



Tersine Mühendislik Uygulamalarında Yersel Lazer Tarayıcıların Kullanım Olanaklarının Araştırılması; Klasik Otomobiller Örneği

Doğa Fidan^{*1}, Mücahit Emre Oruç², Seda Nur Gamze Hamal³, Şafak Fidan³

¹Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, Türkiye

²Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Mersin, Türkiye

³Mersin Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Mersin, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Tersine Mühendislik,
Yersel Lazer Tarama,
3B Model,
Teknik Çizim.

Öz

Tersine mühendislik bir nesnenin veya mekanizmanın, fiziksel yapısının ve çalışma prensiplerinin anlaşılması, detaylı şekilde analiz edilmesi işlemidir. Tersine mühendislikte veriye ulaşmadaki temel amaç, nesnenin ölçekli bir şekilde üç boyutlu (3B) sayısal modelini elde etmektir. Gelişen teknolojiyle beraber, tersine mühendislik uygulamalarında yersel lazer tarama sistemlerinin kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Yersel lazer tarama sistemleri ile nesnenin yüksek hassasiyetlerdeki sayısal verileri kolay bir şekilde elde edilebilmektedir. Bu çalışmada klasik bir otomobilin yersel lazer tarayıcı ile 3B modellenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen nokta bulutu verisi üzerinden otomobile ait bazı kaporta parçalarının teknik çizimleri tamamlanarak yersel lazer tarayıcıların tersine mühendislik uygulamalarında kullanımı araştırılmıştır.

Investigating the Possibilities of Using Terrestrial Laser Scanners in Reverse Engineering Applications; Classic Car Example

Keywords

Reverse Engineering,
Terrestrial Laser Scanning,
Three-Dimensional Model,
Technical Drawing.

Abstarct

Reverse engineering is the process of understanding and analyzing in detail the physical structure and working principles of an object or mechanism. The main purpose of accessing data in reverse engineering is to obtain a scaled three-dimensional (3D) digital model of the object. With the developing technology, the use of terrestrial laser scanning systems in reverse engineering applications has become increasingly common. With terrestrial laser scanning systems, high precision numerical data of the object can be obtained easily. In this study, 3D modeling of a classic car was carried out with a terrestrial laser scanner. Using the obtained point cloud data, the technical drawings of some car body parts were completed and the use of terrestrial laser scanners in reverse engineering applications was investigated.

* Sorumlu Yazar (*Corresponding Author)

*(dogafidan.61@gmail.com) ORCID ID 0000-0003-0856-5594
(mucahitemre27@gmail.com) ORCID ID 0000-0003-2454-9279
(sedanurgamzeshamal@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-1050-3088
(safakfidan@mersin.edu.tr) ORCID ID 0000-0001-9772-0968

Kaynak Göster (APA) / Cite this;

Fidan, D., Oruç, M. E., Hamal, S. N. G. & Fidan, Ş. (2022). Tersine Mühendislik Uygulamalarında Yersel Lazer Tarayıcıların Kullanım Olanaklarının Araştırılması; Klasik Otomobiller Örneği. Türkiye Lidar Dergisi, 4(1), 01-10

1. GİRİŞ

Tersine Mühendislik; bir nesneyi, makineyi ya da teknolojiyi geliştirmek, çoğaltmak, çalışma prensibini anlamak amacıyla parçalara ayırmak ve bu parçaları tekrar birleştirip yeniden bir bütüne ulaşmak olarak da tanımlanabilir. Buradaki tersine terimi sayısal ve fiziksel ortamlar arasında yapılan veri alışverişinin çift yönlülüğünü anlatmaktadır (Rekoff, 1985; Varady vd. 1997; Anwer & Mathieu, 2016).

Tersine mühendisliğe başvurmada birçok etmen yer almaktadır. Bunlardan başlıcaları; üreticinin bir parçayı uzun zamandır üretmemesi, orijinal tasarım hakkında yeterli belgeye ve teknik çizime sahip olmaması, ürünün orijinal üreticisinin artık bulunmaması, orijinalini üretecek olan firmanın ek ya da yedek parça sağlamada yetersiz olması, ürünün bazı yetersiz görülen özelliklerinin yeniden tasarlanması geliştirilmesi ve analiz edilmesidir.

Tersine mühendislik heykeller, protezler, mekanik parçalar vb. nesnelerin üretiminde sıklıkla başvurulan bir yöntemdir. Ayrıca askeri alanda, biyomedikal sektöründe de hassas modelleme gerektiren birden çok alanda kullanılabilir.

Tersine mühendislik uygulaması mevcut bir fiziksel nesneden (numunedan) başlamaktadır. Çeşitli sayısallaştırma yöntemleri ile nesne yüzeylerinin nokta bulutu verileri otomatik veya manuel olarak toplanmaktadır. Daha sonra nokta bulutları nesnenin oluşum bölümlerine göre parçalara ayrılmakta ve farklı yüzey özelliklerine uyarlanmaktadır. Bu aşamalar doğrultusunda nesnenin tamamının ya da istenilen bir parçasının bilgisayar destekli tasarım modeli (CAD) oluşturulabilmektedir (Yang & Chen, 2004).

Tersine mühendislikte var olan bir nesneyi yeniden üretebilmek veya geliştirebilmek amacıyla ürünün 3B sayısal tasarım bilgilerinin elde edilmesi gereklidir. Teknik çizimler ile bu nesnelerin geometrik özelliklerini ortaya çıkarmak ve 3B CAD modelini yaratmak bazı durumlarda güç olabilmekte bu da üretim ve imalatta aksamalara yol açabilmektedir. Bu sebeple üreticiler ve tasarımcılar, nesnelere iki boyutlu ekranlarda düşük ölçekte görüntülemekten ziyade yüksek çözünürlüklü ve ölçekli bir şekilde değerlendirmeye daha çok önem vermektedirler (Varady vd., 1997).

Son on yıldan itibaren tersine mühendislik çalışmalarında; fiziksel nesneden edinilen nokta bulutlarından, 3B modellerden ve 3B katı model verilerinden yararlanılmaktadır. Tersine mühendisliğin otomobil endüstrisi gibi estetik tasarımın önemli olduğu alanlara uygulanmasında, 3B ve ölçekli modellere ihtiyaç duyulmaktadır (Anwer Mathieu, 2016).

LİDAR (Light detection and ranging) (ışık algılama ve mesafe) sistemleri uzaktan algılamanın temel prensiplerine göre ölçüm yaparlar (Sağlam vd., 2020). LİDAR yöntemi objelerin doğrudan, hassas ve otomatik olarak koordinatlarının elde edilmesini sağlayan bir teknolojidir (Schultz, 2010).

