

DÜZLEMSEL VE DOĞRUSAL ÖZELLİKLERİ ESAS ALARAK MİNİMUM ÇAKIŞAN YERSEL TARAMALARIN FOTOGRAMETRİK VERİ KULLANILARAK BİRLEŞTİRİLMESİ

S. Canaz^{a,*} ve A. Habib^b

^aHarita Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye-scanaz@ucalgary.ca

^bGeomatik Mühendisliği Bölümü, Calgary Üniversitesi, Calgary, Kanada- ahabib@ucalgary.ca

ANAHTAR KELİMELER: Yersel Lazer Tarayıcı, Birleştirme, Yersel Fotogrametri, Özellik Çıkarma

ÖZET:

Son yıllarda, yapıların 3 Boyutlu (3B) modelleme ile ilgili çalışmalar veri toplama sistemlerindeki teknolojik gelişmeler ile giderek artmaktadır. 3B model elde etmek için öncelikle bu verilerin elde edilmesi şarttır. 3B veriler lazer tarama yöntemi ile direkt olarak toplanırken; fotogrametrik yöntemler kullanılarak fotoğraflardan elde edilmesi de mümkündür. Lazer tarama sistemlerinin 3B veriyi direkt olarak toplama avantajı, bu teknolojiyi 3B modelleme çalışmalarında popüler hale getirmiştir. Bununla birlikte, bir yapının sadece bir noktadan lazer taraması ile tamamen taranması genelde mümkün değildir. Yapının bütün kısımlarının taranması için farklı noktalardan birçok lazer taraması toplanması gerekmektedir. Her bir lazer taramasının kendine ait ayrı bir koordinat sistemi bulunmaktadır. Anlamlı 3B modeller ise, ancak bu lazer taramaların aynı koordinat sistemine getirilmesi ile elde edilir. Bu işlem referanslandırma (birleştirme) olarak adlandırılır. Güvenilir 3B modelleme sonuçları için, birçok birleştirme teknikleri lazer taramaları arasında genellikle yüksek oranda çakışma ister. Bu çalışmanın temel amacı, yeni bir birleştirme tekniği önererek, lazer taramalarının birleştirilmesi için aralarında istenilen yüksek orandaki çakışmayı en aza indirmektir. Bunu gerçekleştirmek için lazer taramalarına ek fotogrametrik verilerden elde edilen 3B veri, önerilen birleştirme tekniği için kullanılmıştır. Genellikle, birleştirme tekniklerinde lazer taramalardaki noktalar esas alınır 3B modeller elde edilmektedir. Bu araştırmanın diğer bir amacı ise, birçok birleştirme tekniklerinin aksine, koordinat sistemleri arasındaki ilişkiyi düzlemsel ve doğrusal özellikler kullanarak bulmaktır. Bu amaçla, doğrusal ve düzlemsel özellikler lazer taramaları ve fotogrametrik veriden elde edilen 3B veriden çıkartılmış ve önerilen birleştirme tekniği için ayrı ayrı kullanılmıştır. Son olarak, kalite kontrol yöntemleri ile elde edilen 3B model analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçların analizi önerilen birleştirme tekniğinin başarılı olduğunu göstermekle birlikte; önerilen birleşme tekniğinde düzlemsel özelliklerin kullanımı, doğrusal özelliklere göre daha güvenilir sonuç vermiştir.

* Sorumlu yazar.

1. GİRİŞ

Yapıların 3B modellemeleri birçok amaçla değişik alanlarda kullanılmaktadır. Bu sebeple 3B modelleme çalışmalarına olan ilgi farklı alanlardaki araştırmacılar tarafından giderek artmaktadır. Bu alanlara örnek olarak, inşaat, geomatik ve jeoloji mühendislikleri ile arkeoloji ve mimarlık bölümleri verilebilir. 3B modeller çalışma konusu olan yapının 3B verilerini kullanılarak elde edilebilir. Fotogrametrik yöntemler kullanılarak 2 Boyutlu (2B) fotoğraflardan, 3B veri elde edilmesi bilinen en eski yöntemdir. Bunun yanı sıra, son yıllarda lazer tarayıcıları ile 3B verilerin direkt olarak toplanması da mümkündür. Lazer tarayıcıların direkt olarak veriyi toplama özelliği, bu teknolojiyi 3B modelleme çalışmalarında popüler hale getirmiştir. Fakat genellikle çalışma konusu olan yapıyı sadece bir noktadan lazer taraması yaparak toplamak neredeyse mümkün değildir. Bu sebeple, yapıların farklı konumlarından birçok lazer taraması toplanması gerekmektedir. Her lazer taramasının (nokta bulutlarının) kendine ait bir koordinat sistemi vardır. Ancak, anlamlı 3B modeller bu farklı noktalardan toplanan lazer taramalarının aynı (referans) koordinat sistemine indirgenmesi ile elde edilebilir. Bu işlem referanslandırma (birleştirme) olarak adlandırılır. Günümüzdeki birçok birleştirme teknikleri, lazer taramalarındaki çakışan bölümlerde ki noktaların karşılaştırılması ile taramalar ile referans koordinat sistemleri arasında ki ilişkiyi bulmaktadır. En popüler olarak kullanılan birleştirme tekniği “İteratif En Yakın Nokta” (Iterative Closest Point-ICP) (Besl ve McKay, 1992) yöntemidir. ICP metodu, yüksek oranda çakışan lazer taramalarındaki noktalar arasındaki mesafeyi en aza indirerek lazer taramaları arasındaki ilişkiyi bulup, 3B model elde etmektedir. Buna bir benzer birleştirme metodu ise Chen ve Medioni (1992) tarafından sunulmuştur; bu metotta ise çakışan lazer taramaları arasındaki nokta ve düzlem mesafesi en aza indirilerek 3B model

