

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

E. Muş^{1, *}, M. Dihkan²

¹ Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, TEDAŞ Bölge Müdürlüğü-Trabzon, elif.mus@tedas.gov.tr

² Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, mdihkan@ktu.edu.tr

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

ÖZET:

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 ileten 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 algoritmada Cloth Simulation Filtering (CSF) metodu ile zemin noktaları tespit edilerek bu noktalara yakın düşey mesafedeki alçak obje noktaları elemine edilmektedir. Kalan nokta bulutu 3m x3m x3m boyutlarında voksellere ayrılmıştır. Otomatik belirlenen tohum voksellerinden başlayarak 26 komşu voksel için yapılan arama işleminde yükseklik 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.

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

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

ABSTRACT

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 3mx3mx3m 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 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.

1.GİRİŞ

Aydınlatma amacıyla kullanılmaya başlanan elektrik enerjisi yıllar içinde çeşitlenen kullanım alanları ile birlikte kentlerde ve sanayide oldukça yoğun miktarlarda talep edilir hale 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 edilmesini ve periyodik bakımlarının gerçekleştirilmesini oldukça önemli kılmaktadır. Bu sayede elektrik enerjisi minimum kayıplarla uzun mesafelere transfer edilebilmekte, kentlere ve sanayi bölgelerine dağıtılabilmektedir. Bununla birlikte enerji nakil hatları zaman zaman doğal veya insan kaynaklı etkiler sebebiyle çeşitli hasarlara uğrayabilmektedir. Doğa, insan sağlığı ve özellikle de enerji arz güvenirliliğini tehdit eden bu tür riskleri tespit etmek ve ortadan kaldırmak için elektrik hatlarının belirli

* Corresponding author. This is useful to know for communication with the appropriate person in cases with more than one author.

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 (LiDAR) bu amaçla başarıyla faydalanılabilmektedir. Enerji nakil koridorunda bulunan tel, pilon ve diğer arazi örtüsü elemanlarının gözlemlenmesi amacıyla yüksek 3B konum doğruluğuna sahip LiDAR (Light Detection and Ranging) nokta bulutu verisi kullanılması sayesinde çok uzun zaman alan araştırma süresi ve işçilikten önemli oranda tasarruf sağlanabilmektedir (McManamon, 2012). Ayrıca Hava (Airborne) LiDAR sistemlerinin geniş alanlarda hızlı veri alabilme kabiliyeti sayesinde gözlem periyotları oldukça sıklaştırılabilmekte ve riskli durumlar hızla analiz edilebilmektedir.

Literatürde uzaktan algılanmış veriler ile enerji nakil hatlarının tespit edilmesine yönelik birçok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmalarda ilk yıllarda genellikle hava fotoğraflarından yararlanılmıştır. Çeşitli yöntemlerle havadan kaydedilen renkli/kızılötesi görüntüler veya videolar aracılığıyla, enerji hattı tesislerinin hasar durumu tespit edilmiştir (Yamamoto ve Yamada, 1997). Fakat görüntü tabanlı yöntemler ile çevresel koşullar (oklüzyon, ışık yansımaları, düşük aydınlanma, hava durumu vb.), kamera duyarlılığı ve kamera görüş açısı değişimleri gibi etkenler nedeniyle sınırlı düzeyde bir başarı elde edilebilmiştir. 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 istenilen doğruluk düzeylerinde otomatik tespitini zor bir problem haline getirebilmektedir. Bu nedenle, kentsel ve kırsal enerji hatlarının hava LiDAR verilerinden çıkarılması için yüksek verimli, hızlı ve otomatik yöntemlerin geliştirilmesi kritik bir araştırma konusu haline gelmiştir (Wang vd. 2017).

Son dönemde uzaktan algılama teknolojilerinde meydana gelen gelişmeler yersel ve hava LiDAR verilerinin daha yüksek nokta yoğunluğu ve konum doğruluğu ile elde edilebilmesine imkân tanımaktadır (Kim ve Sohn, 2010). Artan veri kalitesi ile birlikte hava LiDAR verileri kullanılarak elektrik nakil hatların otomatik veya yarı-otomatik tespiti literatürde yoğun olarak araştırılan bir konu haline gelmiştir. Geliştirilen algoritmalar sayesinde tespit edilen enerji nakil hattı bileşenlerinin haritalanması, hasar tespiti ve bakımları daha kısa sürede yapılabilmektedir. 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 nesnelerinin tespit ve haritalanması amaçlarıyla da yoğun olarak kullanılmaktadır.

