

İZMİR UNIVERSIADE OYUNLARI MASKOT HEYKELİNİN TERSİNE MÜHENDİSLİK YÖNTEMLERİ İLE DİJİTALLEŞTİRİLMESİ VE KÜÇÜK ÖLÇEKLİ OLARAK ÜÇ BOYUTLU YAZICI İLE İMALATI

Dr. Ali Çağlar ÖNÇAĞ¹, Halil TOSUN¹

"Bu çalışma Uluslararası Üniversite-Sanayi İşbirliği Ar-Ge ve İnovasyon
Kongresinde sunulmuştur"

ÖZET

Tersine mühendislik yöntemleri, bilgisayar kapasitelerinin ve teknolojinin gelişimi ile daha fazla uygulama alanı bulmaktadır. Bu çalışmada, çevre ve doğa koşulları nedeniyle yıpranarak hasar görmüş olan ve dijital tasarım verileri olmayan bir maskot heykel üzerinde 3 boyutlu Lazer tarayıcı ile tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve tarama verileri düzenlenerek 3 boyutlu yazıcı ile ölçekli üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu tür çalışmaların yapılmasıyla kent kültür ve tarihinde yer alan tasarım ve eserlerin hasar vermeden 3 boyutlu olarak dijital ortama aktarılabilirdiği görülmüştür. Böylelikle tersine mühendislik yöntemlerinin kullanılmasıyla eserlerin ve tasarımların pratik şekilde ve 3 boyutlu olarak gelecek kuşaklara aktarılabilmesi mümkün olmaktadır.

Anahtar sözcükler: Tersine Mühendislik, 3 Boyutlu Yazıcı, Kent Kültürü

DIGITALIZATION OF THE SCULPTURE OF IZMIR UNIVERSIADE MASCOT WITH REVERSE ENGINEERING METHODS AND SMALL- SCALE MANUFACTURING WITH 3D PRINTER

ABSTRACT

Reverse engineering methods have found more application area with the development of computer capacities and technology. In this study, a 3 dimensional (3D) laser scanning operation has been implemented on the mascot sculpture of Universiade 2005 İzmir "Efe" which was worn out by environmental and natural conditions and has no digital design data. After scanning operation by editing the scan data, a scale sculpture has been manufactured with a 3D printer. By doing such studies, it has been seen that the data of designs and arts having importance for urban culture and history can be transferred to digital media as 3D without any damaging. Thus, by using the reverse engineering methods, it is possible to present arts and designs to the next generations in a practical way and as 3D.

Keywords: Reverse engineering, 3D printer, urban culture

¹ ESHOT Genel Müdürlüğü, Teknoloji Geliştirme Şube Müdürlüğü aoncag@eshot.gov.tr; htosun@eshot.gov.tr;

1. GİRİŞ

Kentlerimizde geçmişte gerçekleştirilmiş faaliyetler ve/veya meydana getirilen eserler zaman içerisinde kent yaşamının bir parçası olabilmekte ve kent kültürüne etki etmektedir. Ne var ki tüm etkisine rağmen gerçekleştirilen faaliyet, çalışma ve eserlerin anıları, kent yaşamına kattığı değerlerin önemi ve varlığı zamanla unutulabilmektedir. İlerleyen dönemlerde kent tarihinde silik bir kayıt, resimlerde nostaljik bir kare ve hafızalarda bir simge olarak kalmaktadır.

Zamana yenik düşen çalışma, eser ve simgelerin özellikle üç boyutlu nesnelere dönüştürülmüş olanlarını (heykel, mimari eser vb.) dijital ortamlara aktarmak, bu bilginin korunması ve kolaylıkla çoğaltılmasını mümkün hale getirecektir. Gerçekleştirilen dönemsel faaliyetleri ve bu faaliyetlerin kent kültürüne etkisini gelecek kuşaklara aktarmak açısından da dijitalleştirme yararlı bir faaliyettir.

