

EKLEMELİ/KATMANLI İMALAT TEKNOLOJİSİNDE TOZLAR, ENDÜSTRİYEL UYGULAMALAR & STANDARDİZASYON

1 Aralık Pazar 09:30 - 11:30
"Eklemeli İmalat" Paneli

Dr. Ekrem ALTUNCU
Sakarya Üniversitesi,
Metalurji ve Malzeme Müh.
altuncu@sakarya.edu.tr



Sunum İçeriği

- ✓ *Eklemeli imalat temel esaslar ve prosesler*
- ✓ *Eklemeli imalat teknolojisinin avantajları ve potansiyeli*
- ✓ *Eklemeli imalat sürecinde uygulamalar ve malzemeler*
- ✓ *Toz ve uygulamalarda standardizasyon*
- ✓ *Döküm sektöründe eklemeli imalat uygulamaları ve gereksinimler*
- ✓ *Tekno-Ekonomik açıdan karşılaştırmalı değerlendirme*



Eklemele imalat temel esaslar ve prosesler

- Bu yöntem geleneksel üretim yöntemlerinden farklılıklar içermektedir:
 - **Kalıplama gereksinimi** bulunmamaktadır
 - Talaşlı imalat yöntemlerinin aksine **malzeme eksiltmek** yerine
 - **Katman katman** oluşturulan tabakalar ile malzemenin üretimine imkan vermektedir.....
 - Geleneksel döküm yöntemleri ile elde edilmesi **zor kesit ve geometriler için hızlı ve pratik bir üretim kolaylığı sağlamaktadır**





Eklemeli imalat teknolojisi- pazarı

Küresel Pazarda Eklemeli İmalat

7.97 Milyar \$ 2018,

ORTALAMA Büyüme hızı 14.4%

23.33 Milyar \$ 2026

Dünyada hızlı gelişen bir teknoloji pazarı....



Küresel Pazarda Eklemeli İmalat , SSS ?

Temel özellikleri, teknolojik sınırları ve sınırlayıcı faktörleri?

Maliyetler ?

Uygulama fırsatları ?

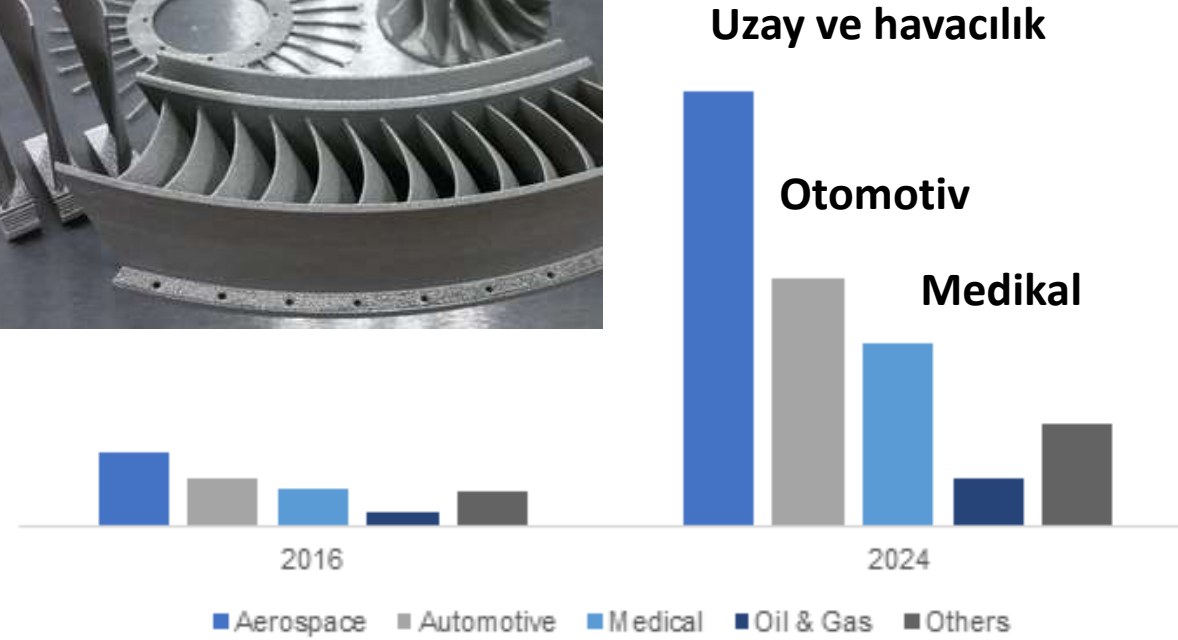
Seri imalata geçiş?

Standardizasyon ve Tedarik edilebilirlik?



Eklemeli imalat teknolojisi- pazarı

Küresel Pazarda Eklemeli İmalat Uygulamaları





Eklemeli imalat teknolojisi- pazarı

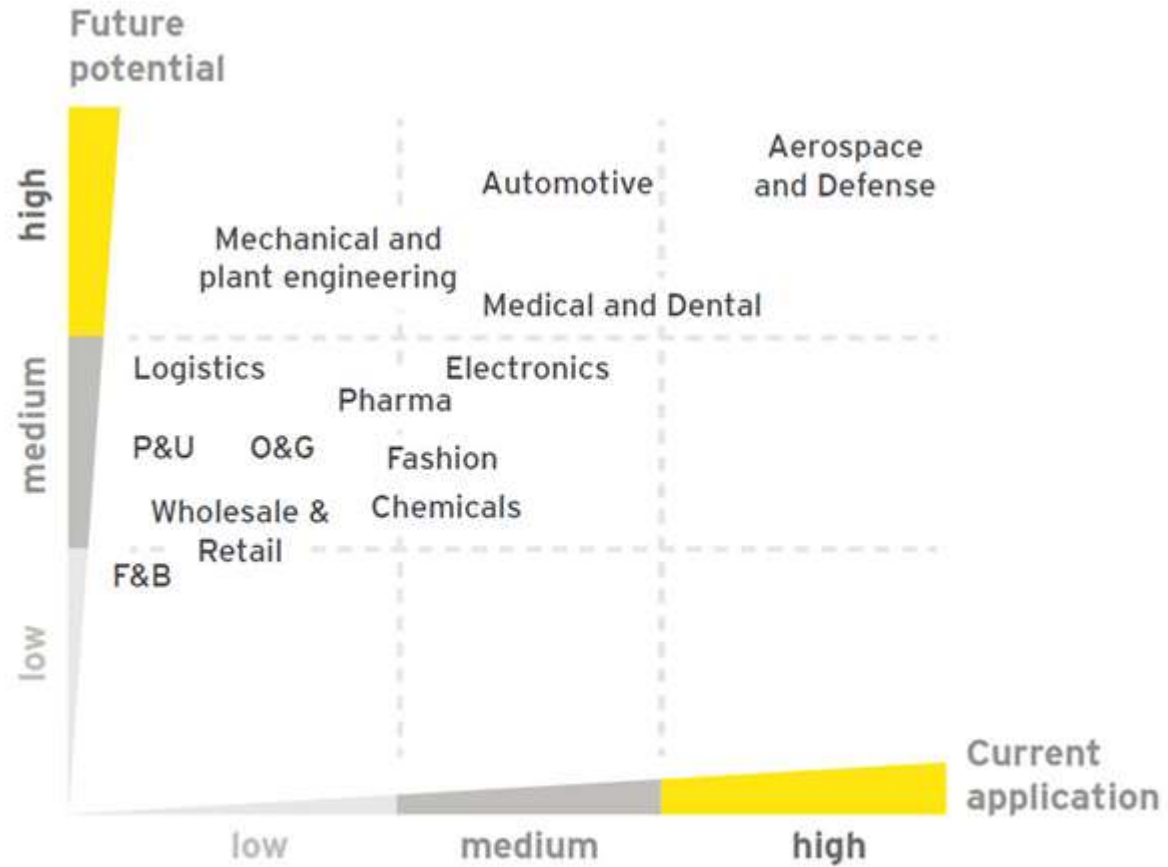
Küresel Pazarda Eklemeli İmalat Uygulama Fırsatları

- ✓ İmplant sektörü, ortopedik,dental: hastanın fiziksel bedenine uyumlu tasarım
- ✓ Mücevherat sektörü, Sanatsal tasarımlar : özel tasarımlar, düşük kapasite üretimler, üretimde kaynak yöntemi ve döküm elemine edilebilmektedir
- ✓ Düşük hacimli üretimler: hızlı prototipleme
- ✓ Takım, kalıp tamiri, dolgu, toleransa getirme, hurda kurtarma, atık azaltma vb.
- ✓ Turbinler , turbolar: kompleks geometrilerin üretimi, hafifletme





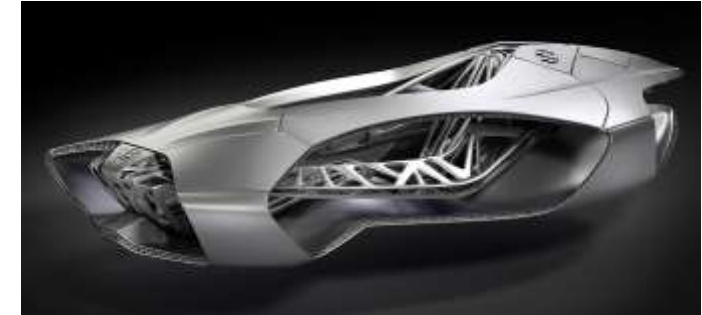
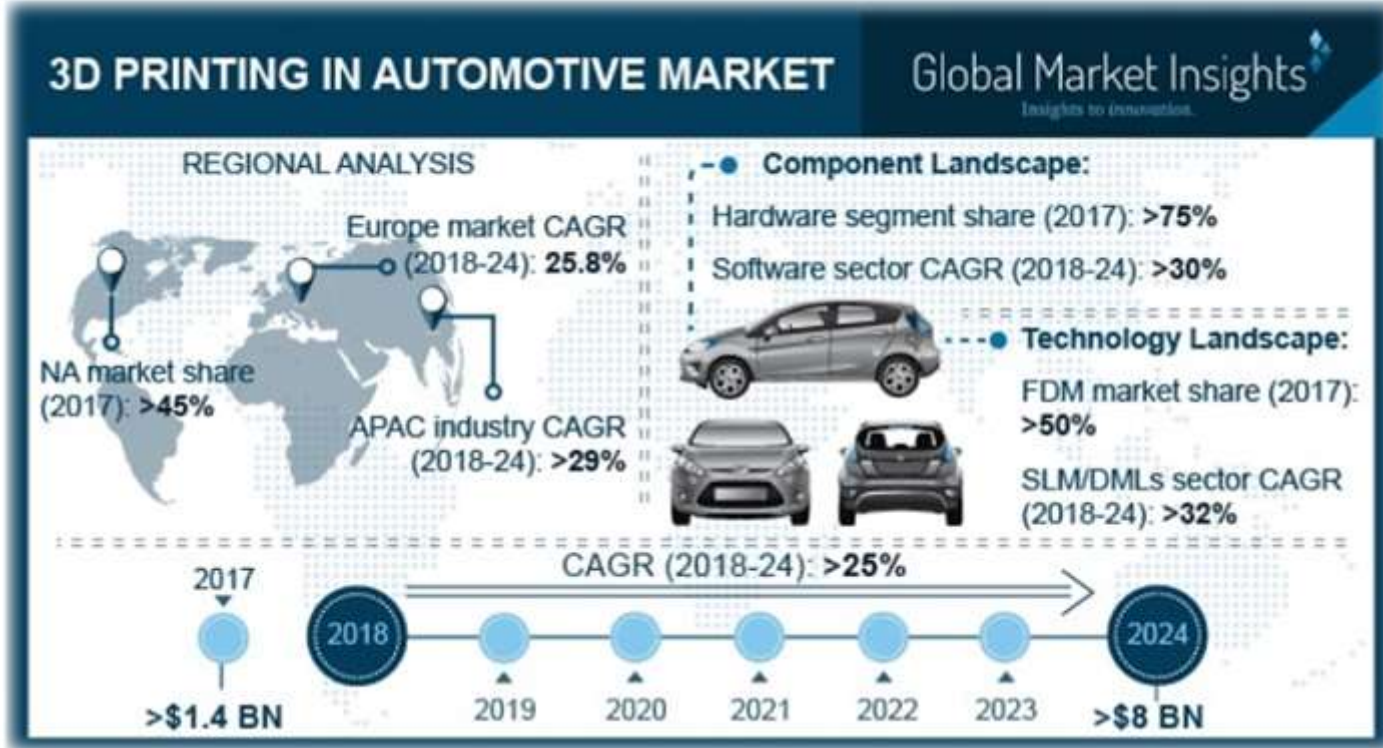
Eklemeli imalat teknolojisi- endüstriyel



Source: EY analysis based on 2016 EY global 3D printing survey.



Küresel Pazarda Eklemele -Otomotiv Uygulamaları





Eklemele imalat teknolojisi

Küresel Pazarda Eklemele –Otomotiv Uygulamaları



Egzos parçaları



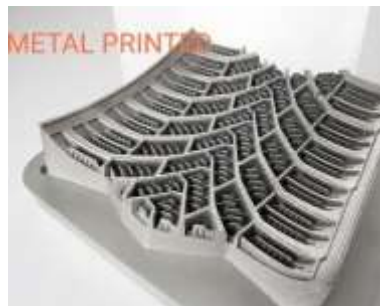
Kaliper (bugatti)



Piston



04.12.2019



altuncu@sakarya.edu.tr



10



Eklemele imalat teknolojisi-Literatür



100'lerce kitap, makale ve teknik not Literatürde....



Eklemeli imalat teknolojisi-Üniversiteler-Merkezler

Additive Manufacturing at Penn State



Pennsylvania State University

www.matse.psu.edu/additive-manufacturing

Arizona State University - Digital Labs: 3-D Printing



Arizona State University

3dprintlab.engineering.asu.edu

AUT's Additive Manufacturing Research Centre



Auckland University of Technology

eri.aut.ac.nz/research/additive-manufacturing-rese...

