

Nokta Bulutlarının Birleştirilmesinde Farklı Yöntemlerin Karşılaştırılması

Ahmet Batuhan Polat^{1*}, Özgün Akçay¹

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 17100 Çanakkale

Özet

Lazer tarayıcılar veya fotogrametrik yöntemler ile elde edilen ve uzay koordinat sisteminde tanımlanmış olan noktalardan oluşan nokta bulutları, bir çok mühendislik probleminin kolaylıkla çözülmesini sağlamaktadır. Bunlardan bazıları yüzey modellemesi, tarihi eser restorasyonu, deformasyon analizi gibi işlemlerdir. Özellikle arazi objelerinin geniş ölçekte oluşturulan nokta bulutları farklı istasyonlardan elde edilen verilerin bir araya getirilmesiyle üretilir. Nokta bulutu birleştirilmesi olarak da ifade edilen bu işlem, iki veya daha fazla nokta bulutunun belirli matematiksel hesaplamalar yardımıyla birleştirilmesi ve aynı koordinat sisteminde eşleştirilmesidir. Ancak, farklı lokal koordinat sistemlerinde oluşturulan nokta bulutlarının birlikte değerlendirilmesi, mühendislik projelerindeki önemli problemlerden biridir. Bu çalışmanın amacı iki farklı nokta bulutunda iteratif yakın nokta (İEYN) ve manuel nokta seçimi ile yapılan birleştirme yöntemlerini uygulamak ve nokta bulutlarına uygulanan gürültü filtrelerinin bu birleştirme işlemlerine olan etkisini incelemektir. Birleştirilen nokta bulutlarının, göreceli konumsal doğruluklarını karşılaştırarak optimal yöntemi ortaya koymaktır. Bu kapsamda, birleştirilen tüm nokta bulutları için mesafe ölçümü ve standart sapmaları hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Mesafe ölçümleri gerçekleştirilirken, nokta bulutlarına yerel model tanımlanmış ve sonuca olan etkisi gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, gürültü filtresi uygulanmayan İEYN yönteminin uygulandığı ve yerel model tanımlanarak birleştirilen nokta bulutu 0.009594 m ortalama mesafe ve 0.36142 cm standart sapma ile en optimal sonucu vermiştir.

Anahtar Sözcükler: Nokta Bulutu, Birleştirme, Filtreleme, Üç boyutlu, İterasyon, Fotogrametri

1. Giriş

Nokta bulutları, fotoğraflara benzer şekilde çevremizde bulunan nesneleri tanımlayan anlamsal bilgileri toplar. Bir görüntüde bilgiler iki boyutlu olarak belirtilirken, nokta bulutlarında bu bilgiler üç boyutlu olarak anlaşılmaktadır. Nokta bulutlarının analizi için son yıllarda yeni yöntemler geliştirilmiştir. Bu gelişmeler üç boyutlu tarama teknolojisindeki ilerlemeden, nokta bulutlarının analizinde kullanılacak olan makine öğrenimi algoritmalarının gelişimine kadar belirtilebilir (Elbaz vd. 2017). 3 boyutlu yüzey ölçüm tekniklerinin hızlı bir şekilde gelişmesi sonucu nokta bulutları kolayca kaydedilip, kullanımı popüler hale gelmiştir. Düşük maliyetle elde edilen nokta bulutları ve güçlü bilgi işlem cihazları sayesinde ölçüm, bilgisayar görüşü ve bilgisayar grafikleri gibi geniş bir alan yelpazesinde çalışma olanağı sağlanmaktadır (Guo vd. 2014).



Şekil 1. Örnek Nokta Bulutu

Birbirinden bağımsız noktaları tek tek kullanıp işlem yapabilme olanağı, nokta bulutlarının kullanılabilirliğini göstermektedir. Nokta bulutlarını görüntülemek, düzenlemek, filtrelemek gibi işlemleri yapmak için bir çok ücretsiz yazılım mevcuttur. Bu yazılımlar sayesinde yüksek boyutlu verileri rahatlıkla bilgisayarımızda açabilir ve yalnızca kendi yapacağımız işlemlerimiz için kullanmaya hazır hale getirebiliriz. Noktaların dönüklük, ölçek gibi sorunlarını çoğu yazılım kendisi düzeltmektedir (Thomson 2019). Ayrıca nokta bulutunu üretmek zaman ve hava koşullarından etkilenmediği için kullanımı oldukça kolaydır. Nokta bulutları kullanılmadan önce üç boyutlu ölçümler şimdiki kadar doğru bir şekilde ölçülüyordu ve detaylı oluyordu.

