

Katmanlı İmalat Teknolojileri Konusunda Yapılan Uluslararası Bilimsel Yayınlar için Güncel Durum İncelemesi

Review of Current Situation for International Scientific Publications on Additive Manufacturing Technologies

H. Kürşat Çelik^{1,*} , Gökhan Kunt¹ , İbrahim Akıncı¹ 

¹ Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye

* Corresponding author (Sorumlu Yazar): H.K. Çelik, e-mail (e-posta): hkcelik@akdeniz.edu.tr

Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 16 Ekim 2020
Düzeltilme tarihi : 30 Ekim 2020
Kabul tarihi : 31 Ekim 2020

Anahtar Kelimeler:

Katmanlı imalat
Hızlı imalat
Hızlı Prototipleme
Hızlı Takım/Kalıp Üretimi
3B Yazıcılar
Tarım Makineleri

ÖZET

Son yıllarda, bilgisayar destekli mühendislik ve katmanlı imalat teknolojileri birçok farklı makine tasarım ve imalat alanlarında aktif bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak bu tip teknolojiler ile ilgili bilimsel nitelikli araştırmaların ve imalata yönelik pratik uygulamaların sayısının özellikle ülkemiz tarım makineleri tasarımı ve imalatı alanında oldukça sınırlı sayıda kaldığı görülmektedir. Bu bağlamda söz konusu teknolojinin güncel durumunun ortaya konmasının ve yapılan bilimsel çalışmaların eğilimlerinin belirlenmesinin tarım makineleri tasarımı ve imalatı araştırma alanı özelinde önemli olduğu anlaşılmaktadır. Bu çalışmada, katmanlı imalat teknolojileri alanında yapılmış olan uluslararası bilimsel yayın çalışmalarının güncel durumunun ortaya konması amacıyla uluslararası bir bilimsel yayın veri tabanı (Web of Science) kapsamında ilgili anahtar kelimeler ile detaylı bir kaynak taraması yapılmıştır. Katmanlı imalat teknolojilerinin mevcut durumunu ve konu ile ilgili yapılan bilimsel çalışmaların genel eğilimlerini belirlemek amacıyla içerik analizi tekniği kullanılmıştır. Katmanlı imalat teknolojileri konusunda yapılan uluslararası bilimsel yayınların ve yapılan çalışmaların Türkiye'deki durumu değerlendirmeye alınmıştır. Katmanlı imalat teknolojilerinin ülkemizdeki durumu incelendiğinde, özellikle 2018 yılında yapılan çalışmaların, diğer yıllara kıyasla artış gösterdiği görülmektedir. Ancak bu alanda çok sayıda çalışmanın yapıldığı Amerika Birleşik Devletleri, Çin, Almanya gibi ülkelere göre ülkemizde yeterli sayıda çalışma yapılmadığı gözlemlenmiştir. Elde edilen bulgular incelendiğinde, tarım makineleri tasarımı ve imalatı araştırma alanı ile alakalı hiçbir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu durum tarım makineleri araştırma alanı özelinde katmanlı imalat konuları üzerine odaklanılması gerektiğinin açık bir şekilde göstergesi olmaktadır.

Article Info

Received date : 16 October 2020
Revised date : 30 October 2020
Accepted date : 31 October 2020

Keywords:

Additive manufacturing
Rapid manufacturing
Rapid prototyping
Rapid tooling
3D printers
Agricultural Machinery

ABSTRACT

In recent years, computer aided engineering and additive manufacturing technologies are actively used in many different product design and manufacturing areas. However, it is seen that the number of scientific publications and practical applications related to this manufacturing technology remain in a limited number, especially in the field of agricultural machinery design and manufacturing in Turkey. In this point, it is understood that revealing the current state of the additive manufacturing technology and determining the trends of scientific studies are important in the field of research and design of agricultural machinery. In this study, in order to reveal the current status of international scientific publication studies in the field of additive manufacturing technologies, a detailed literature search was conducted with the relevant keywords within the scope of an international scientific publication database (Web of Science). Content analysis technique was used to determine the current status of additive manufacturing technologies and the general tendencies of scientific studies on the subject. Assessment of the international and Turkey addressed scientific publications on additive manufacturing technologies and research studies was realised. When the state of additive manufacturing technologies in Turkey was analysed, it was seen that especially the studies carried out in 2018 increased compared to other years. However, it has been observed that there are not enough studies in Turkey relative to countries such as America, China and Germany where many studies have been carried out in this field. When the findings are analysed, no studies related to the field of research and design of agricultural machinery have been found. This clearly states that the agricultural machinery research area should focus on additive manufacturing technologies in order to enlarge the competitiveness capability in design and manufacturing.