Genel olarak enerji nakil hattı bileşenlerinin tespiti iki temel amaç için gerçekleştirilir. Bu kapsamda birincil olarak tel sarkma miktarının tahmininde kullanılan katener eğrisi gibi yaklaşımlar ile 3 boyutta tel ve pilonların konumlarının tespit edilmesi, ikincil olarak ise enerji iletim ve dağıtım hatlarına zarar verme ihtimali olan bitki örtüsü ve yapı tespiti amaçlanmaktadır (McLaughlin, 2006).

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

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, paralelliği 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

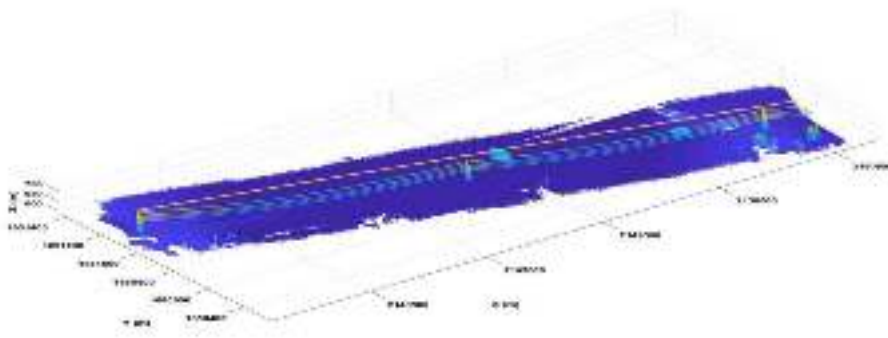
faaydalanılarak ENH tespiti yapilmaya çalışılmıştır. Melzer ve Briese (2004), XY düzlemindeki paralel tel tespitinde 2D Hough dönüşümü kullandıktan sonra teli bölümlendirilerek her bölüme eğri uydurma teknikleri uygulanmıştır. McLaughlin (2006) ise; her bir elipsoidal komşuluk içinde bulunan iletim hatlarının yerel afin modellerini hesaplayarak, keyfi seçilen bir yerel afin modelinden başlayarak katener parametrelerini iteratif olarak tahmin etmeye çalışmıştır. Ardından, tüm yerel afin modellerini toplanarak güç hattını modellemiştir. Öte yandan Guo vd. (2016) güç hattı rekonstrüksiyon sonuçlarını iyileştirmek için iki komşu direk arasında baēlamsal pylon bilgisini ve tel grubunun daēılım özelliēini kullanan RANSAC tabanlı bir yöntem önermiştir. Burada ana varsayım, bir gruptaki güç hatlarının aynı yön ve sarkma paralel olduēu ve bu bilgilerin ENH 3B modelinin oluşturulması için başlangıç parametrelerinin kestiriminde etkili bir şekilde kullanılabileceēidir. 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 baēlı olarak ENH tespiti yapan algoritmayı sunmuştur. Genel olarak, yapılan birçok araştırmaya raēmen, ENH bileşenlerinin hava LiDAR verileri yardımıyla otomatik tespitine yönelik araştırmalarda farklı çalışma bölgelerinde istenilen doēruluk düzeyine ulaşılamamıştır. Bu sebeple konu ile ilgili araştırmalar hatta yakın bina ve bitki örtüsü kaynaklı tespit hatalarını ortadan kaldırmak ve doēruluk düzeyini arttırmak adına yoēun olarak devam etmektedir (Chen, Q. 2007).

Bu çalışmada, Hava LİDAR verileri kullanılarak enerji nakil hattı bileşenlerinin ve bunları tehdit eden yüksek yer üstü objelerinin otomatik olarak belirlenmesine yönelik bir algoritma geliştirilmiştir. 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 zamandan ve insan gücünden büyük oranda tasarruf saēlanacaktır.

