

# LİDAR NOKTA BULUTU VERİLERİNDEN ENERJİ NAKİL HATLARININ OTOMATİK OLARAK SINIFLANDIRILMASI

Dilan ATEŞ<sup>1</sup>, Ceren AŞKİT<sup>2</sup>, İrem BAKIR<sup>3</sup>, Semanur SEYFELİ<sup>4</sup>, Ali Özgün OK<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Müh., Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, dilanatesates@gmail.com

<sup>2</sup>Müh., Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, cerenaskit15@gmail.com

<sup>3</sup>Müh., Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, irembakir1998@gmail.com

<sup>4</sup>Y. Müh., Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 06800, Ankara, semanur.seyveli@hacettepe.edu.tr

<sup>5</sup>Prof. Dr., Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, ozgunok@hacettepe.edu.tr

## ÖZET

Elektrik hatlarını LiDAR nokta bulutlarından otomatik olarak çıkarmak, çevresel etkenler ve teknik sorunlarla birlikte, elektrik hatlarının binalara ve/veya ağaçlara mekânsal olarak görece yakın olan karmaşık alanlarda enerji hattı yönetimini daha zor hale getirmiştir. Bu çalışmanın temel amacı, enerji hattı koridorları içeren bölgelerde LiDAR teknolojisi kullanılarak kaydedilen verilerin analiz edilmesi ve bu verilerden bir enerji hattı koridor güzergâhını oluşturan önemli unsurların tespit edilmesidir. Test alanı olarak Hollanda'nın Zeeland kentindeki Borssele bölgesine ait bir LiDAR veri kümesi toplamda 3 sınıf olacak şekilde (elektrik telleri, iletim kuleleri ve diğerleri) ele alınmış ve manuel olarak etiketlenerek yer gerçeği verisi üretilmiştir. Nokta bulutlarının kontrollü sınıflandırılması için Rassal Orman yöntemi kullanılmıştır. Yapılan sınıflandırma sonucunda oluşan sınıflandırma hatalarını en aza indirmek amacıyla bir son işleme adımı geliştirilmiştir. Elektrik hatları yakınındaki engel oluşturabilecek nesneleri değerlendirmek için 5 m, 10 m ve 15 m yarıçaplarında üç boyutlu tampon bölgeler oluşturulmuştur. Tampon bölge oluşturmak için noktalardan oluşan elektrik hatları üç boyutlu hat geometrisine dönüştürülerek, tampon bölge içinde kalan engellerin görsel sunumu, engellere ayrı bir etiket atanarak belirtilmiştir. Son işleme sonrasında elde edilen sınıflandırma sonuçlarına göre elektrik telleri ve diğerleri sınıflarının doğruluk değerlerinin oldukça yüksek (> %99), iletim kuleleri sınıfının doğruluğunun ise kabul edilebilir seviyede olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Enerji Hattı Sınıflandırması, Engel Tespiti, LiDAR, Öznitelik Çıkarımı, Rassal Orman.

## ABSTRACT

### AUTOMATIC HANDLING OF POWER LINE CORRIDORS FROM LIDAR POINT CLOUD DATA

Automatic power line extraction from LiDAR (Light Detection and Ranging) 3D point cloud datasets has made more difficult, along with environmental factors and technical problems, energy management in complex areas where power lines are relatively close to buildings and/or trees. The main purpose of this study is to analyze the data recorded using LiDAR technology in regions containing power line corridors and to detect the principal elements that form a power line corridor route from such data. As a test area, a LiDAR dataset belonging to the Borssele region of Zeeland, the Netherlands, was handled as a total of 3 classes (electrical wires, transmission towers, and other) and manually labeled ground truth data were produced. The random forest method was used for the supervised classification of point clouds. A post-processing step was developed in order to minimize the classification errors resulting from the classification. To assess the obstacles near power lines, three-dimensional buffer zones with radii of 5 m, 10 m, and 15 m were created. In order to create a buffer area, the power lines consisting of points were transformed into 3-dimensional line geometry, and the visual representation of the obstacles within the buffer zone is indicated by assigning a separate label to the obstacles. According to the classification results obtained after the post-processing step, it was determined that the accuracy values of the electrical wires and other classes were at a very high level (> 99%), and the accuracy of the transmission towers class was at an acceptable level.

**Keywords:** Power Line Classification, Obstacle Detection, LiDAR, Feature Extraction, Random Forest.

## 1. GİRİŞ

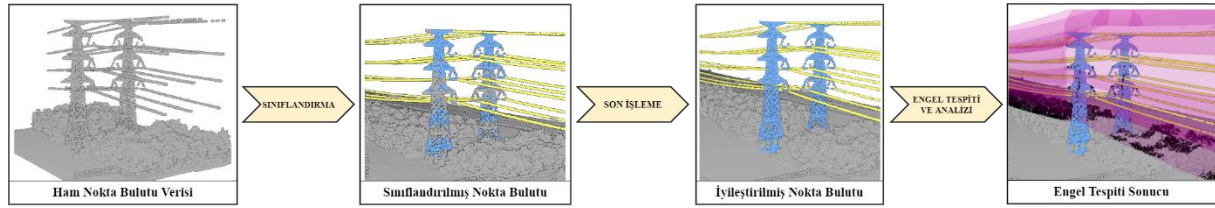
Günümüzde, özellikle pandemi sürecinde, kesintisiz enerji akışının önemi artmış ve elektrik enerjisi kullanma ihtiyacı en yüksek seviyelerine ulaşmış durumdadır. Bu nedenle kullanıcıya sağlanan elektrik enerjisinin kesintisiz olarak sağlanması müşteri memnuniyeti açısından çok büyük önem arz etmektedir. Bu konuda ülkemiz adına güncel üzüntü verici örneklerden biri içinde bulunduğumuz 2022 yılının Şubat ve Mart aylarında yaşanmış olup gerçekleşen kar yağışının ardından Isparta ili geneli günlerce elektriksiz kalmış ve yerel halk tarafından oluşan elektrik kesintilerine karşı tepkiler oluşmuştur. Enerji koridorlarındaki kesintilerin en önemli ve en büyük sebeplerden biri hat koridorundaki yapılaşma, ağaçlar, uçuş yolundaki helikopterler, doğal etkenler vb. çeşitli problemlerdir. Kesintilere neden olabilecek potansiyel tehditlerin tespiti için kırsal ve kentsel alanların özelliklerine göre koridor hattı denetimlerin yapılması gerekmektedir. LiDAR (Işık Tespiti ve Uzaklık Tayini)

