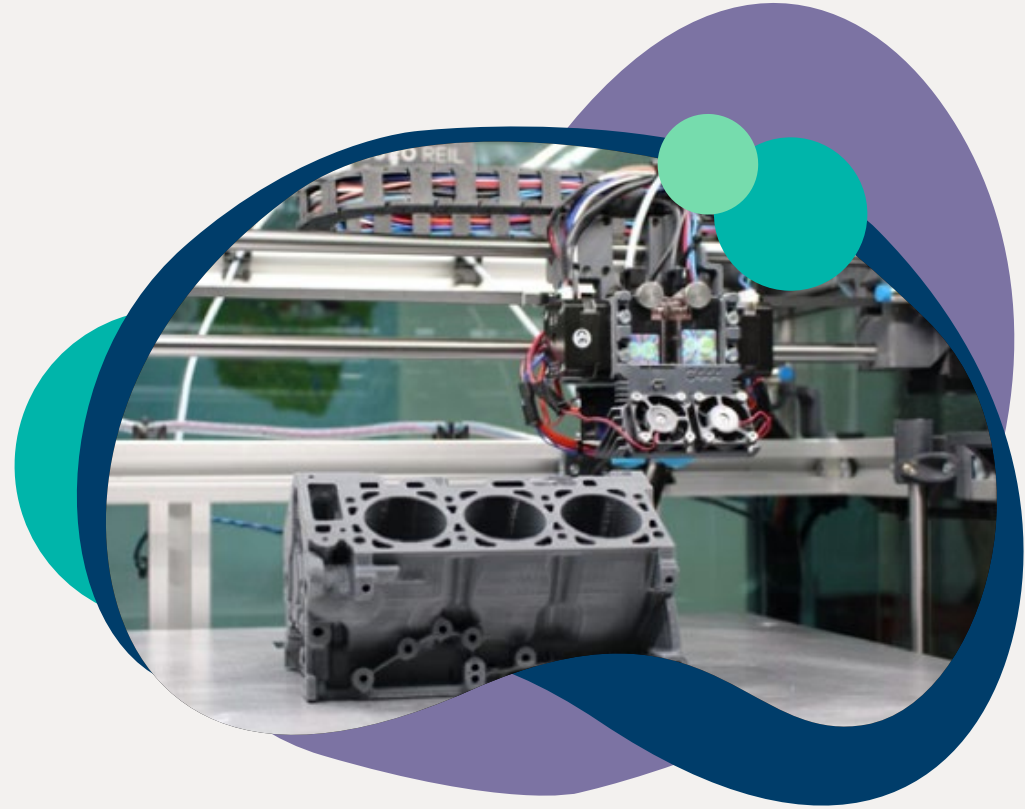


Eklemeli İmalat ve Fonksiyonel Kullanım

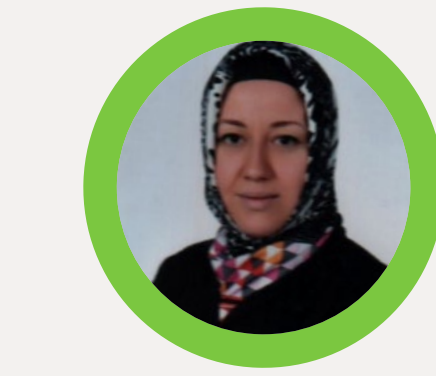
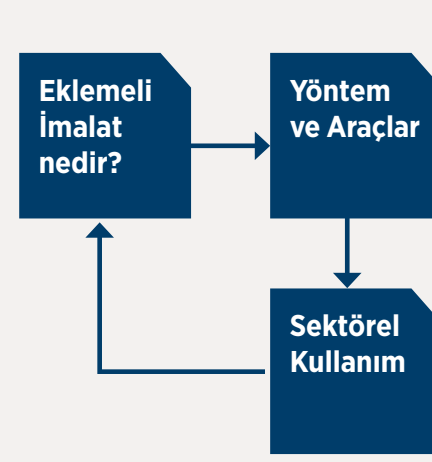
Ağustos 2021