elde edilmektedir. Bu iki metoda benzer bir diğer birleştirme metodu ise İteratif En Yakın Yansıtılan Nokta Yöntemi (Iterative Closest Projected Point-ICPP) olarak bilinen yeni bir metottur (Al-Durgham,2011). ICPP metodu ise yüksek oranda çakışan taramalar arasında ki noktaları düzlemler kullanarak karşılaştırmaktadır.

Birçok birleştirme metodları (örn. ICP, ICPP vb.) lazer taramaları ve referans koordinat sistemleri arasındaki ilişkiyi güvenilir şekilde bulmak için taramalar arasında yüksek oranda çakışma ister. Bu çalışmanın amacı lazer taramalarını referans koordinat sisteminde birleştirirken, birçok birleştirme tekniğinde şart olan lazer taramaları arasında istenilen büyük orandaki çakışmayı en aza indirmektir. Bu sebeple, bu çalışmada lazer taramalarına ek olarak, 2B fotoğraflardan, Fotogrametrik Yöntemler ile (örn. ışın demeti dengelemesi) elde edilen 3B veriler (FYEV), lazer taramalarının birleştirilmesinde kullanılmıştır. Böylece, lazer taramaları ile 3B model elde etmek için, taramalar arasında büyük oranda istenilen çakışma FYEV kullanılarak elimine edilmiştir.

Bu çalışmanın bir başka amacı ise, birçok birleştirme tekniğinin aksine, lazer taramalarındaki ilişkiyi noktalar kullanarak bulmak yerine, yapıların düzlemsel ve doğrusal özelliklerini kullanarak lazer taramalarını, FYEV ve referans koordinat sistemlerini ilişkilendirmiştir. Noktalar yerine düzlemsel ve doğrusal özelliklerin kullanılmasının en önemli sebebi, bir lazer taramasında ki noktaların birebir aynısını, aynı bölgede çakışan başka bir lazer taramasında bulmanın mümkün olmayışıdır. Bunun sebebi ise lazer taramalarının noktaların düzensiz olarak dağılmasıdır (Habib vd. 2008). FYEV kullanılarak lazer taramalarından 3B model elde etmek için bu çalışmada önerilen birleştirme tekniği iki farklı yapı üzerinde denenmiş ve sonuçları nicel ve nitel kalite kontrol yöntemleri analiz edilip sunulmuştur.

2. METODOLOJİ

Değişik koordinat sistemlerinin, referans koordinat sistemi arasındaki ilişki 7 parametre ile ifade edilebilir. Bu parametreler, 3 öteleme, 3 dönüklük ve ölçektir. Lazer taramalarından elde edilen 3B modellerde genellikle bir lazer taramasının koordinat sistemi referans olarak temel alınmaktadır. Lazer taramaları genellikle gerçek ölçeği vermektedir. Bu yüzden birçok birleştirme tekniğinde 6 parametreyi bulmak yeterlidir. Bu çalışmada da, yapıların bir lazer taramasının koordinat sistemi referans sistemi olarak alınmıştır. Fakat daha önce belirtildiği üzere, bu çalışmada lazer taramaları FYEV kullanılarak birleştirilmiştir. FYEV ölçeği rastgele seçildiği için, bu çalışmadaki önerilen birleştirme tekniğinde, FYEV ve referans koordinat sistemi arasındaki ölçekte hesaplanması gerekmektedir. Daha önce değinildiği gibi, bu çalışmada önerilen birleştirme tekniğinde noktalar yerine düzlemsel ve doğrusal özellikler esas alınarak lazer taramaları, FYEV ve referans koordinat sistemleri ilişkilendirilmiştir. Bu yüzden metodolojideki ilk aşama bu özelliklerin fotogrametrik veri ve lazer taramalarından çıkarılmasıdır.