Bu motivasyon ile aşağıda bahsedeceğimiz örnek çalışma için 2005 yılında İzmir’de düzenlenmiş olan “23. Dünya Üniversite Yaz Oyunları” (Universiade) için İzmir Kuş Cenneti sakinlerinden, Latince adını İzmir’den alan Yalı Çapkını (Halcyon Smyrnensis) kuşundan esinlenerek tasarlanmış ve “Efe” ismi verilmiş [1,2] maskot seçilmiştir. Uygulama da Maskotun oyunlar döneminde oluşturulmuş heykeli üzerinde, 3 boyutlu lazer tarayıcı ile tarama işlemi gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler üzerinden düzenlemeler yapılarak 3 boyutlu (3B) yazıcı ile ölçekli replikası üretilmiştir. Taranan nesnenin hasarlı oluşu tersine mühendislik yöntemlerinin bu tür zorlu nesnelere üzerinde ne denli verimli uygulanabileceğinin sınanması açısından da faydalı bir test olmuştur. “Efe” unutulmaya başlayan bir simge olsa da Universiade oyunları için yapılan yatırım ve tesisler günümüzde İzmir’de yaşayan vatandaşlara ve sporculara hali hazırda hizmet vermeye devam etmektedir ve “Efe” gibi simgeler söz konusu tesisler gibi yapıların hikayesi ve serüveninin hatırlanmasını sağlaması açısından kent yaşamında önem arz etmektedir.

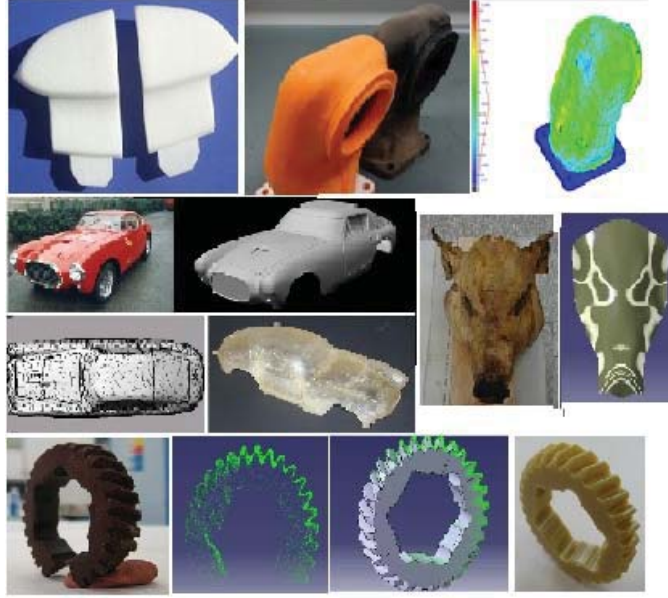
2. TERSİNE MÜHENDİSLİK YÖNTEMİ VE GEÇMİŞTE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Tersine mühendislik, bir nesnenin kopyasını ya da fonksiyonel olarak yeniden konstrüksiyonunu yapmak için bir ölçme, analiz ve test süreci olarak tanımlanabilir. Uygulamada tasarım bilgileri olmayan parçaların üretilmesinde, hasarlı parçaların analiz edilerek tamiri veya yeniden üretiminde, var olan bir parçaya dayanarak daha farklı bir ürün geliştirilmesinde, prototip üretmede vb. amaçlarla kullanılmaktadır [3,4].

Tersine mühendislik çalışmalarında temaslı-temassız ölçüm ekipmanları ve uygun bir yazılım kullanılarak, boyutları bilinmeyen parçaların boyutları tespit edilebilmekte ve modellenmesi yapılabilmektedir. Ölçüm ekipmanı olarak Koordinat Ölçüm Makinaları, Lazer tarayıcılar, yapılandırılmış aydınlatma gibi ekipmanlar kullanılabilir yazılım olarak ise Alias Design, Geomagic Design X, PowerSHAPE gibi yazılımlar kullanılabilir. Amaca yönelik olarak uygun donanım ve yazılım kullanıcı tarafından seçilmektedir [5].

Geçmişte yapılmış olan çalışmalara bakıldığında hem yazılımlar üzerinde hem de farklı ekipmanların kullanımı ile farklı türdeki nesnelere üzerinde çalışmalar yapıldığı gözlemlenmektedir. [6-15]

Bu çalışmalarda farklı hacimlerde hem mekanik hem de organik malzemeler üzerinde çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Bunlara ilişkin örnekler şekil 1’de görülmektedir. Tüm çalışmaların ortak noktası toplanan verilerin dijital ortama aktarılması ve tüm tasarım ve düzenleme işlemlerinin bilgisayar yazılımları ile gerçekleştirilmiş olmasıdır. Diğer taraftan bu çalışmaların havacılık, otomotiv, ziraat gibi farklı alanlardan örnekler olduğu görülmektedir. Ayrıca yapılan çalışmaların gerçek hayatta 3 boyuta dönüştürülmesinde 3 boyutlu yazıcıların süreci tamamlayıcı bir rol oynadığı görülmektedir.