Bu çalışma, TTGV Ideaport Komünite üyesi ve teknoloji profesyoneli 6 uzmandan ve 1 Ideaport Yıldızlar komünitesi üyesinden oluşan Ideaport – Eklemeli İmalat ve Fonksiyonel Kullanım Çalışma Grubu tarafından hazırlanmıştır. Farklı sektörleri temsil eden uzmanlarımız; "Eklemeli İmalat Teknolojisinin Yöntemleri ve Kitlelşel Kişiselleştirme Uygulamalarının Önemi ve Geleceği" başlığı altında bir araya gelerek karşılıklı deneyim ve fikirlerini paylaştıkları ortak bir çalışma gerçekleştirdiler. 8 haftalık çalışmalarının sonucu olarak hazırladıkları bu çıktı; tüm dünyada giderek önem kazanan "eklemeli imalat teknolojileri" konusunun ülkemizdeki ve dünyadaki güncel durumunu farklı örneklerle özetlemektedir.

Çalışma Grubu Üyeleri

Ahu Çelebi, Alperen Doğru, Elif Zeynep Emir, Nergiz İlhami, Metin Kayıtmazbatır,
Ideaport Yıldızı **Baturalp Oğuz** ve
Çalışma Grubu Lideri **Alaeddin Burak İrez.**



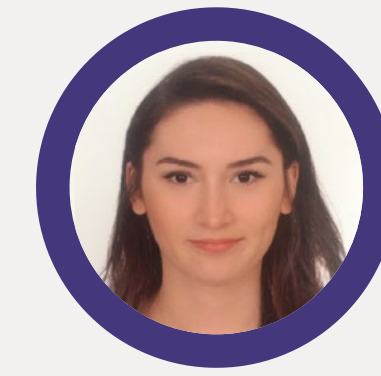
YRD.DOÇ.DR. AHU ÇELEBİ
Celal Bayar Üniversitesi-
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Bölümü



ALPEREN DOĞRU
Ege Üniversitesi -
Uçak Teknolojisi Programı



ELİF ZEYNEP EMİR
digiMODE-Satış Direktörü



NERGİZ İLHAMİ
Sabancı Üniversitesi - TÜMER



METİN KAYITMAZBATIR
Michigan Üniversitesi



BATURALP OĞUZ
Osmangazi Üniversitesi
Ideaport Yıldızı



DR. ALAEDDİN BURAK İREZ
İstanbul Teknik Üniversitesi,
Makine Müh. Bölümü Öğretim Üyesi

Eklemeli İmalat nedir?



Üç boyutlu baskı olarak bilinen eklemeli imalat, talaşlı imalat gibi geleneksel üretim yöntemlerinde görülen dolu hammaddeden malzeme eksiltme işlemlerinin aksine, fiziksel modellerin bilgisayar destekli tasarım verileri kullanılarak malzemenin birbirini izleyen katmanlar halinde bir araya getirilmesi ile üretildiği geleneksel olmayan üretim sistemidir. Eklemeli imalat çeşitli endüstrilerde, nihai ürün veya ticarileştirmeden önce hızlı bir şekilde bir sistem veya parça prototipi üretmeye yönelik olarak kullanılmaktadır.

Eklemeli imalat, tedarik süresini kısaltması ve az sayıda parçanın üretim maliyetini düşürmesi açısından avantajlı olmaktadır. Eklemeli imalat yöntemleri ile üç boyutlu CAD verisi oluşturulan bir ürün; takım, kalıp ve aparat gerekmeden doğrudan üretilmektedir. Ayrıca eklemeli imalat karmaşık geometrilerdeki nesnelerin üretim süreçlerini basitleştirmekte ve tasarım özgürlüğü sağlamaktadır. Eklemeli imalat yöntemleri; hafifleştirilmiş tasarımlar, montaj gerektirmeyen parçalar, yerinde üretim, yöne bağlı farklı özellikler gösteren malzemeler, yapı içi destekler ve kişiselleştirilmiş ürünlerin doğrudan üretimini mümkün kılmaktadır.