LİDAR radara benzer bir şekilde çalışan ve tarayıcı sensörden nesnelere olan mesafeyi ölçmek için lazer atımlı ışık kullanan bir tür uzaktan algılama tekniğidir (Alptekin vd., 2019). LİDAR sistemleri saniyede binlerce nokta verisi elde edebilen otomatik ve sistematik bir

işlem akışına sahiptir. LİDAR sistemleri sahip olduğu sistematik ve teknolojik özellikler sayesinde kısa sürelerde fiziksel verilerin hassas, hızlı ve düşük maliyetli bir şekilde sayısallaştırılmasına olanak tanımaktadır (Avdan vd., 2013). Tarama işlemi sonunda işlenen veriler istenilen formatlara dönüştürülebilmekte ve aktarılabilir. LİDAR yöntemi diğer 3B modelleme yöntemleriyle de bir bütünleşme sağladığından çoğu mühendislik uygulamasında tercih edilen bir teknolojidir. Sağladığı avantajlar sayesinde LİDAR tekniği 3B modelleme ve ölçme uygulamalarında son yıllarda sıklıkla uygulanmaktadır (Yakar vd., 2010).

Tersine mühendislik uygulamalarında; 3B tarama teknolojilerinin uygulanması ve bilgisayar destekli çizim ve tasarım alanında nesnelerin fiziksel dijital geometrik modellerinin yapılandırılabilmesi üzerinde son yıllarda yapılan çalışmalar kapsamlı bir şekilde incelenmiştir.

Sansoni & Docchio (2004) Ferrari 250 Mille Miglia marka ve model bir yarış arabasını fotogrametrik yöntem ile 3B olarak modellemiştir. Ön tampon ve tavan gibi geniş ve homojen dağılıma sahip yüzeylerin 3B CAD modellerinin oluşturulması eksiksiz olarak sağlanırken homojen olmayan yüzeylerde (ayrıntılı) eksik model oluşturulmuştur. Bu çalışmada homojen yüzeylerde fotogrametri tekniğinin kullanımı otomobil üreticilerine somut bir fayda sağladığı ve gerçek boyutlu otomobiller ya da gerçek boyutlu otomobil maketlerinin üretilmesinde uygulanabilir bir teknik olduğu görülmektedir.

Altıntaş (2014) yersel fotogrametrik yöntemle bir gemi maketini 3B olarak modellemeyi amaçlamıştır. Elde edilen sayısal modelin hassasiyeti istenilen ayrıntı seviyelerini sağlamakta ve bu sayısal model yardımıyla nesne yeniden üretilebilmektedir. Ayrıca Altıntaş fotogrametrik yöntemin tersine mühendislik uygulamalarında kullanım alanlarına değinmiştir.

Şahin vd. (2017) hasarlı dişlilerin yeniden üretilmesinde tersine mühendislik yaklaşımları kullanmıştır. Bu çalışmada hasarlı durumda olan helis dişlisinin 3B taramasının ardından CAD ortamında tasarımı gerçekleştirilmiştir. Helis dişlisinin hasarlı bölgesinin onarımına geçmeden önce orijinal diş profilleri belirlenmiştir. 3B yazıcıda üretilen onarılmış dişlinin orijinal dişli ile ölçülerinin karşılaştırılması yapılarak doğruluğu test edilmiştir. Orijinal üretim parametreleri bilinmeyen nesnelere üzerinde gerçekleştirilen tersine mühendislik yaklaşımlarıyla birlikte nesneye ait teknik sayısal değerlere ulaşılabilmektedir. Tersine mühendislik ve 3B tarama yöntemleri karmaşık endüstriyel parçalar üzerinde ürün geliştirme ve imalat süreçlerinde üreticilere hız ve kolaylıklar sunmaktadır.

Önçag & Tosun (2018) çeşitli çevresel ve doğal nedenlerden dolayı deforme olmuş ve tasarım verisi mevcut olmayan bir heykelin tersine mühendislik yöntemi ile yeniden üretimini amaçlamıştır. Uygulama nesnesi olan efe maskotu heykelinde yer yer çatlaklar ve boyasında deformeler mevcuttur. Çalışmada veri toplama yöntemi ve donanımı olarak LİDAR kullanılmış ve heykelin 3B modeli elde edilmiştir. Esere 3B tarama öncesi herhangi bir müdahale yapılmamış, eserin deforme olan bölgeleri bilgisayar destekli çizim yazılımında düzenlenmiştir. Kullanılan yöntem

sayesinde esere herhangi bir zarar vermeden (temas etmeden) bilgisayar ortamında sayısal veriler üzerinde yapılan teknik çizimin ardından eser 3B yazıcıda ölçekli bir yeniden üretilmiştir. Lazer tarayıcılar tersine mühendislik uygulamalarında kültürel ve tarihi eserlerin onarımında, ilk zamanki tasarım bilgilerine erişmede ve teknik dokümanlarının oluşturulmasında güvenilir bir şekilde kullanılabilir donanımlar olduğu görülmüştür.

Burdziakowski & Tysiac (2019) çalışmalarında gemilerin üç boyut modellenmesi için yersel lazer tarama ve yakın mesafe fotogrametrisi tekniklerini birlikte kullanmışlardır. Çalışmanın uygulama objesi Kobben sınıfı bir denizaltı olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde yalnızca bir tekniğin modellenen nesnenin tamamı için yeterli bir veri aralığı sağlamadığı görülmüştür. Bu nedenle obje üzerinde eksiksiz geometrik bilgi elde etmek için yakın mesafe fotogrametrisi ve yersel lazer tarama yöntemlerini bütünleştiren bir yaklaşım önerilmektedir.

Demir vd. (2019) tersine mühendisliğin yöntemleri kullanarak bir uyluk (femur) kemiğinin 3B ve CAD modelini oluşturmayı amaçlamışlardır. Uygulamada veri toplama aşamasında temassız optik tarama sistemi kullanılmıştır. Kemik 3B olarak modellenip CAD ortamına aktarılmıştır. Düzensiz geometrik formundan kaynaklı uyluk kemiği tasarımı ve teknik çizimi oldukça zor bir nesnedir. Elde edilen 3B CAD model sayesinde obje üzerinde ölçülendirme ve tasarım yapılabilir hale getirilmiştir. Ayrıca kemik üzerinde planlanan cerrahi kesim, diğer tıbbi protez parçalarının kemiğe takımı ve kişiye özel protez üretiminde başarı oranını arttıracakları görülmektedir.

Chauhan vd., (2020) Suzuki marka Maruti model bir otomobilin dikiz aynasını tersine mühendislik yöntemleriyle analiz etmeyi ve geliştirmeyi amaçlamışlardır. Analizler doğrultusunda orijinal tasarımı değiştirilen ve yeniden yapılandırılan edilen dikiz aynası 108 km/saat hızda maksimum %45,7 oranında sürtünme azalması sağlamıştır. Tersine mühendisliğin yöntemlerini kullanarak, mekanik otomobil parçaları üzerinde gerçekleştirilen çeşitli simülasyon ve deneyler sonucundaki teknik geliştirmeler yakıttan tasarrufu ve daha az miktarlarda gaz salınımını sağlayacağı tespit edilmiştir.

