



# İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE 3B EKLEMELİ ÜRETİM UYGULAMALARI

*Additive Manufacturing Applications in HVAC Systems*

**Ziya Haktan KARADENİZ**

## ÖZET

Kesme ve birleştirme olarak tanımlanabilecek günümüz üretim teknolojisinin getirdiği tüm kısıtlamalar, üç boyutlu (3B) eklemeli üretimin gelişmeye açık yapısıyla yakın gelecekte ortadan kalkacaktır. Çünkü teorik olarak eklemeli üretim “atom, atom” üst üste eklemeye temeline yakınsamaktadır. Endüstrinin her alanında bileşen ve sistemlerin üstün performanslarda ve bilinen çözümlerin (alışılabilir geometrilerin) dışındaki yapılarda üretimi, 3B eklemeli üretime uygun tasarım ve üretim yaklaşımları ile mümkün olacaktır. Geleceğin dünyasında endüstriyel taşımanın ana yükünü, mamuller ya da yarı mamuller değil, üretimde kullanılacak üç boyutlu yazıcılar ve bunların kullanacağı malzemeler oluşturacaktır. Söz konusu endüstriyel dönüşümün 10-30 yıl arasında değişen bir zaman diliminde tamamlanacağı öngörülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Eklemeli üretim, 3B yazıcı, BIM, Dijitalleşme

## ABSTRACT

All the limitations of today's production technology, which can be defined as cutting and unifying, will disappear in the near future with the development of three-dimensional (3D) additive manufacturing. Because, theoretically, the additive manufacturing converges to the basis of atom-by-atom superposition. In all areas of industry, the production of components and systems in superior performances and in structures other than known solutions (conventional geometries) will be possible with design and production approaches suitable for 3D additive manufacturing. In the future world, the main burden of industrial transport will not be products or semi-finished products, but three-dimensional printers that will be used in production and the materials they will use. It is foreseen that the industrial transformation will be completed in a period of 10-30 years.

**Key Words:** Additive manufacturing, 3D printers, BIM, Digitalization

## 1. GİRİŞ

3B eklemeli üretim yöntemleri ve cihazları hızlı bir gelişme aşamasındadır. Firmalar ve Üniversiteler bu teknoloji yarışında öne çıkabilmek için kendi teknolojilerini tanıtmaya ve standartlarda kabul ettirme çabasıdadırlar. Bu alandaki ASTM F2792-12a (Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies) genel kabul görmüş standart olmasına rağmen, bu standart 2015 yılında yürürlükten kaldırılmış ve yerine yeni bir standart önerilmemiştir [1]. Bu durum da, yeni geliştirilen teknolojilerin etkinliğinin öncüllerine kıyasla daha yüksek olması, bu nedenle gelişmekte olan bu alanda bir standartlaşmaya henüz varılmamış olması ile ilişkilidir. Buna rağmen literatürde yaygın olarak bu standarttaki isimlerin kullanımına devam edilmektedir. Konu ile ilgili standartlaştırma çabası henüz başlamamıştır ancak yöntemlerin Türkçe karşılıkları için öneriler mevcuttur [2].

