

FARKLI HIZLI PROTOTİPLEME CİHAZLARINDA ÜRETİLEN PARÇALARIN ÜRETİM ZAMANI VE MALİYET AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

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

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

** burhan.ozugur@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

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

ÖZET

Ar-Ge ve üretim faaliyetlerinde ihtiyaç duyulan prototip üretimi, hızlı prototipleme cihazları kullanılarak karşılanabilmektedir. Hızlı prototipleme cihazlarında ve hızlı prototipleme yöntemlerinde görülen çeşitlilik, prototip ihtiyacının optimum düzeyde karşılanmasını sağlarken, uygun cihaz seçiminde doğru karar verme zorluğunda yanında getirmektedir. Üretim zamanı ve maliyet, birbiriyle ilişkili ve cihaz seçiminde etkili unsurlardır. Bu unsurlar, cihaz işlem zamanı, toplam işleme zamanı, hammadde maliyetleri, yıllık operasyon maliyetleri, işçilik maliyetleri gibi parametreler çatısı altında değerlendirilmiştir. Bu çalışma kapsamında, cihaz seçiminde etkili kriterler dikkate alınarak tespit edilen model, farklı hızlı prototipleme cihazlarında üretilmiştir. Üretim zamanı ve maliyet, üretilen parçalar üzerinde gerçekleştirilen incelemeler ışığında, karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır. Hızlı prototipleme cihazları arasında görülen teknik farklılıklar ve bu farkların üretim zamanı ve maliyete etkisi yorumlanmış, elde edilen sonuçlar çerçevesinde uygun cihaz ve yöntem önerilerinde bulunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Hızlı Prototipleme, Üretim Zamanı, Maliyet

ABSTRACT

R&D and manufacturing activities needed in prototyping, rapid prototyping can be met using the device. Rapid prototyping and rapid prototyping techniques seen in the diversity of devices, the prototype needs are met while ensuring optimum levels, making the right decision in choosing the appropriate equipment is brought problem. Production time and cost effective factor in the selection of the device are related to each other. These elements, the device processing time, total processing time, raw material costs, annual operating costs, labor costs have been evaluated under such parameters. In this study, the device effective in the selection criteria determined by taking into account the model,

manufactured in different rapid prototyping device. Production time and cost, studies conducted on parts produced in the light, was investigated in comparison. The technical difference seen between rapid prototyping device, and these differences impact on production time and costs, interpreted, in accordance with the results obtained in the appropriate device and method are proposed.

Keywords: Rapid Prototyping, Manufacturing Time, Cost

1. GİRİŞ

Ekonomik unsurların etkileri mevcut çalışmaların sonuçlarını etkilediği günümüzde; verimlilik, kalite, üretim ve Ar-Ge çalışmalarında maliyet ve zaman gibi kavramlar detayları ile birlikte derinlemesine incelenmektedir. Üretim tekniklerinde karşılaşılan ve en önemli kriterlerden birisi olan “ne üretilecek, ne biçimde üretilecek, nerede üretilecek?” soruları ürün niteliklerini, üretim yöntemlerini ve üretim teknolojilerini geliştiren doğrultuda çalışmalara sürüklemektedir. Bu çalışmalar Hızlı Prototip Üretimi (HPÜ) teknolojilerini de içerisinde barındırmaktadır ve prototip üretimindeki zaman ve maliyet unsurları önemli ölçülerde değişim göstermektedir.

Literatürde yer alan çalışmalar ve bu çalışmalardan elde edilen veriler incelendiğinde, HPÜ teknolojilerindeki ilerlemeler oldukça iyi sonuçlar doğurmuştur [1]. Bu sebeple yapılan çalışmada prototip üretimi konusunda HPÜ tekniklerinin kullanılması ve üretilecek prototip için seçilecek HPÜ tekniğinin maliyete etkisi karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Bu amaç kapsamında, üretim zamanı ve maliyet unsurarını karşılaştırmaya elverişli özellikleri içeren model tespit edilmiş, karşılaştırma hatalarına meydan vermeyecek niteliklere sahip malzemeler seçilmiştir. Belirlenen model, farklı teknikler kullanan HPÜ cihazlarında üretilerek, üretim zamanı ve maliyet değerleri belirlenmiştir.