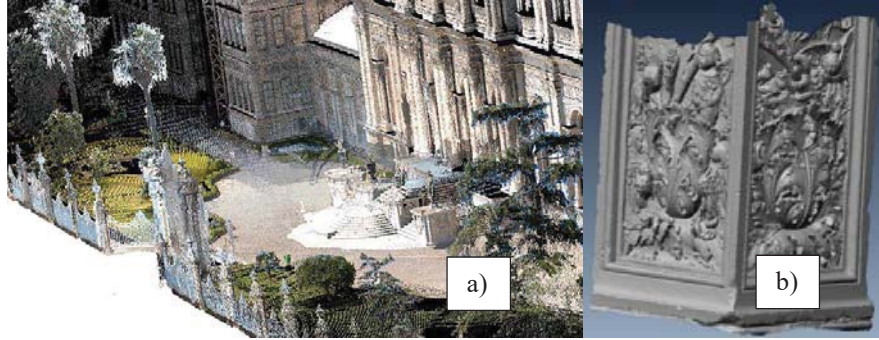
Şekil 1. Farklı nesnelere üzerinde gerçekleştirilmiş tersine mühendislik uygulamaları [5,10,11,14].

Endüstriyel uygulamaların yanı sıra tarihi ve kültürel mirasların 3 boyutlu olarak dijitalleştirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda farklı tarayıcı ve yazılımların denendiği gözlemlenmektedir. Bunun yanı sıra taranan nesnelerin 3B yazıcılar veya CNC (Bilgisayar Sayımlı Yönetim) tezgâhları kullanılarak replikaların üretilebildiği görülmektedir [16].

Taramalar ile elde edilen veriler, fotoğraf ve yazı gibi iki boyutlu belgelerin yanında dijital 3B belgelerin oluşmasını da sağlamaktadır. Diğer bir önemli avantaj ise fotografik olmayan görselleştirme (çizim vb.) tekniklerindeki zaman ve hassasiyet kaybı ve fotografik tekniklerdeki gölge oluşumu vb. kusurların 3B taramada olmamasıdır. Bununla birlikte nesnelerin farklı açı ve pozisyonlarda çekilen fotoğrafların bir araya getirilmesi ile 3B dijital modeller üretmek de mümkün olmaktadır. Tarihi ve kültürel mirasların (nesnelerin) taranmasında fotogrametri, (üçgenleştirme metodu kullanan) 3B lazer tarayıcı sistemleri, yapılandırılmış aydınlatma, ışığın uçuş süresini algılayan (LIDAR) sistemlerin kullanılabilirliği görülmektedir. Amaca göre kullanıcılar uygun araçları seçebilmektedir [17].

Üzerinde çalışılan nesnelerin boyutları göz önüne alındığında hem mimari eserlerin hem de bu eserlerin küçük bölümlerinin 3B olarak dijital ortama aktarılabilirliği dolayısıyla şekil 2’de görüldüğü gibi hem bina gibi büyük boyutlu nesnelerin hem de nispeten küçük boyutlu

nesnelerin 3B dijital modellerinin oluşturulabildiği görülmektedir. Bu veriler aynı zamanda eserlerin dijital dokümantasyonu olmaktadır [18,19].



Şekil 2. a) Dolmabahçe Sarayının bir bölümünün nokta bulutu görünümü [18] ve b) San Giovanni Maggiore Bazilikası içinde taranan bir kolon parçasının ağ örgü modeli [19].

Literatürde gerçekleştirilen uygulamalarda farklı araç gereçlerin ve tarama yöntemlerinin bazı avantaj ve dezavantajları olduğu belirtilmekte ise de [20] endüstriyel koşullar gereği araç gereçlerin (tarayıcı donanımların) ve yazılımların teknolojilerinde sürekli iyileştirme olduğunu ve geçmişte uygun olmayan bir yöntemin gelişen teknoloji ile günümüzde ve gelecekte kullanılabilir olabileceğini göz ardı etmemek gerekmektedir.