1. GİRİŞ

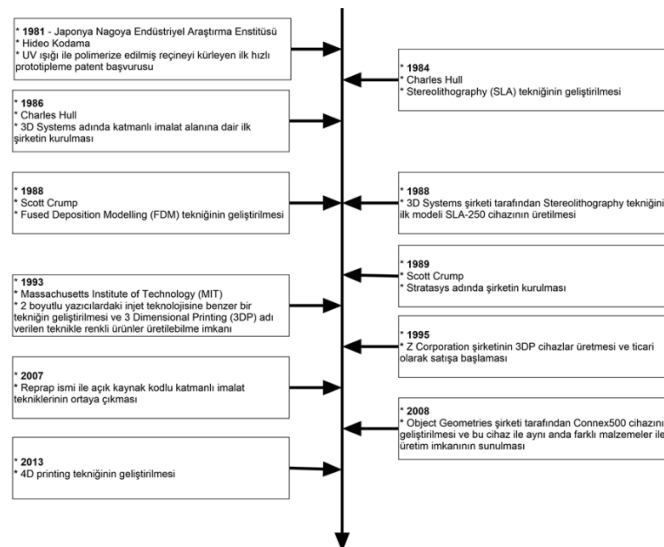
Geleneksel yöntemlerle kavram (konsept) tasarımı bitmiş ürünler için prototip oluşturmak, yeni tasarımı onaylanmış veya tasarımı güncellenmiş bir ürünü üretmek oldukça maliyetli ve zaman alıcı olabilmektedir. Bu kapsamda daha kısa tasarım ve imalat zamanı, karmaşık yapıdaki bir ürünü üretim kolaylığı, daha düşük tasarım ve imalat maliyetleri vb. gibi avantajları nedeniyle, ileri düzey imalat teknolojilerinden biri olan ve birçok alanda geleceğin imalat teknolojilerinden biri olarak öngörülen katmanlı imalat teknolojileri; genel makine imalatı, medikal, havacılık, otomotiv, savunma sanayi, sanat, mimari, moda tasarımı, gıda vb. gibi birçok alanda aktif olarak kullanılmaya başlanmış, diğer alanlara doğru hızlı bir yayılma ve ilerleme eğilimi göstermektedir. Katmanlı imalat teknolojileri bahsi geçen makine imalat alanlarında öncelikli araştırma faaliyetleri arasında yerini almıştır. Ancak Türkiye ölçeğinde, tarım makineleri tasarımı ve imalatı alanında yapılan bilgisayar destekli tasarım/mühendislik, tersine mühendislik, katmanlı imalat ve üç boyutlu (3D) yazıcı teknolojileri ve uygulamaları ile ilgili konularda sınırlı sayıda bilimsel nitelikli çalışmaya rastlanılmıştır. Özellikle katmanlı imalat teknolojileri konusunun tarım makineleri sektöründe henüz aktif olarak yer almaması, teorik altyapıdaki bilgi (know-how) eksiklikleri, yetişmiş eleman eksikliği, bu konu hakkında alana özgü literatür kaynağının yok denecek kadar az olması gibi kısıtlar, katmanlı imalat teknolojilerinin alana özgü uygulama kabiliyetinin araştırılması üzerine odaklanılması gereken bir konu olduğunu göstermektedir. Bu durum, yapılan bu çalışmada öncelikli motivasyon kaynağı olmuştur. Çalışmada öncelikle katmanlı imalat konusunda açıklayıcı özet bilgiler derlenmiş ve katmanlı imalat teknolojileri alanında yapılmış olan uluslararası bilimsel yayın çalışmalarının güncel durumunun ortaya konması amacıyla uluslararası bir bilimsel yayın veri tabanı (Web of Science) kapsamında ilgili anahtar kelimeler ile detaylı bir kaynak taraması yapılmıştır.

