



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Fdm Yöntemle Üretilen Prototiplerin Yüzeylerine Yapılan İşlemlerin Yüzey Pürüzlülük Ve Mukavemet Üzerine Etkisinin Araştırılması

Hakan MADEN ^{a,*}, Ömer Şaban KAMBER ^b

^a İhlas Ev Aletleri İmalat San. Ve Tic. A.Ş., İstanbul, TÜRKİYE

^b İhlas Ev Aletleri İmalat San. Ve Tic. A.Ş., İstanbul, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: hakanmaden74@gmail.com

ÖZET

Endüstriyel tasarımı yapılan ürünler plastik parçaların kalıpları yapılmadan önce tasarım hataları ve ürün üzerinde testlerin yapılması için plastik parçaların prototipleri üretimi yapılması gerekmektedir. Prototipler eklemeli imalat (Eİ) cihazları ile akıtma yöntemi kullanılarak katman şeklinde üretilmektedir. Bu katmanlar arasında bağlar çok kuvvetli olmamaktadır. Tasarımdaki parçanın et kalınlığına bağlı olarak belli yükler altında prototip parçaları kırılmaktadır. Parçanın üretim konumu değiştirilerek parçanın mukavemetini azda olsa artırmak mümkün olmaktadır. Prototip parçanın üretiminden sonra estetik bir görünüm elde etmek ve katmanlar arasındaki boşluklardan toz kaçaklarını önlemek amacıyla parça yüzeyine belli bir işlemler yapılmaktadır. Bunlar parça yüzeylerine; boya yapılması, japon yapıştırıcı sürülmesi, metil etil keton sürülmesi veya polyester macun sürülerek zımparalanarak boyama yapılmasıdır. Bu çalışmada yüzeye yapılan işlemlerin, parçanın yüzeyinin pürüzlülük ve mukavemete etkisi ile ilgili ölçümler yapılmıştır. Yapılan yüzey pürüzlük ölçümlerinde en kaliteli yüzeyin polyester+boyama işlemi gelmiştir. Bu işlemin prototip baskısının yüzey kalitesini %99,3 oranında artırdığı tespit edilmiştir. Mukavemet ölçümlerinde prototip parçalara eğme ve çekme deneyleri uygulanmıştır. Bu yapılan deney sonuçlarında polyester+boyama işlemi eğme testinde yaklaşık 10N ve çekme deney testinde yaklaşık 85N mukavemet artırdığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre polyester + boyama işlemi hem yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmekte hem de parça mukavemeti artırdığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli İmalat Prototip Üretimi, Mukavemet Karşılaştırma, Yüzey işlemleri, Yüzey pürüzlülük, Prototip Boyama.

A Study On The Effects Of Several Surface Treatments By Smoothness An Strenght On The Prototypes Produced By Fdm Technology

ABSTRACT

Industrial design products must be manufactured prototypes of plastic parts to make design errors and product tests before plastic parts are molded. The prototypes are produced in layer form using the splicing method with joint

manufacturing (EI) devices. The bonds between these layers are not very strong. Depending on the wall thickness of the part in the design, the prototype parts are broken under certain loads. It is possible to increase the strength of the part by changing the production position of the part. After the production of the prototype part, certain operations are performed on the part surface to obtain an aesthetic appearance and to prevent dust escapes from the spaces between the layers. These are the parts surfaces; painting, painting with glue, applying with methyl ethyl ketone or sanding with polyester paste. In this study, measurements were made about the effects of surface treatment, roughness and strength of the surface of the part. In the measurement of the surface roughness, the polyester plus painting process of the highest quality surface has come up. This process has been found to increase the surface quality of the prototype print by 99.3%. Prototype bending and pulling tests were applied in strength measurements. In the results of these tests, it was found that the polyester plus dyeing process increased tensile strength by about 10N in bending test and by about 85N in tensile test. According to these results, the polyester plus dyeing process both improved the surface roughness and increased the component strength.

Keywords: FDM Prototype Production, Strength Comparison, Surface Operations, Surface Roughness, Prototype Painting.

