

**Makale
(Article)**

Optik Lazer Tarayıcılarla Hasarlı Otomobil Örneğinde Objelerin Modellenmesi

Bülent BAYRAM, Fatih POYRAZ, Kemal Özgür HASTAOĞLU, Uğur ACAR, İbrahim ÇETİN
Yıldız Teknik Üniversitesi İnş. Fak. Harita Müh. Böl., 34210 İstanbul/TÜRKİYE
bulentbayram65@gmail.com

Özet

Lazer tarama, görüntü işleme ve bilgisayar tekniklerindeki gelişmeler endüstriyel amaçlı ölçme, modelleme ve analiz çalışmalarında önemli gelişmeleri de beraberinde getirmiştir. Özellikle karmaşık objelerin modellenmesi sürecinde tersine mühendislik (reverse engineering) çalışmalarında hız ve doğruluk önemli ölçüde artmıştır.

Karmaşık üretim aşamalarında doğruluk ve hızın önemli olduğu koşullarda, gerek üretimden çıkan parçaların tasarıma uygun olarak üretilip üretilmediğinin kontrolünde ve gerekse parça yüzeylerinin sayısallaştırılmasında bu sistemler yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Sunulan çalışmada optoTOP-HE optik lazer tarama sistemi ve AICON 3 boyutlu modelleme yazılımı kullanılarak hasar görmüş bir araç 3 boyutlu modellenerek hasar miktarı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yersel lazer tarayıcılar, yakın resim fotogrametrisi, endüstriyel Ölçmeler, tersine mühendislik

Object Modeling by Using Optical Laser Scanner: Case Study Damaged Auto

Abstract

Laser scanning, image processing and advancements on computer techniques brought important advancements on industrial measurement, modeling and analysis as well. Especially speed and accuracy has been greatly enhanced on complex object modeling and reverse engineering.

These systems are widely used in complex production stages, where speed and accuracy is important, whether to check the produced pieces are appropriately created according to design or digitizing of piece surfaces.

In the presented study, a damaged car has been modeled using optoTOP-HE optical laser scanning system and AICON 3 dimensional modeling software to identify the damage amount.

Keywords: Terrestrial laser scanner, close range fotogrametry, industrial measurement, reverse engineering

1. GİRİŞ

Modern üretim ve montaj teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak endüstriyel tesislerde üretilen makine parçalarının doğru ve hızlı olarak kontrol edilmeleri gereksinimi doğmuştur. Zamanın önemli olduğu günümüzde, seri üretim ile sağlanan hızın devamı için üretilen parçaların kontrolünün de hızlı ve doğru olarak yapılması gerekmektedir. Bu gereksinimi sağlamak amacıyla endüstriyel tesislerde kullanılmak üzere çeşitli ölçme sistemleri geliştirilmiştir.

Bu makaleye atf yapmak için

Bayramı B., Poyraz F., Hastaoğlu Ö.K., Acar U., Çetin, İ. "Optik Lazer Tarayıcılarla Hasarlı Otomobil Örneğinde Objelerin Modellenmesi" Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi 2009, 1(1) 49-58

How to cite this article

Bayramı B., Poyraz F., Hastaoğlu Ö.K., Acar U., Çetin, İ. "Object Modeling by Using Optical Laser Scanner: Case Study Damaged Auto" Electronic Journal of Map Technologies, 2009, 1(1) 49-58

Endüstri, mimarlık ve tıpta kullanılan çoğu optik ölçme teknikleri farklı algılayıcı tiplerinin geliştirilerek farklı objelere ait yüzey geometrisinin doğru bir şekilde elde edilmesine olanak sağlar [5-7-11]. Objelerin üç boyutlu modellenmesi, sanal gerçeklik ortamına aktarılması, tarihi mirasın korunması amacıyla yapılan belgeleme çalışmalarında kullanılan optik lazer tarama sistemleri; lazer tarama, fotogrametri, vb. tekniklere dayanır [9]. Optik üç boyutlu algılayıcılar doğrudan objelerin şekillerini ölçerler, hızlıdır ve klasik yöntemlere göre yüksek ölçü yoğunluğuna sahiptirler [7].

