

KOMPLEKS YAPIDAKİ PARÇALARIN FARKLI HIZLI PROTOTİPLEME CİHAZLARINDA ÜRETİLEBİLİRLİĞİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Burhan ÖZUĞUR*, **Serhat APAK****, **İhsan KORKUT*****, **Ulvi ŞEKER******

* burhan.ozugur@gmail.com Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, 06500 Teknikokullar-Ankara

** serhatapak@gmail.com Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, 06500 Teknikokullar-Ankara

*** ikorkut@gazi.edu.tr Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, 06500 Teknikokullar-Ankara

**** useker@gazi.edu.tr Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, 06500 Teknikokullar-Ankara

ÖZET

Üretim süreçlerinde karşılaşılan başlıca problemden biri, kompleks yapıdaki parçaların üretilebilirliğidir. Genel üretim sistemlerinde, Ar-Ge faaliyetlerinde ve kompleks yapıdaki parçaların üretim süreçlerinde prototip ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Hızlı Prototipleme teknik ve yöntemleri bu ihtiyacı karşılamada oldukça başarılı sonuçlar ortaya koymaktadır. Prototip üzerinde yapılan çalışmalar, üretim proseslerinde verimlilik artışı ve nihai üründe kalite artışı sağlamaktadır. Bu çalışmaların başarılı şekilde gerçekleştirilebilmesi; üretilecek prototipin ölçü toleransı, yüzey pürüzlülüğü, mekanik dayanımı gibi üretilebilirlik kriterlerinde taşıdığı verimliliğe bağlıdır. Bu çalışma kapsamında; prototip üretim kalitesinde etkili kriterler dikkate alınarak tasarlanmış model, farklı hızlı prototipleme cihazlarında üretilmiş ve elde edilen bulgular üretilebilirlik açısından karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, kompleks yapıdaki parçaların üretilebilirliğinde karşılaşılan problemlerin aşılması, uygun hızlı prototipleme cihazı ve hızlı prototip üretim yöntemi seçimi konusunda önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Hızlı Prototipleme, Üretilebilirlik

ABSTRACT

One of the major problems encountered in the production process of parts produced complex structures. General production systems, R&D activities and production of complex parts in the process of building the prototype is the need arise. Rapid prototyping techniques and methods to meet this need and demonstrate successful outcomes. Studies on the prototyping, manufacturing processes and increase productivity is to increase the quality of the final product. Successful realization of this study, the measure of the prototype will be produced tolerance, surface roughness, mechanical strength to carry on criteria such as reproducibility is dependent on productivity. In that study, prototype production quality criteria, taking into account the effective design models, different rapid prototyping devices manufactured and obtained findings were compared in terms of

reproducibility. As a result, the complex structure of the parts produced to overcome the problems encountered suitable for rapid prototyping and rapid prototyping device manufacturing method, suggestions were made regarding selection.

Keywords: Rapid Prototyping, Producibility

1. GİRİŞ

Üretim sistemlerinde karşılaşılan başlıca problem, parça tasarım ve geliştirme aşamalarında üretim kriterlerinin oluşturduğu kısıtlamalardır. Bu kısıtlamalar tasarlanmakta olan parçaya ait unsur oluşturma aşamasında *Nasıl üretiriz?* sorusunu sürekli etkin kılmaktadır. Bu soru geleneksel ve/veya geleneksel olmayan imalat yöntemleri değerlendirilerek çözüme ulaşılmaya çalışılmaktadır. Fakat bu yöntemler zaman zaman üretilebilirlik kriterleri açısından yetersiz kalmaktadır.

İşte, bu önemli problemlerin çözümünde parçaya ait prototip üretimi söz konusu olmaktadır. Günümüz imalat sektörü prototip üretiminde geleneksel ve/veya geleneksel olmayan imalat yöntemleri yerine çoğunlukla Hızlı Prototip Üretimi (HPÜ) teknikleri tercih edilmektedir [1]. Hızlı prototipleme teknikleri ile parçaya ait ilk prototip çalışmalarında zaman, maliyet ve kalite açısından iyileşmeler ve en önemlisi geleneksel ve geleneksel olmayan yöntemlere göre oldukça geniş üretilebilirlik kriterleri elde edilebilmektedir [2,3].

Bu kapsam dahilinde prototip ihtiyacına uygun HPÜ yönteminin seçimi önemli bir yer teşkil etmektedir. Bu amaçla yapılmış olan bu çalışmada deney prosedürünün gerekliliklerine uygun bir deney modeli tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sonraki aşamada deneylerde kullanılan HPÜ teknikleri ve cihazları belirli kriterler dahilinde seçilmiştir. Seçilen 4 farklı hızlı prototipleme yöntemi kullanılarak üretilen deney modeli üzerinde üretilebilirlik, ölçü tamlığı ve hassasiyeti, kullanılabilirlik, kalite ve zaman kriterleri incelenmiştir.

Deneyler sonucunda elde edilen bu kriterler prototip üretimindeki gereksinimlere bağlı kalınarak karşılaştırılmış ve kullanılan HPÜ tekniklerinin kıyaslaması yapılmıştır. Bu sayede prototip ihtiyacı konusunda hangi HPÜ yönteminin tercih edilip kullanılabileceği konusunda üretilebilirlik kriterleri açısından önemli bulgular elde edilmiştir.

2. DENEY PROSEDÜRÜ

2.1 Deney Modelinin Seçimi

Yapılan çalışma kapsamında üzerinde geleneksel ve/veya geleneksel olmayan imalat yöntemleri ile üretilebilirlik kriterlerini zorlayıcı unsurlar içeren bir deney modeli geliştirilmiştir [4].