Binghamton University - Emerging Technology Studio (ETS)



Binghamton University

www.binghamton.edu/its/facilities/ets/index.html

Carnegie Mellon University - Department of Materials Science and Engineering



Carnegie Mellon University

www.cmu.edu/engineering/materials/

Case Western Reserve University - Additive Manufacturing



Case Western Reserve University

engineering.case.edu/content/additive-and-advanced...

Center for Innovative Materials Processing Through Direct Digital Deposition



Pennsylvania State

Center for Manufacturing Innovation, University of Florida



University of Florida

Central Washington University - Multimodal Education Center



Central Washington University

100'lerce üniversite, araştırma merkezi, laboratuvar.....



Eklemeli imalat teknolojisi- Mesleki kurs ve eğitimler

Design Optimisation for Additive Manufacturing

Master Class in
Emerging Manufacturing Technologies

Graduate Diploma in
ADDITIVE MANUFACTURING

UL NAMIC
NATIONAL ADDITIVE MANUFACTURING

Fundamentals of
Additive
Manufacturing
Course

15 October 2018
NTU Innovation Centre
71 Nanyang Drive, #04-01 [638075]

In partnership with
TOOLINGU | **sme**

PennState

M.S. & M.Eng.

ADDITIVE MANUFACTURING
AND DESIGN

One year, 30 credit program
Master of Science in Additive at University Park
Master of Engineering online via Penn State World Campus
www.additive.psu.edu

3D PRINTING

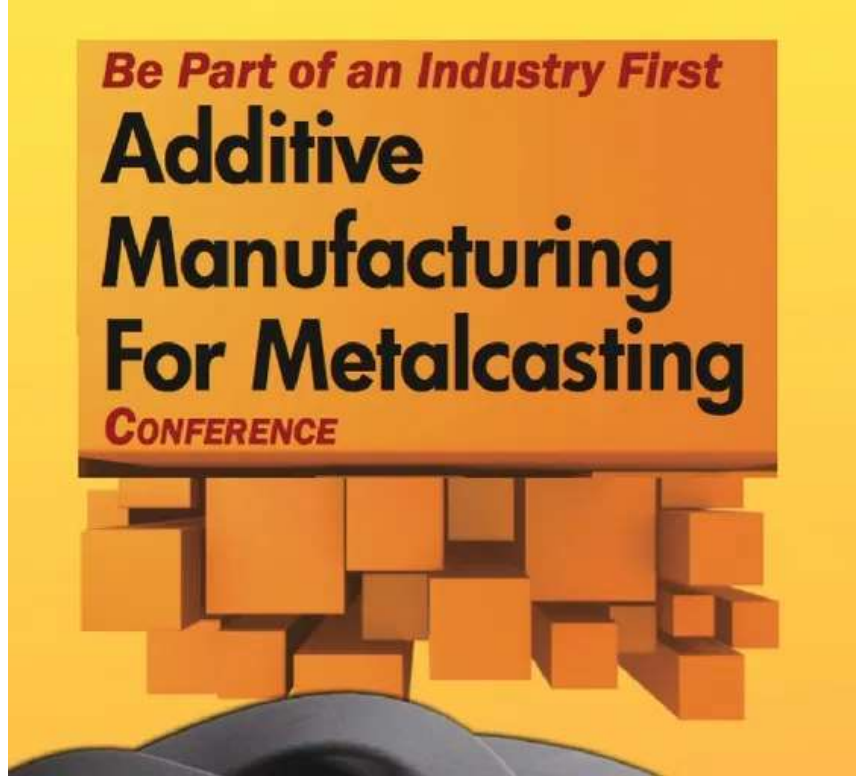
RAPID PROTOTYPING
CERTIFICATION
COURSE +
WORKSHOP

100'lerce eğitim programı, kurs, çalıştay, ders ve lisans programı.....



Tudoksad Akademi 2. Ulusal Döküm Kongresi / 2nd National Foundry Congress by Tudoksad Academy

Eklemeli imalat teknolojisi- kongre ve sempozyumlar



100'lerce fuar, seminer, sempozyum, kongre.....

04.12.2019



SMARTTECH 3D

OMNI 3D

Industrial 3D online

formnext

13. - 14.12.2018 FRANKFURT

altuncu@sakarya.edu.tr





Eklemeli imalat teknolojisi-Kullanıcılar-Eğitim



Kendi oyuncuğunu tasarla, kendi hayallerini üret.....



Eklemeli imalat teknolojisi-Kore Örneği



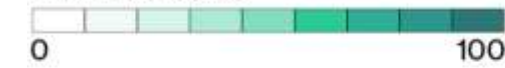
Ministry of Science, ICT
and Future Planning



World's Most Innovative Economies

South Korea, Germany lead the index in 2019

Innovation score

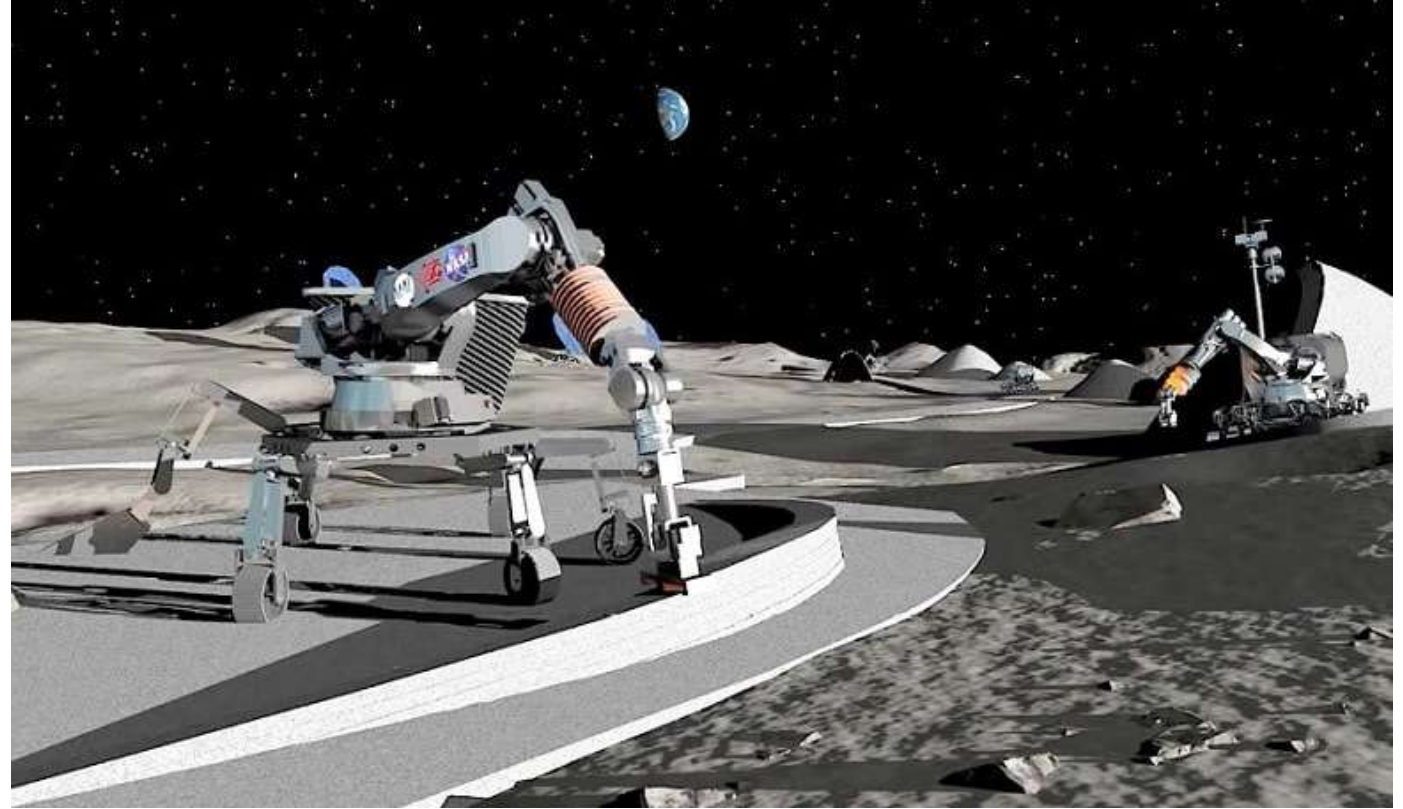
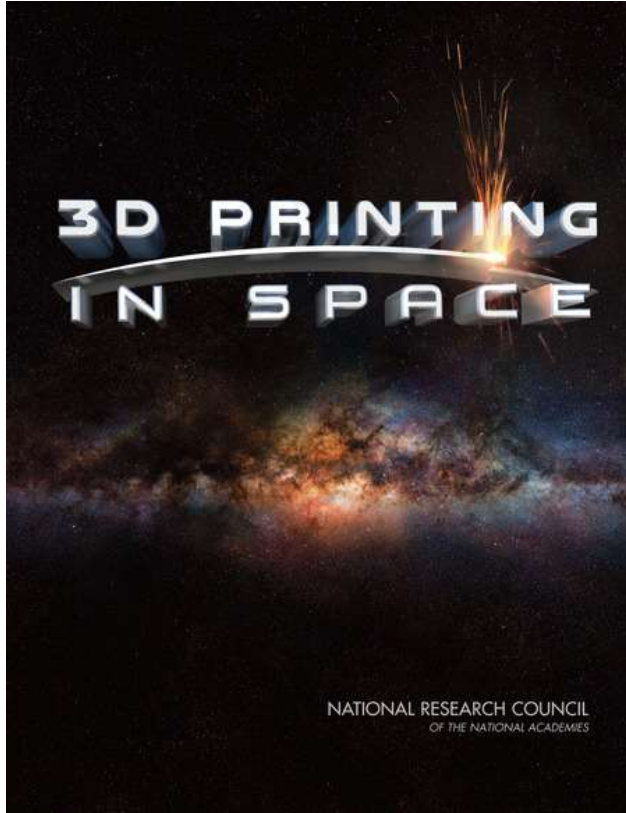


South Korean government announces its US\$37 Million investment in 3D Printing Industry for 2017

G.Kore çocuklarını geleceğe hazırlıyor....

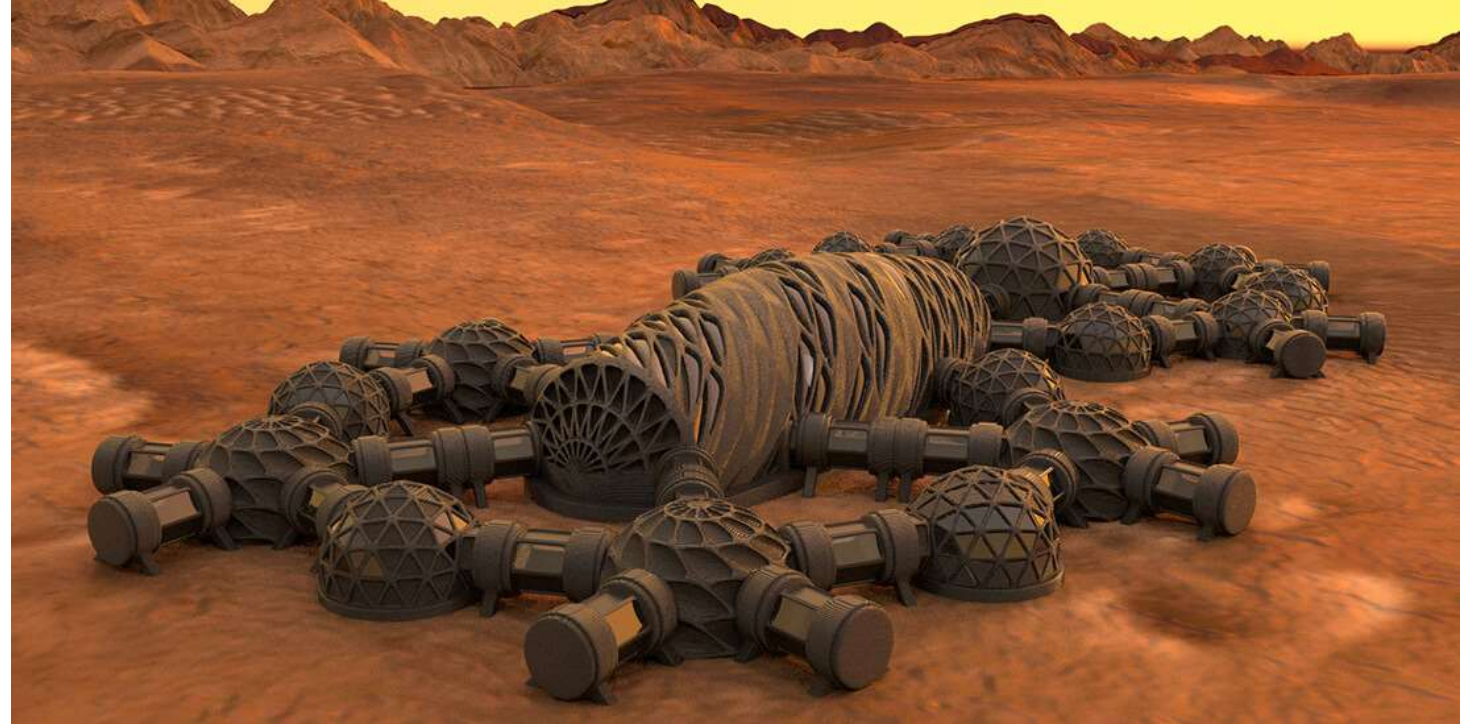


Eklemeli imalat teknolojisi-uzay





Eklemeli imalat teknolojisi-uzay ve havacılık



Çok uzak değil.....



