



# Katmanlı Üretim Havacılıkdaki Uygulamaları

Banu AKTİMUR<sup>1,\*</sup>, Eyüp Serdar GÖKPINAR<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*TAI-TUSAŞ (Turkish Aerospace Industries)/ Technology Management, Ankara, Turkey*

*Başvuru: 14/08/2014 Düzeltme:14/10/2014 Kabul: 15/02/2015*

## ÖZET

Son yıllarda, katmanlı imalat teknikleri oldukça ilgi görmektedir. Bugünlerde dijital imalat (3B üretim, katmanlı üretim ya da hızlı prototipleme) üçüncü sanayi devrimi olarak görülmektedir. Malzeme eksiltilecek yapılan geleneksel imalat yöntemlerinden farklı olarak, malzeme eklenmesi ile yapılan bu yöntem havacılık endüstrisi (tıp, otomotiv endüstrileri) alanında hızla artmaktadır. Boeing, GE Havacılık, Airbus, Bell Helikopterleri, Northrop Grumman, Lockheed Martin, gibi büyük havacılık şirketleri katmanlı imalat süreçlerini ve malzemelerini uçuş için kalifiye etmek amacıyla yoğun olarak çalışmaktadırlar. Havacılık endüstrisinde üretim yapan çoğu şirket geleneksel yöntemlerle imalatı mümkün olmayan kompleks yapıları parçaların, farklı malzeme kullanılarak katmanlı üretim teknikleri ile üretimlerinin mümkün olduğunu düşünmektedirler. Katmanlı üretim teknikleri kullanılarak, direkt 3 boyutlu modelden başlanarak, dövme ve talaşlı imalat ile işleme yerine, malzemelerin eritilmesinin ardından yeni nesnelerin inşası mümkündür. Katmanlı imalat ile iyi yüzey kalitesine sahip ve nete yakın ölçülerde oldukça karmaşık kompleks yapılar üretilebilmektedir. İşleme prosesini neredeyse tamamen elimine ederek karbon emisyonunda ve maliyetlerde büyük tasarruf sağlanabilir. Bu yöntemin avantajları dikkate alınarak TUSAŞ mühendisleri bu doğrultuda geleceğe yönelik çalışmalara başlamıştır. Bazı TUSAŞ özgün projelerinde kullanılması amacıyla ilk aşamada ikincil yapılarda denenmek üzere katmanlı üretim tezgahının TUSAŞ tarafından sahip olunması ve proses kalifikasyonunun yapılması planlanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** *Katmanlı üretim, 3 boyutlu, Metalik malzemeler, Polimerik malzemeler, Havacılık*

## ABSTRACT

Additive Manufacturing techniques are receiving a considerable attention in recent years. Nowadays the digital manufacturing (3D printing, additive manufacturing or rapid prototyping) is mentioned as 3<sup>rd</sup> industrial revolution. Unlike the conventional method of material removing, this method which is applied by addition of materials is increasing rapidly in aerospace industry, (medical and automotive industry). Large aerospace companies, such as Boeing, GE Aviation, Airbus, Bell helicopters, Northrop Grumman, Lockheed Martin are hard at work qualifying additive manufacturing (AM) process and materials for flight. The companies manufacturing in aerospace industry mostly believes that AM presents a massive opportunity to create complex shapes, some of which would be impossible to manufacture using conventional methods, with different materials. Using AM techniques, materials can be fused to form objects from 3D models, building up structures iteratively instead of taking forgings and then machining material away. AM can produce highly complicated near-net-shape geometries with a good surface finish. By almost eliminating the machining process, can make great savings in cost and carbon emissions. Considering the advantages of this method, TAI engineers started to work for the future in this regard. It is planned to have AM equipment and perform process qualification at TAI, in order to use for some TAI design projects for the secondary structures in the first phase.