Kültürel mirasların taranarak hazırlanan 3B modellerinin internet ortamında paylaşılmasıyla dünyanın farklı noktalarındaki tarih ve sanat meraklılarına erişim olanağı sunulmaktadır. Örnek olarak: “The Metropolitan Museum of Art” (New York) bu şekilde bir uygulama yaparak envanterindeki nesnelerin 3B modellerini “thingiverse” internet sitesi üzerinden paylaşmaktadır. 3B yazıcılar ile imal edilebilen bu modeller böylelikle hem eğitim materyali olarak kullanılabilir hem de tasarımcılar için ilham kaynağı olmaktadır [21].

Kent kültürü açısından önemi olan nesnelerin veya kültürel mirasların temas gerektirmeyen herhangi bir 3B tarama yöntemi ile dijitalleştirilmesinin en büyük avantajlarından biri işlemin nesneye dokunmadan gerçekleştirilmesi dolayısıyla tahribatsız oluşudur. Bununla birlikte tarama işlemleri ile sonrasındaki veri düzenleme ve modelleme işlemleri tersine mühendislik konusunda uzmanlık gerektirmektedir.

Farklı alanlarda kullanılan tersine mühendislik yöntemlerinin kentlere özel eserlerin verilerinin korumasında kullanılabileceği ve yaygınlaştırılabileceği görüşüyle “23. Dünya Üniversite Yaz Oyunları” maskotu “Efe” üzerinde 3. Bölümde gösterildiği şekilde bir uygulama gerçekleştirilmiştir.

Geleneksel ölçülendirme ve replika üretiminde kullanılacak olan ve eserlere temas gerektiren hatta eser üzerinde tahribat yaratma olasılığı olan yöntemler (bir heykelin üzerinin çeşitli malzemeler ile kaplanarak negatif kalıbını almak gibi) yerine temas gerektirmeyen ve tahribatsız yöntemleri içeren tersine mühendislik uygulamalarının kullanımı bu çalışmada önemli bir avantaj teşkil etmektedir. Ayrıca bütün yeniden tasarım işlemlerinin bilgisayar ortamında yapılmasıyla hacim olarak büyük nesnelere harcanacak eforun azaltılması da sağlanmaktadır.

3. UYGULAMA

Üzerinde uygulama yapılan “Efe” maskotunun heykeli bulunduğu noktadan taşınarak ESHOT Genel Müdürlüğü Gediz bakım atölyesine getirilmiştir. İlk gözlemlerde polyester malzemeden imal edilmiş olan heykelde iklim ve çevre koşulları nedeniyle çatlaklar ve boyasında solmalar olduğu gözlemlenmiştir.

Heykel Romer 7325 marka ve model 6 eksenli bir KÖM (Koordinat Ölçüm Makinası) üzerine entegre edilmiş HP-L.8.9 3B Lazer tarayıcı ile taranmıştır.

Söz konusu tarayıcı üçgenleştirme metodu temelli olarak çalışmaktadır. Bu metotta cihaz üzerinde yer alan lazer taranacak cisim üzerine lazer ışını göndermektedir. Lazere belirli bir mesafe ve açıda bulunan bir kamera cisim üzerinden yansıyan lazer ışınını algılamaktadır. Lazer ışını, kamera ve lazerin cisim üzerine düştüğü nokta arasında oluşturulan üçgen trigonometrik hesaplamalar ile taranan pozisyonlar belirlenmektedir. Belirlenen pozisyonlar noktalar halinde bilgisayara kaydedilmekte ve yazılımlar aracılığıyla görselleştirilmektedir.