Gregor (2020) otomobil endüstrisinde nokta bulutları ve 3B modellerin kullanımı üzerine bir çalışma yapmıştır. Endüstrideki küreselleşmeyle birlikte müşterilerin gereksinimleri hızla değişmektedir. Endüstriyel firmalar rekabet gücünü koruyabilmek için ürünlerinde sürekli olarak yenilenme, işlevsellik, dayanıklılık, performans üretimde ise hız ve maliyet düşürme yollarında artışa gitmelidir. Tasarımda ve üretimde modern bilgi teknolojilerinin kullanımıyla gerekli olan ihtiyaçlar karşılanabilmektedir. 3B lazer taramanın sistemleri firmalar arasında gerçekleşen rekabete ve müşteri ihtiyaçlarına ayak uydurmayı sağlamaktadır. 3B modeller ve sanal gerçeklik uygulamaları otomobil üretim süreçlerine verim, hız ve birçok durumda çeşitli faaliyetlerin maliyetini düşürebilir nitelikte olduğu savunulmuştur.

Haleem (2021) 3B tarayıcılar kullanarak bir karbüratörü modellemeyi amaçlamıştır. Günümüzde tersine mühendislik, endüstri, tersine mühendislik, ürün

tasarımı, hızlı üretim, multimedya, mimari, denetim ve kalite kontrol gibi uygulamalarda 3B tarayıcılar sıklıkla kullanılmaktadır. 3B tarama işleminde gerçek dünyaya ait veriler dijital (sayısal) bir biçime dönüştürülmektedir. Sayısal ortamda elde edilen 3B karbüratör modeli sayesinde objenin performansını arttırmak amacıyla istenilen analizler ve simülasyonlar kolaylıkla uygulanabileceği savunulmuştur. Bu çalışmada yersel lazer tarayıcıların tersine mühendislik uygulamalarında kullanım olanakları araştırılmıştır. Uygulama nesnesi; ender nitelikte, parçalarının üretimi günümüzde olmayan ve tedarik edilemeyen 1980 yılı üretimli Chevrolet Silverado marka ve model otomobil tercih edilmiştir. Çalışmada Faro FARO Focus^s 350 yersel lazer tarayıcı kullanılmıştır. Arazi ve ofis aşamaları tamamlandıktan sonra otomobilin nokta bulutu verisi elde edilmiştir. Son olarak Solidworks yazılımında teknik çizimler gerçekleştirilmiş ve aracın bazı kaporta parçalarının CAD modeli oluşturulmuştur.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

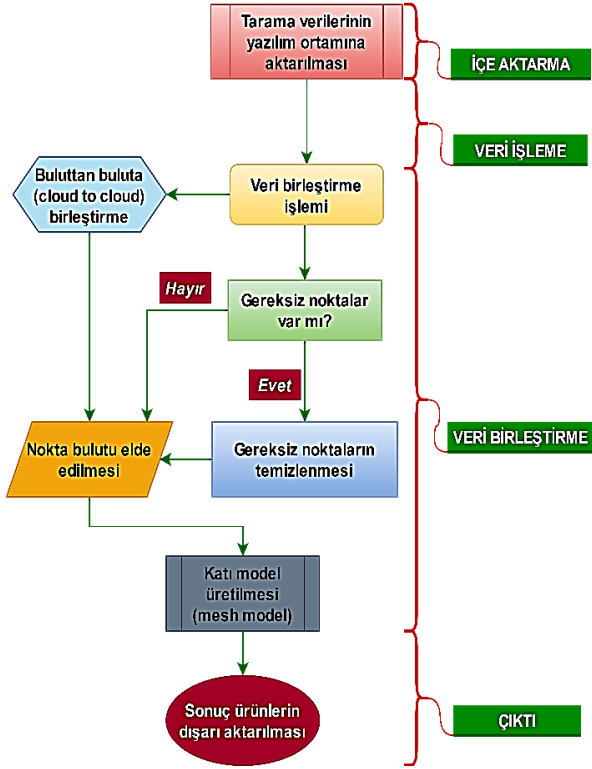
2.1. Tersine Mühendislik

Tersine mühendislik; objenin çalışma prensibine göre uygun şekilde yeniden tasarlanması, ölçüm, test, analiz ve geliştirme işlemlerinin uygulanması ve nesnenin yeniden üretilmesi olarak ifade edilmektedir (Yang & Chen, 2004).

Tersine mühendislik uygulamaları otomotiv, makine, havacılık, medikal vb. sektörlerde sıklıkla uygulanmaktadır. Gelişen teknolojiyle beraber son yıllarda farklı sektörlerde tersine mühendislik uygulamaları ivme kazanmıştır. Son 30 yılda yapılan araştırmalar neticesinde pek çok alanda yazılım ve donanım sistemlerinin gelişmesiyle günden güne daha elverişli sonuç ürünlerin ortaya çıkması sağlanmıştır (Wang, 2011; Ören vd., 2014; Önçag vd., 2017).

Tersine mühendislik yönteminin süreci tündengeyim metoduna göre uygulanmaktadır. Üretilmek istenen bütüne ait parçaların teknik verilerinin kısmen ya da tamamen eksik olduğu durumlarda; gerekli modelleme, işleme, teknik çizim ve tasarımın yapılması, üretim ve imalat süreçlerini kapsamaktadır. Ayrıca bu süreçte nesnelerin eksikliklerinin giderilmesine ve geliştirilmesine, kullanım olanaklarının ve veriminin artırılmasına da imkân vermektedir (Önçag vd., 2017).

Tersine mühendislik uygulamalarında yazılımlarda oluşturulan 3B modele, mekanik simülasyonlar entegre edilebilmekte ve üretim süreci görselleştirilebilmektedir. Görselleştirme işlemi, şekil ve yüzey optimizasyonu gibi sanal bir modeli tanımlayabilen diğer tüm süreçleri içerecek şekilde genişletilebilir (Burdziakowski & Tysiac, 2019). Bu nedenle, tersine mühendislik, yalnızca nesnenin yeniden yapılandırılmasına değil, aynı zamanda malzeme özelliklerinin ve üretim süreçlerinin takibine de odaklanmaktadır. Nesnenin 3B CAD modelini oluşturmak için nesnenin geometrisinin çıkarılması da bir diğer çok kullanılan yaklaşımdır (Anwer & Mathieu, 2016). Çalışmada izlenen işlem adımları Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. İş akış şeması (Çelik vd. 2020)

Tersine mühendislik sürecinin birden fazla adımı olmasına rağmen, bunların tamamı üç ana işlem adımına indirgenebilir. Tersine mühendisliğin üç ana işlem adımı; veri toplama, veri işleme ve 3B CAD modellemedir (Anwer & Mathieu, 2016).

