 2016). Öte yandan LiDAR verileri için istatistikler oluşturabileceğimiz uygun bir geometrik yapı sağladıkları için nokta bulutu voksellere bölünmüştür. Vokselizasyon yöntemi, her bir voksel içine düşen noktalara öznitelik atama ve bu özniteliklere göre noktaların tel ve pylon noktaları olarak ayrıştırılmasına kolaylık

sağlamıştır. Çalışmada kullanılan bir diğer algoritma olan RANSAC olabildiğince az sayıda girdi verisi kullandığı ve bu girdi veriye en uygun modeli arattığı için diğer birçok yöntemle göre önde olduğu görülmüş olup geliştirilen algoritmanın LiDAR nokta bulutundaki tüm eğrisel dağılım gösteren noktaları tespit ettiği görülmüştür.

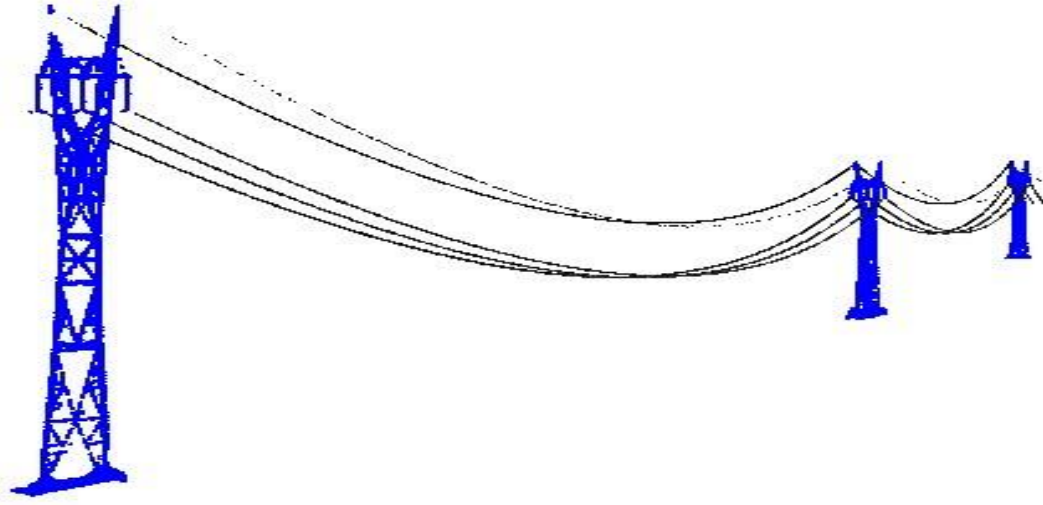
Geliştirilen algoritmanın ENH bileşenlerinin ve ENH'a risk oluşturan yüksek obje konumlarının tespitindeki başarısını, literatürde yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırılacak olursa;

Yan vd. (2007) yaptığı çalışma ile toplam 22.5 km elektrik hattının 20.6 km'sini tespit etmiş fakat yanlış tespit miktarını bildirmemişlerdir. Li vd. (2010) algoritmalarını 4000'den fazla görüntü ile test etmiş, görüntüdeki tüm iletkenleri bulmuş ve % 99,7'lik bir doğruluk elde etmiştir. Daha sonrasında iletkenlerin çıkarıldığı görüntüleri kullanarak ara parçalar çıkarmış Gabor filtreleme ve bağlı bileşen etiketleme kullanılmıştır. Bir aralayıcı içeren 211 görüntü ile % 96,68'lik bir bütünlük ve tamlık elde etmiş ve algoritma toplam 4362 görüntüden 47 yanlış pozitif çıkarmıştır.