2.1. Düzlemsel Özelliklerin Çıkarılması

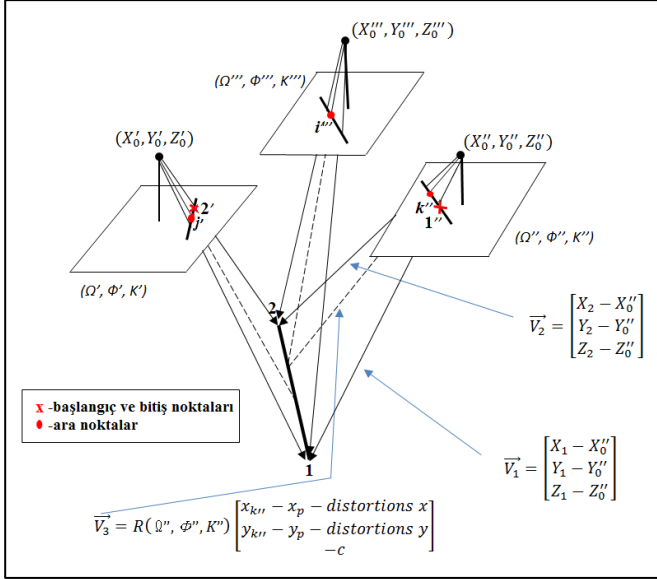
Düzlemsel özellikler, düzlem boyunca rastgele seçilen en az 3 nokta ile tanımlanabilir. Bu sebeple yapıda bulunan her bir düzlemden, 3 veya 4 nokta birçok fotoğraf üzerinden tanımlanarak, ışın demeti dengelemesi yöntemi ile 3B olarak elde edilmiş ve düzlemleri tanımlanmada kullanılmıştır. Fotogrametrik verilerden çıkarılan aynı düzlemler lazer taramalarından ise, segmentasyon yöntemi (Lari vd. 2011) kullanılarak elde edilmiştir. Lazer taramalarındaki her bir segment edilen düzlemden rastgele 3 veya 4 nokta seçilerek düzlemler tanımlanmış ve fotogrametrik veriden seçilen eş düzlemler ile aynı kimlik verilmiştir.

2.2. Doğrusal Özelliklerin Çıkarılması

Bir doğruyu tanımlamak için o doğru üzerinde ki iki nokta (başlangıç ve bitiş) yeterlidir. Doğrusal özellikler üzerindeki bu iki nokta, fotogrametrik veriden 3B olarak düzlemdeşlik koşulunun (1) ışın demetleri dengeleme yöntemine eklenmesi ile çıkarılmıştır (Habib et al., 2004; Habib et al., 2007; ve Renaudin vd., 2011). Düzlemdeşlik koşulu (Şekil 1) doğru üzerindeki başlangıç ve bitiş noktalarının bir veya iki fotoğraf üzerinde tanımlanması ve bunun yanı sıra birçok ara noktanın farklı fotoğraflardan tanınması ile elde edilmiştir. Buna karşılık doğrusal özellikler lazer taramalarından, segmentasyon yöntemi ile elde edilen düzlemlerin kesişmesi alınarak otomatik olarak bulunmuştur (Lari ve Habib, 2012). Lazer taramalarında da doğrusal özellikler iki nokta ile tanımlanmış ve fotogrametrik veriden elde edilen eş doğrusal düzlem noktaları ile aynı kimlik verilmiştir.

$$(\vec{V}_1 \times \vec{V}_2) \cdot \vec{V}_3 = 0 \quad (1)$$

- \vec{V}_1 : iş düşüm merkezi, doğrusalın fotoğraftaki başlangıç noktası ve arazi kontrol noktasını bağlayan vektör;
- \vec{V}_2 : iş düşüm merkezi doğrusalın fotoğraftaki bitiş noktası ve arazi kontrol noktasını bağlayan vektör;
- \vec{V}_3 : iş düşüm merkezi ve doğrusalın fotoğraftaki ara noktasını bağlayan vektör.



Şekil 1: Düzlemdeşlik koşulu metodunun şekilsel gösterimi (Habib vd., 2004'ten düzenlenmiştir)

Doğrusal ve düzlemsel özelliklerin fotogrametrik veriden ve lazer taramalarından çıkarılmasından sonra, çıkarılan özellikleri bir benzerlik ölçüsü ile ilişkilendirmektir. Bu çalışmada doğrusal ve düzlemsel veriler ayrı ayrı kullanılmıştır. Öncelikle yalnızca yapının düzlemsel özellikleri kullanılarak birleştirme tekniği uygulanmış, daha sonra sadece doğrusal özellikler kullanılarak aynı birleştirme yöntemi denenmiştir. Burada en önemli belirtilmesi gereken nokta ise düzlem ve doğrusalları tanımlarken elde kullanılan noktaların doğru ve düzlem üzerinden rastgele seçilmiş olmasıdır. Bir başka deyişle, fotogrametrik veri ve lazer taramasından, düzlem veya doğruyu tanımlamak için seçilen noktalar bu özellikler üzerinden rastgele seçilmiştir.

