

[1136]

ELEKTRİK NAKİL HATTININ HAVA LİDAR VERİLERİNDEN ÇIKARILMASI

Eray Sevgen¹, Sibel Canaz²

¹Geomatik Mühendisi, Yenimahalle, Ankara, eraysevgen@gmail.com

²Ankara Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Gayrimenkul Geliştirme ve Yönetimi Bölümü, Ankara, ssevgen@ankara.edu.tr

ÖZET

Günümüz enerji dünyasında elektrik nakil hatları enerjiyi bir yerden başka bir yere iletmekten dolayı önem arz etmektedir. Bu nedenle, elektrik nakil hatlarına sahada yapılması gereken periyodik bakım ve gözlemler elektrik güvenliği açısından gereklidir. Bu gözlemler sahada yerinde yapılabileceği gibi, uzaktan algılama verileri toplanarak da yapılabilir. Popüler ve gelişmiş mekansal teknolojilerden biri olan "Light Detection and Ranging" (LiDAR) teknolojisi 3 Boyutlu veriyi farklı platformlardan direkt ve hızlı bir şekilde toplayabilir. Elektrik nakil hatlarını çıkarmak ve modellemek için LiDAR verileri kullanılarak sahada yapılması gereken gözlem maliyetleri azaltılabilir ve gözlem süreci hızlandırılabilir.

Bu çalışmada, hava LiDAR verilerinden elektrik nakil hatları modellenmiş ve çıkarılmıştır. İlk olarak, Temel Bileşenler Analizi kullanılarak LiDAR verileri elektrik nakil hattı ve diğerleri şeklinde iki sınıfa ayrılmıştır. Ardından, elektrik nakil hatları tekli elektrik nakil hattı çıkarımı algoritması ve Random Sample Consensus (RANSAC) kullanılarak tekli parçalara ayrılmıştır. Son olarak, en küçük kareler yöntemiyle elektrik nakil hatları modellenmiştir. Şikago, IL, A.B.D kentine ait LiDAR verileri kullanılarak algoritma test edilmiştir. Nitel sonuçlara göre, algoritma umut verici sonuçlar verse de nokta yoğunluğunun az olduğu yerlerde problemler gözlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Hava LiDAR, Elektrik Nakil Hattı, RANSAC, Temel Bileşenler Analizi

ABSTRACT

EXTRACTING POWER LINES FROM LIDAR DATA

In today's energy world, power lines play a significant role because of conveying energy one place to another. Therefore, periodic maintenance and inspections of the power line corridors on the field is a necessity for power line safety. Although these inspections can be performed on the field conventionally, they can be conducted collecting remote sensing data sets. One of the advance and most popular geospatial technologies, Light Detection and Ranging (LiDAR), collects 3D data in a short time from a variety of platforms directly and fast. Using LiDAR data for detecting and modeling power lines reduce the cost of inspections and accelerate the inspection process.

In this study, power line detection and modeling framework from airborne LiDAR data set is presented. Firstly, raw LiDAR data is classified using PCA into two classes, power line - non power line. Then, single power lines are detected using single power line extraction and RANSAC algorithm. Lastly, power line parameters are found via Least Square Adjustment procedure. The framework was tested using LiDAR data of Chicago, IL, U.S.A. According to the qualitative results, the framework gives promising results, but it mainly suffers from point density.

Keywords: Airborne LiDAR, Power line, RANSAC, Principal Component Analysis

1.GİRİŞ

Günümüz teknolojisinde, elektrik hayatın sürdürülebilirliği açısından en önemli etkenlerden biridir. Telefon, bilgisayar,televizyon gibi tüm elektronik eşyalar elektriksiz bir anlam ifade etmemektedir. Elektriğin, evlerimize elektronik eşyalarımıza gelmesi ise elektriğin nakil hatlarından sağlıklı bir şekilde geçmesiyle mümkündür. Bu hatların bakımı ve gözlemleri, kesintisiz elektrik için önem arz etmektedir. Elektrik nakil hatların gözlemleri yerinde inceleme ile uzun süre alarak yapılacağı gibi, son yılların popüler uzaktan algılama teknolojisi olan Airborne Light Detection and Ranging (Hava LiDAR) verileri kullanılarak da kısa sürede yapılabilir (Shan ve Toth, 2009; Vosselman ve Maas,2011). Hava LiDAR teknolojisi 3 Boyutlu (3B) nokta verisini direkt ve kısa sürede toplayabilmektedir. LiDAR nokta bulutu verisi kullanılarak elektrik nakil hatları nokta bulutu verisinden çıkarılabilir ve hatların ağaçlara olan mesafeleri, hatların gerginlik/gevmeşeleri, hatlarda olan olası kopukluklar vb. belirlenebilir.