Ürün sayısallaştırma, genel olarak fiziksel bir nesnenin ölçüm ve tarama cihazları kullanılarak sayısallaştırılması aşamasını ifade etmektedir. Nesnelerin sayısallaştırılması donanımlar yardımıyla gerçekleştirilmektedir (Erdal & Makineci, 2021). Tersine mühendislikte veri elde etme aşamasında kullanılan donanımlar temaslı ve temassız ölçüm donanımları olarak iki gruba ayrılmaktadır. Temaslı sistemlerde, belirli eksenlerde hareket eden bir ölçüm cihazı, koordinatları istenen noktaya temas ettirilerek hassas biçimde ölçüm işlemi gerçekleştirilir. Bu sistemlerle yüzeyin tamamının verisi değil sadece yüzeydeki istenen noktanın verileri elde edilebilmektedir. Sistem nesne ile doğrudan temas sağladığından yüksek hassasiyetli bir şekilde veri elde edebilmektedir. Yüzey ve yüzeyin sürekliliği hakkında daha çok bilgi sahibi olmak için alınan noktaların sıklaştırılması durumunda, tarama ve veri işleme süreçleri uzun sürmekte ve büyük veri setlerini işlemek için daha nitelikli bilgisayarlara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca bu yöntem kullanılarak serbest yüzeylerden veri elde edilmesi diğer yöntemlere göre daha zordur. Bu sistemin diğer tarama yöntemine göre daha maliyetli olması ve yüzeyin modellenmesi için ölçüm cihazının yüzeye temas etmesi diğer dezavantajlar olarak sıralanabilir. Bu tür ölçüm yöntemini kullanan donanımlardan en bilineni koordinat ölçüm makineleri ve mekanik kollu makine sistemleridir (Altıntaş 2014; Gerbino vd., 2014).

Temassız ölçüm donanımları uzaktan algılamanın prensiplerine göre çalışmaktadır. Temassız ölçüm donanımları nesne ile herhangi bir fiziksel bağlantı ya da

temas olmadan doğrudan hassas ve otomatik bir şekilde veriye ulaşmayı sağlamaktadır (Kabadayı vd., 2020; Ulvi vd., 2020; Ernst vd., 2021; Kaya vd., 2021a). Nesnenin tamamının sayısallaştırılması için nesnenin etrafından farklı konumlardan alınan yüzey ölçümlerine ihtiyaç duyulmaktadır (Karasaka & Ulutaş, 2021). Bu ölçümler daha sonra veri işleme aşamasında çeşitli veri işleme yazılımları kullanılarak hassas ve otomatik olarak birleştirilmekte, temassız ölçümler sayesinde hızlı güvenilir düşük maliyetli ölçümler gerçekleştirilebilmektedir (Yakar vd. 2016; Erdal & Makineci 2021; Kaya vd., 2021b; Memduhoğlu vd., 2020). Temassız ölçüm donanımlarına sayısal kameralar, insansız hava araçları, mobil ve yersel lazer tarayıcılar örnek olarak verilebilir (Çelik vd., 2020; Polat vd., 2020; Şenol vd., 2020).

Son yıllarda bilgisayar destekli tasarım, çizim ve üretim uygulamalarındaki gelişmelerle birlikte, 3B sanal modellerin yaratılması tersine mühendislik için yaygın olarak kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Veri işleme ve bilgisayar destekli teknik çizim aşamasında yazılımlar devreye girmektedir. Tersine mühendislikte tasarımcılar ve teknik personeller 3B modelleme, bilgisayar destekli çizim ve tasarım aşamasında oldukça fazla zaman harcamaktadır. Verilerin toplanması, analiz edilmesi ve 3B verinin elde edilmesi bu aşamada hız kazanmada oldukça önemlidir (Yakar & Doğan, 2017; Şenol vd., 2021). Bu kapsamda yazılımlar veri toplama aşamasında kullanılan donanıma entegre olabilmeli, çizim ve tasarımda esneklik sağlayabilmelidir. Ayrıca kullanılan veri işleme yazılımı farklı dış ortamlara çeşitli dış aktarım seçenekleri sunmalıdır (URL 1; URL 2).

2.2. Lazer Tarama Sistemleri

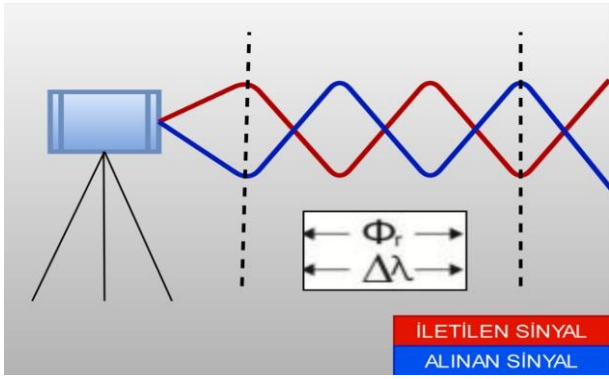
Yersel lazer tarama sistemleri günümüzde birçok disiplinlerde etkin şekilde kullanılmakta ve kullanımı giderek artmaktadır. İlgili çalışmalarca kullanılan bu teknik ile birçok sonuç ürün elde edilebilmektedir. Şekil 2'de uygulama aşamasında kullanılan yersel lazer tarayıcı gösterilmektedir.



Şekil 2. Taramada kullanılan yersel lazer tarayıcı

Yersel lazer tarayıcı ile taranan bir nesnenin veya alanın tarama sonucunda nokta bulutu, alana ait temel ölçme verileri, ortofoto görüntüleri ve 3B modelleri elde edilebilmektedir. Bu çalışmada da yukarıda sıralanan veriler uygulama sonunda elde edilmiştir.

Lazer tarayıcılar, ölçüm işlemi gerçekleştirilecek nesneye direkt olarak temas etmeden uzaktan algılama tekniği ile objelere ait bütün detay noktalarını ve bu detaylara ait noktaların lokal ya da coğrafi koordinatlarının elde edilmesini sağlamaktadır (Yakar vd. 2014; Çelik vd. 2020). Yersel lazer tarayıcı, saniyede gönderilen ışının ölçüm alanına çarparak tarayıcıya geri gelmesinin ardından geri yansıyan ışının yaptığı faz farkının karşılaştırması prensibine göre gerçekleştirilmektedir (Ulvi & Yakar, 2014) (Şekil 3). Bu sayede taraması yapılan nesnenin detay ve derinlik bilgileri elde edilerek 3B modeli elde edilmektedir (Sabuncu & Özener, 2020). Son olarak nesnesinin detay hatları hesaplanarak gerçek boyutları ile birlikte dijital ortamda görselleştirilmesi sağlanmaktadır (Vosselman & Maas, 2010; Karasaka, 2012; Beg, 2018).



