

## **HIZLI DİREKT İMALAT YÖNTEMLERİ VE UYGULAMALARI**

**Mehmet Mahir SOFU<sup>1</sup>, Kamil DELİKANLI<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi CAD/CAM Araştırma ve Uygulama Merkezi-İSPARTA  
E-posta: [msofu@sdu.edu.tr](mailto:msofu@sdu.edu.tr)

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü-İSPARTA  
E-posta: [kdelikan@mmf.sdu.edu.tr](mailto:kdelikan@mmf.sdu.edu.tr)

### **Özet**

Yaklaşık on yıl önce hızlı prototipleme konsepti olarak ortaya çıkan stereolithography (SLA) teknolojisi günümüzde hızlı ve direkt imalatın geleceği olarak görülmektedir. Bu çalışmada hızlı prototipleme ve hızlı imalat teknolojilerinin oluşumu ve gelişimi ele alınmıştır. Ayrıca hızlı direkt imalat yöntemleri ile elde edilen direkt kullanılacak serbest formdaki parçaların endüstriye getireceği vizyon incelenmiş, bu yöntemlerle üretilmiş parçaların kullanım alanları ile ilgili bilgiler verilmiştir. Sonuçta ise bu teknolojinin sağladığı avantajlar üretim teknolojilerinde açtığı yeni ufuklar hakkında bilgiler verilmiştir.

### **Abstract**

Stereolithography (SLA) technology which is until 1990 is future of rapid and direct manufacture. The purpose of this study is important and development of rapid prototype and rapid manufacture. Free-form article which can use directly is obtained from direct rapid prototype method and investigate of their additive on industry. In this paper detail, we explain article's application area as a result, based on advantages this technology may be promising novel for manufacture.

### **1. GİRİŞ**

Günümüzün üretim dünyasında ürünün pazara sürüm süresinin kısaltılması firmaların rekabetçi kalabilmeleri için önemlidir. Bu sürecin kısaltılmasının yanında, pazara sunumdan sonra gelecek sorun giderici tasarım gereksinimlerinin de minimize edilmesi hatta sıfırlanması bir diğer önemli, tamamlayıcı koşuldur. Küresel rekabetle birlikte ürünlerin pazardaki yaşam sürelerinin kısaltılması, ürün geliştirme süreçlerinin sıklaşmasını sağlamıştır. Her sektörde olduğu gibi üretim sektöründe artan teknolojik olanaklar ile ürün geliştirme sürecinin kısaltmaya devam ettiği gözlenmektedir. Günümüz tasarım ve üretim dünyasında müşteri odaklı ürün geliştirme artık kaçınılmaz bir gerçektir.

Bu teknolojilerinin de geliştirip uygulamaya aktarılması, rekabet avantajı açısından büyük önem taşımaktadır.

Hızlı prototip teknolojileri (bunlara hızlı üretim teknolojileri de denebilir) hızla gelişmekte olan bir teknoloji olarak aşağıda sıralanan konular üzerinde çalışmaların yapılması ülkemizin önemli bir teknolojiye iyi bir yere gelmesini sağlayacaktır.

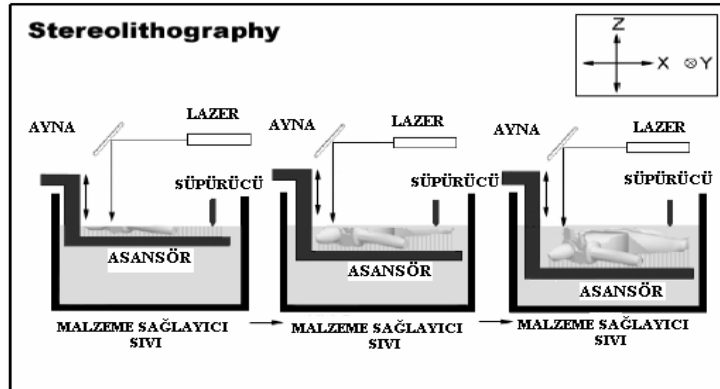
- Kimyasal ürünler dahil, prototiplerin simülasyonlar ile sanal ortamda yaratılması
- Malzemelerin sıvı, toz veya katı halde, lazer ve diğer yöntemlerle foton veya ısı uygulayarak bilgisayar kumandası ile (kalıp aparat olmadan) şekillendirilmesi