Belirlenen değerler incelendiğinde prototip üretimine etki eden maliyet unsurları her bir HPÜ tekniğine bağlı olarak tespit edilmiş ve diğer HPÜ teknikleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmadan çıkan sonuçlara bağlı olarak, prototip üretiminde kullanılması uygun olan HPÜ tekniği ve/veya teknikleri konusunda önerilerde bulunulmuştur.

2. DENEY PROSEDÜRÜ

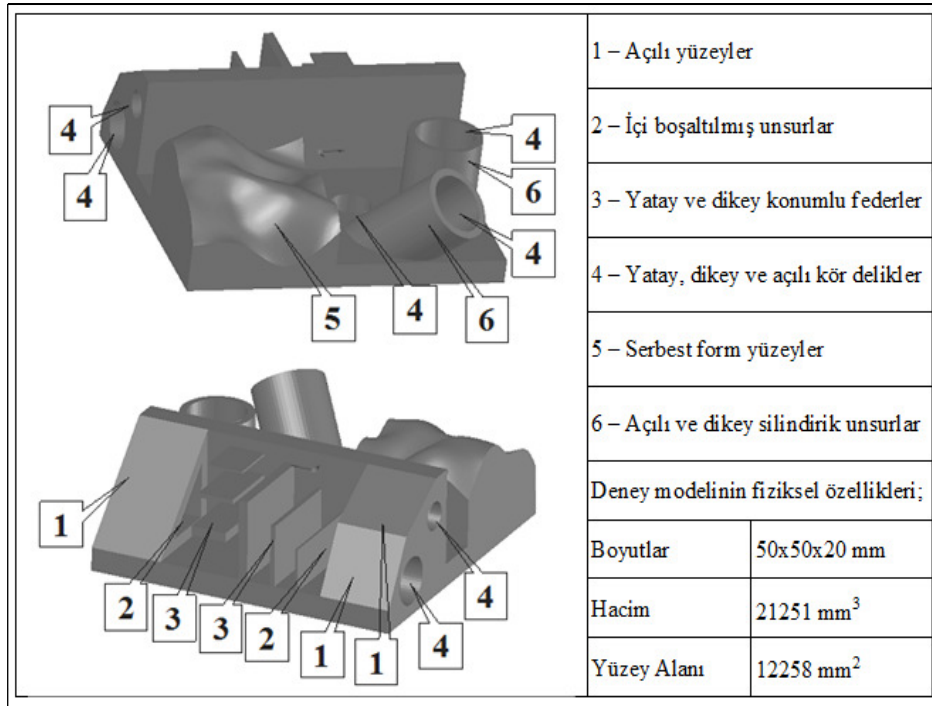
2.1. Deney Modelinin Belirlenmesi

Yapılan çalışmada, hızlı prototipleme teknikleri ve günümüzde aktif olarak kullanılan geleneksel ve geleneksel olmayan imalat yöntemleri incelendiğinde üretimi zorlaştırıcı, üretim zamanını arttırıcı, kurulum parametrelerini zorlaştırıcı, işçilik giderlerini yükseltici, dolayısı ile üretim ve işçilik maliyetlerini etkileyen unsurları üzerinde bulunduran bir model ürün geliştirilmiştir.

Deney modeli, üretim zamanı ve maliyet konularında sonuçları etkileyen unsurları taşıyacak nitelikte belirlenmiştir. Model, alışılmış veya alışılmamış imalat teknikleri kullanılarak imal edilebilirliği zor veya imkansız unsurlar içermektedir [2]. Bu nedenle,

model imal edilebilir olsa bile birkaç farklı imalat tekniğinin bir arada kullanımını gerektirmekte ve üretim zamanı ile maliyet kriterlerini etkilemektedir. Model seçiminde ayrıca; şekilsel toleranslar, ölçü tamlığı, yüzey pürüzlülüğü gibi kalite kriterleri de dikkate alınmıştır.