teknolojisi üç boyutlu nokta bulutu oluşturarak bu denetimlerin bazılarının hassas bir şekilde yapılmasına imkân sağlaması nedeniyle başrolü üstlenmiş durumdadır.

Enerji hattı koridoru ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde ortak amaç, koridorda güvenli bölge oluşturulması ya da bölgeye zarar veren problemlerin tanımlanması ve azaltılmasıdır. Bu hususta enerji hatlarının çıkarılması için havadan lazer tarama verileri kullanılan çalışmalarda istatistiksel analiz ve 2-boyutlu görüntü tabanlı işleme yöntemleri (Zhu vd., 2014); makine öğrenmesi yöntemlerinden olan Rassal Orman yöntemi (Kim ve Sohn, 2013), RANSAC algoritmasından (Guo vd., 2016), destek vektör makinesi sınıflandırılması yönteminden (Wang vd., 2017a; Wang vd., 2017b) yararlanılmıştır. Derin öğrenme algoritmalarıyla enerji hattı koridoru oluşturan çalışmalarda ise otonom bir vizyon tabanlı araştırma (Nguyen vd., 2018); 3-boyutlu Evrişimsel Sinir Ağları (CNN) (Pu vd., 2019) yöntemlerini kullanan güncel çalışmalar bulunmaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, LiDAR nokta bulutu verilerinin kontrollü sınıflandırmasına dayalı bir güç hattı tespiti gerçekleştirmektir. Bu şekilde var olan engellerin tespiti ve yeterli derecede güvenli bir enerji hattı koridorunun oluşturulması ile kesintisiz enerji akışına imkân vermek mümkün olabilecektir. Çalışmada üç bölümden oluşan bir yöntem sunulmuş ve

Şekil 1’de görselleştirilmiştir: (i) nokta tabanlı kontrollü sınıflandırma, (ii) sınıflandırma sonrası son işleme ve (iii) güvenli alan oluşturarak engel tespitinin yapılmasıdır. Noktaların komşuluk ilişkileri kullanılarak yerel öznitelikler k-En Yakın Komşuluk (kNN) aracılığıyla çıkarılmış ve Rassal Orman (RO) yöntemiyle sınıflandırılmıştır. Devamında sınıflandırma doğruluğunu artırmak ve sınıflandırma sonucu oluşan kaba hataları gidermek amacıyla bir son işleme adımı geliştirilmiştir. Elektrik hattının sınıflandırılmasından sonra engellerin belirlenmesi için tampon alan oluşturularak, engellerin durumları *içeride* veya *kısmen içeride* olacak şekilde sunulmuştur. Çalışmada veri setinin manuel olarak etiketlenmesi, sınıflandırılması ve diğer işlemlerin yapılması için sırasıyla CloudCompare (Vehiclemetrics, 2022), MATLAB (MathWorks, 2021) ve ArcGIS Pro (Esri, 2021) kullanılmıştır.



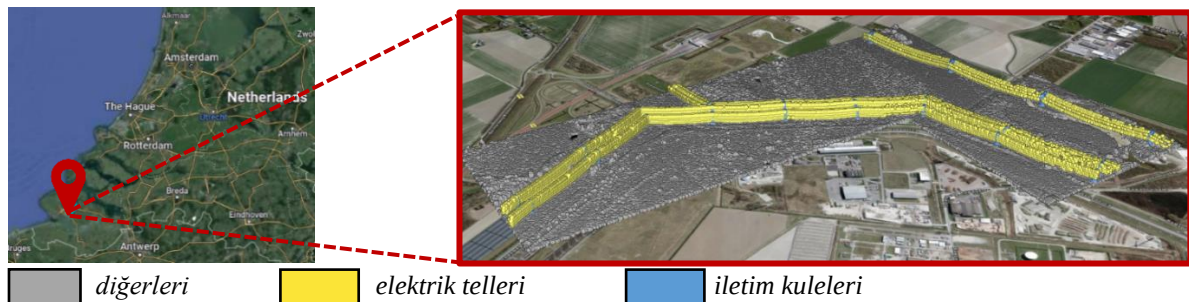
Şekil 1. Çalışmada kullanılan yöntem.

## 2. YÖNTEM

Çalışmada kullanılan veri seti bilgileri, nokta tabanlı kontrollü sınıflandırma yöntemi, sınıflandırma doğruluğunu artırmak amacıyla geliştirilen son işleme adımı ve güvenli alan oluşturmak için uygulanan aşamaların detaylarına bu bölümde yer verilmiştir.

