

# NİPPUR UZUNLUK ÖLÇME ALETİNİN 3B MODELLENMESİ VE GÖRSELLEŞTİRİLMESİ

Z. Duran, U. Aydar

İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Fotogrametri Anabilim Dalı, 34469 Maslak, İSTANBUL

(duranza, aydaru) @itu.edu.tr

**ANAHTAR KELİMELER:** Kültürel miras, yakın resim fotogrametrisi, optik tarama, görselleştirme, 3B Modelleme.

## ÖZET:

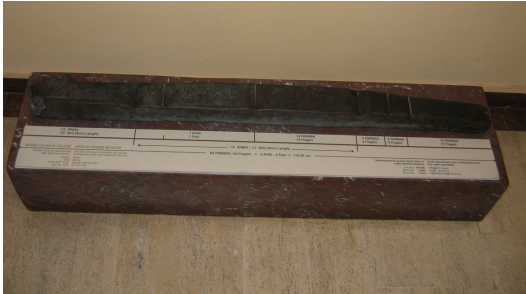
Mimarlık ve arkeoloji fotogrametrisi gerek ekonomiklik gerekse hız bakımından en önemli yöntemlerden biridir. Tarihi yapıların ve eserlerin amaca uygun olarak yerden veya havadan resimleri çekilerek, gerekli işlemler yapılarak rölöve planları, ortofoto ve kesitler elde edilir. Elde edilen bu veriler tarihi eserlerin dokümantasyonunda ve korunmasında çok önemli ve gerekli belgelerdir. Tarihi eserlerde bulunan karmaşık şekil ve motiflerin ölçekli çizimleri klasik yöntemle çoğu kez yapılamazken, fotogrametrik yöntemler bu şekilleri gerçek konumlarında ve bütün ayrıntıları ile istenen ölçekte vermektedir.

Bu çalışmada da amaç; yersel fotogrametrinin avantajlarından yararlanarak İstanbul Arkeoloji Müzesi, Eski Şark Eserleri bölümünde bulunan M.Ö. 15. yy'a ait eski bir uzunluk ölçme birimi olan Nippur uzunluk ölçme aletinin fotogrametrik yöntemle modellenmesi ve görselleştirilmesidir. Son yıllarda sıklıkla kullanılan bir diğer yöntem ise optik Tarama yöntemidir. Bu yöntemde obje üzerine kodlanmış ışık düşürülmek suretiyle objenin direkt olarak 3 boyutlu modeli elde edilebilmektedir. Yapılan çalışmada, bu ölçme biriminin Fotogrametri ve optik tarama yöntemiyle modellenmesi, görselleştirilmesi ve uzunluğunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca iki farklı yöntemin görselleştirmede sağlamış olduğu kolaylıklar, hız ve doğruluk açısından karşılaştırılması yapılmıştır.

## 1. GİRİŞ

Tarih boyunca insanların yaşamlarını kolaylaştırmak amacıyla yaptıkları ve bugün bizim kültürel miras olarak nitelendirdiğimiz yapıların özelliklerini, konumlarını ve ilişkilerini anlayabilmek için yapıldıkları döneme ait ölçü birimlerini anlamak ve günümüz ölçü birimlerindeki karşılıklarını belirlemek gereklidir (Lelgemann, 2004).

Eski uzunluk ölçü birimleri aralarındaki ilişkiye bağlı olarak birkaç gruba ayrılır. Yeryüzünün ilk bilinen standart uzunluk ölçme aleti olan Nippur, bakırdan yapılmış ve milattan önce 2650 yılında Fırat Nehri yakınlarında bulunmuştur. Bu ölçme birimi 4 ana bölümden oluşmaktadır ve her bir bölüm 16 küçük birime ayrılmıştır. Bu MÖ üçüncü bin yıl başından beri Mısırlıların eski Sümer birimini 30 birimi 28 birime paylaştırması ile oluşan Nippur uzunluk ölçü biriminden Roman foot birimi ortaya çıktığı gerçeği çağdaş metrologistlerin çoğunluğu tarafından kabul edilmiştir. Tarihçiler ve ölçmeciler tarafından diğer bilinen uzunluk ölçme birimlerinin Nippur uzunluk ölçme aletinden türetildiğine inanılmaktadır Bu eski ölçme aleti günümüzde İstanbul Arkeoloji Müzesinde sergilenmektedir.