Bu konuda çeşitli çalışmalar mevcuttur; Kuş [1] Tersine mühendisliğin otomatik endüstrisindeki uygulamasına yönelik çalışmasıyla konunun önemini vurgulamıştır. Akça vd. [2] Antalya Müzesi' ndeki Herakles heykelinin, Zürich' te Rietberg Müzesi' ndeki Khmer Heykeli' nin; J. Peipe , H.-J. Przybilla [9] Almanya-Essen Katedrali' ndeki Golden Madonna heykeli' nin modellenmesi için çalışmada sunulan sistemi kullanmışlardır.

Optik lazer tarama teknolojisi ile, küçük bir dişli parçasından, araç tamponuna kadar çeşitli parçaların yüksek duyarlılıkla üç boyutlu olarak taranması gerçekleştirebilmektedir. Elde edilen nokta bulutundan, yüzey ve CAD modeli oluşturularak, hızlı ilk örnek ya da CNC ile kopyasının üretilmesi mümkün olduğu gibi, üretim için mekanik tasarım ve kalıp tasarımı da geleneksel yöntemlere kıyasla, çok daha kısa ve verimli bir şekilde yapılabilir.

Yüksek duyarlılıkla elde edilen tarama verisi üzerinde çeşitli analizler yapmak da mümkündür, ayrıca el ile hazırlanan bir ürün modelinin taranması ile de endüstriyel tasarım için harcanan zamanın önemli oranda kısalması mümkün hale getirilmektedir.

Sunulan çalışmada optoTOP-HE optik lazer tarayıcısı kullanılarak hasarlı bir aracın tamponuna ait hasar ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla hasarlı kısmı(sol tampon) ve simetriği olan sağ tampon taranmıştır. Her iki tarama sonucu üç boyutlu modellenmiş, aracın hasarsız tamponu referans alınarak her iki tampon arasındaki üç boyutlu modelin farkı alınarak hasar analizi gerçekleştirilmiştir.

2. ÜÇ BOYUTLU OPTİK TARAMA ve TERSİNE MÜHENDİSLİK

Yüksek yoğunluktaki üç boyutlu tarama verileri, endüstriyel tasarım kolaylığı sağlamanın yanı sıra üretim ve kontrol işlemlerinin de daha hızlı ve duyarlı yapılmasını sağlar. Bu özellikler büyük zaman kazancını beraberinde getirirken kullanıcı kabiliyetinin de üst düzey olması gerekmez [11]. Tersine mühendislik 3 boyutlu taramanın en bilinen kullanım amaçlarından biri ve bu teknolojinin en fazla kullanıldığı alandır. Pek çok endüstriyel uygulamada sıklıkla ürünlerin ve parçaların CAD modellerine ihtiyaç duyulur (Şekil 1). Bazı üreticiler yeni bir ürüne dahil etmek için üretim parçalarının ya da alt bileşenlerin CAD verilerine ihtiyaç duyabilirler. Örneğin otomotiv endüstrisi alt bileşenleri ve parçaları yeni modellerinde ufak modifikasyonlarla sıklıkla kullanmaktadır [12-13].



Şekil 1. Otomotiv sanayinden bir uygulama [12]

3. UYGULAMA

3.1. Donanım ve Yazılım

Sunulan çalışmada kullanılan optoTOP-HE optik lazer tarayıcı sistemin teknik özellikleri Tablo1’de verilmiştir.

Sistem güçlü bir halojen ışık kaynağı ile cismin üzerine farklı dokusal özellikleri olan fringe’ler düşürülmesi esasına dayandırılmıştır. Cismin yüzeyi üzerinde bu kodlanmış yapıları ışıklar, cismin şeklinin karakteristik özelliklerine göre deformasyona uğrar. Projeksiyon sistemi ile özel bir açı yapacak şekilde yönlendirilmiş yüksek çözünürlükteki bir kamera sistemi ile bu deformasyon bilgileri alınır nokta bulutu oluşturulur [15].