Model üzerinde bilinçli olarak seçilen 45°, 30° ve 60° açılı düzgün formlu yüzeyler, içi boşaltılmış unsurlar, yatay ve dikey konumlandırılmış farklı kesit ölçülerine sahip ince cidarlı federler, yatay, dikey ve açılı kör delikler, serbest forma sahip yüzey, dar kesitli cidara sahip açılı ve dikey silindirik unsurlar (Şekil 2.1) katmanlar halinde bu inşa prensibi ile inşa sonrasında yöntemin, malzemenin ve inşa cihazının özelliklerine göre üretim zamanını ve maliyet kriterlerini karşılaştırmada doğru ve yararlı sonuçlara ulaşılmasına imkan sağlamıştır.



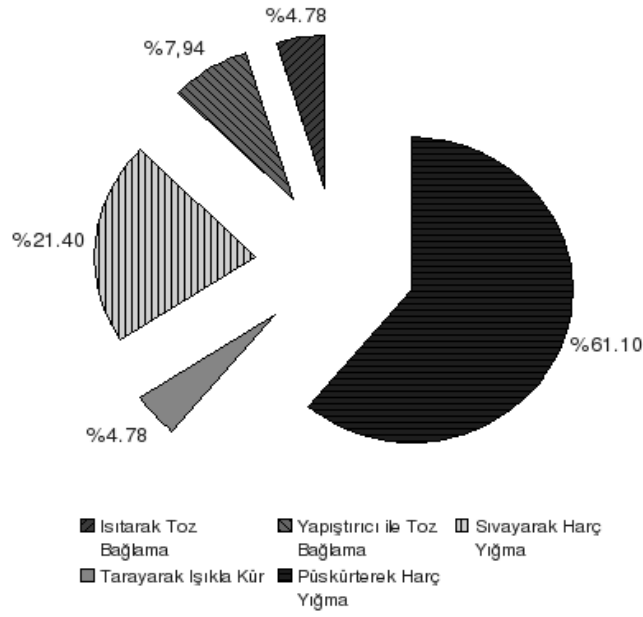
Şekil 2.1. Deney modeli ve üzerinde bulunan unsurlar [3]

2.2. Deneylede Kullanılan HPÜ Tekniklerinin ve Cihazların Belirlenmesi

Deneylede 4 farklı inşa yöntemine sahip 4 farklı HPÜ cihazı kullanılmıştır. Bu cihazların seçiminde; hızlı prototipleme tekniklerinin imalat ihtiyaçlarına cevap verdiği sektörler araştırılmış, endüstriyel çalışmalarda ve makinacılık uygulamalarında yaygın tercih edilen HPÜ cihazları incelenmiştir.

Şekil 2.2' de ülkemizde kullanılan HPÜ cihazlarının dağılımı görülmektedir. Bu grafikte sıralanan HPÜ inşa yöntemleri prototip üretiminde yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir [4]. Bu yöntemlerden her biri farklı karakteristik özelliklere sahip oldukları için her bir HPÜ yönteminin daha başarılı olarak kullanıldığı bir endüstri alanı mevcuttur. Deney kapsamında incelenmiş HPÜ tekniklerinin seçiminde; yöntemin yaygınlığı, seçilen yöntemlerin birbirinden farklı özelliklere sahip olması vb. kriterlere önem verilmiştir.

HPÜ Cihazlarının Yüzdelerik Dağılımı



Şekil 2.2. Türkiye’de yerleşik HPÜ cihazlarının inşa yöntemlerine göre dağılımı [4]

Bu çalışma kapsamında inşa malzemesi olarak toz kullanan ısıtarak toz bağlama ve yapıştırıcı ile toz bağlama teknikleri, lazer ışını kullanan tarayarak ışıklı kür ve ısıtarak toz bağlama teknikleri, ABS malzemenin ısıtılıp katmanlar halinde inşa prensibini kullanan sıvayarak harç yığıma tekniği tercih edilmiştir. Deneylerde kullanılan cihazların teknik özellikleri Tablo 2.1’ de ele alınmıştır.