1.1. Katmanlı İmalat

Günümüz imalat sektörü malzeme, mühendislik, yazılım ve lazer işleme teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde üç boyutlu katı model esaslı dijital tasarımların polimer, metal ve seramik gibi malzemelerden katmanlı bir şekilde somut ürünlerin imal edilebildiği bir yöntemle tanışmıştır. Bu yöntem, "katmanlı imalat" (AM: Additive Manufacturing) olarak literatüre girmiş ve günümüzde birçok farklı alana özgü ürünlerin prototip ve/veya nihai ürün olarak üretilmesine imkân sağlamıştır (Yalçın ve Ergene 2017). Katmanlı imalat, üç boyutlu bir bilgisayar destekli tasarım (CAD: Computer Aided Design) modelinin, stereolitografi (STL: Stereolithography) adı verilen üçgenel kafes yüzeyli bir modele dönüştürülerek özel yazılımlar ile katmanlara dilimlendikten sonra tabandan başlayarak, ürünün katmanlar halinde polimer, metal, seramik gibi belirli hammaddelerden imal edilmesi işlemidir. Katmanlı imalat yöntemlerinde üretilmek istenen obje, bilgisayar ortamında uygun biçimde modellenmekte, elde edilen model gerekli dilimleme ve düzenleme işlemlerinin ardından katmanlı imalat cihazına gönderilmektedir. Daha sonra cihaz, üretimde kullanılacak ham maddeyi katmanlar halinde işleyerek üretilmek istenen objeyi meydana getirmektedir (Zhang ve Jung 2018). Katmanlı imalat teknolojileriyle, geleneksel yöntemler ile üretilmesi imkânsız, karmaşık yapıdaki cisimler üretilebilmektedir (Wong ve Hernandez 2012). Katmanlı İmalat talaş kaldırma prensibinin tam tersi olarak 3D dijital model verilerinden yararlanarak uygun malzemeleri katmanlar halinde birleştirerek 3D objelerin inşa edildiği işlemler bütünüdür (ASTM F2792-12a).

1.2. Katmanlı İmalat Teknolojilerinin Tarihsel Gelişimi

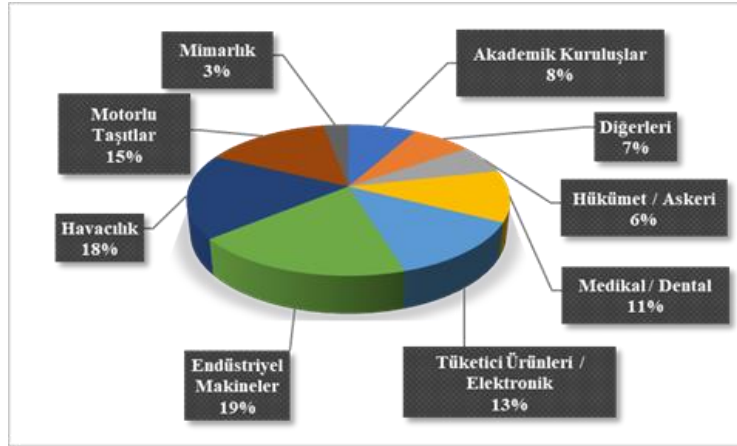
1980'lerin başlarında başlamış olan katmanlı imalat teknolojileri ilk yıllarda prototip üretmek amacıyla hayatımıza girmiş olsa da bilgisayar, yazılım, malzeme üretimi, lazer işleme gibi teknolojilerin gelişmesiyle günümüzde prototipin dışında doğrudan nihai ürün üretim teknolojileri olarak da kullanılabilir. Katmanlı imalat teknolojilerinin kronolojik gelişim süreci Şekil 1'de gösterilmektedir (Arcam, 2014; Gebhardt 2011; Sames vd. 2016).