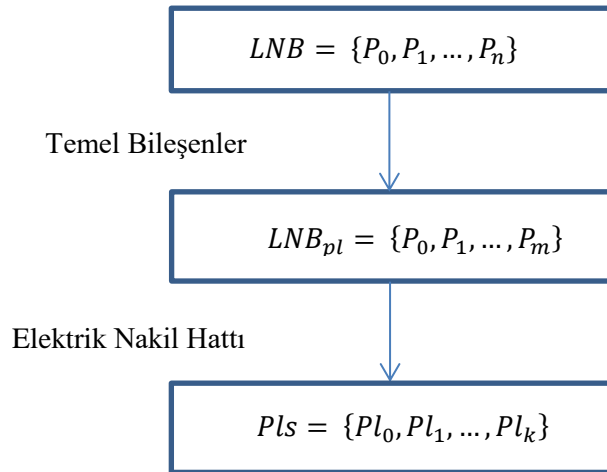
Hava LiDAR nokta bulutu verisi ile elektrik nakil hatlarının çıkarılması çalışmaları elektrik nakil hatlarının diğer objelerden ayrılması ve sınıflanan elektrik nakil hattı noktalarının modellenmesine dayanmaktadır. Literatürde,

LiDAR verisinden elektrik nakil hatlarını çıkarma çalışmaları mevcuttur. Örneğin Jwa et al. (2009) öncelikle LiDAR nokta bulutunu üç sınıfa ayırır ve ardından enerji nakil hattı olarak belirlediği noktaları Hough Dönüşümü ve özdeğer analizi ile modeller. Melzer ve Briese (2004) ise farklı olarak 2 Boyutlu (2B) xy düzleminde çalışıp Hough Dönüşümü ile elektrik nakil hatlarını yakalamaktadır. Liu et al. (2009) da benzer bir şekilde 2B xy düzleminde çalışmaktadır. McLaughlin (2006) ise denetimli sınıflandırma ile elektrik nakil hatlarını ayırmaktadır. Liang et al. (2011) da probleme dengeleme sorunu olarak yaklaşmış ve tek tek bulunduğu noktaları dengelemiş ve elektrik nakil hatlarını LiDAR verisinden çıkarmıştır.

Bu çalışmada ise elektrik nakil hatlarına ait noktalar Temel Bileşenler Analizi (TBA) yöntemi ile LiDAR verisindeki diğer objelere ait noktalardan ayrılmıştır. Ayrılan noktalar Random Sample Consensus (RANSAC) (Fischler and Bolles, 1981) tabanlı algoritma ile modellenmiştir. İlerleyen başlıkta bu çalışmada kullanılan yöntem ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

2.YÖNTEM

LiDAR verisinden elektrik nakil hatlarını çıkarmak için öncelikle hatlara ait noktalar belirlenmeli ve ardından belirlenen noktalar kullanılarak enerji nakil hatları modellenmelidir. Bunun için Şekil 1'de gösterilen akış şemasında olduğu gibi iki aşamalı yöntem uygulanmıştır. Ham olarak gelen LiDAR nokta bulutu LNB , $P_i = (x_i, y_i, z_i) \in LNB$ noktalarından oluşmaktadır. İlk olarak TBA yöntemi kullanılarak nokta bulutu elektrik nakil hattı LNB_{pl} ve diğerleri olacak şekilde iki gruba kümelendirilmiştir. İkinci aşamada ise elektrik nakil hattı olarak işaretlenen LNB_{pl} deki noktalar RANSAC ve tekil hat çıkarımı algoritmaları ile modellenip, çıktı ürün olarak elektrik nakil hatları elde edilmiştir.



Şekil 1. Akış şeması.