- Özel malzemelerin çok yüksek hızlarda talaş kaldırarak işlenmesi ile yapılan hızlı kalıp ve aparatların kullanılması ile şekillendirilmesi
- Hızla yapılan kalıplarda çok yüksek hidrolik basınç veya detanasyon gücü kullanılarak şekillendirme;
- Üretim hatalarının simüle edilmesi, sanal ortamda üretim gerçekleştirme ve tasarım doğrulama

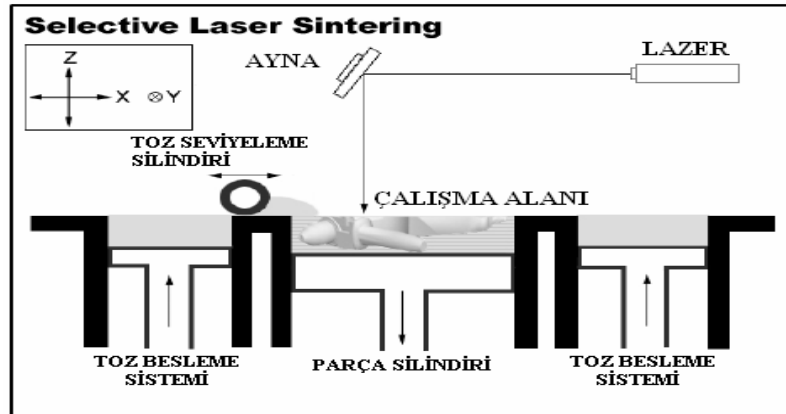
Bu noktada 80'li yılların ortalarında yılların başında gelişmeye başlayan Hızlı Prototipleme çalışmaları artık üretimin her aşamasında hızla yer alarak 90'lı yıllarda seçici lazer sinterlemesi SLS ve seçici lazer ergitme sistemleri gelişerek metal tozlarından direkt parça imalatına geçilmiştir. Bu bağlam içindeki teknolojiler önce prototip, daha sonra pilot parti üretiminde kullanıldıktan sonra; ürünü pazara daha da hızlı sokmak üzere, ağır üretim teçhizatının devreye alınmasına kadar seri üretimde de başarı ile kullanılmaktadır. Hızlı prototip teknolojilerinin esasları ( bunlara hızlı üretim teknolojileri de denilebilir), malzemelerin sıvı, toz veya katı halde, lazer ve diğer yöntemlerle foton veya ısı uygulayarak bilgisayar kumandası ile (kalıp, aparat olmadan) şekillendirilmesi şeklinde açıklanabilir[1].

Bu teknoloji Serbest Şekil Fabrikasyon, (Free Form Fabrication, FFF), hızlı prototip teknolojileri, katmanlı üretim (Laminated Object Manufacturing, LOM) gibi ifadelerle de tanımlanmaktadır.

Hızlı direkt imalat sistemleri bilgisayarlı 3D tasarımdan, direkt olarak hedef parçayı ya da aparatı ürettiklerinden ürün geliştirme sürecine önemli bir katkı sağlamaktadırlar. Stereolithografya ile başlayan ve günümüzde selective lazer sintering adı altında çalışan hızlı direkt prototipleme cihazlarının şekilleri şekil 1. ve şekil 2. de verilmiştir.



Şekil 1. STL yöntemi çalışma algoritması



Şekil 2. SLS yöntemi çalışma algoritması

## 2. HIZLI İMALAT YÖNTEMLERİ VE UYGULAMA ALANLARI

Üretilmiş olan hızlı prototip cihazlarının çalışma prensibindeki ortak yön, bilgisayarda 3D CAD ortamında oluşturulan parça STL formatında hazırlanıp prototip makinesinde katmanlar halinde inşa edilmesidir. Fakat katmanların oluşturulma tekniği ve inşa hammaddesi olarak kullanılan malzemenin özelliği çok farklı olabilmektedir. Buna bağlı olarak hızlı prototip cihazları, kullandığı teknolojiye göre, Işıklı Kür, Toz Bağlama, Harç Yığıma ve Tabaka Yığıma olarak dört ana kategori altında toplanabilir. Bu sistemlerin bize sağladığı teknoloji önceleri 3D CAD tasarımı yapılan numunelerin tasarımdaki hatalarını görmek veya kullanıma uygunluğunu tespit etmek için hızlı imalat teknolojisi sonucu oluşan prototip üzerinde inceleme yapmaya iman sağlamıştır. Son yıllarda gelişen teknoloji ile SLS ve SLM makineleri prototip anlayışını kırarak direkt kullanım olanağı sunmuştur.