Eklemeleli imalat teknolojisi-Sektör

Hardware	Software	Applications
<p>Printer</p>	<p>Design</p>	<p>Health</p>
	<p>Print Management</p>	<p>Construction</p>
<p>Materials</p>	<p>Copyright</p>	<p>Bioprinting</p>
		<p>Industrial</p>
		<p>Fashion</p>
		<p>Consumer</p>

100'lerce firma, yazılımcı, uygulayıcı ve tedarikçi ..

Eklemeleli imalat yöntemleri ne amaçlar için kullanılabilir?

- Bu yöntemler
 1. Daha özgün tasarımlar , fonksiyonel tasarımlar, estetik
 2. Tasarım iyileştirme
 3. Parça tamiri amacıyla
 4. Dolgu ve toleransa getirme amacıyla
 5. Yüzey direnci ve fonksiyonel özellikler kazandırmak amacıyla
 6. Yeni malzeme/ ürün geliştirme süreçlerini hızlandırmak amacıyla
 7. Hızlı prototipleme amacıyla, tersine mühendislik
 8. Karmaşık geometrik parçaların üretimi amacıyla
 9. Hafifletme, topoloji optimizasyonu
 10. Performanslı soğutma, ısıtma sistemleri tasarımı için
 11. Kişiselleştirilmiş ürünler ortaya koymak amacıyla kullanılabilir.....





Eklemeli imalat yöntemleri ne amaçlar için kullanılabilir?

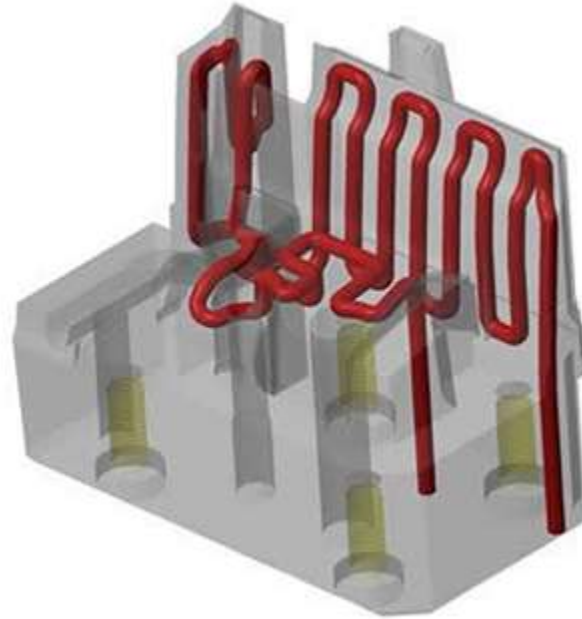
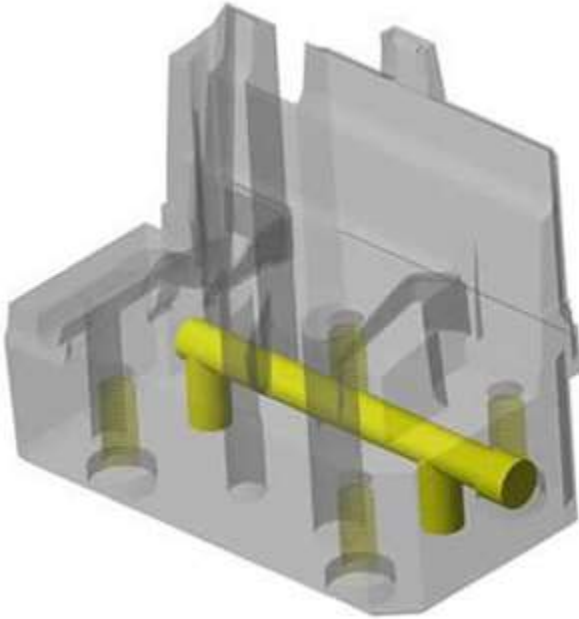


Topoloji optimizasyonu





Eklemeli imalat yöntemleri ne amaçlar için kullanılabilir?



Soğutma-Isıtma sistemleri optimizasyonu

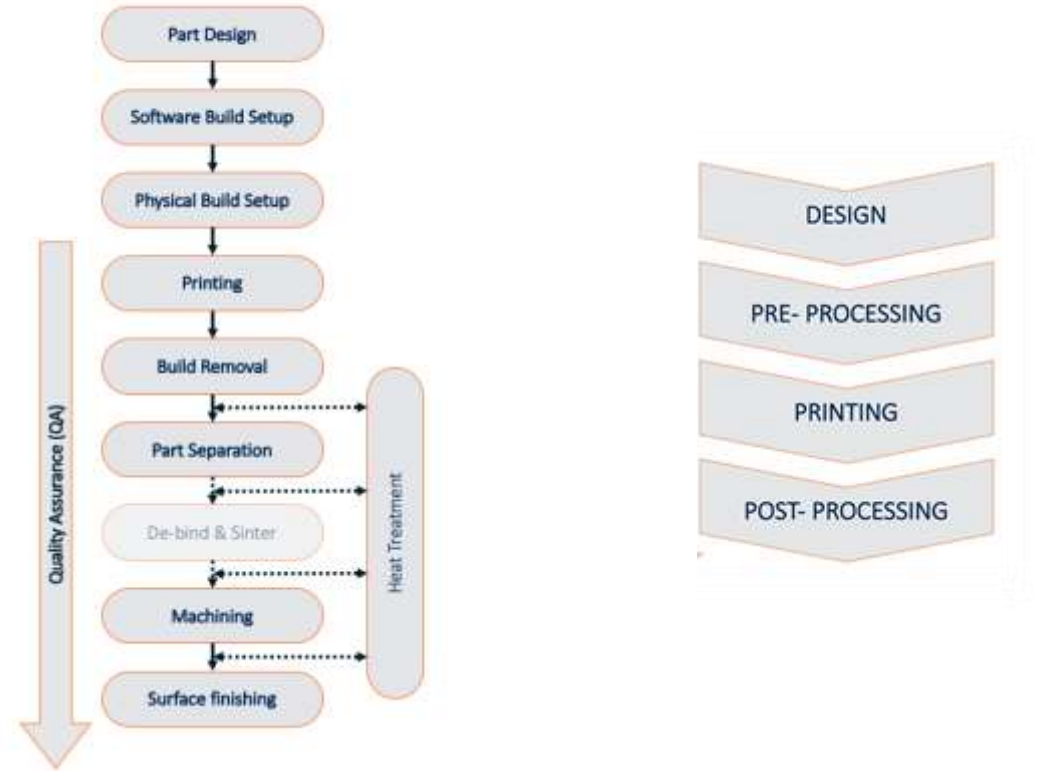


Eklemeli imalat yöntemleri

- Parça Tasarımı
- 3 Boyutlu Tasarım Datası Oluşturma
- Metal Print (Eklemeli İmalat)
 - Toz
 - Tel
 - Toz/Bağlayıcı
- Print Sonrası İşlemler
 - Isıl işlem- Mukavemet Özellikleri için
 - Yüzey işlem – Yüzey Kalitesi için

SLS, SLM
Powder Bed Fusion
Laser / E-Beam Deposition,

METAL ADDITIVE MANUFACTURING WORKFLOW





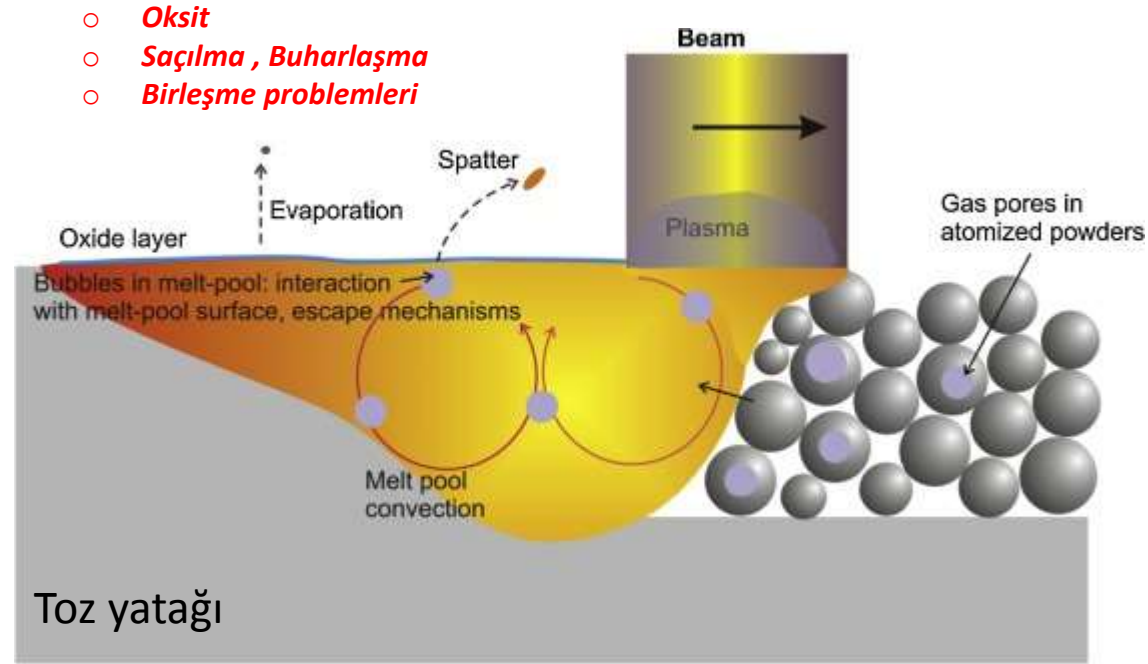
Eklemele imalat yöntemleri temel esaslar- toz yatağı

Toz- Lazer Etkileşimi

- *Absorbsiyon*
- *Refleksiyon*
- *Saçılma mekanizmaları*



Yüksek enerjili ışın (lazer) kaynağı ve tarayıcı



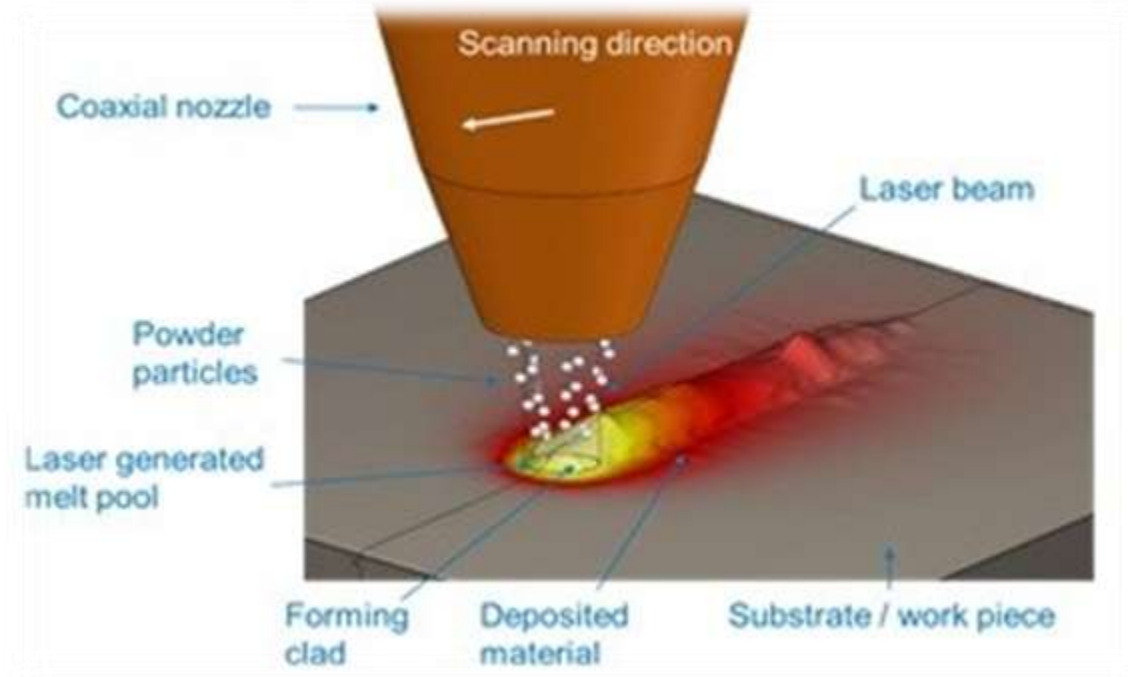
Metal Tozlar
Ergime, Sinterleşme, Bağlanma



Ekllemeli imalat yöntemleri temel esaslar-püskürtme sist.