3.MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanı ve Veri

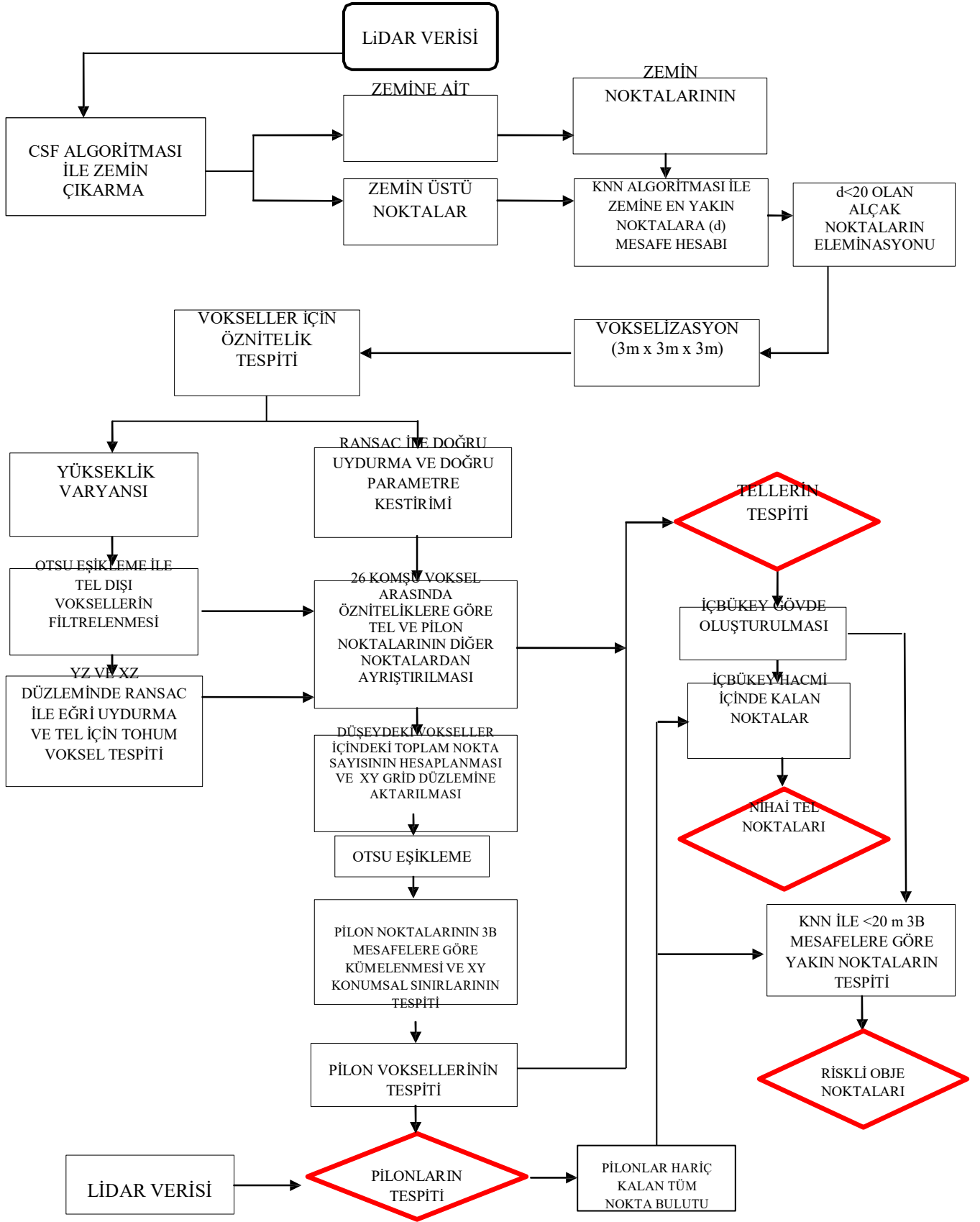
Çalışmada yarı - kentsel arazi örtüsü karakterine sahip 136,06 hektar büyüluēünde bir bölgenin İnsansız Hava Aracı (İHA) üzerine monte yüksek çözünürlüklü LiDAR sistemi ile 17 nokta/m² yoğunluēunda şeritvari taranmış ve UTM sisteminde referanslandırılarak kaydedilmiş veri seti kullanılmıştır. Söz konusu İHA-LiDAR verisi, 905nm dalga boyunda lazer ışını kullanan ve 10 Hz' de +/- 2 cm hassasiyet saēlayabilen Velodyne HDL-32 sensörü ile toplanmıştır. Üretilen nokta bulutu verisi toplam 23437256 noktadan oluşmakta olup '*.las' formatında kaydedilmiştir (Şekil 1.).