Öte yandan yayınlanmış az sayıda çalışmada elektrik hattı iletkenlerini MLS ve ALS'nin verilerinin birleştirilmesi ile elde edilmiş nokta bulutu verisinden çıkarılmıştır (Kim ve Medioni, 2011). Bu yaklaşım ile Cheng vd. (2014) Hough dönüşümü, güç hattı açıklıklarının kümelenmesi ve birkaç filtre kullanarak modellediği güç hatlarını 4 km uzunluğundaki test alanında güç hatlarının % 94'ünü çıkarırken, tespit doğruluğunu % 99, kümelenmenin doğruluğunu ise % 97 olarak elde etmiştir. Guan vd. (2016) ise mobil lazer tarama platformu üzerindeki RIEGL VMX-450 sistemi ile topladığı ve ortalama nokta yoğunluğu yaklaşık $290 / m^2$ olan nokta bulutu verisine çeşitli filtreleme operasyonları, Hough dönüşümü, kümeleme ve katener eğri uydurma yaklaşımları uygulayarak elektrik hatlarını modellemiştir. Çalışmasını, toplam uzunluğu 185 m olan iki yol şeridinde test etmiş ve ortalama % 92 oranında bir tamlık ve % 99 oranında bir ortalama doğruluk elde etmiştir. MLS ve ALS veri kaynaştırmasına dayalı bu tür yaklaşımlar ile yeterli uydu görüşü ile, kentsel veya yarı kentsel ortamlardaki en iyi MLS sistemlerinde 2-3 cm doğruluk elde edilebildiği gibi (Haala vd. 2008, Kaartinen vd. 2012), yüksek yoğunluklu ALS verileri, MLS verilerinin yer seviyesinde uydu görüşünün zayıf olduğu bölgelerde georeferanslandırma doğruluğunu artırmak için tercih edilebileceği ifade edilmektedir (Matikainen vd. 2016).

3.1. Doğruluk Analizi

Önerilen yaklaşımın test verisine uygulaması sonucunda tel ve pilonlara ilişkin noktalar ham nokta bulutu içinde tespit edilmiştir (Şekil 21). Algoritmanın doğruluk düzeyinin irdelenebilmesi amacıyla test verisi manuel olarak sınıflandırılarak tel ve pilon noktalarını içeren bir referans veri seti oluşturulmuştur (Şekil 23).



Şekil 23. Sınıflandırılmış referans verisi

Önerilen algoritma ve referans veri setinin karşılaştırılması amacıyla hesaplanan çeşitli doğruluk metrikleri Tablo 1' de ifade edilmiştir:

Tablo 1. Doğruluk analizi sonuçları

SINIFLAR	TESPİT EDİLEN NOKTA SAYISI	REFERANS NOKTA SAYISI	DOĞRULUK TESPİTİ(%)	TAM TESPİT EDİLEN	KISMİ TESPİT EDİLEN
TEL	81698	83712	97,59	8	2
PİLON	220525	154596	70,10	3	0

Tablo.1 incelendiğinde 23.437.256 ham nokta bulutu içinden geliştirilen algoritmanın uygulanması sonucu tel çıkarma sürecinde %97.59 gibi oldukça yüksek düzeyde başarı elde edildiği görülmektedir. Algoritma başarısı tespit edilen pylon ve tellerin birlikte çizildiği Şekil 20 'de görsel olarak da doğrulanabilmektedir. Pilonlara ait başarı oranı ise %70.10 olarak hesaplanmıştır. Pylonların üzerine oturduğu beton platformun yukarıdan tespiti zor olduğundan dolayı zemin noktalarının da algoritmada pylon noktası olarak algılandığı düşünüldüğünden, referans veride sınıflandırılan pylon noktaları ile algoritmada tespit edilen pylon nokta sayısı arasında fark oluşmuştur. Çalışmanın ilerleyen aşamalarında pilonlara ait başarı oranlarının daha da iyileştirilmesi yoluna gidilecektir.

Tespit edilen tel noktalarına yakın riskli obje noktalarının tespitine yönelik yapılan analizlerde ise; 0 - 20m mesafede 135, 20 - 30m mesafede ise 1238 nokta olmak üzere toplam 1373 nokta tespit edilmiştir. Sonuç olarak çalışmada önerilen algoritmanın tel, pylon ve riskli obje noktalarını başarıyla otomatik olarak tespit edebildiği anlaşılmıştır.

3.2. Doğruluk (Correctness) , Bütünlük (Completeness) ve Kalite (Quality) Ölçütlerinin İrdelenmesi

Çalışma bölgesinde otomatik tespit edilen tel ve pilonların doğruluk analizi testleriyle incelenebilmesi için referans veri Global Mapper programı ile tel ve pilonların ayrı tabakalarda sınıflandırılması ile oluşturulmuştur. Önerilen algoritma ile elde edilen sonuçların referans veri ile nicel olarak karşılaştırılabilmesi amacıyla literatürde yaygın olarak kullanılan doğruluk, bütünlük ve kalite doğruluk ölçütleri eşitlik (6), (7) ve (8) kullanılarak hesaplanmıştır (Jwa ve Sohn, 2012). Hesaplanan doğruluk ölçütleri Tablo 2' de ifade edilmiştir.