I. GİRİŞ

Hayatımızın her alanında üç boyutlu yazıcı teknolojisini görmekteyiz. Bu teknolojiler, Eİ (Eklemeli İmalat), SLS (Seçici Lazer Sinterleme) polimer kütleme gibi sıralanabilir. Yaygın olarak Eİ kullanılmasına rağmen bu teknolojinin farklı tasarımlı cihazlar bulunmaktadır. Eİ teknolojisindeki yazılma parçanın katı modeli aktarılması için parça modelinin STL (Stereolithography) formata dönüştürülmesi gerekir. Eİ yazılımı STL formatındaki veriyi matematiksel olarak dilimlere ayırır. Bu dilimleri üst üste koyarak parça modelini oluşturur. Bu dilimler 3 eksenli BNK (Bilgisayarlı Nümerik Kontrol) kontrollü bir cihaza gönderilir. Eİ cihazlarında sıklıkla termoplastik malzemeler kullanılır. Termoplastik malzemeler bilindiği üzere bir kere şekle girdikten sonra tekrar işlenememektedirler. Malzemenin düzgün bir şekilde şekillenmesi için erime sıcaklığına ısıtılmış bir nozuldan ekstrude edilmesi gerekmektedir. Bu nozul bilgisayar tarafından kontrol edilerek parça geometrisinin dilimlerini simule edecek şekilde hareket ettirilir. Malzemenin şekillenmesi ile beraber parça 2 boyutlu dilimler halinde tablaya yığılır. Bu şekilde bütün dilimler yapılarak parça üretimi yapılmış olur. Bu işlemler hayatımızda en çok hızlı prototipleme ve 3 boyutlu yazıcı alanlarında kullanılmaktadır. Üç boyutlu üretim, 3D printing ve üç boyutlu yazıcı olarak da bilinir [1].

Endüstriyel ürün tasarımcılar genelde tasarımlarını Solidworks, Catia, Creo gibi BDT (Bilgisayar Destekli Tasarım) yazılımları kullanarak yapmaktadırlar. Tasarım sürecinde parçaların unsur sayıları fazla veya karmaşık yapıdaki parçalardaki tasarım hataları tespit etmek çok zor olmamaktadır. Bu amaçla tasarımı yapılan parçaların 3 boyutlu prototipleri yapılması gerekmektedir. Bu sayede tasarım hataları tespit edilip tasarımda düzeltmelerin yapılmasını sağlar [2]. Tasarımı yapılan ürünün gerçek malzemedan ve geleneksel üretim yöntemleri ile üretilmesi genellikle pahalı ve zaman alıcıdır [3].

3B (3 Boyutlu) yazıcı teknolojisi sayesinde yeni tasarımı yapılan ürünlerin tasarım aşamasında üretilip kontrollerin yapılmasını sağladığı için gün geçtikçe kullanımı artmaktadır. En çok kullanım sahası olarak plastik ürün üretilmesidir. Tasarımı yapılan modeller 3B yazıcılarda plastik hammadde kullanarak üretilebilmektedir. Üretilen prototipler bilgisayar ortamında modelle karşılaştırılarak farklar ve hataların tespiti yapılabilmektedir [4-6]. 3B yazıcı teknolojisi zaman kazandırması ve kolaylıklar

sayesinde pek çok sahada kullanımı artmıştır. Savunma sanayisinde plastik parçaların prototip üretilmesi yanı sıra metal baskı yapabilen 3B yazıcılar kullanılmaktadır. Yeni üretilen savaş uçaklarında metal parçaların bazıları 3B yazıcılar üretilerek kullanılmaktadır [7, 8].

Günümüzde üretim yöntemleri her geçen gün daha hızlı üretim ve daha hassas üretim yönünde gelişme göstermektedir. Bunun dışında bu yönde ihtiyaçların artmasıyla üretim miktarları yüksek sayılara ulaşmıştır [9]. 3B yazıcı teknolojisiyle baskı yöntemlerinin önemi gün geçtikçe artmaktadır.

3B yazıcı teknolojisiyle tasarlanan model direk üretimi yapılmakta, geleneksel yöntemlerde talaşlı imalat süreci, malzeme israfı ve kalıp üretim süresi zaman alacaktır. Bunun dışında karmaşık tasarıma sahip parçalara geleneksel yöntemlerle üretilmesi zor olan 2 veya daha fazlanın birleştirilmesiyle oluşturulacak parçaları tek seferde üretilme imkânı sağlamaktadır [10].

Boeing, 2015 yılında katmanlı üretim teknolojisi ile üretmiş olduğu metal olmayan yedek parça/sarf malzemeler için patent başvurusunda bulunmuştur. Boeing, 10 farklı uçağın üretim programında bulunan metal olmayan 300 farklı parça numarasından yaklaşık 20.000 adet malzemeyi katmanlı imalat teknolojisi ile üreterek müşterilerine göndermiştir. Bununla birlikte Boeing, F/A 18 Super Hornet'in gövdesinin ön kısmında bulunan yaklaşık 150 parçanın lazer eritme metodu ile üretildiğini açıklamıştır [11].