Şekil 1. Nippur uzunluk ölçme aletinin müzedeki görünümü

Bu çalışmada, ilk bilinen uzunluk ölçme birimi olan Nippur uzunluk ölçme aletinin 3B modellenmesi ve dokümantasyonu ele alınacaktır. Bu amaç için Yersel Fotogrametri ve Optik Tarama yöntemi kullanılmıştır.

## 2. FOTOGAMETRİK VERİ ELDE ETME VE İŞLEME

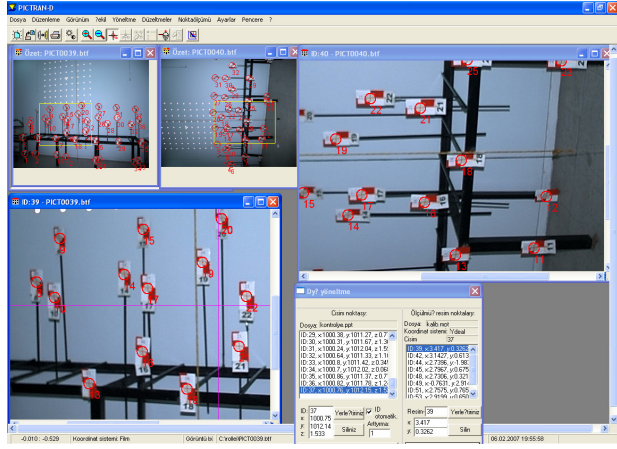
Mimarlık ve arkeoloji fotogrametrisi gerek ekonomiklik, gerekse hız bakımından en önemli yöntemlerden biridir. Tarihi yapıların ve eserlerin amaca uygun olarak yerden veya havadan resimleri çekilerek, gerekli işlemler yapılarak rölöve planları, ortofoto ve kesitler elde edilir. Elde edilen bu veriler tarihi eserlerin dokümantasyonunda ve korunmasında çok önemli ve gerekli belgelerdir. Alınan resimlerin değerlendirilmesi grafik veya sayısal olarak yapılabilir. Bu sayede bilinen ölçme metodları ile elde edilecek detayla kıyaslanamayacak sayıda çok bilgi elde edilebilir. Yeterli veri, tarihi eserlerin resimlerinden, bilgisayar ortamındaki üç boyutlu koordinatlarından yeniden oluşturulması, koruma ve restorasyon amaçları için elde edilir. Tarihi eserlerde bulunan karmaşık şekil ve motiflerin ölçekli çizimleri klasik yöntemle çoğu kez yapılamazken, fotogrametrik yöntemler bu şekilleri gerçek konumlarında ve bütün ayrıntıları ile istenen ölçekte vermektedir.

Son yıllarda sıklıkla kullanılan bir diğer yöntem ise Yersel Lazer Tarama yöntemidir. Bu yöntemde obje üzerine kodlanmış ışık düşürülmek suretiyle objenin direkt olarak 3 boyutlu modeli elde edilebilmektedir.

Bu çalışmada; ilk bilinen uzunluk birimi olan Nippur uzunluk ölçme aletinin 3B modellenmesi için Yersel fotogrametri yöntemi seçilmiştir. Uzunluk ölçme aleti Yersel Fotogrametri yöntemiyle modellendikten sonra, aynı zamanda Optik Tarama yöntemiyle de modellenip iki yöntemin görselleştirmede sağlamış olduğu kolaylıklar, hız ve doğruluk açısından karşılaştırılması yapılmıştır.

Çalışmada kullanılacak resimlerin elde edilmesinde Olympus C 5050 digital resim çekme makinesi kullanılmıştır. Resim çekimi yapılmadan önce resim çekme makinesi İTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Fotogrametri

Laboratuvarında bulunan, 37 kontrol noktasını içeren sabit test alanı kullanılarak kalibre edilmiştir (Şekil 2). Test alanında bulunan kontrol noktalarının koordinatları, herhangi bir değişimin olup olmadığının belirlenmesi amacıyla belirli periyotlarla ölçülmektedir.