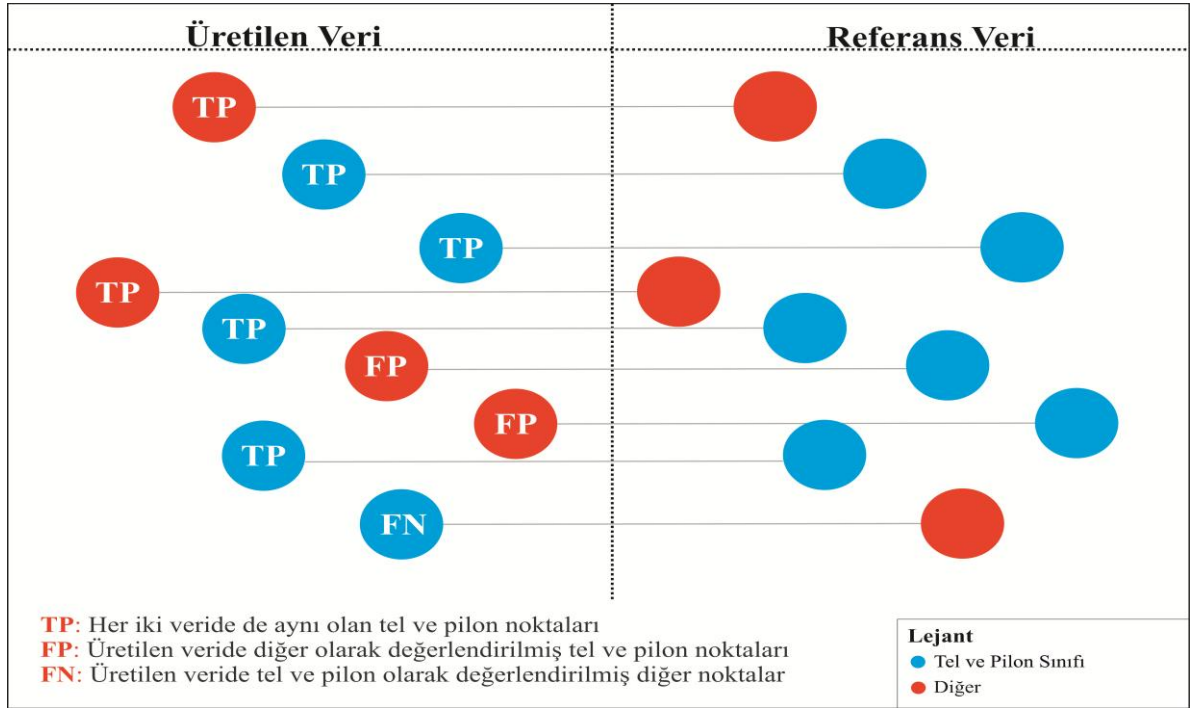
$$\text{Bütünlük(Completeness)} = TP / (TP + FN) \quad (6)$$

$$\text{Doğruluk(Correctness)} = TP / (TP + FP) \quad (7)$$

$$\text{Kalite(Quality)} = TP / (TP + FP + FN) \quad (8)$$

Eğer tahmin işleminde normalde pozitif olarak var olan bir durum pozitif olarak tahmin ediliyorsa gerçek pozitif (TP) bir tahmin yapılmıştır. Eğer var olan durum negatif ve

tahmin negatif ise gerçek negatif (TN) bir tahmin yapılmıştır. Başka bir deyişle yanlış bir durum yanlış olarak doğru bir şekilde tahmin edilmiştir. Eğer var olan durum negatif ise ancak tahmin sistemi pozitif olarak tahmin ederse birinci tip hata yanlış pozitif (FP) durumu oluşur. Eğer var olan durum pozitif ise ve tahminci negatif olarak tahmin ederse ikinci tip hata yanlış negatif (FN) oluşur. Genel anlamda, TP (Gerçek Pozitifler); genellikle hem referansta hem de sonuçta bulunurken FN (Yanlış Negatifler) yalnızca referansta bulunur, ancak sonuçta bulunmaz ve FP (Yanlış Pozitif) ise yalnızca sonuçta bulunur (Şekil 24).



