

YERSEL FOTOGRAMETRİNİN TERSİNE MÜHENDİSLİK UYGULAMALARINDA KULLANIMI

Naci YASTIKLI, Zehra ERİŞİR, Pelin ALTINTAŞ, Tuğba ÇAK

Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 34220, Davutpaşa, İstanbul
ynaci@yildiz.edu.tr, zeresir@yildiz.edu.tr, pelinalintas92@gmail.com, cak.tugba@gmail.com

ÖZET

Bilgisayarlı görselleştirme (Computer Vision) ve bilgisayar destekli tasarım (CAD) alanındaki gelişmelerle birlikte tersine mühendislik uygulamalarının endüstriyel üretimde kullanımı büyük bir ivme kazanmıştır. Endüstriyel amaçlı tersine mühendislik uygulamalarındaki temel hedef, var olan bir ürünün, bir yüzeyin ya da bir yedek parçanın yeniden üretilmesi, mevcut ürünün aksaklıkların giderilmesi ya da geliştirilmesidir. Bu tür tersine mühendislik uygulamalarında ilk ve en önemli iş adımı var olan ürünün bilgisayar ortamında metrik üç boyutlu (3B) modelinin oluşturulmasıdır. Bu aşama sonrasında seri üretim için kalıpların hazırlanması, performans testlerinin yapılması, piyasadaki diğer ürün ve prototiplerle karşılaştırmaların yapılması vb. birçok işlem oluşturulan 3B model kullanılarak yapılmaktadır. Tersine mühendislik uygulamalarında 3 boyutlu model oluşturulması için, temassız yöntem olarak da isimlendirilen lazer tarayıcı sistemler ya da sayısal yersel fotogrametri yöntemi çoğunlukla tercih edilmektedir. Özellikle yersel fotogrametri, sadece fotoğrafların kullanımına ihtiyaç duyması, 3 boyutlu çizim imkanı, görüntü eşleme algoritmalarını kullanan yazılımlarla yoğun nokta bulutu ve ortofoto üretimi ve diğer yöntemlere göre ekonomik olması nedeniyle bu uygulamalarda popüler bir yöntem haline gelmiştir.

Bu çalışmanın amacı, 1/15 ölçekli model geminin gerçek ölçülerde gemi üretilmesine yönelik tersine mühendislik uygulamasının temassız bir yöntem olan yersel fotogrametri yöntemi ile 3B modelinin üretilmesidir. Bu amaç doğrultusunda, fotoğraf alımı için kalibre edilmiş 19.7582 mm odak uzaklıklı Nikon D3X sayısal SLR kamera kullanılmıştır. Fotoğraf alımı sonrasında yöneltme işlemleri, 3B çizim işlemleri, nokta bulutu ve ortofoto üretimi PhotoModeler yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu yersel fotogrametri iş adımları sonucunda 0.5 mm aralıklı yoğun nokta bulutu ve ortofoto üretimi yapılmıştır. Ayrıca hassas 3B çizim işlemleriyle elde edilen 3B model, düşük maliyetli yersel fotogrametri yönteminin tersine mühendislik uygulamalarındaki kullanımının başarısını ortaya koymuştur.

Anahtar Sözcükler: 3B modelleme, Fotogrametri, Görüntü Eşleme, Nokta Bulutu, Tersine Mühendislik

ABSTRACT

THE USE OF THE TERRESTRIAL PHOTOGRAMMETRY IN REVERSE ENGINEERING APPLICATIONS

The reverse engineering applications has gained great momentum in industrial production with developments in the fields of computer vision and computer-aided design (CAD). The main goals of industrial reverse engineering applications are the reproduction of an existing product, reproduction of an existing surface or reproduction of an spare part, elimination of the defect of an available product or improvement of the available product. The first and the most important step in reverse engineering applications is the generation of the three dimensional (3D) metric model of an existing product in computer environment. After this stage, many operations such as the preparation of molds for mass production, the performance testing, the comparison of the existing product with other products and prototypes which are available on the market are performed by using the generated 3D models. The most of the time, the laser scanner system or digital terrestrial photogrammetry method, which is also called contactless method, has been preferred for the generation of the 3D models in reverse engineering applications. In particular, terrestrial photogrammetry has become a popular method since require only photographs for the 3-dimensional drawing, the generation of the dense point cloud using the image matching algorithms and the orthophoto generation as well as its low cost in comparison to the other methods.