Geliştirilen modelin özellikleri;

Boyutlar : 50x50x20mm

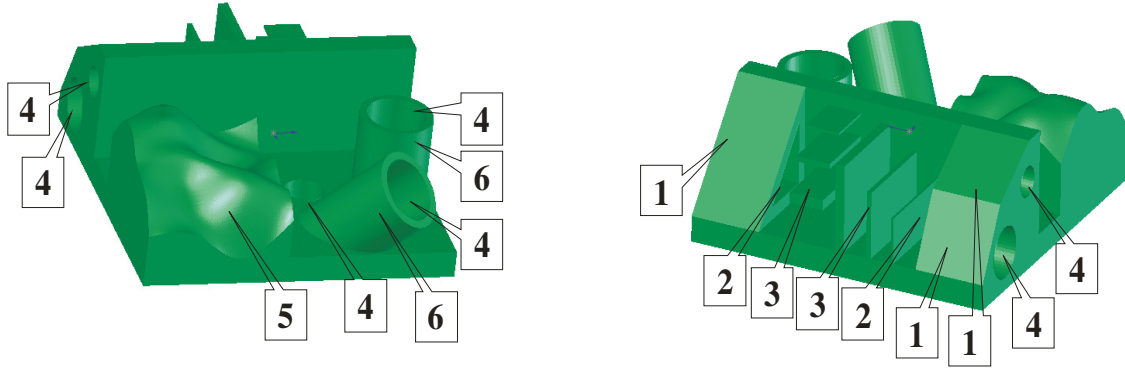
Hacim : 21251mm³

Yüzey Alanı : 12258mm² 'dir.

Geliştirilen Deney Modeli Unsurları (Şekil 2.1);

- 1- Açılı yüzeyler
- 2- İçi boşaltılmış unsurlar
- 3- Yatay ve dikey konumlandırılmış ince cidarlı federler
- 4- Yatay, dikey ve açılı kör delikler
- 5- Serbest Form Yüzey
- 6- Açılı ve dikey silindirik unsurlar

olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.1. Geliştirilen deney modeli ve unsurları [4]

2.2 Deneylerde Kullanılan HPÜ Tekniklerinin ve Cihazların Belirlenmesi

İmalat endüstrisinde yaygın olarak kullanılan 5 farklı Hızlı Prototipleme tekniği mevcuttur. Yapılan bu çalışmada bu 5 teknikten 4'ü deney model üretimi için seçilmiştir. Bu seçim yapılırken hızlı prototipleme tekniklerinin hitap ettiği sektörler ve bu tekniklerin kullanım yaygınlığı göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca bu seçim yapılırken geliştirilen modelin sahip olduğu unsurların üretim kriterleri de esas alınmıştır. Bu yöntemlerden her biri kendisine has özelliklere sahip oldukları için her bir HPÜ yönteminin başarılı olarak kullanıldığı bir endüstri alanı mevcuttur. Bu sebeplerden dolayı ülkemiz imalat endüstrisinde yaygın olarak kullanılan ısıtarak toz bağlama, yapıştırıcı ile toz bağlama, sıvayarak harç yığıma ve tarayarak ışıkla kür HPÜ teknolojileri bu çalışma kapsamında değerlendirilmiştir (Tablo 2.1).

2.2.1 Isıtarak Toz Bağlama Tekniği

Bu teknikte, ısıtıldığında kaynaşabilen toz halindeki bir inşa hammaddesi ince ve düzgün bir tabaka halinde yayılır. Ardından yüzeydeki seçilen bölgeler lazer ışınıyla taranır. Işının yüzeye çarptığı noktalarda oluşan sıcaklıkla toz malzeme kısmen eriyerek ve/veya sinterlenerek temas halinde olduğu diğer toz taneleri ile kaynaşır. Bu işlemten sonra inşa zarfının tabanında bulunan platform, bir katman kalınlığı kadar aşağı çekilir (Şekil 2.2.a). Her katmanın inşası için bu işlemler gerektiği kadar tekrarlandıktan sonra, inşa süresince doğal bir destek görevi üstlenmiş olan serbest tozlar fırça veya vakum emici ile manuel olarak temizlenerek üretilen parça veya parçalar tezgah tablasından alınır. İnşa malzemesi olarak plastik, metal veya seramik tozları kullanılabilir gibi bunların karışımlarından oluşan kompozit tozlar da kullanılabilir. Cam elyaf takviyeli plastik tozları veya üzeri plastik kaplı metal tozları buna verilebilecek örneklerdendir [5-11,14]. Bu çalışmada ısıtarak toz bağlama tekniği prensiplerine uygun çalışan EOS Gbmh. firmasının üretimi olan EOSINT P380 model HPÜ cihazı kullanılmıştır.

2.2.2 Yapıştırıcı ile Toz Bağlama Tekniği

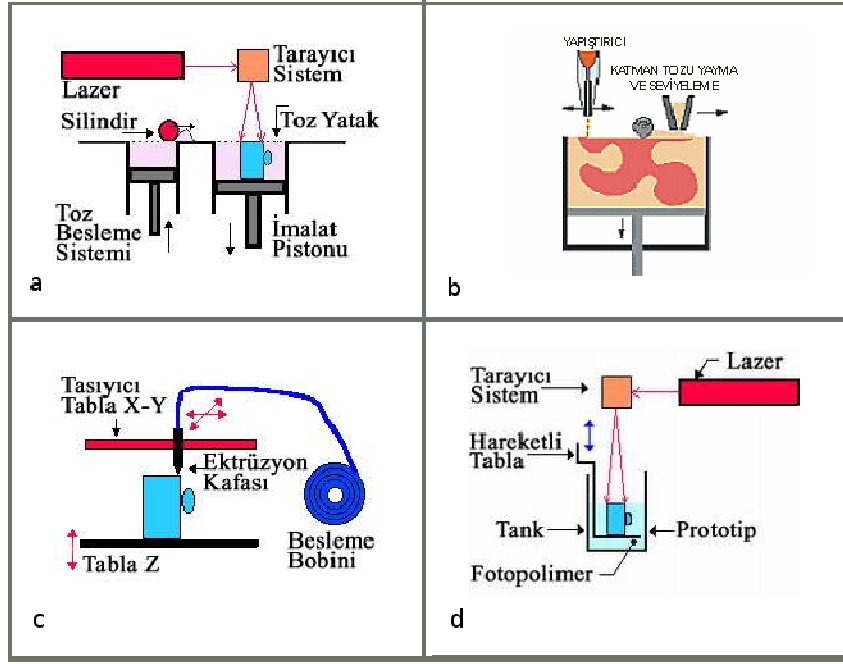
Bu teknik, çok ağızlı bir memeden yapıştırıcı püskürtülerek tozların birbirine bağlanması prensibine göre çalışır. Bir merdane ile yeni bir katman toz yayılır. Çok ağızlı meme inşa edilmesi gereken bölgelere yapıştırıcı püskürtülerek tozları birbirine bağlar. Yatay platform katman kalınlığı kadar Z ekseninde aşığı hareket eder (Şekil 2.2.b). Bu işlem inşa bitimine kadar tekrar eder. İnşa bittikten sonra, parçayı çevreleyen ve aynı zamanda destek malzemesi görevi görmüş olan tozlar vakum temizleyici ve/veya fırçayla temizlenir. Kullanılan malzeme ve uygulamaya göre, infiltrasyon ve sinterleme gibi değişik ek işlemler de yapılabilir. Ayrıca bu teknik inşa edilen prototiplerin değişik renklerde üretilmesi imkanını sağlar [5-11,14]. Yapılan çalışmada yapıştırıcı ile toz bağlama tekniği prensiplerine uygun çalışan Z CORPORATION Firmasının üretimi olan ZPrinter 310 System model cihazı kullanılmıştır.