### 2.1. Girdi Veri Seti

Çalışmada kullanılan nokta bulutu verileri Borssele (Zeeland, Hollanda) bölgesinde bulunan bir nükleer santrale bağlı elektrik hatlarını (Şekil 2) içermektedir. Hollanda yükseklik verileri hem yer seviyesindeki hem de yer dışındaki nesnelerin (ağaçlar, binalar, köprüler ve diğer nesneler) nokta bulutu verilerinden oluşmaktadır. Veri kümesi EPSG:28992 yatay ve EPSG:5709 dikey referans sistemlerine sahip olup çalışmada kullanılan alan yaklaşık olarak 40 milyon nokta içermektedir.

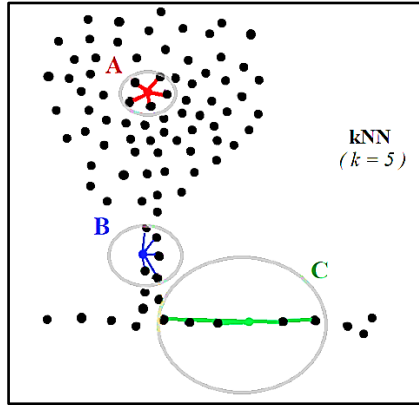


**Şekil 2.** Borssele Kasabası'na (Zeeland, Hollanda) ait genel bakış ve çalışma alanı.

Veri kümesini daha kolay yönetilebilir hale getirmek için veriler daha küçük eşit büyüklükteki parçalara ayrılarak kullanılmıştır. Genel olarak, tüm verilerin sırasıyla yaklaşık %10 ve %2'si sırasıyla *elektrik teli* ve *iletim kuleleri* sınıflarına, kalanı (%88) ise *diğerleri* sınıfına aittir. Verideki ortalama nokta yoğunluğu ise yaklaşık olarak 12 nokta/m<sup>2</sup> olarak verilmektedir.

## 2.2. Sınıflandırma Aşaması

LiDAR nokta bulutunda *elektrik telleri*, *iletim kuleleri* ve *diğerleri* olarak işaretlenen sınıfları tespit etmek için nokta tabanlı kontrollü sınıflandırma uygulanmıştır. Veri setindeki her bir nokta için yerel komşuluk ilişkisi kurularak özniteliklerin çıkarılması amaçlanmıştır, incelenen her nokta için konumsal yapının belirlenmesinde yerel 3-boyutlu  $k$ -en yakın komşuluk ilişkisi (kNN) (Demantké vd., 2011; Weinmann vd, 2015; Seyfeli ve Ok, 2022) kurulmuştur. 3-boyutlu kNN ilişkisi aslında esnek yarıçaplı küresel komşuluktur. Yani noktaların dağılımının yoğun ve eşit olduğu bölgelerde küçük yarıçaplı, seyrek ve eşit olduğu bölgelerde ise büyük yarıçaplı bir küre olarak düşünülebilir (bkz. **Şekil 3**). Bu yaklaşımda, sabit bir  $k$  değeri seçilir ve 3-boyutlu Öklid mesafesine dayalı olarak nokta bulutundaki her bir noktaya en yakın olan  $k$  noktayı bulmak için kd-tree (Bentley, 1975) algoritması uygulanır. Komşuluk içinde kalan bu noktalar ise sınıflandırma aşamasının bir sonraki aşaması olan öznitelik çıkarma için gereklidir.



**Şekil 3.** 3-boyutlu kNN komşuluk ilişkisine göre nokta yoğunluğundaki değişimin komşuluk boyutuna etkisi ( $k$  değerinin 5 seçildiği durumda A yoğun, C ise daha az yoğunluktaki alanı temsil etmektedir).

Nokta özniteliklerini zenginleştirmek için komşuluktaki her bir noktadan geometrik tabanlı ve özdeğer tabanlı olacak şekilde toplamda 12 özellik çıkarılmıştır. Noktanın kendi yüksekliği, dikeylik, yerel komşuluktaki noktalardan en büyük ve en küçük yükseklikteki noktalardan hesaplanan yükseklik farkı ve nokta yüksekliklerinin standart sapması geometrik tabanlı özelliklerdir. Doğrusallık, çizgisellik, küresellik gibi boyut belirten özelliklere ek olarak omnivaryans, anizotropi, özentropi, özdeğerler toplamı ve eğrilik değişimi özdeğer tabanlı özelliklerdir.

Sınıflandırma adımının son aşamasında ise çıkarılan öznitelikler sınıflandırıcıya girdi olarak eklenmiştir. Yoğun LiDAR nokta bulutlarının hızlı bir şekilde sınıflandırılmasında sıklıkla tercih edilen RO yaklaşımıyla (Breiman, 2001) nokta sınıflandırması yapılmıştır. Çalışmada yerel komşuluk boyutu 100 nokta, sınıflandırıcı için ağaç sayısı ise 25 olarak seçilmiştir.

## 2.3. Son İşleme Adımı

Nokta bulutu verileri etiketlenip RO yöntemiyle yapılan sınıflandırma sonucunda hatalı sınıflara düşen noktalar olduğu görülmüştür. Sınıflandırma doğruluğunu artırmak ve hatalı sınıflandırılmış noktaların etiket bilgisini düzeltmek amacıyla bir son işleme adımı geliştirilmiştir. Bu adım, iki ana aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama, enerji koridoru dışında kalan; ikinci aşama ise enerji koridoru içerisinde bulunan hatalı sınıflandırılmış noktaların etiket bilgisini düzeltmektedir.