Üç boyutlu modelleme için bir çok dosya formatı vardır. Bu kadar fazla format çokluğu birlikte çalışabilirlik için sorunlar yaratabilir. Farklı tarayıcılar farklı formatlarda nokta bulutunu üretebilir. Bu sebeple bu nokta bulutlarının çalışması için farklı yazılımlarda işlenmesi gerekebilir.

Nokta bulutunu elde etmek için ana etken taranan yüzeyin görünürlüğüdür. Bu sebeple taranacak nesnenin her yüzünün görülebileceğinden emin olmak gerekir. Eğer farklı konumlardan yapılan üç boyutlu taramalar doğru şekilde alınmazsa, bu nokta bulutlarını birleştirmek sorunlara yol açacaktır ve zaman kaybına neden olacaktır.

1.1. Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi

Lazer tarayıcılarla binaları, tarihi eserleri ya da başka alanları tümüyle görüntüleyebilmek için değişik noktalardan çok sayıda tarama yapılır. Her bir taramadan elde edilen nokta bulutunun koordinatları, tarayıcı alet merkezli lokal koordinatlardır. Objenin üç boyutlu modelini oluşturmak için bütün nokta bulutları, seçilen referans koordinat sisteminde birleştirilmelidir. Genellikle ilk taramanın koordinat sistemi referans olarak alınır. Bu durumda ilk taramadan sonraki taramaların referans koordinat sistemine üç boyutlu dönüşümlerinin yapılması gerekir (Altuntaş ve Yıldız, 2008).

Elde edilen nokta bulutları farklı yöntemler kullanılarak birleştirilmekte olup, temel amaç iki nokta bulutunu mekansal dönüşümler kullanılarak aynı hizaya getirmektir. Bu sayede birden fazla veri seti, aynı koordinat sisteminde tutarlı bir şekilde tanımlanır. Nokta bulutlarının birleştirilmesi bir çok alanda kullanılmaktadır. Zhang ve Singh (2015), nokta bulutlarının birleştirilmesi yöntemiyle otonom sürüş için çalışmalar gerçekleştirmiştir. Choi, Zhou ve Koltun (2015), kapalı mekanlarda robust yeniden yapılandırma yöntemi için nokta bulutlarının birleştirilmesini kullanıp yeni yaklaşımlar sunarak kapalı mekanlarda daha sağlam bir modelleme yöntemini incelemiştir. Newcombe ve ekibi, nokta bulutlarının birleştirilmesini kullanarak, artırılmış gerçeklik uygulamasıyla iç mekan sahnelerini anlık olarak haritalanması için bir sistem sunmuştur (Newcombe vd. 2011).

Nokta bulutlarının birleştirilmesi sonucu yapılan bu tarz çeşitli uygulamalar, birleştirme için kullanılan algoritmaların çoğalmasına ve birbirleriyle karşılaştırılmasına olanak sağlamıştır. Jian ve Vemuri nokta bulutlarının birleştirilmesi problemini sınırlı bir üzay düzlemi üzerinde iki adet nokta bulutunun arasındaki öklid mesafesine dayalı olarak bir dönüşüm gerçekleştirme olarak tanımlamıştır (Jian ve Vemuri 2011).

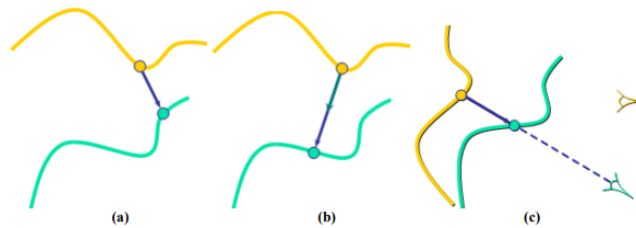
Nokta bulutlarının birleştirilmesi için günümüzde en yaygın olarak kullanılan yöntem İteratif En Yakın Nokta (İEYN) olarak adlandırılan (Iterative Closest Point- ICP) algoritmadır. 1992 yılında Besl ve McKay tarafından önerilen bu yöntemin temel uygulanma şekli, referans nokta bulutundan seçilen bir noktanın, hedef nokta bulutundaki tüm noktalara iteratif olarak öklid mesafelerini hesaplamak ve sonuçta en yakın olduğu tespit edilen noktaya göre dönüşüm işlemini uygulamaktır (Besl ve McKay 1992). 1994 yılında ise Zhang, İEYN yöntemi için Besl ve McKay'in önerdiği iki nokta arası en yakın mesafeye dayalı algoritmayı kullanmıştır (Zhang 1994). Chen ve Medioni tarafından 1992 yılında önerilen yöntemde ise, hedef nokta bulutunda bulunan bir noktanın eşleniği olarak, bu noktanın referans nokta bulutu üzerinde en yakın olduğu yüzey üzerinde; ve noktadan yüzeye olan normal doğrultusunun bu yüzeye değdiği nokta olarak kabul edilmektedir (Chen ve Medioni 1991). İlerleyen yıllarda İEYN yönteminin daha efektif kullanımı için yeni yaklaşımlar sunulmuştur. 2004 yılında Sharp ve ekibinin İEYN yönteminde kullanılan öklid teoremindeki farklı özelliklerin araştırılması, 2002 yılında Chetrevikov ve ekibinin İEYN yöntemi için en küçük kareler yönteminin kullanılması, 2003 yılında Wyngaerd ve Gool'un İEYN yöntemine bir farklılık getirerek görüntü dokusal özelliklerini de hesaplama işlemine katması gibi farklı yaklaşımlarla algoritma geliştirilmiştir (Chetverikov vd. 2002, Sharp vd. 2002, Wyngaerd ve Gool 2003).