Şekil 3. Faz farkı yöntemi

Zaman farkı (Δt) (Eşitlik 1), gönderilen ve alınan sinyaller arasındaki faz farkı ($\Delta\phi$) ve sinyal periyodu arasındaki faz farkı olan λ/c ile formüle edilmektedir. (Karasaka, 2012; Çelik vd., 2020; Beg, 2018). Faz mesafesinin hesaplanması ise Eşitlik 4 ile elde edilmektedir. Uygulama aşamasında kullanılan yersel lazer tarayıcının teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

$$\Delta t = t_y - t_a \quad (1)$$

$$\rho_{\text{sinyal}} = c * (t_y - t_a/2) \quad (2)$$

$$\Delta t = \frac{\Delta\phi \lambda}{2\pi c} \quad (3)$$

$$R_{\text{faz}} = \frac{\Delta\phi}{4\pi} * \lambda \quad (4)$$

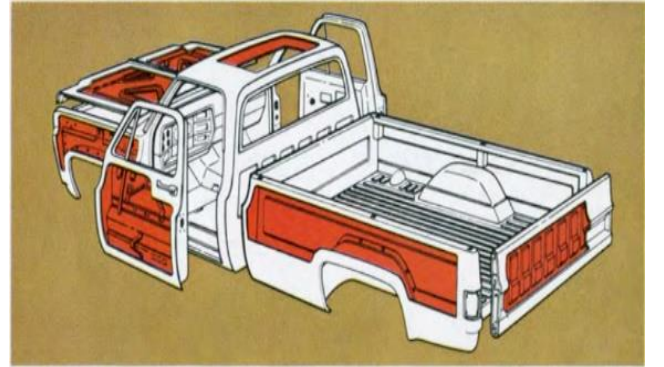
Tablo 1. Faro FocusS 350 özellikleri (Çelik vd. 2020; Oruç & Öztürk 2021)

Özellik	Değer
Tarama Mesafesi	0.6 m - 350 m
Çözünürlük	1/1, 1/2, 1/4, 1/5, 1/8, 1/10, 1/16, 1/20, 1/32
Kalite	2x, 3x, 4x, 6x
Ölçüm Hızı	976.000 nokta/saniye
İç düzlük	±1mm
Ağırlık	4,2 kg
Boy	230x183x103mm

2.3. Uygulama Nesnesi

Uygulama nesnesi Chevrolet marka ve Silverado model bir otomobil olarak belirlenmiştir. Chevy veya Chevrolet Division of General Motors Company, 1911'de ABD merkezli olarak kurulmuş bir otomobil şirkettir. Chevrolet otomobil şirketinin Camaro, Corvette, Lancetti, Captiva, Aveo, Kalos vd. isimlerinde binek araç modelleri bulunmaktadır. Chevrolet sadece binek otomobil değil kamyon ve kamyonet üretimi de gerçekleştirmektedir. Apache, Dallas, Suburban ve Silverado ürettiği kamyonet modellerinden birkaçıdır (URL 3).

Chevrolet marka araçlar dünya çapında birçok otomotiv pazarında satılmaktadır. Chevrolet Silverado kamyonet türü otomobil 1975 yılında üretilmeye başlanmıştır (Şekil 4). Silverado Amerikan kamyonetlerinin en uzun üretilen üçüncü modeli olmuş ve uzun yıllar Amerikan modelleri içerisinde en çok tercih edilen model olma özelliğini de korumuştur (URL 3).



Şekil 4. Uzun şasi Chevy Silverado marka ve model otomobilin kaporta parçaları (URL 3)

Uygulamada 1980 model bir Chevrolet'in seçilmesindeki temel sebep otomobilin oldukça ender olmasıdır. Uygulama nesnesi Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. 1980 model Chevrolet Silverado

3. UYGULAMA

Uygulama bölümü arazi aşaması ve ofis aşaması olarak ikiye ayrılmaktadır.

3.1. Arazi Aşaması

Tarama işlemine geçilmeden önce ölçüm parametreleri ve istasyon noktaları planlanmıştır. Tarama verilerinde istenmeyen verilerin oluşmaması için tarama esnasında farklı nesnenin lazer tarayıcı ile uygulama nesnesi arasına girmemesi sağlanmıştır. Bu durum daha kaliteli bir sonuç ürün oluşturulması ve teknik personele zaman kaybı yaşatılmaması açısından önemlidir.

Uygulama nesnenin tarama işlemi toplamda 15 farklı istasyonda gerçekleştirilmiştir. İstasyon noktaları otomobilin etrafına homojen bir biçimde dağıtılmıştır. Otomobilin yüksekliği göz önüne alındığında her yüzeyin verilerini eksiksiz bir şekilde elde edebilmek için değişken alet yükseklikleri ile ölçüm gerçekleştirilmiştir. Tarayıcıya entegre kamera sistemi ile ortamın fotoğrafları tarama esnasında otomatik olarak çekilmiştir. Kamera modu olarak HDR özelliği açık şekilde ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 6). HDR modu, ışık oranının yetersiz veya fazla olduğu durumlarda farklı kontrast oranlarında fotoğrafların nokta bulutlarına giydirilmesi aşamasında gerçeğe daha yakın renklerin oluşmasını sağlamaktadır. Bu özellik taramanın gerçekleşeceği ortamın ışık durumuna göre kullanıcı tarafından manuel olarak da değiştirilebilmektedir.



Şekil 6. Arazi çalışması

3.2. Ofis Aşaması

Arazi çalışmaları tamamlandıktan sonra ofis aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada elde edilen ham tarama verileri Scene yazılımında işlenmiştir. Arazi aşamasında, hedef işaretleri (targets) kullanılmadığından nokta bulutu kümelerinin birleştirilmesi "buluttan buluta" tekniği ile tamamlanmıştır. Birleştirme işlemi ± 3.9 milimetre doğrulukla tamamlanmıştır.

Tarayıcıya bütünleşmiş fotoğraf makinesinden otomatik olarak çekilen fotoğraflar kullanılarak nokta bulutundaki her bir noktaya uygun renk değerinin atanması ile renklendirme ve nokta bulutu oluşturma işlemi tamamlanmıştır. Nokta bulutu verisinin farklı açılardan gösterimi Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Farklı açılarda nokta bulutu görselleri

CAD modelin oluşturulması için nokta bulutu verisi Solidworks yazılımına aktarılmıştır. Çıktı ürünler olarak aracın belirli kısımları (sağ ön çamurluk ve sol arka tampon) üzerinde işlemler yapılmıştır. Araçta belirlenen parçalar solidworks yazılımına aktarıldıktan sonra "scan to 3D" eklentisi kullanılmıştır. "Scan to 3D" eklentisinde ağ modeli hazırlık sihirbazı seçeneği bulunmaktadır. Ağ modeli hazırlık sihirbazı 3B tarama cihazıyla taranıp CAD yazılımına aktarılan nokta bulutu yapısını düzenlemek için kullanılmaktadır.

Solidworks yazılımındaki "scan to3D" eklentisi ile nokta bulutu verisi "ascii" formatında içe aktarılmıştır. Nokta bulutu verisinden ağ modeli elde edebilmek için Scan to 3D eklentisinde ağ modeli hazırlık sihirbazı seçeneği aktifleştirilmiştir.

Ağ modeli hazırlık sihirbazındaki ilk olarak Nokta Bulutu Oryantasyonu yapıp ağ modeli oluşturma komutu gerçekleştirilmektedir. Ağ modeli hazırlık sihirbazının son aşamasında ise model üzerinde doldurulması gerekli boşlukları doldurmak için boşluk doldurma komutu seçilmiştir.