**Keywords:** *Additive Manufacturing, 3D Printing, Metallic materials, Polymeric materials, Aviation*

## 1. GİRİŞ

Katmanlı imalat; üç boyutlu şekilde hazırlanan bilgisayar destekli tasarımlardan (ing: Computer Aided Design, CAD) direkt elle tutulur fiziksel modeller elde etmeyi sağlayan imalat teknolojisidir. Hızlı prototipleme cihazları vasıtasıyla bilgisayarda çizimi yapılmış her türlü ürünün birebir modelini saatler içerisinde elde etme imkânı doğmuştur. Hızlı prototipleme cihazları kendi içerisinde farklılıklar göstermekle beraber prensipleri aynıdır. Bu yöntemde fiziksel modeller tabandan başlayarak katman katman yüzeylerin üst üste eklenmesiyle oluşturulmaktadır.

3B geometriyi birbirine bağlı üçgen şeklindeki düz yüzeylerle ifade eden standart üçgenleştirme dili (ing: Standard Triangulation Language, STL) geliştirilmiş ve kullanım kolaylığı sebebiyle kısa sürede yaygınlaşarak piyasada bir standart haline gelmiştir. Eğimli yüzeylere sahip bir parçanın üçgenlerle ifade edilmesi belli bir hata payı oluşturmaktadır ama üçgen sayısının yeterince fazla tutulması sayesinde CAD dosyasındaki hata payı üretim hatasının altına indirilebilmektedir [1].



Şekil 1. Katmanlı Üretim Aşamalarının Şematik Gösterimi [1]

Hızlı prototipleme teknolojilerinin esas kullanım amacı, ürün geliştirme süreçlerinde yaşanan problemlere çözümler getirmektir. Bilgisayarda çizilen 3B tasarımların seri üretime geçmeden önce prototiplerinin hazırlanması ve çeşitli testlerden geçmesi gerekmektedir. Bu süreç geleneksel yöntemlerle günler hatta haftalarca sürebilir. Hızlı prototiplemeyle ise saatler içerisinde gerçekleştirilebilmekte ve elde edilen yapılar hem görsel hem de fonksiyonel açıdan test edilebilmektedir. Olası tasarım değişikliklerine bu prototipler üzerinden karar verilerek gerekli değişiklikler hızlıca uygulanmaktadır [2][3].

## 2. KATMANLI ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Katmanlı üretimde, farklı malzeme ve gereksinimlere uygun birçok kategori ve üretim yöntemi bulunmaktadır. Temelde; sıvı, toz ve katı bazlı yöntemler olarak kategorize edilebilirler.

Bu teknolojinin terminolojisi 'Katmanlı İmalat Teknolojisi Standartlarında' ASTM F2792 standardı ile oluşturulmuştur [4].

Standardizasyon çalışmaları için ASTM F42 komitesi kurulmuştur ve beş alt komite oluşturulmuştur. Bu alt komiteler aşağıdaki gibidir.

- F42.01 Test metodları

- F42.02 Prosesler
- F42.03 Malzeme
- F42.04 Tasarım
- F42.91 Terminoloji

### A. Sıvı Bazlı Yöntemler

Sıvı bazlı katmanlı üretim yöntemleri aşağıdaki gibidir.

- Sterolitografi (ing: Stereolithography)
- Fıskırtma Sistemleri (ing: Jetting Systems)
- Direkt Işık Prosesi (ing: Direct Light Processing)
- Yüksek Viskoziteli Fıskırtma (ing: High Viscosity Jetting)
- Matris Destekli Lazer Darbeli Buharlaştırma Prosesi (ing: MAPLE DW: Matrix Assisted Pulsed Laser Evaporation Direct Write)

### B. Toz (Pudra) Bazlı Yöntemler

Aşağıdaki tabloda toz bazlı üretim teknikleri gösterilmektedir [5].