Bu çalışmada nokta bulutlarının birleştirilmesi için CloudCompare yazılımı kullanılacaktır. Ayrıca birleştirme yöntemi olarak iteratif en yakın nokta ve manuel nokta seçimi kullanılıp, sonuçları karşılaştırılacaktır.

1.1.1. İteratif En Yakın Nokta Yöntemi (İEYN)

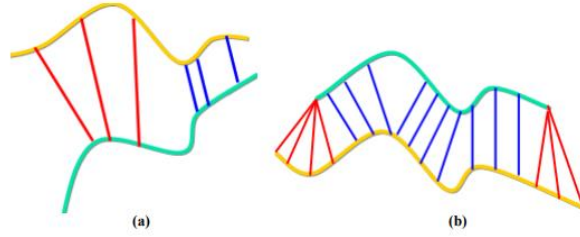
İteratif en yakın nokta yönteminde iki nokta bulutu arasındaki dönüşüm parametreleri ortak tarama alanındaki noktalarla hesaplanmaktadır. İEYN uygulanabilmesi için nokta bulutlarının yaklaşık olarak yönlendirilmesi gerekir. Yaklaşık yöneltme bilgisayar ekranında etkileşimli olarak yapılır yada kabaca seçilen en az üç eşlenik nokta ile yaklaşık dönüşüm parametreleri hesaplanarak uygulanır. Yaklaşık dönüşüm parametrelerinin hesabı doğrudan ölçme verileri ile otomatik olarak da hesaplanabilir (Dold 2005). İEYN'de referans nokta bulutundaki her noktanın hedef (döndürülecek ve ötelenecek) nokta bulutundaki en yakın eşlenikleri aranmaktadır. En yakın eşlenik nokta öklid mesafesi en kısa olan noktadır (Altuntaş 2012).

Noktadan-noktaya, noktadan-yüzeye yada noktadan-projeksiyon merkezine olan en kısa uzaklıklarla referans nokta bulutundaki noktaların hedef nokta bulutundaki eşlenikleri bulunmaktadır.



Şekil 2a. İEYN yönteminde referans nokta bulutundaki noktalara karşılık gelen hedef nokta bulutundaki en yakın noktanın bulunması. (a) Noktadan-noktaya, (b) Noktadan-yüzeye, (c) Noktadan-projeksiyon merkezine Yöntemi (Gvili, 2003).

Yapılan çalışmalar, referans nokta bulutundaki noktaların dönüştürülecek nokta bulutundaki en yakın karşılıklarının bulunmasında noktadan-projeeksiyon merkezine olan doğrultuların kullanılması durumunda en iyi sonuçların alındığını göstermektedir. Eşlenik en yakın noktalar bulunduktan sonra bu eşleşmelerden belirlenen mesafenin daha uzun noktadaki eşleşmeler ve hedef nokta bulutundaki aynı noktaya referans nokta bulutunda birden fazla noktadan yapılan eşleşmeler hatalı eşleşmeler olarak kabul edilir (Altuntaş 2012).



Şekil 2b. İEYN yöntemi ile referans noktalarına en yakın hedef noktalarının bulunması. (a) Eşik değerden daha uzun mesafede olan noktalara yapılan eşleştirme, (b) Referans nokta bulutunda (sarı) birden fazla noktanın hedef (yeşil) nokta bulutunda aynı nokta ile eşleşmesi (Gvili, 2003). Kırmızı eşleşmeler göz ardı edilerek mavi ile gösterilen eşlenik noktalarla dönüşüm parametreleri hesaplanmaktadır.