Toz- Lazer Etkileşimi

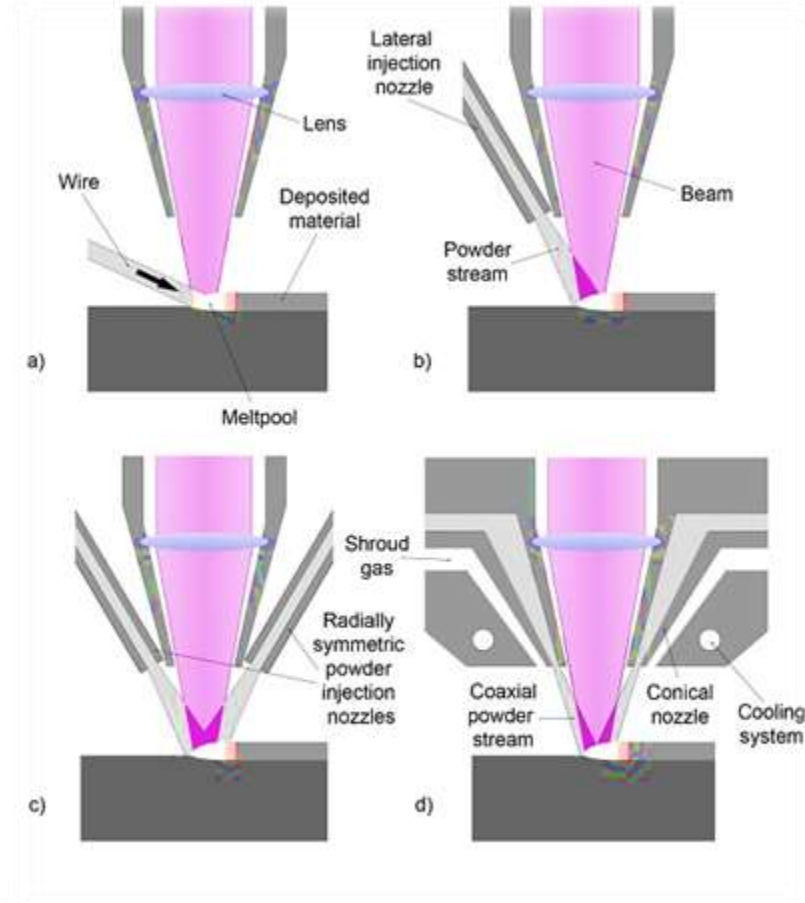
- Lazer özellikleri
- Toz özellikleri
- Toz-lazer etkileşim





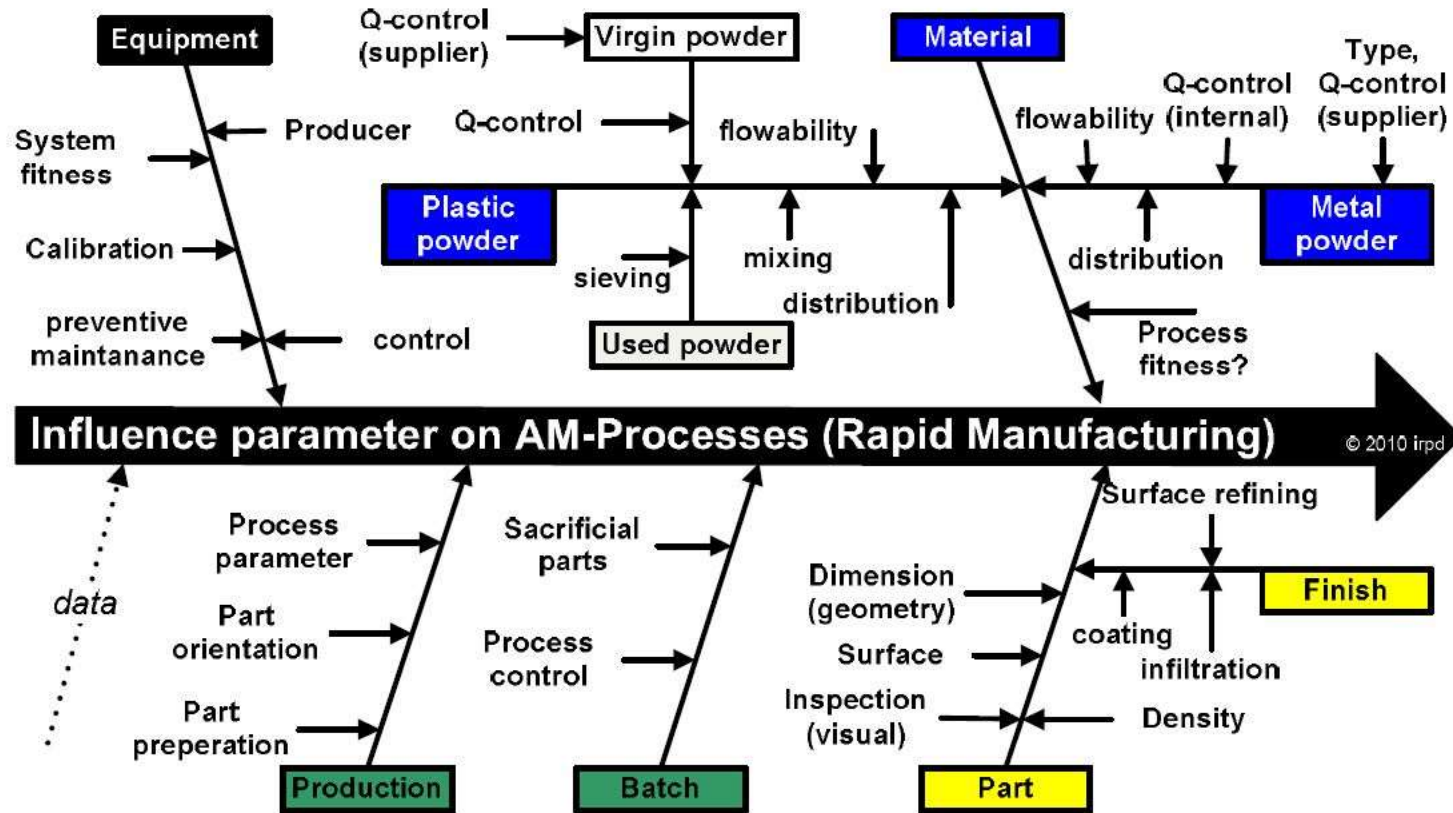
Eklemeli imalat yöntemleri temel esaslar: püskürtme sistemleri

- Toz beslemeli sistemler
- Tel beslemeli sistemler
- Radyal simetrik toz beslemeli sistemler
- Eş eksenli toz beslemeli sistemler





Eklemeli imalat yöntemleri temel esaslar: parametreler





Eklemeli imalat teknolojisinin avantajları ve potansiyeli

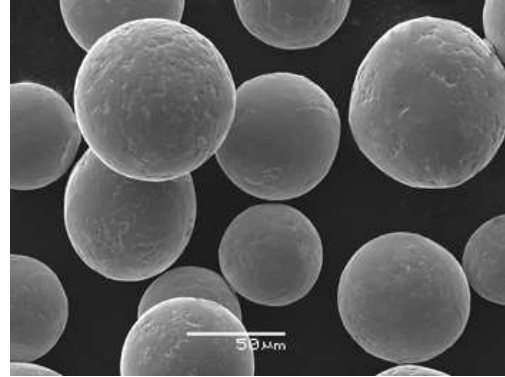
- Tasarım özgürlüğü (3D data)
- Tekrarlanabilirlik (proses kontrol)
- Üretim hızı ve kabiliyetini artırmak (hızlı prototip)
- Üretim maliyetlerini azaltmak (daha az atık)
- Hata riskini azaltır (sınırsız revizyon)
- Kişiselleştirir (talep, kişi, amaca uygun parça üretimi)
- Stoksuz üretim (stok yok, depolama yok)
- Takım-kalıp maliyetlerini azaltır
- Yüksek kalite , performans özellikleri kazandırır



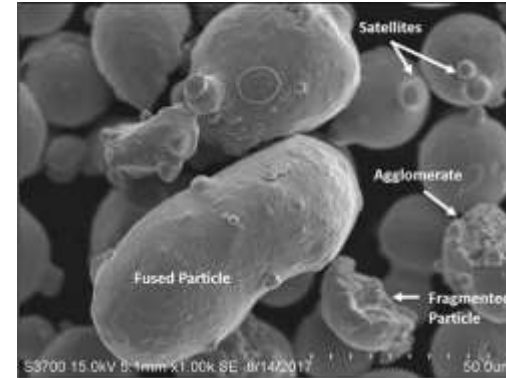
Ekllemeli imalat sürecinde uygulamalar ve malzemeler

- Metal print sistemlerin önemli bir çoğunluğu **belirli özelliklere sahip belirli kompozisyonlarda metalik toz** malzemeler ile çalışmaktadır...

- Toz boyutu
- Toz boyut dağılımı
- Toz temizliği
- Toz morfolojisi
- Toz üretim şekli
- Toz akış özellikleri
- Toz yoğunluğu



OK



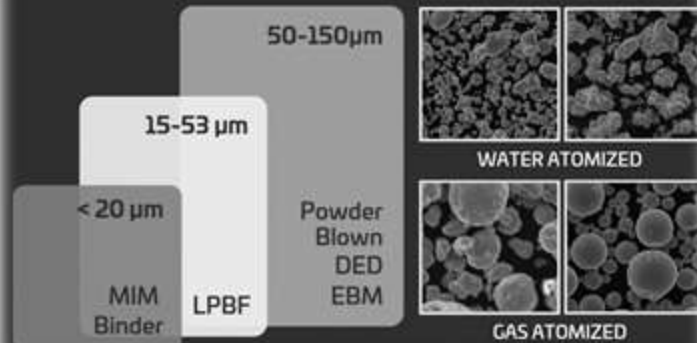
NOK



Eklemeli imalat sürecinde uygulamalar ve malzemeler

Steels (GA or WA)	Stainless Steels (GA or WA)	Nickel Alloys (GA)	Aluminum Alloys (GA)	Titanium Alloys (GA)	Copper Alloys (GA)	Custom Alloys
4340	COMING SOON 304L	IN 625	COMING SOON AlSi7Mg	CP Ti	COMING SOON Pure Cu	Providing Support for materials development
5120	316L	IN718	COMING SOON AlSi10Mg	Ti64	COMING SOON CuCrZr	
8620	420	Ni-Ti		Ti6242	COMING SOON CuNi3Si	
4605	17-4 PH			Ti5553		
1.2709				Beta 215		
20MnCr5						

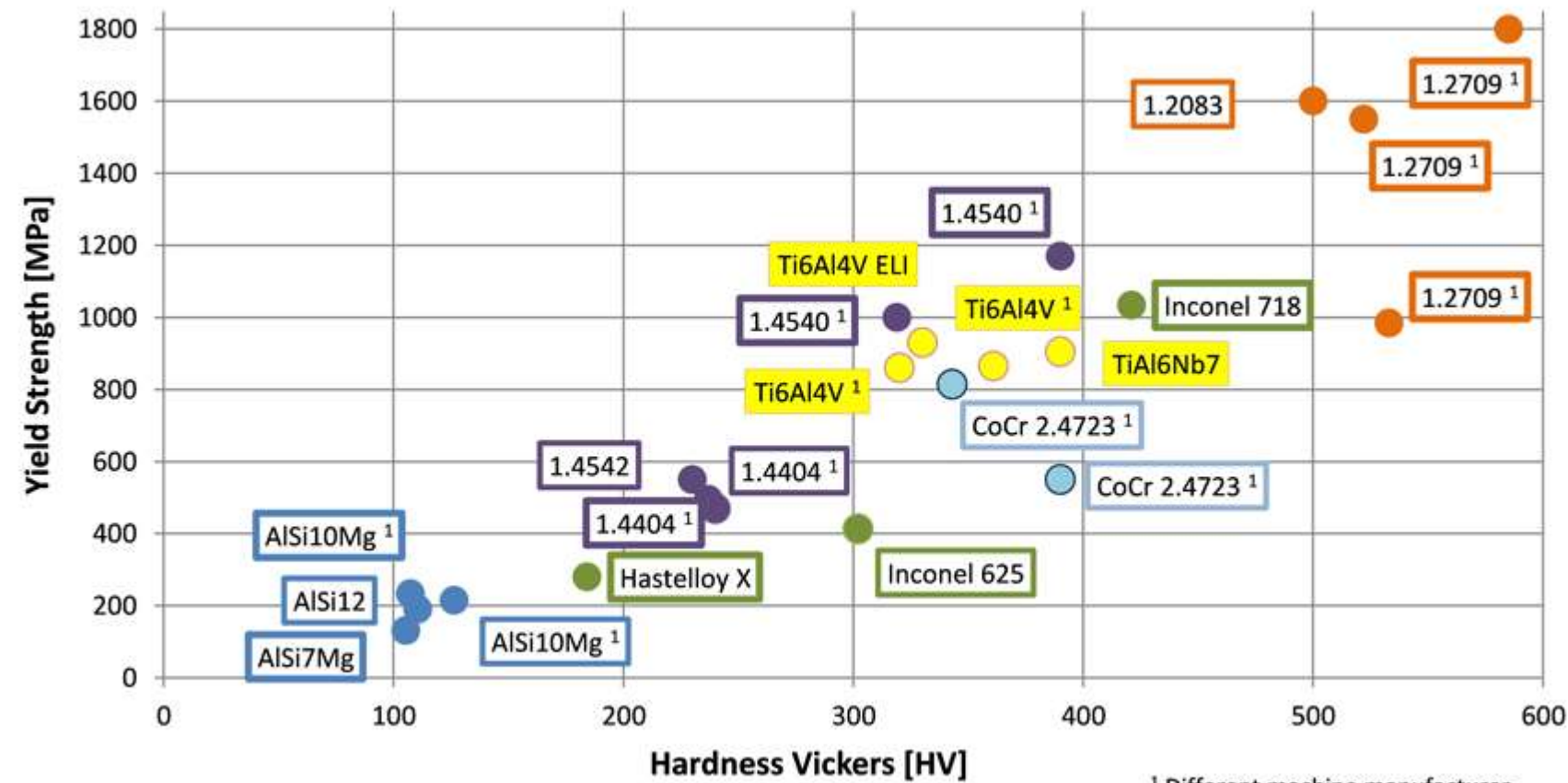
PARTICLE SIZES AND ATOMIZATION TECHNIQUES



<https://www.epma.com/additive-manufacturing>

	Material	DIN
Aluminium Alloys	AlSi10Mg	3.2381
	AlSi7Mg	3.2371
	AlSi12	3.3581
Cobalt Based Alloys	ASTM F75	2.4723
	CoCrWC	
Tool Steels	AISI 420	1.2083
	Marage 300	1.2709
	H13	1.2344
	AISI D2	1.2379
	AISI A2	1.2363
	AISI S7	1.2357
Nickel Based Alloys	Inconel 718	2.4668
	Inconel 625	2.4856
	Inconel 713	2.4670
	Inconel 738	
	Hastelloy X	2.4665
Stainless Steels	SS 304	1.4301
	SS 316 L	1.4404
	SS 410	1.4006
	SS 440	1.4110
	15-5 PH	1.4540
	17-4 PH	1.4542
Titanium Alloys	Titanium Grade 2	3.7035
	Ti6Al4V	3.7165
	Ti6Al4V ELI	3.7165 ELI
	TiAl6Nb7	
Precious Metal Alloys	Jewellery Gold	18 Carat
	Silver	930 Sterling
Copper Alloys	CC 480 K	2.1050