Tarama işlemi yaklaşık olarak 3 iş günü, verilerin düzenlenerek yeniden tasarlanması 1,5 gün sürmüştür. Bu sürelerin uygulamayı yapan kişinin deneyimine ve kullandığı bilgisayarın kapasitesine bağlı olarak bir miktar kısalması veya uzaması mümkündür. Tarama işlemi öncesinde heykel üzerinde herhangi bir tadilat işlemi gerçekleştirilmemiş olup hasarlardan kaynaklanan kusurların bilgisayar ortamında düzeltilmesi hedeflenmiştir ve böylelikle yapılabileceklerin kapasitesi görülmeye çalışılmıştır. Uygulamada taranacak nesnelerin kusurlarının daha az olması ya da hasarsız olması durumunda bu sürelerin kısaltılabileceği gözlemlenmiştir. Heykelin boyutları yaklaşık olarak 2367x1896x2274 mm’dir (*Bir Kanat Ucundan Diğerine X Tabandan Baş Üstüne X Kuyruktan Gagaya Mesafe*). Heykel geometrik şekillerden ziyade serbest formlarda tasarlanmış olduğundan kesin ölçü vermek mümkün olmamaktadır. 3B lazer tarayıcının teknik özellikleri çizelge 1’de gösterilmekte olup tarama sırasında nokta yakalama aralığı heykelin büyüklüğü göz önünde bulundurularak 1 mm olarak seçilmiştir. Tarama işlemi farklı açılardan gerçekleştirmiş olup taranmayan bölge kalmayacak şekilde tarayıcı her bir tarama işleminde yer değişikliğine tabi tutulmuş ve yapılan taramalar bilgisayarda birleştirilmiştir. Birden fazla tarama işlemi gerçekleştirildiğinden ve tarama yüzeylerinin genişliği göz önünde bulundurulduğundan bu taramaların birleştirilmesinde kolaylık sağlayan referanslar oluşturacak çıkıntı şeklinde belli bir kalınlığa sahip çıkartmalar heykel üzerine yapıştırılmıştır (bu işlem tarama işleminde olmazsa olmaz değildir ancak bilgisayardaki işlemleri kolaylaştırmaktadır). Tarama esnasında referans tarama işlemine ilişkin görünüm ve heykel şekil 3’te görülmektedir.

Kullanılan tarayıcı ile çok daha küçük veya çok daha büyük boyutlarda tarama işlemi gerçekleştirilebilecek olup herhangi bir boyut sınırı bulunmamaktadır. Tarama sırasında lazer tarayıcının nokta yakalama aralığı küçük parçalar için 0,15 mm gibi küçük değerlere ayarlanabilir ancak böyle bir ayar bu çalışmadaki uygulamada olduğu gibi büyük hacme sahip parçaların taranmasında büyük verilerin oluşmasına ve bilgisayarların kapasitesinde zorlanmalara neden olacaktır. Dolayısıyla seçilen parametreler taranacak parçanın hacmine ve detaylarına uygun şekilde olmalıdır. Bununla birlikte taranacak nesnenin boyutu büyüdükçe KÖM’nın taranacak bölgeye göre hareket ettirilmesi gerekebilmektedir. Ancak bir amfi tiyatro, bina vb. büyük boyutlu nesnelerin taranması ve dijitalleştirilmesi söz konusu olduğu durumda bu tür bir makine yerine LIDAR gibi farklı araç gereçlerin tercih edilmesi daha kullanışlıdır.

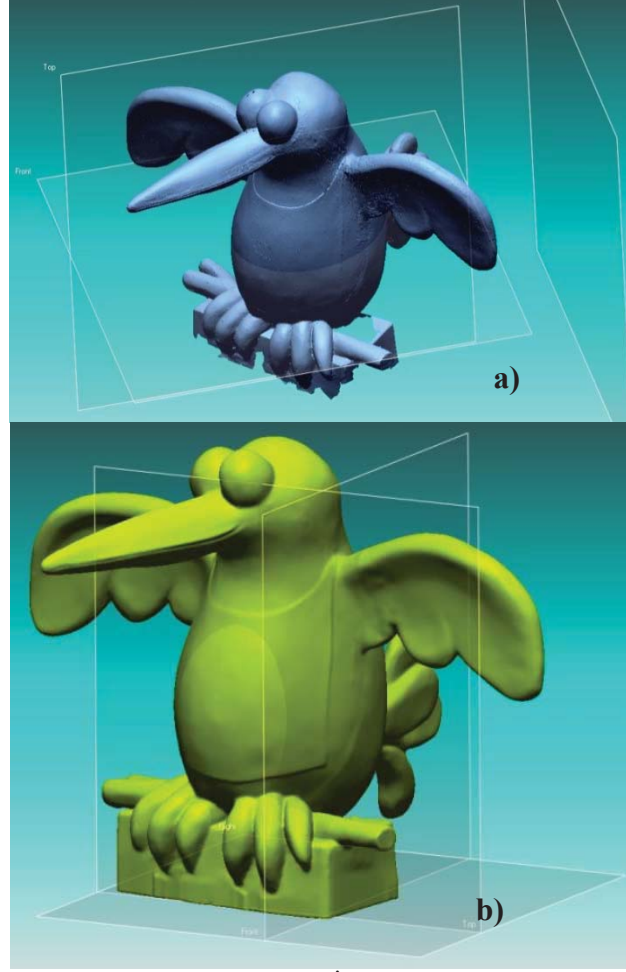


Şekil 3. "Efe" ve tarama işleminden bir görünüm.