2.2.3 Sıvı olarak Harç Yığma Tekniği

Bu teknikte, bir besleme bobininden sürülen ve ekstrüzyon başlığında ısıtılarak sıvı veya macun kıvamına getirilen yapı malzemesinin 0.3 mm çapında bir memeden sıkma yöntemiyle çıkarılıp gerekli noktalara geometriksel çevrim yöntemiyle sıvanması şeklinde inşa gerçekleştirilir (Şekil 2.2.c). Fiziksel etkenler ile yapı malzemesinin yanlış konumlanmaması için ikincil bir inşa gerçekleştirilir. Destek yapısı olarak adlandırılan bu ikincil inşa, işleme sonrası fiziksel veya kimyasal olarak parça yüzeyinden temizlenir [5-11,14]. Yapılan çalışmada sıvı olarak harç yığma tekniği prensiplerine uygun çalışan STRATASYS Firmasının üretimi olan Dimension 3D Printer model HPÜ cihazı kullanılmıştır.

2.2.4 Tarayarak Işıkla Kür Tekniği

Tarayarak ışıkla kür, fotopolimer esaslı sıvı malzeme dolu bir tanktaki polimerlerin lazer kullanılarak katı hale getirilmesi yani kür edilmesi esasına dayanır. Kullanılan sıvı polimer, morötesi ışığa maruz kaldığında katılaşıyor veya kuruyan bir fotopolimer malzemedir. Nokta şeklindeki lazer ışını bilgisayar kontrolü ile yansıtılarak tank içerisindeki sıvı malzemenin üst yüzeyinde seçilen bölgeleri kür ederek katılaştırır. Bir katman inşası tamamlandıktan sonra parçanın bulunduğu platform, katman kalınlığı kadar aşığı indirilir ve bir kanat yardımıyla yeni bir kat sıvı fotopolimer kaplanır. Malzemenin yapışkan özelliği sayesinde tabakalar birbirlerine yapışırlar (Şekil 2.2.d). Bu işlem tüm model tamamlanıncaya kadar devam eder. Altları boş olan kısımlar sistem yazılımı ile tespit edilerek bu kısımlar destek yapıları inşa edilir. İşlem sonrası bu destek yapıları asıl parçadan ayrılırlar [5-11,14]. Yapılan çalışmada tarayarak ışıkla kür tekniği prensiplerine uygun çalışan 3D SYSTEM firmasının üretimi olan SLA7000 model HPÜ cihazı kullanılmıştır.



Şekil 2.2. Geliştirilen deney modeli ve unsurları [14]

Tablo 2.1. Deneylerde kullanılan HPÜ cihazlarının teknik özellikleri [4]

Teknik Özellikler	Değerler
EOSINT P380 HPÜ cihazı teknik özellikleri	
Max. Çalışma Boyutları	340 x 340 x 620 mm (13,4 x 13,4 x 24,4 inch.)
Kullanılan Malzeme Çeşitleri	Polystyrene, Polyamide, Glass-filled polyamide
Katman Kalınlığı	0,1 – 0,15 mm (0,004 – 0,006 inch.)
İnşa Hızı	10-25 mm (0,4 -1 inch.) yükseklik/saat
Kullanılan Lazer Tipi	CO ₂ , 50W
Tarama Hızı	5 m/saniye (197 inch./saniye)
Z310 HPÜ cihazı teknik özellikleri	
Max. Çalışma Boyutları	203 x 254 x 203 mm (8 x 10 x 8 inch.)
Kullanılan Malzeme Çeşitleri	Yüksek Performanslı Kompozit Plastik Tozlar, Elastomerik, Nişasta ve Alçı Tabanlı Tozlar
Katman Kalınlığı	0,089 – 0,203 mm (0,0035 – 0,008 inch.)
İnşa Hızı	27-60 mm (1.063-2.362 inch.) yükseklik/saat
Jet Sayısı	1 adet 300 jetli HP
Dimension HPÜ cihazı teknik özellikleri	
Max. Çalışma Boyutları	203 x 203 x 305 mm (8 x 8 x 12 inch.)
Kullanılan Malzeme Çeşitleri	ABS
Katman Kalınlığı	0,254 – 0,33 mm (0,010 – 0,013 inch.)
İnşa Hızı	20 - 30 mm (0,787-1,181 inch.) yükseklik/saat
Destek Malzemesi	BASS (İkincil Malzeme Kartuşunda)
SLA 7000 HPÜ cihazı teknik özellikleri	
Maksimum Çalışma Boyutları	508 x 508 x 584 mm (20 x 20 x 23 inch.)
Kullanılan Malzeme Çeşitleri	Likid epoksi fotopolimer
Katman Kalınlığı	0,025 – 0,1 mm (0,001 – 0,004 inch.)
İnşa Hızı	4-7 mm (0,15 –0,28 inch.) yükseklik/saat
Kullanılan Lazer Tipi	Nd:YVO ₄ , 800mW
Tarama Hızı	2,54 – 9,52 m/saniye (140 - 525 ips)