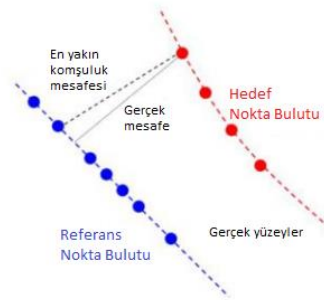
Hatalı eşlenik noktalar dışarıda bırakılarak kalan eşlenik noktalarla dönüşüm parametreleri hesaplanmakta ve işlem iteratif olarak devam etmektedir. Bu işleme eşlenik noktalar arasındaki mesafe minimum, ya da dönüşümün hatası belirli bir minimum değere ulaşıncaya kadar devam edilir. Başlangıç yöneltme parametrelerine bağlı olarak genellikle 20-30 iterasyon sonunda dönüşüm işlemi gerçekleştirilmektedir (Altuntaş 2012).

1.2.2 Manuel Nokta Seçimi Yöntemi

Manuel nokta seçimi yönteminde referans nokta bulutu, hedef nokta bulutunun hizalanacağı nokta bulutu olarak seçilir. Yani hedef nokta bulutu, referans nokta bulutuna göre ötelenir ve üzerinde gösterilir. Referans ve hedef nokta bulutunda manuel olarak en az üçer nokta seçilerek yapılan bu işlem, bazı büyük boyutlu nokta bulutlarında İEYN yöntemi uygulanamadığında hassas çözümler sunar. Referans ve hedef nokta bulutlarındaki nokta seçimleri, nokta bulutlarının karakteristik noktalarından olması durumunda daha hassas sonuçlar verecektir.

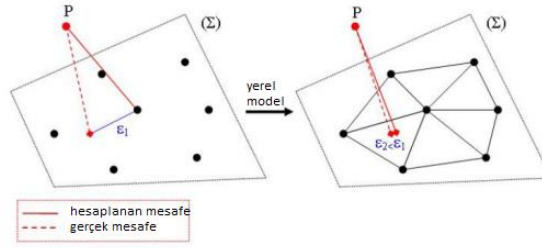
1.3 İki Nokta Bulutu Arasındaki Mesafe Hesaplama Yöntemi

Farklı nokta bulutlarında iki nokta bulutu arasındaki mesafenin ölçümü için kullanılan en yaygın yöntemlerden biri “Cloud-to-Cloud” mesafe ölçümüdür. Şekil 3’te Bulutlar arasındaki mutlak konum hesabının temel olarak açıklaması gösterilmiştir.



Şekil 3. Bulutlar arasındaki mutlak konum hesabının temel gösterimi

Bulutlar arasındaki mutlak konum hesabının temel gösteriminde referans nokta bulutu ile birleştirilen hedef nokta bulutu arasındaki mesafeyi en yakın komşuluk mesafesi algoritmasına göre hesaplar. En yakın komşu mesafe metodu, karşılaştırılan iki nokta bulutu arasındaki en yakın iki noktanın aranması ve bu noktaların arasındaki öklid mesafesinin ölçülmesine dayanmaktadır. Referans yüzeye olan gerçek mesafenin daha doğru hesaplanabilmesi için hesaplama işlemine yerel yüzey modelleri tanıtılır. Şekil 4’te yerel yüzey modelinin tanıtılmasının hesaplamaya olan etkisi gösterilmiştir (Ahmad Fuad vd. 2018).



Şekil 4. Yerel yüzey modeli tanımlamanın basit olarak anlatılması

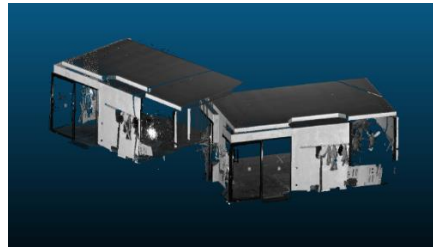
Yerel yüzey modelleri, en yakın noktaya ve o noktanın komşu noktalarına bir matematiksel model yerleştirir ve referans nokta bulutunu yerel olarak modelleyerek çalışmış olur. Bu işlem referans nokta bulutundaki en yakın nokta tespit edildiğinde gerçekleşir.

CloudCompare yazılımı üç farklı yerel modelleme yöntemi sunmaktadır. Bunlar “Least square plane”, “2D1 / 2 Triangulation” ve “Quadric” modelleridir. Bu üç farklı yerel modelin hesaplamaya olan etkisi, referans ve hedef nokta bulutlarının birbirlerine olan yüzey yaklaşımına göre değişmektedir (Ahmad Fuad vd. 2018).

2. Uygulama

2.1 Birleştirme

İki farklı zamanda alınan iki nokta bulutunun CloudCompare yazılımında yapılacak olan işlemler sonucu birleştirilmesi gerçekleştirilecektir. Öncelikle iki nokta bulutu ham veri şeklinde açılmış olup görsel olarak incelenmiştir.