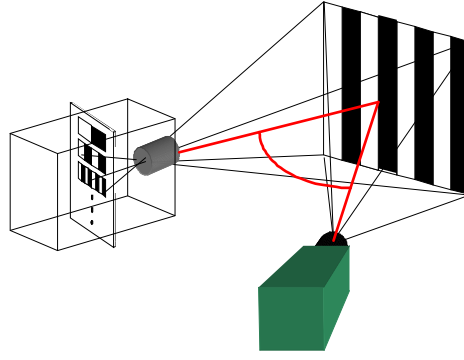
Kullanılan optik lazer tarayıcı (optoTOP-HE) gri kod/faz kaydırma tekniğini kullanır ve 3 boyutlu veriyi yüksek çözünürlükte elde etmektedir. Gri kodlama işlemi Z de ani değişimleri saptamaktadır. Faz kaydırma çok hassas biçimde veri toplamaya olanak tanımaktadır. Bir tarama işlemi 1.4 Mpiksel sayısal kamera kullanıldığı takdirde 1 sn, 4-8 Mpiksel sayısal kamera kullanıldığı takdirde birkaç saniye sürmektedir. Farklı taramalar 3 boyutlu geometriyle birbirine bağlanabilmektedir [2].

Tablo 1. OptoTOP-HE sistem özellikleri [3]

Görüntü alanı	480x360 mm
Görüntü derinliği	320 mm
Veri toplama zamanı	< 1 sec.
Sensor ağırlığı	2-3 kg
Sayısallaştırma (İşlem yapma kapasitesi)	1280x1024 = 1.25M points
Baz Uzunluğu	600 mm
Üçgen açısı	300
Yatay çözünürlük	~360 microns
Düşey çözünürlük	~20 microns
Detay doğruluğu (bağıl)	1/15000 (~50 microns)
Detay doğruluğu	1/15000(~45 microns)

Kodlu yapısal ışık sistemleri, nesne üzerine düz bir şerit yerine bir desen düşürme sistemine dayalı ve birden çok noktadan görüntüleme yapan sistemlerdir. Bu da nesneyi lazer tarayıcılarda tarama gereksinimi ortadan kaldırmışlardır. Tarama bölgesindeki 3 boyutlu şekil üçgenleme uygulanarak elde edilmektedir [2-3-4].

Kodlanmış desenler zaman serileriyle elde edilmektedir. Ölçülen yüzeye desen düşürülür ve desen serileriyle yüzeye kodlanmış bir piksel değeri atanır. İkili kodlanmış desenler siyah ve beyaz değerler içermektedir. Bir projektörle nesne üzerine yansıtılmaktadır [2-10-6].



Şekil 2. İzdüşüm sisteminin yapısı [2]

Ardışık gri kodlanmış fringe desenleri obje üzerine iz düşürülür (Şekil 2). Bu durumda obje 2^n sayıda bölümlendirilir. Burada n ; ardışık desen sayısıdır. Böylelikle her bir piksel 0 ya da 1 değerini alır. Piksellerde görüntü genişliği n olduğu kabul edilirse $O(n)$ fonksiyonu görüntü sayısını belirtmektedir. Yapısal ışık sisteminin analizi, Gri kodun yansıtılmasıyla ikili kod iz düşümüdür [2].

AICON DPA-Pro sistemi sayesinde son derece kararsız ve riskli ortamlarda dahi parçaların 3 boyutlu noktasal verileri oluşturulabilir (Şekil 3). Ayrıca deformasyona maruz kalan parçalar için deformasyon analizi yapılabilir, taşıtların çarpma analizleri gerçekleştirilebilir[14-16].