En çok kullanılan üç yöntem Malzeme Ekstrüzyonu (ME), Toz Yataklı Ergitme (TYE) ve Fotopolimerizasyon (FP) olarak görülmektedir. Malzeme Ekstrüzyonu yöntemi daha çok görselleştirme ve hobi kullanımı için yaygınken, sanayi kullanımında TYE ve FP yöntemleri gittikçe daha çok kullanım alanı bulmaktadır. Eklemeli üretimin kullanımının yaygınlaşması için yapılan akademik çalışmaların yanında [3], kamu kurumlarına ve özel kuruluşlara dünya çapında sektör odaklı denetim, vergi ve danışmanlık hizmetleri sunan firmalar, son birkaç yılda 3B eklemeli üretim alanına özel olarak firmaların nasıl bir dönüşüm geçirmeleri gerektiğine dair raporlar hazırlamışlardır [4]. Bu akademik çalışma ve raporlar eklemeli üretimin ekonomik risk, güvenlik, hız, kalite, stoklama, geri dönüşüm, estetik, çevresel etki, atık oluşturma, enerji tasarrufu ve hammadde çeşitliliği açısından geleneksel üretim yöntemleri ile rekabet edebilirliğini irdelemektedir. Bunun yanında, dönüşümün yaratacağı ekonomik etki de tartışılmaktadır. Bir araştırma sonucunda, araştırmaya katılan sanayi şirketinden %11'inin hâlihazırda bazı parçalarının seri üretiminde 3D yazıcı kullandıkları belirlenmişken, büyük Kuzey Amerika şirketlerinden %42'sinin 2020 itibarıyla TYE 3D yazıcıları operasyonlarının büyük kısmında kullanacaklarını söyledikleri raporlanmıştır [3]. Sanayi kullanımında önemli bir etken de maliyettir. Eklemeli üretim az sayıda parça üretimi söz konusu olduğunda geleneksel seri üretim yöntemlerine karşı rekabetçi hale gelmiştir. Özellikle müşteriye özel ürün geliştirme konusunda talep arttıkça, firmaların eklemeli üretim yatırımları da hızlanmaktadır. Öncelikli olarak havacılık ve uzay, askeri teknolojiler ve spor alanlarında ihtiyacı en iyi şekilde sağlayan az sayıda parçanın hızlı şekilde üretilmesi için eklemeli üretim kullanımı yaygınlaşmaktadır. Büyük teknoloji ve sanayi şirketleri Endüstri 4.0'a geçişteki hazırlık seviyelerini göstermek için 3B eklemeli üretim ile ürettikleri parçaların son ürünlerinde kullanımını da bir parametre olarak sunmakta ve bir saygınlık göstergesi haline getirmektedirler.

Tüm bu gelişmeler ışığında TÜBİTAK tarafından 2016 yılı sonunda sunulan "Yeni Sanayi Devrimi Akıllı Üretim Sistemleri Teknoloji Yol Haritası" ülkemizdeki ilk stratejik çalışma olarak kabul edilebilir. Eklemeli üretimin en çok katma değer sağlayacağı düşünülen üç teknolojiden biri olarak sunulduğu bu raporda, geleceğin fabrikalarının temel unsurlarından biri eklemeli üretim olarak gösterilmiştir. Daha çok TYE yönteminin gelecekte yoğun kullanılacağı öngörülmüş ve bu yöntemle eklemeli üretim yapabilmek için gerekli teknolojiler malzemeden başlayarak optimizasyon modülleri ve simülasyon yazılımlarına kadar tüm süreçleri ile işlenmiştir. Bu yol haritası raporunu takiben diğer bakanlıklar, odalar ve STK'lar tarafından da bazı çalışmalar yapılmıştır. Sonucunda Mayıs 2018'de Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından yayınlanan "Türkiye'nin Sanayi Devrimi – Dijital Türkiye Yol Haritası" ile en olgun haline gelmiştir. Bu kapsamda eklemeli üretimin önemi ve firmalarımızın, diğer Endüstri 4.0 (dijitalleşme) bileşenleri ile birlikte, eklemeli üretim alanında hazırlık seviyeleri hakkında yapılan araştırma sonuçları paylaşılmıştır. Buna göre eklemeli üretim farkındalığı en yüksek ancak memnuniyeti en düşük alt alan olarak karşımıza çıkmaktadır. ↴