Şekil 24. Doğruluk, bütünlük ve kalite şeması

Tablo 2. Üretilen model ile referans model arasındaki Doğruluk, Bütünlük ve Kalite değerlerinin karşılaştırılması

Sınıflar	Correctness (%)	Completeness (%)	Quality (%)
TEL	97.13	97.36	94.63
PİLON	70.25	94.24	67.36

Geliştirilen algoritmada tüm nokta bulutu içinden tespit edilen tel ve pylon noktalarından, telleri temsil eden her noktaya '1' etiketi verilmiş olup geri kalan noktalara '0' değeri atanmış, yine pylonlara ait her noktaya '1' etiketi verilmiş olup geri kalan noktalara '0' değeri atanmıştır. Daha sonrasında referans veride de sınıflandırılan tel ve pylon noktalarının etiketleri sayesinde noktalar arası eşleşme analizi yapılarak doğruluk, bütünlük ve kalite değer metrikleri MATLAB programında geliştirilen algoritma ile tespit edilerek teller için doğruluk değeri %97.13, bütünlük değeri %97.36, kalite değeri %94.63 hesaplanmış, pylonlar için ise doğruluk değeri % 70.25, bütünlük değeri % 94.24 ve kalite değeri % 67.36 olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte 8 tel bölümünün tamamen, 2 bölümün ise kısmen tespit edildiği gözlemlenmiştir. Kısmen tespit edilen bölümlerin ham veri içindeki nokta yoğunluğunun daha az düzeyde olmasından kaynaklandığı anlaşılmaktadır.

3.3. Doğruluk Analizinde Elde Edilen Sonuçların Literatürdeki Çalışmalar ile Karşılaştırılması

Önerilen algoritma başarısı Madde 3'te de bahsedilen çalışmalarla kıyaslandığında Li vd. (2010) görüntü üzerinden tüm iletken telleri bulmuş ve % 99,7'lik bir doğruluk, % 96,68'lik bir bütünlük ve tamlık elde ettiği gibi, Cheng vd. (2014) test alanında enerji nakil hatları tespitinin doğruluğu % 99 ve kümelenmenin doğruluğu % 97 bulmuşken Guan vd. (2016) çalışmasını, toplam uzunluğu 185 m olan iki yol şeridinde test etmiş ve ortalama % 92 oranında bir tamlık ve % 99 oranında bir ortalama doğruluk elde etmişlerdir. Nokta bulutu üzerinden enerji nakil hattı tespiti çalışma doğruluklarına bakılacak olursa; Zhu ve Hyyppä (2014) % 93,26 sınıflandırma doğruluğu, Kim ve Sohn (2013) % 91.04 sınıflandırma doğruluğu, McLaughlin (2006) ise doğru çıkarılan enerji nakil hattı iletkenlerinin yüzdesi % 72.1' dir. Önerdiğimiz algoritmada ise tellerin neredeyse tamamını doğru tespit ederek % 97.13'lük oranla diğer çalışmalardan önde olduğu görülmekte olup, ülkemizde ise enerji nakil hatlarının otomatik tespitine yönelik çalışmalara rastlanılmadığından herhangi bir kıyas yapılamamıştır. Nicel analizler içeren çalışmalarının çoğunda, bütünlük ve tamlık oranı % 75 ile % 95 arasında olup (Jones vd. 2003, Sun vd. 2006, Sampedro vd. 2014), önerilen algoritmada tellerdeki tespit doğruluk oranı da % 97.13 ile önemli düzeyde başarılı olduğu anlaşılmaktadır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Enerji nakil hatlarına (ENH) yönelik tehditlerin etkisini azaltmak ve potansiyel riskleri yok etmek ve üretilen elektrik enerjisinin, kilometrelerce uzağa taşınması söz konusu olduğundan enerji nakil hatlarının bakım ve kontrollerinin önemi ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada LiDAR teknolojisi kullanılarak enerji nakil hatlarının güvenliğine zarar verebilecek nitelikte olan tehdit unsurlarının otomatik olarak tespiti için farklı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşımın geliştirilmesinde öncelikle CSF, RANSAC ve vokselizasyon yöntemleri kullanılarak ENH bileşenlerinin otomatik olarak tespiti hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde ALS verilerinden veya havadan görüntülerden iletkenlerin çıkarılması için %90'ın üzerindeki doğruluk seviyeleri sunulmuştur. Bununla birlikte, yapılan birçok çalışmada veri setleri küçük olmuştur ve sayısal kalite analizleri yapılmadığı, doğrulukların deneysel değerlendirmeleri, çalışmaların çoğunda asgari olmuştur ve değerlendirmelerin çoğu, birkaç örnek resim ile niteliksel olmuştur (Matikainen vd. 2016). Nicel analizleri içeren çalışmalarının çoğunluğunda, bütünlük ve tamlık (completeness) % 75 ile % 95 arasında değişmiştir ve yanlış pozitif oranlar % 1.4 ila % 25 arasındadır (Jones vd. 2003, Sun vd. 2006, Sampedro vd. 2014).