2.3. Deneylerde Kullanılan Hammaddeler

Deney modellerinin üretilmesinde kullanılan hammaddeler, HPÜ inşa tekniklerine ve seçilen cihazlara uygun olarak belirlenmiştir. Tablo 2.2’ de bu hammaddeler toplu halde verilmiştir. Bu hammaddelerin seçiminde, yaygın kullanım oranı öncelikli olarak dikkate

alınmıştır. Hammadde çeşitliliği, üretilebilirlik kriterlerine sağladığı uyumluluk gibi çok farklı nedenler ile yaygın kullanıma etki eder [3].

Tablo 2.2. Deneylerde kullanılan hammaddeler [3]

Kullanılan Teknik	Cihaz Modeli	Kullanılan Hammadde
Isıtarak Toz Bağlama	EOSINT P380	PA2200
Yapıştırıcı ile Toz Bağlama	Z310	ZB63
Sıvayarak Harç Yığıma	Dimension	ABS P400
Tarayarak Işıklı Kür	SLA 7000	Somos 14120 White

3. ÜRETİLEBİLİRLİK KRİTERLERİNİN ARAŞTIRILMASI

3.1. Üretilebilirlik

Çalışma kapsamında 4 farklı HPÜ yöntemi ile inşa edilmiş modeller üzerinde bulunan unsurların üretilebilirliği ve kalitesi incelenmiştir. Tarayarak Işıklı Kür, Isıtarak Toz Bağlama ve Yapıştırıcı ile Toz Bağlama yöntemleri ile inşa edilen modellerde bu üç yöntemin, unsurların oluşturulmasında başarılı olduğu gözlenmiştir. Bu üç yöntem deney için tasarlanmış model üzerindeki tüm unsurları eksiksiz bir şekilde inşa edebilmiştir. Işıklı kür tekniğinin, katmanlar halinde yayılan sıvı polimerlerin kürlenmesi prensibine bağımlı olarak inşa işlemini gerçekleştirmesinden dolayı, inşa edilen model üzerindeki kompleks yapılar inşa işlemi sonucunda eksiksiz elde edilebilmiştir [12,13] (Şekil 3.1).

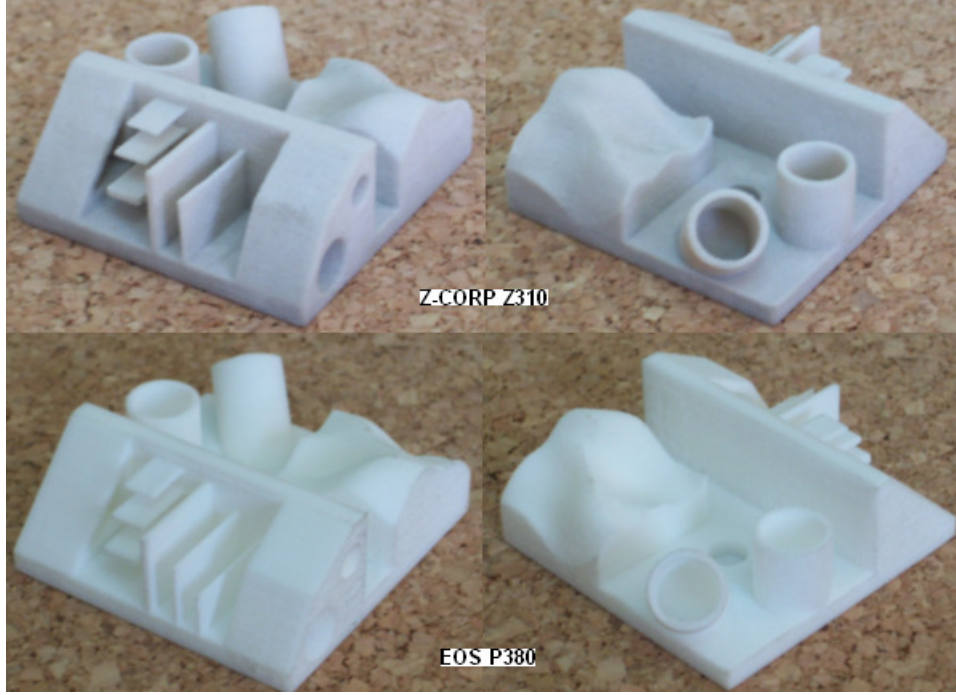


Şekil 3.1. Tarayarak ışıkla kür tekniği ile üretilen model ve unsurları

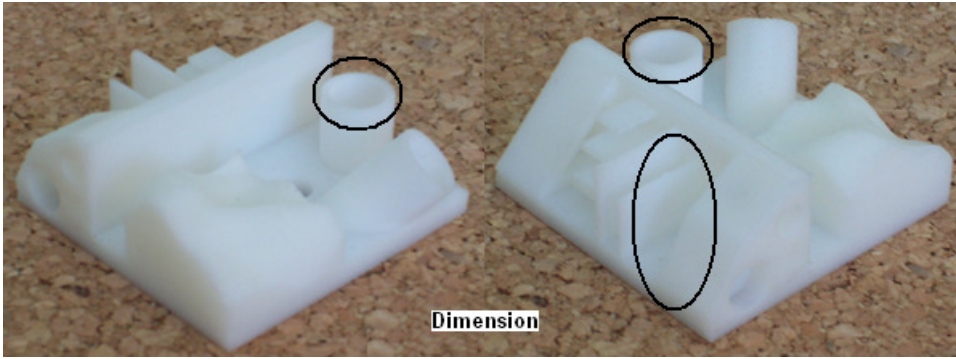
Isıtarak toz bağlama ve yapıştırıcı ile toz bağlama tekniklerinde ise mikro taneli toz yapısına sahip malzemeler ile inşa sürecinin gerçekleştirilmesinden dolayı model üzerinde yer alan tüm unsurlar kolaylıkla inşa edilebilmiştir. İnşa edilen bu modeller üzerindeki unsurların üretilebilirlik kriterlerinin doğruluğu arasındaki değişim ise inşa malzemesi ve destek yapısı olarak kullanılan toz granülleri ve bu toz taneciklerin birbirine bağlanması tekniğinin kriterlerine bağımlı olarak değiştiği sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 3.2).