## 2. 3B EKLEMELİ ÜRETİMİN İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE KULLANIMI

3B eklemeli üretimin önemli ölçüde etkileyeceği alanlardan bir tanesi yapı-bina endüstrisidir. İklimlendirme sektöründe, tüm bileşen ve sistemlerin 3B eklemeli üretim teknolojisi ile sayısal-dijital fabrikalarda üretilmesi, hatta bu bileşen ve sistemlerin bina kabuğu ile birlikte eş zamanlı olarak yerinde üretilmesi mümkündür. Bu alandaki öncü çalışmalar 2004 yılında ABD'de ortaya çıkmış ve doğal afet, savaş vb. acil durumlarda ihtiyaç sahiplerine hızlıca konut üretebilmekten, Mars kolonilerinin kurulumunda çalışacak sistem tasarımına kadar geniş bir alanda uygulama önerileri sunulmuş ve prototipler imal edilmiştir [5]. İşlevsel ilk örneklerden olan dünyanın ilk 3B eklemeli üretim yöntemiyle basılan apartman binası 2015 yılında Çin'de inşa edilmiştir. 2016'da ise 3B eklemeli üretim yöntemi ile Dubai'de bir ofis inşa edilmiştir. Bu örneklerde, mekanik tesisat, atık su tesisatı vb. bina bileşenleri geleneksel yöntemlerle üretilerek binaya bağlanmışlardır. Yapı-bina endüstrisinde 3B eklemeli üretim yönteminin kullanıldığı örnekler her geçen gün artmaktadır. Bu yapıların bazıları deneysel çalışma amacıyla, bir kısmı ütöpik ortak yaşam alanları olarak, bir kısmı ise farklı amaçlar için oluşturulan tamamen işlevsel yapılar olarak tasarlanmış ve/veya üretilmişlerdir.

Kısa zaman önce ortaya atılan "Dijital Olarak İnşa Edilmiş Binalar" (Digitally Fabricated Buildings) kavramı [6]; Mimarlık, Mühendislik, İnşaat sektörleri ile işletme sahipleri için yeni çağın eklemeli üretim çağı olacağını ve bu değişime ayak uydurabilmek için kullandığımız mühendislik yaklaşımlarının

yenilenmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu alanda eklemeli üretimin "bir sonraki en büyük adım" olma potansiyeline sahip olduğunu belirtilmiştir. Bu adımı atabilmek için, Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat sektör temsilcileri arasında eşgüdümün sağlanması, "bina bilgi modellemesi (BIM), parametrik iş akışı modellerinin geliştirilmesi ve bütünleşik yapı elemanları mühendisliği" alanlarının yakın gelecekte önemli araştırma ve uygulama konuları olması beklenmektedir. Yeni mühendislik yaklaşımları, bina inşa elemanları, sıhhi tesisat, HVAC, elektrik tesisatı vb. unsurlar için doğadan ilham alan özgün (serbest) tasarımları içerecektir. Bu tasarımların üretilmesi geleneksel yaklaşımlarla mümkün olamayacaktır.

İklimlendirme endüstrisinin mühendislik kültürünün sonucu olarak, oluşan tasarımlar çoğunlukla talaşlı imalat ve metal şekillendirme işlemleri ile elde edilebilecek tekrarlı doğrusal yapılardır. Bu yapılar verimlilik konusunda sınırlıdır ve bir mimarın estetik ihtiyaçlarını karşılayacak kadar esnek olmaktan çok uzaktır. Eklemeli üretimin iklimlendirme sanayiinde kullanımını yüksek performans için eklemeli üretim ve bütünleşik tasarım için eklemeli üretim olarak iki başlıkta düşünebiliriz. Bu iki alanın gerçekleşmesi farklı zaman ölçeklerinde sahiptir. Aslında, ısı değiştiriciler ve fanlar gibi yüksek performanslı bileşenler hâlihazırda 3D yazıcılar kullanılarak üretilmektedir. Son yirmi yılda eklemeli üretim teknolojisi ve endüstrisinin hızlı büyümesi göz önüne alındığında, 3D yazıcıların HVAC sektörüne güvenilir bir üretim aracı olarak entegrasyonu on yıldan fazla sürmeyecektir. Ancak, tüm HVAC bileşenlerinin, tüm pazardaki parçaların ve bütünleşik tasarım ile 3B bina inşasında eklemeli üretim kullanımı için daha fazla zamana ihtiyaç vardır. Enerji verimliliği politikaları, İç Çevre Kalitesi hassasiyetinin arttırması ve Yüksek Performanslı Bina uygulamalarının artması, mühendisliğin sınırlarını zorlamakta; bu nedenle, geleneksel mühendislik yöntemleri (hem tasarım hem de üretim için), yüksek performans ihtiyaçlarını karşılamak için yetersiz kalmaktadır. Verimliliği arttırmak için tasarım ve üretim süreçlerini anlama yöntemimizi değiştirmemiz gerektiğini açıklar.