The aim of this study is the generation of the 3D model of the 1/15 scaled ship model by using terrestrial photogrammetry which is a contactless method, for the production of the ship in real size as a reverse engineering application. For this purpose, the photographs were taken with Nikon D3X digital SLR camera, which has 19.7582 mm focal length. After taking photographs, orientation process, 3D drawing operations, point cloud and orthophoto generations have been performed by using PhotoModeler. As a result of the terrestrial photogrammetric steps, 0.5 mm spaced dense point cloud and orthophoto have been generated. In addition, 3D models obtained by precise 3D drawing operations have demonstrated the success of the terrestrial photogrammetry techniques in reverse engineering applications.

Keywords: 3D modelling, Photogrammetry, Image Matching, Point Cloud, Reverse Engineering

1. GİRİŞ

Son yıllarda bilgisayarlı görselleştirme ve bilgisayar destekli çizim ve tasarım büyük ilerlemeler kaydetmiş ve yaygın olarak endüstriyel üretim çalışmalarında kullanılmaya başlamıştır. Modern endüstriyel üretim çalışmalarında

bir objenin seri üretiminde ilk olarak objenin 3 boyutlu modeli ya da yüzey modeli bilgisayar ortamına aktarılmakta sonrasında da objenin 3 boyutlu CAD modeli oluşturulmaktadır. Tersine mühendislik tam da bu aşamada devreye girmekte, var olan bir parçanın ya da bir ürünün seri bir şekilde üretilmesi için ihtiyaç duyulan işlem adımlarını kapsamaktadır. Tersine mühendislik bugün birçok farklı uygulamada başarıyla kullanılmaktadır. Bu tersine mühendislik uygulamalarına örnek olarak, üretimi yapılan bir makine parçasının üretim kalıbı ya da 3 boyutlu CAD modelinin zarar görmesi ya da olmaması nedeniyle yeniden üretime ihtiyaç duyulması, bir sanayi tesisinin bakımı, performans analizi ve yeniden düzenlenmesi çalışmaları, uzun yıllardır üretimi yapılmayan bir ürünün kullanıcıların elindeki eski üretimlerinden yeniden üretime hazırlanması, mevcut bir ürüne yeni fonksiyonlar kazandırılması ya da özelliklerinin geliştirilmesi, sadece elle üretilen ürünlerin seri halde üretime hazırlanması, tarihi gemi modellerinin üretimi, tarihi ve kültürel miras özelliği taşıyan zarar görmüş eserler ve yapıların orijinal hallerinin modellenmesi ve restorasyonu, arkeolojik sit alanlarındaki yapı ya da yapı grupları ve diğer arkeolojik kalıntıların modellenmesi ve restorasyonu vb. verilebilir. Özellikle son yıllarda 3 boyutlu yazıcı teknolojisindeki gelişmeler, bilgisayar ortamında 3 boyutlu CAD modeli oluşturulan objelerin prototiplerinin üretiminde büyük kolaylık sağlamaktadır.

Sayısal yersel fotogrametri uzun yıllardır tarihi ve kültürel miras özelliği taşıyan yapıların belgelenmesi ve 3 boyutlu modelleme çalışmalarında başarıyla kullanılmaktadır (Yastıklı ve Alkış, 2003; Yastıklı, 2007; Yastıklı ve Güler, 2013). Tersine mühendislik uygulamalarındaki iş adımlarından ilki daha öncede ifade edildiği gibi mevcut üretimi yapılacak objenin bilgisayar ortamında metrik üç boyutlu (3B) modelinin oluşturulmasıdır. Bu aşamada sayısal yersel fotogrametri yöntemi mevcut objenin 3 boyutlu modelinin oluşturulmasına katkı sağlamaktadır. Yersel lazer tarayıcı sistemler de tersine mühendislik uygulamalarında kullanılmakla birlikte; yersel fotogrametri, düşük maliyetli sayısal kameralarla çekilen fotoğrafların ve yazılımların kullanılması nedeniyle çoğunlukla tercih edilmektedir. Özellikle yoğun görüntü eşleme algoritmalarını (Haala, 2013) kullanan görüntü eşleme yazılımları yersel lazer tarayıcı sistemlerle elde edilen nokta bulutundan daha sık bir nokta bulutu üretimine olanak sağlamaktadır. Bu durum yersel fotogrametrinin tersine mühendislik uygulamalarındaki kullanımını daha yaygın hale getirmiştir.