2.1.Elektrik Nakil Hattı Noktalarının Çıkarılması

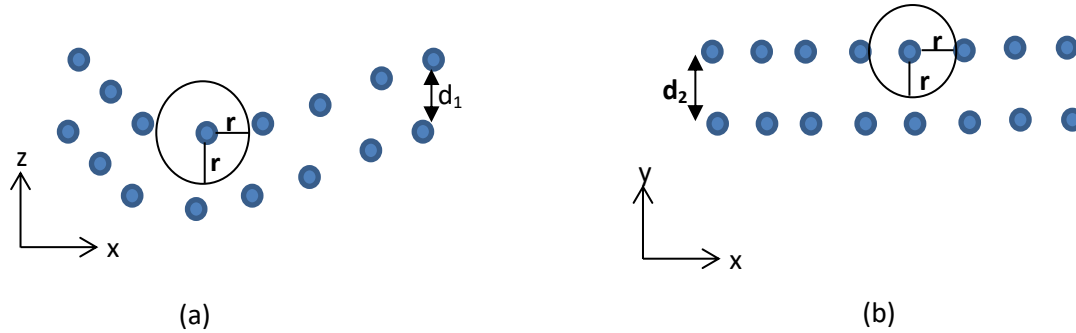
TBA çok boyutlu verinin boyutunun azaltılarak gürültüden arındırılması ve daha anlamlı hale getirilmesinde kullanılmaktadır. Aynı zamanda LiDAR verilerinde kullanıldığı zaman noktanın geometrik yapısı, şekli ve karakteristiği hakkında bilgi vermektedir. Bu bağlamda elektrik nakil hatlarının çıkarılması için TBA tekniğine göre her bir nokta $P_i \in LNB$ için $d_i = \sqrt{dx_{ij}^2 + dy_{ij}^2 + dz_{ij}^2} \leq r$ şartını sağlayan komşu noktalar belirlenmiş ve bu komşu noktalardan noktaya ait kovaryans matrisi (1) hesaplanmıştır.

$$C_{P_i} = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Kovaryans matrisinden $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ özdeğerler Tekil Değer Ayrıştırma (Singular Value Decomposition) yöntemi ile çıkarılmıştır. Özdeğerlerin arasındaki ilişki noktanın ait olduğu obje hakkında geometrik olarak bilgi vermektedir. Eğer $\lambda_1 \gg \lambda_2 \approx \lambda_3$ ise nokta bir doğrusal objeye aitken, eğer $\lambda_1, \lambda_2 \gg \lambda_3$ ise nokta bir yüzey noktasına ait olabilir. Bu bağlamda doğrusal objeler için McLaughlin (2006) elde edilen özdeğerlerden birisinin diğer ikisinde 1000 kat büyük olduğunu belirtmektedir. Her bir nokta için bu yöntem uygulanmış ve çıkan özdeğerlere göre noktanın elektrik nakil hattı olup olmadığına $\lambda_1 \gg \lambda_2 \approx \lambda_3$ şartına göre karar verilmiştir.

TBA ile elektrik nakil hatlarının işaretlenmesi kısmında seçilmesi gereken en önemli parametre her bir noktanın diğer noktalara olan 3B mesafesinin karşılaştırıldığı r komşuluk eşik değeridir. r seçilirken elektrik nakil hatlarının

birbirleri arasındaki dikey ve yatay mesafeye dikkat edilmelidir. Şekil 2(a)'da xz düzleminde gösterilen elektrik hattına ait noktalar arasındaki mesafe d_1 ve Şekil 2(b)'de xy düzleminde gösterilen elektrik hattına ait noktalar arasındaki mesafe ise d_2 olarak adlandırılırsa, $r, d_1 > r$ ve $d_2 > r$ şartlarını sağlayacak şekilde seçilmelidir. Doğru parametre seçimi ile doğrusal objeler nokta bulutunda rahatlıkla bulunabilecektir.



Şekil 2. Komşu nokta seçimi. (a) yandan görünüm - xz düzlemi (b) üstten görünüm - xy düzlemi

2.2. Elektrik Nakil Hatlarının Modellenmesi

Öngörülen elektrik hatlarının LiDAR verisinden çıkarılma yönteminde, ikinci aşamada bulunan elektrik nakil hatları tek tek ayrıştırılarak modellenmiştir. Bu aşamada elektrik nakil hatlarının xy düzleminde doğru parçasını ifade etmesi ve xz düzleminde ise belli bir yükseklik farkına sahip olma özellikleri kullanılmıştır. Kullanılan algoritma aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Girdi: LNB_{pl} , birden fazla elektrik nakil hattını ifade eden noktalar, P_{tower} , elektrik direklerinin yerleri

Çıktı: Pls , elektrik nakil hattına ait noktalar ve hat parametreleri

İşlem Adımları:

RANSAC algoritması ile yatay düzlemde LNB_{pl} içerisinde doğru parçası yakala. (RANSAC yatayda tek bir doğru parçası ifade eden ama düşeyde birbirinden ayrılan, bu bağlamda birden fazla hattın oluşan hat grubunu ifade eden noktalar $LNB_{plgroup}$ ile geri döner.)