Dijital dönüşüm süreçlerinin iklimlendirme sektöründe kabul edilmesine bir örnek olarak BIM uygulamalarını ele alırsak BIM'in kavramsal olmaktan gerçek hayattaki bir uygulamaya geçmesinin yirmi yıldan fazla sürdüğünü görebiliriz. BIM metodolojisi günümüzde yüksek performanslı binaların tasarımı, yapımı ve işletilmesi için hayati öneme sahiptir. BIM'in amacı parçaları, montaj işlemlerini ve operasyonel ihtiyaçları organize etmektir. Ancak, henüz eklemeli üretim araçları içeren herhangi bir BIM yazılımı ortaya çıkmamıştır. Aslında bu, Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat sektörlerinin eklemeli üretimi uygulamaları için başlangıç noktası olacaktır. Bu oldukça organize bir profesyonel yaklaşım meselesidir. Şimdi tartışma ve beyin fırtınası aşamasındayız ve bu sürecin uygulamaya dönüşen ilk sonuçlarını görmekteyiz. HVAC endüstrisinin değer zincirinin tüm bileşenleri, eklemeli üretimin entegrasyonu için yapılacak kuramsal çalışmaya dâhil edilmelidir. Sonuç olarak bulut bilişim, IOT, süper bilgisayarlar vb. son teknolojik gelişmeleri içeren bir iş modeline yakınsanması kaçınılmazdır. Yeni sanayi devrimini yani Endüstri 4.0'ı kurgulayanlar, HVAC endüstrisinde üretim yöntemlerini ve tasarım stratejilerini dönüştürme fırsatını kaçırmayacaktır.

Bir bina sahibinin ihtiyacı, sağlıklı, konforlu ve sürdürülebilir bir yaşam alanıdır. Eklemeli üretim ile bunlar hem daha kısa sürede hem de yüksek kalitede sağlanabilir. Uzun vadeli bir tahmin olarak, bir MÜHENDİS; BIM yazılımı kütüphanesinden bir ısı değiştiricinin temel tasarımını seçebilir ve bina cephesinde bu ekipman için uygun bir yer seçebilir ve bazı sınır koşulları ve analiz araçlarını onaylandıktan sonra bir Hesaplamalı Akışkan Dinamiği (HAD) uygulaması yeni kanal hattı tasarlamak için gerekli hesaplamaları gerçekleştirebilir. MÜHENDİS'in bilgisayarındaki "Bulut Veri İşleme" modülü CFD uygulaması kontrol edecek ve ısı değiştiricinin temel tasarımında ve ayrıca kanal hattında optimizasyon yapacaktır, böylece maksimum verimlilik elde edilebilir. Bu aşamada bilgisayardaki BIM yazılımı, entegre bir tedarikçinin yazılımını kullanarak sisteme uygun fanı seçebilir, projeyi kontrol eder ve tasarım için gerekli optimizasyonları yapar, MÜHENDİS onayladıktan sonra siparişi gönderir. Fan üreticisi tesisinde bulunan veya birçok fana ihtiyacınız varsa hâlihazırda inşaat alanında bulunan 3D yazıcıya fan geometrisi gönderilir. Tüm sistemin tasarımı sizin tarafınızdan onaylandıktan sonra, veriler sahaya gönderilecek ve tüm eklemeli üretim işlemlerinin simülasyonu, sahadaki "3B Müteahhit Firma" yazılımı tarafından kontrol edilir. Sonunda, çok çeşitli malzemeleri basabilen çok amaçlı bir 3D yazıcı inşaatı başlatacak ve durum hakkında MÜHENDİS'i bilgilendirecektir. Aslında bu süreçte bir MÜHENDİS'e gerek yoktur. Bunların hepsi tek bir girdi "Mimari Tasarım" ve tek bir emir "Başlat" bekleyen, bir IOT şebekesiyle birbirine bağlı makine ve yazılım dünyasıdır.