Bu çalışmada, tersine mühendislik uygulamasında kullanılmak üzere yersel fotogrametri yöntemi ile 1/15 ölçeğindeki ufak bir model geminin 3B modelinin üretilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla ikinci bölümde tersine mühendislik uygulamaları ve işlem adımları ile ilgili özet bilgiler verilmiştir. Uygulama kısmında ise, yersel fotogrametri yöntemi ile 3 boyutlu modellemeye ilişkin izlenen yaklaşım ve yöntemler hakkında bilgiler verilmiştir. Yersel fotogrametri iş adımları sonucunda; üretilen 0.5 mm aralıklı yoğun nokta bulutu, CAD çizimleri ve sayısal ortofoto doğruluk ve kalite değerlendirmesine ilişkin irdelemeler sonuç ve öneriler kısmında verilmiştir.

2. TERSİNE MÜHENDİSLİK

Bir ürünün özellikleri, boyutları ve çalışma prensipleri hakkında kesin veriler elde etmeyi amaçlayan tersine mühendislik, çoklu disiplinden gelen araştırmacıların yer aldığı araştırma ve uygulamalarda kullanım olanağı bulmuştur. Bu uygulamalara örnek olarak, tıp uygulamaları (yüzün yeniden oluşturulması, protezler vb.), yersel ve jeodezik konular (sayısal arazi modelleri (SAM), coğrafi bilgi sistemi (CBS) uygulamaları vb.), tarihi ve kültürel miras özelliği taşıyan yapı ve objelerin belgelenmesi ve 3 boyutlu modellenmesi, havacılık, mekanik, otomotiv ve gemi inşası vb. verilebilir (Menna ve Troisi, 2010).

Cavagnini vd. (2008) yaptıkları çalışmada olay yeri incelemesi amacıyla, kanıt araştırma ve analizleri için veri toplama yönelik geleneksel tersine mühendislik yöntemlerinin kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Górski vd. (2010) ise yaptıkları çalışmada, mekanik parçaların yeniden üretimi amacıyla 3 boyutlu modellerini üretmek için yersel fotogrametrinin tersine mühendislik uygulamalarında pratik kullanımı ortaya koymuşlardır. Benzer şekilde Menna, Troisi (2010) çalışmalarında, tersine mühendislik uygulamalarına yönelik küçük bir gemi pervanesinin 3 boyutlu modellenmesi için yersel fotogrametri yanında lazer tarama yöntemi ve her iki yöntemin bütünlük kullanımını araştırmışlardır. Menna vd. (2011), yaptıkları farklı bir çalışmada da denizcilik alanındaki kültürel mirasın korunması, restorasyonu ve yeniden üretimi için 3 metre uzunluğundaki "Indomito" isimli tarihi bir geminin 3 boyutlu yeniden modellenmesi ve sonrasında tersine mühendislik uygulamasını gerçekleştirmişlerdir.

Yukarıda özetlenen tersine mühendislik uygulamalarındaki işlem adımları (Górski vd., 2010);

- mevcut objeden yersel fotogrametri ya da lazer tarama yöntemi ile nokta bulutu üretimi,
- üretilen nokta bulutundan objenin 3 boyutlu CAD modelinin üretimi,
- prototip üretimi,
- silikon kalıp üretimi,
- sonuç ürün

şeklinde sıralanabilir.

Yüksek doğruluklu tersine mühendislik uygulamalarında nokta bulutu ve 3 boyutlu model üretiminde temaslı ve temassız yöntem olarak isimlendirilen yöntemler kullanılmaktadır.