Dwivedi ve Rai eklemeli imalat, imalat öncesi veri hazırlığı aşaması olan BDT tasarımı ve bu tasarımın STL formatına dönüştürülmesi parametrelerinin parça kalitesi üzerine anahtar role oynadığını tespit etmişlerdir [12]. Çalışkan ve arkadaşları kartezyen tip seramik parça yazdıran üç boyutlu yazıcının tasarımı ve kurulumunu gerçekleştirmişlerdir. Üç boyutlu yazıcıda hammadde olarak farklı kil ve seramik malzemeler kullanmışlardır. Eİ yöntemi ile yazdırdıkları parçaları kıyaslayarak yazıcının performansı incelenmiştir. Eİ yöntemiyle seramik malzemelerin yazdırılmasının imkân sağladığı tespit edilmiştir [13].

Enjeksiyonda üretilen parçalarda termal prosesten dolayı boyutsal büzülme (shrinkage), şekillendirme prosesinden dolayı ürünün geometrisinde değişimlere (çarpılma, büzülme, distorsiyon vb.) neden olmaktadır. Eklemeli imalat da, işlem parametrelerinin etkilediği bir diğer önemli unsur, termal ve deformasyon mekanizmalarından kaynaklanan iç gerilmeler (residual stresses) ve bunun neden olduğu ürün geometrisindeki değişimler olmaktadır (Afazov vd., 2017) [14].

Bagg ve arkadaşları çarpılma düzeyinin azaltılması için farklı lazer tarama yönleri üzerine çalışmışlardır. Bu yaklaşımın, parçadaki iç gerilmeleri tümüyle gideremediğini ancak çarpılma düzeyinin düşürülmesi adına faydalı bir yöntem olduğunu ileri sürmektedirler [15]. Kam ve arkadaşları dolgu yapılarının, PET-G malzeme ürünlerinin mekanik özellikleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri, 3D yazıcı kullanılarak farklı dolgu yapıları (doğrusal, üçgen ve tam bal peteği) için incelenmiştir. Basılan ürünlere tek eksenli çekme testleri, sertlik ölçümleri ve yüzey pürüzlülük ölçümleri yapıldı. Yapılan ölçümlerde doğrusal dolgu yapısı ile 3D yazıcıda PET-G malzemesinin kullanılması, diğer dolgu yapılarına göre daha uygundur, çünkü daha az malzeme ile daha yüksek çekme mukavemetine sahiptir [16].

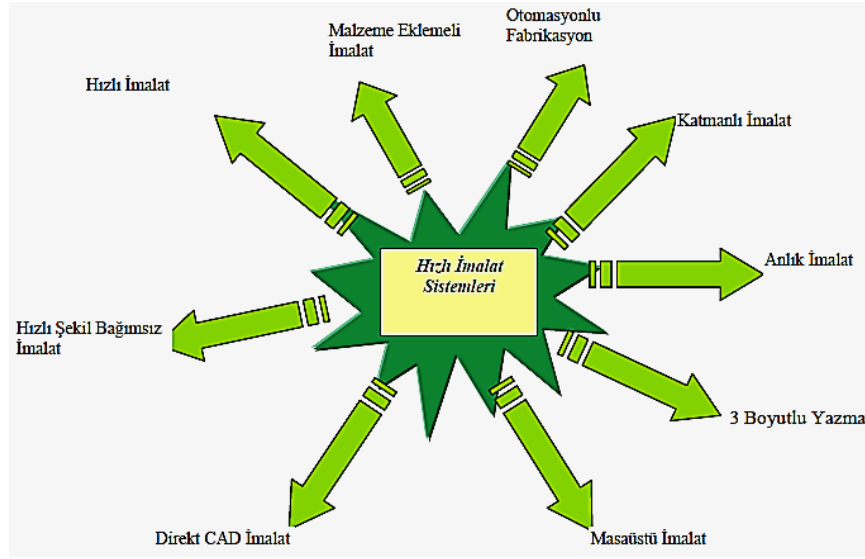
Bu çalışmada Eİ yöntemiyle üretilen prototipin yüzeyine yapılan işlemlerin mukavemet ve yüzey pürüzlülük üzerine etkileri araştırma yapılacaktır. Prototip yüzeyine yapılan işlemler;

- Yüzeye japon yapıştırıcı sürülmesi
- Yüzeye MEK (Metil Etil Keton) sürülmesi

- Yüzeye boyama yapılması
- Yüzeye Polyester macun işlemi yapıp boyanması gibi işlemlerdir.

II. MEVCUT HIZLI PROTOTİP TEKNOLOJİLERİ

Hızlı imalat sistemleri bilgisayarda tasarımı yapılan parçanın veya aparatı ürettiklerinden parçanın tasarım geliştirme sürecine önemli bir katkı sağlamaktadırlar. Hızlı direkt imalat sistemlerinin imalat sektöründe kullanılan farklı terminolojilerine ait terimler şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Hızlı imalat sistemleri [17].

