

## **RANSAC ALGORİTMASI İLE YERSEL LAZER TARAYICI VERİLERİNDEN BİNA CEPHELERİNİN OTOMATİK OLARAK ÇIKARILMASI**

R. Çömert<sup>a</sup>\*, U. Avdan<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Anadolu Üniversitesi, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, 26555, İki Eylül Kampüsü, Eskişehir, Türkiye, (rcmert,  
uavdan}@anadolu.edu.tr

**Anahtar Kelimeler:** Segmentasyon, RANSAC, Yersel Lazer Tarayıcı, Otomatik Cephe Çıkarımı,

### **ÖZET:**

Gelişen teknolojilere paralel olarak, kentsel alanlarda yapılacak olan coğrafi bilgi sistemleri çalışmaları, kültürel mirasın belgelenmesi ve kentsel planlama uygulamaları gibi birçok alanda gerçekçi 3 boyutlu bina modellerine ihtiyaç duyulmaktadır. Hava lazer sistemleri (LiDAR) kullanılarak kentsel alanlara ait sayısal yükseklik modelleri ve 3 boyutlu modeller üretilebilmektedir. LiDAR verileri kullanılarak, üretilen bina modelleri, bina çatıları ile sınırlı kalmakta ve cephe detaylarının içermemektedir. Tam ve gerçekçi 3 boyutlu bina modeli elde etmek için, bina çatıları ile birlikte bina cephelerinin de modellenmesine ihtiyaç vardır. Veri toplama hızı, hassasiyeti ve kullanılabilirliği açısından yersel lazer tarayıcılar, bina cephelerinin 3 boyutlu modellenmesi için gerekli verilerin toplanmasında uygun araçlar haline gelmiştir. Yersel lazer tarayıcılar kullanılarak kentsel alanda karmaşık, düzensiz ve düzenli yapılara ait 3 boyutlu nokta bulutları kolaylıkla elde edilebilmektedir. Yersel lazer tarayıcılar ile veri toplama hızı ve hassasiyeti her geçen gün artmasına rağmen, bu sistemler ile elde edilen verilerden otomatik olarak 3 boyutlu model üretme günümüzün araştırma konuları arasındadır.

Yersel lazer tarayıcılardan elde edilen nokta bulutu verisi ile 3 boyutlu bina modeli oluşturmada en önemli işlem adımlarından birisi nokta bulutu verisinin segmentasyonudur. Segmentasyon işlemi, bina cephelerinin geometrik olarak ifade edilebilen düzlem, yay, çizgi vb. detaylarının tespit edilerek nokta bulutundan çıkarılması olarak tanımlanabilir. Bina cepheleri incelendiğinde, binaların çoğunun düzlem bir yüzeye sahip olduğu görülür. Bundan dolayı bu çalışmanın amacı binalara ait nokta bulutu verilerinden, cephelere ait düzlemsel yüzeylerin segmente edilerek otomatik olarak çıkarılmasıdır. Bina düzlem cephelerinin çıkarılması için Rastgele Örnek Konsensüsü (RANSAC: RANdom SAmple Consensus) algoritması kullanılmıştır. RANSAC algoritması çok sayıda aykırı değer içeren veri setlerinden model parametrelerinin hesaplanması için özellikle bilgisayarla görme (computer vision) alanında geniş bir alanda kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında öncelikle farklı yoğunluğa ve farklı cephe detaylarına sahip nokta bulutu verisinde mevcut tüm düzlem cepheler RANSAC algoritması ile otomatik olarak tespit edilerek çıkartılmıştır. Daha sonra otomatik olarak çıkarılan cephelerin doğruluğunu araştırmak için elle çıkarılan cephe ile otomatik olarak çıkarılan cephe karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında RANSAC algoritmasının düzlem cephe çıkarımında etkili bir araç olduğu sonucuna varılmıştır.

---

\* İlgili yazar.

## 1. GİRİŞ

Coğrafi bilgi sistemleri uygulamaları, sanal turizm uygulamaları, kentsel planlamalar, seyrüsefer sistemleri gibi birçok alanda gerçekçi 3 boyutlu bina modellerine ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü 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).