Şekil 1. Çalışma alanı

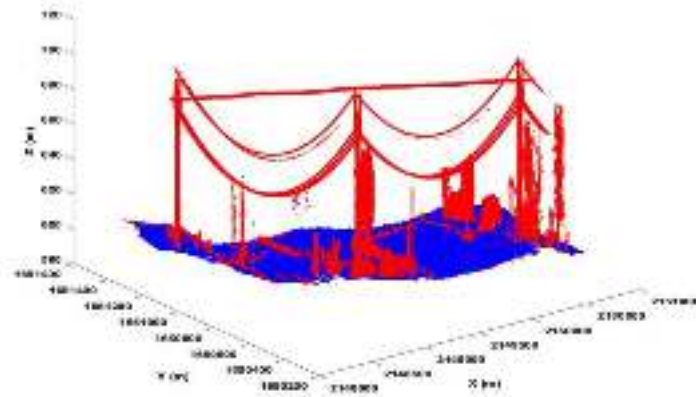
3.2 Metodoloji

Bu çalışmada, LİDAR verileri kullanılarak enerji nakil hattı bileşenlerinin (tel ve pylonların) otomatik olarak belirlenmesine yönelik bir algoritma geliştirilmiştir. Önerilen yaklaşıma ilişkin akış diyagramı Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Akış Diyagramı

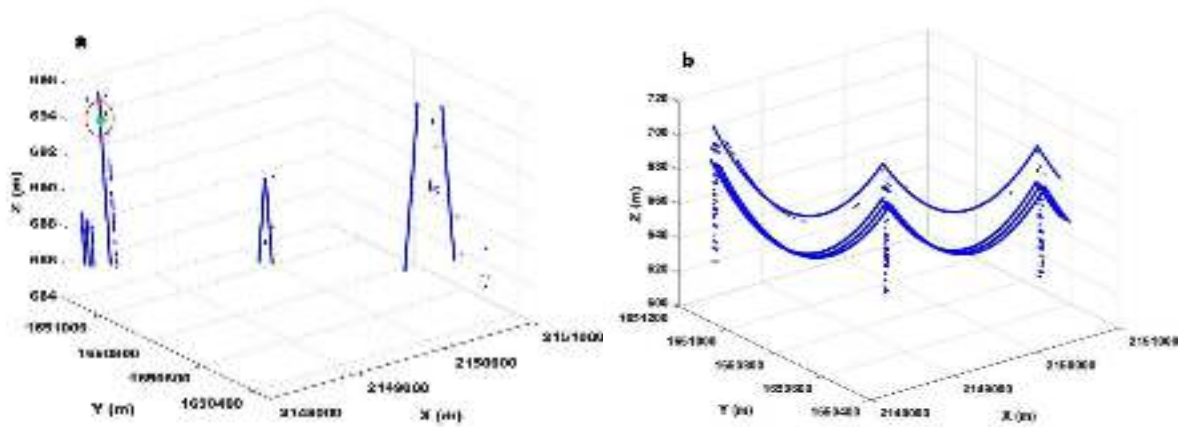
Çalışmanın ilk aşamasında 3B nokta bulutu verisi içinde zemin noktalarının tespit edilerek filtrelenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla CSF (Cloth Simulation Filtering) zemin algoritmasından faydalanılmıştır. CSF algoritması ham nokta bulutu ile bir kumaş örtü düşünülerek simüle edilmiş arazi yüzeyi arasındaki 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 yinelenmesi) ile zemin ve zemin üstü olarak sınıflandıran bir yaklaşımdır (Zhang vd. 2016). Bu aşamada ayrıştırılarak kaydedilen zemin ve zemin üstü noktalar Şekil 3'te görülebilmektedir.