Halen 10’den fazla ticari Eİ işlemi ve 5’in üzerinde kavram modelleme işlemi vardır. Plastik, seramik, metal ve ağaç benzeri kâğıt malzemelerden nesnel oluşturabilen birçok ticari teknik vardır. Bunlar şöyle sıralanabilir [18-20]:

1. Stereo Litografi (SL / SLA)
2. Seçici Lazer Sinterleme (SLS)
3. Eklemeli İmalat (Eİ)
4. 3B Baskı (3DP – 3 Boyutlu Baskı)
5. Katmanlı nesne imalatı (LOM (Laminated Object Manufacturing))
6. Çok püskürtmeli modelleme (MJM, Multi-Jet Modelling)
7. Lazerle yapılan net biçimlendirme (LENS)

III. PROTOTİP PARÇALARIN TESTE HAZIRLANMASI

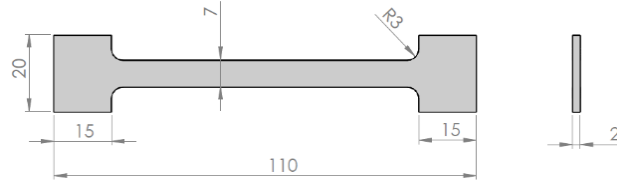
Çekme, eğme ve yüzey pürüzlülük testlerin yapılacağı prototip parçası aşağıdaki işlemlerden geçerek hazırlanmıştır.

1. Prototip parçasının tasarlanması ve üretilmesi

2. Prototip parçanın yüzeyine japon yapıştırıcı sürülmesi
3. Prototip parçanın yüzeyine MEK sürülmesi
4. Prototip parçanın yüzeyinin boyanma işlemi yapılması
5. Prototip parçanın yüzeyine polyester macun sürülüp boyanması

A. DENEY PARÇASININ TASARLANMASI VE PROTOTİP ÜRETİLMESİ

Testlerin yapılacağı parça şekil 2’de gösterildiği ölçülerde 10 adet üretilmiştir. Her işlem için 2 şer adet parça üretilmiştir.



Şekil 2. Test prototipin parçasının ölçüleri

Parçalarının FDM 360MC makinasında aynı anda üretilmesi yapılmıştır. Şekil 3’de test parçasının üretim şekli ve 1 adet için gerekli malzeme miktarı görülmektedir.



Şekil 3. Test parçaların prototip üretim için ve gerekli malzeme miktarı ve takım yolu

Şekil 4’de test parçaların prototip makinasında üretimi görülmektedir. Prototip makinasında üretilen parçaların destek malzemelerden temizlenmesi yapılmıştır.



Şekil 4. Test Parçaların prototip üretimi ve parçaların görünümü

B. DENEY PARÇASININ YÜZEYİNE JAPON YAPIŞTIRICI SÜRÜLMESİ

Prototip parçaları hazırlandıktan sonra 2 adet parçanın her iki yüzeyine japon yapıştırıcı sürülmüştür. Japon yapıştırıcı olarak “Evo Bond 502” kullanılmıştır. Şekil 5’de Japon yapıştırıcı sürülmesi gösterilmiştir. Japon yapıştırıcı sürülmesindeki amaç FDM yöntemiyle üretilen parça yüzeyin kalitesi

artırmak ve birleşim aralarından basınç altında toz kaçakları gidermektir. Aynı zamanda japon yapıştırıcı kullanarak parça yüzeyinde bir katman oluşturularak yüzeye sertlik kazandırmaktadır.



Şekil 5. Test parçasına japon sürülmesi

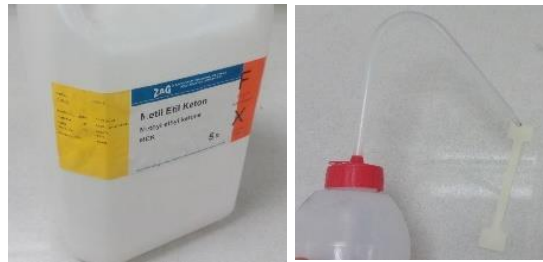
C. DENEY PARÇASININ YÜZEYİNE METİL KETON SÜRÜLMESİ

Prototip parçaları hazırlandıktan sonra 2 adet parçanın her iki yüzeyine MEK sürülmüştür. Kullanılan Metil Etil Keton malzemesini özellikleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Metil Etil Keton özellikleri [21]

| Temel Özellikler | Birim | Değer |
|-------------------------------------|---------|-------------|
| Görünüm | - | Berrak Sıvı |
| Aktif oksijen içeriği | % | 9,9 |
| Peroksit içeriği | % | 35 |
| Plastikleştirici içeriği | % | >55 |
| Relatif yoğunluk UNI EN ISO 12185- | d 20/20 | 1.050 |
| Viskozite 20 °C’ de ISO UNI EN 3104 | mPa. S | 19 |

