

YERSEL LAZER TARAYICI VERİLERİNDEN BASİT GEOMETRİK YÜZEYLERİN OTOMATİK OLARAK ÇIKARILMASI

Resul ÇÖMERT¹, Uğur AVDAN²

¹Arş. Gör., Anadolu Üniversitesi, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, 26555, Eskişehir, rcomert@anadolu.edu.tr
²Yrd. Doç. Dr., Anadolu Üniversitesi, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, 26555, Eskişehir, uavdan@anadolu.edu.tr

ÖZET

3 boyutlu veri elde etme araçlarındaki gelişmelere paralel olarak, coğrafi bilgi sistemleri, taşınmaz kültür varlıklarının belgelenmesi, kentsel planlama uygulamaları gibi birçok alanda 3 boyutlu bina modellerine ihtiyaç duyulmaktadır. Kentsel alanda yer alan binalar incelendiğinde genel olarak düzlem yüzeye sahip binaların olduğu görülmektedir. Bununla birlikte farklı geometrik yüzeylere sahip yapılarda mevcuttur. Bina modellerinin üretilmesinde sayısal fotogrametri ve yersel lazer tarama teknikleri ile elde edilen veriler sıklıkla kullanılmaktadır. Yersel lazer tarayıcılar ile gerçekleştirilen veri toplama işlemi, küçük kullanıcı müdahaleleri ile otomatik olarak gerçekleştirilebilmektedir. Buna karşılık lazer tarayıcılardan elde edilen verilerin işlenmesi ile otomatik 3 boyutlu model oluşturma işlemi ise günümüzde araştırma konuları arasındadır. Yersel lazer tarayıcı verilerinden otomatik 3 boyutlu model oluşturma işlemi için genel olarak iki farklı yaklaşım vardır. Bunlar yüzey ağı modelleme ve geometrik temelli modelledir. Bu çalışmada geometrik temelli modelleme işleminin segmentasyon aşaması gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda yersel lazer tarayıcı ile elde edilen 3 boyutlu nokta bulutu verileri içinden basit geometrik şekle sahip yüzeyler (düzlem, küre, silindir, koni) otomatik olarak çıkarılmıştır. Çalışmada laboratuvar ortamında elde edilen veri seti üzerinde çalışılmıştır. Nokta bulutları içinden geometrik yüzeylerin çıkarılmasında Rastgele Örnek Konsensüsü (RANSAC: RANdom SAmple Consensus) algoritması kullanılmıştır. RANSAC algoritmasının yüzey çıkarmadaki doğruluğunu değerlendirmek için otomatik olarak çıkarılan yüzeyler elle çıkarılan yüzeylerle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar RANSAC algoritmasının basit geometrik şekle sahip yüzeylerin otomatik çıkarımında etkin bir araç olduğunu göstermiştir

Anahtar Sözcükler: Nokta Bulutu, Otomatik Yüzey Çıkarma, RANSAC, Yersel Lazer Tarayıcı

ABSTRACT

AUTOMATIC EXTRACTION OF SIMPLE GEOMETRIC SURFACE FROM TERRESTRIAL LASER SCANNER DATA

It is parallel with 3 dimensional data acquisitions tools, 3 dimensional building models is required many fields such as Geographic information systems, documentation of cultural heritage, urban planning applications. When the urban building is analysis generally buildings that have planner surfaces is seen. Besides different buildings which have different geometric surface are available. Data that is obtained from digital photogrammetry and terrestrial laser scanning techniques are used for generating buildings model. Data acquisition with terrestrial laser scanner is carried out automatically with small user response. Therefore automatic 3 dimensional model generating step with processing the terrestrial laser scanner data is today's research subject. There are two different approach for generating automatic 3 dimensional model application from terrestrial laser scanner data. These are geometric primitives modelling and meshing. In These study segmentation steps of geometric primitives modelling approach was carried out. Within this scope, simple geometric surfaces (planner, cylindrical, spherical, conic) was extracted automatically from 3 dimensional point cloud that is obtained with terrestrial laser scanner. In the study data set which was obtained in laboratory was used. Random Sample Consensus (RANSAC) algorithm was applied for extracted geometric shape in point cloud. Automatic extracted surfaces and manually extracted surfaces was compared for evaluation of RANSAC algorithm precision at surface extraction. Achieved results showed that RANSAC algorithm is an effective tool for simple geometric surface extraction

Keywords: Point Cloud, Automatic surface extraction, RANSAC, Terrestrial Laser Scanner

1. GİRİŞ

Fiziksel nesnelerin 3 boyutlu modelleri birçok alanda hızlı bir şekilde kullanışlı hale gelmektedir. Coğrafi Bilgi Sistemleri, sanal turizm uygulamaları, kentsel planlamalar, seyrüsefer sistemleri, kültürel mirasın belgelenmesi vb. birçok alanda 3 boyutlu modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte gün geçtikçe, iki boyutlu veri sunumunun yerini 3 boyutlu veri sunumu almaktadır. Bunun en temel nedenlerinden birisi 3 boyutlu modeller üzerinden yapılacak analizler, elde edilecek bilgiler 2 boyutlu haritalar üzerinden elde edilecek bilgilere göre avantajlıdır. Örneğin kentsel bir alanda yapılacak kent planlamasında, kenti gerçekçi bir şekilde yansıtan 3 boyutlu kent modeli üzerinden yapılan analizler 2 boyutlu haritalardan elde edilecek bilgilerden çok daha etkilidir. Benzer şekilde, kamu güvenliği için acil durum anında 3 boyutlu bina modelleri üzerinden strateji geliştirmek daha başarılı sonuçlar vermektedir (Pu ve Vosselman 2009).

Son yıllarda, özellikle veri toplama hızı ve hassasiyetinden dolayı yersel lazer tarayıcılar 3 boyutlu modellemeye ihtiyaç duyan birçok alanda kullanılır hale gelmiştir. Tersine mühendislik uygulamaları, kültürel mirasın belgelenmesi, sanal müze uygulamaları, kentsel alanlarda bina modelleri yersel lazer tarama tekniğinin yoğun

bir şekilde kullanıldığı alanlardır. Özellikle kentsel alanlarda yapılan modelleme çalışmalarında yersel lazer tarayıcılar ve mobil lazer tarayıcılar kullanılarak yeryüzü nesnelere ait hızlı ve hassas 3 boyutlu nokta bulutu verisi elde etmek mümkündür (Boulaassal ve ark. 2007).