1980 yılında Japon, Hideo Kodama tarafından yapılan çalışmada, hazırlanan özel bir sıvı haldeki reçine malzemedan, seçmeli lazer yöntemiyle parça prototipi üretimi üzerine bir çalışma yapılmıştır. 14 yılında Chuck Hull, bu teknolojinin patentini almış ve 3D Systems'i kurarak ilk ticari hızlı prototipleme cihazlarını üretmeye başlamıştır. 1986 yılında Teksas üniversitesinde yüksek lisans yapan Carl Deckard ise, 100W'lık Nd-YAG lazerden oluşan bir sistem tasarlayarak doğrudan plastik tozundan hızlı prototipleme yapan bir cihaz geliştirmiştir. Deckard geliştirdiği sistemi ilk olarak PGLSS (Part Generation by Layerwise Selective Sintering) olarak adlandırmış ardından bu ismi SLS (Selective Laser Sintering) olarak değiştirmiştir. Teksas üniversitesi, DTM (Desktop Manufacturing) isimli bir firmaya projeyi, ticarileştirmesi için devretmiştir. DTM ilk kullanılabilir Lazer sinterleme sistemini üretmiş ve Ekim 1992'de piyasaya sürmüştür[2].

1989-1990 yıllarında, Teksas üniversitesi doğrudan metal lazer sinterleme (DMLS) teknolojisi üzerinde çalışmaktaydı, ancak tek fazlı kurşun, çinko ve alüminyum metaller üzerinde yapılan bu ilk çalışmalar başarısızlıkla sonuçlanmıştır. 1990'ların başlarında farklı daha pek çok araştırma enstitüsü benzer konularda çalışmalara başlamıştı. İlk başarılı sonuçlar, 1994 yılında 316L paslanmaz çelik kullanan Fraunhofer IPT ve Fe-Cu karışımları kullanan Katolik Leuven Üniversitesi tarafından rapor edilmiştir[2].

İlk ticari DMLS sistemi EOS tarafından geliştirilen plastik lazer sinterleme teknolojisi ve Electrolux, hızlı gelişim bölümü Rusko, Finlandiya'nın geliştirdiği toz metalurji ürünlerinin bileşiminden 1994 yılında ortaya çıkmıştır. 1995 sonunda, Alman kamu projesi olarak, DMLS işleminde tek bileşenli seramik ve 1.4404 çeliği gibi metal malzemelerin tam ergitilmesiyle tam yoğun parçalar oluşturulmasına yönelik bir proje başlatılmıştır. Proje sonunda tek bileşenli seramik ve metal malzemelerin tam ergitilmesiyle tam yoğun parçalar elde edilmesi için uygun parametreler tespit edilmiştir[2].

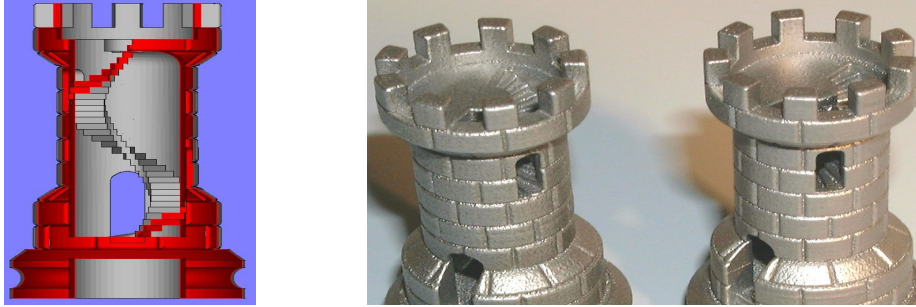
Ayrıca geçen iki yıl içerisindeki yurtdışındaki çalışmalarda tıp alanında implant üretimi denemeleri yapılmış ve başarı sağlanarak uygulamaya geçilmiştir. Aşağıdaki şekil 3. de karmaşık bir implant örneği normal üretim teknikleri ile çok uzun sürelerde üretilen implantların SLS makineleri vasıtası ile titanyum tozlarını kullanarak çok kısa sürede imal etme olanağı sağlamaktadır.



Şekil 3. hızlı direkt imalattaki implant uygulamaları[3].

Tıp ananında kullanımı tomografi ve MR dalarının bilgisayar ortamında aracı programlar vasıtası ile 3D CAD datalarına dönüştürülerek SLS ve SLM makinelerinde implant üretimi üzerine çalışmalar devam etmektedir.