Sıvayarak Harç Yığıma HPÜ tekniği ile üretilen model üzerinde bulunan 1 mm' den ince cidarlı dikey federlerin ve kesitlerin inşası gerçekleştirilememiştir. Bu model üzerinde bulunan ince cidarlı dikey federin inşa edilemediği ve ince cidarlı dikey kesitli silindirik unsurun içi boş olarak inşa edilebildiği sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 3.3).

Model üzerinde bulunan silindirik ve düzlemsel yapıya sahip unsurlardaki açısız yüzeylerin üretilebilirlik kalitesi ve doğruluğu çalışma kapsamında yer alan HPÜ yöntemlerinin tümünde farklılık gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 3.2. Yapıştırıcı ile toz bağlama ve ısıtarak toz bağlama teknikleri ile üretilen modeller ve unsurları

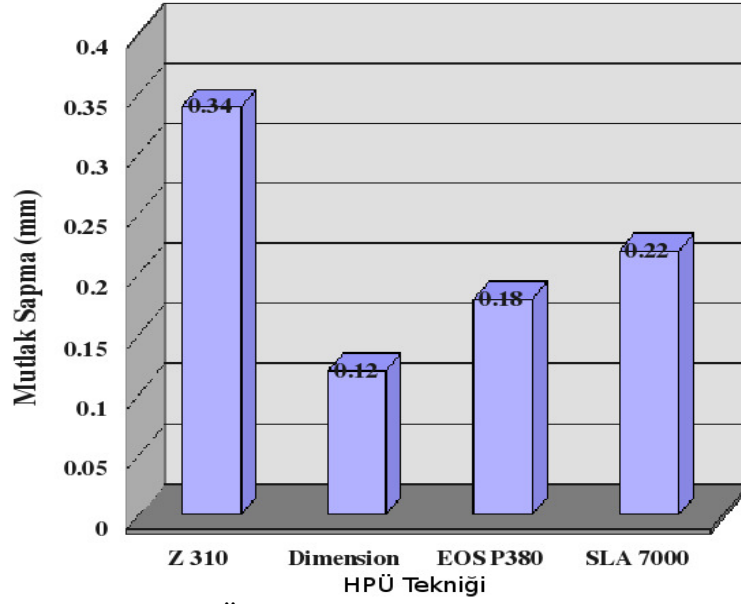


Şekil 3.3. Sıvayarak harç yığıma tekniği ile üretilen model ve unsurları

Bu sonuca ulaşılmasındaki sebep çalışma kapsamı dahilinde kullanılan HPÜ yöntemlerinin ve bu yöntemlerin sahip olduğu inşa malzemelerinin yapısal özelliklerinden kaynaklandığı tespit edilmiştir [12,13]. Bu sonuç doğrultusunda modeller incelendiğinde ısıtarak toz bağlama tekniği ile üretilen modelin sahip olduğu silindirik ve düzlemsel yapıya sahip unsurlardaki açısız yüzeylerin üretilebilirlik kalitesi ve doğruluğu en iyi sonucu sergilemiştir. Çalışma kapsamında inşası gerçekleştirilen modeller incelendiğinde, inşa malzemesi olarak toz kullanan HPÜ sistemlerinin inşa ettiği modellerin mukavemetinin diğer modellere göre daha düşük olduğu belirlenmiştir.

3.2. Ölçü Tamlığı

Çalışma kapsamında tercih edilen farklı HPÜ yöntemleri ve cihazları ile inşa edilen modellere ait ölçüm analizleri CMM 3 Boyutlu ölçüm cihazında ve diğer yüksek hassasiyetli ölçüm ekipmanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler aynı laboratuvar şartlarında inşa edilen dört parça üzerinde aynı ölçüm noktaları kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 3.4' deki grafiklerde gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Ölçülerden mutlak sapma değerleri