2.2.1. Isıtarak Toz Bağlama Tekniği ve Bu Tekniği Kullanan Cihaz

Isıtarak toz bağlama tekniğinde, toz formda bulunan ve ısı etkisiyle sinterlenebilen hammadde kullanılmaktadır. Kartuş halinde satışa sunulan bu hammadde ince ve düzgün bir katman olarak yayılır ve seçilmiş bölgeler üzerine uygulanan lazer ışını, hammaddeleri ısı etkisiyle sinterleyerek birbirine bağlar. İşlemi tamamlanan her katman, katman kalınlığı kadar aşağı iner ve sinterleme işlemi tüm katmanlar için tekrarlanır. Model üretimi tamamlandığında lazer etkisi ile sinterlenmemiş olan toz hammaddeler ortamdan temizlenir ve katı halde model elde edilir. Lazer ünitesinin kullanım ömrü ve sarfiyatı, toz hammadde maliyeti ile birlikte toplam maliyeti etkileyen unsurların başında gelir[5-14]. Bu yöntem için; deneylerde “EOS GmbH” firmasının ticari kullanıma sunduğu EOSINT P380 model HPÜ cihazı kullanılmıştır.

2.2.2. Yapıştırıcı ile Toz Bağlama Tekniği ve Bu Tekniği Kullanan Cihaz

Gözenekli yapıya sahip toz hammadde kullanılan bu teknikte katman halinde yayılan tozlar yapıştırıcı ile birbirine bağlanır. Yapıştırıcı püskürtülen nozul, seçili bölgeler üzerinde işlemi tamamladıktan sonra, işlem gören katman, katman kalınlığı kadar aşağı çekilerek diğer toz katmanı yayılır ve yeni toz yapıştırma çevrimi seçilmiş bölgeler için tekrarlanır. Model üretimi tamamlandığında, yapıştırıcı ile bağlanmamış tozlar ortamdan temizlenir ve model elde edilir. Bu teknikte maliyeti etkileyen unsurlar arasında toz hammadde yanında yapıştırıcıda bulunmaktadır ve tezgahın üretim zamanı modelin z-eksenindeki boyutu ile doğrudan ilişkilidir [5-14]. Bu yöntem için; deneylerde “Z-CORPRATION” firmasının ticari kullanıma sunduğu Z310 model HPÜ cihazı kullanılmıştır.

2.2.3. Sıvayarak Harç Yığıma Tekniği ve Bu Tekniği Kullanan Cihaz

ABS plastik hammaddenin kullanıldığı bu teknikte, ergiyik hammaddenin memeden itilmesi yada sıvanması ile eş zamanlı olarak, nozul seçilmiş bölgelerde çevrim yapar. Bu eş zamanlı çevrim modelin tüm katmanları için tekrarlanır ve çevrim sonucunda model elde edilir. Üretim esnasında diğer bir meme tarafından ikincil bir hammadde uygulanır ve yerçekimi etkisi ile ergiyik hammaddenin yanlış konumlandırılmaması için destek oluşturur. Bu destek malzemesi üretimi tamamlanmış model üzerinden temizlenir [5-14]. Bu yöntem için; deneylerde “STRATASYS” firmasının ticari kullanıma sunduğu Dimension model HPÜ cihazı kullanılmıştır.

2.2.4. Tarayarak Işıklı Kür Tekniği ve Bu Tekniği Kullanan Cihaz

Bu teknik, fotopolimer esaslı sıvı haldeki malzemenin lazer ışını ile kürlenerek katı hale getirilmesi prensibi ile inşa aşamasını gerçekleştirir [9-10]. Kullanılan sıvı polimer, mor ötesi ışık altında kimyasal tepkime göstererek katı hale dönüşen bir fotopolimer malzemedir. Lazer ışını bilgisayar desteği ile inşa hazırlık aşamasında belirlenmiş bölgelere noktasal olarak uygulanır ve sıvı malzemenin üst bölgeleri kürlenerek katılaştırılır. Katman inşası tamamlandığında platform katman kalınlığı kadar aşağı indirilir ve bir kanat yardımı ile yeni bir kat sıvı polimer yayılır. Malzemenin yapışkan özelliği sayesinde katmanlar birbirine yapışırlar. Parça inşası tamamlanmaya kadar çevrim devam ettirilir. İnşa hazırlık aşamasında, önceden tasarlanmış destek yapıları tespit edilerek inşa aşamasında bu yapılar dahil edilmektedir. Bu destek yapıları inşa aşaması tamamlandığında cihazdan alınan parça üzerinden kırma, koparma, kesme yolu ile temizlenir. İnşa aşamasında uygulanan kür derecesi çoğunlukla yeterli görülmediğinden parça UV lamba altında ek bir süre daha kürlenir [5-14]. Bu yöntem için; deneylerde “3D SYSTEMS” firmasının ticari kullanıma sunduğu SLA 7000 model HPÜ cihazı kullanılmıştır.