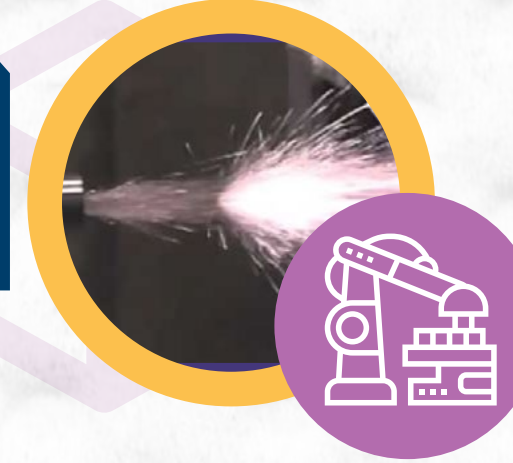
Eklemeli imalatın, geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında tercih edilmesini sağlayan birçok avantajı bulunmaktadır. Bu avantajlar:

- Latis yapıların ve optimize edilmiş tasarımların eklemeli imalat ile üretilme potansiyelinin yüksek olmasından dolayı daha hafif ve fonksiyonel parça üretimi yapılabilmektedir.
- Geleneksel üretim yöntemleriyle üretilmeyecek veya birkaç farklı alt proses ile üretililecek ve üretim sonrası montaj işlemleri gerektirebilecek yapılar (soğutma kanalları, kapalı hacimler gibi karmaşık tasarımlar) eklemeli imalat ile tek işlemde bütünsel olarak üretilmektedir.
- Geleneksel yöntemlerin aksine parçanın katman katman üretilmesi sonucu ve üretim sırasında kullanılmayan hammaddenin geri dönüştürülebilir olması malzeme tasarrufu sağlamaktadır. (Örneğin, bazı proseslerde metal tozları için geri dönüştürülebilirlik oranının %95-%98 aralığında olduğu bilinmektedir).

Eklemeli imalat teknolojisi sağladığı avantajların yanı sıra birtakım dezavantajları ve kısıtları beraberinde getirmektedir. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- İlk yatırım maliyetleri ve sistem fiyatları yüksektir.
- Malzeme ve yöntemle ilgili olarak, eklemeli imalat ile üretilen parçalar, üretim sonrası yüzey kalitesini arttırmaya, mekanik özellikleri iyileştirmeye ve destek yapılarını uzaklaştırmaya yönelik üretim sonrası işlemlere ihtiyaç duyarlar.
- Tezgâh boyutlarının bağlı olarak üretililecek parça boyutlarının sınırlı olması nedeniyle büyük parçalar için üretim sonrası kaynaklı birleştirme gibi ikincil işlemlere ihtiyaç duyulabilmektedir.

Yöntem ve Araçlar



Malzeme Ekstrüzyonu İle Eklemeli İmalat Teknolojisi (FFF): Erimiş malzeme ekstrüzyonu sistemleri, fiziksel modelin imalatında eriyik malzemelerin katmanlar halinde bir araya getirilmesi sürecini ifade eder. Üretilen parçanın üç boyutlu geometrisi katmanlar halinde dilimlenir ve ilgili katmanda yer alan katı bölümlere ısıtılan bir nozul ile kontrollü bir şekilde malzeme biriktirilerek parça üretimi yapılır.