Yersel lazer tarayıcılar ile çok kısa sürede binalara ait çok fazla 3 boyutlu nokta verisi elde edilmesine rağmen, elde edilen nokta bulut verisi veri tabanlarında oldukça büyük yer kaplamaktadır. Bundan dolayı nokta bulutu veri boyutunu küçültmek için yapıların 3 boyutlu modellenmesi önemlidir (Boulaassal, vd. 2010). Genellikle iki farklı modelleme tekniği vardır. Bunlar yüzey ağı modelleme (meshing) ve geometrik temel esaslı model oluşturmadır.

Yüzey ağı modelleme (meshing) daha çok lazer tarayıcılar tarafından elde edilen kale veya heykel gibi karmaşık ve düzensiz objelerin modellenmesinde tercih edilen bir modelleme yaklaşımıdır. Geometrik temel esaslı model oluşturma yöntemi de yüzey ağı modelleme gibi yersel lazer tarayıcılardan elde edilen verilerin işlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem daha çok geometrik olarak tanımlanması kolay olan nesnelere (düzlem, silindir, koni, küre vb) modellenmesinde tercih edilmektedir. Bu konuda, yersel lazer tarayıcılardan elde edilen veriler kullanılarak yapılan çalışmalar incelediğinde geometrik temel esaslı modelleme yönteminin genellikle kent merkezlerinde düzlem yüzeye sahip binaların modellenmesi için kullanıldığı görülmektedir. Yöntem genel olarak verilerin düzenlenmesi, segmentasyon (bölütleme) aşaması, yüzey yakalama ve 3 boyutlu model oluşturma aşamalarından oluşmaktadır.

Geometrik temel esaslı modellemede segmentasyon aşaması modellemenin en önemli aşamasını oluşturmaktadır. Bu aşamada geometrik özellikleri belirli nesnelere, belirlenen bir yöntemle göre nokta bulutu içinde bulunup çıkarılmaktadır. Modelleme aşamasında ise nokta bulutu içinden bulunup çıkarılan nesnelere nokta formatından çizgi veya poligon formatına dönüştürülmektedir. Yersel lazer tarayıcı verilerinin segmentasyonu işleminde nokta bulutu içindeki veriler sahip oldukları geometrik özelliklere bağlı olarak gruplandırılıp sınıflandırılmaktadır. Günümüzde nokta bulutu verilerinin segmentasyonunda farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden başlıcaları Hough dönüşümü, matematiksel morfoloji, bölge gelişime ve RANSAC algoritmasıdır.

Bu çalışmada geometrik temelli modelleme işleminin segmentasyon aşaması gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda yersel lazer tarayıcı ile elde edilen 3 boyutlu nokta bulutu verileri içinden basit geometrik şekle sahip yüzeyler (düzlem, küre, silindir, koni) otomatik olarak çıkarılmıştır. Çalışmada laboratuvar ortamında elde edilen veri seti üzerinde çalışılmıştır. Nokta bulutları içinden geometrik yüzeylerin çıkarılmasında Rastgele Örnek Konsensüsü (RANSAC: RANdom SAMple Consensus) algoritması kullanılmıştır. RANSAC algoritmasının yüzey çıkarmadaki doğruluğunu değerlendirmek için otomatik olarak çıkarılan yüzeyler elle çıkarılan yüzeylerle karşılaştırılmıştır.

2. YÖNTEM

Çalışma kapsamında RANSAC algoritması kullanılarak yersel lazer tarayıcı verilerinin içinden düzlem, küre, silindir ve koni yüzeye sahip şekiller çıkarılmıştır. Bu kapsamda çalışmada kullanılan algoritma ve çıkarılan yüzeylerle ilgili bilgiler aşağıda sunulmuştur.

2.1 RANSAC Algoritması

Rastgele Örnek Konsensüsü (RANSAC: RANdom SAMple Consensus) 1981 yılında Fisher ve Bolles tarafından geliştirilmiş bir model yakalama algoritmasıdır. Hough dönüşümü gibi dijital görüntü işleme alanında görüntüler üzerinde yer alan matematiksel olarak ifade edilebilen çizgi ve daire gibi nesnelere çıkarımında kullanılan bir algoritmadır. RANSAC yüksek derecede gürültü ve aykırı değer içeren bir veri seti içinden geometrik nesnelere ait model kestiriminde kullanılmaktadır (Fischler and Bolles 1981; Hartley ve Zisserman 2003).

RANSAC yöntemi geleneksel model kestirim yöntemlerinin tersine bir algoritmadır. Geleneksel model kestirim algoritmalarında, başlangıç olarak olabildiğince fazla girdi veri seçilip daha sonra geçersiz verileri model içinden elenirken RANSAC algoritmasında olabildiğince az sayıda girdi verisi kullanıp bu girdi veriyi modele uygun oluncaya kadar artırmaktadır. Örneğin 2 boyutlu bir nokta verisi seti içinde bir dairenin yayı modeli yakalamak için 3 nokta (daireyi oluşturan parametreleri hesaplayabilmek için) seçilir. Seçilen noktalar ile dairenin merkezi ve yarıçapı belirlenir. Daha sonra belirlenen bir eşik değeri altında kalan noktalar daireye atanır. Bu şekilde uygun model bulunana kadar işlem devam ettirilir (Fischler and Bolles 1981).

RANSAC algoritmasını çalışma prensibi şekil 3.18'de gösterilmiştir (Fischler and Bolles 1981; Hartley ve Zisserman 2003).

<p>Amaç: Çok sayıda aykırı değer içeren S veri seti içinden uygun modelin yakalanması</p> <p>Algoritma:</p> <ol style="list-style-type: none"> (i) S veri seti içinden rastgele s sayıda örnek veri noktası seç ve model parametrelerini hesapla. (ii) Modele belirlenen bir eşik değeri t (threshold) uzaklığı içinde kalan noktaları modele ata ve atanan bu noktalar için S_i veri setini belirle. S_i örnek verinin konsensüsüdür ve S veri seti için uygun modelin girdi noktalarını (inlier) tanımlar. (iii) Eğer S_i'nin boyutu (uygun nokta sayısı) model için yeterli nokta sayısını gösteren T eşik değerinden daha büyük ise, modeli S_i'indeki tüm noktaları kullanarak yeniden tahminle ve işlemi bitir. (iv) Eğer S_i'nin boyutu (uygun nokta sayısı) model için yeterli nokta sayısını gösteren T eşik değerinden daha küçük ise, yeniden s sayıda örnek veri noktası seç ve yukarıda anlatılan işlemleri tekrar et. (v) N sayıda deneme sonucunda en büyük S konsensüsü S veri seti içinde arana modelin uygun konsensüsü olarak seçilir. Model S_i veri seti içinde yer alan tüm noktalara kullanılarak yeniden hesaplanır ve işlem bitirilir.
--