Şekil 3. Zemin (mavi renkli) ve Zemin üstü noktalar (kırmızı renkli)

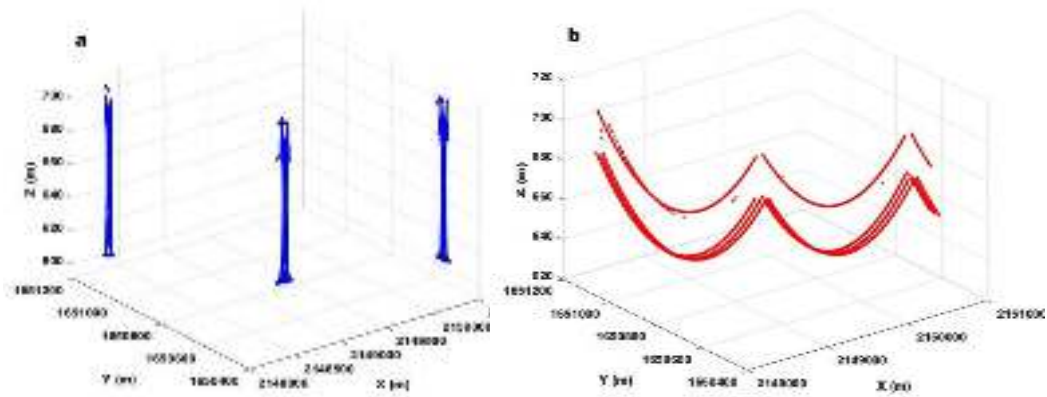
Ardından zemine yakın alçak noktaların elemine edilebilmesi amacıyla, önceki aşamada tespit edilen zemin noktaları kullanılarak "delaunay" metoduna göre üçgen yüzey modeli oluşturulmuştur. Bu aşamada KNN (k-en yakın komşu) sınıflandırma algoritması yardımıyla zemine en yakın alçak noktaların üçgen yüzeye olan 3B mesafeleri hesaplanmıştır. Ardından uygulanan 20m mesafe eşiği sayesinde alçak objelere ait noktalar elemine edilerek sadece yüksek objelere ve güç hattına ilişkin noktaların veri içinde kalması sağlanmıştır. Bir sonraki aşamada ise geriye kalan nokta bulutu 3mx3mx3m kenar boyutunda voksellere ayrılmış ve her vokselle ilgili indisler ve ağırlık merkezi konumları kaydedilmiştir. Ardından her bir vokselle içinde kalan nokta bulutu verisine ilişkin çeşitli tanımlayıcı özniteliklerin belirlenmesi aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada her bir vokselle ilgili noktaların yükseklik varyansı, noktalar arasında RANSAC yardımı ile tespit edilen uygun doğrusal dağılımlı noktalar ve bu noktalara en uygun fit olan doğruya ilişkin parametreler hesaplanarak kaydedilmiştir. Öncelikle voksellere ait yükseklik varyansı değerleri üzerinden histogram tabanlı otsu eşikleme algoritması ile otomatik bir eşik değeri belirlenmiş ve bu eşik değere göre voksellere içinde yükseklik varyansı düşük olanlar elemine edilmiştir. Bu sayede iletken teller dışındaki yüksek objelere ait noktaların bir kısmı daha filtrelenmiştir.

Önerilen algoritmada teller ve pilonlara ait noktalar dışındaki diğer yüksek objelere ilişkin kalan tüm noktaların filtrelenebilmesi amacıyla belirli bir tohum vokselinden başlayarak 26 lokal vokselle komşuluğunda voksellere arası öznitelik ilişkileri incelenmiştir. Bu aşamada kullanılacak tohum voksellere teller üzerindeki noktaları içerecek şekilde önerilen algoritmada otomatik olarak belirlenebilmektedir. Burada global olarak XZ ve YZ düzlemlerinde iletken tellerin eğrisel dağılımı 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 tespit edilmiştir (Şekil 4a). Bu aşamada tellerin belli bölümlerine ilişkin noktalar kalmakta olup bu durum tohum vokselinin tespiti için yeterlidir. Kalan noktalardan herhangi bir bölümü içeren bir vokselle tohum vokseli olarak seçilmiş ve iteratif arama işlemi başlatılmıştır. Arama sürecinde merkez ve ona komşu 26 vokselle arasındaki 3B mesafe farkı 20m değerinden küçük olan ve aynı zamanda evvelce tespit edilmiş doğru parametrelerinden mutlak eğim değeri farkı 1 den küçük olan voksellere tel vokseli olarak kabul edilmiştir. Arama işlemi tüm voksellere bitinceye değin devam ettirilerek sadece tel ve pilonlara ait noktaların tespiti sağlanmıştır (Şekil 4b).