3 boyutlu kent modelleri oluşturmak için gerekli verilerin elde edilmesinde hava fotogrametrisi ve LiDAR kullanılmaktadır. Bu tekniklerle elde edilen veriler ayrı ayrı veya birlikte kullanılarak 3 boyutlu kent modelleri ve sayısal arazi modelleri elde edilebilmektedir (Dorninger ve Pfeifer 2008). Ancak hava fotogrametrisi ve LiDAR'dan elde edilen veriler bina çatıları ile sınırlı kalmaktadır. Binalara ait tam bir gerçekçi model oluşturabilmek için bina cephelerinin de modellenmesine ihtiyaç vardır. Son yıllarda, özellikle veri toplama hızı ve hassasiyetinden dolayı yersel lazer tarayıcılar kentsel alanlara ait 3 boyutlu veri toplama etkin araçlar haline gelmiştir. Yersel lazer tarayıcılar ve mobil lazer tarayıcılar kullanılarak kentsel alanlarda binalara ait hızlı ve hassas 3 boyutlu nokta bulutu verisi elde etmek mümkündür (Boulaassal, vd. 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 genellikle karmaşık ve düzensiz bir mimariye sahip binaların modellenmesinde kullanılır. Geometrik temel esaslı model oluşturma ise geometrik olarak tanımlanabilen binaların (düzlem, silindir vb.) modellenmesinde kullanılmaktadır (Boulaassal, vd. 2007).

Günümüzde birçok bina geometrik olarak ifade edilebilen düzlem bir yüzeye sahiptir. Bundan dolayı bu yapıların modellenmesinde geometrik temel esaslı modelleme tekniği kullanılmaktadır. Düzlem bir yüzeye sahip binalar için uygulanan geometrik temel esaslı modelleme genel olarak üç işlem aşamasından oluşur. Bunlar bina düzlem yüzeylerinin çıkarıldığı segmentasyon aşaması, çıkarılan cephe düzlemlerinden kenar noktaların çıkarılma aşaması ve son olarak kenar noktalarından binanın yeniden inşası (reconstruction) aşamasıdır.

Bu çalışmada örneklem olarak seçilen 3 farklı nokta bulutu verisinden bina cepheleri otomatik olarak segmente edilerek çıkarılmıştır. Segmentasyon işlemi için RANSAC algoritması kullanılmıştır. Çalışma sonucunda otomatik olarak çıkarılan cephelerin doğruluğu elle ile çıkarılan cepheler ile karşılaştırılarak araştırılmıştır. Çalışma sonucunda RANSAC yöntemin otomatik cephe çıkarımı için uygun bir yöntem olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

## 2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Yersel lazer tarayıcılardan elde edilen nokta bulutu verisinden 3 boyutlu cephe modeli oluşturma işleminde genel olarak kullanılan iki farklı segmentasyon yöntemi vardır. Bunlar bölge gelişimi (region growing) temelli cephe çıkarımı ve RANSAC tabanlı cephe çıkarımıdır.

Bölge gelişimi tabanlı segmentasyon algoritması genellikle düzlem yüzeylerin çıkarılması için kullanılmıştır. Bölge gelişimi yönteminde genel olarak tohum bir yüzey tanımlanır ve yüzeyi genişletmek için özel bir mesafe tanımlanır. Bu mesafe sınırları içinde kalan noktalar yüzeye atanarak yüzey geliştirilir. Daha sonra geliştirilen tohum yüzeye atanan noktalar dikkate alınarak bir düzlem geçirilir ve düzlem eşitliği elde edilir. Noktaların düzleme dikey uzaklığı bu eşitliğe göre belirli bir eşik değerinin altındaysa düzleme atanarak genel (global) düzlem çıkarılır (Boulaassal, vd. 2007). Bu yöntem nokta bulutu içindeki düzlem yüzeylerin tespit edilmesinde (Vosselman, vd. 2004), bina cephelerinin çıkarılmasında (Belton ve Lichti 2006; Pu ve Vosselman 2006), bina cephelerine ait pencerelerin çıkarılmasında (Pu ve Vosselman 2007), bilgi tabanlı olarak binaların yeniden inşasından düzlemsel cephelerin çıkarılması (Pu ve Vosselman 2009) gibi çalışmalarda kullanılmıştır.

Nokta bulutu verisinden düzlem cephe çıkarımı kullanılan diğer bir yöntem olan RANSAC paradigması, model parametrelerinin tahminlemesi uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Yersel lazer tarayıcı verilerinden binalara ait düzlem cephelerin çıkarılması alanında ilk kez Boulaassal, vd. 2007 tarafından kullanılmıştır. Çalışmada örneklem olarak seçtikleri bir bina cephesindeki farklı düzlem cepheler çıkartılmış ve yöntemin doğruluğu test edilmiştir. Daha sonraki yıllarda bu algoritma bina cephelerinden düzlem yüzeylerin otomatik olarak çıkarılması amacıyla birçok çalışmada (Alshawa, vd. 2009; Boulaassal vd. 2010; Boulaassal, vd. 2011; Arachçığe ve Mass 2012) kullanılmıştır.