2.3. Benzerlik Ölçüsü

Lazer taramalarından, fotoğraflardan çıkarılan özellikleri referans koordinat sistemi ile ilişkilendirilmek için 3B benzerlik ölçüsü kullanılmıştır. Bu çalışmada lazer taramalarından bir tanesinin koordinat sistemi, referans koordinat sistemi olarak seçilmiştir.

Önceden belirtildiği üzere, doğrusal özellikler 2 nokta; düzlemsel özellikler ise 3 veya 4 nokta ile tanımlanmıştır. Bu yüzden, bu özellikler nokta bazlı 3B benzerlik dönüşümü kullanarak ilişkilendirilmiştir (Formül 2).

$$\vec{X}_{tarama_i/FYEV} = \vec{X}_{Ttarama_i/FYEV} + S_{tarama_i/FYEV} R_{tarama_i/FYEV} \vec{X}_A \quad (2)$$

Burada:

- tarama_i i-inci lazer taramasını göstermektedir;

- $\vec{X}_{tarama_i/FYEV} = \begin{bmatrix} X_{tarama_i/FYEV} \\ Y_{tarama_i/FYEV} \\ Z_{tarama_i/FYEV} \end{bmatrix}$ ve düzlemsel doğrusal özellikleri tanımlayan noktaların koordinatları;

- $\vec{X}_{Tscan_i/FYEV} = \begin{bmatrix} X_{Ttarama_i/FYEV} \\ Y_{Ttarama_i/FYEV} \\ Z_{Ttarama_i/FYEV} \end{bmatrix}$ FYEV veya i. lazer taraması ile referans koordinat sistemi arasındaki öteleme vektörü;

- $S_{tarama_i/FYEV}$ FYEV veya i. lazer taraması ile referans koordinat sistemi arasındaki ölçek;

- $R_{scan_i/FYEV} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$ FYEV veya i. lazer taraması ile referans koordinat sistemi arasındaki dönüklük matrisi; Bu matris Ω , Φ , ve K açılarıyla tanımlanmıştır;

- $\vec{X}_A = \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{bmatrix}$ noktaların referans (arazi) koordinatlarını göstermektedir.

Daha önce belirtildiği gibi taramalardaki ve TFEV'deki eş doğrusal ve düzlemsel özellikler üzerindeki noktalar rastgele seçilmiştir. Bu nedenle geleneksel en küçük kareler yöntemine hata vektörü eklenmiş ve ağırlıkların değiştirilmesi koordinat sistemleri arasındaki ilişki, yani dönüşüm parametreleri bulunmuştur. Bu konuyla ilgili ayrıntılı bilgi Renadin vd. (2011), Habib vd. (2011), Kersting (2012) ve Canaz (2012) çalışmalarından elde edilebilir.

2.4. Kalite Kontrol Yöntemi

Nitel kalite kontrol yöntemi, birleştirilmiş taramaların 3B olarak çizilip incelenmesiyle ve eğer varsa çakışan noktaların tam doğru çakışıp çakışmadığına bakılarak yapılmıştır. Diğer taraftan nicel kalite kontrol yöntemi ise, elde edilen dönüşüm parametrelerinin bir diğer birleştirme metodu olan ICPP ile karşılaştırılmasıyla yapılmıştır. ICPP metot lazer taramaları arasında büyük çakışma oranı istediği için, mevcut taramalara ek taramalar ICPP birleştirme metodu için toplanmıştır. Bununla birlikte eş düzlemler arasında noktadan düzleme olan mesafeler nicel kalite kontrol için hesaplanmıştır. Böylece önerilen birleştirme yönteminin güvenilirliği analiz edilmiştir.

3. GERÇEK VERİLER İLE ÖNERİLEN BİRLEŞTİRME METODUNUN TEST EDİLMESİ

Bu çalışmada önerilen birleştirme metodunu test etmek amacıyla Calgary Üniversitesi'nde bulunan Rozsa Center (konferans salonu) ve Yamnuska Hall (öğrenci yurdu) binalarının lazer taramaları ve fotogrametrik verileri toplanmıştır.

3.1. Rozsa Center Binası Veri Tanımı

Calgary Üniversitesi, Kanada'da tiyatro ve konferans salonu olan Rozsa Center binası birleştirme tekniğini test etmek için seçilmiştir. Binanın farklı noktalarından 4 adet az çakışan lazer taraması Trimble GS200 lazer tarayıcı ile toplanmıştır. Bunun dışında 16 adet fotoğraf Canon EOS Rebel XS kamerası ile toplanmıştır. Kamera 5.7 µm piksel çözünürlüğünde olup, asal uzaklığı 18 mm'dir.