Tablo 2.1. Deneylerde kullanılan HPÜ cihazlarının teknik özellikleri [1]

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	CO2, 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.

Tablo 2.2. Deneylerde kullanılan hammaddeler [3]

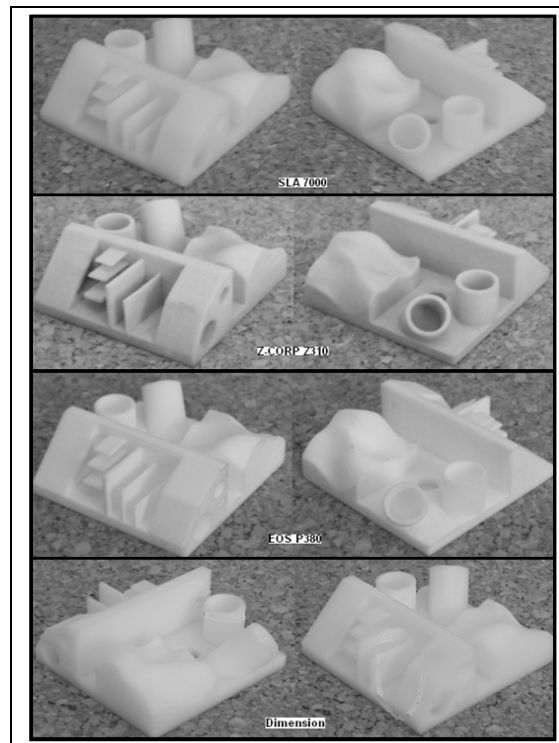
Kullanılan Teknik	Cihaz Modeli	Kullanılan Hammadde
Isıtarak Toz Bağlama	EOSINT P380	PA2200
Yapıştırıcı ile Toz Bağlama	Z310	ZB63
Sıvayarak Harç Yığıma	Dimension	ABS P400
Tarayarak Işıklı Kür	SLA 7000	Somos 14120 White

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 [2,4].

2.4. Üretim Zamanı ve Maliyetlerin Belirlenmesi

Deneylerde, toplam üretim zamanını oluşturan inşa öncesi, inşa aşaması ve inşa sonrası süreçlerinde harcanan zaman tespit edilmiş ve bu verilerin bir arada değerlendirilmesi ile toplam üretim zamanı yorumlanmıştır. Toplam ürün maliyetini oluşturan parçalar; işçilik, cihaz birim maliyeti ve hammadde olarak değerlendirilmiştir. İşletmelerin özelliklerinden dolayı değişkenlik gösteren ve hesaplanamayan maliyetler değerlendirme dışında tutulmuştur. Bunlar vergi ve kar oranı gibi maliyetlerdir.

Toplam üretim zamanı ve toplam ürün maliyetini irdelerken kullanılan parametreler, Şekil 2.3' te görülen 4 farklı HPÜ cihazında üretilmiş deney modellerinin üretim basamakları gerçekleştirilirken tespit edilmiştir.