## 3. MATERYAL VE YÖNTEM

### 3.1 Materyal

Bu çalışmada iki adet yapıya ait yersel lazer tarayıcı verisi kullanılmıştır. Bu veri Eskişehir Sivrihisar ilçesinde yapılan sokak sağlıklaştırması projesi kapsamında elde edilen veriler içinden seçilmiştir. İlk veri millet caddesinde yer alan iki katlı bir yapının ön cephesine ait nokta bulutu verisidir (Şekil 1a). Nokta bulutu verisi tek istasyondan elde edilen 549285 adet nokta içermektedir. İkinci veri ise yine millet caddesi üzerinde bulunan bir konuta ait nokta bulutu verisidir (Şekil 1b). Bu nokta bulutu verisi 582118 noktadan oluşmakta ve içinde 2 ayrı istasyondan elde edilmiş noktaların birleştirilmiş hali yer almaktadır.



Şekil 1: çalışmada kullanılan veri setleri

Çalışmada kullanılan nokta bulutu verileri Riegl marka LMS Z-390i model yersel lazer tarayıcı ile elde edilmiştir. Bu yersel 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 0.7µm - 1.3 µm arasında değişen dalga boyuna sahiptir. Tarayıcı 80° düşey eksen ve 360° yatay eksen yönünde dönme kabiliyetine sahiptir. Tarayıcı ile bir saniye içinde 8000 - 11000 arası nokta verisi elde edebilmektedir (Çömert vd. 2012).

## 3.2 Yöntem

Bu çalışmada 2 farklı yapı cephesine ait 3 boyutlu nokta bulutu verisinden yapı cephelerine ait düzlem yüzeylerin RANSAC algoritması ile segmentasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan segmentasyon kavramı nokta bulutu verisi içinden düzlem yüzeye sahip olan cephelerin bulunup çıkarılmasıdır.

### 3.2.1 RANSAC Algoritması

RANdom SAMple Consensus algoritması çok sayıda aykırı değer (outlier) içeren bir veri setinden kuvvetli ve başarılı bir model tahminleme aracı olarak (Fischler ve Bolles 1981) geliştirilmiştir. Bu yöntem geleneksel model tahminleme yöntemlerinin aksine olabildiğince az sayıda başlangıç verisi kullanarak veri setinin uygun modelini bulana kadar girdi veriyi genişletir. Yöntem aşağıdaki algoritmada özetlenmiştir (Fischler and Bolles 1981; Hartley ve Zisserman 2003)

#### Amaç

Aykırı değer içeren S veri seti için uygun modelin seçilmesi

#### Algoritma

(i) S veri seti içinden rastgele s sayıda örnek veri noktası seç ve bu alt veri setine göre model parametrelerini hesapla.

(ii) Modele belirlenen bir eşik değeri t (threshold) uzaklığı içinde kalan noktaları modele ata ve atanan bu noktalar için Si veri setini belirle. Si veri seti örnek verinin Konsensüsüdür ve S veri seti için uygun (inlier) değerleri tanımlar.

(iii) Eğer Si'nin boyutu (uygun nokta sayısı) T eşik değerinden daha büyük ise, modeli Si içindeki tüm noktaları kullanarak yeniden tahminle ve işlemi bitir.

(iv) Eğer Si'nin boyutu (uygun nokta sayısı) T eşik değerinden daha küçük ise, yeniden s sayıda örnek veri noktası seç ve yukarıdaki işlemleri tekrarla

(v) N sayıda deneme sonunca en büyük Si konsensüsü seçilir ve model Si alt veri seti içinde yer alan tüm noktalar kullanarak yeniden hesaplanır.

Algoritma 1: RANSAC Algoritmasının özet gösterimi

Uygun modelin bulunması için yapılacak N deneme sayısı eşitlik 1'e göre hesaplanmaktadır. Burada, p doğru modelin seçilme olasılığı seçilen noktaların modele aykırı olma olasılığı, s ise model parametrelerini hesaplamak için rastgele gereken minimum nokta sayısıdır (düzlem bir yüzeyin model parametreleri için s = 3).