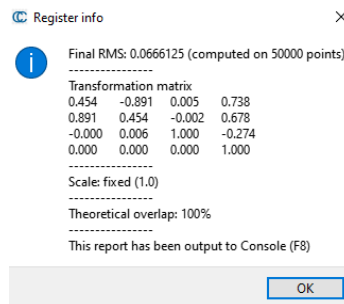


Şekil 5. Birleştirilecek İki Farklı Nokta Bulutu Verisi

Referans verimiz sağda bulunan nokta bulutu olup, birleştirme algoritmalarını çalıştırdığımızda bu veriyi referans olarak belirteceğiz.

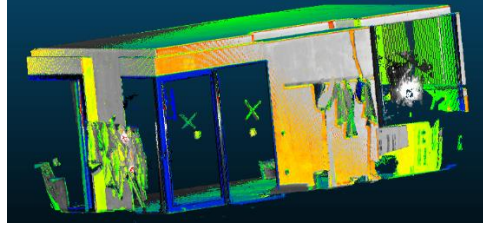
2.1.1. İEYN Yöntemiyle Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi

Öncelikle filtreleme yapılmamış olan nokta bulutlarının birleştirme işlemi gerçekleştirilecektir. Filtreleme uygulanmadığı takdirde referans nokta bulutu verisinde 758.528 nokta bulunmaktadır. Birleştirilecek olan hedef nokta bulutunda ise 311.404 nokta bulunmaktadır. İki nokta bulutunda bulunan toplam nokta sayısı 1.068.932 olarak incelenmiştir. İlk olarak filtre uygulanmamış olan nokta bulutu verilerine İEYN yöntemi uygulanmış olup Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 6. İEYN yöntemi ile yapılmış olan birleştirme işleminin dönüşüm matrisi

Kullanılan yöntem sonucu oluşan sonuç ürünün farklı açılardan görüntüsü incelenmiştir. İnceleme aşamasında referans olarak seçilen nokta bulutunun renkleri scalar field(sayı alan) olarak ayarlanmış olup görsel incelemede kolaylık sağlaması amaçlanmıştır.



Şekil 7. İEYN yöntemi sonucu birleştirilmiş verinin karşıdan görünümü

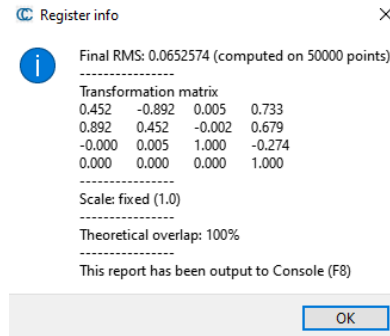
Birleştirme işlemi tamamlandıktan sonra, bulutlar arasındaki mutlak konum hesabının gerçekleştirilip, birleştirilen nokta bulutlarındaki noktaların birbiri arasındaki ortalama mesafesi ve standart sapması bulunmuştur.

```
[ComputeDistances] Time: 0.25 s.  
[ComputeDistances] Mean distance = 0.015927 / std deviation = 0.052362
```

Şekil 8. Bulutlar arasındaki mutlak konum hesabı işlemi

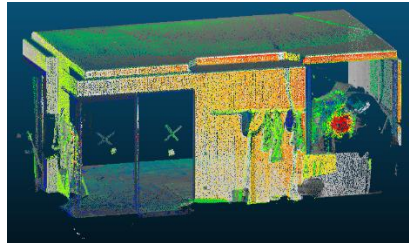
Yapılan işlem sonucu birleştirilmiş nokta bulutları arasındaki ortalama mesafe 0.015927 m olarak bulunmuş olup bu işlemin standart sapması 0.052362 cm olarak bulunmuştur.

İkinci olarak tekrardan ham nokta bulutu verileri açılmıştır ve filtre işlemi uygulanmıştır. Kullanılan filtreleme algoritması Noise olarak belirlenmiştir. Nokta bulutlarına noise filtreleme işlemi yapıldıktan sonra referans nokta bulutunun nokta sayısı 459.358, birleştirilecek olan hedef nokta bulutunun nokta sayısı 185.262 olmuş olup, toplam nokta sayısı 644.800 olmuştur. Toplam nokta sayısı filtreleme sonucu %39.68 oranında azalmıştır. Filtrelenmiş nokta bulutlarına İEYN yöntemi uygulanmıştır.



Şekil 9. Filtrelenmiş veride İEYN yöntemi ile yapılmış olan birleştirme işleminin dönüşüm matrisi

Daha sonra filtrelenmiş nokta bulutlarında İEYN yöntemi kullanıldıktan sonra oluşan sonuç ürün farklı açılardan görüntülenip incelenmiştir.