Çizelge 1. HP-L.8.9 Lazer tarayıcının teknik özellikleri [22].

Hassasiyet	40 µm 2 sigma
Nokta alma Yeteneği	45 000 nokta/saniye
Çizgideki nokta sayısı	750
Çizgi yenileme frekansı	60 Hz
Tarama genişliği (orta alanda)	80 mm
Algılama mesafesi	135 mm +/- 45 mm
Minimum nokta aralığı	0,08 mm
Lazer güç ayarlaması	Yarı otomatik

3 boyutlu tarama işlemi ve yeniden tasarımı bir tersine mühendislik tasarım programı olan Geomagic Design X (2016) programı kullanılmıştır. Tarama sırasında elde edilen noktalardan ağ örgüleri otomatik olarak oluşturulmuş, böylelikle elde edilmiş ham tarama verisi nokta bulutu yerine ağ örgülerinden oluşmuştur. Tarama işlemlerinin tamamlanması sonrasında elde edilen dosya boyutu 104 MB (megabayt) olmuştur ve taranan nokta sayısı 1.301.698'dir. Bu boyuttaki bir dosya bilgisayarda bir işlem yükü oluşturması yanı sıra tarama işleminden yansıma kaynaklı ağ salkımları, iç içe geçmiş ağ örgüleri gibi kusurlar içermekte ve aynı zamanda da heykelin hasarlarından kaynaklı kusurları içermektedir (Şekil 4a). Bu sebeple ağ örgüsü üzerinde düzenleme ile hem kusurların düzeltilmesi hem de dosya boyutunun azaltılması yoluna gidilmiştir. Bunun için iyileştirme sihirbazı ("healing wizard"), düzgünleştirme (smooth), delik doldurma (fill holes), tekrar ağ örme (global remesh) ve ağ optimize etme (optimize mesh) komutları kullanılarak ağ örgü model hatasız hale getirilmiştir. Burada yapılan iş bir nevi dijital ortam üzerinde heykelin hasarlarının tamir edilmesi olmaktadır. Bu işlemler sonucunda dosya boyutu 7,95 MB'a düşmüştür. Nokta sayısı ise 100.634'e düşmüştür. Yapılan ağ örgü düzenleme sonucunda elde edilen model aynı zamanda tam kapalı başka bir deyişle su geçirmez (watertight) hale gelmiştir. Tam kapalı haldeki modelin bilgisayar kontrollü bir tezgaha (CNC) veya bir 3B yazıcıya gönderilebilmesi için yeniden hizalanmasına başka bir ifadeyle yeni bir Kartezyen Koordinat Sistemi (x,y,z=0,0,0) üzerine oturtulmasına ihtiyaç duyulmuştur. Hizalama işleminin gerçekleştirilmesi ile koordinat düzlemi şekil 4b'de görüldüğü gibi oluşmuştur. Bu sayede dosya .stl uzantılı olarak kaydedilebilir ve 3B yazıcıya gönderilebilir hale gelmiştir.



Şekil 4. a) Düzeltmeler öncesi ağ örgü model b) İyileştirmeler sonrası ağ örgü modelin son hali ve referans düzlemleri.

.stl uzantılı ağ örgü model dosya Simplfy3D programında açılarak dijital modelin iki farklı ölçeklendirilmesi yapılmış ve 3B yazıcı için takım yolu oluşturulmuştur. Böylelikle 3B yazıcıda heykelin replikalarının üretilmesi için her şey hazır hale gelmiştir. İki farklı replikanın 3B yazıcıda başarılı şekilde imal edilmesinin ardından, ESHOT Genel Müdürlüğü personellerince boyanmış ve orijinal büyük heykelin ölçekli örnekleri ortaya çıkmıştır. Söz konusu replikalara ilişkin görünümler şekil 5'te gösterilmekte olup soldaki replikanın tabandan baş üstüne yüksekliği 12 cm sağdakinin ise 25 cm olacak şekilde üretilmiştir. Yazdırma işlemi (baskı kapasitesi hacmi: 29x27x18 cm) Leapfrog Creatr HS marka ve model yazıcıda gerçekleştirilmiştir. Yazdırma hammaddesi olarak PLA (Polilaktik Asit) filament kullanılmıştır. Yazdırma işleminde 0,1 mm katman kalınlığı ve %25 doluluk oranı tercih edilmiştir. Yazdırma sıcaklığı 210 °C ve yazıcı tabla sıcaklığı 45 °C olarak ayarlanmıştır.