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

### 3.2.2. Bina Cephelerinin Çıkarılması

Bu çalışmada örneklem veri olarak alınan nokta bulutu verilerinden RANSAC algoritması kullanılarak, bina cephelerinden düzlem yüzeye sahip cepheler otomatik olarak çıkarılmıştır. RANSAC algoritması ile düzlem yüzeylerin çıkarılması için rastgele seçilen 3 nokta ile düzlem parametreleri hesaplanır. Düzlem parametreleri (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 verilen bir eşik değeri (t) içinde kalan noktalar düzleme atanır. Noktaların verilen eşik değeri 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).

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

Çalışmada bina cephesi üzerinde yer alan bütün potansiyel düzlemleri çıkarmak için RANSAC algoritması C++ derlenmiştir. Algoritmanın oluşturulmasında açık kodlu bir kütüphane olan nokta bulutu kütüphanesinden (point cloud library) den yararlanılmıştır (<http://pointclouds.org/>). Nokta bulutu kütüphanesi açık kodlu bir kaynak olup ticari ve araştırma amaçlı uygulamalarda ücretsiz olarak kullanılabilir. C++ ortamında derlenen RANSAC

algoritması örneklem nokta bulutlarına ardışık olarak uygulanmıştır. RANSAC algoritmasının veri setlerine ardışık olarak uygulanmasındaki amaç nokta bulutları içindeki tüm düzlemleri çıkarmak ve bir noktanın birden fazla düzlem içine girmesini önlemektir. Bu kapsamda ardışık RANSAC algoritmasının uygulanma şekli şu şekildedir. RANSAC algoritması Algoritma 1'de gösterildiği gibi örneklem olarak seçilen veri setine uygulanır ve veri seti için en uygun düzlem belirlenir. Verilen t eşik değerine göre düzleme kalan noktalar örneklem veri seti içinden çıkarılır. Geriye kalan veri kümesine tekrardan algoritma uygulanır. Veri seti için uygun düzlem belirlenir ve düzleme düşen noktalar veri setinden çıkarılır. İşlem potansiyel tüm düzlemler çıkarılncaya kadar devam eder.

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. Yersel lazer tarayıcılarla elde edilen bina cephelerine ait nokta bulutları bina yüzeylerinin pürüzlülüğü, tarayıcı hassasiyeti, lazer ışınlarının saçılımı gibi nedenlerden dolayı tam anlamı ile düzlem bir yüzey sahip değildir. Bundan dolayı düzlem cephe çıkarmasında cephelere ait nokta bulutu için bir kalınlık belirlemek gerekmektedir. Belirlenen bu kalınlık t değeri olacaktır. Yersel lazer tarayıcılardan elde edilen nokta bulutlarından cephe çıkarması için t değeri deneysel olarak belirlenmektedir. Literatürde bu değer 2 cm – 4 cm arasında değişmektedir (Boulaassal, vd. 2007).

Bu çalışmada örneklem olarak kullanılan veri setleri için ihtiyaç duyulan t değerini bulmak için, deneysel olarak denemeler yapılmıştır. İlk örneklem nokta bulutu verisinden düzlem yüzeylerini çıkarılmasında, uygun t değerini belirlemek için tablo 1'de gösterilen eşik değeri mesafelerine göre RANSAC algoritması nokta bulutu verisine uygulanmıştır. Veri setine için t değeri ilk önce 2 cm olarak verilmiştir. 2 cm'lik t değerine göre otomatik olarak 26 adet düzlem çıkarılmış tek bir düzlem olarak çıkarılması gereken cephe birden fazla düzlem ile çıkarılmıştır. Şekil 2'de 2 cm t değerine göre çıkarılan ilk altı düzlem gösterilmiştir. Her bir renk farklı düzlemi ifade etmektedir.



Şekil 2. t = 2 cm için çıkarılan ilk 6 yüzey

t eşik değeri 6 cm ye kadar arttırılmış ve konuta ait nokta bulutu için uygun değer 5 olduğu sonucuna ulaşılmıştır. t eşik değeri 5 cm'den küçük alındığında düzlem sayısı arttığı 5 cm'den küçük alındığında düzlem sayısını azaldığı ancak çıkarılan düzlemlere çatıya ve pencere kenarlarına ait fazladan verilerin ilave olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 3'de t = 5 değerine göre çıkarılan düzlemler gösterilmiştir. Her renk ayrı düzlemi temsil etmektedir.