Şekil 3. AICON sisteminde kullanılan donanımlar [12]

AICON DPA-Pro veri toplamak için yüksek çözünürlüklü dijital kamera kullanan, üç boyutlu değerlendirme ve modellemeye olanak sağlayan, yazılım ve donanım bileşenlerinden oluşan bir sistemdir. Parçanın tamamını kapsayacak şekilde değişik açılardan fotoğraflar çekilir ve bu fotoğraflar kendi özel yazılımına aktarılarak işlenir. Sonuçta parçanın üzerinde istenilen bölgelere konulmuş markalardan oluşan 3 Boyutlu koordinat sistemi oluşturulur. Sistem hiç bir şekilde kalibrasyona gereksinim duymaz. DPA-Pro sistemi sayesinde son derece kararsız ve riskli ortamlarda dahi parçaların 3 boyutlu noktasal verileri oluşturulabilir [13-16].

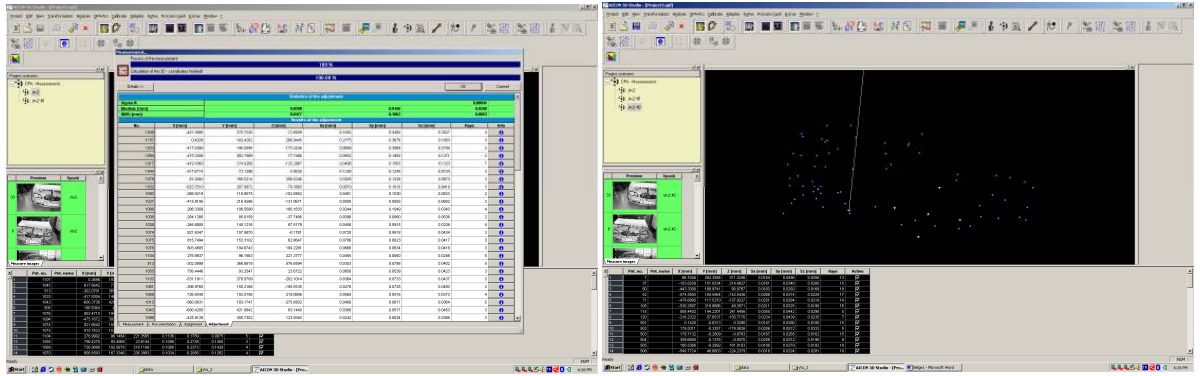
3.2 Yöntem

Sunulan çalışmada öncelikle AICON sistemi bir referans koordinat sistemi oluşturulmuş, ardından optoTOP-HE sistemi ile tarama işlemi gerçekleştirilmiştir. Aracın tampon bölgesinin resimleri çekilmeden önce, işaretli levhayı aracın tamponun yaklaşık orta kısmına yerleştirilerek fotoğraflarda bir koordinat sistemi oluşturulmuştur. İşaretli levha çok duyarlı bir malzemeden yapıldığı için, (+) işaretin her iki kolundaki mesafe çok duyarlı olarak belirlenmiştir. Fotoğraflar üç boyutlu ortama aktarılırken fotoğraftaki ve gerçek mesafe değeri karşılaştırılarak ölçek değeri hesaplanmıştır. (Şekil 4). Daha sonra kullanılacak yazılımda her birinin ürün kodu belli olan hedefler aracın tampon bölgesine yerleştirilmiştir.

Tampon bölgesine ait 40 adet stereo fotoğraf çekilmiştir. Araca yapıştırılan hedef işaretlerden yararlanarak arabanın üç boyutlu görüntüsü oluşturulmuştur (Şekil 5).



Şekil 4. Aracın değişik açılarda çekilmiş ve araçta üzerinde hedef işaretli fotoğrafları



Şekil 5. Görüntülerin AICON yazılımında değerlendirme aşaması

Şekil 5' te çekilen pozların yazılıma aktarımı ve stereo-değerlendirmede uygun olmayan görüntülerin elimine edilmesi işlemi ve standart sapması yüksek olan noktaların elle veri silinme işlemi gösterilmektedir.