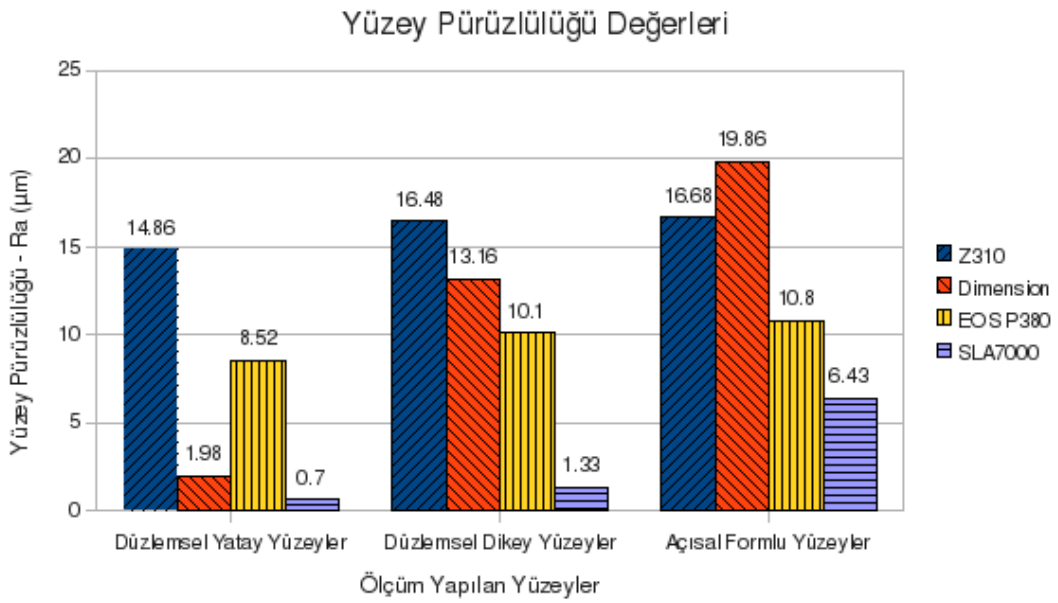
Yapılan ölçümler sonrasında, sıvayarak harç yığıma tekniği prensibi ile çalışan Dimension cihazında üretilen modelde $\pm 0,12$ mm mutlak sapma değeri ile en iyi mutlak ölçü tamlığı değeri tespit edilmiştir. Sıvayarak harç yığıma tekniğinin çalışma prensipleri incelendiğinde Dimension cihazının inşa süreci esnasında öncelikle çevresel döngü inşası daha sonra bu çevresel döngünün boşluğunu inşası yapması dolayısı ile bu sonuca ulaşıldığı kanaatine varılmıştır. Isıtarak toz bağlama ve yapıştırıcı ile toz bağlama HPÜ tekniklerinin ölçü tamlığı değerleri cihazların sahip oldukları katman kalınlığı değerine ve kullanılan toz malzemenin yapısına bağımlı olarak değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Tarayarak ışıkla kür tekniğinde ise ölçü tamlığı kriterini cihazın sahip olduğu katman kalınlığı ve tarama aralığı kabiliyetlerinin belirlediği sonucuna ulaşılmıştır. Tarayarak ışıkla kür prensibine göre çalışan sistemlerde kullanılan malzemelerin inşa sonrası gösterdiği malzeme karakteristik özelliklerine bağımlı çekme ve genleşme değerleri bu sonucu ortaya çıkarmıştır.

3.3. Yüzey Kalitesi ve Hassasiyeti

Üretilen parçaların yüzey kalitesi aynı laboratuvar şartlarında farklı prototipler için aynı ölçüm noktaları üzerinde MAHR marka Perthometer M1 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İnşa edilen modeller üzerinde 5,6 mm'lik ölçüm uzunluğunda 3 farklı referans yüzey seçilerek yüzey pürüzlülüğü değerleri tespit edilmiştir. Bu referans yüzeyler düzlemsel yatay, düzlemsel dikey ve açısız formlu yüzeylerdir. Elde edilen sonuçlar Şekil 3.5' de belirtilmiştir. Farklı yüzeylerdeki pürüzlülük değerlerine ait grafikler incelendiğinde, hızlı prototipleme teknikleri ile parça üretiminde yüzey kalitesini etkileyen üç unsur bulunduğu görülmektedir. Bu unsurlar inşa esnasındaki katman kalınlığı, inşa esnasında kullanılan inşa malzemesinin karakteristik özellikleri ve inşa esnasında polimerizasyon işlemi için kullanılan lazerlerin tarama aralığıdır [12,13].

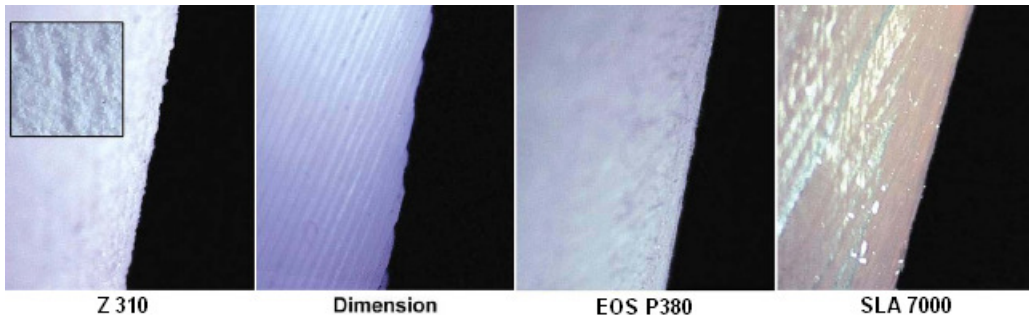
Katman kalınlığı etkisine örnek olarak “dimension cihazının” üretmiş olduğu model verilebilir. Bu model üzerindeki ölçümlerde, ölçüm inşa katmanları yönünde yapıldığında pürüzlülük değeri (Ra) $1,98\mu\text{m}$, inşa katmanlarına dik yönde yapıldığında pürüzlülük değeri (Ra) $19,86\mu\text{m}$ olduğu görülmektedir. Ayrıca katman kalınlığının pürüzlülüğe etkisi açılı yüzeylerde net bir şekilde belirgin olmaktadır.

İnşa malzemesinin etkilediği pürüzlülük değerine örnek olarak ise Z310 cihazı ile EOS P380 cihazı kullanılarak üretilmiş modeller gösterebilir. Bu iki cihaz inşa malzemesi olarak toz kullanmasına rağmen kullanılan tozun ve birleştirici yöntemin karakteristik özelliklerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değeri farklı sonuçlar vermektedir. Polimerizasyon için kullanılan lazerin tarama aralığına örnek olarak ise SLA7000 ile inşa edilmiş modele ait yüzey pürüzlülük değerleri örnek olarak gösterilebilir. Bu model üzerindeki değerler düzlemsel yatay yüzeylerde ölçüldüğünde pürüzlülük değeri (Ra) 0,703 μm iken düzlemsel dikey yüzeylerde pürüzlülük değeri (Ra) 1,325 μm olarak tespit edilmiştir. Bu sonuç lazerin tarama yönünden ve inşa sırasındaki katman kalınlığı değerlerinden dolayı ortaya çıkmıştır. Hızlı prototipleme teknikleri ile parça üretiminde yüzey kalitesini etkileyen önemli bir unsur ise destek yapılarının karakteristik özellikleridir. Destek yapılarının inşa bitiminde parça yüzeyinden temizlenmesi esnasında yüzeyde oluşan hasarlar doğrudan yüzeye ait pürüzlülük değerlerini etkilemektedir.