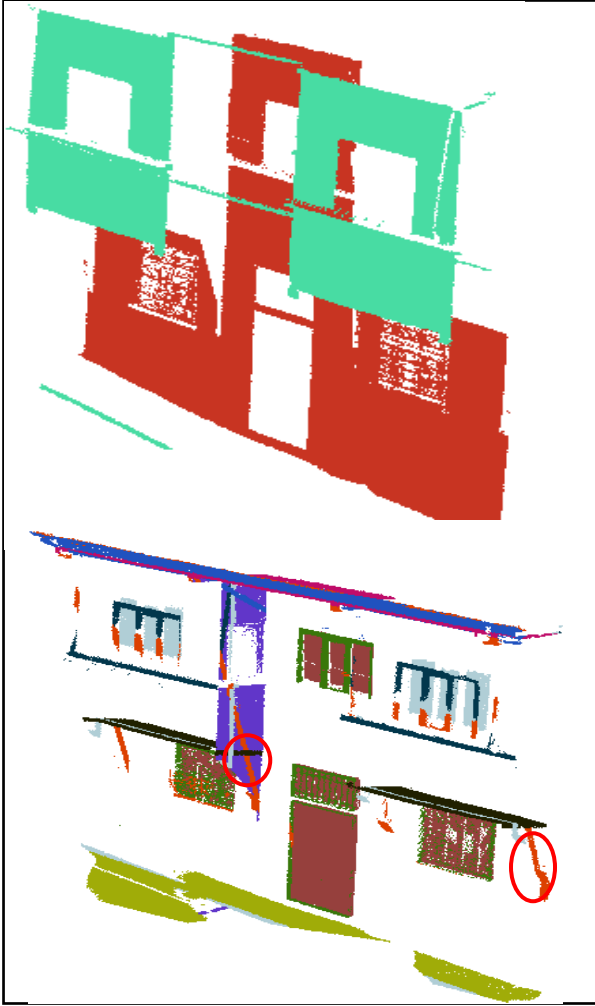


Şekil 3. t = 5 cm değerine göre çıkarılan düzlemler.

Şekil 4 ise t = 5 göre çıkarılan düzlemler ana iki cephe ve diğer 10 cephe olmak üzere iki görüntü olarak sunulmuştur. Çıkarılan düzlemler şu şekilde sıralanmaktadır. Pencere ve kapılar için 4, ön cepheler için 2, yan cephe için 1, zemin için 1 ve çıkma kat altı için 1, çatı düz tavanı ve eğik tavanı için 2 adet düzlem çıkarılmıştır. Son düzlem ise şekil 4 de daire içinde gösterilmiş ikinci katta bulunan çıkmayı destekleyen ağacın sahip olduğu eğik düzlemine göre çıkarılmıştır.

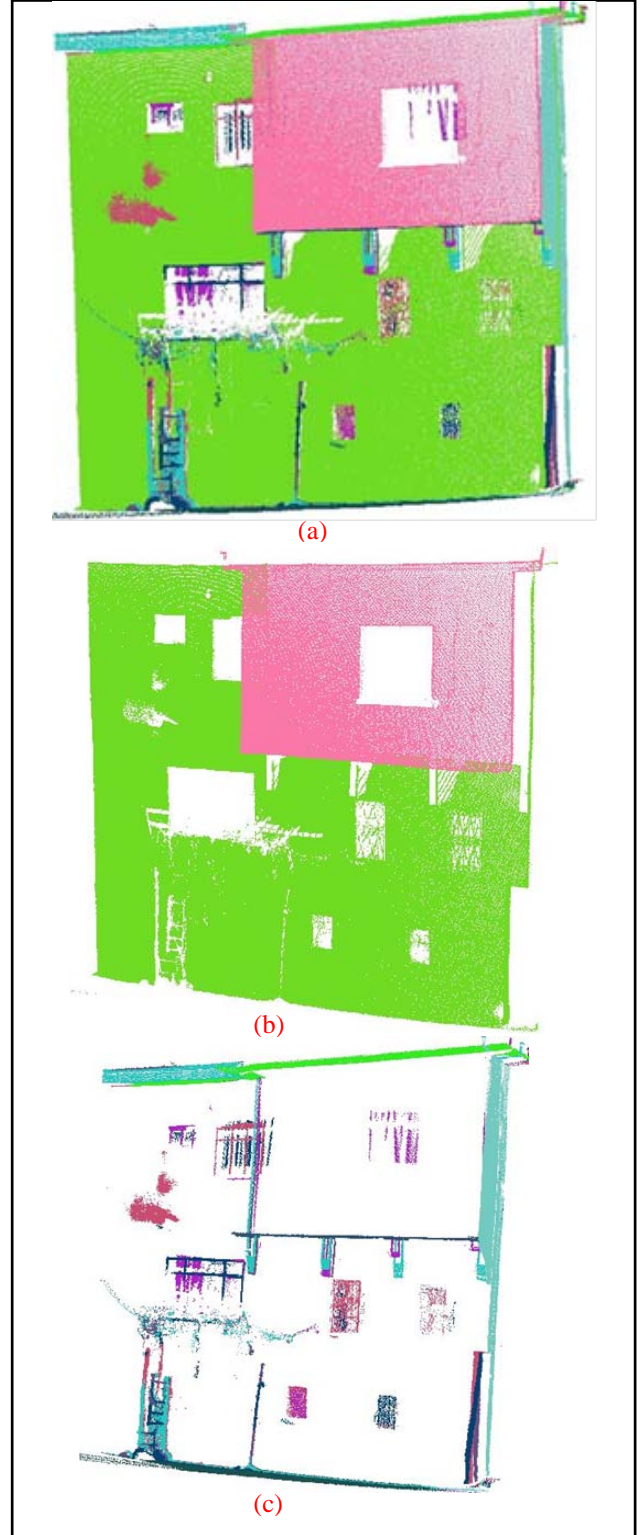
t eşik değeri mesafesi (cm)	Çıkarılan düzlem yüzey sayısı
2.0	26
3.0	18
3,5	16
4.0	14
4.5	13
5.0	12
5.5	12
6.0	11