Ağ modeli üretildikten sonra yüzey modeli oluşturma aşamasına geçilmiştir. Yüzey Sihirbazı modülünde yönlendirilmiş oluşturma seçeneği seçilmiştir. Otomatik oluşturma seçeneği her zaman doğru sonuçlar veremeyeceği için yönlendirilmiş oluşturma seçeneği kullanılmıştır. Bunun sebebi ise tersine mühendislik uygulamalarında daha hassas çizimlere gereksinim duyulmasıdır. Bu aşamadan sonra yüzey şekilleri düzenlenmiş ve yazılımın sağladığı geometrik yapılarla manuel olarak yüzeyler kaplanmıştır.

4. BULGULAR

Tersine mühendisliğin işleyişine uygun olarak elde edilen veriler sayesinde otomobilin için tedarik edilemeyen, geliştirilmek istenen veya üretimde olmayan parçalarının, bilgisayar ortamına aktarılarak gerçek ölçülerinin daha kolay ve detaylı olarak elde edilmesi olanaklıdır. Bu doğrultuda otomobilin nokta bulutunun sağladığı 3B görselleştirmenin yanında istenilen parçalarının gerçek uzunluk ve ölçüm değerlerinin elde edilmesi sayesinde tasarımcılara ve teknik personele veri altlığı yönünden imkân sağlayacağı görülmektedir.

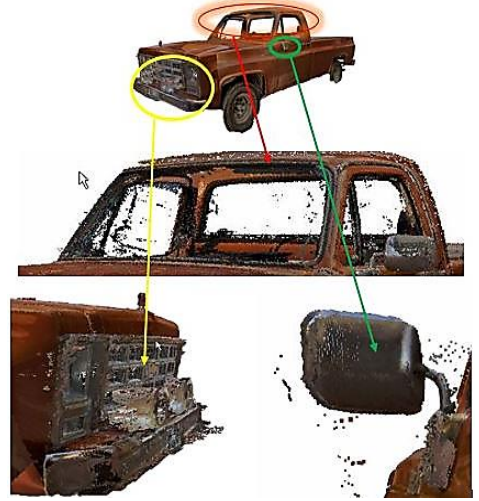
Tersine mühendislik çalışmasında uygulama nesnesi olarak seçilen klasik aracın yersel lazer tarayıcı ile taramaları gerçekleştirilmiştir. Tarayıcı menzili dahilindeki tüm nesnelere kaydettiğinden ve 360° tarama yapması sonucu oluşan istenmeyen birçok verinin (araç, bina, ağaç ve insanlar) oluştuğu tespit edilmiştir. 3B nokta bulutunda oluşan veri kirlilikleri Şekil 8’de gösterilmiştir. Bu verilerin temizlenmesi, hem dosya boyutunda gereksiz veri yükü oluşturmaması hem de sade ve kaliteli veri ortaya çıkarılması bakımından önemlidir. Bu veriler nokta bulutu işleme yazılımı olan Scene yazılımında temizlenmiştir.



Şekil 8.

Modeldeki istenmeyen noktalar

Nokta bulutu verisi incelendiğinde lazer tarayıcının çalışma prensibi olan lazer sinyali atımı ve algılanması ile aracın metalik parlak yüzeylerinin lazer sinyallerini yansıttığı tespit edilmiştir. Bu yansımalar, aracın ön ve arka korumalıkları, sağ ve sol aynaları, ön ızgara ve far kaplamalarında görülmekte ve veride bozulmalara neden olmaktadır. Bu bölgelerdeki yansımaların nedeni yüzeylerin parlak olmasıdır. Diğer yansıma yapan kısımlar ise aracın camlarıdır. Cam yüzeylerde veri bozulmaları, cam yüzeylerden lazer sinyalleri geçiş yapıp gönderilen sinyalin kırılmaları uğrayarak tarayıcıya geri gelememesidir. Bu da yüzeyin nokta bulutunda somut olarak oluşmasını engellemektedir (Şekil 9).



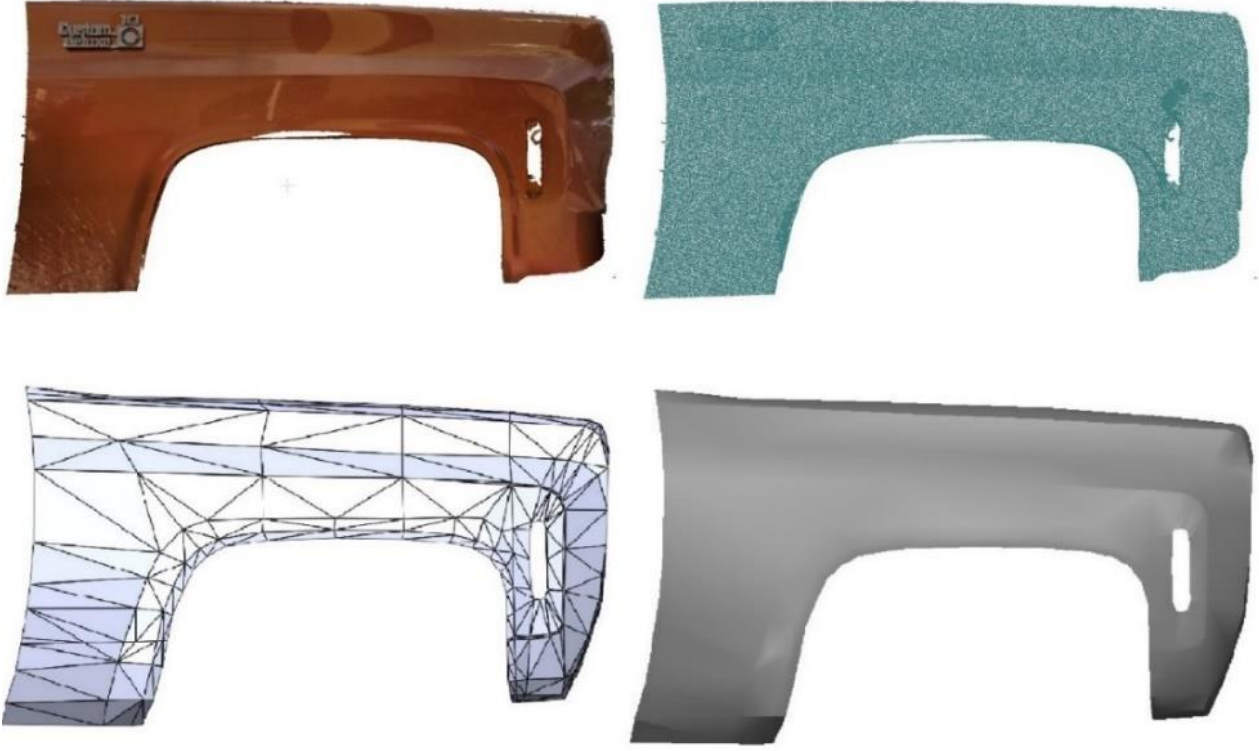
Şekil 9. Yansıma yapan yüzeyler

Gereksiz noktaların temizlenmesinden sonra nokta bulutununun ve katı modellerin çıktıkları “.LAS” formatında alınarak diğer yazılımlarda çeşitli işlemlere tabi tutulmuştur.