SLS ve SLM cihazlarının en önemli özelliklerinden biride klasik imalat yöntemleri ile üretilemeyecek kadar karmaşık olan parçaların çok hızlı bir şekilde imalatı gerçekleştirilmesidir. Şekil 4. de karmaşık yapıdaki bir yapının nasıl işlendiği verilmektedir.

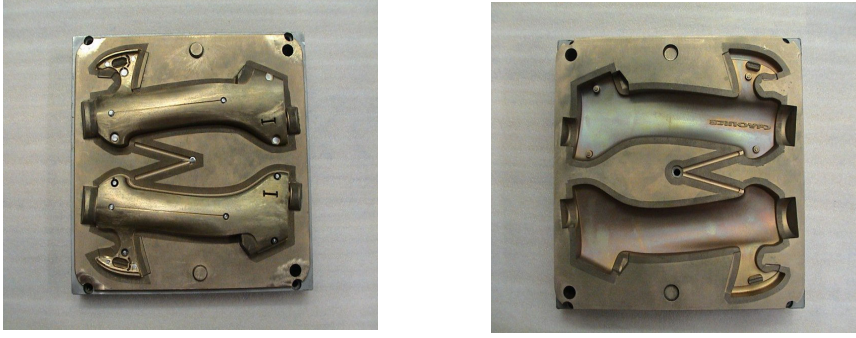


Şekil 4. karmaşık yapıdaki parçaların direkt rapid prototype ile üretimi[3].

Şekil 5. da bir kepçeye ait plastik malzemeden yapılmış hareket joystick'i görülmektedir, bu parçanın üretiminde aşağıdaki şekil 6. da görüldüğü gibi bir plastik enjeksiyon kalıbı yapılmıştır. Bu kalıp blokları 15 ayrı parçadan oluşmaktadır ve SLS makinesi ile hızlı direkt imalat yöntemi ile 4 haftadan az bir sürede oluşturulmuştur. Dişi kalıp 20µm tarama aralığın da 72 saatte oluşturulmuştur. Erkek kalıp ise 40µm tarama aralığın da 37 saatte oluşturularak 1000 parçaya kadar mükemmel baskı alınmıştır.



Şekil 5. plastik joystick[3].



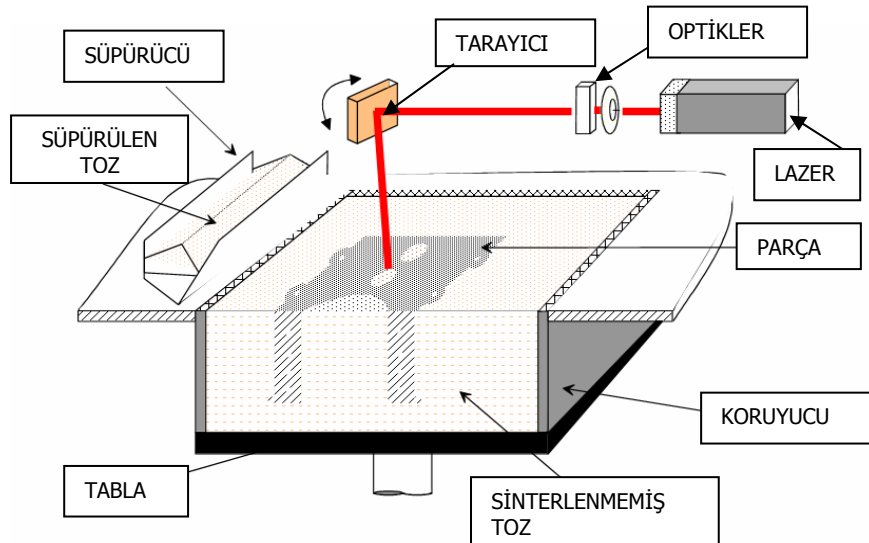
Şekil 6. joystick'in plastik enjeksiyon kalıpları[3].

### 3. SLS VE SLM CİHAZLARININ ÇALIŞMA PRENSİBİ

SLS ve SLM cihazlarında işlem sırası data oluşturulması, inşa, yüzey işlemleri olarak üç grupta sıralaya biliriz. Data oluşturulması her hangi bir CAD programında 3D model olarak tasarlanması ve CAD dosyasının STL uzantılı kaydedilmesidir. STL uzantısı parçayı poligon yaklaşımı kullanarak dönüştürmesi hızlı imalatta basitlik ve kullanılışık kazandırmaktadır. Hızlı imalat için kullanılan cihazlarda STL formatı standartlaştırılmıştır. Sonrasında eldeki STL formatlı modelimiz rapid prototip cihazının yazılımında açılır. Açılan model yazılım tarafından parçanın yüksekliği boyunca yatay katmanlara bölünerek (metaller için 0.05mm) SLS ve SLM cihazlarının parçaları inşa sırasın kullanılmak üzere hazırlanır