$LNB_{plgroup}$ içerisinde tek bir hattı ifade eden, verilen iki elektrik direği arasındaki noktaları tekli çıkarım algoritması ile çıkar.

Elektrik nakil hattını ait noktaları modelle.

Eğer $LNB_{plgroup}$ da nokta varsa (2) ye dön, diğer türlü (1) e dön.

Eğer LNB_{pl} nokta kalmadıysa dur, diğer türlü (1) e dön.

Popüler obje yakalama algoritmalarından olan RANSAC ile nokta bulutlarından çeşitli geometrik şekiller çıkarılmaktadır. Elektrik nakil hatlarının xy düzleminde doğru parçasını ifade etmesi sebebiyle, RANSAC ile xy düzleminde doğru parçaları çıkartılmıştır. RANSAC, rastgele seçtiği iki noktadan bir doğru geçirdikten sonra bu doğrunun diğer noktalara olan mesafesini hesaplar, verilen toleransın altında mesafeye sahip noktaları bu doğru parçasının elemanıdır diye işaretler ve en iyi doğru olarak bulduğu noktaları kabul eder. Rastgele seçtiği ikinci bir iki noktadan yine bir doğru hesaplar ve aynı işlemleri tekrarlanır; yalnız bu sefer bir önceki adımda bulmuş olduğu nokta grubu ile karşılaştırır, eğer yeni bulunan grup bir öncekinden daha fazla noktaya sahipse, bu sefer en iyi doğru parçası olarak bu nokta grubu seçilir. Bu işlem iteratif olarak en iyi noktayı bulana kadar devam eder .

RANSAC algoritmasının vermiş olduğu sonuç xz düzleminde birden fazla elektrik nakil hattına ait noktaları içermektedir. Sıradaki adımda ise Liang vd. (2011) tarafından çalışılan tekil hatlar algoritması modifiye edilerek elektrik nakil hatları tek tek xy düzleminden sonra xz düzleminde de ayrılabilmiştir. Modifiye edilmiş tekil hatların çıkarım algoritması aşağıdaki gibidir.

Girdi: $LNB_{plgroup}$, iki elektrik kulesi arasında kalan nokta grubu, 3B mesafe ve yükseklik farkları

Çıktı: $LNB_{plsingle}$, bir adet elektrik hattına ait noktalar

İşlem Adımları:

Nokta bulutunda bir tane kök seçilir, bu kök nokta en yüksek nokta olarak seçilebilir.

Bu kök noktasından diğer noktalara olan mesafe ve yükseklik farkı hesaplanır

Eğer minimum mesafe verilen eşik değerlerden az ise kök noktasını hat olarak işaretlenir ve en kısa mesafe olarak bulunan nokta yeni kök nokta olarak işaretlenir

(2)'ye geri dönülür ve kalan noktalar için bu işlem yapılır, (3) sonlana kadar devam edilir.

Tekli çıkarım algoritmasında dikkat edilmesi gereken mesafe ve yükseklik farkları eşik değerleri bir önceki bölümde anlatılan r parametre seçimine benzer şekilde yapılmalıdır. Bu algoritmadan dönen noktalar bir elektrik nakil hattına ait noktaları ifade etmektedir.

Elektrik nakil hattı matematiksel olarak zincir eğrisi şeklinde modellenmektedir. Bu çalışmada işlem kolaylığı açısından zincir eğrisine çok yakın sonuçlar elde edilen (2) formülünde verilen ikinci dereceden polinom fonksiyonu kullanılmıştır. Modelleme için, (3) fonksiyonunu minimum yapan Gauss-Newton en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır.