2.1 Temaslı Yöntem

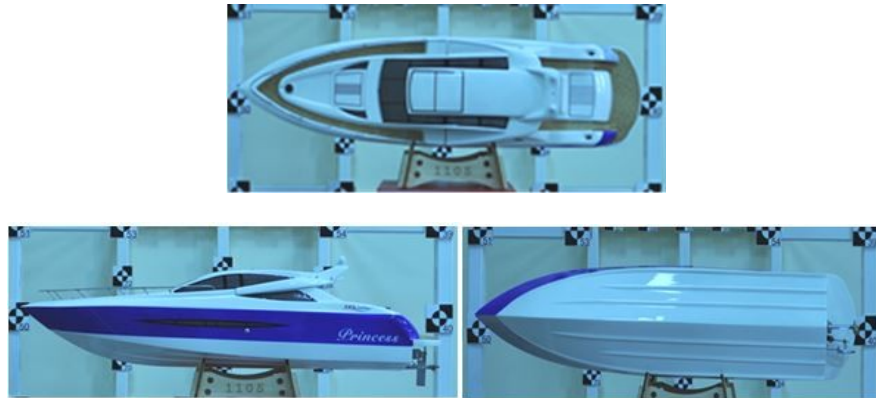
Bu yöntemde, ölçüm ve 3 boyutlu modelleme çalışmalarında kullanılan sistem söz konusu objeye dokunarak çalışır. Bu yaklaşımla çalışan koordinat ölçüm sistemleri (CMMs) ar-ge ve kalite kontrol amaçlı tersine mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu sistemlerle, kullanılan bir mekanik kolunun ucunda bulunan ölçüm başlığı yardımı ile dokunulan obje noktalarının üç boyutlu koordinatları hassas bir şekilde ölçülmektedir. Günümüzde koordinat ölçüm sistemleri güvenilir bir teknolojidir fakat kullanımları özel laboratuvarlar ve küçük objelerle sınırlıdır (Menna ve Troisi, 2010). Diğer önemli sınırlamaları ise, temas zorunluluğunun olması, koordinat ölçüm aşamasının yavaş olması ve maliyetinin yüksek olmasıdır (Gerbino vd., 2004).

2.2 Temassız Yöntem

Temassız yöntemde ise ölçüm ve 3 boyutlu modelleme çalışmaları, ya aktif bir algılama sistemi ya da objenin sayısal fotoğrafları kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Tersine mühendislik uygulamalarında kullanılan en yaygın temassız yöntemler lazer tarayıcı sistemler ve sayısal fotogrametri yöntemidir. Lazer tarayıcı sistemler, mesafeye dayalı ölçüm prensipleri ve doğrudan dokuya ait renk bilgisi içeren 3 boyutlu nokta bulutu üretim olanakları ile tersine mühendislik uygulamalarındaki 3 boyutlu modelleme işlem adımı için sıklıkla kullanılmaktadır (Menna ve Troisi, 2010, Górski vd., 2010). Bu lazer tarayıcı sistemlerin sınırlamaları ise pahalı olmaları, hassas ve objeyi tam olarak ifade eden bir nokta bulutu üretimi için farklı istasyonlardan tarama yapılması ihtiyacı olarak sıralanabilir. Buna karşılık sayısal yersel fotogrametri yöntemi düşük donanım ve yazılım maliyeti ile tersine mühendislik uygulamalarının vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Günümüzde sayısal görüntü analizleri için yeni geliştirilen algoritmalar, hızlı ve hassas yarı otomatik ya da otomatik ölçümleri ve yoğun nokta bulutu üretimini mümkün kılmaktadırlar (Menna ve Troisi, 2010).

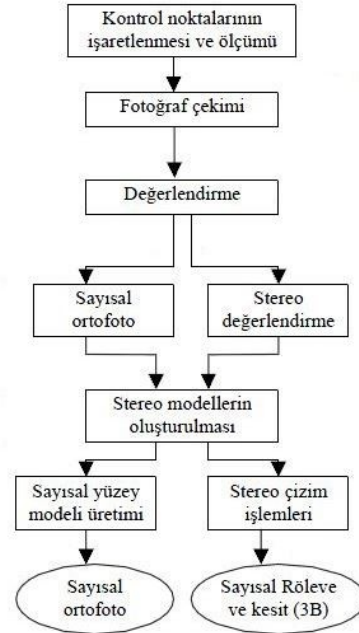
3. UYGULAMA

Bu çalışmada, tersine mühendislik uygulamalarında yersel fotogrametri kullanılarak 3 boyutlu model üretimine ilişkin bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Tersine mühendislik çalışmasının asıl hedefi 1/15 ölçeğindeki ufak bir model geminin 3B modelinin üretilmesi sonrasında bu model yardımıyla gerçek boyutlarda gemi üretimidir. Uygulama aşamasında kullanılan uzunluğu 1 m, genişliği 20 cm olan “Princess” isimli model gemi Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. “Princess” isimli model geminin farklı açılardan görünümü