Enerji koridoru dışındaki hatalı sınıflandırılmış noktaları düzeltmek için önerilen adımlar sırasıyla şu şekildedir:

*Noktasal veri tipinden oluşan elektrik telleri sınıfı çizgi geometrisine dönüştürülür (*

**— Şekil 4.a).**

*Üretilen elektrik teli çizgisi üzerinden 50 cm yarıçapında tampon alan oluşturularak, tel üzerindeki diğerleri sınıfına ait noktalar, elektrik telleri sınıfına atanır (*

— **Şekil 4.b).**

Üretilen iletim kulesinin yatay mesafesine (genişliğine) uygun olacak şekilde ve enerji koridorunu kapsayacak şekilde poligon üretilir (

— **Şekil 4.c).**

İlgili alan içerisinde bütün noktaları kapsayan bir poligon üretilir (

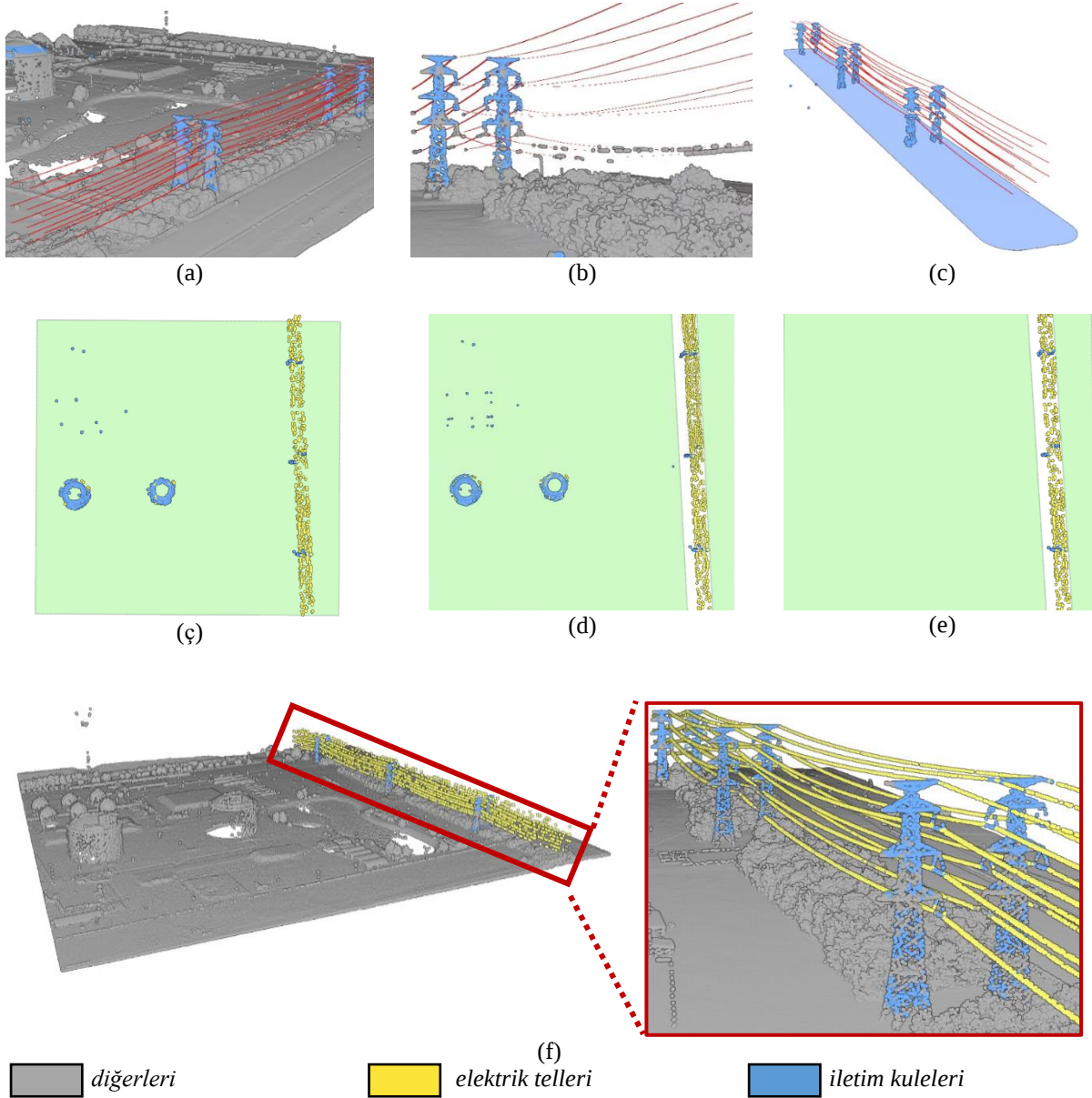
— **Şekil 4.ç).**

Tüm veri alanının poligonundan, enerji koridoruna ait poligon çıkarılarak enerji koridoru dışındaki alana ait yeni bir poligon verisi elde edilir (

— **Şekil 4.d).**

Enerji koridoru dışındaki alana ait poligon verisi referans alınarak, alan içinde yer alan elektrik teli ve iletim kuleleri sınıfına ait hatalı sınıflandırılmış noktalar, diğerleri sınıfına atanır (

— **Şekil 4.e ve f).**



**Şekil 4.** (a) Elektrik telleri sınıfına ait nokta verisinin çizgi verisine dönüştürülmesi, (b) diğerleri sınıfında olan nokta verilerinin elektrik telleri sınıfına atanması, (c) enerji hattı koridorunu kapsayan poligonun üretilmesi, (ç) bütün nokta bulutunu kapsayan poligon üretilmesi, (d) bütün veriye ait poligondan enerji koridorunun kapsayan poligonun çıkarılması, (e) enerji hattı dışında kalan hatalı sınıflandırmaların düzeltilmesi ve (f) düzeltilen nokta bulutu verisi.