Cold Spray Eklemeli İmalat (CSAM): Soğuk püskürtme eklemeli imalat yöntemi, katı tozların bir nozul vasıtasıyla altlığa doğru hızlandırıldığı katı hal biriktirme işlemidir. Tozların birikimi püskürtülen parçacıklarda ergime olmaksızın gerçekleşir. Püskürtülen parçacıklar yüksek kinetik enerjiye sahip olduğu için çarpma esnasında altlığa yapışır. Yüksek yoğunluk, üstün yapışma, yüksek birikme hızı ve birikme verimi gibi özellikler soğuk püskürtme teknolojisini net şekle yakın parça üretimi ve onarımı için cazip hale getirmektedir.

Direkt enerji yığma (DED) yöntemi, yapı malzemesinin tablanın hemen üzerinde eritilerek bir katman elde edilmesini içerir. Yapı malzemesi toz veya tel şeklinde sisteme beslenebilir. Bu yöntemde enerji kaynağı, tablanın sadece ilgili bölümünü ısıtır ve yapı malzemesini tabladan birkaç milimetre yukarıda birleştirir. Böylece eriyik daha kolay elde edilir ve eriyiğin tablaya yapışması sağlanarak katman elde edilir.



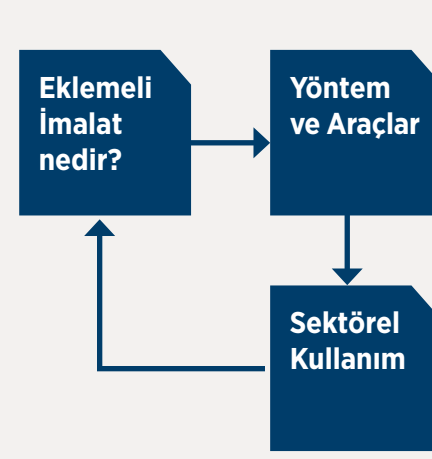
Polyjet: Polyjet teknolojisinde, likit fotopolimerlerin nozullar yardımıyla, üç boyutlu bir geometrinin dilimlenmiş verisine göre püskürtülmesi ve sonrasında UV ışınlarıyla kürlenmesi sonucunda parça katman katman imal edilir. Bu teknoloji aynı anda hem rijit hem de yumuşak karakteristikteki polimerlerin eş zamanlı kullanılabilmesi sonucunda çok malzemeli eklemeli imalatı mümkün kılar. Ayrıca rijit ve yumuşak karakteristikteki fotopolimerlerin baskı esnasında birleşimi sayesinde çok geniş spektrumda malzeme özelliklerine ulaşım mümkündür.

Seçici lazer ergitme (SLM) teknolojisinde üç boyutlu yazıcının haznesinde bulunan metal tozları (genellikle titanyum, alüminyum, kobalt-krom, nikel süper alaşımlar, paslanmaz çelik) üç boyutlu geometriye göre lazer yardımıyla seçmeli olarak ergitilip katılaştırılarak istenilen parça elde edilir.

Elektron Işın Ergitme (EBM), ergitme işlemi için lazer yerine yüksek enerjili (3500 0°C mertebesinde yüksek sıcaklıklara ulaşabilen) bir elektron ışını kullanılarak, serilen ince toz katmanını tarar ve bu kesit alan üzerinde lokal ergitmeyi sağladıktan sonra eriyiğin katılaşması ile katmanların oluşumunu sağlar. EBM yönteminde, kullanılan toz partikül boyutu SLM tekniğine göre daha iri taneli olduğundan daha fazla katman kalınlığı ile imalat gerçekleşir ve bunun sonucunda yüzey pürüzlülükleri daha fazladır. Ancak, mevcut ön ısıtma prosesi sayesinde EBM ile imal edilen parçalarda daha az kalıntı gerilme ve çarpılma meydana gelir.