Şekil 3.5. Yüzey pürüzlülüğü değerleri

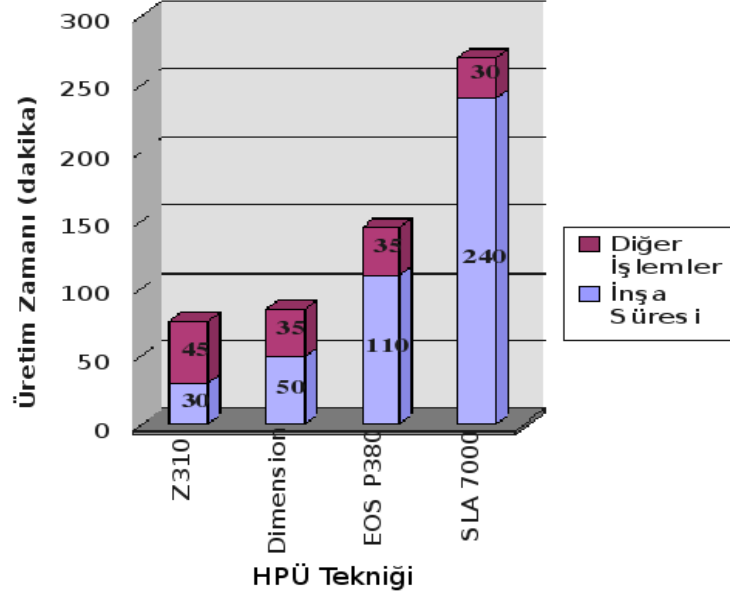
Z310, Dimension, EOS P380 ve SLA 7000 cihazları ile üretilmiş prototip yüzey kesitlerinin 10X ölçekli görüntüleri Şekil 3.8.'de verilmiştir. Şekil 3.6.'de verilen Stereo Mikroskop ile 10x büyütülmüş olan yüzey görüntüleri incelendiğinde, gerçekleştirilen çalışma kapsamında yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılarak tespit edilmiş olan değerlerin analiz sonuçlarını doğruladığı görülmektedir [12,13].



Şekil 3.6. Stereo mikroskop ile 10X büyütülmüş yüzey görüntüleri [12,13]

3.4. Üretim Zamanı

Çalışma kapsamında üretilen prototiplerin üretim zamanı parça inşa süreci, ön hazırlık ve inşa sonrası yapılan işlemler dikkate alınarak elde edilen sonuçlar Şekil 3.7' de belirtilmiştir.



Şekil 3.7. Üretim zamanı grafiği

Üretim zamanı değerlerine ait grafikler incelendiğinde; en kısa işleme süresine Z310 (30+45 dk.) cihazı sahiptir. Daha sonra sırasıyla Dimension (50+35 dk), EOSP380 (110+35 dk.) ve SLA7000 (240+30 dk.) cihazı gelmektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi farklı HPÜ sistemleri aynı model bile olsa ön hazırlık ve işleme süreleri bakımından farklı durumlar gösterebilmektedir. Bu farklılığın en önemli sebepleri arasında kullanılan HPÜ cihazının tarama hızı, katman kalınlığı, tarama genişliği, inşa hızı gibi teknik özellikleri ile beraber kullanılan HPÜ cihazına ait malzeme özellikleri yer almaktadır.

5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, kompleks ve mikro yapıdaki parçaların üretilebilirliğinin hızlı prototipleme tekniği kullanılarak incelenmesi kapsamında üzerinde kompleks ve mikro yapılar taşıyan bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modelin farklı HPÜ teknolojilerine sahip 4 farklı HPÜ cihazında inşa işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu cihazlarda inşa edilen modeller üretilebilirlik, ölçü tamlığı, yüzey hassasiyeti, yüzey pürüzlülüğü, üretim zamanı kriterleri ışığında laboratuvar şartlarında test ve analiz edilmiştir. Bu test ve analizler sonrası elde edilen bilgiler incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilerek önerilerde bulunulmuştur:

- Sıvayarak harç yığıma tekniği ile üretilen modellerde öncelikle çevresel döngü inşa işleminin gerçekleşmesinden dolayı ölçü tamlığı açısından en verimli sonuca ulaşılabileceği tespit edilmiştir. Ancak bu tekniği kullanılarak inşa edilen modellerde 1 mm' den az kesit kalınlığına sahip dikey unsurlar inşa edilememektedir.