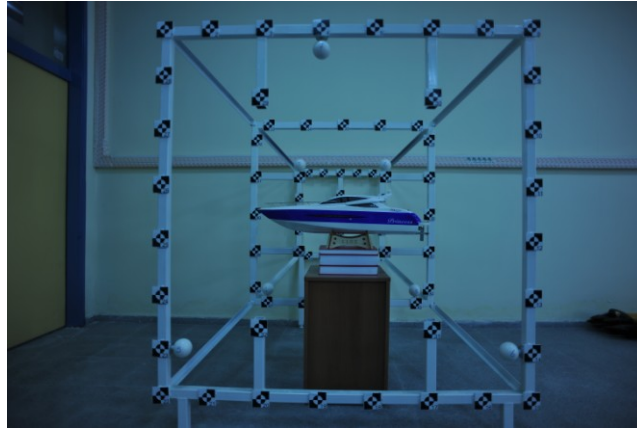
Yersel fotogrametri yöntemi kullanılarak “Princess” isimli model geminin yüzey modeli diğer bir ifade ile 3 boyutlu nokta bulutu üretimi ve stereo çiziminin yapılabilmesi için izlenen işlem adımları Şekil 2’de özetlenmiştir (Yastıklı, 2005).



Şekil 2. Yersel sayısal fotogrametri iş adımları

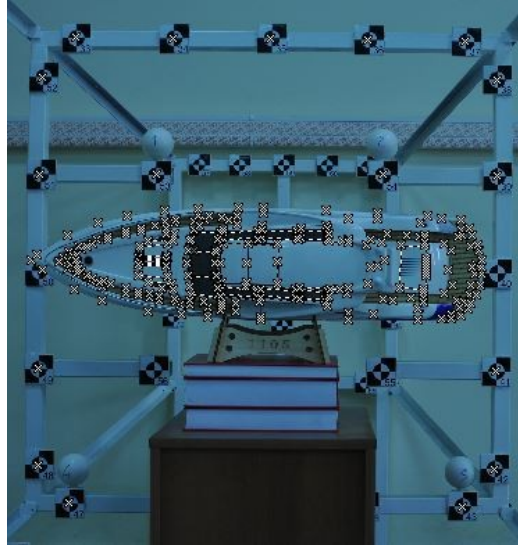
Fotoğraf çekimi, piksel büyüklüğü 6 μ olan Nikon D3X sayısal SLR kamera ile gerçekleştirilmiştir. Kameranın geometrik kalibrasyonu daha önceki bir araştırma projesi çerçevesinde yapılmış ve iç yöneltme elemanlarından odak uzaklığı (c) 19.7582 mm, asal noktanın konumu (x_0 , y_0) ise -0.0293 mm, -0.0955 mm olarak belirlenmiştir (Yastıklı vd., 2012).

Yersel fotogrametri yöntemi ile 3 boyutlu model üretmek amacıyla, “Princess” isimli model geminin pruva (baş), pupa (kıç), sancak (sağ), iskele (sol), borda (yan) ve karina (alt) kısımlarının fotoğrafları normal alım ve konvergent alım yöntemiyle çekilmiştir. Model gemi 77 adet kontrol noktasına sahip 3 boyutlu test objesi içerisine yerleştirilmiş ve tüm fotoğraf alımları bu şekilde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Fotoğraf alımı sırasında bir adet stereo görüntü, alım uzaklığı (y) 2 m, b/h oranı 1/8 alınarak 25 cm baz mesafesi ile kaydedilmiştir. Ayrıca, konvergent alım yöntemi ile 2 m alım uzaklığında oluşturulan çekim hattından da 2 farklı noktadan fotoğraflar çekilmiştir. Fotoğraf ölçeği yaklaşık: $m_r = y/c = 2000/19.7582 \approx 100$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3. Fotoğraf alımı için test objesine yerleştirilmiş model gemi

Bu uygulama fotoğraflardan 3 boyutlu çizim ve nokta bulutu üretimine olanak sağlayan PhotoModeler yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Uygulamada kullanılacak fotoğraflar seçilerek ve geometrik kalibrasyon sonucu elde edilen kamera bilgileri sisteme girilerek standart proje oluşturulmuştur. PhotoModeler yazılımı karşılıklı ve mutlak yöneltme işlemlerini bir arada yaptığı için kontrol ve bağlama noktaları aynı aşamada işaretlenmiş ve eşleştirilmiştir (Şekil 4). Noktaların işaretlenmesinde, işaretlenen noktanın her fotoğrafta seçilebilir olmasına dikkat edilmiştir. Her yüzey için işaretlenen kontrol ve bağlama noktalarının sayıları Çizelge 1’de verilmiştir.