Şekil 5. 3B yazıcı ile üretilen ve boyanan iki adet heykel replikası.

Tarama işlemi sonrasında aynı zamanda heykelde meydana gelmiş olan hasarlar uzman personeller tarafından giderilerek yeniden boyanmıştır. Son hali şekil 6'da gösterilmektedir.



Şekil 6. Tadilat ve boyama işlemi ile sırasındaki ve boyama bitiminden sonraki heykelin taşınma sırasındaki görüntüsü.

4. SONUÇLAR

Geçmişte yapılan uygulamalar tersine mühendislik yöntemlerinin farklı amaçlarla farklı geometrik özelliklere ve hacimlere sahip endüstriyel veya mimari nesnelere uygulanabildiğini göstermektedir. Buna uyumlu olarak bu çalışmada gerçekleştirilen uygulama ışığında tersine mühendislik yöntemlerinin kent kültür ve tarihi açısından önemli olan nesne ve eserler üzerinde de güvenilir şekilde kullanılabilmesi görülmektedir. Koordinat ölçme makinaları ve lazer tarayıcılar gibi ekipmanlar ile alınacak ölçümler ve bilgisayar destekli tasarım programları güvenilirliğini kanıtlamış teknolojilerdir.

Elde edilen veriler ve dijital modeller ile CNC tezgahlarında üretim yapılması, kalıp veya model imal edilerek döküm vb. geleneksel imalat yöntemleri ile nesnelerin çoğaltılması mümkündür. Bununla birlikte 3B yazıcılar kişisel üretimler için büyük esneklik sunmaktadır.

3B yazıcılar ile herkesin kendi üretimlerini yapabilmesi için thingiverse vb. gibi internet platformları oluşturulmuştur. Bu tür sitelerde insanlar istedikleri nesnenin dijital verilerini indirerek imalatını gerçekleştirebilmektedir. Böylelikle kentlere özgün eserlerin ve kültürel

mirasların bilinirliğinin artırılmasını sağlamak, kent kültürünün korunmasına /artırılmasına /devamlılığına teknolojik bir katkı sağlamak mümkündür. Nesne ve eserlerin bilinirliğinin artması bu eserler ile ilgili olaylar hakkındaki hikâyelere de merak duygusu uyandıracaktır.

Tersine mühendislik teknolojileri sanat eserleri, tarihi kalıntılar, mimari eserler gibi nesnelerin tarihi açıdan önemli olabilecek kalıcı dijital kayıtların oluşturulmasını sağlamaktadır. Bu yöntem ile oluşturulacak dijital bir arşiv, gelecek kuşaklara bırakılacak değerli bir miras olacağı gibi kentlerin ve kentlilik kültürüne yapılabilecek önemli bir hizmet/katkı anlamına gelmektedir.

Bu çalışmadaki uygulamalara benzer uygulamaların ülkemizde teşvik edilerek yaygınlaştırılması ve gerek sanat eserleri gerek tarihi eserlerin dijital dokümanlarının oluşturulmasına ve çok disiplinli çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu tür çalışmaların İzmir özelindeki tarihi kalıntılar ve sanat eserleri için de yaygınlaştırılması mümkündür.

TEŞEKKÜR

Çalışmanın gerçekleştirilmesindeki sağladığı motivasyon ve desteği için ESHOT Genel Müdürlüğü, Genel Müdür Yardımcısı Sayın Fazıl ÖLÇER'e teşekkürü bir borç biliriz.