Eklemeli İmalat ve Fonksiyonel Kullanım

Ağustos 2021



YRD.DOÇ.DR. AHU ÇELEBİ
Celal Bayar Üniversitesi-
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Bölümü

ALPEREN DOĞRU
Ege Üniversitesi -
Uçak Teknolojisi Programı

ELİF ZEYNEP EMİR
digiMODE-Satış Direktörü

NERGİZ İLHAMİ
Sabancı Üniversitesi - TÜMER

METİN KAYITMAZBATIR
Michigan Üniversitesi

BATURALP OĞUZ
Osmangazi Üniversitesi
Ideaport Yıldızı

DR. ALAEDDİN BURAK İREZ
İstanbul Teknik Üniversitesi,
Makine Müh. Bölümü Öğretim Üyesi

Sektörel Kullanım

Havacılık, Savunma ve Uzay:
Üretim sayısının az olduğu, kompleks geometriye sahip, topoloji optimizasyonu gerektiren parçaların yoğun olduğu havacılık, savunma ve uzay sanayiinde eklemeli imalat yöntemleri önemli fırsatlar yaratmaktadır.

- Hollanda Kraliyet Hava Kuvvetleri bakım-onarım faaliyetlerinde kullandığı ekipman ve avadanlıkları üslerde üretmektedir. FFF yöntemi kullanarak fikstür ve mastar üretmektedir.
- İsveçli savunma firması Saab, Gripen savaş uçaklarında FFF teknoloji ile üretilmiş parçaları test etmektedir.
- GE firması CFM motorlarının yakıt nozulunu kaynaklı 20 parça yerine SLM teknolojiyle yekpare olarak üretmektedir.
- Advanced Composite Structures firması 3 boyutlu yazıcı ile üretmiş olduğu fikstürleri, helikopter kanadında delik delmek için bir kılavuz olarak kullanmaya başlamıştır.

Otomotiv: Eklemeli imalat teknolojilerinin otomotiv sektöründe kullanımı giderek artmaktadır. Otomotiv sektöründe birçok üretici eklemeli imalat teknolojisini prototip üretimler için kullanmaya başlamıştır. Yaygın olarak plastik malzemelerin kullanım kolaylığı nedeniyle FFF teknolojisi, ayrıca kalıp üretiminde de metal eklemeli imalat yöntemleri tercih edilmektedir. Prototip, fonksiyonel parça, yedek parçalar üretilmektedir. Motor bloğu, direksiyon simidi, bağlantı parçaları bunlara örnek verilebilir.

Biyomedikal: Üç boyutlu yazıcıların biyomedikal alanında kullanımları çok geniştir. Hem polimer bazı hem de metalik malzemelerden vücut içerisinde ve dışında kullanılan birçok implant ve fonksiyonel ürün imal edilebilmektedir. Örnek olarak;

- 1- Medikal görüntüleme sonrası kişiye özel kalça geometrisi elde edildikten sonra kalça protezi üretilmektedir.
- 2- Kulak içi geometri elde edildikten sonra, kişiye özel işitme cihazı üretilmektedir.
- 3- Hastanın çene ve ağız yapısına göre modellenmiş diş protezi üretimi yapılabilmektedir.
- 4- Kişiye özel ilaç hazırlanmasında da eklemeli imalatın önemli uygulamaları görülmektedir. Sürekli veya gecikmeli salımlı aktif maddeler ve çoklu ilaç kombinasyonları tek bir tablette hazırlanarak hastaya özel tedavi sağlanabilmektedir.

Yapı: Eklemeli imalat yöntemi, yapı endüstrisinde %30'lara varan malzeme tasarrufu yanında, daha az CO2 emisyon üs alınımı, enerji verimliliği ve tasarım özgürlüğü konularında da avantaj sunmaktadır. Yapı endüstrisinin dünya kaynaklarının üçte birini tükettiği göz önüne alındığında, verimlilik ve etkin inşaat stratejileri ile üç boyutlu imalat sistemlerinin yapı üretiminde, avantaj sunduğu gözlenmektedir.