Şekil 10. Filtrelenmiş ICP yöntemi sonucu birleştirilmiş olarak karşıdan görünümü

Filtrelenmiş nokta bulutlarında birleştirme işlemi gerçekleştirildikten sonra bulutlar arasındaki mutlak konum hesabı gerçekleştirilmiş olup sonuçlar incelenmiştir.

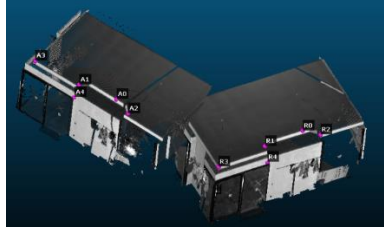
[ComputeDistances] Time: 0.24 s.
[ComputeDistances] Mean distance = 0.016857 / std deviation = 0.051504

Şekil 11. Filtrelenmiş veri bulutları arasındaki mutlak konum hesabı işlemi

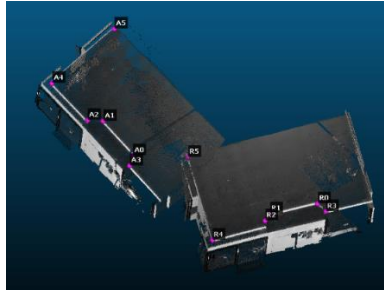
Filtrelenmiş nokta bulutlarının birleştirilmesi sonucu oluşan sonuç ürüne Bulutlar arasındaki mutlak konum hesabı uygulandıktan sonra iki nokta bulutu arasındaki ortalama mesafe 0.016857 m ve standart sapma 0.051504 cm olarak bulunmuştur.

2.1.2 Manuel Nokta Seçimi Yöntemiyle Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi

Manuel nokta seçimi işleminde, referans nokta bulutu ve birleştirme işlemi yapılacak olan hedef nokta bulutunu seçmek gerekir. Bu seçim işlemi yapıldıktan sonra referans ve birleştirilecek hedef nokta bulutunda tek tek noktalar seçilir. En az üç nokta seçilmesi gerekmektedir. Bu işlemde altı nokta seçilerek manuel nokta birleştirilmesi gerçekleştirilmiştir.



Manuel nokta seçme sonucu birleştirilen nokta bulutlarında bulutlar arasındaki mutlak konum hesabı yapıldıktan sonra nokta bulutları arasındaki ortalama mesafe 0.101165 m ve standart sapma 0.068500 cm olarak bulunmuştur. Daha sonra manuel nokta seçme yöntemi ile birleştirme işlemi filtrelenmiş nokta bulutlarına uygulanmıştır.

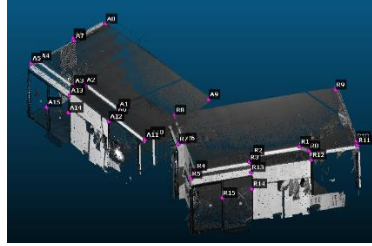


```
[ComputeDistances] Time: 0.23 s.  
[ComputeDistances] Mean distance = 0.030342 / std deviation = 0.053399
```

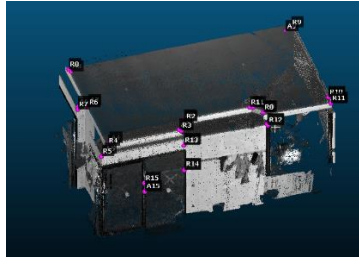
Şekil 19. Filtrelenmiş nokta bulutlarında manuel nokta ile birleştirme sonucu bulutlar arasındaki mutlak konum hesabı işlemi

Filtrelenmiş nokta bulutlarında manuel nokta seçimi sonrası nokta bulutları birleştirilmiştir. Oluşan sonuç üründe yapılan bulutlar arasındaki mutlak konum hesabı mesafe ölçümü sonucu iki nokta bulutu arasındaki ortalama mesafe 0.030342 m ve standart sapma 0.053399 cm olarak bulunmuştur. Referans ve hedef nokta bulutundan altışar adet nokta seçimi ile birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir.

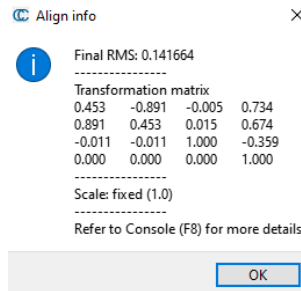
Ayrıca manuel nokta seçimi ile birleştirme algoritmasında seçilen nokta sayısının çokluğunun sonuca etkisi incelenmek üzere bir çalışma daha yapılmıştır. Filtre uygulanan nokta bulutları üzerinde referans ve hedef nokta bulutlarında onaltışar adet olacak şekilde nokta seçimi yapılmış ve sonuçları incelenmiştir.