Şekil 2. Kamera Kalibrasyonu

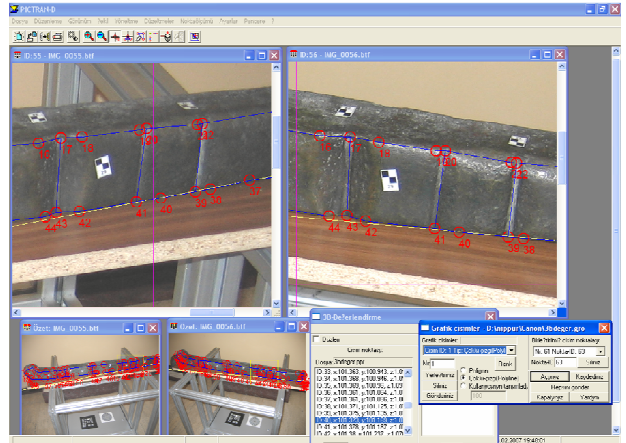
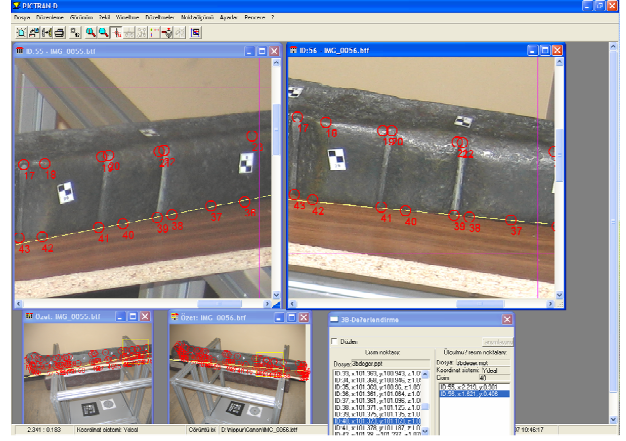
Nippur uzunluk ölçme aleti tarihi açıdan oldukça önemli bir eser olup müze dışına çıkarılmasına izin verilmemesinden dolayı resim çekimi için sabit bir test alanı kullanılmıştır. Bu sabit test alanı 12 kontrol noktasından oluşmakta ve kontrol noktası koordinatları Pentax PCS total station ile presizyonlu bir şekilde belirlenmiştir. Uzunluk ölçme aleti bu kontrol ünitesi içerisinde yerleştirilmiş ve üzerine kontrol noktaları yerleştirilip objenin etrafında dönülmek suretiyle 15 adet resim çekilmiştir (Şekil 3).



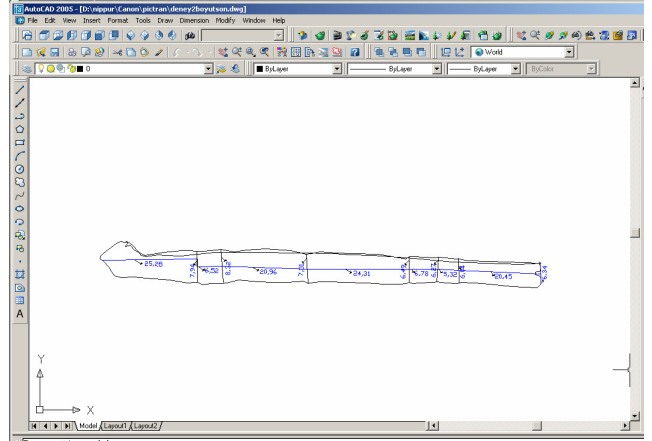
Şekil 3. Müzede resim çekimine bir örnek

Bu çalışmada, 2 boyutlu resimlerden 3 boyutlu model elde etmek için kullanılan bir digital fotogrametri yazılımı olan PICTRAN yazılımı kullanılmıştır.

Öncelikle, iki veya daha fazla resimde bulunan kontrol noktalarının resim koordinatları ölçülerek dış yöneltme işlemi gerçekleştirilmiştir. Yöneltme işlemi sonrasında 3B modelin oluşturulması için nokta ve çizgi bazlı değerlendirme işlemi PICTRAN D modülü üzerinde yapılmış ve elde edilen 3B nokta kümeleri AutoCAD ortamına aktarılmıştır (Şekil 4).