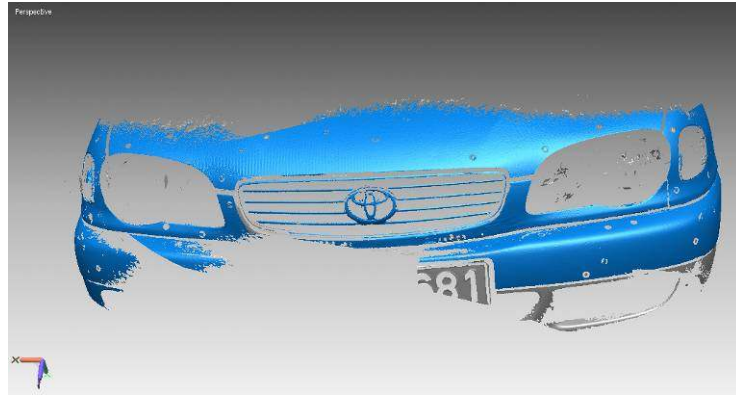
Şekil 6. 3B Optik lazer tarayıcı [4]

3B tarama sistemi karmaşık yüzeylerin hızlı ve kapsamlı elde edilmesini sağlayan yapılandırılmış beyaz ışık kullanır (Şekil-6). Böylelikle cismin büyük bir bölümünün tek görüntü içinde aynı anda ölçülmesine olanak tanır. Her görüntüde bir milyonun üzerinde nokta yakalanabilir. Bu ölçümlerin her biri sayısallaştırma sistemiyle bir saniyeden kısa sürer (Şekil 7).



Şekil 7. 3B optik lazer tarayıcı ile taranan otomobil

3B optik lazer tarayıcı sisteminde veri elde etme ve veri analizi yazılımına da sahiptir (Şekil 6). Bu yazılım yardımı ile parçanın geometrisi kullanılarak çekilen pozlar üst üste gelecek şekilde modellenerek parçanın 3 boyutlu nokta bulutu görüntüsü elde edilmiştir. Yazılımın bu özelliği sayesinde büyük ebatlı parçaların yüksek doğrulukla taranması gerçekleştirilmiştir (Şekil 8).