Tablo 1. Toz Bazlı Katmanlı Üretim Yöntemleri

Toz Bazlı Katmanlı Üretim Yöntemleri	
Yöntem	Malzeme
Seçmeli Lazer Sinterleme (ing: Selective Laser Sintering)	Polimerler & Seramik & Metaller
Direkt Metal Lazer Sinterleme (ing: Direct Metal Laser Sintering)	Metaller
3B Baskılama (ing: 3D Printing)	Polimerler & Metaller
Erimiş Metal Çökeltme Sistemleri (ing: Fused Metal Deposition Systems)	Metaller
Elektron Işınıyla Eritme (ing: Electron Beam Melting)	Metaller
Seçmeli Lazer Eritmesi (ing: Selective Laser Melting)	Polimerler & Metaller
Seçmeli Engelleme ile Sinterleme (ing: Selective Inhibition Sintering)	Polimerler & Metaller
Elektrofotografik Katmanlı Üretim (ing: Electrophotographic Layered Manufacturing)	Polimerler & Metaller
Yüksek Hızlı Sinterleme (ing: High Speed Sintering)	Polimerler & Metaller

### C. Katı Bazlı Yöntemler

Katı bazlı üretim yöntemleri aşağıdaki gibidir.

- Saç İstifleme Teknolojisi (ing: Sheet Stacking Technology)
- Eriyik Biriktirme Modellemesi (ing: Fused Deposition Modelling) (FDM)

TUSAŞ tesislerinde mevcut olarak polimerik malzeme kullanımı ile uygulanan yöntem FDM yöntemidir. Bu yöntemde şerit halindeki plastik ham madde ekstrüzyon kafasına iletilir. Burada malzeme ısıtarak eriyik hale getirilir. Ekstrüzyon kafası 2 eksenli bilgisayar destekli üretim (ing: Computer Aided Manufacturing, CAM) yazılımı ile hareket edebilen bir yapıdadır ve eriyik malzemeyi damlalar halinde boş bir tepsiye püskürtürerek parçayı oluşturacak ilk katmanı oluşturur. Her katmanda tepsi bir adım aşağıya iner ve böylece parça katmanlar halinde inşa edilir. Püskürtülen malzeme anında katlaşır ve tüm katmanların inşası tamamlandığında parça tepside sökülür. İnşa sırasında destek görevi gören bir yapı oluşur ve üretim tamamlandıktan sonra bu yapı parçadan sökülür. İnşa malzemesi olarak genellikle Akrilonitril Butadien Stiren (ABS) ve Poli Karbonat (PC) kullanılır. Destek malzemesi mekanik yöntemlerle parçadan sökülmeyle birlikte son yıllarda geliştirilen yeni malzemeler suda çözünebilir niteliktedirler.

TUSAŞ'da metalik malzemeyle katmanlı imalata uygun alt yapı çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Seçmeli Lazer Eritmesi (SLM) tekniğinin kullanılması planlanmaktadır. SLM yönteminde, ince tabakalar halindeki atomize ince metal tozu, genellikle metal olan ve dikey (Z) ekseninde hareket eden bir alt tabaka levhası üzerine bir kaplama mekanizması kullanılarak dağıtılır. Bu, inert gaz (argon ya da azot gazı) ile sıkı kontrollü bir ortam ihtiva eden bir bölmenin içinde yer alır. Her bir katman, 2B oluşturmak üzere, lazer ışınının yönlendirilip seçmeli şekilde toz yüzeyine uygulanmasıyla birleştirilir. Lazer enerjisi erimenin tam olarak sağlanması için yeterince yoğunur. Ardından tekrar katı metal partiküllerinin oluşturulmaktadır. Parça tamamlanana kadar bu işlem katman, katman uygulanarak tekrarlanır.

Katmanlı üretim teknikleri havacılık uygulamaları için oldukça avantajlıdır. Bazı avantajları aşağıda sıralanmıştır.