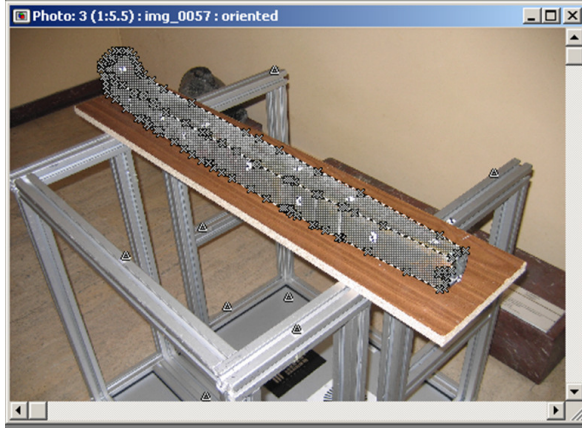


Şekil 4. Fotogrametrik değerlendirme adımı



Şekil 5. Nippur uzunluk ölçme aletinin AutoCAD programında elde edilen üç boyutlu çizgisel modeli

Çekilen resimler görselleştirme amacıyla Photomodeler yazılımında da değerlendirilmiş ve objenin doku kaplı 3B modeli elde edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Photomodeler yazılımda değerlendirme ve elde edilen 3B model

### 3. Yapısal Aydınlatma Sistemi

Yapısal aydınlatma sistemi, bir ışık modelinin bilinen bir açıyla obje üzerine yansıtılması olarak tanımlanır. Bu yöntem hızlı görüntüleme ve obje boyutları hakkında bilgi elde etme konusunda etkili bir yöntemdir. En çok kullanılan model, obje üzerine yansıtılan çizgisel bir ışıktır. Yansıtılan çizgisel ışık bilinen bir açı altında bir kamera sistemi tarafından görüntülenir ve çizgi üzerinde gözlenen bozulmalar yükseklik farkları olarak hesaplanır. Objenin tüm yüzeyine kesintisiz olarak yansıtılan çizgisel ışığın gözlenmesi sonucu objenin şekli 3 boyutlu olarak yeniden oluşturulur.

Çalışmanın ikinci kısmında obje Breuckmann StereoSCAN<sup>3D</sup> (<http://www.breuckmann.com>) optik tarayıcı kullanılarak taranmıştır. Tarama işlemi Ocak 2008 tarihinde İstanbul Arkeoloji Müzesi, Eski Şark Eserleri bölümünde gerçekleştirilmiştir. Optik tarayıcı sistem Breuckmann'ın Türkiye temsilcisi InfoTRON firması tarafından sağlanmıştır (<http://www.infotron.com.tr>).

StereoSCAN<sup>3D</sup> (Şekil. 7a), Breuckmann ailesinin son nesil, yüksek çözünürlüklü optik tarayıcısıdır. StereoSCAN<sup>3D</sup> Breuckmann patentli MPT (Miniature Projection Technique) projeksiyon birimi ve asimetric olarak yerleştirilmiş olan 2 adet yüksek çözünürlüklü kamera sisteminden oluşmaktadır. Bu yapılandırma esneklik ve presizyon açısından maksimum performans sağlamaktadır. Asimetric kamera yerleşimine bağlı olarak üç farklı açıdan (10°, 20° ve 30°) (Şekil. 7b), veri elde edilir. Bu sayede ulaşılabilecek güç alanlara ait veri elde edilmesi mümkündür.



Şekil 7a ve 7b. Breuckmann StereoSCAN<sup>3D</sup> ve kamera yerleşimi

### 3.1 Optik Tarama ve Modelleme

Farklı durak noktalarından elde edilen nokta bulutlarının birleştirilmesi Optocat yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Yapılan ilk taramadan elde edilen nokta bulutu referans olarak seçilmiş ve ardışık taramalardan elde edilen nokta bulutları birbiri ardına seçilen referans veriye göre birleştirilmiştir. Birleştirme işlemi hazırlık çalışmaları sırasında obje üzerine yapıştırılmış olan ve ardışık iki nokta bulutunda da ortak olan noktalar kullanılarak yapılmıştır. Ortak noktalar oluşturmak amacıyla çalışma öncesi obje üzerine optimum sayıda özel hedefler yapıştırılmış ve bu hedeflerin 3 boyutlu koordinatları fotogrametrik yöntemle AICON Fotogrametrik Yazılımı kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 8.). Yine ölçeklendirme amacıyla resim çekimi öncesinde obje yanına özel olarak tasarlanmış ölçeklendirme çubukları yerleştirilmiştir.