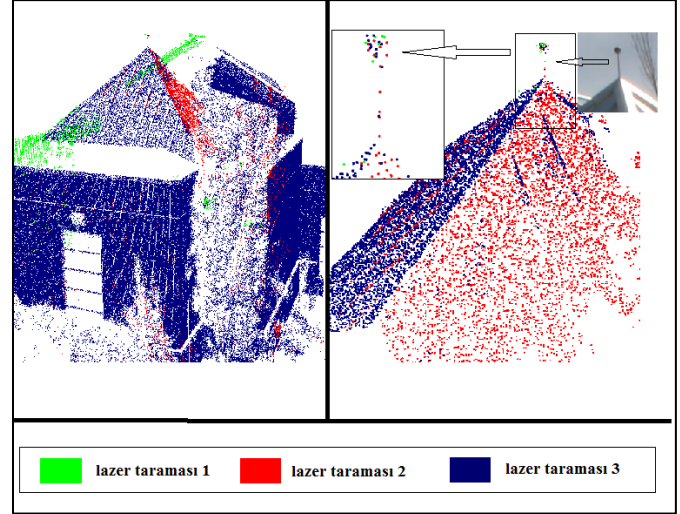
3.1.1. Rozsa Center Taramalarının Düzlemsel Özellik Kullanılarak Birleştirilmesi

Lazer taramalarından ve FYEV'den binada bulunan düzlemsel özellikler çıkartılıp ilişkilendirilmesiyle birlikte dönüşüm parametreleri elde edilmiştir. Elde edilen parametreleri kullanarak bütün lazer taramaları aynı koordinat sistemine dönüştürülerek, 3B model elde edilmiştir. Burada belirtilmesi gereken en önemli durum, lazer taraması 1'in referans koordinat sistemi olarak seçilmiş olmasıdır. Diğer lazer taramaları ile TFEV koordinat sistemleri tarama 1'in koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Elde edilen dönüşüm parametreleri Tablo 1'de sunulmuştur. Parantez içindeki değerler parametrelerin standart sapmaları göstermektedir ve görüleceği gibi küçük standart sapmalar, parametrelerin güvenilir olduğunu göstermektedir. Birleştirme sonunda lazer taramasındaki düzlem noktalarından, aynı düzlemin FYEV'deki mesafesi kalite kontrol yöntemi için hesaplanmış ve 10 cm'nin altında gözlenmiştir. Bu durum birleştirme tekniğinin güvenilir olarak çalıştığını bir diğer kanıttır.

	Lazer taraması 1	Lazer taraması 2	Lazer taraması 3	Lazer taraması 4	FYEV
XT (m)	0	-23.186 (±0.0287)	69.677 (±0.0221)	-41.693 (±0.0298)	5.372 (±0.0184)
YT (m)	0	-14.801 (±0.0219)	92.511 (±0.0293)	91.370 (±0.0234)	1.610 (±0.0163)
ZT (m)	0	-0.687 (±0.0805)	1.335 (±0.0431)	-0.251 (±0.0916)	37.383 (±0.0143)
ölçek	1	1	1	1	0.998 (±0.000)
Ω (o)	0	0.234 (±0.1133)	0.243 (±0.0624)	-0.291 (±0.1273)	30.584 (±0.2271)
Ω (°)	0	-0.429 (±0.2092)	0.313 (±0.0781)	0.165 (±0.0769)	-74.546 (±0.0419)
K (°)	0	8.373 (±0.0484)	121.373 (±0.0441)	-145.531 (±0.0447)	91.168 (±0.2261)

Tablo 1: Düzlemsel özellikler esas alınarak hesaplanan dönüşüm parametreleri

Son olarak, nicel kalite kontrolü için, bu çalışmada önerilen birleştirme tekniğiyle elde edilen dönüşüm parametreleri ile ICPP metodu ile elde edilen dönüşüm parametreleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda 10 cm altında öteleme parametreleri arasında, 0.1 derecenin altında dönüklük açıları arasında farklılıklar gözlenmiştir. Nitel kalite kontrol yöntemi için ise birleştirilmiş taramalar arasında çakışma bulunan noktalar incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda farklı tamamlarda çakışma olan yerlerin tam olarak birleştiği görülmüştür. Şekil 2 bu çalışmada önerilen birleştirme tekniği ile elde edilen 3B Rozsa Center binasının lazer taramalarının çakışan bölümlerinden kesitler göstermektedir. Görüleceği üzere, birleştirme sonuçları güvenilirlidir.