Şekil 2.3. Farklı HPÜ cihazlarında üretilmiş deney modelleri

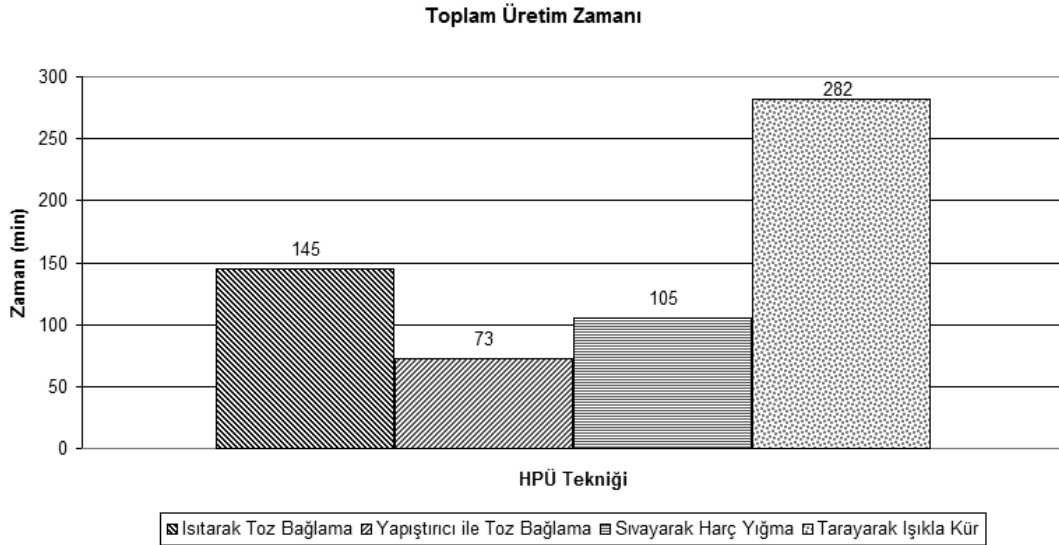
3. ÜRETİM ZAMANI VE MALİYET

Üretim zamanı ölçümleri kronometre kullanılarak inşa öncesi işlemler, inşa aşaması ve inşa sonrası işlemler olmak üzere 3 ayrı kademede tespit edilmiştir. Deneylerde elde edilen üretim zamanları Tablo 3.1' de belirtilmiştir.

Tablo 3.1. Toplam üretim zamanını oluşturan süreler

HPÜ Tekniği	Cihaz	İnşa Öncesi İşlemler (min)	İnşa Aşaması (min)	İnşa Sonrası İşlemler (min)
Isıtarak Toz Bağlama	EOS P380	22	110	13
Yapıştırıcı ile Toz Bağlama	Z310	24	30	19
Sıvayarak Harç Yığıma	Dimension	28	50	27
Tarayarak Işıklı Kür	SLA7000	27	240	15

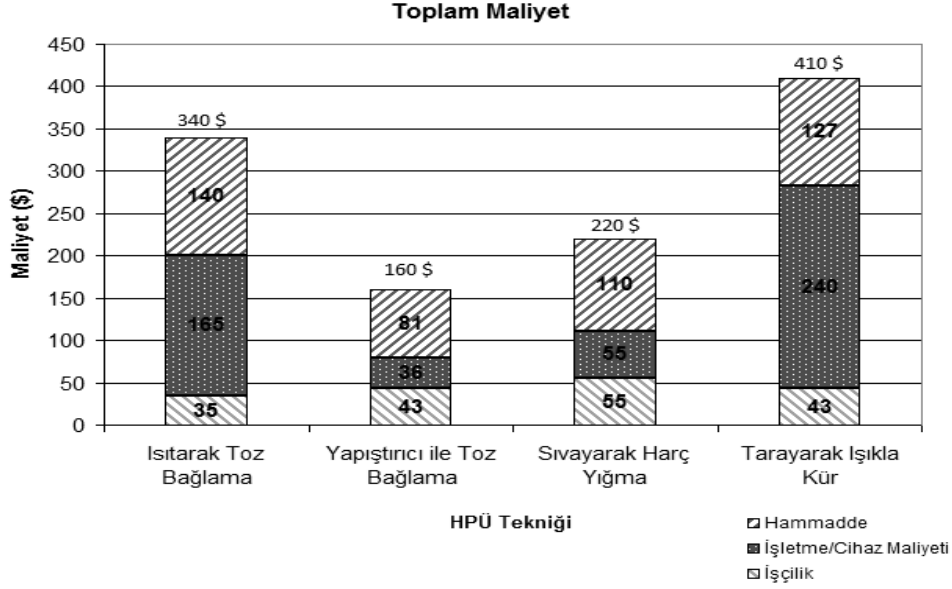
Deney modeli farklı HPÜ cihazlarında üretilirken, ısıtarak toz bağlama tekniğinde toplam 145 dakika harcanırken yapıştırıcı ile toz bağlama tekniğinde 73 dakika, sıvayarak harç yığıma tekniğinde 105 dakika ve tarayarak ışıklı kür tekniğinde 282 dakika harcanmıştır. Bu sonuçlardan yola çıkarak, kalite kriterleri ve maliyet etkisi dışında zaman öncelikli çalışmalarda en kısa üretim zamanını veren yapıştırıcı ile toz bağlama tekniğini kullanan Z310 cihazı tercih edilmektedir. Bu sürelerin toplamı, HPÜ cihazı ile üretilen parçaların toplam üretim zamanını vermektedir. Şekil 3.1' de tekniklere göre toplam üretim zamanları verilmiştir.