Bu hikayedeki “MÜHENDİS”, iklimlendirme endüstrisinin değer zincirinin herhangi bir pozisyonunda çalışan bir iklimlendirme profesyoneli. Bununla birlikte, bu sürecin gerçekleşebilmesi için tüm arka plan yazılımı, ağ protokolleri, optimizasyon algoritmaları, HAD metodolojileri, yasal mevzuat, standartlar geliştirilmelidir. Bu nedenle iklimlendirme sektöründe yenilikçilik, araştırma ve geliştirme ve standardizasyon ihtiyacı artacaktır. Bu yeni süreç ile birlikte iklimlendirme profesyonellerin rolü sahadakilerden ziyade bu alanlarda mühendislik tarafında olacaktır. Ayrıca, makineler ve yazılımlar müşavirlik işlerini de yapabilecek ve böylece müteahhitlerin yükünü de taşıyacaklar. Proje için fikri mülkiyet sorunu bulunmaması durumunda yatırımcı doğrudan imalatçıyla veya özel bir bina tasarımına ihtiyaç duyulması halinde mimarlarla görüşecektir.

3B eklemeli üretim teknolojisi hala seri üretim için çok yavaş, yukarıda verilen büyük ölçekli üretim için yetersizdir ve bu süreçlere uygun malzemelerden yoksundur. İklimlendirme endüstrisi (diğerleriyle birlikte) ihtiyaçlarını ortaya koydukça için bu sorunlar çözülerek eklemeli üretim yaygınlaşabilir. Bu durum avantaj veya dezavantajları nitelendirilemez. Sadece bu değişimin yaşanması beklenebilir. İklimlendirme endüstrisinin tüm bileşenleri bu değişimin bir parçası olacak ve yeni rollerine evrilecektir. Teknolojinin olgunluğundan sonra, üreticiler özel bir HVAC ekipmanı veya sistem üreticisi olmalarını gerektirmeyen esnek üretim hatlarına sahip olacaklar. Çünkü bir otomobil yedek parçası üretimi yaparken gerektiğinde bir iklimlendirme ekipmanı üretimine kolayca geçiş yapabilirler. Ar-Ge mühendisliği bugünün üreticilerinden kalan en önemli, hatta tek, fonksiyon olabilir.

Piyasa düzenleyicilerin (standart koyucuların) rolü daha önemli olacaktır. Sanal gerçeklik, inşaattan önceki en küçük boruya bile gitmemize izin verse de, bugünün metodolojisi ile bina inşaatı sırasında tasarımı revize edip ilgili bazı sorunları çözebiliriz. Gelecekteki durumda ise; yatırımcı makine ve yazılıma güvenmek zorundadır. Aslında güvenilecek şey, sahnenin arkasındaki kişi yani sertifikayı veren veya standardı belirleyen kişidir. Sonuç, ürünün kendisi yerine tasarım yönteminin belgelendirilmesi olacaktır. Güncellenen yönetmeliklere göre sertifikalandırılmış yazılımlar ve 3B yazıcılar yüksek kaliteli binalar üretecektir. Eklemeli üretimin getireceği büyük esneklik, standardizasyonun sınırlarını zorlayacaktır. ↴

## SONUÇ

Bu süreçte iklimlendirme sistemlerinin de yeni üretim yaklaşımına adapte olacak şekilde değişmesi gerekecektir. 3B eklemeli üretim, ilgili tasarım teorisinin ve araçlarının geliştirilmesi ile birlikte, yerinde ve zorunlu geometrik formların dışında üretim olanakları sağlayarak günümüz endüstri üretim formlarının yerini alacak ve değer zincirlerini önemli ölçüde etkileyecektir. Bu nedenle dönüşümün sağlıklı şekilde gerçekleştirilebilmesi için yapılması gerekenler aşağıda sıralanmıştır.