Şekil 2: Rozsa Center binasını lazer taramalarının düzlemsel özellikler kullanılarak birleştirilmiş halinden bazı bölümleri

3.1.2. Rozsa Center Taramalarının Doğrusal Özellik Kullanılarak Birleştirilmesi

Bu bölümde önerilen birleştirme tekniği Rozsa Center binasında bulunan düzlemsel özellikler yerine sadece doğrusal özellikler kullanılarak elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Öncelikle TFEV ve lazer taramalarından kullanılabilecek bütün doğrusal özellikler çıkartılıp, TFEV, lazer taraması ve referans koordinat sistemi arasındaki ilişkiyi bulmak için kullanılmıştır. Lazer tarama 1'in koordinat sistemi yine referans koordinat sistemi olarak seçilmiştir. Tablo 2 elde edilen dönüşüm parametrelerini ve bunların standart sapmasını göstermektedir. Düzlemsel özelliklerin aksine doğrusal özellikler ile yapılan birleştirme sonuçlarında, bazı parametrelerde yüksek standart sapmalar gözlenmiştir. Bu parametrelerin, ICPP metodu ile elde edilen parametreler ile yapılan karşılaştırmasında da aynı parametrelerin farklılıklar gösterdiği görülmüştür (Tablo 3- Ölçek S ile gösterilmiştir).

	Lazer taraması 1	Lazer taraması 2	Lazer taraması 3	Lazer taraması 4	FYEV
XT (m)	0	-23.217 (±0.0685)	69.639 (±0.0661)	-41.787 (±0.0983)	5.461 (±0.0722)
YT (m)	0	-14.792 (±0.0341)	92.565 (±0.0646)	91.305 (±0.0724)	1.635 (±0.0393)
ZT (m)	0	-0.667 (±0.1226)	1.284 (±0.7231)	-0.751 (±0.3747)	37.384 (±0.0336)
ölçek	1	1	1	1	0.998 (±0.0006)
Ω (o)	0	0.869 (±0.2571)	0.681 (±0.4161)	-0.803 (±0.4175)	31.338 (±0.8272)
Ω (°)	0	1.073 (±0.5158)	0.824 (±0.5422)	0.009 (±0.2541)	-74.372 (±0.1408)
K (°)	0	8.421 (±0.1560)	121.411 (±0.1071)	-145.441 (±0.1263)	91.914 (±0.7643)

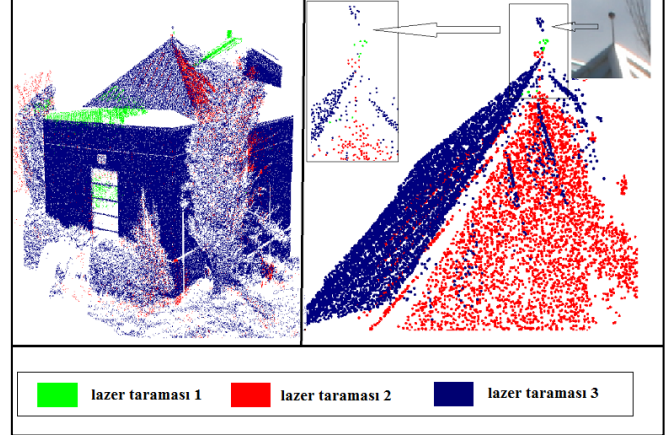
Tablo 2: Doğrusal özellikler esas alınarak hesaplanan transformasyon parametreleri

		XT (m)	YT (m)	ZT (m)	S	Ω (°)	ϕ (°)	κ (°)
Lazer Tar. 1	ICPP	-23.258	14.733	-0.605	1	0.177	-0.189	8.168
	Önerilen metod	-23.217	14.792	-0.667	1	0.869	1.073	8.421
	Fark	-0.041	0.058	0.062	0	-0.691	-1.262	-0.252
Lazer Tar. 2	ICPP	69.613	92.579	1.375	1	0.095	0.194	121.388
	Önerilen metod	69.639	92.565	1.284	1	0.681	0.824	121.411
	Fark	-0.025	0.014	0.091	0	-0.585	-0.629	-0.022
Lazer Tar. 3	ICPP	-41.751	91.313	-0.259	1	-0.204	0.002	-145.53
	Önerilen metod	-41.787	91.305	-0.751	1	-0.803	0.009	145.441
	Fark	0.036	0.008	0.491	0	0.598	-0.006	-0.097

Tablo 3. ICPP metot ile düzlemsel özellikler esas alınarak hesaplanan dönüşüm parametrelerinin karşılaştırılması

Son olarak nitel kalite kontrol yöntemi ile de bu parametrelerin hatalı olduğu gözlenmiştir (Şekil 3). Bu durumun sebebi ise lazer taramalarından ve FYEV den çıkarılan doğrusal özelliklerin farklılar göstermesidir. Lazer taramalarından segment edilen düzlemlerin kesişimi olarak otomatik yöntemlerle çıkarılan bazı doğrusal özelliklerin fiziksel karşılıkları bulunmamakta ve fotogrametrik veride gözlenmemektedir. Bu yüzden bazı durumlarda farklı doğrusal özellikler aynı kimlik ile ilişkilendirilmiştir. Bu

durum doğrusal yöntemler kullanılarak hesaplanan dönüşüm parametrelerinin hatalı çıkmasına neden olmuştur. Şekil 4 bu duruma bir örnek olarak verilmiştir