Enerji koridoru içerisinde yer alan hatalı sınıflandırılmış noktaları düzeltmek amacıyla önerilen adımlar ise sırasıyla şu şekildedir:

Enerji koridoru içerisindeki hatalı sınıflandırılmış noktaların sınıfı belirlenir ve ayrıştırılır/filtrelenir. Örneğin; çalışmada kullanılan veride, koridor alanı içerisinde yer alan hatalı sınıflandırılmış noktaların iletim kuleleri sınıfına ait olması sebebiyle iletim kuleleri sınıfı ayrıştırılır (

— **Şekil 5.a).**

— Ayrıştırılan iletim kuleleri sınıfı verisinde yerel komşuluk yarıçap değerinde (5 m) değişiklik yapılarak koridor içerisindeki hatalı etiketlemeler silinir.

İletim kuleleri içerisinde bulunan hatalı etiketleri düzeltmek amacıyla her iletim kulesi için poligon alanı oluşturulur (

— **Şekil 5.b).**

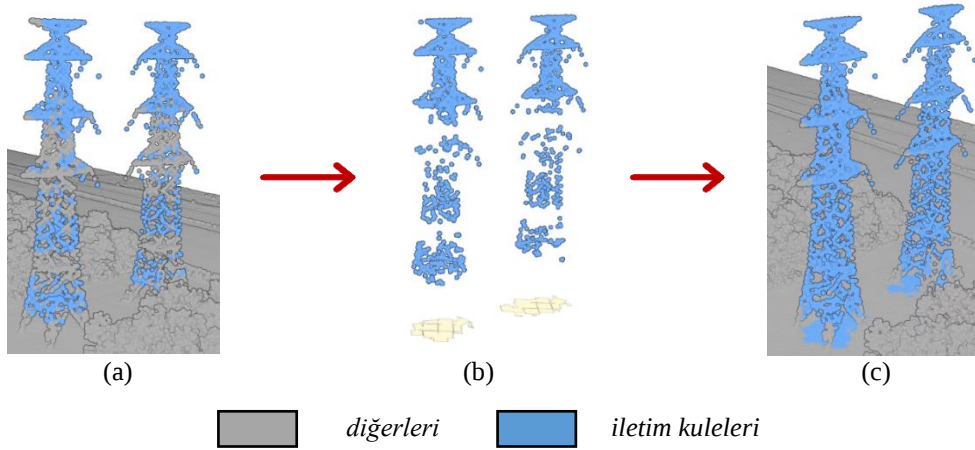
Oluşturulan iletim kuleleri poligon alanları referans alınarak, iletim kuleleri içerisindeki hatalı etiketlemeler iletim kuleleri sınıfına atanır (

— **Şekil 5.c ve**  
diğerleri

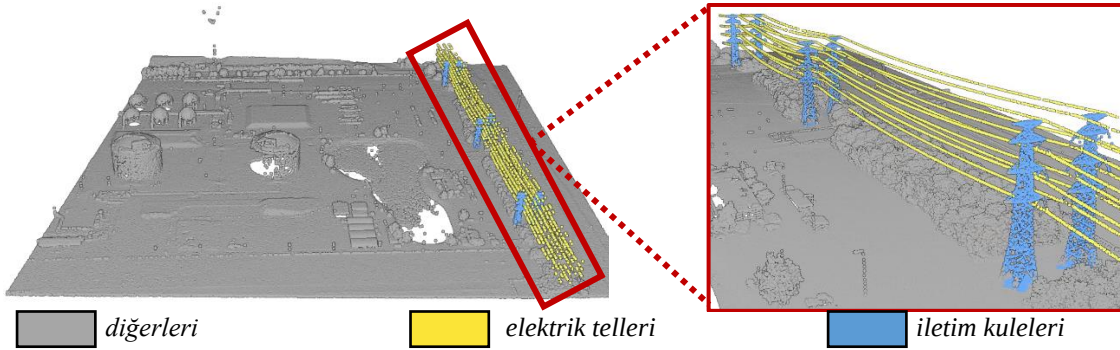
elektrik telleri

iletim kuleleri

— **Şekil 6).**



**Şekil 5.** (a) İletim kuleleri sınıfının son işleme adımından önceki görseli, (b) iletim kuleleri sınıfının ayrıştırılarak 2-boyutlu poligon oluşturulması, (c) iletim kuleleri sınıfındaki hatalı sınıflandırmaların düzeltilmesi.