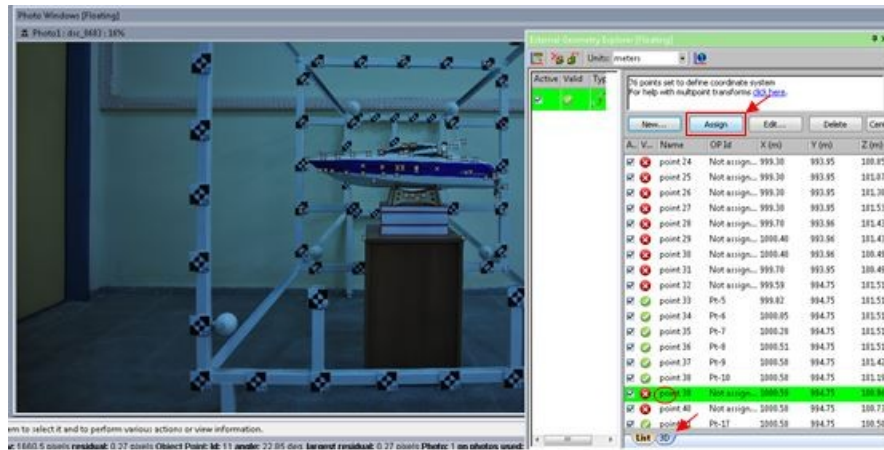


Şekil 4. Geminin üst kısmı için işaretlenen kontrol ve bağlama noktaları

Çizelge 1. Kontrol ve bağlama noktası sayıları

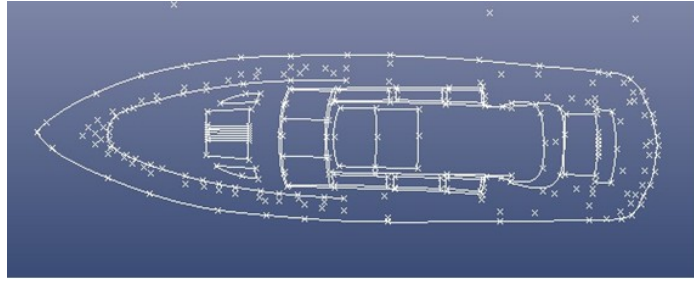
Geminin Kısımları	Fotoğraf Sayısı	Kontrol Noktası Sayısı	Bağlama Noktası Sayısı
Alt Kısım	4 fotoğraf	17	15
Üst Kısım	4 fotoğraf	17	268
Yan Kısım	4 fotoğraf	17	72

Kontrol ve bağlama noktaları işaretlenmesi sonrasında eşleştirme işlemi için bir fotoğraf referans olarak seçilmiş ve her bir noktanın yeri diğer üç fotoğrafta da gösterilerek eşleştirme işlemi 0.82 piksel karesel ortalama hata ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonra yerel koordinat sisteminden, referans koordinat sistemine geçiş için kontrol noktalarının referans koordinat sistemindeki koordinatları (X, Y, Z) sisteme girilmiştir (Şekil 5). Bu aşamadan sonra kontrol ve bağlama noktaları üç boyutlu olarak görülebilmektedir.