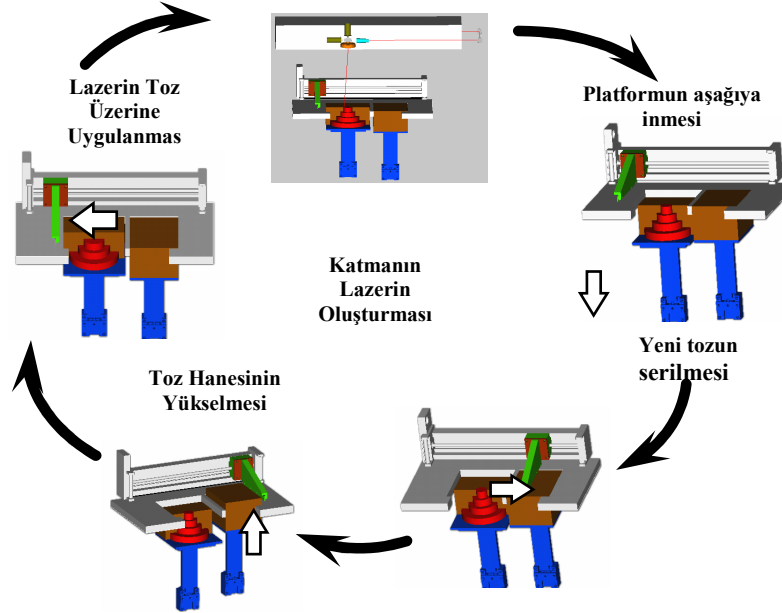
İnşa süresinde ise akış şöyle gelişir, ilk önce yapılacak parçanın hangi alaşımdan veya metalden yapılacağı tespit edilir bu seçim üretimden sonrada malzemenin mekanik özelliklerini de etkileyecektir. Metal tozu SLS ve SLM cihazlarının üretici firmaları tarafından mekanik özelliklere göre veya kullanım alanlarına göre özel olarak hazır hazırlanmaktadır. Metal tozunun tane boyutu da (yaklaşık boyut 4 $\mu$ ) işlenebilirlik açısından da burada önem kazanmaktadır. Metal tozu seçiminden sonra makinenin kartuşunu bu toz ile doldurarak işleme başlanır[4]. Şekil 7. de bir SLS makinesinin hangi elemanlardan oluştuğu görülmektedir.

Burada gücü 80W ile 200W arası gücü olan lazer ile odağı optikler vasıtası ile değiştirilebilmektedir. Eksen hareketleri bir tarayıcı sayesinde tek odaktan sağlandığı gibi aynalar kullanılarak yüksek hızlarda hareket eden lineer motorlu sistemlerle veya şekil 7. deki gibi scanning sistemlerde uygulamada kullanılmaktadır.



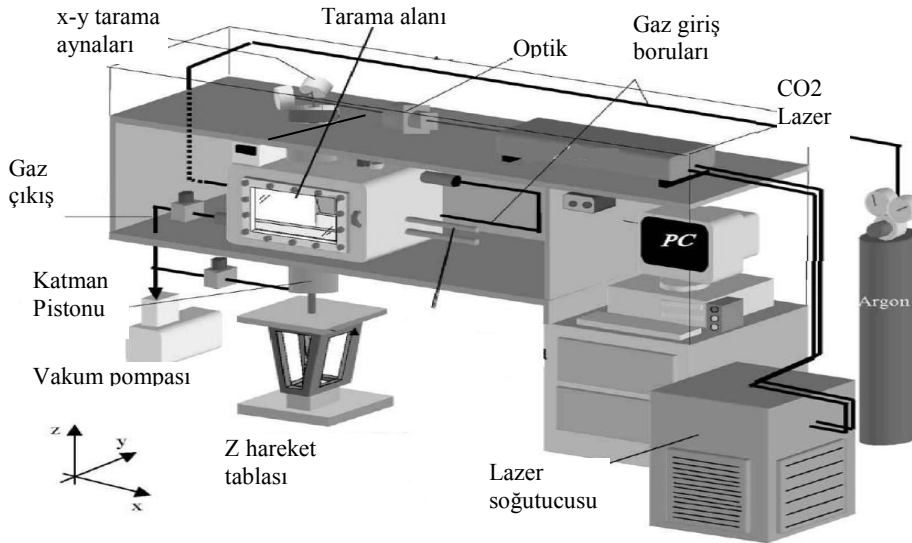
Şekil 7. SLS makinesinin elemanları [3].