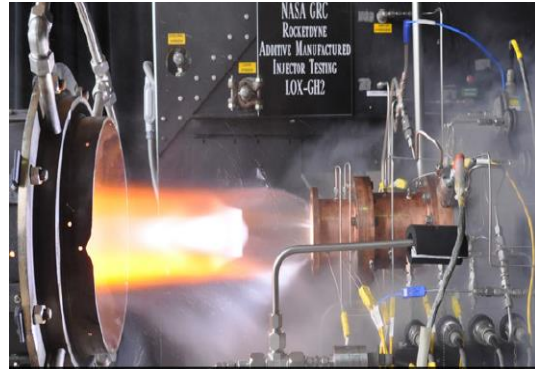
- Üretim aşamasında kalıp kullanılmayacağından, kalıp tasarımı ve kalıp üretimi faaliyetlerinden işçilik ve maliyet kazancı sağlanmaktadır.
- Tasarımsal değişiklikler sebebiyle, kalıp modifikasyonları yapılmak zorunda kalmırken bu yöntemle kalıp modifikasyonuna gerek olmayacağından, işçilik ve maliyet kazancı sağlanmaktadır.
- Kompleks yapıları parçaların bu yöntemle üretilebilirliğinin kolay olmasından, tasarımsal esneklik elde edilmektedir.
- Yeni ve değişik malzemelerin yine kalıp maliyetleri olmadan hızlı ve ucuz bir şekilde denenmesine imkan sağlanmaktadır [5].

Stratasys firmasının verdiği bilgilere göre katmanlı üretim sayesinde, geleneksel yöntem ile karşılaştırıldığında maliyet olarak %58 ve zaman olarak %92 kazanç olacağı ön görülmüştür [6].

### 3. HAVACILIK ENDÜSTRİSİNDE KATMANLI ÜRETİM TEKNİKLERİNİN KULLANIMI

Havacılık firmaları son yıllarda, bu konuda önemli gelişmeler sağlamıştır. Bazı gelişmelerden örnekler aşağıda sıralanmıştır.

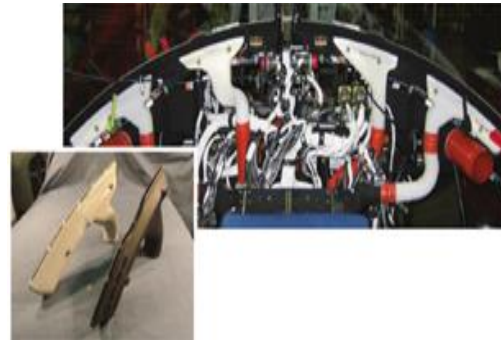
Rolls-Royce firması katmanlı imalat tekniği ile bazı jet motoru parçalarının üretilmesinin planladığını bildirmiştir. ABD'de NASA Haziran 2013'deyine bu yöntemle üretilmiş parçalara sahip olan roket motorunu test etmişlerdir. Amerikan Donanması F/A-18 (Hornet) jeti için 83 ve JSF için 300'den fazla plastik parça üretmiştir.



Şekil 2. NASA- Roket Motoru Testleri [7]

Lockheed Martin firma yetkililerinin 2013 Ekim ayındaki konuşmasında uzay uçuşları için bu yöntem ile titanyum parçaların deneneceğini iletirken, NASA uluslararası uzay istasyonuna 2014 yılında katmanlı üretim ekipmanı koymayı planladıkları bildirilmiştir. Ayrıca BAE systems tarafından üretilen Tornado jetindeki katmanlı üretim teknikleri ile üretilen parçaların, hava girişi destek dikmeleri, kalkış dingilleri için koruyucu parçalar, ve kokpit içindeki radyo bölgelerindeki kapakları olduğunu bildirilmiştir [7].

Bell Helikopterleri firması, LS, SL ve FDM yöntemlerini kullanabilecek alt yapıya sahip olduğunu belirtmiştir. Bell 429, 525 ve 412 modellerindeki bazı yapılar (örneğin Bell 412 modelinde havalandırma ve buğu önleyici sistemleri) için katmanlı imalat yöntemi kullanılmıştır. Bu esnada ise proses kalifikasyon çalışmaları başlamış bulunmaktadır [8].