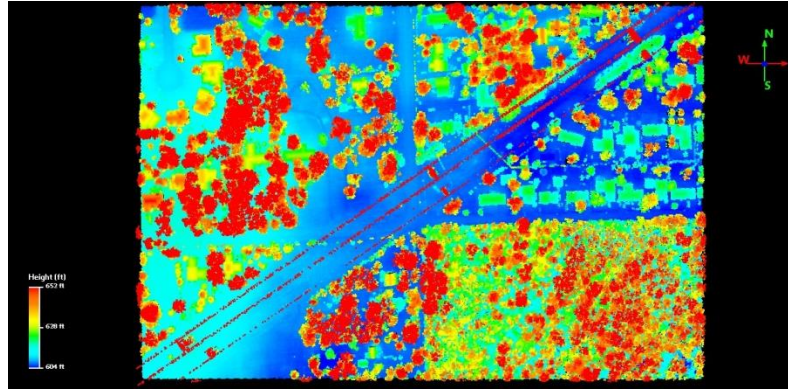
$$z = ax^2 + bxy + cy^2 + dx + ey + f \quad (2)$$

$$S = \sum_{i=0}^m (z_i - f(x, y))^2 \quad (3)$$

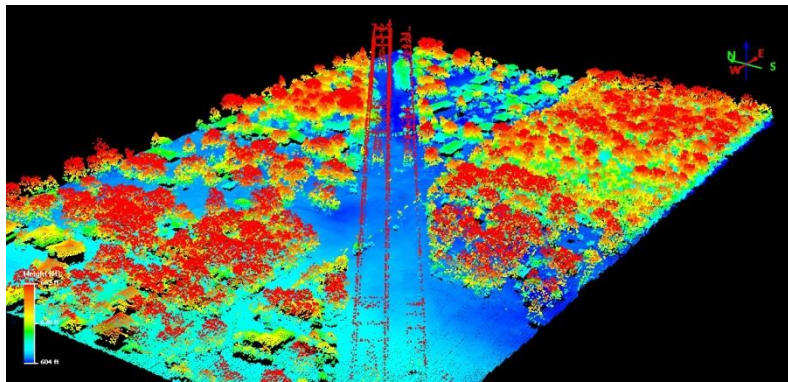
3. UYGULAMA SONUÇLARI

Bu çalışmada kullanılan yöntem MATLAB programlama dilinde yazılarak uygulanmıştır. Çalışma alanının kesiminde açık kaynak kodlu LASTools (<https://rapidlasso.com>) ve verilerin görüntülenmesinde ise QT Quick Terrain Reader yazılımının bedava versiyonu kullanılmıştır.

Yöntemi test etmek amacıyla Şikago, IL ABD'ye ait hava LiDAR verisinden elektrik nakil hatlarının olduğu bir kısım kesilmiş ve yöntem bu veri üzerinde uygulanmıştır. Kesilen veri 3.15 p/m2 yoğunluğuna sahip olup, ~500K nokta içermektedir. Şekil 4 ve 5 'te çalışma alanına ait LiDAR verisi gösterilmiştir.

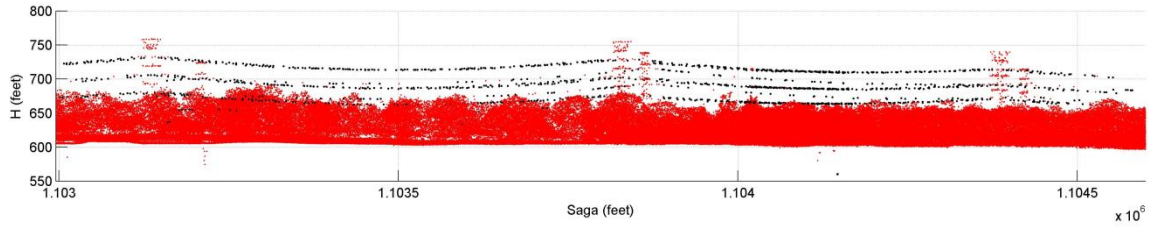


Şekil 3. Çalışma alanı üstten görünüm.