MEK kimyasal prototip parça üzerine uygulandığında parça yüzeyinde plastiği eritmektedir. Yüzeyde eriyen plastik parça yüzeydeki kademeleri doldurarak kademeleri azaltılmaktadır. Bu eritme işlemi sadece parça yüzeyinde olmakta parçada deformasyona neden olmamaktadır [16]. Şekil 6’da test parçasının yüzeyine uygulanması görülmektedir. Bu sayede parça yüzeyin kademeler giderilmiş olmakta ve takım yollarının birleşim aralarından basınç altında toz kaçakları giderilmiş olacaktır.



Şekil 6. Test parçasına Metil Etil Keton sürülmesi

D. DENEY PARÇASININ YÜZEYİNE BOYA İŞLEMİNİN YAPILMASI

Prototip parçaları hazırlandıktan sonra 2 adet parçanın her iki yüzeyine mavi renkte boyama yapılmıştır. Boyama olarak plastik parça yüzeyine spreyci boya yapılmıştır. Şekil 7’de boyama işlemi görülmektedir. Boyama işlemindeki amaç parçanın estetik bir görüntü sağlamak ve boyama ile parça yüzeyinde az

miktarda bir katman oluşmaktadır. Bu da prototip üretimi sırasında yüzeyde oluşan kademeleri azaltarak iyileşme sağlamak ve takım yollarının birleşim aralarından basınç altında toz kaçaklarında azalma olacaktır.



Şekil 7. Test parçasına boyama yapılması

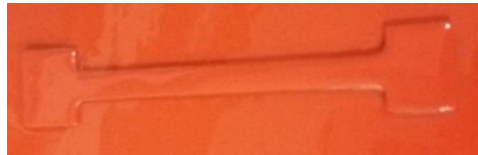
E. DENEY PARÇASININ YÜZEYİNE POLYESTER MACUN SÜRÜLÜP BOYANMASI

Prototip parçaları hazırlandıktan sonra 2 adet parçanın her iki yüzeyine ilk önce polyester macun sürülüp zımpara işleminden sonra boyama işlemi yapılmıştır. Test parçası yüzeyine şekil 8’de gösterildiği gibi ilk önce polyester macun sürülmüştür.



Şekil 8. Test parçasına zımpara atılması

Zımpara işleminden sonra parçanın yüzeyine şekil 9’da görüldüğü gibi bordo renkte boyama yapılmıştır.



Şekil 9. Test parçasına boyama yapılması

Polyester macun ve boyama işlemindeki amaç parçanın estetik bir görüntü sağlamak ve boyama/polyester macun ile parça yüzeyinde katman oluşmaktadır. Buda yüzey kalitesini artırmakta yüksek basınçlarda toz kaçaklarını azaltacaktır.

Test parçaların yüzeylerine yukarıdaki işlemler uygulanmıştır. Şekil 10’de hazırlanan parçaların resimleri görülmektedir.



Şekil 10. Test parçaları

IV. TEST PARÇALARIN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK DEĞERİNİN ÖLÇÜLMESİ

Test parçaların yüzeylerine 4 farklı işlemler uygulanmıştır. Bu parçaların yüzey pürüzlülükleri “Mitutoyo SurfTest SJ-301” makinası yüzey pürüzlükleri tespit edilmiştir. Şekil 11’de yüzey pürüzlülük ölçüm yeri görülmektedir.



Şekil 11. Yüzey pürüzlülük ölçümü

Test parçaların hepsi yüzey ölçümleri yapılmış, yüzey pürüzlülük raporu alınmıştır. Şekil 12’de yüzeye hiç işlem yapılmamış parçanın yüzey pürüzlülük raporu görülmektedir.