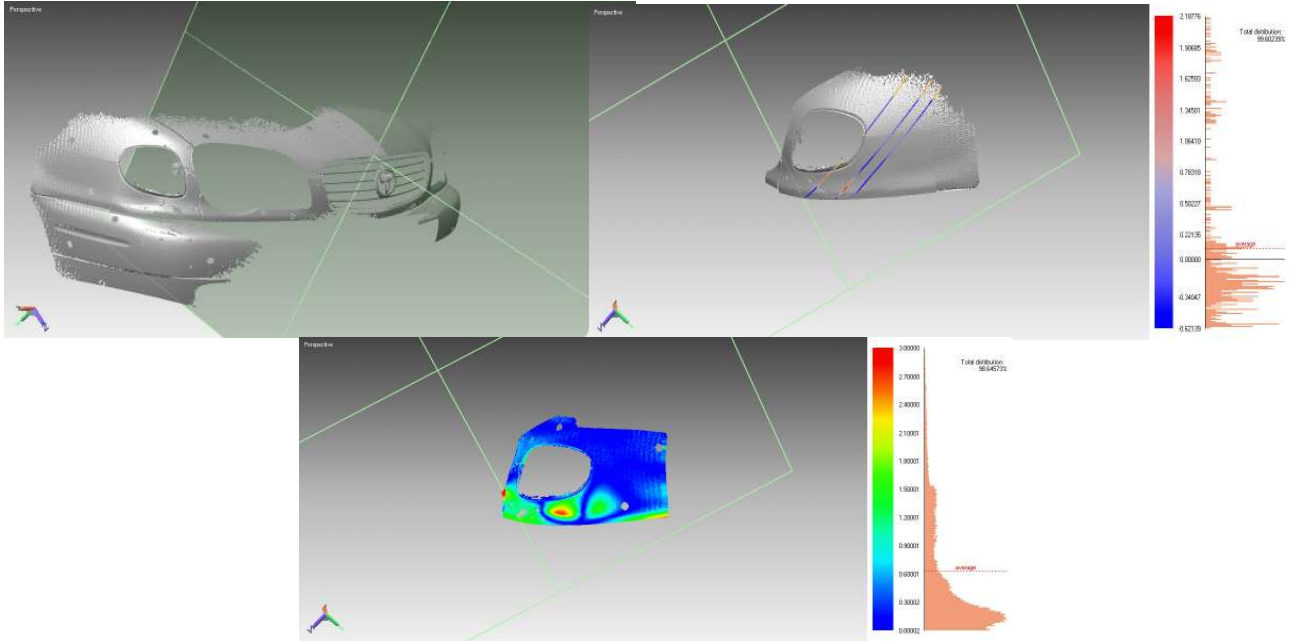


Şekil 8. Uygulama için kullanılan araçtan elde edilen nokta bulutu

Farklı noktalardan çekilen görüntüler sisteme ait yüzey eşleştirme programı ile birleştirilmiştir. Alcon DPA-pro sisteme tamamen bütünleşmiş bir bağlantı mevcuttur. Ölçülen veri referans koordinat sistemine kolayca dönüştürülebilir. Akıllı veri azaltımı, teorik kenarların hesaplanması gibi yüzey çizgilerinin ve kenarlarının çıkartılmasına izin verir. Nokta bulutunda oluşan gürültüler yazılımın post-processing modülü kullanılarak elenmiştir.

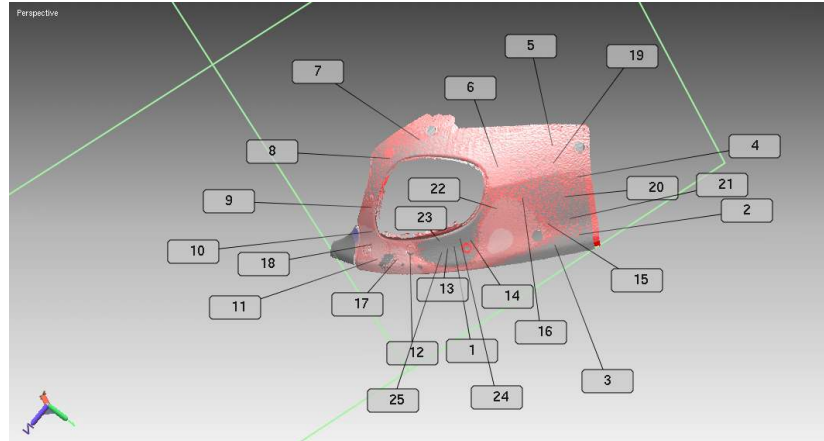
Sunulan çalışmada optik lazer tarayıcı ile elde edilen nokta bulutu değerlendirilirken değerlendirme aşamasında ilk önce oluşturulan 3B görüntüden bir yüzey geçirilmiştir. Geçirilen bu yüzey sayesinde aracın tamponun hasarlı ve hasarsız olan kısmında analiz yapma olanağını sağlamıştır. Hasarsız kısmı

değerlendirme aşamasında referans ölçü grubu kabul edilip, hasarlı kısımdaki fark bu şekilde bulunmuştur (Şekil 9). Şekil 9'dan da görüleceği üzere renk tonları hasar (deformasyon) düzeyini belirlemektedir. Örneğin koyu mavi deformasyonun olmadığı yüzeyleri göstermesine karşın, kırmızı renk deformasyonun maksimum olduğu yüzey bölgelerini göstermektedir.



Şekil 9. Yapılan değerlendirme sonucu elde edilen fark bilgileri

Noktasal deformasyon analizi amacı ile referans yüzey ve hasarlı yüzeye ait eşlenik rastgele denetim noktaları ölçülmüş ve farkları hesaplanmıştır (Tablo 2), (Şekil 10).



Şekil 10. Analiz aşamasında incelenecek bölgeden seçilen noktalar

Tablo 2.'de "Ölçülen Nokta" sütunu hasarlı kısımlardan seçilen noktalara ait koordinat bilgilerini, "Model noktası" sütunu aynı noktalara karşılık gelen hasarsız kısımdaki koordinatları içermektedir. Hasarsız kısımdaki koordinat değeri sabit alınıp hasarlı koordinat değerleri çıkartılarak fark değerleri bulunmuştur.