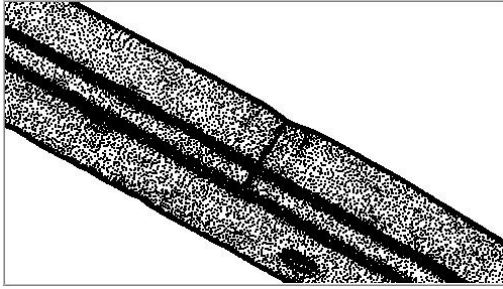


Şekil 8. Optik Tarama İşlemi

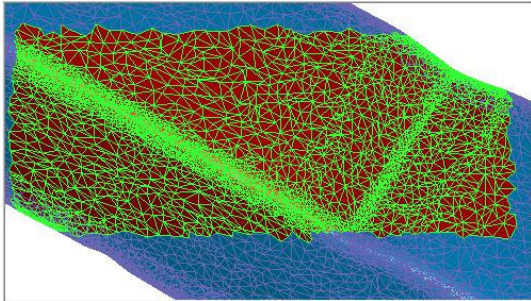
Nokta bulutlarının birleştirilmesi işleminden sonra, tüm taramalar yaklaşık olarak 600000 nokta içeren tek bir XYZ dosyası olarak kaydedilmiş ve Geomagic Studio programına aktarılmıştır. Geomagic Studio ortamında açılan veri üzerinde öncelikle düşük seviyeli noise azaltma işlemi uygulanmıştır. İkinci işlem adımı olarak yazılımın curvature sample methodu kullanılarak toplam nokta sayısı yaklaşık olarak 200000'e indirgenmiştir. Curvature sample methodu, düz yüzeylerdeki nokta sayısını azaltırken kavisli alanlardaki nokta sayısını korumakta, böylelikle detay kaybını önlemektedir.

Azaltılan ve filtrelenen nokta bulutundan üçgenleme yöntemi ile yüzey oluşturma işlemi yazılımın ilgili fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İşlem sonunda yaklaşık olarak 500000 üçgen elde edilmiştir. Ancak donanımsal kısıtlar ve doku kaplama işleminin yapılacak olması göz önüne alındığında bu rakamın azaltılması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bu amaç doğrultusunda yazılımın ilgili fonksiyonu (decimate of polygons) kullanılarak üçgen sayısı azaltılmıştır. Polygonların azaltılması fonksiyonu iki farklı algoritmaya göre çalışmaktadır. Bu çalışmada elde edilecek olan model üzerinde hassas ölçmeler yapılacak olmasından dolayı şekil koruyan algoritma seçilmiştir. Yapısal aydınlatma sistemi kullanılarak yapılan tarama işlemlerinde ortamın ışıklandırma koşulları ve obje

yüzeyinin parlaklığı elde edilecek veriyi olumsuz yönde etkileyecek faktörlerdir. Bu faktörler belirli bölgelerde veri kaybına yol açmaktadır. Bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak için ortamın ışıklandırmasının optimum seviyede olması gerekmektedir. Yine parlak yüzeye sahip bir objenin yüzeyine matlaştırıcı birtakım maddeler uygulamak sorunu çözmeye yönelik önlemlerdir. Ancak bu çalışma esnasında objenin bulunduğu ortamın ışıklandırılmasının istenilen düzeyde olmaması ve objenin tarihi eser olmasından kaynaklı üzerine herhangi bir matlaştırıcı madde uygulanamaması sebebiyle elde edilen nokta bulutunda yer yer veri kaybı oluşmuştur. Bu boşluklar manuel olarak yazılımın ilgili fonksiyonu kullanılarak doldurulmuştur. Öte yandan üçgenleme işlemi sonunda topolojide deformasyonlara yol açan ve birbirleri ile kesişen bozuk üçgenler oluşmuştur. Bu tip üçgenler otomatik olarak yazılım tarafından düzeltilmiştir. Son adım olan doku kaplama işlemi, Geomagic yazılımının gerçek görüntüler kullanılarak doku kaplanmasına uygun olmaması sebebiyle bir başka yazılım olan RapiForm programında gerçekleştirilmiştir. Oluşan model ve görüntüler üzerinde 5 ya da daha fazla ortak nokta seçilerek model gerçek dokuyla kaplanmıştır.



Şekil 9. Nokta Bulutu



Şekil 10. Üçgenlenmiş yüzey modeli



Şekil 11. Renk atanmış model



Şekil 12. Doku kaplanmış model

|              | 1/2 Yard (Arm's length) (cm) | 1 foot (cm) | 14 finger (cm) |
|--------------|------------------------------|-------------|----------------|
| Orijinal     | 25,6                         | 27,65       | 24,15          |
| Fotogrametri | 25,28                        | 27,48       | 24,31          |
| Optik tarama | 25,32                        | 27,58       | 24,06          |

Tablo 1. Model üzerinde ölçülen değerler

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son zamanlarda aktif sensörler tersine mühendislik uygulamalarının yanında sanatsal objelerin ve tarihi yapıların 3 boyutlu olarak modellenmesi, dokümantasyonu ve gösteriminin yapılmasında sıklıkla kullanım alanı bulmuşlardır. Öte yandan yakın resim fotogrametrisi de aynı amaç doğrultusunda kullanılmaya en etkili ve güvenilir teknik olma özelliğini günümüzde de korumaktadır.