Şekil 12. Yüzey pürüzlülük raporu

Bütün parçaların yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

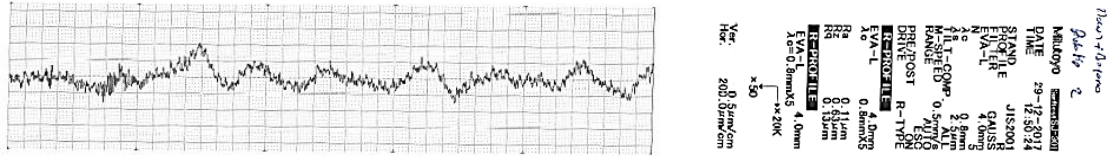
Tablo 2. Yüzey pürüzlülük ölçüm tablosu

| | Orijinal Parça (µm) | | Japon Yapıştırıcı (µm) | | Metil Etil Keton (µm) | | Boyama (µm) | | Polyester + Boyama (µm) | |
|-----------|---------------------|-------|------------------------|-------|-----------------------|------|-------------|-------|-------------------------|------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Ra | 17,30 | 18,14 | 3,71 | 3,50 | 1,16 | 0,58 | 3,64 | 8,60 | 0,14 | 0,11 |
| Rz | 102,40 | 97,05 | 16,30 | 21,20 | 5,61 | 3,25 | 20,34 | 32,03 | 0,76 | 0,63 |
| Rq | 24,18 | 24,81 | 4,61 | 4,32 | 1,34 | 0,71 | 5,25 | 10,18 | 0,17 | 0,13 |

Tablo 1’de görüldüğü üzere yüzeye yapılan işlemler parçanın yüzey pürüzlüğü iyileştirdiği gösterilmiştir. Bu işlemlerden polyester macun üzerine boyama işlemi yapıldığı yüzey pürüzlülüğünde en iyi iyileştirme yaptığı görülmektedir. Şekil 13’de polyester macun + boyama işleminin yüzey pürüzlülük testi ve Şekil 14’ test raporu görülmektedir.



Şekil 13. Polyester macunlu boyama parçasının yüzey pürüzlülük testi



Şekil 14. Polyester macunlu boyama parçasının yüzey pürüzlülük raporu

Yapılan yüzey pürüzlülük ölçümlerde polyester+boyama işleminde yüzey işlemin iyileştirme en etkili olduğu daha sonra sırasıyla Metil Etil Keton, japon yapıştırıcı en son olarak boyama işlemidir. Tablo 3’de her işlemin parçanın yüzey kalitesi üzerine iyileştirme oranları görülmektedir. Yüzey pürüzlülükte polyester+boyama işlemi %99,30 oranının kaliteyi artırdığı görülmüştür.

Tablo 3. Yüzey pürüzlülüğün iyileşe oranı

| | Japon Yapıştırıcı (µm) | Metil Etil Keton (µm) | Boyama (µm) | Polyester + Boyama (µm) |
|-----------|------------------------|-----------------------|-------------|-------------------------|
| Ra | %78,55 | %93,29 | %78,96 | %99,19 |
| Rz | %84,08 | %94,52 | %80,14 | %99,26 |
| Rq | %80,93 | %94,46 | %78,29 | %99,30 |

V. TEST PARÇALARIN MUKAVEMET TESTİN YAPILMASI

Test parçalarına yatay ve dikey olarak mukavemet ölçümü yapılmıştır. Bu parçaların mukavemet ölçülmesinde “SHIMPO FGN-50B” makinası ile ölçümler yapılmış ve şekil 15’de mukavemet ölçüm aleti ve aparatları görülmektedir.



Şekil 15. Mukavemet ölçüm aleti ve aparatlar

Tablo 4’de mukavemet ölçüm aletinin teknik özellikleri görülmektedir.

Tablo 4. Shimpo FGN-50B teknik özellikleri [22]

| | |
|------------------------------|---|
| Kademe | ± 50.00kgf |
| | ± 500.0N |
| | ± 100.0lb |
| Çözünürlük | 0.01kgf/0.1N/0.1lb |
| Ekran Tazeleme Zamanı | 0.3 saniye |
| Örnekleme Zamanı | 35 ölçüm/saniye |
| Doğruluk | Kademenin ±0.2%’si ± ½digit 23°C`de |
| Yük Siniri | Kademenin %200`ü |
| Çalışma Kaynakları | NiCd Pil & AC Adaptör (DC9V 200mA), Şarj süresince ölçüm yapılabilir |
| Çalışma Sıcaklığı | 0 ~ 40°C |
| Ağırlık | ~450gr |

Test parçalarına 2 farklı şekilde mukavemet testi uygulanacaktır. Bunlar;

1. Deneysel parçaya eğme testi yapılması
2. Deneysel parçaya çekme testi yapılmasıdır.

A. DENEY PARÇASINA EĞME TESTİ YAPILMASI

Prototip parçalarının yüzeylerine yapılan 4 farklı işlemlerden 1. parçalarına eğme testi yapılmıştır. Şekil 16’de eğme testi görülmektedir.



Şekil 16. Eğme testi köşesi

Hazırlanan parçaların hepsi eğme testi yapılmıştır. Yapılan ölçümlerin sonuçları Tablo 5’de gösterilmiştir.