Yapı sektöründe eklemeli imalat; yapı üretimi (Kontur üretimi), yapı bileşen üretimi (beton baskı, D-form), yapıda kalıp üretiminde kullanılabilmektedir.

Tekstil: Tekstil sektöründe son 20 yıldır eklemeli imalat teknolojileri üzerine çalışılmaktadır. Bu çalışmalar; tekstil ve moda ürünlerinin prototipin bir adım ötesine taşıyıp, giyilebilir, estetik, fonksiyonel ürünlere dönüşebilmesini sağlamak üzerinedir.

Eklemeli imalatla üretilen tekstil yüzeyleri üretim yöntemlerine, üretimde kullanılan malzemeye ve yapısal özelliklerine göre üç ana başlık altında toplanmıştır. Eklemeli imalat yöntemlerinin gelişmesi sonucunda öncelikle yapısal özelliklerine göre heykelsi formlarda giysiler ortaya çıkarılmıştır. Günümüzde insan bedeni ile form açısından uyumlu tekstil ürünleri ortaya konulmaktadır. Bu bağlamda yapısal özelliklerine göre çok parçalı tekstil yüzeyleri oluşturmaya daha çok odaklanılmıştır.

4D Printing: Üç boyutlu yazdırma kavramının ötesinde "dört boyutlu yazdırma (4D Printing)" teknolojileri günümüzde artık uygulamaya konan yeni nesil bir eklemeli imalat yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. 4D eklemeli imalat; akıllı malzemelere, eklemeli imalat makinelerinin işlevselliğine ve imalat yöntemine özgü tasarım süreçlerine bağlı olarak ilerlemektedir.

3D yazıcıların en, boy ve yükseklik girdilerine ek olarak, 4D yazıcılarda 4. Boyutu olan 'zaman' olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak buradaki 4. Boyut olan zaman sürekliliği değil, etkiye bağlı bir şekil değiştirme fonksiyonunu oluşturmaktadır. Buradaki şekil değiştirme fonksiyonunda zaman; ısı, ışık, ısı, nem gibi değişkenleri içermektedir. Kısacası, 4D yazıcıda zamanın etkisiyle malzeme akıllı ve programlanabilir bir hale gelerek dışarıdan bir müdahale olmadan ortam koşullarına göre fonksiyon kazanabilmektedir.

4D Baskının diğer bir avantajı; baskı boyutudur. 4D baskı, büzülme ve şekil değiştirebilme özelliğinden dolayı normal şartlarda üç boyutlu yazıcılara sığmayacak boyutlarda üretimi mümkün kılmaktadır.

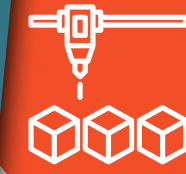
Eklemeli İmalat ve Fonksiyonel Kullanım

Ağustos 2021



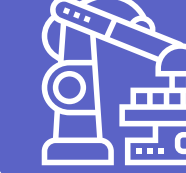
ELİF ZEYNEP EMİR
digiMODE – Satış Direktörü

Eklemeli İmalat teknolojileri; ciddi anlamda tasarım özgürlüğü sağlayan, dolayısı ile yeni nesil ürünlerde ihtiyaç duyulan kişiselleştirilmiş ve performansı iyileştirilmiş ürünlerin üretilmesinde önemli rol oynayan araçlar haline gelmeye başlamıştır. Özellikle metal eklemeli imalat teknolojilerinin belirli sektör ve uygulamalarda kısa vadede konvansiyonel üretim yöntemlerine ciddi kazanmaya başladığı hız ve artırdığı parça kalitesi; orta vadede şu anda uygulama alanı bulmadığı farklı sektörlerde de oyuncu olabileceğini düşündürmektedir. Özellikle bu konuda çalışma yapan, altyapı kuran ve farkındalık oluşturan firmalar; gelecekte eklemeli imalat konusunda söz sahibi ve piyasa koşullarını belirleyici role sahip olacaktır.