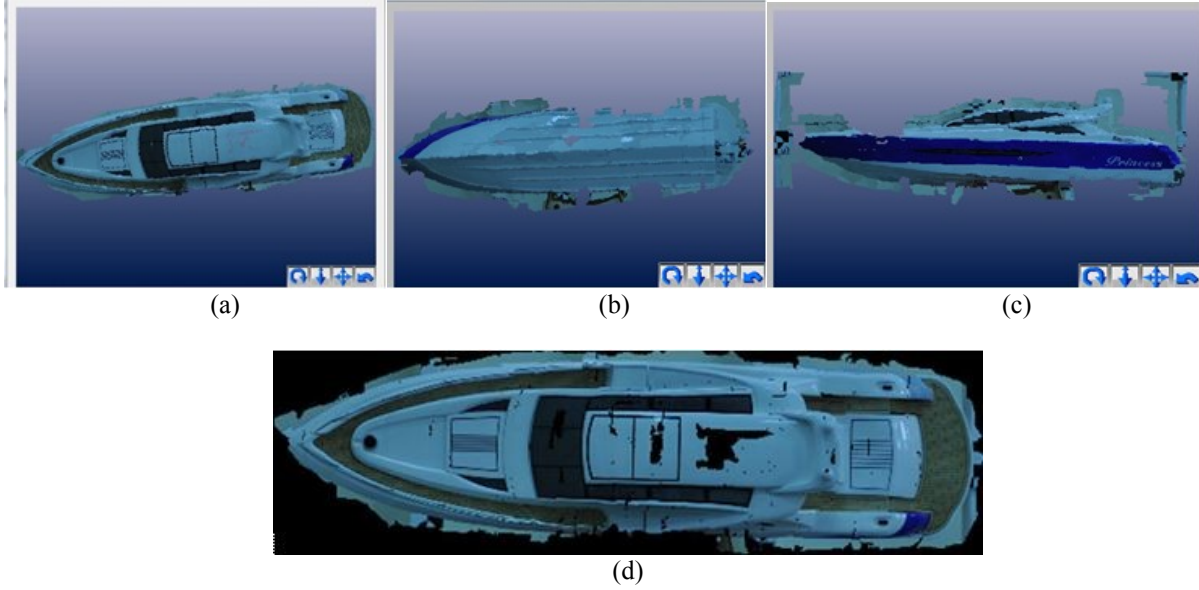
Şekil 5. 3 boyutlu referans koordinatlarının sisteme girilmesi

Çizim işlemi sırasında, çiziyi oluşturan her yeni nokta için referanslandırma işlemi yeniden yapılmakta ve bu şekilde çizimler de referanslandırılmış olmaktadır. Bu işlem adımları sonucunda model geminin üst kısmına ait 3 boyutlu çizim Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Geminin üst kısmının üç boyutlu çizimi

Nokta bulutu üretimi aşamasında öncelikle her fotoğrafta, nokta bulutunun üretileceği bölgeler için maskeler oluşturulmuştur. Sonrasında hedeflenen bölgelerde nokta bulutu üretimi 0.5 mm sıklıkta, 0.91 piksel karesel ortalama hata eşleme doğruluğu ile gerçekleştirilmiştir. Nokta bulutu üretimi sonrasında üçgenleme aşamasında, kaba hatalı noktaların temizlenmesi, nokta bulutunun seyreltilmesi, ayrıca nokta bulutu üretilemeyen alanlarda boşluk doldurma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ortofoto, çekilen fotoğraflar ve üretilen gemi modeline ait sayısal yüzey modeli (nokta bulutu) kullanılarak yer örnekleme aralığı (GSD) 1 cm olacak şekilde üretilmiştir. Ortofoto üretiminde yeniden örnekleme yöntemi olarak biküçük enterpolasyon yöntemi seçilmiştir. Model geminin farklı kısımlarına ait üretilen sayısal yüzey modelleri ve üst kısmına ait sayısal ortofoto Şekil 7’de verilmiştir. Şekil 7’de görüldüğü üzere, model geminin üst, alt ve yan kısımlarında nokta eşleştirme işlemindeki başarısızlıklar sebebi ile nokta bulutu üretilemeyen bölgeler oluşmuştur. Nokta bulutu çoğunlukla fotoğraftaki kontrast farkı bulunmayan beyaz renge sahip alanlarda üretilememiştir. Benzer şekilde bu alanlarda eşlenik nokta ölçümü de mümkün olmamıştır ya da düşük doğrulukla ölçülebilmıştır.



Şekil 7. Model geminin üst (a), alt (b) ve yan (c) kısımlarının sayısal yüzey modeli ve üst kısmının (d) ortofotosu

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, tersine mühendislik uygulamalarında kullanılmak üzere “Princess” isimli model geminin yersel fotogrametri yöntemi ile üç boyutlu modellenmesi başarıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma sırasında yersel fotogrametri iş adımları izlenerek fotoğraf çekimi ve yöneltme işlemleri yapılmıştır. Bu işlemler sırasında model gemi üzerine herhangi bir kontrol noktası işaretlenmemiş bunun yerine model gemi 77 adet kontrol noktasına sahip 3 boyutlu test objesi içerisine yerleştirilmiştir. Bu sayede sadece model gemiye ait nokta bulutunun üretilmesi amaçlanmış, gemi üzerinde bulunmayan hiçbir işaret ya da kontrol noktasının yüzey modeli üzerinde bulunmaması engellenmiştir. Uygulama aşamasında nokta bulutu diğer bir ifade ile sayısal yüzey modeli, PhotoModeler yazılımı kullanılarak 0.5 mm nokta sıklığında, 0.91 piksel karesel ortalama hata eşleme doğruluğuyla ortofoto ise 1 cm yer örnekleme aralığında üretilmiştir.