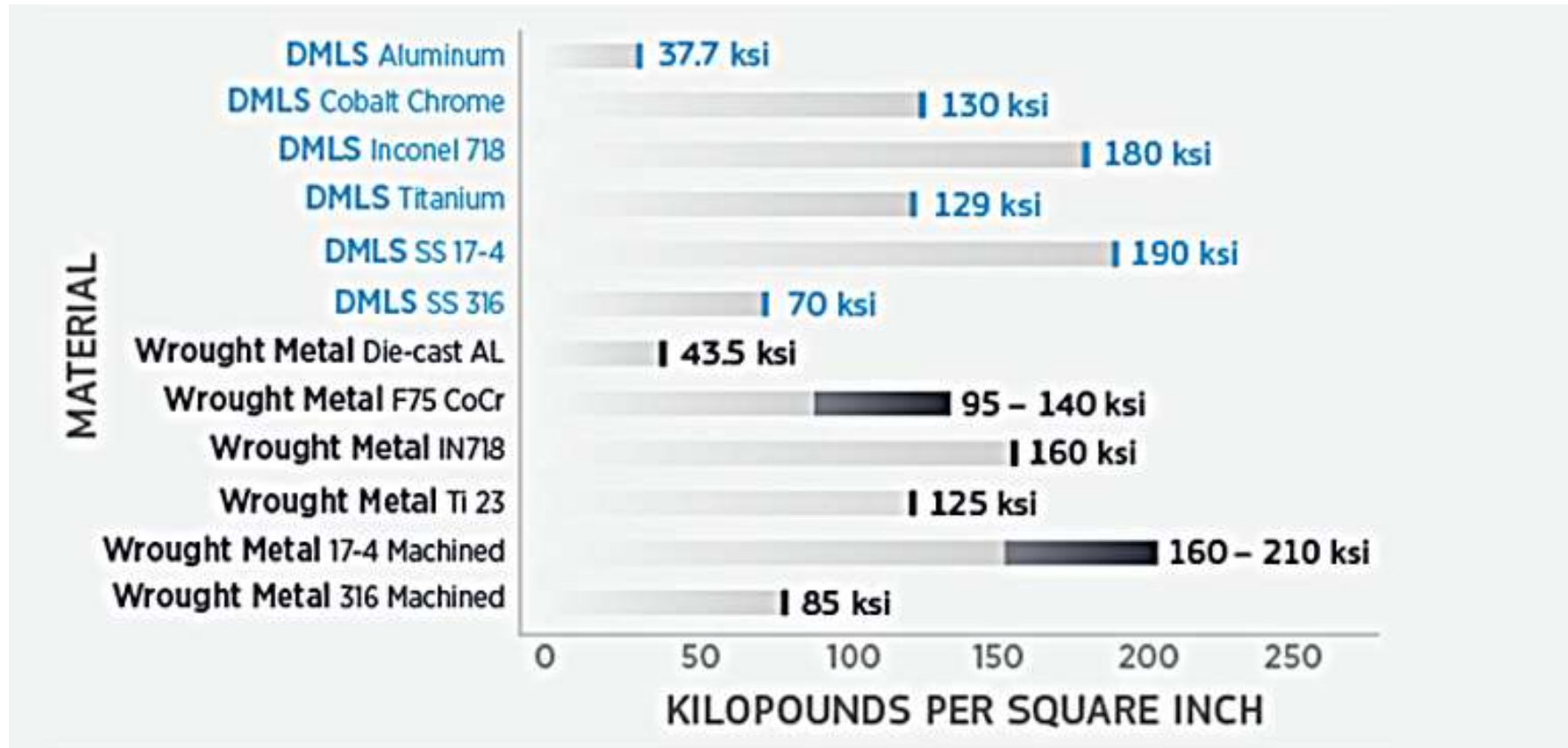
Eklemeli imalat sürecinde uygulamalar ve malzemeler



¹ Different machine manufacturer



Ekllemeli imalat sürecinde uygulamalar ve malzemeler





Eklemeli imalat sürecinde uygulamalar ve malzemeler

- Doğru **yöntem** seçimi-Doğru **malzeme** seçimi-Doğru **ekipman** seçimi

- Parça sayısı ve üretim maliyeti
- Parça boyutu, geometrisi ve karmaşıklığı
- Toleranslar
- Yüzey kalitesi
- Mekanik özellikleri, mikroyapısal özellikleri



Biriktirme hızı (düşük)

Lazer toz yatağı
Elektron ışını toz yatağı
Toz beslemeli lazer biriktirme
Tel beslemeli lazer biriktirme
Soğuk sprey

Biriktirme hızı (yüksek)



Eklemeli imalat sürecinde uygulamalar ve malzemeler

▪ Doğru **yöntem** seçimi-Doğru **malzeme** seçimi

- Parça sayısı ve üretim maliyeti
- Parça boyutu, geometrisi ve karmaşıklığı
- **Toleranslar**
- **Yüzey kalitesi**
- Mekanik özellikleri, mikroyapısal özellikleri





Eklemeli imalat sürecinde uygulamalar ve malzemeler

- Doğru **yöntem** seçimi-Doğru **malzeme** seçimi

Önemli noktalar

- Parça sayısı ve üretim maliyeti
- **Parça boyutu, geometrisi ve karmaşıklığı**
- Toleranslar
- Yüzey kalitesi
- Mekanik özellikleri, mikroyapısal özellikleri





Eklemeli imalat sürecinde uygulamalar ve malzemeler

Metal 3D printing (SLM / DMLS)

Materials

Metals & metal alloys (aluminium, steel, titanium etc)

Dimensional accuracy

± 0.1 mm

Typical build size

250 × 150 × 150 mm (up to up to 500 × 280 × 360 mm)

Common layer thickness

20 – 50 µm

Support

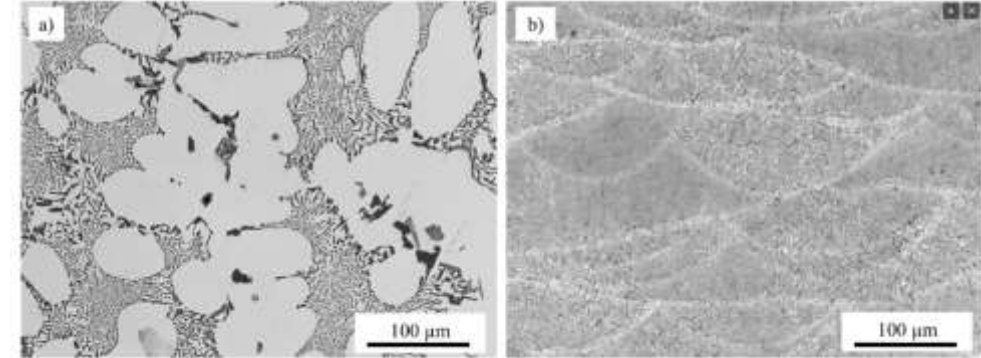
Always required



Ekllemeli imalat sürecinde uygulamalar ve malzemeler

	<u>AISI10Mg (3D printing alloy)</u>	<u>A360 (Die cast alloy)</u>
Yield Strength (0.2% strain) *	XY : 230 MPa Z : 230 MPa	165 MPa
Tensile Strength *	XY : 345 MPa Z : 350 MPa	317 MPa
Modulus *	XY : 70 GPa Z : 60 GPa	71 GPa
Elongation at break *	XY : 12% Z : 11%	3.5%
Hardness **	119 HBW	75 HBW
Fatigue Strength **	97 MPa	124 MPa

* : Heat treated: annealed at 300℃ for 2 hours ** : Tested on as-built samples



Examples of microstructure under conditions as-produced of AISI10Mg alloy samples obtained through a) gravity casting and b) AM. 004 / 4



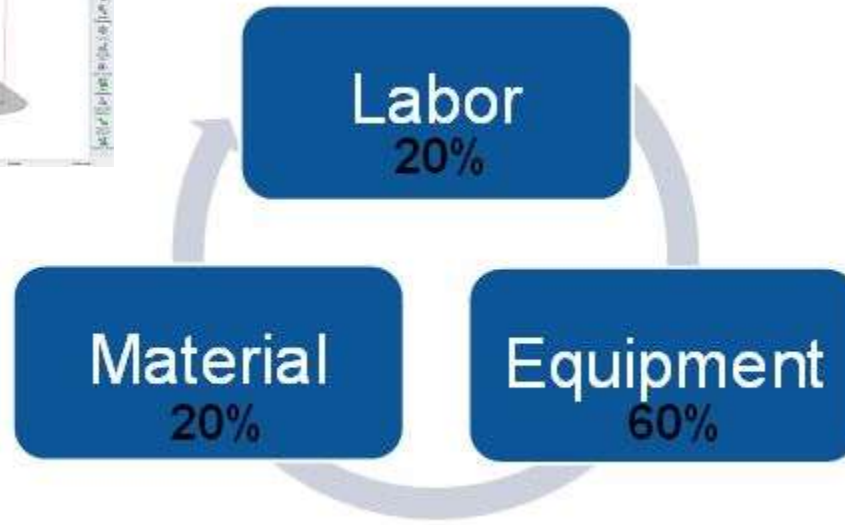
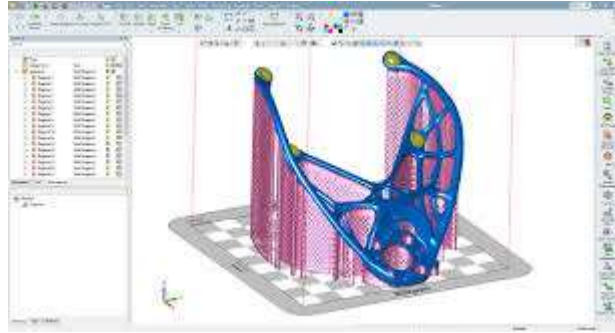
Ekllemele imalat sürecinde uygulamalar ve malzemeler

	As built	Heat treated (300 °C)
Tensile strength (1)		
- in horizontal direction (XY)	460 ±20 MPa	345 ±10 MPa
- in vertical direction (Z)	460 ±20 MPa	350 ±10 MPa
Yield strength		
- in horizontal direction (XY)	270 ±10 MPa	230 ±15 MPa
- in vertical direction (Z)	240 ±10 MPa	230 ±15 MPa
Modulus of elasticity		
- in horizontal direction (XY)	75 ±10 GPa	70 ±10 GPa
- in vertical direction (Z)	70 ±10 GPa	60 ±10 GPa
Elongation at break		
- in horizontal direction (XY)	9±2 %	12±2 %
- in vertical direction (Z)	6±2 %	11±2 %
Hardness [7]	approx.. 119 ± 5 HBW	
Fatigue strength		
- in vertical direction (Z)	approx. 97 ± 7 MPa	

Before and After heat treatment
from EOS SLS machine, for EOS Aluminum AlSi10Mg



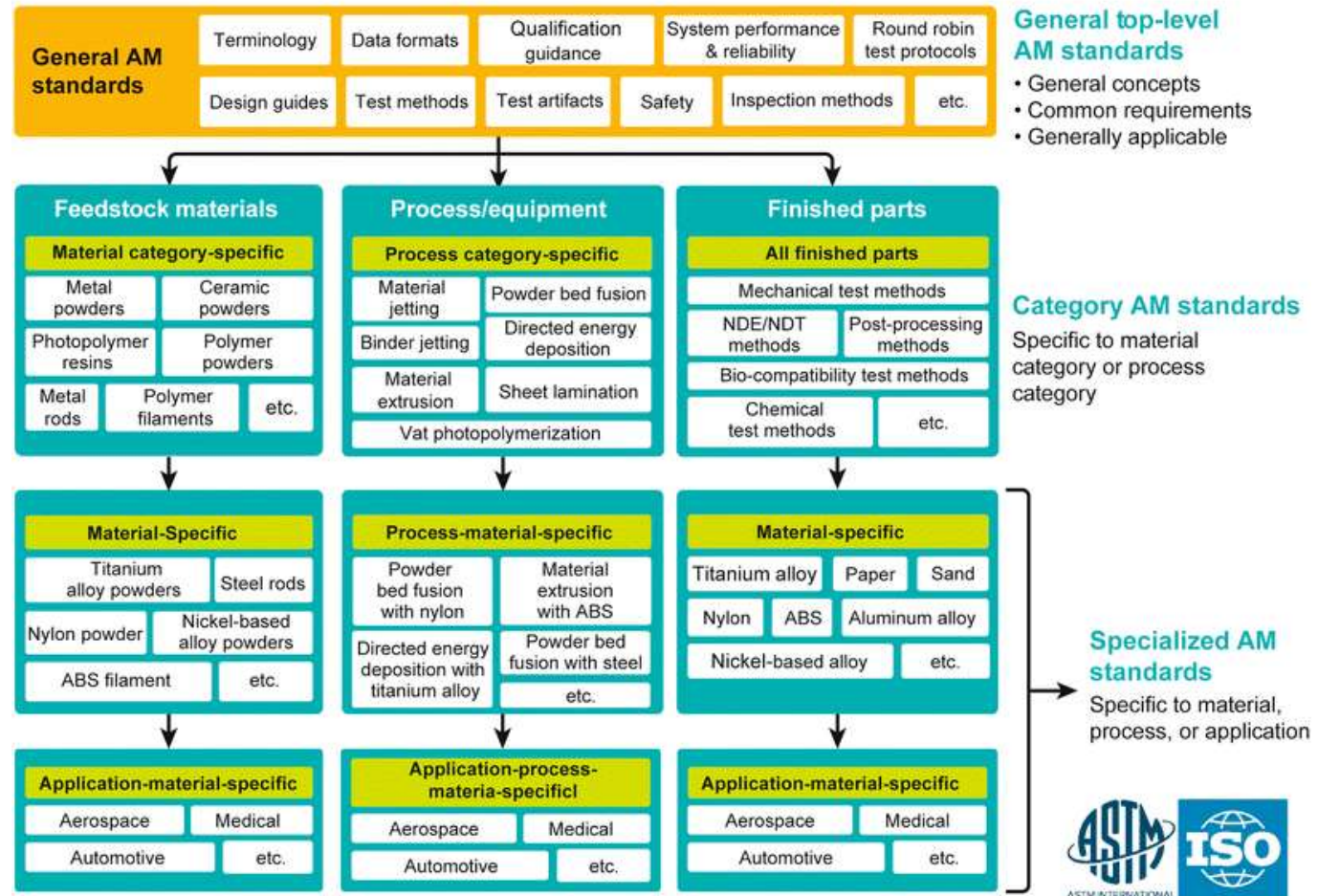
Eklemeli imalat sürecinde uygulamalar maliyetler