Şekil 1. 18 RANSAC algoritmasını model yakalamada çalışma ilkesi

Şekil 1'de gösterilen algoritmada seçilen s sayıda örnek veri noktası S veri seti içinde çıkarılacak modele ait parametrelerin hesaplanması için kullanılmaktadır. Model parametreleri çıkarılacak modelin geometrik yapısına göre farklılıklar göstermektedir. Örneğin düz bir çizgi model yakalama için başlangıçta 2 adet örnek veri noktası seçilirken, düzlem model için 3 adet noktaya ihtiyaç duyulmaktadır.

RANSAC algoritması kullanılarak yapılan model yakalama işlemlerinde belirlenmesi gereken en önemli değerlerden bir tanesi eşik değeri (t) mesafesidir. Çünkü bir veri seti içindeki bir noktanın belirlenen bir α olasılığında girdi veri olarak atanabilmesi için bir t değerinin belirlenmesi gerekmektedir. Pratikte genellikle t eşik değeri mesafesi deneysel olarak belirlenmektedir (Fischler and Bolles 1981; Hartley ve Zisserman 2003).

Veri seti içinde uygun modelin seçilmesi için tüm noktaların denenmesi hesaplama açısından uygun değildir. Bunun yerine belirlenecek bir p olasılığındaki değere göre N defa s sayıda örnek nokta seçimi yapılarak modelin hesaplanması sağlanır. RANSAC algoritması için N deneme sayısı eşitlik 1'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır (Fischler and Bolles 1981; Hartley ve Zisserman 2003).

$$N = \log(1 - p) / \log(1 - (1 - \epsilon)^s) \quad (1)$$

Burada p doğru modelin seçilme olasılığı, ϵ seçilen noktaların modele aykırı olma olasılığı, s ise model parametrelerini hesaplamak için rastgele seçilmesi gereken minimum nokta sayısıdır. Doğru modelin seçilme olasılığı olan p genellikle 0.99 olarak seçilmektedir (Fischler and Bolles 1981; Hartley ve Zisserman 2003).

2.2 Çalışmada Kullanılan Kaynak Kod Kütüphanesi

Çalışmada nokta bulutu içinde yer alan basit geometrik yüzeyleri çıkarmak için RANSAC algoritması C++ derlenmiştir. Algoritmanın oluşturulmasında açık kodlu bir kütüphane olan nokta bulutu kütüphanesinden (PCL: Point Cloud Library) den yararlanılmıştır. Nokta bulutu kütüphanesi açık kodlu bir kaynak olup ticari ve araştırma amaçlı uygulamalarda ücretsiz olarak kullanılabilir. PCL çok sayıda 3 boyutlu nokta bulutu işleme algoritmalarını birlikte çalışabilirliğini sağlamaktadır. Bu algoritmalar filtreleme, nesne tahminleme, yüzey yeniden inşaatı, model oturtma, segmentasyon, registrasyon vb. algoritmaları içermektedir (<http://pointclouds.org/>). Nokta bulutları içinden basit geometrik yüzeylerin çıkarılmasında PCL kütüphanesinde yer alan RANSAC algoritması kodları kullanılmış ve çalışma kapsamında kullanılan veri setlerine göre tekrardan düzenlenmiştir.

2.3 Basit Geometrik Yüzeylerin Çıkarılması

Nokta bulutu içinden basit geometrik yüzeylerin çıkarılmasında, her bir geometrik yüzey için RANSAC algoritması ayrı ayrı derlenmiştir. Silindir, küre ve koni yüzeylerinin çıkarılması işleminde noktaların yüzey normaleri de dikkate alınmıştır.

Nokta bulutu içinden RANSAC algoritması ile belirlenen bir t eşik değerine göre yüzey çıkarma işleminde sadece model ile modele atanacak nokta arasındaki mesafe dikkate alınmaktadır. Çıkarılacak düzlemin doğruluğunu artırmak için nokta bulutu içindeki her bir noktanın yüzey normali ve model normali arasındaki farkta dikkate

alınarak işlem yapılabilir. 3 boyutlu uzayda, yüzey normali, bir yüzeye P noktasında teğet olan tanjant düzlemine dik olan doğruya yüzey normali adı verilmektedir. Yüzey normali normal vektör olarak da adlandırılmaktadır.

PCL kütüphanesini kullanarak nokta bulutu içinde yer alan noktaların yüzey normallerini belirlemek için yüzey normali hesaplanacak noktaya komşu noktaların bilinmesi gerekmektedir. Komşu noktaların belirlenmesi için kütüphane k- en yakın komşuluk yöntemi (k-nearest neighbor estimation) kullanılmaktadır. En yakın komşuluk ilkesine göre işlem yapılacak noktaya en yakın noktaların belirlenmesi için, verilen nokta sayısına göre komşu noktaları bulma (k-Search) ve belirlen bir yarıçapa göre arama yapma (RadiusSearch) olmak üzere iki farklı seçenek sunulmaktadır. Belirlenen komşu nokta arama seçeneğine göre bulunan noktaları içeren düzlem normali en küçük kareler düzlem yakalama ilkesine göre belirlenmektedir. Şekil 4.9'da yarıçapa göre belirlenen komşu noktalara bağlı olarak hesaplanan yüzey normali örneği sunulmuştur (Rusu 2008).

2.2.1 Düzlem Yüzey Çıkarma

RANSAC algoritması ile nokta bulutu içinden otomatik düzlem yüzeylerin çıkarılması için rastgele seçilen 3 nokta ile düzlem parametreleri hesaplanır. Düzlem parametre (a, b, c, d) değerlerinden ilk üçü düzleminin normal vektörünü ($a^2 + b^2 + c^2 = 1$) tanımlamaktadır. Dördüncü parametre (d) ise düzlemin orijine olan uzaklığını göstermektedir (Boulaassal, vd. 2007). Düzlem parametreleri belirlendikten sonra, düzleme belirlenen bir eşik değer mesafesi (t) içinde kalan noktalar düzleme atanır. Noktaların verilen eşik değer içinde kalıp kalmadığını belirlemek için noktalar P (x, y, z) ile düzlem PL (a, b, c, d) arasındaki Öklid mesafesi hesaplanır (Eşitlik 2) (Boulaassal, vd. 2007).

$$d(P,PL) = a \cdot x + b \cdot y + c \cdot z + d = 0 \quad (2)$$

RANSAC algoritması ile düzlem çıkarmada belirlemesi gereken en önemli değerlerden birisi düzleme atanacak noktaların, düzleme en fazla ne kadar uzakta olması gerektiğini gösteren eşik değeri mesafesinin (t) belirlenmesidir. Bu çalışmada t eşik değeri her bir veri seti için deneysel olarak belirlenmiştir.