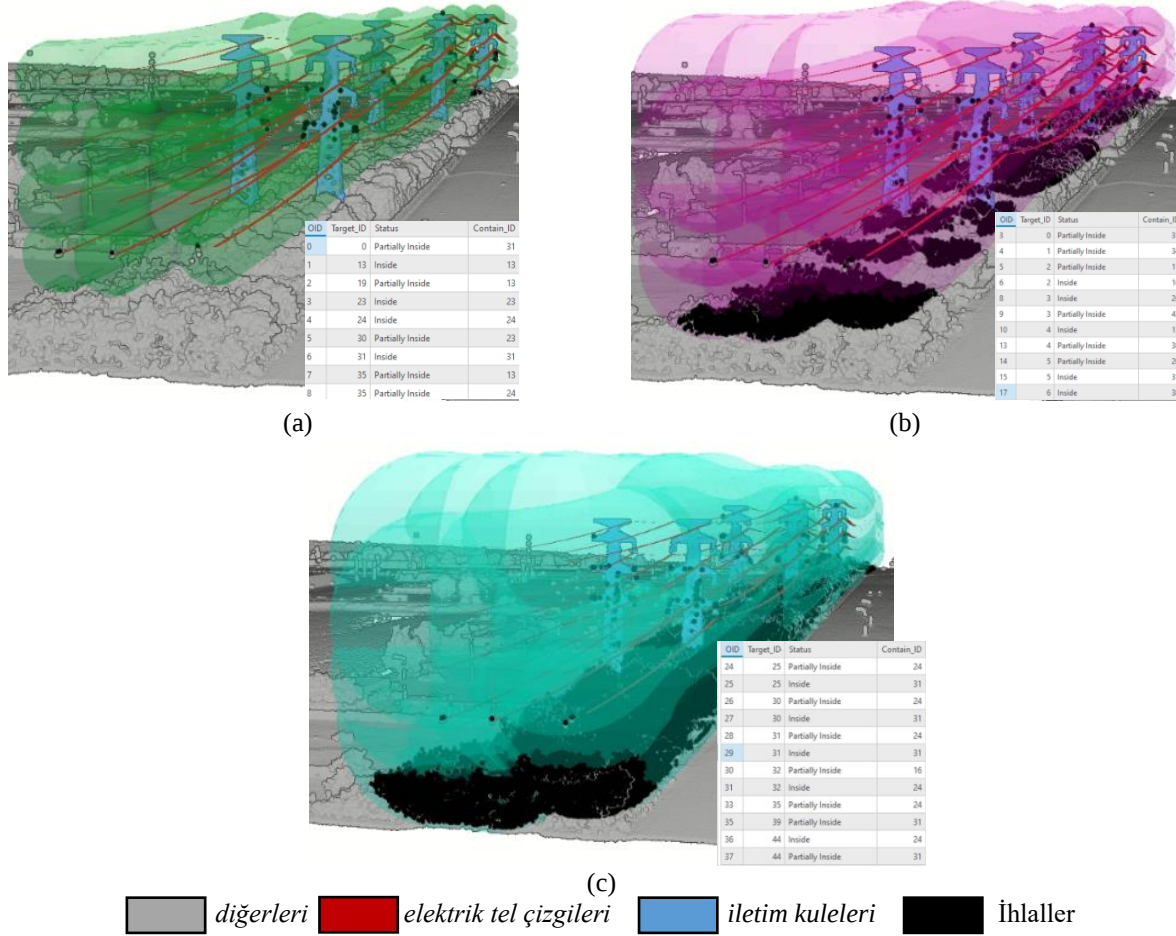


**Şekil 6.** Son işleme sonucu elde edilen otomatik etiketlenmiş nokta bulutu verisi.

## 2.4. Engel Tespiti ve Güvenli Bölge Oluşturma

Güvenli bölge oluşturmak amacıyla enerji hattının bütününe kapsayan bir tampon bölge oluşturulmuştur. Tampon bölge sırasıyla üç adım izlenerek elde edilmiştir. İlk olarak, çizgi geometrisi formunda olan elektrik hatları üzerinde her bir çizgiye ayrı ayrı uygulanacak şekilde tampon bölgeler oluşturulmuştur. İkinci adımda, yakınlık derecesine göre tampon bölgelerde karşılaşılan ihlaller görselleştirilmiştir. Son olarak ise, her bir tampon bölgeyi tamamen ve kısmen ihlal eden noktaların durumu görüntülenmiştir. İsteğe bağlı olarak, engellerin durumu Excel formatında tablo olarak çıktı alınabilmektedir. Bu şekilde tampon bölgesine yer alan veya kısmen yer alan tüm noktalar listelenebilmekte ve X, Y ve Z koordinat bilgisi de verilerek sunulabilmektedir. Bu tablo aracılığıyla herhangi bir son kullanıcıya hızlı bir şekilde bilgi vermek amaçlanmıştır.

Bu çalışmada güvenli bölge tespiti için farklı yarıçap değerleri karşılaştırmalı olarak kullanılmıştır. Çalışma alanına uygun olarak 5 m, 10 m ve 15 m yarıçapındaki mesafelere dayalı tampon bölgeler oluşturulmuştur. Tablolarda tampon bölge içindeki ihlaller içeride ve kısmen içeride olarak betimlenmektedir (Şekil 7). Tampon bölgesinin yarıçapı genişletildiğinde, tampon bölge içindeki engellerin sayısı beklenildiği üzere artmaktadır. Çalışma alanının topoğrafik yapısı verilerin niteliğini etkileyen bir durumdur bu nedenle tampon alanının yarıçapının hesaplanmasıyla doğrudan ilişkilidir. Yarıçap değerini artırmak güvenli bölgenin genişletilmesine olanak sağlasa da engel sayılamayacak bazı nesnelere ait noktalarında tampon bölgesine girmesi sonucunu doğurmakta ve bu da hatalı analizlere yol açabilmektedir. Hatalı sonuçlardan mümkün olduğunca kaçınmak ve güvenli bir bölge tasarlamak için tampon bölge yarıçapı topoğrafik yapı dikkate alınarak belirlenmelidir.



Şekil 7. (a) Elektrik hattı koridorunda 5 m yarıçapında güvenli bölge oluşturulması ve engellerin tablosu, (b) elektrik hattı koridorunda 10 m yarıçapında güvenli bölge oluşturulması ve engellerin tablosu, (c) elektrik hattı koridorunda 15 m yarıçapında güvenli bölge oluşturulması ve engellerin tablosu.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada eğitim amacı ile kullanılan veri seti sadece enerji koridor alanını içermektedir. Test etmek amacıyla kullanılan veri setinde ise enerji koridor alanı dışında ağaç, rüzgâr gülleri, depolar gibi farklı nesneler de bulunmaktadır. Veri seti içerisinde yer alan nokta sayısı bakımından çoğunluktan azınlığa doğru olacak şekilde *diğerleri* sınıfı, *elektrik telleri* sınıfı ve *iletim kuleleri* sınıfı sırasıyladır. Sınıflandırma doğruluğunu değerlendirmek için geleneksel sınıflandırma hata matrislerinden yararlanılmıştır.