Genel olarak yapılan çalışmalarda, enerji hattı modelleme tekniklerinin doğruluğu, rüzgar, elektrik yükü ve güneş radyasyonu gibi dış faktörlerden etkilenen LiDAR tarama kalitesine bağlıdır (Lu ve Keiloch, 2008). Ayrıca otomatik izleme yaklaşımlarının yeteneklerini göstermek ve doğrulamak için farklı veri setleri de test edilerek sonuçların izlenmesi gerekmektedir. Bunlar, farklı veri kaynakları, yöntemler ve bireysel algoritmalar arasındaki dikkatli kalite analizlerini ve karşılaştırmaları içermelidir.

Önerilen algoritma sayesinde yapılacak periyodik uygulamalar ile yersel arazi faaliyetleri yapılmaksızın enerji nakil hatlarının ve hatlara risk oluşturan yüksek obje konumları otomatik olarak belirlenerek potansiyel risk durumların konumsal analizi ile enerji nakil hattı kontrol ve bakımları hızlı biçimde gerçekleştirilebilecek olup yapılan çalışmalar ve yazılan algoritmalar ile elde edilen enerji nakil hatlarının çıkarımında özellikle elektrik hattı iletkenlerinin otomatik çıkarılmasında umut verici sonuçlar elde edilmiştir.

5. KAYNAKLAR

- Axelsson, P., 1999. Processing of laser scanner data, algorithms and applications. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 54, 2-3, 138-147.
- Brennan, N. ve Webster, T.L., 2006. Object-oriented land cover classification of lidar-derived surfaces, Canadian Journal of Remote Sensing., 32, 2, 162–172.
- Briese, C. 2010, Extraction of digital terrain models. In G. Vosselman, and H. Maas (Eds.), Airborne and Terrestrial Laser Scanning. Dunbeath: Whittles Publishing, 147-150.
- Carande, R.E., Marra, M., Cronin, D. ve Nagy, P., 1998. Automated mapping using airborne IFSAR data. In: Proc. 1998 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS '98), July, Seattle, WA, 1, 360–362.
- Chan, T. ve Lichti, D.D., 2011. 3D Catenary Curve Fitting For Geometric Calibration . International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVIII, 5, 12.
- Chen, Q., 2007. Airborne LiDAR data processing and information extraction. Photogrammetry & Remote Sensing., 73, 109–112.
- Cheng, L., Tong, L., Wang, Y. ve Li M., 2014. Extraction of Urban Power Lines from Vehicle-Borne LiDAR Data. Remote Sens., 6, 3302-3320; doi:10.3390/rs6043302.
- Grigillo, D., Ozvaldič, S., Vrečko, A. ve Fras, M.K., 2015. Extraction of power lines from airborne and terrestrial laser scanning data using the hough transform. Geodetski Vestnik, 59, 246–261.
- Guo, B., Li, Q., Huang, X., ve Wang, C., 2016. “An improved method for power-line reconstruction from point cloud data, Remote Sensing, 8, 1, 36.
- Haala, N., Peter, M., Kremer, J. ve Hunter, G., 2008. Mobile LiDAR mapping for 3D point cloud collection in urban areas—a performance test. Int. Arch. Remote Sensing. Spatial Inf. Sci. 37 ,5, 1119–1124.
- Hartley, R., ve Zisserman, A., 2000. Multiple View Geometry in Computer Vision Second Edition, Cambridge University Press.
- Hashemi, S. A. M., 2008. Automatic peaks extraction from Normalized Digital Surface Model (NDSM), The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVII,3.