2.2.2 Silindir Yüzey Çıkarma

RANSAC algoritması ile silindir bir yüzey çıkarmak için yedi adet parametrenin hesaplanması gerekmektedir. Bu parametreler silindir ekseninde yer alan bir P1 noktasının X_1, Y_1, Z_1 koordinatları, silindir ekseninin doğrultusunu gösteren bir P2 noktasının X_2, Y_2, Z_2 koordinatları ve silindirin yarıçapı r'dir.

Çalışma kapsamındaki veri setleri içinde yer alan silindir yüzeyler noktalara ait yüzey normalleri dikkate alınarak çıkarılmıştır. PCL kütüphanesini kullanarak RANSAC algoritması ile silindir yüzey çıkarma işleminde rastgele 2 nokta seçilmekte ve seçilen bu noktalar ile çıkarılacak silindir modelin parametreleri hesaplanmaktadır. Hesaplanan parametrelere göre bir silindir model oluşturulmaktadır. Model oluşturma aşamasında algoritmanın uygulandığı veri seti içinden aranan modelin belirlenebilmesi için bazı parametrelerin kullanıcı tarafından belirlenmesi gerekmektedir. Bu parametreler silindirin yarıçap sınırları, silindir modelin aranacağı eksen doğrultusu ve silindir modelin eksen doğrultusunun, silindirin aranacağı eksen den ne kadar sapa bileceğini gösteren epsilon açısıdır.

Silindir modele atanacak noktalar ile model arasındaki mesafesinin belirlenmesi için ilk önce, nokta ile silindir eksini arasındaki mesafe hesaplanır. Daha sonra ise hesaplanan mesafe değerinden silindir yarıçapı çıkarılarak model ile nokta arasındaki mesafe belirlenir. Eğer hesaplanan mesafe kullanıcı tarafından tanımlanan t eşik mesafesi altında ise nokta modele atanır.

2.2.3 Küre Yüzey Çıkarma

RANSAC algoritması ile nokta bulutu içinden nokta yüzey normallerini de hesaplayarak küre yüzey çıkarmak için kürenin dört adet parametrenin hesaplanması gerekmektedir. Bu parametreler Küre merkezin normalize edilmiş X, Y, Z koordinatları ve kürenin yarıçapı (r) değerleridir.

PCL kütüphanesini kullanarak RANSAC algoritması ile küre yüzey çıkarma işleminde rastgele 4 nokta seçilmekte ve seçilen bu noktalar ile çıkarılacak küre modelin parametreleri hesaplanmaktadır. Hesaplanan parametrelere göre bir küre model oluşturulmaktadır. Model oluşturma aşamasında algoritmanın uygulandığı veri seti içinden aranan küre modelin belirlenebilmesi için küre için izin verilen maksimum ve minimum yarıçap sınır değerlerinin kullanıcı tarafından tanımlanması gerekmektedir. Küre modele atanacak noktalar ile model arasındaki mesafesinin belirlenmesi için silindir modelde çıkarma bölümünde anlatılan mesafe hesaplama işlemi gerçekleştirilir.

2.2.4 Koni Yüzey Çıkarma

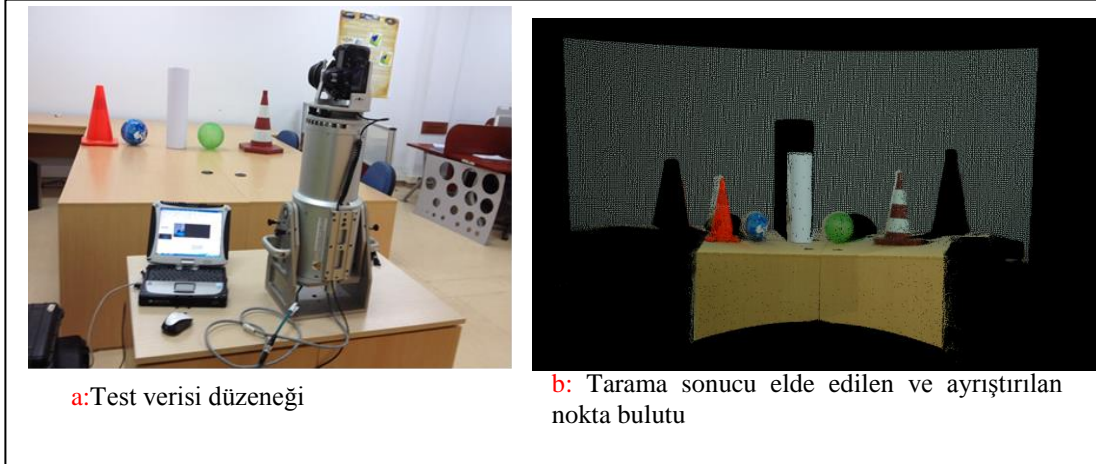
RANSAC algoritması ile nokta bulutu içinden yüzey normallerini de hesaplayarak koni yüzey çıkarmak için koni modelin oluşturulmasında kullanılacak yedi adet parametrenin hesaplanması gerekmektedir. Bu parametreler Koninin tepe noktasına ait üç adet (X_T, Y_T, Z_T) koordinatları, koninin eksen yönünü belirlemek için kullanılacak, eksen üzerinde yer alan bir P1 noktasının 3 adet (X_1, Y_1, Z_1) koordinatları ve koninin açılma açısı (θ) değerleridir.