#### 3.1. Son İşleme Adımı Öncesi

RO sınıflandırması sonucunda, iletim kuleleri sınıfının doğruluğunun görece çok düşük kaldığı gözlemlenmiştir. Diğerleri ve elektrik telleri sınıflarının doğruluğu ise %97'nin üzerindedir (

**Tablo 2).** İletim kulesi sınıfı doğruluğunun düşük olmasının sebebi veri içerisinde iletim kulesine benzer geometriye sahip yapılar bulunmasıdır. Ayrıca sınıflar arası nokta sayısı dağılımı denk düzeyde değildir, veri içerisinde iletim kuleleri sınıfının en az noktaya sahip olması sınıflandırma aşamasında doğruluğu etkilemektedir. Bu nedenle sınıflandırma doğruluğunu artırmak amacıyla son işleme adımının uygulanmasının zorunlu olduğu anlaşılmaktadır.

**Tablo 1.** Son işleme adımı uygulanmadan elde edilen hata matrisi (test verisi için).

| Gerçek Değerler | Tahmin Edilen Değerler |           |                  |
|-----------------|------------------------|-----------|------------------|
|                 |                        | Diğerleri | Elektrik telleri |
|                 | Diğerleri              | 9.502.555 | 1.943            |
|                 | Elektrik telleri       | 1.368     | 67.696           |
|                 | İletim kuleleri        | 6.531     | 168              |
|                 |                        |           | 10.807           |

**Tablo 2.** Son işleme adımı uygulanmadan elde edilen sınıflandırma sonuçları (test verisi için).

|                     | Diğerleri | Elektrik telleri | İletim kuleleri |
|---------------------|-----------|------------------|-----------------|
| Kullanıcı Doğruluğu | %99,9     | %97,0            | %27,9           |
| Üretici Doğruluğu   | %99,7     | %97,2            | %61,7           |
| Genel Doğruluk      | %99,6     |                  |                 |
| Kappa Katsayısı     | 0,805     |                  |                 |

### 3.2. Son İşleme Adımı Sonrası

Geliştirilen son işleme adımının uygulanması sonucu olarak iletim kuleleri sınıfının kullanıcı doğruluğunun %40'dan fazla arttığı, ayrıca diğerleri ve elektrik telleri sınıflarının doğruluklarının ise %100'e yaklaştığı görülmüştür (**Tablo 4.** Son işleme adımı uygulandıktan sonra elde edilen sınıflandırma sonuçları (test verisi için).

). Son işleme adımının enerji koridoru düzeltme aşamasında, iletim kuleleri üzerinde yer alan hatalı etikete sahip noktaları düzeltmek amacıyla uygulanan adımda oluşturulan poligonun 2-boyutlu olması sebebiyle iletim kulesinin iz düşümü boyutu kadar nokta zemin kotunda iletim kuleleri sınıfına atanmıştır. **Tablo 3.** Son işleme adımı uygulandıktan sonra elde edilen hata matrisi (test verisi için).

'deki hata matrisi incelendiğinde, aslında diğerleri sınıfında yer alması gereken noktaların, iletim kuleleri sınıfıyla karışması nedeniyle hata matrisindeki bu değerler diğer matris değerlerine kıyasla görece fazla elde edilmiştir (

 diğerleri  iletim kuleleri

Şekil 8).

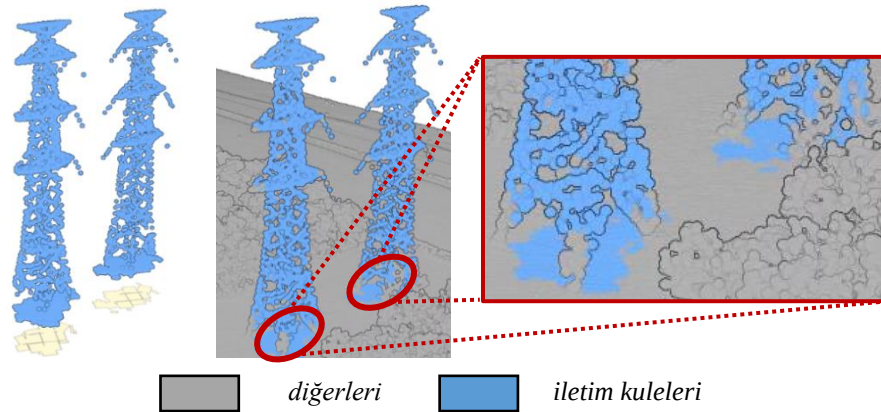
**Tablo 3.** Son işleme adımı uygulandıktan sonra elde edilen hata matrisi (test verisi için).

| Gerçek Değerler | Tahmin Edilen Değerler |           |                  |
|-----------------|------------------------|-----------|------------------|
|                 |                        | Diğerleri | Elektrik telleri |
|                 | Diğerleri              | 9.524.643 | 164              |
|                 | Elektrik telleri       | 255       | 69.224           |
|                 | İletim kuleleri        | 1.674     | 319              |
|                 |                        |           | 15.513           |

**Tablo 4.** Son işleme adımı uygulandıktan sonra elde edilen sınıflandırma sonuçları (test verisi için).

|                     | Diğerleri | Elektrik telleri | İletim kuleleri |
|---------------------|-----------|------------------|-----------------|
| Kullanıcı Doğruluğu | %100      | %99,3            | %68,3           |
| Üretici Doğruluğu   | %99,9     | %99,4            | %88,6           |

|                        |       |
|------------------------|-------|
| <b>Genel Doğruluk</b>  | %99,9 |
| <b>Kappa Katsayısı</b> | 0.946 |



Şekil 8. Son işleme adımı sonrası oluşan hatalı bir sınıflandırma örneği.