- Eklemeli üretim için sektörel pazar araştırması, teknoloji, yasal çerçeve, standartlar, değer zinciri ve başarı faktörleri konularının incelenmesi.
- Finans ve hibe destekleri konusunda farkındalık, eklemeli üretim ve iklimlendirme sektörü için tedarik zinciri eşleştirilmesi, iş ve strateji geliştirme.
- Ar-Ge personeli, yönetici ve idareciler için eklemeli üretimin toplam ticari, teknolojik ve inovatif değerini işleyen çalıştaylar.
- Eklemeli üretimin sanayi kuruluşları, sektörler, uygulamalar, ürün grupları, sistemler, bileşenler ve/veya prototipler için fizibilite çalışmaları.
- Malzeme, tasarım ve işlevsel uyum, üretim yöntemleri, hızlı ürün geliştirme ve prototipleme konularının araştırılması.

Devrimci değişimlerin kabul edilmesinde her zaman bir darboğaz vardır. Bu süreçte de benzer bir durum yaşanabilir. Ayrıca, “Bu değişikliğe gerçekten ihtiyacımız var mı?” sorusunu sorulabilir. Geleneksel yöntemlerle devam edebilir, daha önce geleneksel yöntemlerle yapılmış binalarımızda mutlu olabiliriz. Ancak girişimciler her zaman fırsatları, yatırımcılar her zaman kar ve mühendisler her zaman zorlukların çözümlerini ararlar. İklimlendirme sektörünü de değişime zorlayan da budur.



## TEŞEKKÜR

Bu çalışma İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 2017-ÖNAP-MÜMF-0005 destek numaralı proje ile desteklenmiştir. Destekleri için teşekkür ederim. Bu çalışma kapsamında sunulan fikirlerin oluşmasına ve olgunlaşmasına katkılarından dolayı sayın Prof. Dr. Macit Toksoy hocama teşekkür ederim.

## KAYNAKLAR

- [1] "ASTM F2792-12a," ASTM, [Online]. Available: <https://www.astm.org/Standards/F2792.htm>. [Accessed 15 01 2019].
- [2] B. Yalçın and B. Ergene, "Endüstride yeni eğilim olan 3-B eklemeli imalat yöntemi ve metalurjisi," SDU International Journal of Technological Science, vol. 9, no. 3, pp. 65-88, 2017.
- [3] S. A. Tofail, E. P. Koumoulos, A. Bandyopadhyay, S. Bose, L. O'Donoghue and C. Charitidis, "Additive manufacturing: Scientific and technological challenges, market uptake and opportunities.," Materials today, vol. 21, no. 1, pp. 22-37, 2018.
- [4] S. Monahan, T. Simpson and L. Taylor-Kale, "3D Printing and the future of US economy," A.T. Kearney, 2017.
- [5] B. Khoshnevis, "Houses of the future: construction by contour crafting building houses for everyone," University of South California, 2004.

## ÖZGEÇMİŞ

### Ziya Haktan KARADENİZ

1980 yılında İzmir'de doğan Ziya Haktan KARADENİZ; 2002 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden, 2005 ve 2011 yıllarında ise sırasıyla aynı Üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Yüksek Lisans ve Doktora Programlarından mezun olmuştur. 2002-2013 yılları arasında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma görevlisi olarak çalışmıştır. 2013 yılından beri İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Dr. Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır. Araştırmalarını iklimlendirme sistemlerinde eklemeli üretim, rüzgar enerjisi ve nanoakışkanlarda ısı taşınımı alanlarında sürdürmektedir. TTMD, TIBTD ve ENSİA üyesidir. İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölüm Başkan Yardımcısı görevini yürütenin yanı sıra, MMO İzmir Şubesi 29. Dönem Yönetim Kurulu Yedek Üyesidir.