- Jwa, Y. ve Sohn, G., 2009. Automatic 3D powerline reconstruction using airborne LiDAR data. ISPRS Laserscanning 2009, IAPRS, XXXV VIII, 3, W8, 105-110.
- Jwa, Y. ve Sohn, G., 2012. A piece-wise catenary curve model growing for 3D power line reconstruction. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing (Accepted).
- Jones, D. I., ve Earp, G. K.. 2001. "Camera Sightline Pointing Requirements for Aerial Inspection of Overhead Power Lines." Electric Power Systems Research 57, 73–82. doi:10.1016/S0378-7796(01) 00100-6.
- Jones, D.I., Whitworth, C.C. ve Duller, A.W.G., 2003. Image processing methods for the visual location of power line poles. In: Morrow, P.J., Scotney, B.W. (Eds.), In: Proc. Seventh Irish Machine Vision and Image Processing Conference (IMVIP2003), September, Portrush, Northern Ireland, 177–184.
- Kaartinen, H., Hyypä, J., Kukko, A., Jaakkola, A. ve Hyypä, H., 2012. Benchmarking the performance of mobile laser scanning systems using a permanent test field. Sensors, 12, 9, 12814–12835.
- Kim, E. ve Medioni, G., 2011. Urban scene understanding from aerial and ground LiDAR data. Mach. Vis. Appl., 22, 4, 691–703.
- Kim, H.B., ve Sohn, G., 2010. "3D Classification of Power-Line Scene from Airborne Laser Scanning Data Using Random Forests. ISPRS Archives, 38, 3A, 126–132.
- Kim, H.B. ve Sohn, G., 2013. Point-based classification of power line corridor scene using random forests. Photogramm. Eng. Remote Sens. 79, 9, 821–833.
- Li, W.H., Tajbakhsh, A., Rathbone, C. ve Vashishtha, Y., 2010. Image processing to automate condition assessment of overhead line components. In: Proc. 2010 1st International Conference on Applied Robotics for the Power Industry (CARPI) , IEEE, October, Montreal, QC, 6 .
- Li X. ve Guo, Y., 2018. Application of LiDAR technology in power line inspection. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 382, 052025.
- Liu, Y., Li, Z., Hayward, R., Walker, R. ve Jin, H., 2009. Classification of airborne LiDAR intensity data using statistical analysis and hough transform with application to power line corridors. In Proceedings of the Digital Image Computing: Techniques & Applications Conference (DICTA 2009), December, Melbourne, Australia, 462–467.

- Li, Z., Liu, Y., Walker, R., Hayward, R. ve Zhang, J., 2010. Towards automatic power line detection for a UAV surveillance system using pulse coupled neural filter and an improved Hough transform. Mach. Vis. Appl., 21, 5, 677–686.
- Li, Z., Bruggemann, T.S., Ford, J.J., Mejias, L. ve Liu, Y., 2012. Toward automated power line corridor monitoring using advanced aircraft control and multisource cfeature fusion. J. Field Robotics 29, 1, 4–24.
- Liu, X., 2008. Airborne LiDAR for DEM generation: some critical issues. Progress in Physical Geography, 32, 1, 31-49.
- Lu, M. L. ve Z. Kieloch., 2008. Accuracy of Transmission Line Modeling Based on Aerial LiDAR Survey. Ieee Transactions On Power Delivery, 23, 3.
- Matikainen, L., Lehtomäki, M., Ahokas, E., Hyypä, J., Karjalainen, M., Jaakkola, A., Kukko, A. ve Heinonen, T., 2016. Remote sensing methods for power line corridor surveys. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 119, 10-31.
- McLaughlin, R. A., 2006. “Extracting Transmission Lines from Airborne Lidar Data. IEEE Geoscience & Remote Sensing Letters, 3, 2, 222–226.
- McManamon, P.F., 2012. Review of ladar a historic, yet emerging, sensor technology with rich phenomenology. Opt. Eng., 51, 060901–060913.
- Meng, X., Currit, N. ve Zhao, K., 2010. Ground filtering algorithms for airborne LiDAR data: A review of critical issues. Remote Sens. 2, 833–860. doi:10.3390/rs2030833.
- Melzer, T. ve Briese, C., 2004. “Extraction and modeling of power lines from als point clouds,” in Proc. of 28 Workshop of Austrian Association for Pattern Recognition, Hangenberg, Austria, 47–54.
- Mu, C., Yan, Q., Feng, Y., Cai, J. ve Yu, J., 2009. Overview of powerlines extraction and surveillance using remote sensing technology. In: Proc. SPIE 7498 (MIPPR 2009: Remote Sensing and GIS Data Processing and Other Applications), 74981M, 8 p.
- Otsu, N., 1979. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. Transactions On Systems, Man and Cybernetics, January, 62-66.
- Sampedro, C., Martinez, C., Chauhan, A. ve Campoy, P., 2014. A supervised approach to electric tower detection and classification for power line inspection. In: Proc. 2014