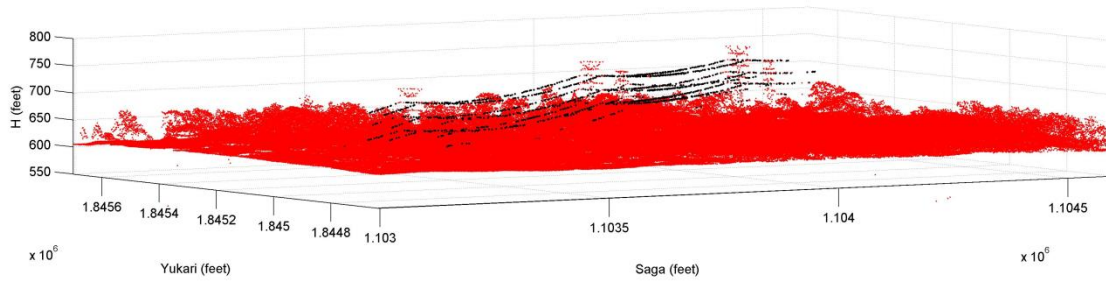


Şekil 4. Çalışma alanı 3B görünüm.

Uygulamada ilk olarak TBA analizi yapılmış ve Şekil 5'de gösterilen sonuçlar elde edilmiştir. Burada parametre olarak $r = 6$ m (20 feet) alınmış, en yakın komşuların daha hızlı yapılması amacıyla bulunması için ise LiDAR veri işlemede sıklıkla kullanılan kd-tree veri yapısı kullanılmıştır. Şekil 5'te görüleceği gibi elektrik nakil hatlarına ait noktalar (siyah noktalar) LiDAR verisindeki diğer objelerden (kırmızı noktalar) ayrılmıştır.



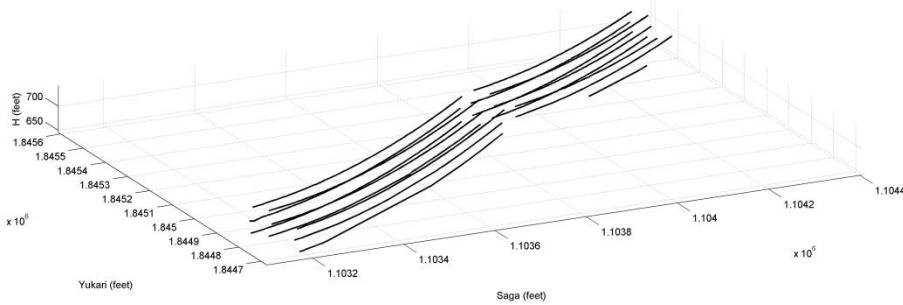
(a)



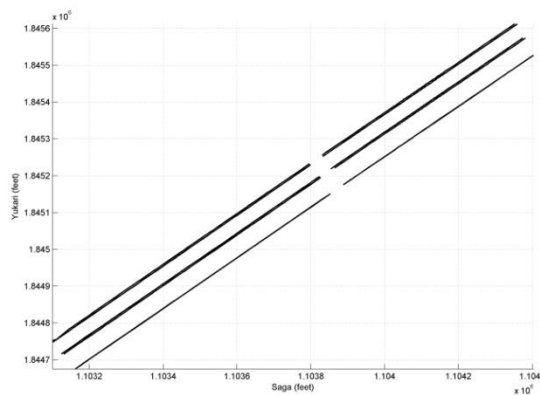
(b)

Şekil 5. LiDAR verisinden çıkarılan elektrik nakil hatlarına ait noktalar . (a) xz düzleminden görünüm (b) 3B görünüm.

İkinci aşamada RANSAC ve tekli çıkarım algoritmaları kullanılarak hazırlanan yöntem uygulanmıştır. Şekil 6'da dengeleme sonunda modellenmiş elektrik nakil hatları gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere yöntem elektrik nakil hatlarını başarılı olmuştur. Tekli çıkarım algoritmasında mesafe ve yükseklik tolerans verilerinin seçiminde bir önceki bölümde seçilen parametre r ile paralel değerler seçilmiştir. Bir sonraki bölümde sonuçların değerlendirilmesi yapılacaktır.



(a)



(b)

Şekil 6. Çıkarılan elektrik nakil hatları (a) 3B görünüm (b) üstten görünüm.

4.DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada hava LiDAR noktalarından elektrik nakil hattı çıkarımı ve modellenmesine ait iki aşamalı bir yöntem sunulmuştur. Sonuçlar görsel olarak değerlendirildiğinde önerilen yöntemin umut verici sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Diğer taraftan yöntemin bazı sorunları olduğu gibi parametre seçimi de dikkate alınmalıdır.