Toz ve uygulamalarda standardizasyon

Additive Manufacturing Standards Development Structure



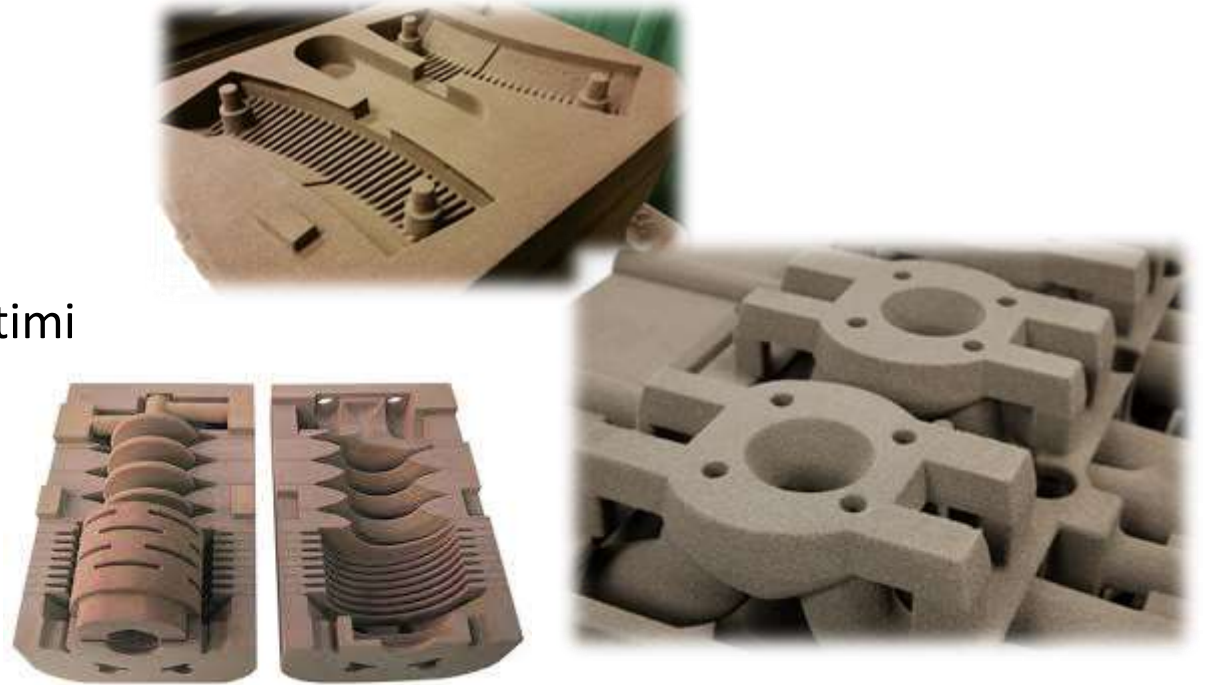
ASTM International's committee on additive manufacturing technologies (F42)



Döküm sektöründe eklemeli imalat uygulamaları ve gereksinimler

Additive Manufacturing as an Alternative to Casting ?

- **Kum döküm- hızlı kalıp üretimi**
- **Basıncı döküm – hızlı kalıp parçalarının üretimi**
- **Hassas döküm –hızlı model üretimi**





Döküm sektöründe eklemeli imalat uygulamaları ve gereksinimler

Additive Manufacturing in Die Casting ?

- Kum döküm- hızlı kalıp üretimi
- **Basıncı döküm – hızlı kalıp parçalarının üretimi**
- Hassas döküm –hızlı model üretimi

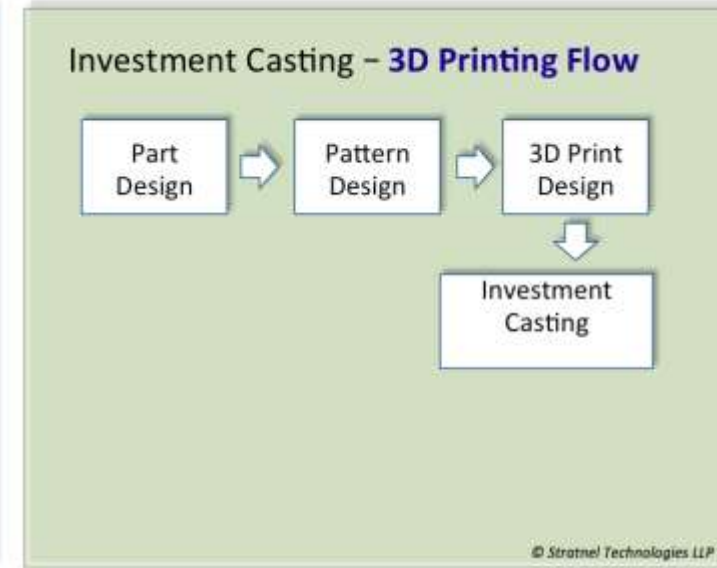
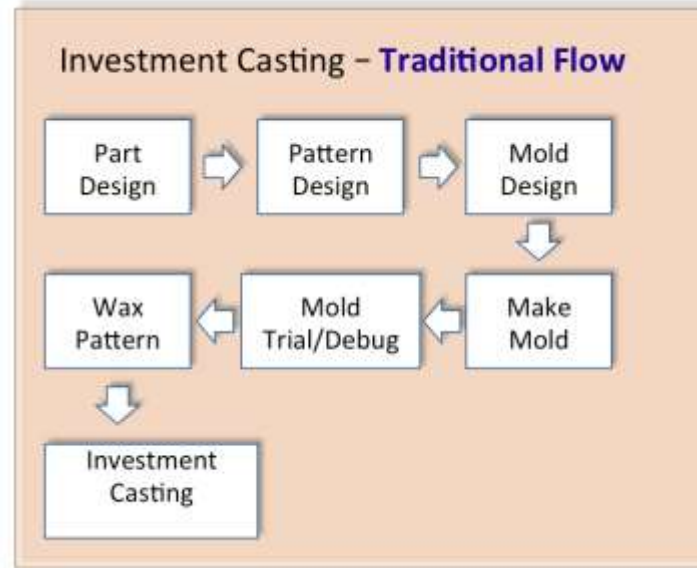
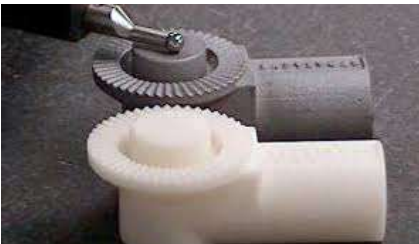




Döküm sektöründe eklemeli imalat uygulamaları ve gereksinimler

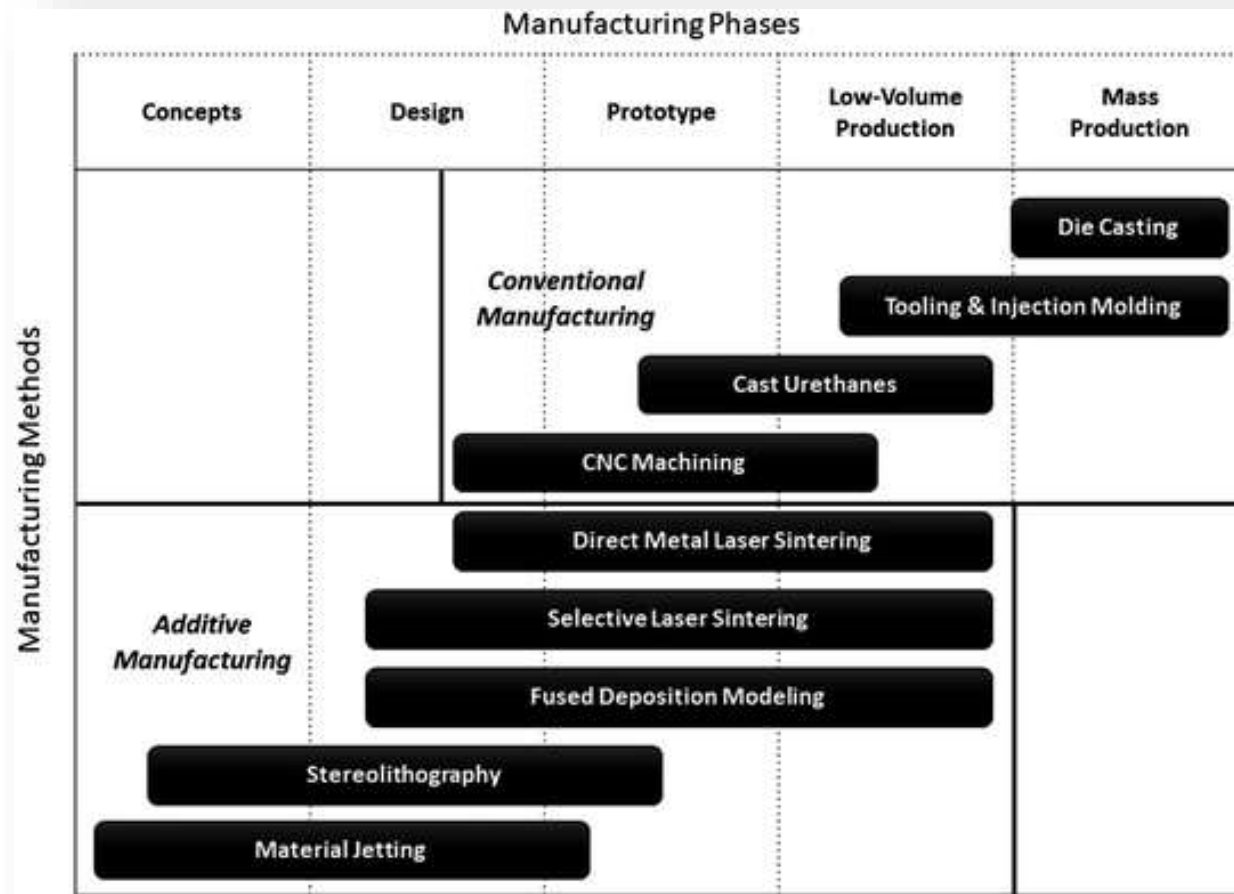
Additive Manufacturing in Investment Casting ?

- Kum döküm- hızlı kalıp üretimi
- Basıncılı döküm – hızlı kalıp parçalarının üretimi
- Hassas döküm –hızlı üretim





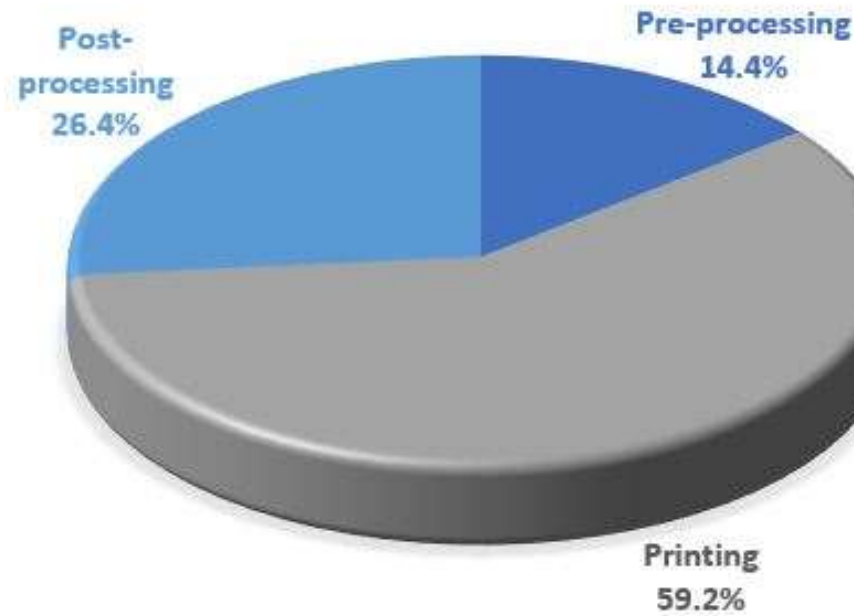
Tekno-Ekonomik açıdan karşılaştırmalı değerlendirme