Şekil 1. Katmanlı imalat teknolojileri kronolojik gelişim süreci

1.3. Katmanlı İmalat Teknolojileri Kullanım Alanları

Katmanlı imalat teknolojileri günümüzde her türlü imalat ve prototip uygulamalarında, medikal-dental implant yapımında, kavramsal modellemede, doğrudan parça üretimi ve hızlı döküm kalıbı imalatında, metal parça veya üretilecek olan bir ürünün ilk örneğini teşkil edecek şekilde prototip üretiminde, mimari yapı uygulamalarında, uzay-otomotiv sanayinde, takı sektörü gibi detay gerektiren ürünlerin doğrudan veya prototipinin üretiminde ve eğitim amaçlı her türlü somut modelin imalatı gibi daha birçok alanda kullanılmaktadır (Çelik vd. 2013). Kullanılan alanların dağılımları teknolojinin sektörel eğilimini değerlendirmek adına önemli olmaktadır (Nadasbaş 2018). Wohlers report tarafından 2017 yılında yayımlanan “Endüstrinin 3D Yazdırma ve Katmanlı İmalat Durumu (3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry)” isimli raporda yer alan katmanlı imalat teknolojisinin sektörlere göre kullanım oranları Şekil 2’de verilmiştir (Wohlers Report 2017).



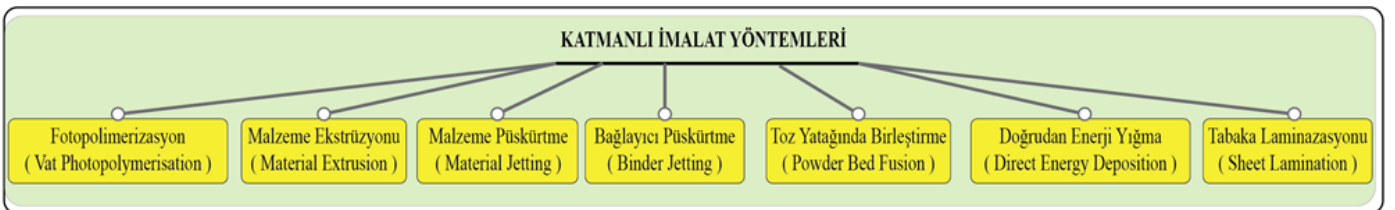
Şekil 2. Katmanlı imalat teknolojilerinin sektörlere göre kullanım oranları

1.4. Katmanlı İmalat Teknolojileri İşlem Basamakları

Katmanlı imalat teknolojilerinde birçok üretim yöntemi olmasına rağmen temel işlem basamakları çoğunlukla birbirine benzerlik göstermektedir bu işlem basamakları şu şekilde tanımlanabilir: Üç Boyutlu (3D) Dijital Modelin Oluşturulması (1); 3D Modelinin STL Formatına Dönüştürülmesi (2); STL Dosyasının Katmanlara Bölünmesi ve Üretim Parametrelerin Ayarlanması (3); Ürünün Katmanlar Halinde İnşa Edilmesi (4); Temizleme ve Son İşlemler (5) (Poyraz ve Kuşhan 2017; Yalçın ve Ergene 2017; Olgun ve Yılmaz 2014; Demir vd. 2018).

1.5. Katmanlı İmalat Yöntemleri

Katmanlı imalat teknolojilerinde kullanılan birçok farklı yöntem olmasına karşın ortak özellikleri, hammaddenin katmanlar halinde üst üste eklenerek dijital modelin somut bir üç boyutlu fiziksel nesneye dönüştürülmesi prensibine dayanmaktadır. ISO/ASTM 52900: 2015 standartlarına göre katmanlı imalat yöntemleri toplamda 7 grupta kategorize edilmiş ve standartlaştırılmıştır (Şekil 3) (ISO/ASTM 52900: 2015).



Şekil 3. Katmanlı imalat yöntemleri

1.6. Katmanlı İmalat Yöntemlerinde Kullanılan Hammaddeler

Katmanlı imalat cihazlarında üretim için kullanılan hammaddeler genel olarak üç farklı formda bulunmaktadır. Bunlar katı, sıvı ve toz şeklindedir. Malzeme seçimi, üretilecek olan ürünün istenilen özelliklere uygun olmasını sağlamak için oldukça önemli bir faktördür (Şahin ve Turan 2018). Ayrıca Çizelge 1’de ASTM standartlarına göre 7 ana kategoriye ayrılmış olan katmanlı imalat teknolojilerinde üretim malzemesi olarak kullanılan hammaddeler ve bu hammaddelerin malzeme formu listelenmiştir.