Şekil 3: Rozsa Center binasını lazer taramalarının doğrusal özellikler kullanılarak birleştirilmiş halinden bazı bölümleri



Şekil 4: Lazer taramasından çıkarılan doğrusal özelliğin fotogrametrik veride fiziksel karşılığının bulunmaması

3.2. Yamnuska Hall Binası

Önerilen birleştirme tekniği Calgary Üniversitesi, Kanada'da öğrenci yurdu binası olan Yamnuska Hall için 7 az çakışan lazer taraması ve 38 fotoğraf verisi toplanarak ikinci defa test edilmiştir. Rozsa Center binasında doğrusal özellikler kullanılarak elde edilen 3B modelin hatalı sonuçlar vermesinden dolayı, bu

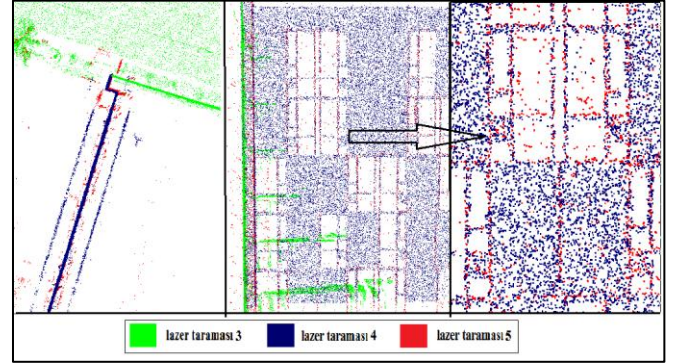
binada sadece düzlemsel özellikler kullanılarak binanın lazer taramalarının birleştirilmesi gerçekleştirilmiş ve 3B model elde edilmiştir. Fotogrametrik veriler Canon EOS Rebel XS ile, lazer taramaları ise Lecia lazer taraması ile toplanmıştır. ICPP metot ile elde edilen sonuçları karşılaştırmak için, bu metotta kullanılmak üzere yüksek oranda çakışan ek olarak 7 adet daha lazer taraması toplanmıştır. Böylece toplamda 14 lazer taraması ICPP metot için kullanılmıştır. Önerilen birleştirme tekniği ile elde edilen dönüşüm parametreleri ve standart sapmaları Tablo 4'de sunulmuştur. Standart sapmalardan görüleceği üzere dönüşüm parametreleri güvenilirdir.

	XT (m)	YT (m)	ZT (m)	S	Ω (°)	Φ (°)	κ (°)
Lazer tar.1	0	0	0	1	0	0	0
Lazer tar.2	63.612 ± 0.030	-0.757 (± 0.023)	0.602 ± 0.048	1	-0.384 (± 0.088)	0.229 ± 0.096	97.254 ± 0.028
Lazer tar.3	60.686 ± 0.047	-64.455 (± 0.049)	0.623 ± 0.146	1	0.170 (± 0.144)	0.012 ± 0.125	42.504 ± 0.065
Lazer tar.4	42.114 ± 0.046	41.013 (± 0.048)	1.408 ± 0.118	1	0.214 (± 0.114)	0.362 ± 0.150	96.861 ± 0.053
Lazer tar.5	19.671 ± 0.038	-105.22 (± 0.039)	1.765 ± 0.172	1	-0.043 (± 0.128)	-0.351 ± 0.144	29.752 ± 0.031
Lazer tar.6	79.545 ± 0.049	-40.263 (± 0.027)	2.152 ± 0.101	1	-0.027 (± 0.113)	-0.443 ± 0.125	34.034 ± 0.034
Lazer tar.7	58.652 ± 0.037	-11.173 (± 0.030)	1.735 ± 0.115	1	0.184 (± 0.115)	-0.207 ± 0.124	23.851 ± 0.036
FYEV	-16.927 ± 0.044	79.309 (± 0.019)	51.039 ± 0.014	~1 (± 0)	88.065 (± 0.455)	82.435 ± 0.073	62.245 (± 0.44)

Tablo 4: Düzlemsel yöntemler esas alınarak Yamnuska Hall binasının lazer taramaları ve TFEV için hesaplanan dönüşüm parametreleri

Nicel kalite kontrol yöntemi, öncelikle ICPP metot parametrelerin ve bu çalışmada önerilen birleştirme tekniğinden elde edilen parametrelerin karşılaştırılmasıyla yapılmıştır. Bu karşılaştırma sonunda parametreler arasında çok fazla farklılıklar gözlenmemiştir. Son olarak nicel kalite kontrol yöntemi için birleştirme sonrasında düzlem üzerindeki noktalar ile aynı düzlem üzerindeki TFEV arasındaki mesafe hesaplanmıştır. Bu

karşılaştırma sonucunda 10 cm'den daha az farklar gözlenmiştir. Nicel kalite kontrol yöntemi için ise binanın lazer taramaları birleştirme sonucunda ayrıntılı olarak incelenmiştir. Şekil 5 Yamnuska Hall binasının birleştirilmiş lazer taramalarının çakışan kısımlarından bir örnektir. Görüleceği üzere önerilen birleştirme tekniği başarılı sonuçlar vermiştir.