Koni parametrelerini hesaplamak için nokta bulutu içinden rastgele 3 adet nokta seçilmekte ve koni parametreleri hesaplanmaktadır. Hesaplanan parametrelere göre yüzey çıkarımında kullanılacak bir koni model oluşturulmaktadır. Oluşturulan koni modelin nokta bulutu içinden yüzey çıkarımı için kullanılabilmesi için kullanıcı tarafından tanımlanacak bazı parametreleri karşılaması gerekmektedir. Bu parametreler koninin maksimumu ve minimum açılma açısı, koni modelin aranacağı eksen doğrultusu ve epsilon açısıdır. Küre modele atanacak noktalar ile model arasındaki mesafesinin belirlenmesi için silindirik model ve küre model çıkarma bölümünde anlatılan mesafe hesaplama işlemi gerçekleştirilir.

3. UYGULAMA

Çalışma kapsamında laboratuvar koşullarında yersel lazer tarayıcı ile elde edilen nokta bulutu verileri kullanılmıştır. Nokta bulutlarının elde edilmesinde Riegl marka LMS Z-390i model 3B lazer tarayıcı kullanılmıştır. Bu lazer tarayıcı lazer ışını gidiş geliş zamanı ilkesine göre çalışmaktadır. Normal ışık ve yansıtma şartları altında 50 metre mesafede 6 mm hassasiyete sahip ve 1.5 - 400 metre arasında ölçüm yapabilmektedir. Tarayıcıdan çıkan lazer ışını yakın kızılötesi ve $0.7 \mu\text{m} - 1.3 \mu\text{m}$ arasında değişen dalga boyuna sahiptir. Tarayıcı 80° düşey eksen ve 360° yatay eksen yönünde dönme kabiliyetine sahiptir. Cihazın açısal çözünürlüğü 0.001° değerine kadar artırılabilen ve cihaz ile saniyede 8000 - 11000 arası nokta verisi elde edebilmektedir (www.riegl.com.tr).

Nokta bulutu içinden geometrik yüzeylerin çıkarılması için laboratuvar ortamında geometrik şekilleri içeren bir test düzeneği oluşturulmuştur. Test verisi içinde düzlem, silindirik, koni ve küreyi temsil eden nesnelere kullanılmıştır. Düzlem yüzey için masa ve duvar, silindirik şekil için kağıt rulo, küre için plastik top ve koni için trafik konisi kullanılmıştır (Şekil 2a). Test düzeneği yersel lazer tarayıcı ile taranmıştır. Tarama işlemi tek bir pozisyonda yapılmış ve elde edilen noktaları görsel olarak sunmak için tarama işlemi sonunda fotoğraf çekilerek nokta bulutu renklendirilmiştir. Elde edilen nokta bulutu verisi içinden test nesnelere içeren alan RiScan Pro yazılımında elle ayrıştırılarak ayrı bir nokta verisi olarak kayıt edilmiştir (Şekil 2b). . Ayrıştırılan veriler ASCII veri formatında X, Y, Z değerlerini içerecek şekilde dışarı aktarılmıştır. ASCII formatında dışarı aktarılan noktalar PCL kütüphanesinde kullanılan PCD (Point Cloud Data file format: Nokta bulutu verisi veri formatı) nokta dosyası formatına dönüştürülmüştür. PCD formatında bulunan test verisinde toplamda 337 094 adet nokta bulunmaktadır.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan test veri seti

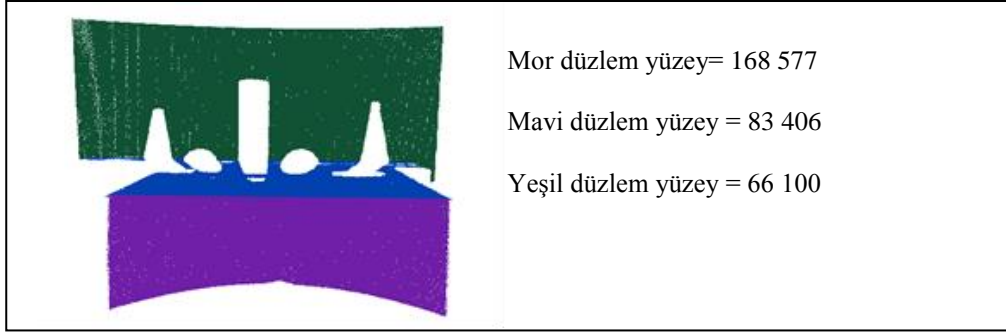
3.1 Test Verisinden Geometrik Şekillerin Çıkarılması

Test veri seti içinde yer alan geometrik yüzeyleri çıkarmak için RANSAC algoritması veri setine ilk önce sadece tek bir geometrik yüzeye sahip şekilleri çıkarmak için uygulanmış daha sonra ise tüm geometrik şekilleri tek seferde çıkaracak şekilde uygulanmıştır.

3.1.1 Düzlem Yüzeylerin Çıkarılması

Test veri seti üzerine ilk önce RANSAC algoritması ile düzlem çıkarma işlemi uygulanmıştır. RANSAC algoritması nokta bulutu içinden yüzey çıkarımından belirlenmesi gereken en önemli parametre t eşik değeri mesafesidir. Yersel lazer tarayıcılar ile tarama işlemi gerçekleştirilirken gerek taranan objenin yüzey pürüzlülüğü gerekse, lazer ışınının yüzeyden saçınım özelliklerinden dolayı nokta bulutları obje yüzeyinde bir kalınlık oluşturmaktadır. Yüzey üzerindeki noktaların, çıkarılan model üzerine atanması için t eşik değeri mesafesinin doğru bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada test verisi içinde düzlem yüzeyler çıkarılırken düzlem yüzeyler için uygun t değeri deneysel olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda t değerine farklı değerler verilerek RANSAC algoritması veri setine uygulanmıştır. t eşik değeri mesafeleri $t = 0.005 \text{ m}$, $t = 0.01 \text{ m}$, $t = 0.015 \text{ m}$ ve $t = 0.02 \text{ m}$ seçilerek veri setine uygulanmıştır. Elde edilen denemeler sonucunda en iyi sonucun $t = 0.01$ değerinde alındığı gözlemlenmiştir. Algoritma veri setine ardışık olarak uygulanmıştır. İlk önce en fazla noktayı içeren düzlem nokta bulutu içinden çıkarılmış daha sonra kalan nokta bulutuna algoritma tekrar uygulanmıştır. Bu şekilde potansiyel düzlemler çıkarılana kadar işlem devam etmiştir. Veri seti içinde yer alan üç adet düzlem 30 saniye gibi kısa bir sürede

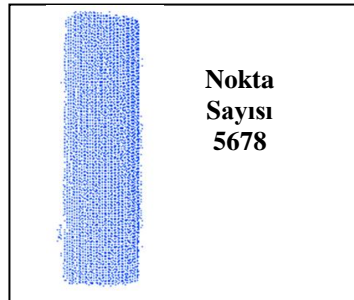
otomatik olarak çıkarılmıştır. Düzlemler şekil 3’de farklı renklerle renklendirilmiştir. Her bir düzleme ait nokta sayısı ise renklere bağlı olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. t = 0.01 değeri için test veri seti içerisinde çıkarılan düzlemler.