YRD.DOÇ.DR. AHU ÇELEBİ
Celal Bayar Üniversitesi- Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

Günümüz teknolojisinde kişiye/müşteriye özel dendiğinde akla ilk gelen üretim metodolojisi olan eklemeli imalat, çağın en büyük çığır açıcı gelişimlerini göz önüne sermektedir. Hızla sayısı yükselen yeni makine üreticileri ile hem kuruluş maliyetleri en aza indirilmekte, hem de hibrit makineler gibi çoklu işlemleri bir arada yapabileceğimiz seri üretime de uygun opsiyonlar karşımıza çıkmaktadır. Özellikle yeni alaşımların geliştirilmesinde; yüksek entropili yeni alaşımlar, yüksek entropili refrakter alaşımlar, entropili alaşımlar, yüksek entropili kanatlarında, motor süper alaşımlar dikkat çekerken; bu alaşımlara şekil hafıza özellikleri kazandırılarak, uçak tırbün kanatlarında, motor parçalarında ya da biomalzeme olarak kullanımı olası görülmektedir. Enerji dönüşümü karakteristیکlerinin geliştirilmesinde özellikle farklı desen ve yoğunlukların özetik yapılarla tasarlanarak kişiye özel kask, araba tampon bölümü gibi uygulama örneklerinde kullanmak mümkündür.



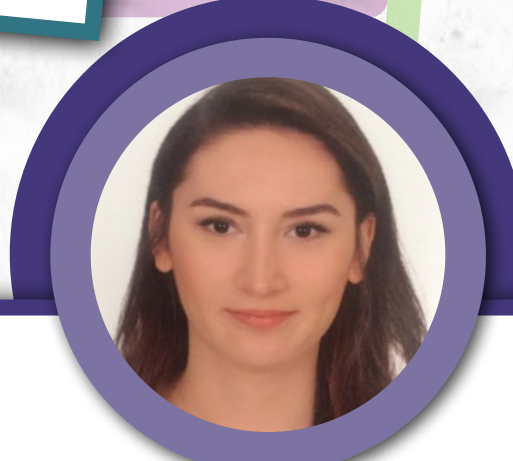
ALPEREN DOĞRU
Ege Üniversitesi - Uçak Teknolojisi Programı

Eklemeli imalat ile; ağırlığı azaltın, fonksiyonelliği arttırın, performansı iyileştirin, tedarik zincirini kısaltın ve montajı azaltın. Eklemeli imalat teknolojileri havacılık, uzay ve savunma sanayisinde özellikle üretiminde ve tasarımda alışla gelmiş süreçleri değiştirmektedir. Eklemeli imalat yöntemleri, proje bazlı ve az sayıda parça üretiminin yapıldığı ve karmaşık geometriye bileşenlere sahip olan havacılık, uzay ve savunma sanayisinde önemli fırsatlar yaratmaktadır. Eklemeli imalat yöntemlerinde üretim süreci imal edilecek nesnenin geometrisinden bağımsızdır ve ayrıca montaj süresinin ve tedarik zincirinin kısaltılması sağlar. Standartların, yetkilendirmenin ve kalite sistemlerinin etkin olduğu, yetki alanlarının keskin çizgilerle belirlendiği havacılık, uzay ve savunma sanayisinde, eklemeli imalat yöntemleri ile ilgili bilgi birikiminin artması ve ilgili standartların oluşturulmasıyla birlikte uygulama alanı her geçen gün genişlemektedir.



NERGİZ İLHAMİ
Sabancı Üniversitesi - TÜMER

Eklemeli imalat teknolojisi gün geçtikçe hayatımızdaki yerini arttırmaya devam etmektedir. Özellikle savunma, havacılık, biyomedikal sektörlerinde aktif olarak kullanılan bu teknoloji, yeni eklemeli imalat metodlarının çıkmasıyla hemen hemen her sektörde kullanılmaya başlanmıştır. Seri üretime uyumu daha yüksek düzeye ulaştığında ise kullanım oranının ani bir yükseliş göstereceğinden hiç şüphe yoktur. Bunun yanı sıra araştırma ve geliştirme çalışmaları devam 4D eklemeli imalat teknolojisi sayesinde mevcut 3D eklemeli imalat ile üretilmesi mümkün olmayan parçaların üretilmesi potansiyeli artmaktadır.