- İnşa malzemesi olarak toz kullanan sistemlerin ve/veya inşa işleminde bir ışık kaynağı ile (lazer) polimerizasyon işlemi gerçekleştiren sistemlerin kompleks ve mikro yapılara sahip unsurların inşasında başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.
- Yatay, dikey, düzlemsel, mikro kesite ve serbest forma sahip kompleks unsurların HPÜ sistemlerindeki üretilebilirlik kalitesinin ve doğruluğunun, sisteme ait cihazın kabiliyetlerine, inşa işlemi sırasındaki katman kalınlığına, sisteme ait destek yapısı biçimine, inşa işlemi sırasındaki katman aralığına, inşa işleminde kullanılan inşa malzemesinin teknik özelliklerine, lazer kullanılan sistemlerdeki lazer tarama aralığına ve yapıştırıcı kullanan sistemlerdeki yapıştırıcının karakteristik özelliklerine bağımlı olduğu tespit edilmiştir.
- İnşa malzemesi olarak toz kullanan HPÜ sistemlerinden elde edilen parçaların diğer yöntemler ile elde edilen parçalara göre mukavemetinin düşük olduğu tespit edilmiştir.
- İnşa malzemesi olarak toz kullanılan HPÜ sistemlerinde ölçü tamlığı veriminin sistemde kullanılan toz inşa malzemesinin granül yapısına, tozların birbirine bağlanmasında kullanılan ısı kaynağı veya yapıştırıcının karakteristik özelliklerine, sisteme ait cihazın sahip olduğu katman kalınlığı ve aralığına bağımlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- Bir ışık kaynağı tarafından polimerizasyon edilme prensibi ile çalışan sistemlerde ölçü tamlığı verimini, HPÜ cihazının sahip olduğu katman kalınlığı ve ışık kaynağının sahip olduğu tarama aralığı kabiliyetlerinin belirlediği tespit edilmiştir.
- Çalışma kapsamında test edilen tüm sistemlere ait modeller incelendiğinde ölçü sapma değerlerinin, modellerin inşa işleminde kullanılan inşa malzemesi karakteristik özelliklerine bağımlı olarak gerçekleşen inşa sonrası malzeme çekme ve genleşme değerlerine bağımlı olduğu tespit edilmiştir.
- İnşa sonrası elde edilen modellerin yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde bir ışık kaynağı ile polimerizasyon prensibi ile çalışan tarayarak ışıkla kür yöntemi pürüzlülük değerleri açısından konumları birbirinden farklı tüm yüzeylerde en verimli sonucu gösterirken, inşa malzemesi olarak toz kullanan HPÜ yöntemlerinde en verimsiz sonuca ulaşılmıştır.
- HPÜ sistemlerinde üretilen parçalara ait yüzeylerin pürüzlülük değerlerinin HPÜ cihazlarına ait katman kalınlığı ve aralığı, inşa malzemesinin ve destek yapısının karakteristik özellikleri, destek yapılarının temizlenmesi işlemleri ve ışıkla kür işleminde kullanılan lazer ışık kaynağının tarama aralığı değerlerine bağımlı olduğu tespit edilmiştir.
- Çalışma sonucunda HPÜ sistemlerinde kullanılan cihazlara ait cihazın tarama hızı, seçilen tarama genişliği ve katman kalınlığı değerleri ve inşa hızı kriterlerinin üretim zamanını etkilediği tespit edilmiştir.
- HPÜ cihazına ait inşa öncesi ön hazırlık safhası, inşa işlemi gerçekleştirilecek modele ait STL datası optimizasyonu ve inşa sonrası oluşan destek yapılarının modelden temizlenmesi işleminin de asıl inşa süresine ek olarak üretim zamanını etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.
- Üretim zamanı kriterinin HPÜ sisteminin çalışma prensibine, kullandığı inşa metoduna, kullanılan inşa malzemesinin birleştirilmesi prensibine, inşa yönteminde kullanılan destek yapısı çeşidine, yöntemin gerektirdiği ön hazırlık safhalarının özelliklerine ve modelde istenilen ölçü tamlığı ve kalite özelliklerine bağımlı olduğu tespit edilmiştir.
- HPÜ sistemleri ile üretilen modellerin, inşa malzemesi karakteristik özelliklerine bağımlı olarak yüzey kalitesinin ve ölçü tamlığının iyileştirilmesi için ek işlemler yapılabileceği tespit edilmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] ÖZUĞUR, B., KORKUT, İ., ŞEKER, U., Kompleks Yapıdaki Parçaların Üretiminde Hızlı Prototipleme Teknikleri ile Geleneksel ve Geleneksel Olmayan Yöntemlerin Karşılaştırılması, **4. Uluslar Arası İleri Teknolojiler Sempozyumu**, Konya, (1): 581-590, (2005).
- [2] APAK, S., KORKUT İ., DÜNDAR, K., Hızlı Prototipleme Tezgahlarında Üretilen Parçaların Maliyet Araştırması, **4. Uluslar Arası İleri Teknolojiler Sempozyumu**, Konya, (2): 426-430, (2005).
- [3] APAK, S., Farklı Hızlı Prototipleme Cihazlarında Üretilen Parçaların Üretim Zamanı ve Maliyet Açısından Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Eğitimi Ana Bilim Dalı, ANKARA, 48-79, (2010).
- [4] ÖZUĞUR, B., Hızlı Prototipleme Teknikleri ile Kompleks ve Mikro Yapıdaki Parçaların Üretilebilirliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Eğitimi Ana Bilim Dalı, ANKARA, 21-95, (2002).
- [5] ÖZUĞUR, B., İleri İmalat Teknolojileri, Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Ana Bilim Dalı, Ankara, 32-144, (2002).
- [6] GRIMM, T., User's Guide to Rapid Prototyping, **Society of Manufacturing Engineers**, USA, 24-345, (2004).
- [7] SACHS, E., CIMA, M., WILLIAMS, P., BRANCAZIO, D., CORNIE, J., Three Dimensional Printing: Rapid Tooling and Prototypes Directly From a CAD Model, **Journal of Engineering for Industry**, 114, 481-488, (1990).
- [8] JACOBS, P. F., Rapid Prototyping & Manufacturing: Fundamental of StereoLithography, First Edition, ISBN:0-07-032433-6, **Society of Manufacturing Engineers McGraw-Hill Inc.**, Dearborn Michigan, 1-434, (1992).
- [9] BURNS, M., Automated Fabrication: Improving Productivity in Manufacturing, ISBN 0-13-119462-3, **Prentice Hall**, Chigago, 140-369, (1993).
- [10] CRUMP, S.S., Direct Rapid Manufacturing With Real Production Plastics Using Fused Deposition Modelling (FDM), **Presented at the 4th annual Euro-uRapid Conference**, Frankfurt, 354-357, (2002).
- [11] EVANS, A.M., CAMPBELL, I.A. A., Comparative Evaluation of Industrial Design Models Produced Using Rapid Prototyping and Workshop-based fabrication Techniques, ISSN 1355-2546, **Rapid Prototyping Journal**, MCB University Press Limited, 9 (5):344-355, (2003).
- [12] IPPOLITO, R., LULIANO, L., GATTO, A., Benchmarking of Rapid Prototyping Techniques in Terms of Dimensional Accuracy and Surface Finish, **Annals of the CIRP**, McGrawHill, 44, (1995).

[13] GRIMM, T., Benchmarking for comparative evaluation of RP systems and processes, ISSN 1355-2546, **Rapid Prototyping Journal**, Emerald Group Publishing Limited, 10(2):123-135, (2003).

[14] <http://www.turkcadcam.net/rapor/otoinsa/index.html> (Eriřim Tarihi: 01.01.2010)