3.1.2 Silindir Yüzeyin Çıkarması

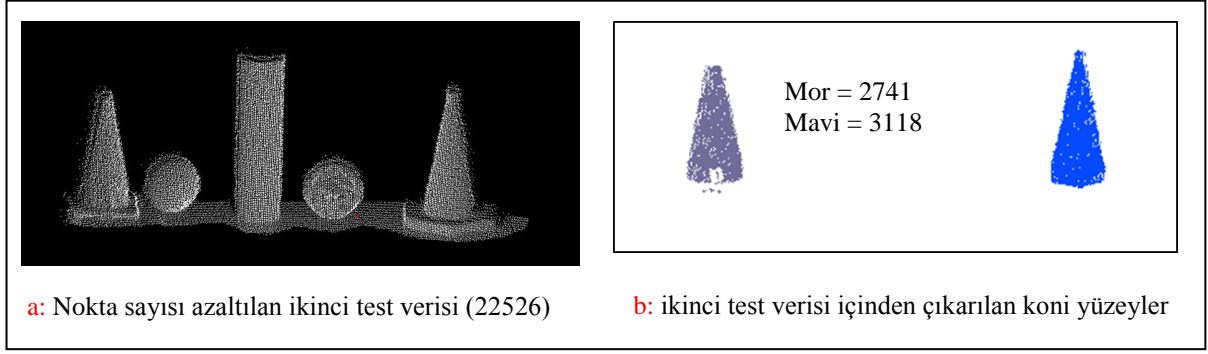
Test veri seti içinde bir adet kâğıt rulo ile temsil edilen bir adet silindir nesnesi yer almaktadır. Bu nesneyi RANSAC algoritması uygulanarak veri seti içinden otomatik olarak çıkarılmıştır. Silindir yüzey çıkarma işleminde algoritma yüzey normaline bağlı olarak uygulanmıştır. Algoritma uygulanırken ilk önce veri seti içinde yer alan tüm noktaların yüzey normaleri hesaplatılmış daha sonra ise belirlenen model parametrelerine göre silindir yüzey veri seti içinden çıkarılmıştır. Silindir yüzeyin çıkarılmasında uygun modelin seçilebilmesi için kullanıcı tarafında t eşik değeri, epsilon açısı, silindirin minimum ve maksimum yarıçap değerleri ve silindirin aranacağı eksen bilgisinin tanımlanması gerekmektedir. Bu kapsamda veri seti içinde yer alan silindir yüzeyin çıkarılması için bu değerler deneysel olarak belirlenmiştir. Silindirin aranacağı eksen Z eksenine, epsilon açısı 0.2 radyan, aranacak silindir modelin minimum ile maksimum yarıçap değeri 0 – 0.25 m, ve t eşik değeri 0.01 metre olarak uygulanmıştır. Veri seti içinde yer alan silindir yüzey 522 saniyede çıkarılmıştır. Düzlem yüzeye göre silindir yüzey çıkarma işleminin bu kadar zaman alma nedeni her bir noktanın yüzey normalerinin hesaplanmasıdır. Şekil 4’de çıkarılan silindir yüzey ve nokta sayısı verilmiştir.



Şekil 4. Test verisi içinden çıkarılan silindir yüzeyi ve nokta sayısı

3.1.3 Koni Yüzeylerin Çıkarılması

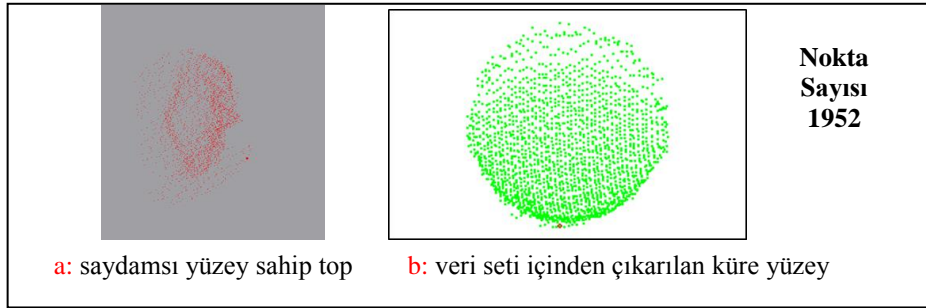
Test veri seti içinde koni nesneleri çok az sayıda nokta ile temsil edilmektedir. Veri seti içinde koni model için seçilecek bir verinin aykırı değer (ϵ) yani koni üzerine düşme olasılığı yaklaşık %95 olarak kabul edilmiştir. Aykırı değerler % 95 olasılıkla hesaplanacak olursa bu değer $0.95 * 337094 = 320240$ adet noktaya denk gelmektedir. Bunun anlamı modele nokta atama işleminde 320240 noktanın modele atanmama olasılığı vardır. Aykırı değer olma olasılığı $\epsilon = 0.95$ ve p doğru modelin seçilme olasılığı 0.99 kabul edilirse veri setine uygulanması gereken iterasyon sayısı eşitlik 1’den $N = \log(1 - 0.99) / \log(1 - (1 - 0.95)^3) = 36840$ olarak hesaplanmaktadır. PCL kütüphanesinde maksimum iterasyon sayısı 10000 olarak tanımlandığı için test veri setinde nokta sayısı azaltılmıştır bu kapsamda Test verisi içinde sadece silindir, küre ve koni şekilleri kalacak şekilde ayrı bir test verisi oluşturulmuştur. Oluşturulan yeni nokta bulutu verisi 22526 adet nokta içermektedir (Şekil 5a). Elde edilen yeni test verisine koni çıkarma için kullanılan RANSAC algoritması uygulandığında veri seti içinde yer alan her iki konide otomatik olarak çıkarılmıştır. Koni çıkarma işleminde koni açılma açısı 5 ve 85 derece olarak, koninin aranacağı eksen Z eksenine, t eşik mesafesi 0.033 m ve epsilon açısı 0.1 radyan olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda çıkarılan koni yüzeyler şekil 5b’de gösterilmiştir. Koniler veri seti içerisinde 8 saniyede çıkarılmıştır.