Çizelge 1. Katmanlı imalat teknolojileri üretim hammaddeleri ve hammadde formları

Katmanlı İmalat Tekniği	Üretim Malzemesi (Hammadde)	Üretim Malzemesi Formu
Fotopolimerizasyon (<i>Vat Photopolymerisation</i>)	Polimer (Fotopolimer)	Sıvı reçine
Malzeme Ekstrüzyonu (<i>Material Extrusion</i>)	Polimer	Katı (Filament)
Malzeme Püskürtme (<i>Material Jetting</i>)	Polimer (Fotopolimer)	Sıvı reçine
Bağlayıcı Püskürtme (<i>Binder Jetting</i>)	Metal, Seramik, Polimer	Toz
Toz Yatağında Birleştirme (<i>Powder Bed Fusion</i>)	Metal, Polimer	Toz
Doğrudan Enerji Yığıma (<i>Direct Energy Deposition</i>)	Metal	Toz veya Tel
Tabaka Laminasyonu (<i>Sheet Lamination</i>)	Metal, Polimeri Kağıt	Katı (Tabaka)

1.7. Katmanlı İmalat Teknolojilerinin Sınırlamaları

Katmanlı imalat teknolojilerinin kullanım alanının geniş olması, zaman maliyet açısından fayda sağlaması, karmaşık yapıdaki ürünlerin üretilebilir olması gibi sayısız avantajlarının yanı sıra geliştirilmesi gereken bazı sınırlamaları da mevcuttur. Bu sınırlamalar şu şekilde sıralanabilir: Üretim süresi (1); Yüzey pürüzlülüğü (2); Ürün boyutu (3); Malzeme Sınırlılığı (4); Kötüye kullanım olasılığı (5).

1.8. Katmanlı İmalat Teknolojileri Üretim Hataları

Katmanlı imalat teknolojileri ile üretim esnasında bazı istenmeyen durumlar ve nesnelere üretim hataları meydana gelebilmektedir. Bu hatalar, üretim yapan cihaz, malzeme, ürün geometrisi veya üretim parametrelerinin doğru ayarlanmaması gibi etkenlerden kaynaklanmaktadır. Katmanlı imalat teknolojileri için üretim hataları; Filamentin tablaya yapışmaması (1); Katmanlar arasında boşlukların oluşması (2); Katmanlar arası fazla ekstrüzyon (3); Üretilen objenin üst katmanlarında oluşan boşluklar (4); Katman kayması (5); Ürün geometrisinde oluşan çarpılma (6) şeklinde sıralanabilir (elektromanyetik.com; simplify3d.com).

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Literatür İnceleme Modeli

Katmanlı imalat teknolojilerinin güncel durumunun belirlenmesi için içerik analizi gerçekleştirilmiştir. İçerik analizi, belli bir konu üzerine yapılan çalışmaların kodlanarak nicelleştirilmesi/sayılaştırılması olarak tanımlanabilir. Başka bir tanımlamaya göre içerik analizi; sözel olmayan dokümanı nicel verilere dönüştürmektir. İçerik analizi, metodolojik araç ve teknikler bütünü, kontrollü yorum yapma, nesnel, sistematik ve nicel yollardan betimleme, önceden belirlenmiş ölçütlere göre inceleme, anlam çıkarma, açık talimatlara göre nicelleştirme işlemi, niteli nicele dönüşüren bir işlem, kavramların ölçülmesi ve belirli bir anlam çıkarılması için kategorilere ayırma olarak tanımlanmaktadır (Aslan ve Tavşancıl 2001). Bu bağlamda yapılan bu çalışmada kapsamında, katmanlı imalat teknolojilerinin mevcut durumunu ve konu ile ilgili yapılan çalışmaların genel eğilimlerini belirlemek amacı ile içerik analizi en uygun yöntem olarak değerlendirilmiştir.