- International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), IEEE, July, Beijing, China, 1970–1977.
- Sha, L., Tao, L., Mingzhou, W., Ailing, H., Wenhao, W., Kan, X. ve Yan, L., 2014. Study on extra-high voltage power line scatterers in time series SAR. In: Proc. 2014 3rd International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications (EORSA), IEEE, June, Changsha, 47–51.
- Sun, C., Jones, R., Talbot, H., Wu, X., Cheong, K., Beare, R., Buckley, M. ve Berman, M., 2006. Measuring the distance of vegetation from powerlines using stereo vision. ISPRS J. Photogramm, Remote Sens. 60, 4, 269–283.
- Tarsha, F., Landes, T. ve Grussenmeyer, P., 2007. Hough-transform and xtended ransac algorithms for automatic detection of 3d building roof planes from lidar data. ISPRS Workshop on Laser Scanning and SilviLaser, September, Espoo, 12-14.
- Ussyshkin, R. V. ve Smith, R. B., 2007. A new approach for assessing lidar data accuracy for corridor mapping applications. In: Conference Proceedings, The 5th International Symposium on Mobile Mapping Technology, Padua, Italy.
- Ussyshkin, R.V., Theriault, L., Sitar, M. ve Kou, T., 2011. Advantages of Airborne Lidar Technology in Power Line Asset Management. In Proceedings of the 2011 International Workshop on Multi-Platform/Multi-Sensor Remote Sensing and Mapping (M2RSM), Xiamen, China, 1–5.
- Wang Y, Chen, Q., Liu, L., Zheng, D., Li, C. ve Li, K., 2017. Supervised Classification of Power Lines from Airborne LiDAR Data in Urban Areas. Remote Sens, 9, 771; doi:10.3390/rs9080771.
- Woods, D., Folley, C., Kwan, Y.T. ve Houshmand, B., 2004. Automatic extraction of vertical obstruction information from interferometric SAR elevation data. In: Proc. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS '04), 6, 3938–3941.
- Yamamoto, K., ve Yamada, K., 1997. “Analysis of the Infrared Images to Detect Power-Lines.” Proceedings of IEEE TENCON '97. IEEE Region 10 Annual Conference. Speech and Image Technologies for Computing and Telecommunications. Brisbane, Australia, Dec. 4, 343– 346.
- Yan, L., Ailing, H., Sha, L., Xingkai, L., Wenhao, W. ve Tao, L., 2012. High voltage power line scattering feature analysis in multi SAR sensors and dual polarization. In: Proc.

2012 Second International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications (EORSA) , IEEE, June, Shanghai, China, 8–11, 225–229.

Yan, G., Li, C., Zhou, G., Zhang, W. ve Li, X., 2007. Automatic extraction of power lines from aerial images. IEEE Geosci. Remote Sens. Lett., 4, 3 , 387–391.

Zhang, W., Qi, J., Wan, P., Wang, H., Xie, D., Wang, X. ve Yan, G., 2016. “An Easy-to-Use Airborne LiDAR Data Filtering Method Based on Cloth Simulation. Remote Sensing, 8, 6: 501. doi:10.3390/rs8060501.

Zhu, L. ve Hyypä, J., 2014. Fully-automated power line extraction from airborne laser scanning point clouds in forest areas. Remote Sensing, 6, 11, 11267–11282.

URL-1, <www.mapix.com/lidar-scanner-sensors/velodyne-hdl-32e/> 9 Mayıs 2019.

ÖZGEÇMİŞ

Elif MUŞ, 1992 yılında Trabzon'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ata İlköğretim ve Mareşal Fevzi Çakmak İlköğretim Okullarında, lise öğrenimini ise 2006-2009 yılları arasında Affan Kitapçioğlu Lisesinde tamamladı. 2009-2013 yılları arasında Karadeniz Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği üniversitesinde lisans eğitimini tamamlayarak 2014 yılında Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği bölümünde tezli yüksek lisans eğitime başladı. 2016 Aralık ayından beri TEDAŞ Çoruh Bölge Müdürlüğü Harita ve Kamulaştırma Servisinde Harita Mühendisi olarak çalışmaktadır.