Tablo 1: ilk konut örneklem verisinin uygun t eşik değeri mesafesi için denene t değerleri



Şekil 4.  $t = 5$  değerine göre çıkarılan düzlemlerin ayrı ayrı gösterimi

İkinci örneklem verisi için gerekli olan  $t$  değerini belirlemek için ilk örneklem verisinde olduğu gibi farklı eşik değerleri verilerek RANSAC algoritması veri setine uygulanmıştır. Uygulama sonucunda ikinci veri seti için uygun  $t$  değeri 4.5 cm olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 6'da  $t = 4.5$  cm eşik değeri uzunluğuna göre ikinci veri setinden çıkarılan düzlemler bütünleşik ve ayrı ayrı gösterilmiştir. Otomatik olarak çıkarılan ilk iki düzlem bina cephesinin ana hatlarını göstermektedir (Şekil 6b). Şekil 6c de ise ana hatlar dışında pencere perdeleri, zemin ve yan cephe çıkıntısı gibi alanlara ait düzlemler görülmektedir.

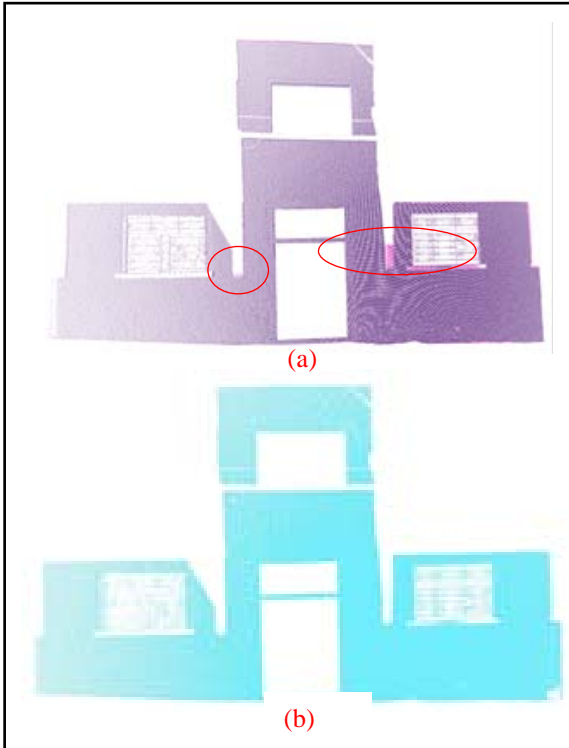


Şekil 5.  $t = 4.5$  değerine göre çıkarılan düzlemler

#### 4. BULGULAR

RANSAC algoritması ile nokta bulutu verilerinden otomatik olarak çıkarılan düzlemlerin doğruluklarını araştırmak için yukarıda iki farklı veriden otomatik olarak çıkarılan iki adet düzlem benzer şekilde elle çıkarılmıştır. Otomatik çıkarılan düzlemlerin doğruluklarını belirlemek için elle çıkarılan düzlemler doğru kabul edilmiştir. Bu düzlemlerden ilki ilk