Bu çalışma sırasında önerilen yaklaşımla yüksek çözünürlüğe sahip yüzey modeli ve ortofoto başarı ile üretilmiş ve düşük maliyetli yersel fotogrametri yönteminin tersine mühendislik uygulamalarındaki kullanım potansiyeli ortaya konulmuştur. Bu çalışmadaki yaklaşıma göre, nokta bulutu üretiminin görüntü eşleme yöntemi ile üretilmesi

nedeniyle, eşlenik nokta ölçümünün uygun dağılımı ve obje renginin kontrast farkı oluşturması nokta bulutu üretiminin sıklığı ve doğruluğunu açısından dikkat edilmesi gereken önemli hususlardır. Bu tür durumlarda, söz konusu obje üzerine lazer vb. ışık kaynağı ile yansıtılan yapay nokta bulutu ya da grid ağı ile görüntü eşlemenin kalitesi dolayısıyla da sayısal yüzey modelinin sıklığı ve doğruluğu artırılabilir.

KAYNAKLAR

Cavagnini, G., M. Scalvenzi, M., Trebeschi, M., Sansoni G., 2008, Reverse Engineering from 3D Optical Acquisition: Application to Crime Scene Investigation, *3rd International Conference on Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping; Virtual and rapid manufacturing*; 195-202, London.

Gerbino, S., Martorelli, M., Renno, F., Speranze, D., 2004, Cheap Photogrammetry Versus Expensive Reverse Engineering Techniques in 3D Model Acquisition and Shape Reconstruction, *International Design Conference – Design 2004*, Dubrovnik, May 17-21.

Górski, F., Kuczko, W., Wichniarek, R., Zawadzki, P., 2010, Application of Close-range Photogrammetry in Reverse Engineering, *7th International DAAAM Baltic Conference, INDUSTRIAL ENGINEERING*, 22-24 April, Tallinn, Estonia.

Haala, N., 2013, The Landscape of Dense Image Matching Algorithms. In: *Fritsch, D. (Ed.): Photogrammetric Week '13*, Wichmann, Berlin/Offenbach, 271-284.

Menna, F., Nocerino, E., Scamardella, A., 2011, Reverse Engineering and 3D Modelling for Digital Documentation of Maritime Heritage, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXVIII-5/W16, 2011 ISPRS Trento 2011 Workshop, 2-4 March, Trento, Italy.

Menna, F., Troisi, S., 2010, Low Cost Reverse Engineering Techniques for 3D Modelling of Propellers, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVIII, Part 5 Commission V Symposium, Newcastle upon Tyne, UK.

Toptaş, E., 2010, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Mekatronik Bölümü, İstanbul, <http://mimoza.marmara.edu.tr/~etoptas/files/TERSINE%20MUHENDISLIKveHHIZLI%20PROTOTIPLME.pdf>, (20 Ağustos 2014).

Yastıklı, N., 2005, Sayısal Fotogrametri ve Yersel Lazer Tarayıcılar ile Belgeleme ve Üç Boyutlu Modelleme, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, *10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 28 Mart - 1 Nisan, Ankara.

Yastıklı, N., 2007, Documentation of Cultural Heritage Using Digital Photogrammetry and Laser scanning, *Journal of Cultural Heritage*, ISSN: 1296-2074, Volume 8, Issue 4, pp 423-427, September-December.

Yastıklı, N., Alkış, Z., 2003, Documentation of Cultural Heritage by Using Digital Close Range Photogrammetry, *Proc. XIXth International Symposium CIPA 2003*, New Perspective to Save Cultural Heritage, 30 September-04 October, pp. 61-63, Antalya.

Yastıklı, N., Güler, E., 2013, Performance Evaluation Of Thermographic Cameras For Photogrammetric Documentation Of Historical Buildings, *Boletim De Ciencias Geodesicas*, Volume: 19, Issue: 4, Pages: 711-728, Published: OCT-DEC.

Yastıklı, N., Güler, E., Bal, A., 2012, Fotogrametrik Belgelemede Kullanılan Sayısal Ve Termal Kameraların Geometrik Kalibrasyonu, *IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012)*, 16-19 Ekim, Zonguldak.