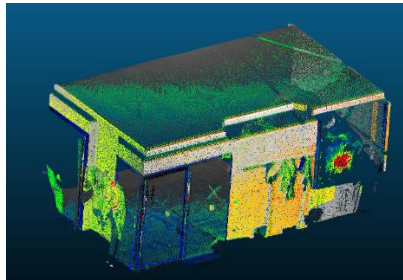
Şekil 20a. Filtrelenmiş nokta bulutlarında manuel nokta ile birleştirme için 16 adet nokta seçimi görünümü



Şekil 20b. Filtrelenmiş nokta bulutlarında manuel nokta ile birleştirme için 16 adet nokta seçimi birleştirilmiş görünüm



Şekil 21. Filtrelenmiş nokta bulutlarında 16 adet nokta ile manuel nokta birleştirilmesi için dönüşüm matrisi



Şekil 22. Filtrelenmiş nokta bulutlarında 16 adet nokta seçildikten sonra manuel olarak birleştirme sonrası referans nokta bulutu ile görünüm

[ComputeDistances] Time: 0.24 s.
[ComputeDistances] Mean distance = 0.024678 / std deviation = 0.050802

Şekil 23. 16 adet nokta seçilerek yapılan birleştirme işlemi sonucu bulutlar arasındaki mutlak konum hesabı ile mesafe ölçümü

Referans ve hedef nokta bulutunda 16şar adet nokta seçilerek yapılan manuel birleştirme işlemi sonucu bulutlar arasındaki mutlak konum hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Bu hesaplama sonucu iki nokta bulutunun arasındaki ortalama mesafe 0.024678 m ve standart sapması 0.050802 cm olarak hesaplanmıştır.

Son olarak, bulutlar arasındaki mutlak konum hesabında yerel model tanımlandığında nokta bulutları arasındaki ortalama mesafeye olan etkisini gösterebilmek için filtre uygulanmamış olan nokta bulutlarında İEYN yöntemiyle tekrardan birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir ve bu sefer bulutlar arasındaki mutlak konum hesaplanması işlemi yaparken yerel model olarak “Least Square Plane” seçilmiştir ve sonuçları incelenmiştir.

[ComputeDistances] Time: 3.36 s.
[ComputeDistances] Mean distance = 0.009594 / std deviation = 0.036142

Şekil 24. Bulutlar arasındaki mutlak konum hesabı yönteminde yerel model tanımlandığında ortaya çıkan sonuç

3. Sonuçlar ve Tartışma

Yapılan uygulama sonucu, elde edilen sonuçlar Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Tüm birleştirmeler sonucu elde edilen sonuçlar

Kullanılan yöntem	Gürültü Filtresi	Ortalama Mesafe(m)	Standart Sapma(cm)
İEYN-Filtresiz	-	0.015927	0.052362
İEYN-Filtresiz(Yerel model)	-	0.009594	0.036142
İEYN-Filtreli	+	0.016857	0.051504
Manuel(6 nokta)-Filtresiz	-	0.101165	0.068500
Manuel(6 nokta)-Filtreli	+	0.030342	0.053399
Manuel(16 nokta)-Filtreli	+	0.024678	0.050802

Yapılan uygulama sonucunda nokta bulutlarının birleştirilmesi için iki farklı yöntem karşılaştırılmış olup ayrıca nokta bulutlarına filtreleme uygulandığında sonuca olan etkisi incelenmiştir. Sonuca baktığımızda, birleştirme işlemi sonrası nokta bulutları arasındaki en düşük ortalama mesafe filtreleme uygulanmamış nokta bulutları için kullanılan ve yerel model tanımlanmış İEYN yöntemi ile elde edilmiş olup, birleştirme işlemi sonrası nokta bulutları arasındaki en yüksek ortalama mesafe, filtrelenmemiş nokta bulutlarında uygulanmış olan manuel nokta seçimi yöntemi ile yapılan birleştirme işlemi sonucu elde edilmiştir.

Sonuç olarak, İEYN yöntemi, nokta bulutundan detayların tam olarak seçilemediği durumlarda bile ölçülerin yüksek doğrulukla birleştirilmesini sağlamaktadır.

Manuel nokta seçimi yardımıyla yapılan birleştirme işleminde ise, nokta sayısının çokluğunun aritmetik olarak bir doğruluk artışı sağladığı görülmüştür. Nokta sayısının çokluğu ile birlikte hedef ve referans nokta bulutunda kullanılan noktaların, karakteristik bölgelerden seçilmesi birleştirme işleminin doğruluğunu arttırmıştır.

Nokta bulutlarında uygulanan gürültü filtrelemesi sonucu toplam nokta sayısında büyük bir oranda düşüş gözlenmiş, fakat birleştirme doğruluğunu arttırdığı gözlemlenmemiştir.