Şekil 5. Oluşturulan ikinci test verisi ve RANSAC algoritması ile çıkarılan koni yüzeyler

3.1.4 Küre Yüzeylerin Çıkarılması

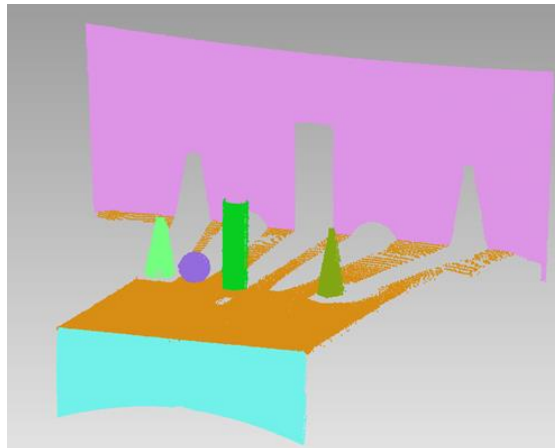
Küre yüzeylerin birinci test verisi içinden çıkarılması işleminde koni yüzey çıkarmada yaşanan problem yaşanmıştır. Bundan dolayı RANSAC algoritması ile küre çıkarma işlemi ikinci test verisine uygulanmıştır. İkinci veri setinden küre yüzeylerin çıkarımı için gerekli minimum ve maksimum değerleri 0.10 m ve 0.15 m olarak tanımlanmıştır. $p = 0.99$ ve $\epsilon = 0.85$ kabul edilerek maksimum iterasyon değeri eşitlik 3.8'den yaklaşık 10000 olarak tanımlanmıştır. t eşik değeri mesafesi 0.01 m, maksimum minimum yarıçap değerleri ise 0.10 – 0.15 m olarak deneysel olarak belirlenmiştir. Belirlenen değerlere göre nokta bulutu içinde yer alan küre şekillerden sadece bir tanesi çıkarılmıştır. Bunun nedeni veri seti için sağ tarafta yer alan topun saydamsı yapıda olmasıdır. Top saydamsı olduğundan lazer ışınları topun tam yüzeyinden geri yansımamıştır. Bundan dolayı nokta bulutu tam bir küre yüzey olarak elde edilmemiştir. Çıkarılmayan top şekil 6a da elle çıkarılarak görselleştirilmiştir. Şekil 6b'de ise RANSAC algoritması ile çıkarılan top yer almaktadır. Küre yüzeyin çıkarma işlemi 12 saniyede gerçekleşmiştir.



Şekil 6. a: Saydamsı yüzeye sahip olduğunda veri seti içinde çıkarılmayan küre yüzey; b: veri seti içinden çıkarılan küre yüzey

3.1.5 RANSAC Algoritması İle Tüm Geometrik Yüzeylerin

Çalışma kapsamında 4 farklı geometrik şekli çıkaran RANSAC algoritması tek bir program kodu olarak derlenmiş ve birinci test verisine uygulanmıştır. Yapılan uygulama sonrasında veri seti içinde yer alan geometrik şekiller düzlem, silindir, küre ve koni olmak üzere ardışık olarak çıkarılmıştır. Tüm geometrik şekillerin çıkarılması 150 saniyede gerçekleşmiştir. Birinci test verisi içinden çıkarılmayan yüzeylerde derlenen bu tek program aracılığı ile çıkarılabilmektedir. Çıkarılan tüm yüzeyler şekil 7'de farklı renklerle görselleştirilmiştir.



Şekil 7. RANSAC algoritması ile tüm yüzeylerin tek bir program aracılığı ile çıkarılması

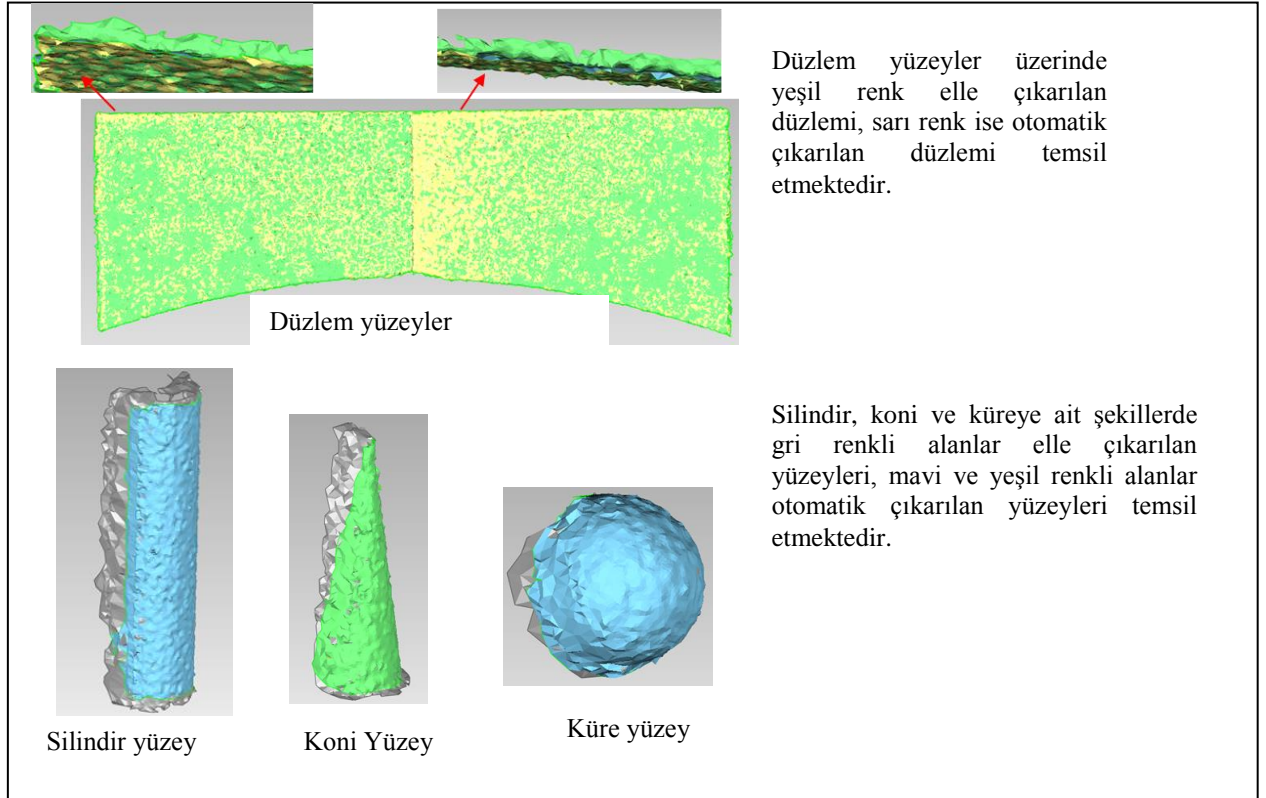
4. RANSAC ALGORİTMASI İLE ÇIKARILAN GEOMETRİK YÜZEYLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