2.2. Verilerin Toplanması ve Araştırma Sınırlılıkları

Veriler Web of Science (WoS) veri tabanından elde edilmiştir. Web of Science, tüm bilim dünyası tarafından kabul gören ve özellikle fen bilimleri alanındaki araştırmalarda oldukça hassas sonuçlar veren, güvenilir, bilimsel bir veri tabanıdır (Bakkalbasi vd. 2006). Bu nedenle araştırmalar için Web of Science veri tabanı seçilmiştir. Yapılan bu çalışmada, veri tabanında araştırma yapmak amacıyla çalışma konusu ile alakalı beş farklı anahtar kelime belirlenmiştir. Bu anahtar kelimeler; katmanlı imalat (additive manufacturing), hızlı imalat (rapid manufacturing), hızlı prototipleme (rapid prototyping), hızlı takım (rapid tooling), 3B yazıcılar (3D printers) şeklindedir. Ayrıca bu tarama çalışmasında yedi adet tarama sorusuna cevap aranmıştır. Bu sorular aşağıda verilmiştir. Aramalar İngilizce dilinde yapılmıştır. Belirlenen anahtar kelimeler kullanılarak yapılan taramalarda aşağıda maddeler halinde belirtilen sınırlılıklar uygulanmıştır.

- ❖ Araştırma "Web of Science" veri tabanı ile sınırlandırılmıştır.
- ❖ Araştırma 2014-2018 yılları arasındaki 5 yıl içinde basılan çalışmalarla sınırlandırılmıştır.
- ❖ Araştırmada belirlenen anahtar kelimeler, sadece yapılmış çalışmaların başlıklarında aranacak şekilde sınırlandırılmıştır.
- ❖ Araştırmaya genişletilmiş bilim atıf indeksi (SCI-Expanded), konferans bildirimleri atıf indeksi (CPCI-S) ve gelişen kaynaklar atıf indeksi (ESCI) türünden çalışmalar dahil edilmiştir.
- ❖ Araştırmaya belirtilen veri tabanındaki makale (article), bildiri (proceedings paper) ve literatür taraması-derleme (review) türünden çalışmalar dahil edilmiştir.

Çalışmada cevap aranan tarama soruları aşağıda sıralanmıştır.

Tarama Sorusu-1: Katmanlı imalat teknolojilerine yönelik yapılan çalışmaların bilim kategorilerine göre dağılımı nasıldır?

Tarama Sorusu-2: Katmanlı imalat teknolojilerine yönelik yapılan çalışmaların yıllara göre dağılımı nasıldır?

Tarama Sorusu-3: Katmanlı imalat teknolojilerine yönelik yapılan çalışmaların yayın tiplerine göre dağılımı nasıldır?

Tarama Sorusu-4: Katmanlı imalat teknolojilerine yönelik yapılan çalışmaların yayınlandığı ülkelere göre dağılımı nasıldır?

Tarama Sorusu-5: Katmanlı imalat teknolojilerine yönelik yapılan çalışmaların araştırma alanlarına göre dağılımı nasıldır?

Tarama Sorusu-6: Katmanlı imalat teknolojilerine yönelik yapılan çalışmaların yayınların yapıldığı kuruluşlara göre dağılımı nasıldır?

Tarama Sorusu-7: Katmanlı imalat teknolojilerine yönelik yapılan çalışmaların Türkiye'deki durumu nedir?

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Katmanlı imalat teknolojilerinin güncel durumu ve yapılan çalışmaların genel eğilimlerinin belirlenmesinin amaçlandığı bu bölüm kapsamında, Web of Science veri tabanında, belirtilen kısıtlamalar ve anahtar kelimeler göz önünde bulundurularak 2014-2018 yılları arasında (5 yıl) yapılan taramada toplamda 3938 adet bilimsel nitelikli çalışmaya rastlanılmıştır. Bu çalışmaların belirtilen anahtar kelimelere göre dağılımı Çizelge 2'de verilmiştir. Ayrıca elde edilen bulgular, çalışmanın başında belirtilen araştırma sorularına göre grafikler halinde sunulmuş ve bu sorulara cevap aranmıştır. Ancak bir çalışma birden fazla alanda değerlendirilebilmesi nedeniyle bazı grafiklerdeki verilen toplam çalışma sayısı, belirtilen toplam sayıdan farklılık gösterebilmektedir.