Tekno-Ekonomik açıdan karşılaştırmalı değerlendirme

COST OF AN AM PART

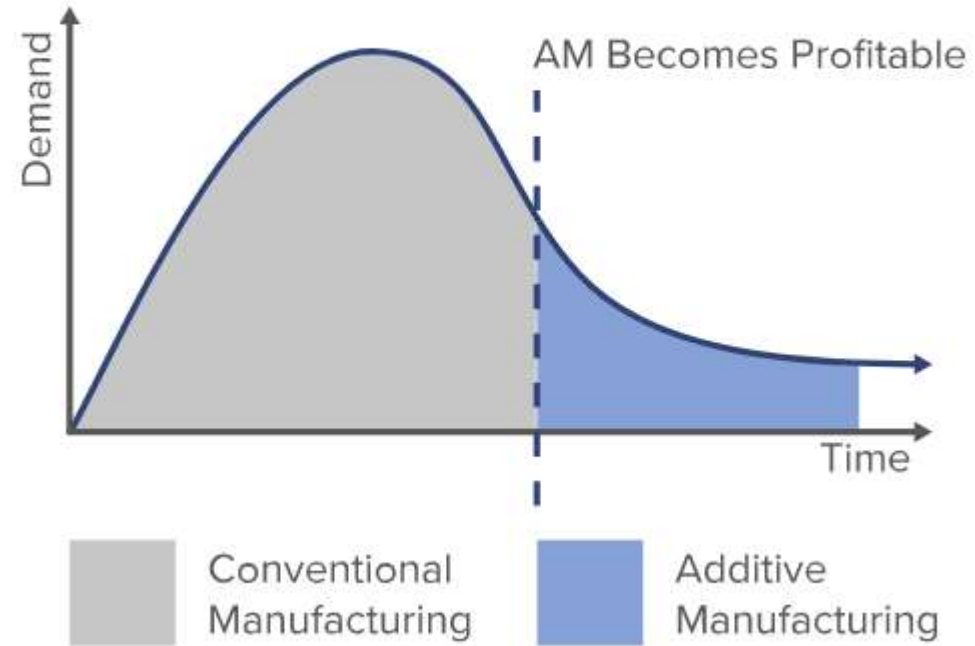


Source: Wohlers Report 2019



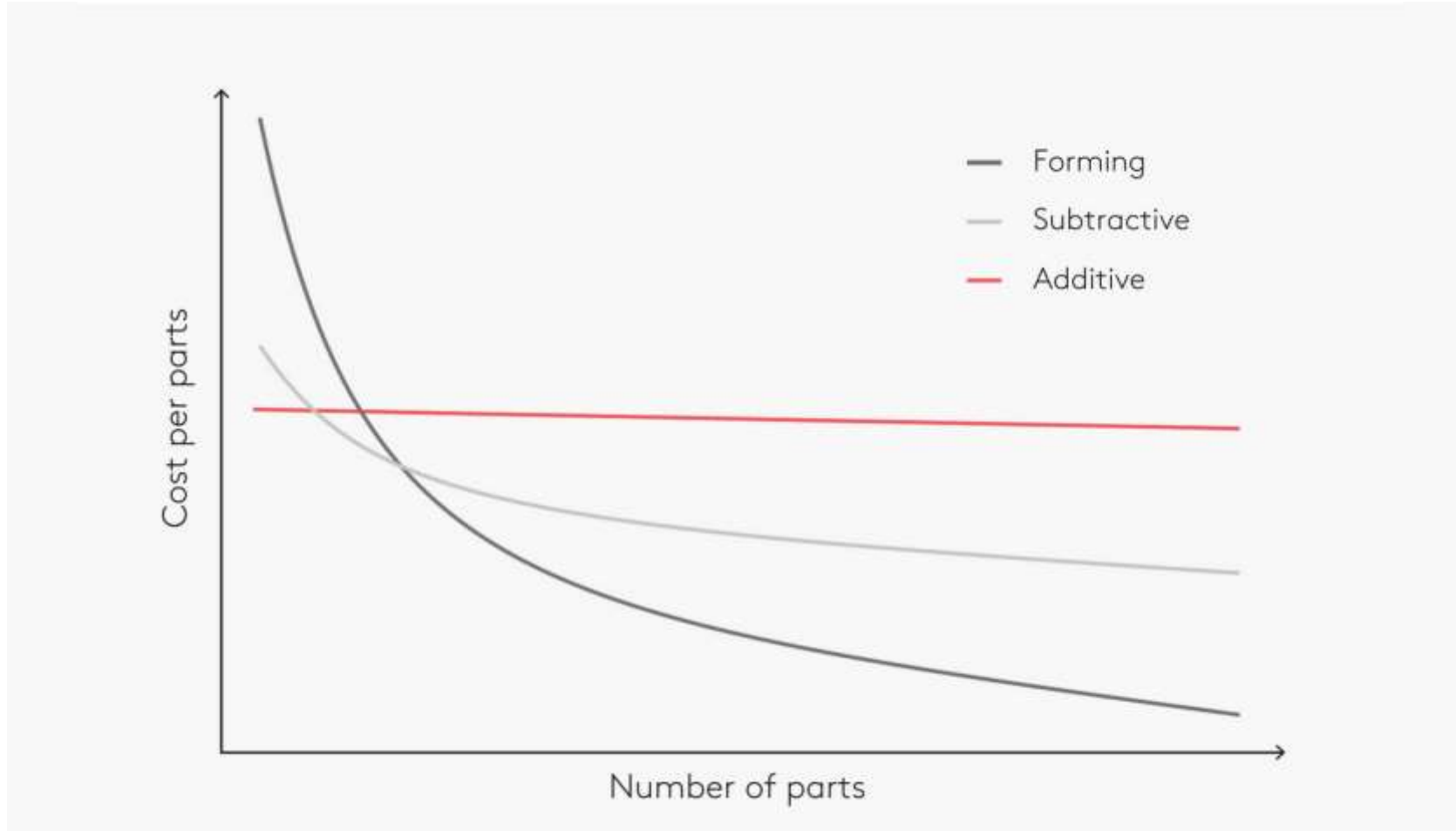
Tekno-Ekonomik açıdan karşılaştırmalı değerlendirme