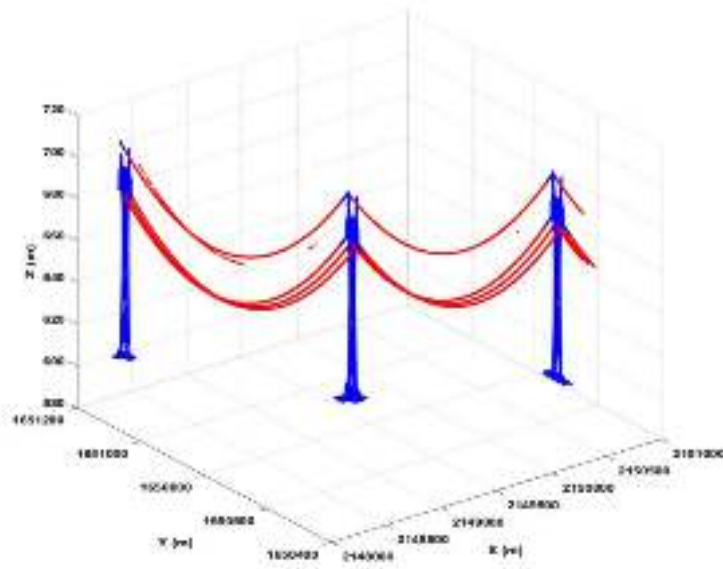


Şekil.4 (a) Tohum Voxel Tespiti (b) Voxel Komşuluklarına Göre Filtreleme Sonrası İletken Teller ve Pilon noktaları

Önerilen algoritmanın son aşamasında tespit edilen tel ve pilon noktalarının ayrıştırılması ve önceki filtreleme süreçlerinde tel veya pilona 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 kümelenebilir 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 5a). 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. Ardından filtrelenmemiş nokta bulutu verisinden içbükey gövde hacmi içinde kalan tüm noktalar yapılan konumsal analiz ile tespit edilerek nihai tel noktaları elde edilmiştir (Şekil 5b). Önerilen algoritma ile çıkarılan tel ve pilon noktaları Şekil 6' da görülebilmektedir.

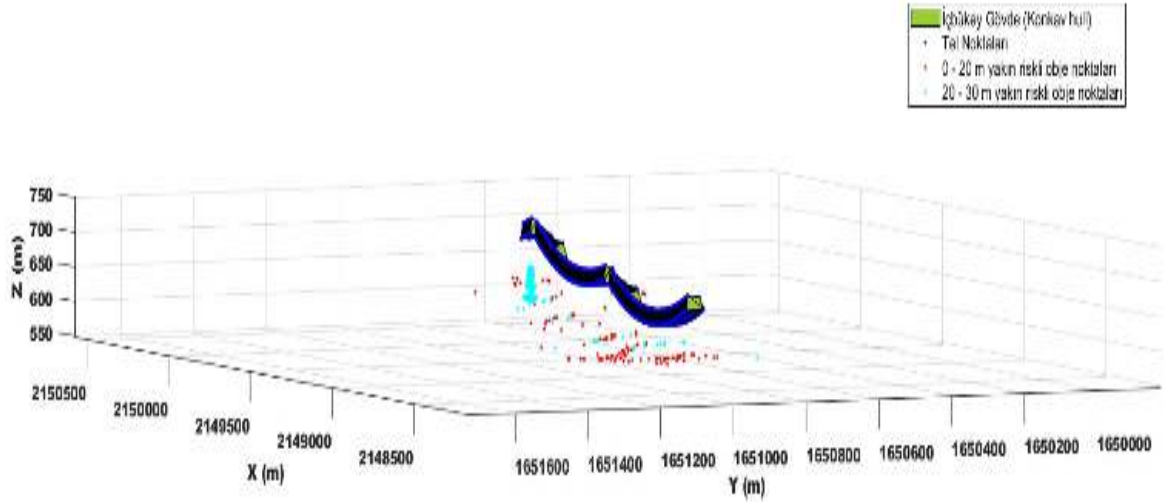


Şekil 5. Önerilen algoritma ile tespit edilen (a) Pilonlar ve (b) Tel noktaları



Şekil 6. Tel ve Pilonlara İlişkin Noktalar

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 - 20m ve 20 - 30m uzaklıktaki riskli obje noktası konumları belirlenmiştir. İçbükey gövde, tel ve riskli obje noktaları Şekil 7' de gösterilmiştir.