Şekil 3.1. Toplam üretim zamanı

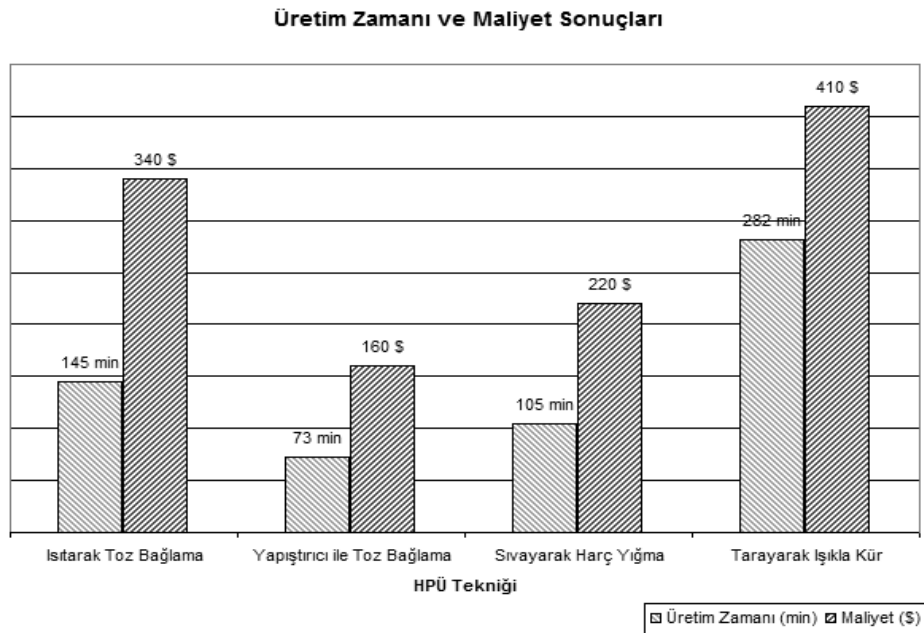
Maliyet hesaplamaları; işletme ve yatırım maliyetleri gözetilerek belirlenen cihaz saatlik maliyeti, üretim zamanını oluşturan basamaklar esnasında gerekli operatörlük giderleri gözetilerek belirlenen işçilik maliyeti ve sarf edilen birim hammadde miktarı gözetilerek belirlenen hammadde maliyetinin toplamı ile gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3.2' de verilen prototip üretim maliyeti grafiğine bakıldığında, deney modelinin Z310 tezgahında 160 \$, Dimension tezgahında 220 \$, EOSP380 tezgahında 340 \$ ve SLA7000 tezgahında 410 \$ maliyet ile üretildiği görülmektedir.



Şekil 3.2. Toplam maliyet

Kalite unsurları ve üretim zamanı değerlendirme dışında tutulduğunda, bir başka deyişle maliyet öncelikli seçim yapılması söz konusu olduğunda 160 \$ maliyet ile deney modelinin üretilebilmesini sağlamış olan, yapıştırıcı ile toz bağlama tekniği ile çalışan Z310 model HPÜ cihazı tercih sebebi olmaktadır. Toplam maliyetler, toplam üretim zamanları ile bir arada değerlendirildiğinde, yine yapıştırıcı ile toz bağlama tekniği ile çalışan Z310 model HPÜ cihazı en düşük ürün maliyeti ve en kısa üretim süresini sergileyerek kalite gereksinimlerinden bağımsız değerlendirildiğinde tercih sebebi olmaktadır. En yüksek ürün maliyeti ve üretim süresini sergileyen, tarayarak ışıkla kür tekniği ile çalışan SLA7000 model HPÜ cihazı ise, olası yüksek maliyet ve zaman değerlerini karşılayacak nitelikte, üretilebilirlik ve kalite gereksinimleri taşıyan parçalar dışında tercih edilmekten uzakta kalmaktadır. Şekil 3.3' de grafiksel olarak üretim zamanı ve maliyet sonuçları bir arada verilmiştir.