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, LiDAR nokta bulutu verilerinin kontrollü sınıflandırmasına dayalı bir güç hattı tespiti gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışma üç ana aşamadan oluşmaktadır: (i) nokta tabanlı kontrollü sınıflandırma, (ii) sınıflandırma sonrası son işleme ve (iii) güvenli alan oluşturarak engel tespiti. Noktaların komşuluk ilişkileri kullanılarak yerel öznelitlikler k-En Yakın Komşuluk (kNN) aracılığıyla çıkarılmış ve devamında tüm noktalar RO yöntemiyle sınıflandırılmıştır. Devamında sınıflandırma doğruluğunu artırmak ve sınıflandırma sonucu oluşan kaba hataları giderebilmek amacıyla son işleme adımı geliştirilmiştir. Elektrik hattının sınıflandırılmasından sonra engellerin belirlenmesi için tampon bölge oluşturularak, engellerin durumları *içeride* veya *kısmen içeride* olacak şekilde sunulmuştur.

Kontrollü sınıflandırma olarak RO yaklaşımının uygulanmasıyla elde edilen sonuçlarda, *iletim kuleleri* sınıfı *elektrik telleri* sınıfına kıyasla hatalı etiketlenmiş noktalar içerdiğinden ham sınıflandırma sonrasında görece düşük doğruluğa sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple *iletim kuleleri* sınıfının doğruluğunu artırmak amacıyla geliştirilen son işleme adımının uygulanmasıyla *diğerleri* sınıfı için %99,9, *elektrik telleri* sınıfı için %99,4 ve *iletim kuleleri* sınıfı için %88,6 üretici doğruluğu elde edilmiştir. Sınıflandırma sonucunda oluşan nokta bulutu verileri için tampon bölgeye giren engellerin tespiti başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Sınıflandırma doğruluğunu artırmak amacıyla nokta bulutuna ek olarak RGB bilgiler içeren verilerle nokta bulutu özellik bilgileri desteklenebilecektir. Nokta bulutu verilerinin yoğunluğunun farklı olduğu bölgelerde kullanılacak parametrelerin test edilmesi ve buna uygun ayarlamaların yapılması gerekmektedir. Böyle bir durumda özellikle komşuluk ile ilgili parametrelerin veri setinin yoğunluğuna göre güncellenmesi beklenmelidir. Gelecekte denetimli sınıflandırma algoritmalarına ek olarak literatürde mevcut olan derin öğrenme stratejilerinden faydalanılacaktır.

#### KAYNAKLAR

ArcGIS Pro. 2021. <https://pro.arcgis.com> [Erişim Tarihi: 13.05.2021]

Bentley, J.L., 1975. Multidimensional binary search trees used for associative searching. *Communications of the ACM*, 18(9), 509–517.

Breiman, L., 2001. Random Forests, *Machine Learning*, 45(1), 5–32.

CloudCompare. 2022. <https://cloudcompare.org> [Erişim Tarihi: 07.05.2022]

Demantké, J., Mallet, C., David, N., Vallet, B., 2012. Dimensionality Based Scale Selection in 3D LiDAR Point Clouds. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* XXXVIII-5/W12, 97–102.

Guo, B., Li, Q., Huang, X., Wang, C., 2016. An Improved Method for Power-Line Reconstruction from Point Cloud Data. *Remote Sensing*, 8(1), 36.

**Kim, H.B., Sohn, G.,** 2013. Point-based Classification of Power Line Corridor Scene Using Random Forests. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 79(9), 821–833.

**MATLAB.** 2021. <https://mathworks.com/products/matlab> [Erişim Tarihi: 16.03.2021]

**Nguyen, V.N., Jenssen, R., Roverso, D.,** 2018. Automatic autonomous vision-based power line inspection: A review of current status and the potential role of deep learning. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 99, 107–120.

**Pu, S., Xie, L., Ji, M., Zhao, Y., Liu, W., Wang, L., Yang, F., Qiu, D.,** 2019. Real-Time Powerline Corridor Inspection By Edge Computing Of Uav Lidar Data. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XLII-2/W13. 547-551.

**Seyfeli, S., Ok, A.O.,** 2022. Classification of Mobile Laser Scanning Point Cloud in an Urban Environment Using kNN and Random Forest. in: *Ben Ahmed, M., Boudhir, A.A., Karaş, İ.R., Jain, V., Mellouli, S. (Eds.), Innovations in Smart Cities Applications Volume 5. Springer International Publishing, Cham*, 963–973.

**Wang, Y., Chen, Q., Li, K., Zheng, D., Fang, J.,** 2017a. Airborne lidar power line classification based on spatial topological structure characteristics. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, IV-2/W4, 165–169.

**Wang, Y., Chen, Q., Liu, L., Zheng, D., Li, C., Li, K.,** 2017b. Supervised Classification of Power Lines from Airborne LiDAR Data in Urban Areas. *Remote Sensing*, 9(8), 771.

**Weinmann, M., Jutzi, B., Hinz, S., Mallet, C.,** 2015. Semantic point cloud interpretation based on optimal neighborhoods, relevant features and efficient classifiers. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 105, 286–304.

**Zhu L., Hyypä J.,** 2014. Fully-Automated Power Line Extraction from Airborne Laser Scanning Point Clouds in Forest Areas. *Remote Sensing*, 6(11), 11267–11282.