Şekil 3. Bell 412 Helikopteri-Buğu Önleyici Sistemleri [8]

LZN (Laser Zentrum Nord), ILAS (The Institute of Laser and System Technologies) ve Airbus firmalarından oluşan şirketler birliği; kabin içinde bulunan mutfak, lavabo, dolap gibi yapılarını uçağın ana yapısına tutturarak braketleri yeniden tasarlayarak katmanlı üretim tekniği ile üretimini gerçekleştirmiştir ve ilk testlerde mükemmel statik dayanım özellikleri elde edilmiştir. Tasarımsal farklılıklar sayesinde geleneksel yöntem tasarıma göre daha hafif yapı eldesi için tasarım imkanı bulunmaktadır [9].

Tasarımsal değişikliğiyle ağırlık kazancındaki avantaj Şekil 4 ve 5’de gösterildiği gibi açıkça gözlenebilmektedir.



Şekil 4. LZN-ILAS & AIRBUS Konsorsiyumu-Kabin İçi Braket [9]



Şekil 5. EADS - Motor Kapak Mentşesi [9]

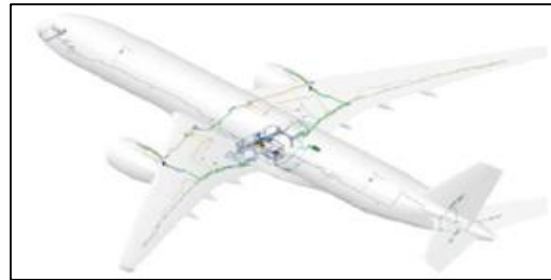
GE Havacılık, 2012 Kasım ayında bu konuda uzman olan ‘Morris Technologies’ ve ‘Rapid Quality Manufacturing’ firmalarını satın almıştır. ‘Morris

Technologies’ firmasının SLS, SL, CNC işleme vb. konularda ürün tasarımı ve geliştirmesi hizmetleri bulunurken ‘Rapid Quality Manufacturing’ firması ise katmanlı imalat ile metal yapıların üretimini yapmaktadır. GE Havacılık ve ‘Snecma’ firmasının ortaklığı ile kurulan ‘CFM’ şirketinin geliştirdiği sıçrama motorunun bazı parçalarını katmanlı imalat yöntemiyle üretmeyi düşünmektedir. Yüksek ısıya dayanıklı yeni malzemelerin kullanılacağı ve %15 yakıt tasarrufu sağlayacak olan bu jet motoru Airbus A320 neo serisi için de güç kaynağı seçeneklerinden birisi olarak düşünülmektedir [10].



Şekil 6. CFM - Sıçrama Motoru [10]

Airbus - Leibherr - Chemnitz Üniversitesinin ortak çalışmasında Airbus uçağının hidrolik sistemlerine ait bazı parçalarının, Şekil 8 ve 9’da görüldüğü gibi, katmanlı üretim teknikleriyle üretilmesine karar verilmiştir.

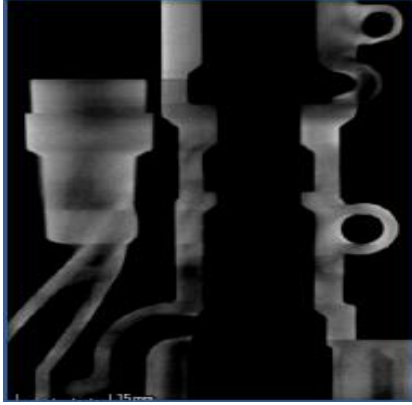


Şekil 7. Airbus&Leibherr&Chemnitz University- Airbus hidrolik sistemlerinin uçaktaki yerleşimleri [11]

Sıcak izostatik presleme (ing: HIP: Hot Isostatic Pressing) öncesi ve sonrası küçük gözenekleri belirlemek için mikro odaklı bilgisayar destekli tomografi (ing: Microfocus Computed Tomography) kullanılmıştır. Şekil 9’da görüldüğü gibi gözenek oluşumu gözlenmemiştir [11].