RANSAC algoritması ile nokta bulutu verilerinden otomatik olarak çıkarılan yüzeylerin doğruluklarını araştırmak için çalışmada kullanılan test veri seti içinde yer alan düzlem, silindir, küre ve koni nesneleri veri setinden RiScan Pro yazılımında elle de çıkarılmıştır. Otomatik çıkarılan yüzeylerin doğruluklarını araştırmak için elle çıkarılan yüzeyler doğru kabul edilmiştir. Yüzeylerin karşılaştırma işleminde ortak olarak çıkarılan noktaların belirlenmesi için MATLAB ortamında kısa bir kod yazılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucu elde edilen sonuçlar çizelge 1’de sunulmuştur. Çizelge 1’de verilen değerlere göre otomatik olarak çıkarılan noktaların elle çıkarılan noktalara göre tutarlılığı % 85’in üzerindedir.

Çizelge 1. Test verisi içinde yer alan yüzeylerin elle ve otomatik olarak çıkarılan nokta sayılarının karşılaştırılması

Geometrik Şekil	Elle Çıkarılan Yüzey Nokta Sayısı (E)	Otomatik Çıkarılan Yüzey Nokta Sayısı (O)	$O \cap E$	O/E	E/O	Ortak olarak çıkarılan noktaların $(O \cap E)$ elle çıkarılan noktalara (E)Yüzde Oranı (%)
Düzlem Yüzey Masa Ön Cephe	167109	165294	164944	350	2165	98.70
Silindir Yüzey	6579	5690	5689	1	890	86.47
Koni Yüzey (Test veri seti içinde sağ tarafta yer alan koni)	3512	3118	3118	0	394	88.78
Küre Yüzey	1967	1952	1940	12	27	98.63

Elle çıkarılan düzlemler ile otomatik olarak çıkarılan düzlemler arasındaki farkları görmek için her iki yöntemler çıkarılan nokta bulutlarına görselleştirme amacı ile Geomagic Studio 2012 yazılımında yüzey ağı modellemesi (meshing) yapılmıştır. yapılan görselleştirme sonucunda nokta bulutları arasındaki farkların daha çok kenar bölgelerde olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Elle ve otomatik olarak çıkarılan verilerin karşılaştırılması

5. SONUÇ

Bu çalışmada yersel lazer tarayıcı verilerinden elde edilen nokta bulutu verisine RANSAC algoritması uygulanarak nokta bulutu içinde yer alan düzlem, küre, silindir, koni gibi basit geometrik şekle sahip yüzeylerin otomatik olarak çıkarılması sağlanmıştır. Yapılan bu işlem geometrik temelli modelleme yönteminin segmentasyon aşamasını temsil etmektedir.

Yüzey çıkarma işleminde en hassas bir şekilde belirlenmesi gereken parametre t eşik değeridir. t eşik değerinin büyük bir değer olarak belirlenmesi yüzeye ait olmayan noktaların modele atanmasına, küçük bir değer olarak belirlenmesi de modele ait noktaların model dışında kalmasına neden olmaktadır.

Koni, silindir ve küre yüzey çıkarma işleminde gerekli olan modelin oluşturulabilmesi için belirli parametrelerin kullanıcı tarafından tanımlanması gerekmektedir. Bu parametreler küre için maksimum minimum yarıçap uzunluğu, silindir yüzeyler için maksimum minimum yarıçap, epsilon açısı ve silindir modelin aranacağı eksen doğrultusudur, koni yüzey içinse silindir yüzeyden farklı olarak koni tepe açısının belirlenmesi gerekmektedir. Bu parametrelerin algoritmanın uygulanacağı veri setine göre gerçekçi ve tutarlı bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir aksi takdirde çok farklı sonuçlar elde edilebilmektedir.

Çalışma kapsamında RANSAC algoritması ile otomatik olarak çıkarılan yüzeylerin doğrulukları elle çıkarılan yüzeylerle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda elle veri çıkarma işleminde özellikle yüzey geçiş bölgelerinde hatalı yüzey çıkarma işlemi gerçekleştirilebildiği görülmüştür. Bununla birlikte otomatik ve elle çıkarılan yüzeylerin sahip oldukları ortak noktalar, elle çıkarılan yüzeylere oranlandığında büyük ölçüde çıkarılan yüzeylerin tutarlı olduğu görülmüştür.

Yapılan karşılaştırma ve değerlendirmeler sonucunda, RANSAC algoritmasının yersel lazer tarayıcılar ile elde edilen nokta bulutu verisi içinden otomatik yüzey çıkarma işleminde oldukça etkin bir araç olduğu görülmüştür. Özellikle düzlem yüzey çıkarma hızı ve başarısı algoritmanın düzlem yüzeye sahip nesnelerin çıkarımında kullanılabileceğini göstermiştir.

6. KAYNAKLAR

Boulaassal, H., Landes, T., Grussenmeyer, P. and Tarsha-Kurdi, F., (2007) " Automatic segmentation of building facades using terrestrial laser data." International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Systems, page:65-70.

Boulaassal, H., Chevrier, C. and Landes, T. (2010). "From laser data to parametric models: towards an automatic method for building façade modelling." Digital Heritage, Lecture Notes in Computer Science Volume 6436, pp 42-55 Springer.

Fischler, M. A. and R. C. Bolles (1981). "Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography." Communications of the ACM 24(6): 381-395.

Hartley, R. and A. Zisserman (2000). Multiple view geometry in computer vision, Cambridge Univ Press.

Pu, S. and G. Vosselman (2009). "A13_Knowledge based reconstruction of building models from terrestrial laser scanning data." ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 64(6): 575-584.

Rusu, R. B., (2008), " Semantic 3D Object Maps for Everyday Manipulation in Human Living Environments." Phd. Thesis, Institute for Informatic, Technische Universität München, Germany.