Single Part: Product Life Cycle



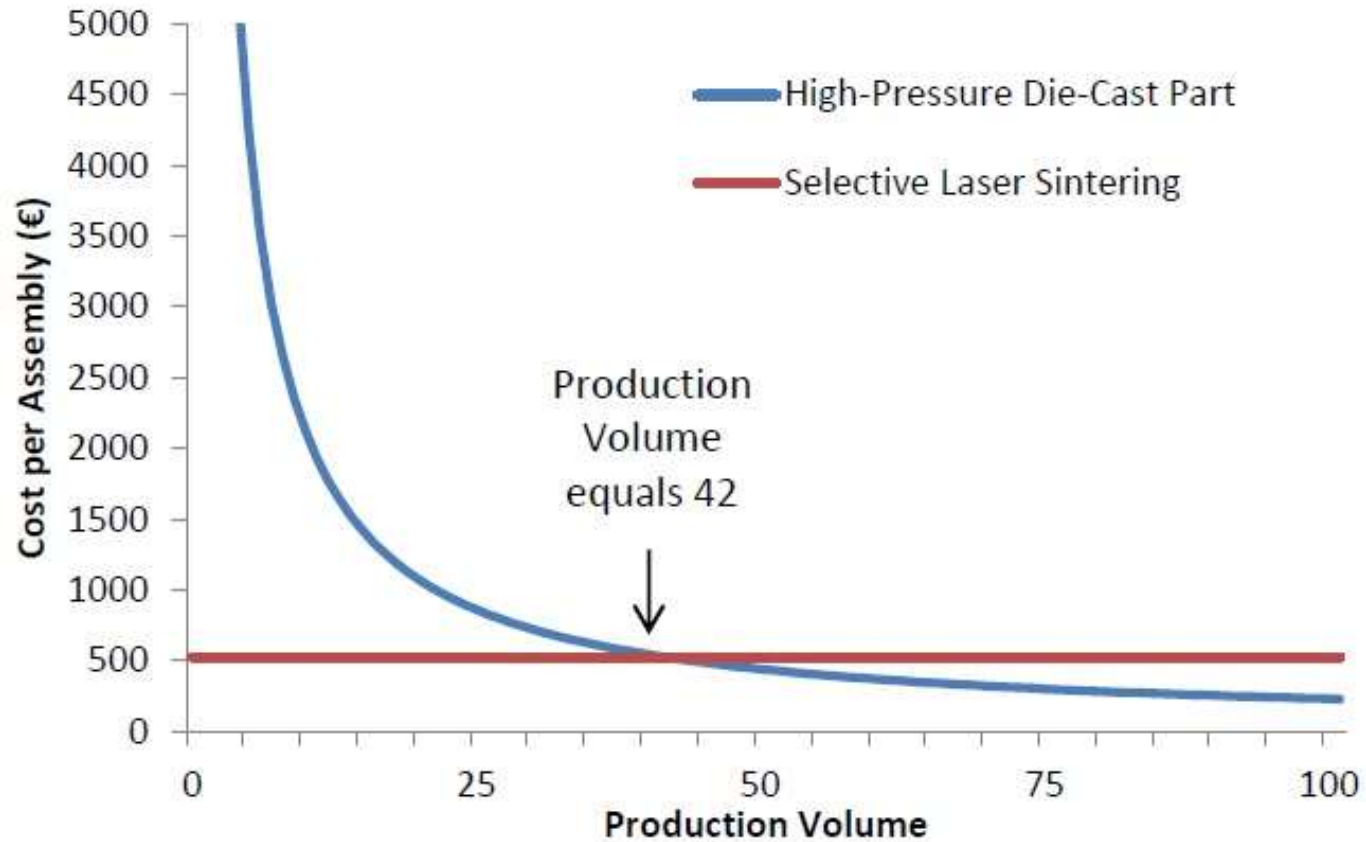


Tekno-Ekonomik açıdan karşılaştırmalı değerlendirme



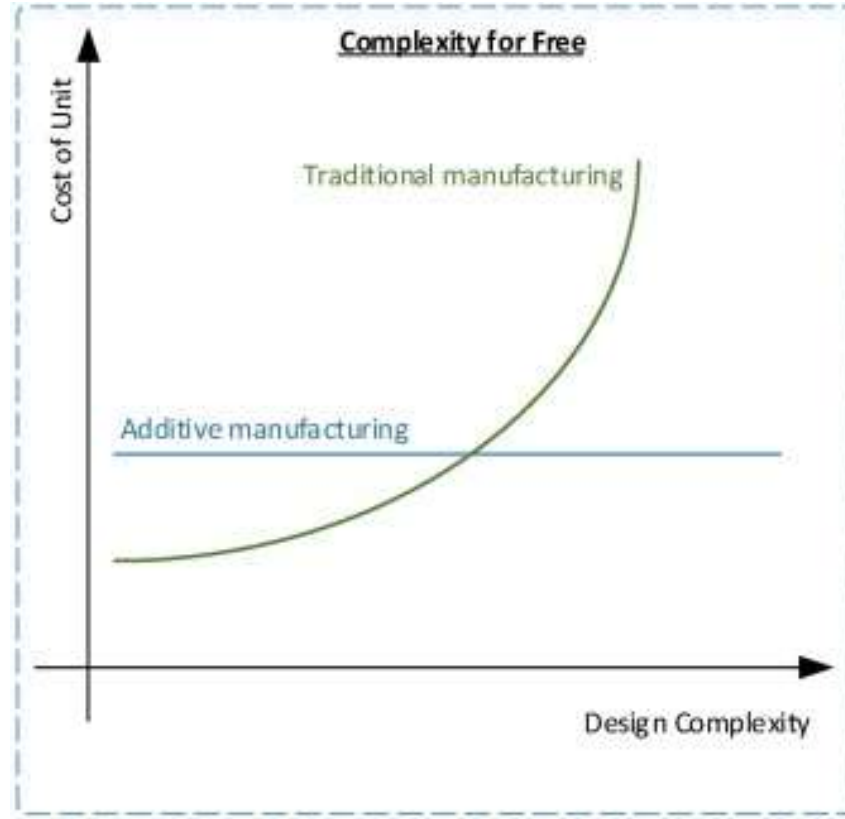


Tekno-Ekonomik açıdan karşılaştırmalı değerlendirme



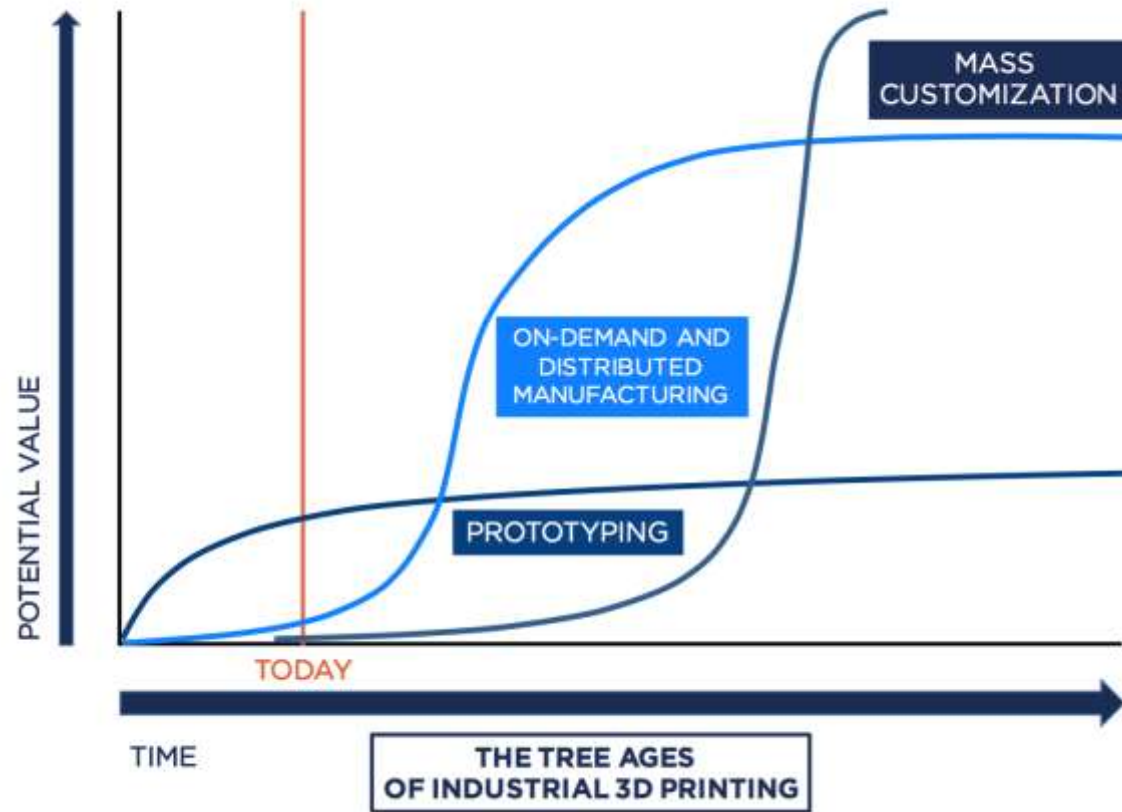


Tekno-Ekonomik açıdan karşılaştırmalı değerlendirme



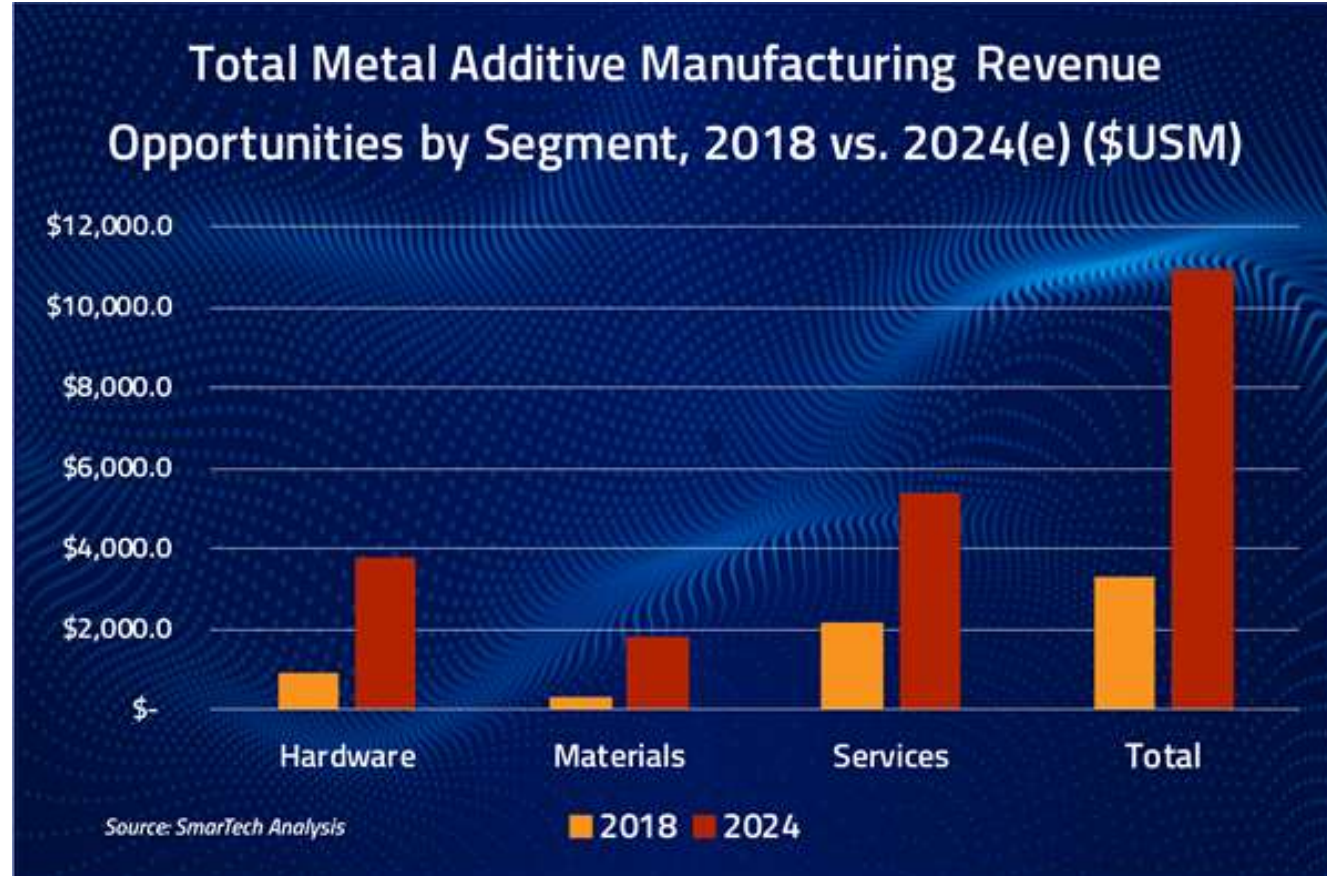


Tekno-Ekonomik açıdan karşılaştırmalı değerlendirme



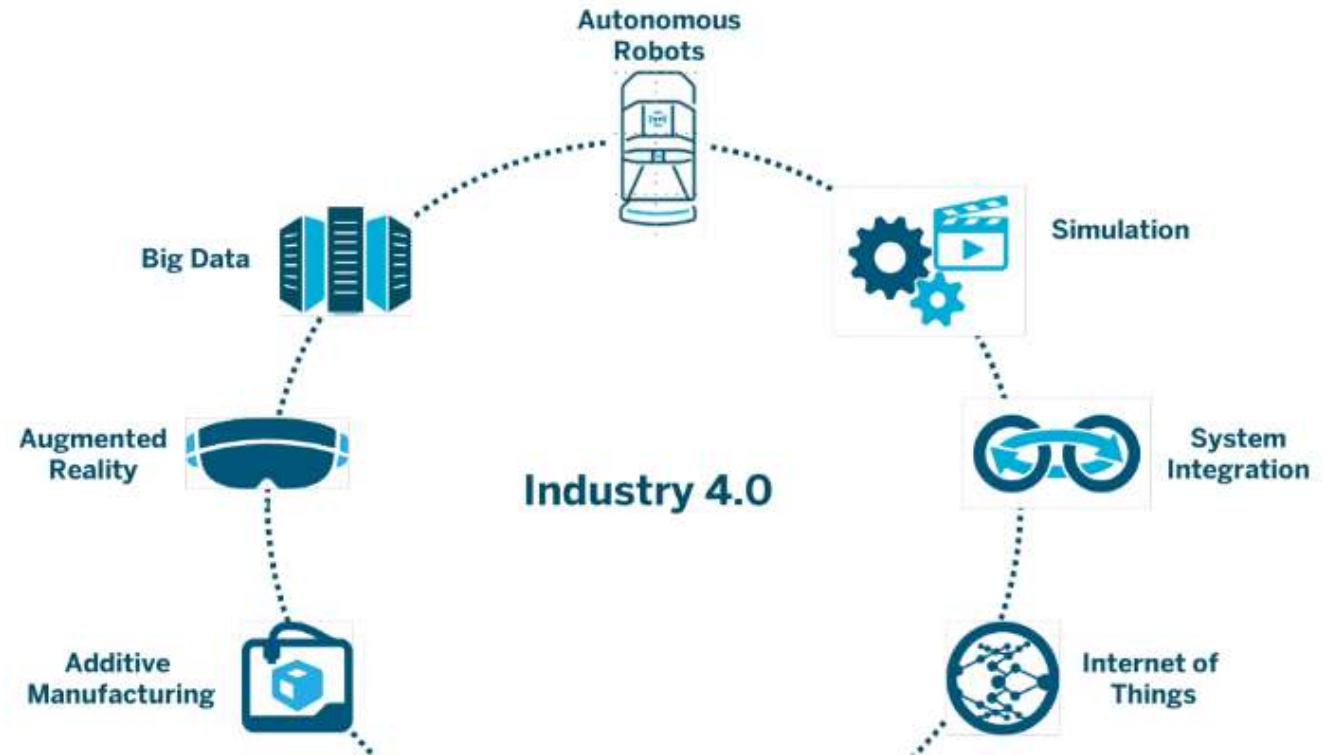


Tekno-Ekonomik açıdan karşılaştırmalı değerlendirme



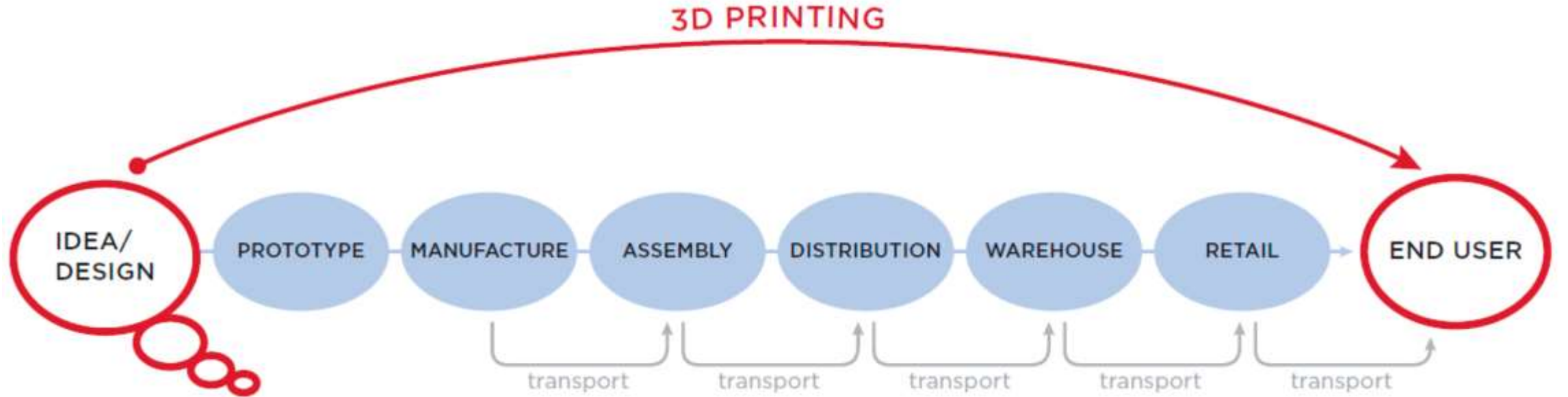


Gelecekte Eklemeli İmalat ve Endüstri 4





Gelecekte Eklemeli İmalat ve Endüstri 4





Gelecekte imalat Süreci

Toz üretim tesisi ve geri kazanım tesisi

Dijital fabrikalar – Eklemeli imalat

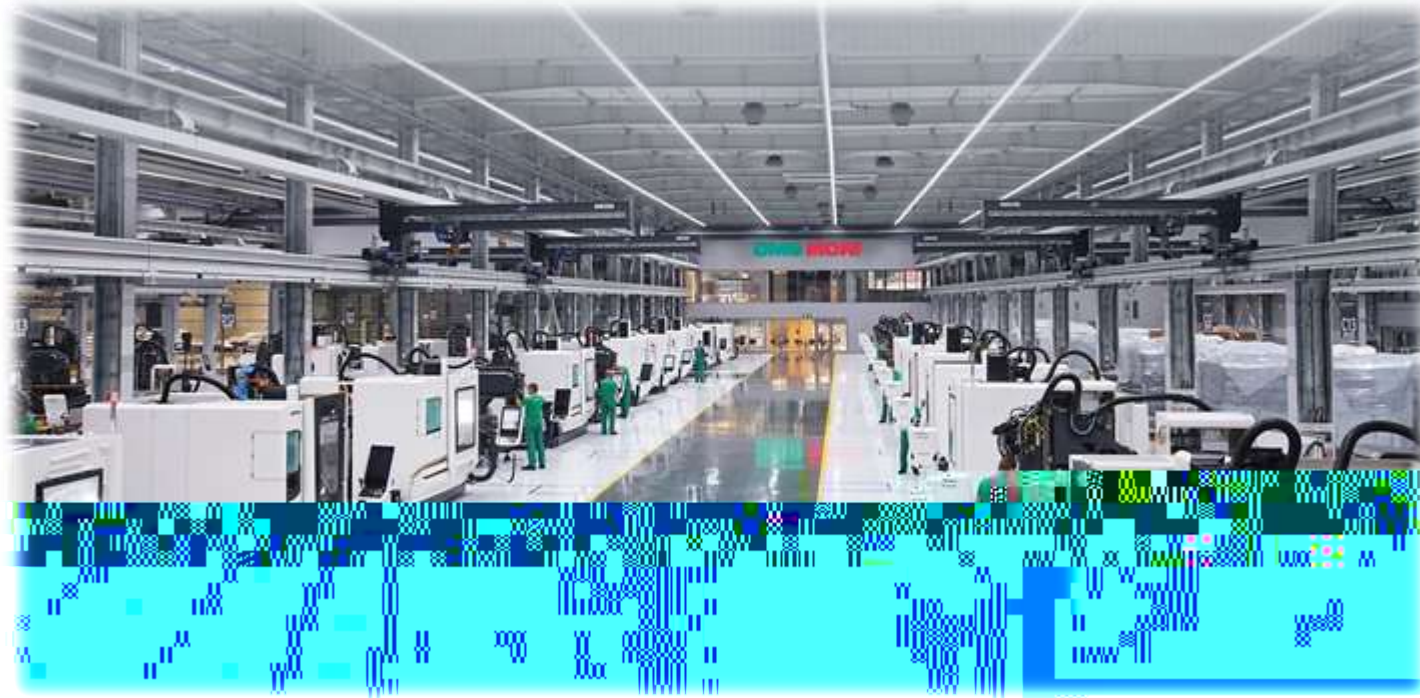


CNC talaşlı imalat, yüzey işlem



Çok yakında...

Dijital fabrikalar – Eklemeli imalat



Teşekkürler zaman ayırdığınız için....

Hedef Sorular ???

1. Proses, üretim ve sistem maliyetleri
2. potansiyel fırsatlar, avantajlar
3. seri imalata geçiş süreci
4. toz malzeme türleri, tedarik edilebilirlik, standardizasyon
5. data güvenliği, sistem koruma



Is Additive Manufacturing
Ready for Mass
Production?



Qualified Series Production