Önceden STL formatından cihazın yazılımı tarafından katmanlara bölünen parça şekil 8 deki gibi bir toz havuzunda tablanın düşey ekseninde her hareketi bir katmana eşit olacak şekilde lazer tarafından her katmanda katmandaki parça görünüşü sinterlenmektedir. Katmanların taranması sırasında parçanın oluşturulacağı yerleri lazer yakmakta boş geçecek yerleri lazer sistemi kesilerek boş geçmesi sağlanmaktadır. Her katmanın sinterleme işlemi bittikten sonra ve tabla aşağı yönde bir katman oluşturacak kadar (20µ kadar) hareket etmektedir. Süpürücü vasıtası ile yeni toz havuz üzerine serpilerek işlemler tekrarlanır.



Şekil 8. SLS makinesinin çalışma prensibi

Aşağıdaki şekil 9. de bir SLS makinesinin elemanları gösterilmektedir. Genellikle SLS makinelerinde ortamda bir gaz bulunmaktadır. Bu gaz genellikle argon gazıdır. Korozif ortamdan kurtaracağı gibi aynı zamanda lazerin tanecikleri kaynağını sağlıklı yapması için kullanılmaktadır. Lazer bir güç ünitesi tarafından beslenmekte ve sabit bir şekilde lazer ışını üretmektedir. X ve Y eksenlerindeki hareket tarama aynalarının hareketleri ile verilmektedir. Katmanların oluşumu ise z eksenindeki bir hareket kontrol ünitesi vasıtası ile verilmektedir.



Şekil 9. SLS makinesinin elemanları [6].

## 4. SONUÇ

Sonuç olarak hızlı direkt imalat/prototip sistemlerinden seçici lazer sinterleme ve seçici lazer ergitme yöntemlerinin imalat sektörüne katkısı büyük bir hızla artmaktadır. Klasik imalat yöntemleri ile üretimi uzun süren veya üretimi olanaksız olan parçaların, şekil 5. deki örnekten de anlaşılacağı üzere hızlı ve kolay üretim olanağı vermesi bu teknolojilerin gelecekte daha fazla kullanılmasına neden olacaktır. Üretilecek parçanın prototipinin gerçek malzemesinde ve gerçek boyutunda olması denemelerde daha az hata ve daha çok süre kazandıracaktır. Ayrıca üretilen parçaların direkt kullanımının sağladığı avantajlar hiç kuşkusuz ki çok büyüktür. 3D systems firması tarafından üretilen Laserform ST-100 malzemesi ile SLS makinensin de üretilen bir enjeksiyon kalıbında 100.000 adet basım yapılabileceğinden bahsetmektedir[5].

Tıp alanındaki gelişimi incelendiğinde bu teknolojinin implant üretiminde ve MR dataları ile tomografi datalarını kullanarak implant imalat edilebilirliği sayesinde bu alana büyük kolaylık ve bire bir adaptasyon sağlamaktadır.

Parçaların katman halinde üretilmesi bir homojenlik sağlayacağından malzemenin içyapısındaki mekanik özellikler farklılık göstermeyecektir. Lazerin tozlar üzerindeki hızı, katman kalınlıkları, lazerin gücü ile istenen yüzey pürüzlülüğü değerinde üretim yapılmasına olanak vermektedir.

## 6. KAYNAKÇA

- [1] Burghilde M. Wieneke, Toutaoui and Hans W. Gerber "rapid prototyping technology-new potentials for offshore and abyssal engeneering" 2003-jsc-314
- [2] M.Shellabear,O.Nyrhillä "DMLS-Development history and state of the art" lane 2004 conferance,erlangen,germany 21-24
- [3] EOS GmbH, Krailling/Munich, Germany [www.eos.info](http://www.eos.info)
- [4] B.Ódonnchadha, A.Tansey "A note on rapid metal composites tooling by selective laser sintering" journal of materials processing tecnology 153-154 (2004) 28-34
- [5] 3D systems company 26081avenue hall valencia, CA 91355 USA [www.3dsystems.com](http://www.3dsystems.com)
- [6] M M Dewidar, K W Dalgarno ve C S Wright. processing conditions and mechanical properties of high-speed stell parts fabricated using direct selective laser sintering J. Engineering manufacture vol. 217 page 1651-1663 2003