Tablo 2. Eşlenik noktalara ait koordinatlar ve fark değerleri

NN	Ölçülen Nokta			Model Noktası			Öteleme			Farklar(mm)
	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)	
1	-605,700	269,576	-161,291	-603,790	270,191	-161,616	1,910	0,614	-0,325	2,033
2	-631,386	389,358	-282,756	-631,006	389,453	-282,715	0,381	0,095	0,041	0,395
3	-631,048	371,692	-251,209	-630,500	371,805	-251,142	0,548	0,113	0,067	0,563
4	-615,320	337,692	-342,834	-615,349	337,689	-342,834	-0,030	-0,003	0,000	-0,030
5	-597,384	287,685	-354,133	-597,444	287,652	-354,152	-0,060	-0,033	-0,019	-0,071
6	-595,386	246,610	-285,127	-595,576	246,530	-285,163	-0,191	-0,080	-0,036	-0,210
7	-540,907	154,311	-240,889	-540,810	154,449	-240,868	0,097	0,137	0,021	0,169
8	-532,208	142,039	-193,516	-531,891	142,466	-193,512	0,317	0,427	0,004	0,532
9	-538,216	166,054	-123,242	-538,282	165,982	-123,197	-0,066	-0,072	0,044	-0,107
10	-538,351	189,811	-94,780	-539,144	189,091	-94,187	-0,793	-0,720	0,593	-1,224
11	-553,933	216,626	-70,878	-554,617	215,847	-70,676	-0,684	-0,779	0,202	-1,056
12	-582,812	236,134	-111,591	-584,351	237,070	-110,126	-1,539	0,936	1,465	-2,322
13	-603,608	265,397	-152,803	-601,520	266,255	-153,003	2,088	0,858	-0,200	2,266
14	-610,092	280,003	-183,051	-609,395	280,306	-183,162	0,697	0,302	-0,110	0,768
15	-623,110	346,849	-267,654	-623,026	346,866	-267,654	0,084	0,017	0,000	0,086
16	-613,163	297,200	-273,771	-613,130	297,207	-273,768	0,033	0,007	0,003	0,034
17	-574,079	230,507	-91,684	-574,947	229,659	-91,603	-0,868	-0,848	0,081	-1,216
18	-539,854	201,124	-79,398	-540,221	200,670	-79,174	-0,367	-0,453	0,224	-0,625
19	-606,331	301,494	-336,693	-606,411	301,459	-336,715	-0,080	-0,034	-0,022	-0,090
20	-619,284	341,061	-311,167	-619,092	341,140	-311,163	0,193	0,079	0,004	0,209
21	-624,905	365,868	-291,936	-624,568	365,946	-291,939	0,337	0,078	-0,003	0,346
22	-610,669	278,955	-240,127	-610,929	278,873	-240,126	-0,260	-0,082	0,001	-0,273
23	-598,135	250,491	-153,640	-596,736	250,966	-153,921	1,399	0,475	-0,281	1,504
24	-606,419	268,342	-175,229	-605,124	268,720	-175,339	1,296	0,378	-0,110	1,354
25	-602,047	263,303	-142,949	-599,763	264,450	-143,174	2,283	1,148	-0,225	2,565

4.SONUÇ

Sunulan çalışmada optik lazer tarayıcıların kullanımı ile hasarlı araca ait hasarlı yüzeyin modellenmesi ve hasarsız kısımla karşılaştırılarak hasar belirleme işleminin hızlı ve doğru bir şekilde yapılabileceği görülmüştür. Sunulan çalışmada tüm ölçme ve analiz işlemleri 3 saat gibi kısa bir zamanda gerçekleştirilmiştir. Toplam 25 noktada yapılan ölçümler sonucunda 25 noktadaki ölçü farkları ortalama 2,3 mm., standart sapma ise 1.122 mm. olarak hesaplanmıştır.