DR. ALAEDDİN BURAK İREZ
İstanbul Teknik Üniversitesi,
Makine Müh. Bölümü Öğretim Üyesi

Teknolojideki gelişmelerin, eklemeli imalatın yatırım maliyetlerini ve imal süresini düşüreceği öngörüsüyle konvansiyonel imal usullerine bağımlılığı ortadan kaldıracığı düşünülmektedir. Eklemeli imalat teknolojileri birçok sektörde uygulamaya veya kişiye özel çözümler sunarak insanların hayat kalitesini arttırmakta ve endüstriyel sistemlerin ergonomisini ve verimini iyileştirmektedir. Dünyada birçok ülkede hem akademik hem de endüstriyel çalışmaların yoğun olduğu bu alanda, ülkemizde de üniversite-sanayi iş birliklerinin ve bilgi birikiminin artırılması büyük bir öneme sahiptir.



BATURALP OĞUZ
Osmangazi Üniversitesi
Ideaport Yıldızı

Eklemeli imalat yöntemleri, geleneksel yöntemlere göre sağladığı yüksek tasarım özgürlüğü sayesinde üretimde farklı alt proseslerin kullanıldığı tasarımların bütünsel olarak üretilmesini sağlamış ve optimize edilmiş karmaşık tasarımların, latis yapıların üretilbilirlik potansiyelini arttırmıştır. Özellikle havacılık sektöründe bu yararlı çıktı sayesinde daha hafif fonksiyonel parça üretimi mümkün olmuştur. Gelecekte ise bu teknolojinin farklı sektörlerde veya ev/ofis tipi kullanımının daha da artması kuvvetle muhtemeldir.



METİN KAYITMAZBATIR
Michigan Üniversitesi

2012 yılında "The Economist" dergisinin "3. Endüstri Devrimi" olarak tanımladığı eklemeli imalat yöntemi bir anda is dünyasından ve akademiden yoğun ilgi gördü. Devamındaki süreçte ise 44. Amerikan başkanı Obama'nın gelecek vizyonunda yer almasıyla bu ilgi kontrolsüz olarak büyüdü ve kitlelere ulaştı. Sektör profesyonelleri bu ilgi olup olmadığının pek çok kereler gündeme geldi. Günümüzde eklemeli imalatın seri üretimin alternatifi olamayacağı, implant gibi son derece kişiselleştirilmiş ürünlerde ve çok düşük hacimli üretimlerde iyi bir destek unsuru olabileceği konusunda genel bir kabul var. Bu yöntemi kullanan teknolojiler de (SLM, DED, FDM vb.) kendi içlerinde bu duruma göre; yalın, tek seferde hatasız üretim ve üretimin anında sertifikasyonunu yapılabilecek şekilde evrildi. Gelecekte de bir ürünü üreten, sözgelimi toz yatağı sistemi gibi, o ürünün proses parametrelerini de pazara sunan bir yapı görebilmemiz olasıdır.



Kaynaklar

<https://www.hubs.com/knowledge-base/automotive-3d-printing-applications/>
<https://www.addit3dprinting.com/key-additive-manufacturing-industry/>
<https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/best-3d-printing-articles/4d-printing-technology/>
<https://www.economist.com/leaders/2012/04/21/the-third-industrial-revolution>
<https://www.cnn.com/2013/02/13/tech/innovation/obama-3d-printing/index.html>
<https://www.forbes.com/sites/gcaptain/2012/03/06/will-3d-printing-change-the-world/>