örneklem verisinden çıkarılan en büyük düzlem olan ana cephe parçasıdır (Şekil 6). Tablo 2'de bu düzlem için otomatik (O) ve elle (E) çıkarılan nokta sayıları verilmiştir. Bu düzlem için otomatik olarak 213672 adet nokta, elle ise 210867 adet nokta çıkarılmıştır. Otomatik ve elle çıkarılan noktalar içinde 208377 nokta ortak olarak çıkarılmıştır. Ortak olarak çıkarılan noktalar elle çıkarılan noktaların %98.79'unu denk gelmektedir. Şekil 6a da otomatik ve elle çıkarılan noktalar üst üste çakıştırılmıştır. Kırmızı daire ile gösterilen alanlar otomatik çıkarılan noktaların elle çıkarılardan farklı olduğu noktaları (O\E) göstermektedir. Elle çıkarılan düzleme ait noktaların otomatik olarak çıkarılardan farklı (E\O) ise daha çok pencere kenarlarında gözlemlenmiştir. Şekil 6 b'de ise her iki düzlemde ortak olarak çıkarılan noktalar gösterilmiştir. Genel olarak otomatik çıkarılan düzlem bina cephesi ile örtüşmektedir.



Şekil 6. a: otomatik ve elle çıkarılan düzlemlerin çakıştırılması;  
b: otomatik ve elle çıkarılan düzlemlerin sahip olduğu ortak noktalar.

Düzlem Adı	Nokta Sayısı
Otomatik (O)	213672
Elle (E)	210867
Kesişim ( $O \cap E$ )	208377
$O \setminus E$	2552
$E \setminus O$	5352

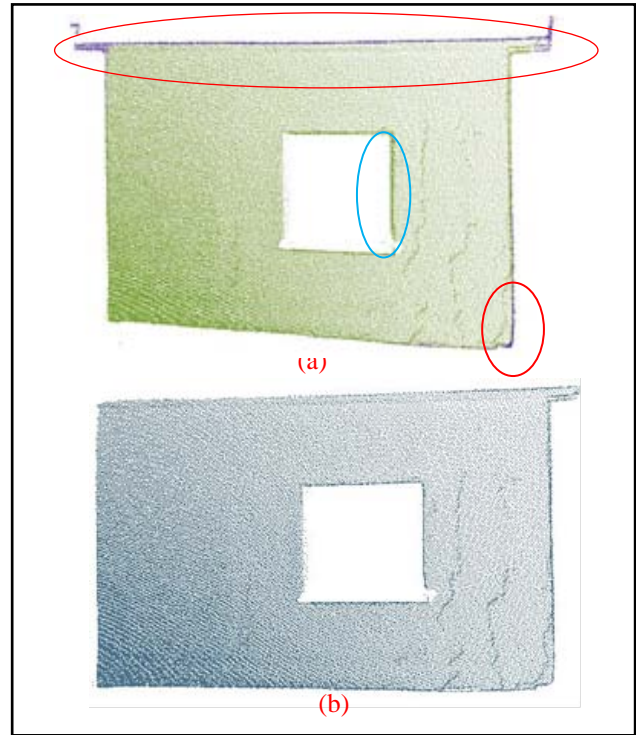
Tablo 2. Birinci örneklem verisi için otomatik ve elle çıkarılan noktaların karşılaştırılması

Düzlemlerin değerlendirilmesi için ikinci olarak diğer veri setinden çıkarılan ikinci büyük düzlem elle veri setinden çıkarılmıştır (Şekil 7). Tablo 3'de bu düzleme ait bilgiler verilmiştir. Düzlem için otomatik olarak 47807 elle 46267 adet nokta çıkarılmıştır. Elle ve otomatik olarak çıkarılan düzlemlerdeki ortak nokta sayısı ise 45377'dir. Bu değerlere göre ortak noktalar elle çıkarılan noktaların % 98.07'sine denk gelmektedir. Otomatik olarak çıkarılan noktaların elle çıkarılan noktalara göre farkları (O\E) şekil 7a'da kırmızı daire ile

gösterilmiştir. Elle çıkarılan noktaların otomatik olarak çıkarılana göre farklarının olduğu yerler ise mavi daire ile gösterilmiştir. Şekil 7b otomatik ve elle çıkarılan düzlemlere ait ortak noktaları göstermektedir.