Son olarak bulutlar arasındaki mutlak konum hesabın ile mesafe hesaplama yönteminde, yerel model tanımlandığında hesaplanacak olan mesafenin değişimi incelenmiştir. Filtre uygulanmamış nokta bulutlarında İEYN yöntemiyle birleştirme işlemi yapılmış ve yapılan birleştirme sonrası uygulanan mesafe ölçümünde yerel model uygulanan nokta bulutunda iki nokta bulutu arasındaki mesafenin daha hassas bir şekilde ölçüldüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca standart sapmasında yerel model uygulanmayan yöntemle göre daha düşük bir şekilde hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, alımı yapılan nokta bulutlarının büyüklüğüne ve kullanım amacına göre farklı birleştirme yöntemleri kullanılabilir. Ayrıca birleştirme işlemi öncesi kullanılan filtrelemeler yardımı ile nokta bulutlarında bulunan noktalar büyük oranda azaltılıp veri hızı açısından işlenmesi avantaj sağlamaktadır.

Teşekkür

Bu çalışmayı yapmamız için gerekli olan verilerin temininde katkıları dolayısıyla Dr. Öğr. Üyesi Umut Aydar’a teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklar

Dergi İçinde Makale:

Altuntaş C., Yıldız F. (2008). Yersel lazer tarayıcı ölçme prensipleri ve nokta bulutlarının birleştirilmesi. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, (98), 20-27.

Besl P. J., McKay N. D. (1992). Method for registration of 3-D shapes. In *Sensor fusion IV: Control paradigms and data structures*, Vol. 1611, pp. 586–607 International Society for Optics and Photonics.

- Chen Y., Medioni G. (1992). Object modelling by registration of multiple range images. *Image and vision computing*, 10(3), 145-155.
- Chetverikov, D., Svirk D., Stepanov D., Krsek P. (2002). The trimmed iterative closest point algorithm. In *Object recognition supported by user interaction for service robots* (Vol. 3, pp. 545-548). IEEE.
- Guo Y., Bennamoun, M., Sohel, F., Lu, M., & Wan, J. (2014). An integrated framework for 3-D modeling, object detection, and pose estimation from point-clouds. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 64(3), 683-693.
- Jian B., Vemuri, B. C. (2010). Robust point set registration using gaussian mixture models. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 33(8), 1633-1645.
- Sharp G. C., Lee S. W., Wehe D. K. (2002). ICP registration using invariant features. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24(1), 90-102.
- Zhang Z. (1994). Iterative point matching for registration of free-form curves and surfaces. *International journal of computer vision*, 13(2), 119-152.

Konferans Bildirisi:

- Ahmad Fuad N., Yusoff A. R., Ismail Z., Majid Z. (2018). Comparing the performance of point cloud registration methods for landslide monitoring using mobile laser scanning data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(4/W9), 11-21.
- Altuntaş C., (2012) İteratif En Yakın Nokta Yöntemi ile Lazer Tarayıcı Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi, *UZAL CBS 2012*
- Choi, S., Zhou, Q. Y., & Koltun, V. (2015). Robust reconstruction of indoor scenes. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 5556-5565).
- Dold, C. (2005). Extended Gaussian images for the registration of terrestrial scan data. In *Proceedings of the ISPRS Workshop Laser scanning* (pp. 180-185).
- Elbaz G., Avraham T., Fischer A. (2017). 3D Point Cloud Registration for Localization Using a Deep Neural Network Auto-Encoder. *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2472-2481.
- Newcombe R. A., Izadi S., Hilliges O., Molyneaux D., Kim D., Davison A. J., ... & Fitzgibbon, A. (2011). Kinectfusion: Real-time dense surface mapping and tracking. *10th IEEE international symposium on mixed and augmented reality* (pp. 127-136). IEEE.
- Wyngaerd J. V. (2003). Combining texture and shape for automatic crude patch registration. In *Fourth International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling, 2003. 3DIM 2003. Proceedings.* (pp. 179-186). IEEE.
- Zhang J., Singh S. (2015). Visual-lidar odometry and mapping: Low-drift, robust, and fast. *2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* (pp. 2174-2181). IEEE.

Çevrimiçi Doküman:

- Gvili R. (2003) Iterative Coset Point <https://slidetodoc.com/iterative-closest-point-ronen-gvili-the-problem-n/> [Erişim tarihi: 6 Şubat 2021]
- Thomson C. (2019), What are point clouds? 5 easy facts that explain point clouds, <https://info.vercator.com/blog/what-are-point-clouds-5-easy-facts-that-explain-point-clouds> [Erişim tarihi: 7 Şubat 2021]