Şekil 8. Airbus Leibherr Chemnitz University- Airbus hidrolik sistemlere ait parçalar [11]



Şekil 9. Airbus Leibherr Chemnitz University- Airbus hidrolik sistemlere ait parçalar- Tomografi [11]

#### 4. TUSAŞ TESİSLERİNDEKİ KATMANLI ÜRETİM TEKİNİĞİ ÇALIŞMALARI

##### D. TUSAŞ'daki Mevcut Kabiliyetler

TUSAŞ tesislerinde mevcut olarak FDM (İng: Fused Deposition Modelling) yöntemi kullanılmaktadır. Bu amaçla Fortus 900mc ve BST 1200 olmak üzere iki adet ekipman temin edilmiştir (Şekil 10).

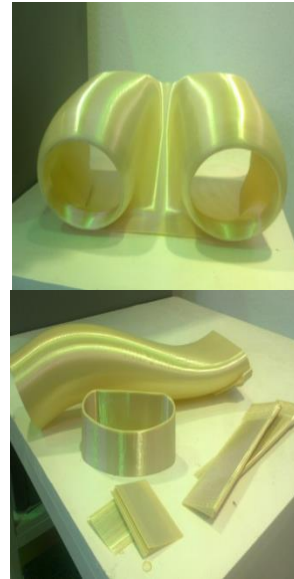
Fortus 900mc ekipmanın üretebileceği maksimum parça boyutları 36x24x36 inch (914x610x914mm), BST 1200 ekipmanın maksimum üretebileceği parça boyutları ise 10x10x12 inch (254x254x305mm)'dir. TUSAŞ'da genel olarak ABS, ULTEM, PC malzeme kullanılarak prototip ve ikincil yapıların üretimleri yapılmaktadır. Malzeme kartuşlar halinde temin edilebilmektedir. Parçaların

tolerans hassasiyeti  $\pm 0.0035$  inch ( $\pm 0.089$  mm) aralığındadır.



Şekil 10. Fortus 900mc ve BST 1200 FDM Ekipmanları

Şekil 11'de gösterilen, özgün insansız hava araçlarına ait bazı parçalar, katmanlı üretim tekniğiyle, mevcut ekipmanlar kullanılarak TUSAŞ tesislerinde üretilmiştir. Bu parçalar genel olarak havalandırma sistemlerinde kullanılan ikincil yapılardır.



Şekil 11. TUSAŞ'ta Üretilen Bazı FDM Parçaları

##### E. TUSAŞ'daki Geleceğe Yönelik Çalışmalar

Havacılık sektöründe metalik malzeme uygulamalarında titanyum alaşımlarının kullanımı önemli ölçüde artış

göstermektedir. Titanyum , kompozit malzeme ile uyumu (kompozite temas eden yüzeylerde çelik ve alüminyuma göre daha az korozyona maruz kalması) ve yüksek yüksek spesifik dayanç özellikleri sebebiyle çok tercih edilmektedir. Bu avantajlar ele alındığında katmanlı üretim tekniğini titanyum alaşımlara yönelik uygulamak TUSAŞ'ın teknoloji yol haritası için uygun olmaktadır.

Bu amaçla titanyum alaşımı malzemeler kullanarak SLM (ing: Selective Laser Melting) yöntemini TUSAŞ kabiliyetlerine dahil etmek için çalışmalar başlatılmaktadır.

Özgün projelerimizden Hürkuş (Temel Eğitim Uçağı) yoğunluklu olarak metalik yapıya sahiptir. Bu sebeple deneme parçası olarak Hürkuş uçağına ait hava ızgarası seçilmiştir. İlk aşamada alüminyum alaşım olarak Alman Infotran firmasından destek alınarak yaptırılan parça deneme amaçlı üretilmiş ve test edilmiştir.