Lazer tarama cihazlarından alınan ve “.LAS” formatındaki endüstriyel parçaların tarama dataları üzerinde Solidworks CAD yazılımının Scan to 3D modülü ile tersine mühendislik işlemlerinin yapılabileceği tespit edilmiştir. Çalışmada üzerinde çok fazla detay olmayan parçaların sorunsuz bir şekilde CAD verileri oluşturulabilmiştir (Şekil 10 ve 11).



Şekil 10. Otomobile ait sol arka çamurluğunun bilgisayar destekli çizimi



Şekil 11. Otomobile ait sağ ön çamurluğun bilgisayar destekli çizimi

5. SONUÇLAR

Tersine mühendislik, karmaşık bir donanım sisteminin düzenli bir şekilde incelenmesi sonrasında bir dizi özellik geliştirme süreci olarak tanımlanır. Bu süreç, orijinal tasarımcılar dışındaki kişiler tarafından, orijinal çizimlerden veya diğer belgelerden yararlanılmadan, çalıştırma ve bakım kılavuzları dışında yürütülmektedir.

Günümüzde uygulanan standart üretim metotları, ürünün bilgisayar ortamında tasarımının yapılmasıyla beraber başlayıp uygun yöntemlerle birlikte üretim aşamasındaki süreçleri kapsamaktadır. Tersine mühendislik sürecinin veri elde etme aşamasında güncel teknolojilerin kullanımı üretime doğru giden diğer aşamaları hızlandıracaktır.

Nesneyi sayısallaştırmak ve onu bir CAD modeline dönüştürmek zor ve karmaşık bir problemdir. Bütüncül ve tutarlı bir CAD modeli oluşturmak için tam otomatik bir çözüm günümüzde hala araştırılmaktadır. Bu bağlamda otomatiklik ve hız faktörlerinin yanında temel veriye doğru ve hassas bir şekilde erişim oldukça önemlidir.

LİDAR yöntemi 3B modellemede sıklıkla kullanılan bir yöntemdir ve bu tersine mühendislik uygulamalarında alternatif bir veri toplama ve çözüm yöntemi olarak sunulmuştur.

Bu çalışmada 1980 yılı üretimi Chevrolet Silverado marka ve model otomobilin Faro Focus+ 350 yersel lazer tarayıcıyla taranmıştır. Elde edilen nokta bulutu Scene yazılımında işlenmiştir. 3B model Solidworks yazılımına aktarılmış ve 3B CAD verisi üzerinde teknik çizim işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Uygulamanın arazi aşamasında gerçekleştirilen tarama işleminde istasyon sayılarının artırılması ve istasyon noktalarının nesnenin çevresinde homojen bir şekilde dağıtılması elde edilen 3B modeldeki hassasiyeti

arttıracaktır. Otomobilin camları ve ön çamurluk kısmındaki metalik yüzey ışığı tam anlamıyla yansıttığından elde edilen nokta bulutunda bu kısımlardaki bozulmaların öne geçebilmek için matlaştırıcı boyalar ya da kaplamalar kullanılması önerilmektedir.

Uygulamanın ofis aşamasında elde edilen ham nokta bulutu verileri Scene yazılımında işlenmiş ve veriler bilgisayar destekli çizim yazılımı olan Solidworks yazılımına entegre edilmiştir. Bu yazılımda Scan to 3D eklentisinin ağ modeli hazırlık sihirbazı, düzenleme ve eğri sihirbazı komutları kullanılarak başarılı bir tersine mühendislik uygulaması yapılmıştır.

Bu çalışmada, yersel lazer tarayıcıların tersine mühendislik uygulamalarında alternatif bir yöntem olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Günümüzün endüstri ortamında, firmaların sürekli bir şekilde devam eden yeni teknolojilere uyum sağlama/adapte olmaları gerekmektedir. Otomobil endüstrisi gibi alanlarda güncel iletişim ve bilgi teknolojilerinin kullanımı büyük ve çok uluslu şirketler için oldukça önemlidir. Yersel lazer tarayıcılar tersine mühendislik uygulamalarında üreticilere zamansal tasarrufun yanında tekrarlanabilir ölçü alma gibi avantaj ve esneklik sağlamaktadır. Yapılan çalışma ile yersel lazer tarayıcıların tersine mühendislik uygulamalarında alternatif bir veri toplama yöntemi olarak kullanılabilir olduğu yazarlar tarafından savunulmaktadır.

Yazarların Katkısı

Yazarlar bu araştırma makalesine eşit katkı sunmuşlardır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

Alptekin, A., Çelik, M. Ö. & Yakar, M. (2019). Anıtmezarın yersel lazer tarayıcı kullanarak 3B modellenmesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 1(1), 1-4.

Altıntaş, P., Çak, T. & Yastıklı, D. D. N. (2014). Yersel fotogrametrinin tersine mühendislik uygulamalarında kullanımı. Yıldız Teknik Üniversitesi, bitirme çalışması.

Anwer, N. & Mathieu, L. (2016). From reverse engineering to shape engineering in mechanical design. *CIRP Annals*, 65(1), 165-168.

Avdan, U., Pekkan, E. & Çömert, R. (2013). Mağara ölçümlerinde yersel lazer tarayıcıların kullanılması (Tozman mağarası örneği). *Harita teknolojileri elektronik dergisi*, 5(2), 16-28.

Burdziakowski, P. & Tysiac, P. (2019). Combined close range photogrammetry and terrestrial laser scanning for ship hull modelling. *Geosciences*, 9(5), 242.

Chauhan, B. V., Vedrtanam, A. & Pratap, V. (2020). Designing Rear View Mirror of Car Using CFD and Reverse Engineering. *Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers*, 41(3), 373-380.

Çelik, M. Ö., Hamal, S. N. G. & Yakar, İ. (2020). Yersel lazer tarama (YLT) yönteminin kültürel mirasın dokümantasyonunda kullanımı: Alman Çeşmesi örneği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 2(1), 15-22.

Demir, H., Savaş, V. & Altuğ, M. (2019). Tersine mühendislik yöntemi ile cad datası oluşturma: Femur kemiği örneği. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 9(1), 81-87.

Erdal, K., & Makineci, H. B. (2021). Documentation of Cultural Heritage with Backpack LiDAR Usage on Photogrammetric Purpose. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(1), 1-6.

Ernst, F., Şenol, H. İ., Akdağ, S. & Barutcuoglu, Ö. (2021). Virtual Reality for City Planning. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 6(3), 150-160.