Tablo 5. Eğme testi sonuçları

| Ölçülen Değer (Referans) | Orijinal Parça | | Japon Yapıştırıcı | | Metil Etil Keton | | Boyama | | Polyester + Boyama | |
|---------------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Ölçülen Değer | Artış/Azalma Oranı | Ölçülen Değer | Artış/Azalma Oranı | Ölçülen Değer | Artış/Azalma Oranı | Ölçülen Değer | Artış/Azalma Oranı | Ölçülen Değer | Artış/Azalma Oranı |
| | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|----------------------------|----------|----------|---------|----------|--------|---------|---------|--------|--------|
| Eğme Mukavemeti | 47,8 N | 66,3 N | 38,70% | 51,7 N | 8,16% | 58,9 N | 23,22 % | 67,6 N | 41,42% |
| Eğme Yer değiştirme | 5,205 mm | 3,940 mm | -24,30% | 6,895 mm | 32,46% | 7,15 mm | 37,36 % | 8,09 | 55,42% |

Eğme testinde yüzeye yapılan işlemlerinde polyester + boyama daha fazla mukavemet sağlamıştır. Şekil 17’de yapılan eğme testi resimleri görülmektedir.



Şekil 17. Polyester+boyama eğme testi

Yüzeye bütün yapılan işlemlerin eğme testi sonucu durumları şekil 18’de hepsi bir arada görülmektedir.



Şekil 18. Bütün parçaların eğme testi sonrası durumu

B. DENEY PARÇASINA ÇEKME TESTİ YAPILMASI

Prototip parçalarının yüzeylerine yapılan 4 farklı işlemlerden 2. Parçalarına çekme testi yapılmıştır. Şekil 19’da eğme testi görülmektedir.



Şekil 19. Çekme testi köşesi

Hazırlanan parçaların hepsi çekme testi yapılmıştır. Yapılan ölçümlerin sonuçları Tablo 6'de gösterilmiştir.

Tablo 6. Çekme testi sonuçları

| | Orijinal Parça | Japon Yapıştırıcı | | Metil Etil Keton | | Boyama | | Polyester + Boyama | |
|----------------------|--------------------------|-------------------|--------------------|------------------|--------------------|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | Ölçülen Değer (Referans) | Ölçülen Değer | Artış/Azalış Oranı | Ölçülen Değer | Artış/Azalış Oranı | Ölçülen Değer | Artış/Azalış Oranı | Ölçülen Değer | Artış/Azalış Oranı |
| Çekme Mukavemeti | 530,6 N | 542,9 N | 2,30% | 462,2 N | -12,89% | 489,6 N | -7,72% | 614,20 | 15,76% |
| Çekme Yer değiştirme | 5,935 mm | 4,680 mm | -21,15% | 4,390 mm | -26,03% | 5,535 mm | -6,74% | 6,715 mm | 13,15% |

Çekme testinde yüzeye yapılan işlemlerinde polyester + boyama daha fazla mukavemet sağlamıştır. Şekil 20'de yapılan eğme testi resimleri görülmektedir.



Şekil 20. Polyester+boyama çekme testi

Yüzeye bütün yapılan işlemlerin çekme testi sonucu durumları şekil 21'de hepsi bir arada görülmektedir.



Şekil 21. Bütün parçaların çekme testi sonrası durumu

VI. SONUÇ

Bu çalışmada prototip üretilen parçaların yüzeylerine yapılan işlemlerin yüzey pürüzlülük ve mukavemet üzerine etkileri araştırılmıştır. Yüzeye yapılan işlemler japon yapıştırıcı sürülmesi, MEK kimyasal maddesinin yüzeye sürülmesi, yüzeye boyama yapılması ve yüzeye ilk önce polyester macun

sürülmesi sonra boyanmasıdır. Bu yüzey işlemleri yapılan parçalara yüzey pürüzlük ölçümleri yapıldığında, yüzey pürüzlülüğü en düşük olarak polyester+boyama işlemi gelmiştir. Bu işlemin yüzey kalitesini ilk baskıya göre %99,3 oranında artırdığı görülmüştür. Yüzey pürüzlülük dışından parçalara eğme ve çekme deneyleri uygulanmıştır. Bu yapılan deney sonuçlarında polyester+boyama işlemi eğme testinde yaklaşık 10N ve çekme deney testinde yaklaşık 85N mukavemet artırmıştır. Bu sonuçlara göre polyester + boyama işlemi hem yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmekte hem de parça mukavemeti artırdığı görülmüştür.