Şekil 3.3. Üretim zamanı ve maliyet sonuçları

4. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Hızlı prototip üretimi teknolojilerinde üretim zamanı ve maliyetler endüstriyel uygulamalarda önemli bir konum teşkil etmektedir. Bu önem, gelişmekte olan teknoloji ile değişim gösteren endüstrinin zaman ve maliyet kayıplarını en alt seviyede tutma ihtiyacından doğmaktadır. Ar-Ge ve üretim sistemlerinde iyileştirme amaçlı yapılan çalışmalar HPÜ teknolojilerinden daha hızlı ve düşük maliyetli faydalanma yönünde ilerlemektedir. Hızlı prototipleme tekniklerinden, dünyada ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan 4 farklı tekniğin üretim zamanı ve maliyet açısından incelendiği bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Yapıştırıcıyla toz bağlama tekniği en kısa üretim zamanını ve en düşük maliyeti sağlamış, ısıtarak toz bağlama tekniği nispeten yüksek üretim zamanı ve maliyet sergilerken, sıvayarak harç yığıma tekniğinde üretim zamanı ve maliyet biraz daha artmış, tarayarak ışıkla kür tekniği ise en uzun üretim zamanı ve en yüksek maliyeti sergilemiştir.
- Üretim zamanındaki artışa paralel olarak, maliyet de artmaktadır. Üretim zamanını belirleyici etkiler içerisinde inşa edilen modelin üretilebilirlik unsurları ve kullanılan HPÜ cihazının teknik özellikleri ön sırada yer almaktadır. Maliyeti belirleyici etkiler içerisinde, üretim zamanının yanında, kullanılan miktar doğrultusunda hammadde maliyeti, işçilik giderleri ve işletme idari masrafları ile cihaz yatırım maliyetleri ağırlıklı olarak yer almaktadır. İşçilik etkeninin doğrudan etkili olduğu, inşa öncesi ve sonrası işlem süreçleri üzerinde derinlemesine yapılacak çalışmalar, üretim zamanı ve dolayısı ile maliyet unsurlarında iyileşme sağlayacaktır. Ayrıca, bu süreçler operatör yeteneği gerektirmesi nedeni ile elde edilecek veriler, personel eğitimleri için kaynak teşkil edebilecektir.
- Araştırmalar sonucu sunulacak bilgilerin işçilikte iyileşme sağlanması, üretim zamanı ve maliyet dışında üretilebilirlik kriterlerini de iyileştirerek HPÜ cihazlarını daha verimli kullanma yönünde fayda sağlayacaktır.
- HPÜ cihazlarında üretilen parçaların daha geniş kullanım alanına sahip olabilmesi, cihaz teknik özelliklerinin yanı sıra hammadde teknik özellikleriyle de ilişkilidir. Söz konusu kullanım alanlarını yaygınlaştırmak, üretilebilirlik ve maliyet unsurlarında iyileştirme sağlar.
- Prototip üretimi gerektiren çalışmalarda, HPÜ teknolojileri prototipin üzerinde taşıdığı üretilebilirlik kriterleri de değerlendirildiğinde geleneksel ve geleneksel olmayan üretim yöntemlerine göre daha verimli üretim zamanı ve maliyet sonuçları verdiği bilinmektedir. HPÜ teknolojileri arasındaki üretilebilirlik kriterleri uygun HPÜ cihazını seçmede önemli bir etkidir. Bu seçimi tamamlayacak diğer etkenler ise bu çalışmanın konusu olan üretim zamanı ve maliyet etkenleridir.

5. KAYNAKÇA

[1] 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).

- [2] 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).
- [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] APAK, S., KORKUT, İ., DÜNDAR, K., Hızlı Prototipleme Tezgahlarında Üretilen Parçaların Maliyet Araştırması, **4. Uluslar Arası İleri Teknolojiler Sempozyumu**, Konya, (2): 426-430 (2005).
- [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> (Erişim Tarihi: 01.01.2010)