Gerbino, S., Martorelli, M., Renno, F. & Speranza, D. (2004). Cheap photogrammetry versus expensive reverse engineering techniques in 3d model acquisition and shape reconstruction. In *DS 32: Proceedings of DESIGN 2004, the 8th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia*, 749-754.

Gregor, M. (2020). Metodika skenování a zpracování bodových mračen pro vývoj pěnových dílů v automobilovém průmyslu.

Haleem, A., Gupta, P., Bahl, S., Javaid, M., & Kumar, L. (2021). 3D scanning of a carburetor body using COMET 3D scanner supported by COLIN 3D software: Issues and solutions. *Materials Today: Proceedings*, 39, 331-337.

Karasaka, L. & Ulutaş, N. (2021). Cad-based modeling using three dimensional point cloud Data. *Turkey Lidar Journal*, 3(1), 25-30.

Karasaka, L. (2012). Mobil yersel lazer tarama sistemlerinin fotogrametrik rölöve projelerinde kullanılabilirliği üzerine bir çalışma.

Kaya, Y., Polat, N., Şenol, H. İ., Memduhoğlu, A. & Ulukavak, M. (2021a). Arkeolojik kalıntıların belgelenmesinde yersel ve İHA fotogrametrisinin birlikte kullanımı. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(1), 9-14.

Kaya, Y., Şenol, H. İ. & Polat, N. (2021b). Three-dimensional modeling and drawings of stone column motifs in Harran Ruins. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(2), 48-52.

Memduhoglu, A., Şenol, H. İ., Akdağ, S. & Ulukavak, M. (2020). 3D Map Experience for Youth with Virtual/Augmented Reality Applications. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 5(3), 175-182.

Oruç, M. E. & Öztürk, İ. L. (2021). Usability of Terrestrial Laser Technique in Forest Management Planning. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(1), 17-24.

Önçağ, A. Ç. & Tosun, H. (2018). İzmir Üniversiade oyunları maskot heykelinin tersine mühendislik yöntemleri ile dijitalleştirilmesi ve küçük ölçekli olarak 3B yazıcı ile imalatı. *Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, 2(26), 1-10.

Önçağ, A. Ç., Tekcan, Ç. & Özden, H. (2017). Mekanik parçaların tersine mühendislik ile modellenmesinin değerlendirilmesi ve bir uygulama. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(1), 43-49.

Ören, S., Yasa, E., Uğur, E., Poyraz, Ö., Akbulut, G. & Pilatin, S. (2014). Havacılık sektöründe optik ölçüm yöntemlerinin yeri ve karşılaştırmalı değerlendirilmesi üzerine bir çalışma. *Engineer & the Machinery Magazine*, (654).

Polat, N., Önal, M., Ernst, F. B., Şenol, H. İ., Memduhoglu, A., Mutlu, S., ... & Kara, H. (2020). Harran Ören Yeri Arkeolojik Kazı Alanınının Çıkarılan Bazı Küçük Arkeolojik Buluntuların Fotogrametrik Olarak 3B Modellenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 55-59.

Rekoff, M. G. (1985). On reverse engineering. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*, (2), 244-252.

Sabuncu, A. & Özener, H. (2020). Mimari dokümantasyonda yersel lazer tarama teknolojisi kullanımı: tarihi sismoloji binası örneği. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 1(1), 45-52.

Saglam, A., Makineci, H. B., Baykan, N. A. & Baykan, Ö. K. (2020). Boundary constrained voxel segmentation for 3D point clouds using local geometric differences. *Expert Systems with Applications*, 157, 113439.

Sansoni, G. & Docchio, F. (2004). Three-dimensional optical measurements and reverse engineering for

- automotive applications. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 20(5), 359-367.
- Schultz, C. D. (2010). Reverse engineering. In AGMA 10FTM09, Fall Technical Meeting.
- Şahin, İ., Şahin, T. & Gökçe, H. (2017). Hasarlı dişlilerin tersine mühendislik yaklaşımıyla yeniden oluşturulması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(2), 485-495.
- Şenol, H. İ., Memduhoglu, A. & Ulukavak, M. (2020). Multi instrumental documentation and 3D modelling of an archaeological site: a case study in Kizilkoyun Necropolis Area. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(3), 1241-1250.
- Şenol, H. İ., Polat, N., Kaya, Y., Memduhoğlu, A. & Ulukavak, M. (2021). Digital documentation of ancient stone carving in Şuayip City. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(1), 10-14.
- Ulvi, A. & Yakar, M. (2014). Yersel lazer tarama tekniği kullanarak Kızkalesi'nin nokta bulutunun elde edilmesi ve lazer tarama noktalarının hassasiyet araştırması. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(1), 25-36.
- Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. Y. & Kaya, Y. (2020). İHA ve yersel fotogrametrik teknikler kullanarak Aksaray Kızıl Kilise'nin 3 Boyutlu nokta bulutu ve modelinin üretilmesi. *Geomatik Dergisi*, 5(1), 22-30.
- Varady, T., Martin, R. R. & Cox, J. (1997). Reverse engineering of geometric models an introduction. *Computer-aided design*, 29(4), 255-268.
- Vosselman, G. & Maas, H. G. (2010). Airborne and terrestrial laser scanning. CRC press.
- Wang, W. (2011) Reverse engineering technology of reinvention. NW, Washington, USA, CRC Press Taylor & Francis Group.
- Yakar, M. & Doğan, Y. (2017). Mersin Silifke Mezgit Kale Anıt Mezarı fotogrametrik röleve alımı ve üç boyutlu modelleme çalışması. *Geomatik*, 2(1), 11-17.
- Yakar, M., Kabadayı, A., Yiğit, A. Y., Çıkıkcı, K., Kaya, Y. & Catin, S. S. (2016). Emir Saltuk Kümbeti fotogrametrik röleve çalışması ve 3 boyutlu modellenmesi. *Geomatik*, 1(1), 14-18.
- Yakar, M., Ulvi, A., Toprak, A. S. & Mutluoglu, O. (2014). Laser scanning and photogrammetric evaluation of Uzuncaburç Monumental Entrance. *International Journal of Applied Mathematics Electronics and Computers*, 3(1), 32-36.
- Yakar, M., Yılmaz, H. M. & Mutluoğlu, Ö. (2010). Comparative evaluation of excavation volume by TLS and total topographic station based methods.
- Yang, Z. & Chen, Y. (2005). A reverse engineering method based on haptic volume removing. *Computer-Aided Design*, 37(1), 45-54.

İnternet Kaynakları

- URL 1 Hexagon Metrology. "Lazer Tarayıcılar" http://www.hexagonmetrology.com.tr/LazerTarayicilar_107.htm#.V2VI6buLRdg.
- URL 2 Mega Danışmanlık Koordinat Ölçüm Makineleri. "Kontrol Ölçme Makineleri". http://www.megadanismanlik.com.tr/koordinat_olcme_makineleri-88-hizmet.html.
- URL 3 <https://tr.wikipedia.org/wiki/Chevrolet>.



© Author(s) 2022.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>