Şekil 12. Hürkuş Hava Izgarası

Katmanlı üretim tekniklerinin tasarım ve üretim kabiliyetlerinin kazanılması, bu amaçla malzeme, proses ve ekipman kalifikasyonlarının kısa bir süre içerisinde gerçekleştirilmesi düşünülmektedir. Yöntemi uygulayacak kalifiye eleman yetiştirilmesi, kalite muayene yöntemlerinin belirlenmesi, proses ve malzeme spesifikasyonlarının yazılması ve böylece gelecekteki yerli muharip eğitim uçağı ve yerli muharip uçağı tasarım ve üretim safhalarında uygulanabilir olması esas hedeflerdendir.

#### F. TUSAŞ'da Yöntemin Kalifikasyon ve Sertifikasyon İşlemleri

Kalifikasyon ve sertifikasyon havacılık sektöründe yeni bir tekniğin kullanılabilmesi için mecburidir. Bu sebeple aşağıda belirtilen kalifikasyon işlemlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

- Malzeme
- Ekipman
- Proses
- Personel

Kalifikasyon işlemi oldukça uzun süren ve maliyetli bir süreçtir. Bu amaçla, imalat mühendisliği, malzeme ve prosesler mühendisliği, kalite teminatı ve üretim bölümlerinin katılımıyla oluşturulan çok fonksiyonlu bir ekip kurulmaktadır. Kalifikasyon sürecinde, üretim yönü etkisi, lazer gücü, katman kalınlığı, toz çapı dağılımı, yoğunluk, yüzey pürüzlülüğü, içyapı, boyutsal özellikler,

fiziko kimyasal ve mekanik özellikler (sertlik testi, çekme testi), kalıntı gerilimi gibi özellikler detaylı incelenecektir. Neticesinde önemli ve ticari gizli veriler elde edilirken gerekli dokümantasyon (teknik belge ve spesifikasyonlar) hazırlanarak, firmanın veri tabanına yerleştirilmektedir.

Genel olarak aşağıdaki dokümanlar hazırlanmaktadır.

- Tasarım ilke ve kriterleri
- Malzeme (havacılık sınıfı) kabul kriterleri
- Malzeme kabul edilebilirlik (ing: allowable) kriterleri
- Proses parametreleri
- Kalite muayene teknikleri
- Tamir edilebilirlik özellikleri

#### G. Katmanlı Üretim Tekniklerinin Havacılık ve TUSAŞ için vaadleri

Katmanlı üretim tekniklerinin kullanımı özellikle metalik malzemeler için yeni gelişmektedir. Polimer malzemeler için kullanımı havacılık sanayinde gelişmiş olmasının yanı sıra evlere girebilecek maliyet seviyelerine düşmüştür. Tecrübesi olmayan kişilerin bile evdeki bilgisayarlarından internetteki satış sitelerinde satılan 3B modelleri indirilmesi ve tek tuşa basarak seçtikleri ürünü üretmesi mümkün olmaktadır. Bu amaçla üretilen 'Replikator mini' adını verdikleri cihazın fiyatının 1500 \$ civarlarında olduğu açıklanmıştır [12].

TUSAŞ katmanlı üretim teknolojilerini konusunda kabiliyetlerini arttırmak için çalışmaları hızlandırmaktadır. Bu yöntemin havacılığa vadettikleri aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

#### 1- Ar-Ge Aşaması (Araştırma, Teknoloji ve Ürün Geliştirme)

- Genel olarak hava aracı hafif olmak zorundadır. Bu yöntem hafiflik sağlamak amacıyla havacılık sektörüne hizmet edebilir. İlk aşamada ikincil ya da üçüncül yapıların sonraki aşamada ise birincil yapıların tasarım ve üretim süreçleri ele alınacaktır.
- Bu yöntem ile karmaşık geometrilerin üretilebilirliği arttırdığından tasarımını da mümkün kılabilir. kılabilir.
- Hızlı prototipleme yapılabilme imkanı bulunmaktadır.
- Tasarım değişikliklerini ürüne yansıtmak kısa süre ve az maliyetlerde olmaktadır.