Şekil 7. İçbükey gövde, tel ve riskli obje noktaları

4.SONUÇ ve İRDELEME

Bu çalışmada LiDAR verileri kullanılarak enerji nakil hattına ait tel ve pylon noktalarının otomatik tespitine yönelik yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Önerilen yaklaşımın test verisine uygulaması sonucunda tel ve pilonlara ilişkin noktalar ham nokta bulutu içinde tespit edilmiştir (Şekil 6). Algoritmanın doğruluk düzeyinin irdelenebilmesi amacıyla test verisi manuel olarak sınıflandırılarak tel ve pylon noktalarını içeren bir referans veri seti oluşturulmuştur. Önerilen algoritma ve referans veri setinin karşılaştırılması amacıyla hesaplanan çeşitli doğruluk metrikleri Tablo 1' de ifade edilmiştir.

Tablo 1. Doğruluk analizi sayısal verileri

Doğruluk Analizi Sonuçları					
SINIFLAR	TESPİT EDİLEN NOKTA SAYISI	REFERANS NOKTA SAYISI	DOĞRULUK TESPİTİ(%)	TAM TESPİT EDİLEN	KISMİ TESPİT EDİLEN
TEL	80189	83269	96,30	8	2
PİLON	220525	167360	75,89	3	0

Tablo.1 incelendiğinde 23.437.256 ham nokta bulutu içinden geliştirilen algoritmanın uygulanması sonucu tel çıkarma sürecinde %96.30 gibi oldukça yüksek düzeyde başarı elde edildiği görülmektedir. Pilonlara ait başarı oranı ise %75.89 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. Algoritma başarısı tespit edilen pilon ve tellerin birlikte çizildiği Şekil 6'da görsel olarak da doğrulanabilmektedir. 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, pilon ve riskli obje noktalarını başarıyla otomatik olarak tespit edebildiği anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- Chen,Q. (2007)Airborne LiDAR data processing and information extraction. Photogramm. Eng. Remote Sens. 73, 109–112.
- Guo,B., Li, Q., Huang, X. ve Wang, C. (2016). “An improved method for power-line reconstruction from point cloud data,” Remote Sensing, vol. 8, no. 1, p. 36.
- Grigillo,D., Ozvaldi’c,S., Vre’cko, A. ve Frasn, M.K.,(2015).Extraction of power lines from airborne and terrestrial laser scanning data using the hough transform. Geodetski Vestnik, 59, 246–261. [CrossRef].
- 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.
- 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.
- 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), Melbourne, Australia, 1–3 December; pp. 462–467.
- McLaughlin,R. A. (2006). “Extracting Transmission Lines from Airborne Lidar Data.” IEEE Geoscience & Remote Sensing Letters 3 (2): 222–226. doi:10.1109/LGRS.2005.863390.
- McManamon, P.F. (2012).Review of ladar a historic, yet emerging, sensor technology with rich phenomenology. Opt. Eng., 51, 060901–060913.
- 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, pp. 47–54.
- Sohn,G., Jwa,Y. ve Kim,H. B., (2012). Automatic powerline scene classification and reconstruction using airborne lidar data. ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci 13(167172), pp. 28.
- 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, pp.343– 346.
- Yan,G., Li,C., Zhou,G., Zhang,W. ve Li,X. (2007). Automatic Extraction of Power Lines From Aerial Images.IEEE Geosci.Remote Sensing. 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.

- Zhang,S., Wang,C., Yang, Z., Chen,Y., ve Li,J.(2016). AUTOMATIC RAILWAY POWER LINE EXTRACTION USING MOBILE LASER SCANNING DATA, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B5, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12–19.
- 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. 2017, 9, 771; doi:10.3390/rs9080771.