Düzlem Adı	Nokta Sayısı
Otomatik (O)	47807
Elle (E)	46267
Kesişim ( $O \cap E$ )	45377
$O \setminus E$	2430
$E \setminus O$	890

Tablo 3. ikinci örneklem verisi için otomatik ve elle çıkarılan noktaların karşılaştırılması



Şekil 7. a: otomatik ve elle çıkarılan düzlemlerin çakıştırılması;  
b: otomatik ve elle çıkarılan düzlemlerin sahip olduğu ortak noktalar.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada örneklem olarak seçilen iki adet yersel lazer tarayıcı verisi içinden RANSAC algoritması ile düzlem yüzeylerin otomatik olarak çıkarılmıştır. Bu kapsamda veri setlerinden düzlemlerin çıkarılması için gerekli olan eşik değeri mesafeleri (t) yapılan denemeler ile deneysel olarak belirlenmiştir. Belirlenen t değerine göre her iki veri setinde bulunan mevcut tüm düzlemler çıkarılmıştır. Çıkarılan düzlemlerin doğruluklarını test etmek için otomatik olarak çıkarılan düzlemler elle çıkarılan düzlemlerle karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda otomatik olarak çıkarılan düzlemlerin elle çıkarılan düzlemlerle örtüştüğü görülmüştür. Ayrıca yapılan çakıştırmalarla otomatik ve elle çıkarılan düzlemler arasındaki farkların genel olarak binanın ana cephelerini etkileyecek düzeyde olmadığı gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada bina cephelerinde yer alan yatay, dikey eğimli her türlü düzlemin otomatik olarak RANSAC algoritması ile çıkarımının gerçekleştirildiği görülmüştür. Bundan sonraki çalışmalarda sadece dikey veya sadece yatay düzlemlerin nasıl çıkarılabileceği üzerinde durulacaktır. Ayrıca yapılan cephe çıkarımlarında pencere perdelerinden yansıyan lazer ışınları içinde ayrı düzlemler oluşturulduğu gözlemlenmiştir. Gelecekteki çalışmalarda bu sorununda giderilmesi için araştırmaların yapılması gerekmektedir.

## **6. KAYNAKLAR**

Alshawa, M., Boulaassal, H., Landes, T., Grussenmeyer, P. (2009). "Acquisition and automatic extraction of facade elements on large sites from a low cost laser mobile mapping system." ISPRS/3DARCH09.

ARACHCHIGE, N. H. ve MAAS, H.-G. (2012). "Automatic Building Facade Detection in Mobile Laser Scanner point Clouds." DGPF Tagungsband 21 / 2012.

Belton, D. ve Lichti, D. D. (2006). "Classification and segmentation of terrestrial laserscanner point clouds using local variance information." IAPRS, XXXVI 5.

Boulaassal, H., Chevrier, C., Landes, T. (2010). From laser data to parametric models: towards an automatic method for building façade modelling. Digital Heritage, Springer: 42-55.

Boulaassal, H., Landes, T., Grussenmeyer, P. (2011). "3D modelling of facade features on large sites acquired by vehicle based laser scanning." Archives of Photogrammetry, Cartography and Remote Sensing edited by Polish Society for Photogrammetry and Remote Sensing 22: 215-226.

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

Çömert, R., Avdan U., Tün, M., Ersoy, M., (2012). "Mimari Belgelemede Yersel Lazer Tarama Yönteminin Uygulanması (Seyitgazi Askerlik Şubesi Örneği)." Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi 4(1): 1-18.

Dorninger, P.ve Pfeifer N. (2008). "A comprehensive automated 3D approach for building extraction, reconstruction, and regularization from airborne laser scanning point clouds." Sensors 8(11): 7323-7343.

Fischler, M. A. ve Bolles, R. C. (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 (2003). Multiple view geometry in computer vision, second edition ambridge, UK ; New York : Cambridge University Press, 2003.

Pu, S. ve Vosselman, G. (2006). "Automatic extraction of building features from terrestrial laser scanning." International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 36(5): 25-27.

Pu, S. ve Vosselman, G. (2007). Extracting windows from terrestrial laser scanning. ISPRS Workshop on Laser Scanning.

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

Vosselman, G., Gorte, H., Sithole, G., Rabbani, T. (2004). "RECOGNISING STRUCTURE IN LASER SCANNER POINT CLOUDS." International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 46(6): 33-38.