#### 2- Üretim Aşaması

- Karmaşık geometrideki parçaların üretimi mümkündür.
- Kalıp, alet, master gibi kalıplama üretimlerine imkan sağlar
- Az sayıdaki ya da tek çeşit üretimleri mümkün kılar

- Kalıpsız üretim yapılabilmesi sebebiyle zaman ve maliyetten kazanç sağlamaktadır.
  - Çok fazla malzeme eksiltmesiyle yapılan geleneksel üretimin alternatifi olabilmesi sebebiyle malzemeden tasarruf sağlamaktadır.
- 3- Kullanım ve Lojistik Destek Aşaması
- Yedek parça stokunun azaltılması söz konusu olacaktır.
  - Parçaların tamir edilebilirliği mümkündür.

## 5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Katmanlı imalat yöntemlerinin dünyadaki havacılık firmaları tarafından gelecekte önemli ölçüde kullanılacağı ve bu amaçla ciddi Ar-Ge çalışmalarını gerçekleştirdiği görülmektedir. Maliyet ve işçilik kazançlarından dolayı oldukça tercih edilebilecek bir yöntem olması sebebiyle TUSAŞ da bu yönde teknolojisini geliştirmek için adımlar atmaktadır. Ancak havacılık ve uzay sanayisinde gerçekleştirilmesi gereken kalifikasyon ve sertifikasyon işlemleri oldukça zahmetli ve maliyetli süreçlerdir. Bu sebeple yeni teknolojilerin oturtulması zaman almaktadır. TUSAŞ katmanlı imalat teknolojisini, kalifiye süreçlerine eklemek amacıyla özgün projelerine ait uygun ikincil yapıların tasarımını, üretimini, kalite kontrol işlemlerini, kalifikasyon ve sertifikasyon işlemlerini gerçekleştirmeyi planlamaktadır. Bunun için bir yandan gerekli ekipman ve malzeme temini için çalışmalar gerçekleştirilmiş diğer yandan kalifiye insan kaynağı yetişmesi için gerekli eğitim vb. süreçler başlatılmıştır.

## KAYNAKÇA

- [1] ‘Katmanlı Üretim Teknolojileri’, Teknoloji Köşesi, Moment-Expo Dergisi, sayı 17, s.15., 2009.
- [2] Chua, Chee Kai; Leong K.F.;Lim C.S.,’ Rapid Prototyping Principles and Applications’ Singapur: World Scientific Publishing Co. 981-238-117-1 , 2003.
- [3] Liou, Frank W. , ‘Rapid prototyping and engineering applications: a toolbox for prototype development. Boca Raton’ , FL: CRC Press. 0-8493-3409-8. 2008.
- [4] <http://www.astm.org/Standards/F2792.htm>, ASTM International, Giriş Tarihi 18 Mayıs 2014.
- [5] Hopkinson N., Hauge R., Dickens P., ‘Rapid Manufacturing:An Industrial Revolution for the Digital Age’, s.55-81 Kasım 2005.
- [6] Kearney A.T., ‘Popular Science’, Stratasys, s.32,
- [7] Suzuki T. , ‘3D printed metal parts flight tested in RAF jet for the first time’, Stars And Stripes, Ocak 2014.
- [8] ‘Aerospace Manufacturing and Design’ syf.60-64 Nisan/Mayıs 2014.
- [9] Wohlers Associates, ‘Additive Manufacturing Technology Roadmap for Australia’, 2011.
- [10] Luft- und Raumfahrt, ‘Neuer Schub für Airbus A320neo’, syf. 12., sayı 2, Mart-Nisan 2011.
- [11] Hummel, G. Baumbach, V. (Airbus), Kroll, L. , Schuebert, F. (Chemnitz University of Technology) Altman, A. Rayczyk, G.F. (Leibheer Aerospace Lindenberg GmbH) , ‘Additive Manufacturing for high pressure hydrolic valve manifolds’, Aerodef Expo Sunumları, Nisan 2014.
- [12] MakerBot Replicator Mini ’3-D Printer for the Home’ Now Shipping - Personal Tech News – WSJ.