Bu çalışmada yeryüzünün ilk uzunluk ölçme aleti olarak bilinen ve Nippur dönemine ait olan objenin ölçme, modelleme ve dokümantasyonu işlemleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada yakın resim fotogrametrisi ve yüksek çözünürlüklü optik tarama yöntemleri seçilmiş ve iki yöntemin güçlü olduğu ve eksik kaldığı kısımlar belirtilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre iki yöntemin de amaçlanan hedefler doğrultusunda etkili sonuçlar verdiğini söylemek mümkündür. İki yöntemin ayrıldığı temel noktalar veri elde edilmesi ve veri işleme zamanları arasındaki fark ve yine veri işleme esnasındaki otomasyon olarak özetlenebilir. Optik tarama yöntemi veri elde etme süresinde daha hızlı sonuç vermekte ve nokta sayısına bağlı olarak yüzey detaylarını daha iyi modelleyebilmektedir. Diğer taraftan fotogrametrik yöntem sağladığı doğruluk ölçütleri bakımından daha güvenilir bir yöntemdir. İki yöntem arasındaki en önemli farklardan biri elde edilen 3B verinin hacmidir. Optik tarama yöntemi ile kısa zamanda çok fazla sayıda nokta elde edilebilir.

#### TEŞEKKÜR

Nippur uzunluk ölçme aleti üzerinde ölçme yapmamıza izin ve ve işlemler esnasında yardımlarını esirgemeyen İstanbul Arkeoloji Müzesi Müdürlüğü'ne ve çalışanlarına; ayrıca optik tarama cihazını bizlere sağlayan InfoTRON firmasına teşekkürlerimizi sunarız.

#### KAYNAKLAR

Akça D. Grün A. Breuckmann B., and Lahanier C., 2007, High Definition 3D-Scanning of Arts Objects and Paintings, Optical

3D Measurement Techniques VIII, July 9-12, Zurich, Switzerland

Amato, D. G. L., Antonucci, D. G. G., Belnato, A. B., 2003, The Three Dimensional Laser Scanner System: The New Frontier for Surveying. Case History: The Leaning Tower of Pisa (Italy), The Ancient Theatre of Taormina (Italy), The Prehistoric Site of Nola (Naples-Italy), ISPRS International Workshop on "Vision Techniques for Digital Architectural and Archaeological Archives" 1 - 3 July 2003, **Ancona , Italy**

El-Hakim S. F. 2001. 3D Modeling of Complex Environments. Videometrics and Optical Methods for 3D Shape measurement, *Proceedings of SPIE*, vol 4309.

Guarnieri, A., Vettore, A., Remondino, F., 2004., Photogrammetry and Ground-based Laser Scanning: Assessment of Metric Accuracy of the 3D Model of Pozzoveggiani Church, FIG Working Week 2004, May 22 – 27, Athens, Greece.

Istanbul Archeological Museum inventory.

Kersten Th., Pardo, C. A, Lindstaedt, M., 2004. 3D Acquisition, Modelling and Visualization of North German Castles by Digital Architectural Photogrammetry, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol XXXV, Part B5, pp. 126–131. Istanbul.

Lelgemann, D., 2004, Recovery of the Ancient System of Foot/Cubit/Stadion – length Units, FIG Working Week 2004, Athens, Greece, May 22–27, 2004.

OptoTOP-HE, 2006. optoTOP-HE The HighEnd 3D Digitizing System, <http://www.breuckmann.com/>

Toz, G., Duran, Z., 2004. Documentation and Analysis of Cultural Heritage By Photogrammetric Methods and GIS: A Case Study, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol XXXV, Part B5, July 12-23, Istanbul.

[http://hexadecimal.florenctime.net/References\\_Nippur\\_cubit.htm](http://hexadecimal.florenctime.net/References_Nippur_cubit.htm)

[http://www.stockeryale.com/i/lasers/structured\\_light.htm](http://www.stockeryale.com/i/lasers/structured_light.htm)