Şekil 5: Yamnuska Hall binasının lazer taramalarının birleştirilmiş halinden bir kesit

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada az oranda çakışan lazer taramalarını, fotogrametrik verilerden elde edilen 3B veri kullanılarak birleştirilmesi amaçlanmıştır. Birçok birleştirme yöntemi minimum çakışan lazer taramalarından güvenilir bir 3B model elde edemezken, bu çalışmada yapılan birleştirme güvenilir sonuçlar vermiştir. Fakat doğrusal yöntemler kullanılarak yapılan birleştirme yöntemi, düzlemsel özellik ile yapılan birleştirmeye oranla daha kötü sonuç vermiştir. Bunun sebebi ise lazer taramalarından çıkarılan bazı doğrusal verilerin, fotogrametrik veride fiziksel karşılığının bulunmamasıdır. Gelecek çalışmalarda manüel işlemler ile çıkartılan doğrusal ve düzlemsel özelliklerin otomatik olarak çıkartılmasına odaklanılabilir. Böylece

daha da hassas güvenilir sonuçlar elde edilebileceği öngörülmüştür.

Teşekkür

Yazarlar Natural Science and Engineering Research Council of Canada ve TECTERRA'ya finansal destek için; Calgary Üniversitesi Digital Photogrammetry Research Group (DPRG) üyelerine çalışmadaki yardımları için teşekkürlerini sunmaktadırlar. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Fevzi Karşlı'ya bildirim yazımı sırasında vermiş olduğu katkılardan dolayı ayrıca teşekkür etmektedirler.

REFERANSLAR

- Al-Durgham M., Detchev I., and Habib A., (2011) *Analysis of Two Triangle-Based Multi-Surface Registration Algorithms of Irregular Point Clouds*, ISPRS Workshop Laser Scanning 2011, Volume XXXVIII-5/W12. Calgary, Canada. 29-31 August, 2011.
- Besl P. J., and McKay N. D., (1992), *A method for registration of 3-D shapes*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 14(2), pp 239–256.
- Canaz S., 2012. Planar and Linear Feature-Based Registration of Terrestrial Laser Scans with Minimum Overlap Using Photogrammetric Data, M.Sc. Thesis, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Canada.
- Chen Y. and Medioni G., (1992), *Object modeling by registration of multiple range images*, Image and Vision Computing 10(3): pp. 145-155.
- Habib A., Ghanma M. S., and Tait M., (2004), *Integration of LIDAR and Photogrammetry for Close Range Applications*, XXth ISPRS Congress: Proceedings of Commission V, 12/07/2004, Istanbul, Turkey, 2004.
- Habib A., Bang K. I., Aldelgawy M., Shin S. W., and Kim K. O., (2007), *Integration of Photogrammetric and LIDAR Data in a Multi-Primitive Triangulation Procedure*, Conf. American Society Photogrammetry Remote Sensing Conference, Tampa, Florida, May 7-11, 2007.
- Habib A., Kersting A. P., Ruifanga Z., Al-Durgham M., Kim C., and Lee D. C., (2008), *Lidar Strip Adjustment Using Conjugate Linear Features in Overlapping Strips*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing 2008 . pp. 386-390.
- Habib A., Kwak E., Al-Durgham M., (2011) *Model-Based Automatic 3D Building Model Generation by Integrating LiDAR and Aerial Images*. Archives of Photogrammetry, Cartography and Remote Sensing, Vol. 22, 2011, pp. 187-200 ISSN 2083-2214.
- Kersting A. P. B., (2012), *Quality Assurance of Multi-Sensor Systems*, Ph.D. Dissertation, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Canada, pp. 15-160.
- Lari Z., Habib A., and Kwak E., (2011), *An Adaptive Approach for Segmentation of 3D Laser Point Cloud*. ISPRS Workshop Laser Scanning 2011 Calgary, Canada 29 – 31 August 2011.
- Lari Z. and Habib A., (2012), *A new approach for segmentation of multi-resolution and multi-platform LiDAR data*. Proceedings of Global Geospatial Conference , Québec City, Canada, 14-17 May 2012.
- Renaudin E., Habib A., and Kersting A. P., 2011. *Featured-Based Registration of Terrestrial Laser Scans with Minimum Overlap Using Photogrammetric Data*. ETRI Journal, Volume 33 Number 4, August 2011. pp. 517-527.