Yöntemin ilk aşamasının doğru bir şekilde çalışıp hedef objeleri yakalama başarısı direkt olarak , komşu noktaya olan mesafe, r parametresiyle ilişkilidir. Yöntemin uygulaması aşamasında r parametresinin belirlenmesi, yakalanacak olan elektrik hatlarının durumunu değerlendirerek olmuştur. Diğer taraftan elektrik nakil hattına yakın daha fazla objenin olması TBA yönteminin tam olarak çalışmamasını sağlayacaktır. Bu yüzden farklı veri setleri için farklı yöntemler geliştirmek gerekebilir. İkinci aşamada etkili olan parametreler bir önceki adımda seçilen parametre ile orantılı olduğu zaman sonuçlar başarılı bir şekilde alınacaktır. Bu aşamanın en zayıf tarafı, algoritmaya girilen elektrik direklerinin konumudur. Girilen konuma göre ayırma işlemi yapılmaktadır. Son olarak elektrik nakil hattını en küçük kareler yöntemiyle dengelemede yakın değerler ikinci dereceden polinom fonksiyonu için dengelemenin bir kaç kez yapılması ile bulunabilir.

Kalite kontrol yöntemi olarak hem birinci aşamada hem de ikinci aşamada nitel gözlemler yapılmıştır. Daha sağlıklı bir değerlendirme için nitel kalite kontrol yöntemleri kullanılmalıdır. Yöntemin diğer sıkıntısı ise verinin sahip olduğu nokta yoğunluğudur. Bu yüzden bazı bölgelerde modelleme bir kaç noktadan yapılmış olup sağlıklı sonuçlar vermemektedir. Bunun için yöntemin daha yoğun noktaya sahip veriler ile test edilmesi gerekmekte, hatta ağaçlık veya şehir alanları gibi yerlere ait verilerle test edilmesi yöntemin davranışlarını öngörmeye faydalı olacaktır. Son olarak ise yöntem otomatik olarak hatları çıkarmamaktadır. Elektrik direği seçimi gibi kısımların otomatik yapılması ile yöntem daha işlevsel hale gelecektir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Eray SEVGİN'in 2011 yılında Purdue Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Yüksek Lisans eğitimi sırasında almış olduğu "Multi-Hyper Spectral Remote Sensing" (Hiper ve Çok Bandlı Uzaktan Algılama) dersi projesi, "Development of a method to detect and map power lines using airborne LiDAR data over Cook County, Illinois"(Şikago Cook kasabası LiDAR verilerinden elektrik nakil hattını yakalayan ve modelleyen bir metod geliştirilmesi), kapsamında yapılan çalışmadan derlenmiştir.

KAYNAKÇA

- FFischler, M., Bolles, R.** 1981. *Random sample consensus: A paradigm for model fitting with application to image analysis and automated cartography*. Commun. Assoc. Comp. Mach., 24:381-395.
- Jwa, Y., Sohn, G. and Kim, H. B.,** 2009. Automatic 3D power line reconstruction using airborne LiDAR data, *In: ISPRS Laserscanning 2009*, Paris, France.
- Liang, J., Zhang, J., Deng, K., Liu, Z. ,Shi, Q.,** 2011. A new power line extraction method based on airborne LiDAR point cloud data, *In: International Symposium on Image and Data Fusion (ISIDF)*, Tengchong, Yunnan, China, August 9-11, pp. 1-4.
- Liu, Y., Li, Z., Hayward, R., Walker, R. , Jin, H.,** 2009. Classification of airborne LiDAR intensity data using statistical analysis and Hough transform with application to power line corridors, *In: Digital Image Computing: Techniques and Applications 2009 (DICTA 09)*, Melbourne, VIC, Australia, December 1-3, pp. 462-467.
- McLaughlin, R. A.,** 2006. Extracting transmission lines from airborne LiDAR data, *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE*, Vol 3, no. 2, pp. 222-226. doi: 10.1109/LGRS.2005.863390
- Melzer, T. , Briese, C.,** 2004. Extraction and modeling of power lines from ALS point clouds, *In: Proceeding of 28th Austrian Association Pattern Recognition Workshop*, Hagenberg, Austria, June 17-18, pp.47-54.
- Shan, J., Toth, C., Eds,** 2008. *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing*, CRC Press/Taylor & Francis Group. 608p.
- Vosselman, H., Maas.-G..** *Airborne and Terrestrial Laser Scanning* Whittles Publishing, Caithes, GB (2010) 336 p