Daha karmaşık objelerin değerlendirilmesinde kuşkusuz obje yapısından dolayı tarama boşluklarının oluşması, ek tarama işlemlerinin gerekliliği, buna bağlı olarak tarama sonrası işlemleri artıracaktır. Fakat işlem süresi yine de klasik yöntemlere göre daha kısa zaman alacaktır.

Sunulan çalışma ile hızla gelişmekte olan lazer tarama teknolojisinin yakın resim fotogrametrisi ile entegrasyonu ile endüstriyel ölçmelerde yüksek doğrulukla hasar analizi yapılabileceği görülmüştür. Diğer taraftan kullanılan tekniğin otomotiv endüstrisinde, kültürel mirasın korunması amacı ile heykel, vb. tarihi eserlerin üç boyutlu modellenerek belgelenmesinde, CAD modellerinin üretilmesinde kullanılması olanaklıdır.

Sunulan çalışmadaki uygulamadan da görüleceği üzere teknolojik gelişmeler Jeodezi ve Fotogrametri mühendisliğin farklı meslek grupları ile bütünleştirmekte ve sanayi alanında da farklı problemlere çözüm bulan bir meslek haline getirmektedir.

TEŞEKKÜR

Infotron A.Ş. İstanbul Şubesi' ne sunulan çalışma kapsamında donanım ve yazılım desteği ve tüm katkıları için teşekkürlerimizi sunarız

KAYNAKLAR

1. Abdil Kuş, 2009. Implementation of 3D Optical Scanning Technology for Automotive Applications, *Sensors* , 9, 1967-1979; doi:10.3390/s90301967
2. Akca, D., Gruen, A., Breuckmann, B., and Lahanier, C., 2007. High definition 3D-scanning of arts objects and paintings. In: Gruen, A., Kahmen, H. (Eds.), *Optical 3-D Measurement Techniques VIII*, Zurich, Switzerland, July 9-12, vol. II, pp. 50-58.
3. Beraldin, J.-A., 2004. Integration of laser scanning and close-range photogrammetry – The last decade and beyond. *IAPRS & SIS 35(B7)*, 972-983.
4. Blais, F., 2004. Review of 20 years of range sensor development. *Journal of Electronic Imaging* 13(1), 231-240.
5. D. Akca , A. Gruen , Z. Alkis , N. Demir , B. Breuckmann , I. Erduyan , E.Nadir, 3D Modeling Of The Weary Herakles Statue With A Coded Structured Light System, *IAPRS Volume XXXVI, Part 5*, Dresden 25-27 September 2006.
6. Dipanda, A., and Woo, S., 2005. Efficient correspondence problem-solving in 3-D shape reconstruction using a structured light system. *Optical Engineering* 44(9), 1-14.
7. Gühring, J., 2001. Dense 3-D surface acquisition by structured, light using off-the-shelf components. *Videometrics*, San Jose,CA, Jan. 22-23, pp. 220-231.
8. Gühring, J., 2001. Reliable 3D surface acquisition, registration and validation using statistical error models. *3DIM 2001*, Quebec City, Canada, pp. 224-231.
9. J. Peipe , H.-J. Przybilla, 2005. Modeling The Golden Madonna, *Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, Vol. 36-5/C34, 934-936
10. Salvi, J., Pages, J., and Batlle, J., 2004. Pattern codification strategies in structured light systems. *Pattern Recognition* 37(4), 827-849.
11. Wendt, A., Rosing, C., Weisensee, M., 2002. Comparison of different sensor types and validation of an approach for multisensor fusion. In: *Close-Range Imaging, Long-Range Vision. Commission V*, XXXIV, Part 5, 2-6 Sept., Corfu, pp. 105-109.
12. <http://www.3btarama.com>
13. <http://www.breuckmann.com>
14. <http://www.infotron.com.tr>

15. http://www.defnemuhendislik.com/3D_Optik_Tarama_Sistemleri.pdf

16. <http://www.aicon.de/>