5. KAYNAKLAR

- [1] **23.Universiade 2005, İZMİR**, İBB 2002 Faaliyet Raporu, https://www.izmir.bel.tr/YuklenenDosyalar/Dokumanlar/25.12.2013%2011_06_28_universiad_e.pdf (Erişim: 21.06.2017)
- [2] **23.Universiade 2005, İZMİR**, İBB 2005 İBB Faaliyet Raporu, https://www.izmir.bel.tr/YuklenenDosyalar/Dokumanlar/25.12.2013%2016_36_34_universiad_e.pdf (Erişim: 21.06.2017)
- [3] **Wang W.**, Reverse Engineering Technology of Reinvention. NW Washington, USA, CRC press Taylor & Francis Group, 2011.
- [4] **Várady T, Martin RR, Cox J.** “Reverse Engineering of Geometric Models—an Introduction”. Computer Aided Design, 29(4), 255–268, 1997.
- [5] **Önçağ A.Ç, Tekcan Ç., Özden H., 2017**, Mekanik Parçaların Tersine Mühendislik ile Modellenmesinin Değerlendirilmesi ve Bir Uygulama, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, (Baskıda-accepted)
- [6] **Yang, Z., ve Chen, Y., 2005**, A reverse engineering method based on haptic volume removing, Computer – Aided Design, 37(1):45-54p.
- [7] **Lee K.H., and Woo, H., 1998**, Use of reverse engineering method for rapid product development, Computers & Industrial Engineering, 35(1-2):21-24p.
- [8] **Balta, C. ve Öztürk, S., 2009**, Tersine mühendislikte laser tarama nokta bulutundan örme yüzey elde edilmesi, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği 13. Ulusal Kongre, EMO-ODTÜ, http://akademikpersonel.kocaeli.edu.tr/cengizbalta/poster/cengizbalta20.12.2009_21.59.40poster.pdf (Erişim tarihi:31 Mayıs 2016)
- [9] **Mian, S.H., Mannan, A.M., Al-Ahmari, A.M., 2013**, Multi-sensor integrated system for reverse engineering, Procedia Engineering, 64:518–527p.

- [10] **Dúbravčík, M., and Kender, S., 2012**, Application of reverse engineering techniques in mechanics system services, *Procedia Engineering*, 48:96–104p.
- [11] **Paulic, M., Irgolic, T., Balic, J., Cus, F., Cupar, A., Brajlil, T. and Drstvensek, I., 2014**, Reverse engineering of parts with optical scanning and additive manufacturing, *Procedia Engineering*, 69:795– 803p.
- [12] **Zhou, M., 2011**, A new approach of composite surface reconstruction based on reverse engineering, *Procedia Engineering*, 23:594–599p.
- [13] **Sansoni, G. and Docchio, F., 2004**, Three-dimensional optical measurements and reverse engineering for automotive applications, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 20(5):359–367p.
- [14] **Xu, L., Lin, M., Li, J., Wang, Z. and Chirende, B., 2008**, Three-dimensional geometrical modelling of wild boar head by reverse engineering technology, *Journal of Bionic Engineering*, 5(1):85–90p.
- [15] **Ören, S., Yasa, E., Uğur, E., Poyraz, Ö., Akbulut, G. ve Pilatin, S., 2014**, Havacılık sektöründe optik ölçüm yöntemlerinin yeri ve karşılaştırmalı değerlendirilmesi üzerine bir çalışma, *Mühendis ve Makina*, 55(654):35-60s.
- [16] **Melvin J. Wachowiak & Basiliki Vicky Karas, 2009**, 3d Scanning and Replication for Museum and Cultural Heritage Applications, Volume 48, Issue 2, 141-158p.
- [17] **Naif Adel Haddad, 2011**, From ground surveying to 3D laser scanner: A review of techniques used for spatial documentation of historic sites, *Journal of King Saud University – Engineering Sciences* 23, 109–118p.
- [18] **Yastikli N., 2007**, Documentation of cultural heritage using digital photogrammetry and laser scanning, *Journal of Cultural Heritage*, 8(4), 423-427p.
- [19] **Segreto T., Bottillo A., Teti R., Galantucci L.M., Lavecchia F., Galantucci M.B., 2017**, Non-contact reverse engineering modeling for additive manufacturing of down scaled cultural artefacts, 10th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering - CIRP ICME '16, *Procedia CIRP*, 62, 481-486p.
- [20] **Pavlidis G., Koutsoudis A., Arnaoutoglou F., Tsioukas V., Chamzas C., 2007**, Methods for 3D digitization of Cultural Heritage, *Journal of Cultural Heritage*, 8(1), 93-98p.
- [21] **Thingiverse**, <https://www.thingiverse.com/met/about> (Erişim: 02.08.2017)
- [22] **Hexagon**, “HP-L.8.9 Lazer tarayıcı” http://www.hexagonmetrology.com.tr/HP-L-89-LazerTarayici_1669.htm#.VzWQkYSLRqM (Erişim: 13.05.2016).