VII. KAYNAKLAR

- [1] Anonim, (16 Şubat 2016). [Online]. Erişim: <http://www.3byazici.com/3-boyutlu-yazicilar-nasil-calisir.html>
- [2] İ. Çelik, F. Karakoç, M.K. Çakır and A.Duysak, “Rapid prototyping technologies and application areas,” *Dpü Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, s. 31, ss. 53-70, 2013.
- [3] M. Ashby and K. Johnson: *Materials and Design*, London, Elsevier, 2002, ss. 256-257.
- [4] C. Polzin, S. Spath and H. Seitz, “Characterization and evaluation of a PMMA-based 3D printing process,” *Department of Mechanical Engineering*, c. 1, s. 19, ss. 37-43, 2013.
- [5] M.A. Evans and R.I. Campbell, “A comparative evaluation of industrial design models produced using rapid prototyping and workshop-based fabrication techniques,” *Rapid Prototyping Journal*, c. 5, s. 9, ss. 344-351, 2003.
- [6] W. Guangchun, L. Huiping, G. Yanjin and Z. Guoqun, “A rapid design and manufacturing system for product development applications,” *Rapid Prototyping Journal*, c. 3, s. 10, ss. 200-206, 2004.
- [7] E. Kroll and D. Artzi, “Enhancing aerospace engineering students learning with 3D printing wind tunnel models,” *Rapid Prototyping Journal*, c. 5, s. 17, ss. 393-402, 2001.
- [8] I. Campbell, D. Bourell and I. Gibson, “Additive manufacturing: rapid prototyping comes of age,” *Rapid Prototyping Journal*, c. 4, s. 18, ss. 255-258, 2012.
- [9] B. Stephens, P. Azimi, E.Z. Orch and T. Ramos, “Ultrafine particle emissions from desktop 3D printers,” *Atmospheric Environment*, s. 79, ss. 334-339, 20013.
- [10] D. Günther, B. Heymel, F.J. Günther and I. Ederer, “Continuous 3D-Printing for additive manufacturing,” *Rapid Prototyping Journal*, c. 4, s.20, ss. 320-327, 2014.
- [11] Anonim, (12 Mart 2015). (12 Mart 2015). [Online]. Erişim: <https://www.geekwire.com/2015/boeing-files-patent-for-3d-printing-of-aircraft-parts-and-yes-its-already-using-them/>
- [12] S. Dwivedi and S. Rai, “Rapid Prototyping Technology and Its Applications,” *International Research Journal of Engineering and Technology*, c.3, s. 10, ss. 332-339, 2016.

- [13] A. Çalışkan, H. Evlen ve K. Çetinkaya, “Üç Boyutlu Seramik Yazıcısı Tasarımı Ve Prototip İmalatı,” 3B Baskı Teknolojileri Uluslararası Sempozyumunda sunuldu, Karabük, 2016.
- [14] S. Afazov, A. Okioga, A. Holloway, W. Denmark, A. Triantaphyllou, S.A. Smith and L.B. Smith, “A Methodology for Precision Additive Manufacturing Through Compensation,” *Precision Engineering*, s. 50, ss. 269–274. 2017.
- [15] S.D. Bagg, K.L.M. Sochalski and J.R. Bunn, “The Effect of Laser Scan Strategy on Distortion and Residual Stresses of Arches made with Selective Laser Melting,” American Society of Precision Engineering (ASPE) 2016 Summer Topical Meeting was presented, North Carolina USA, 2016
- [16] M. Kam, A. İpekçi ve H. Saruhan, “Investigation of 3D Printing Filling Structures Effect on Mechanical Properties and Surface Roughness of PET-G Material Products,” *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, s. 6, ss. 114-121, 2017.
- [17] K. Delikanlı, M.M. Sofu ve U. Bekçi, “Üretim Sektöründe Hızlı Direkt İmalat Sistemlerinin Yeri Ve Önemi,” *Makine teknolojileri elektronik dergisi*, s. 4, ss. 33-39, 2005.
- [18] V. Raja ve K.J. Fernands, *Reverse Engineering – An Industrial Perspective*, London, UK: Springer, 2008, ss.1-8.
- [19] I. Gibson, D. Rosen and B. Stucker, *Additive Manufacturing Technologies – 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*, 2. baskı, London, UK: Springer, 2015, ss.19-42.
- [20] D.T. Pahma and R.S. Gault, “A comparison of rapid prototyping Technologies” *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, c. 10, s. 38, ss. 1257-1287, 1998.
- [21] H. Maden, Ö.Ş. Kamber, E. Dipcin, H. Uğur, B. Özsarıkaya ve A. İğneci, “FDM teknoloji ile üretilen prototip parçalarının hataları ve hataların önlenmesi,” 3B Baskı Teknolojileri Uluslararası Sempozyumunda sunuldu, Karabük, 2016.
- [22] Anonim, (5 Ocak 2017). [Online]. Erişim: <http://www.netes.com.tr/urundetay.asp?id=888>.