Çizelge 2. Web of Science veri tabanından elde edilen çalışma sayılarının belirlenen anahtar kelimelere göre dağılımı

Anahtar Kelimeler	Çalışma Sayıları (adet)
Katmanlı İmalat (<i>Additive Manufacturing</i>)	3114
Hızlı İmalat (<i>Rapid Manufacturing</i>)	44
Hızlı Prototipleme (<i>Rapid Prototyping</i>)	650
Hızlı Takım/Kalıp Üretimi (<i>Rapid Tooling</i>)	36
3B Yazıcılar (<i>3D Printers</i>)	94
Toplam	3938

3.1.Tarama Sorusu-1: Katmanlı imalat teknolojilerine yönelik yapılan çalışmaların bilim kategorilerine göre dağılımı

"Additive manufacturing" (katmanlı imalat) anahtar kelimesi ile belirtilen kısıtlamalar göz önünde bulundurularak yapılan taramada toplamda 3114 adet bilimsel nitelikli çalışmaya rastlanmıştır. Bu kapsamda söz konusu anahtar kelime kullanılarak yapılan çalışmaların, ilk 25 sırada bulunan anabilim dallarına göre dağılımı Şekil 4.A'da verilmiştir. Grafikte gösterildiği üzere multidisipliner malzeme bilimi 1057 adet, imalat mühendisliği 930 adet ve makine mühendisliği 561 adet çalışma ile ilk üç sırada yer almaktadır.

"Rapid manufacturing" (hızlı imalat) anahtar kelimesi kullanılarak yapılan 44 adet çalışmanın anabilim dallarına göre dağılımı Şekil 4.B'de verilmiştir. Bu bağlamda multidisipliner malzeme bilimi 13 adet, imalat mühendisliği 12 adet ve makine mühendisliği 9 adet çalışma ile ilk üç sırada yer almaktadır.

"Rapid Prototyping" (hızlı prototipleme) anahtar kelimesi kullanılarak yapılan 650 adet çalışmanın anabilim dallarına göre dağılımı Şekil 4.C'de verilmiştir. Verilen grafikte gösterildiği üzere, elektrik elektronik mühendisliği 153 adet, multidisipliner malzeme bilimi 106 adet ve makine mühendisliği 85 adet çalışma ile ilk üç sırada yer almaktadır.

"Rapid tooling" (hızlı takım) anahtar kelimesi kullanılarak yapılan 36 adet çalışmanın anabilim dallarına göre dağılımı Şekil 4.D'de verilmiştir. Verilen grafikte gösterildiği üzere, üretim mühendisliği 13 adet, multidisipliner malzeme bilimi 12 adet ve makine mühendisliği 8 adet çalışma ile ilk üç sırada yer almaktadır.

"3D printers" (3B yazıcılar) anahtar kelimesi kullanılarak yapılan 94 adet çalışmanın anabilim dallarına göre dağılımı Şekil 4.E'de verilmiştir. Verilen grafikte gösterildiği üzere, multidisipliner malzeme bilimi 17 adet, elektrik elektronik mühendisliği 14 adet ve multidisipliner mühendislik 12 adet çalışma ile ilk üç sırada yer almaktadır.



Şekil 4. Tanımlanan anahtar kelimelere göre sıralanan çalışmaların anabilim dallarına göre dağılımı

3.2. Tarama Sorusu-2: Katmanlı imalat teknolojilerine yönelik yapılan çalışmaların yıllara göre dağılımı

"Additive manufacturing" (katmanlı imalat) anahtar kelimesi ile belirtilen kısıtlamalar göz önünde bulundurularak yapılan taramada, 2014-2018 yılları arasında toplamda 3114 adet bilimsel nitelikli çalışmaya rastlanmıştır. Bu kapsamda söz konusu anahtar kelime kullanılarak yapılan çalışmaların, 5 yıllık sürece göre dağılımı Şekil 5.A'da gösterilmiştir. Elde edilen bulgularda, 2018 yılında 1051 adet, 2017 yılında 874 adet, 2016 yılında 574 adet, 2015 yılında 369 adet ve 2014 yılında 246 adet çalışmaya rastlanılmıştır. Grafikten anlaşılacağı üzere "additive manufacturing" anahtar kelimesi kullanılarak yapılan çalışmalarda yıllar bazında giderek artan bir eğilim gözlemlenmiştir.

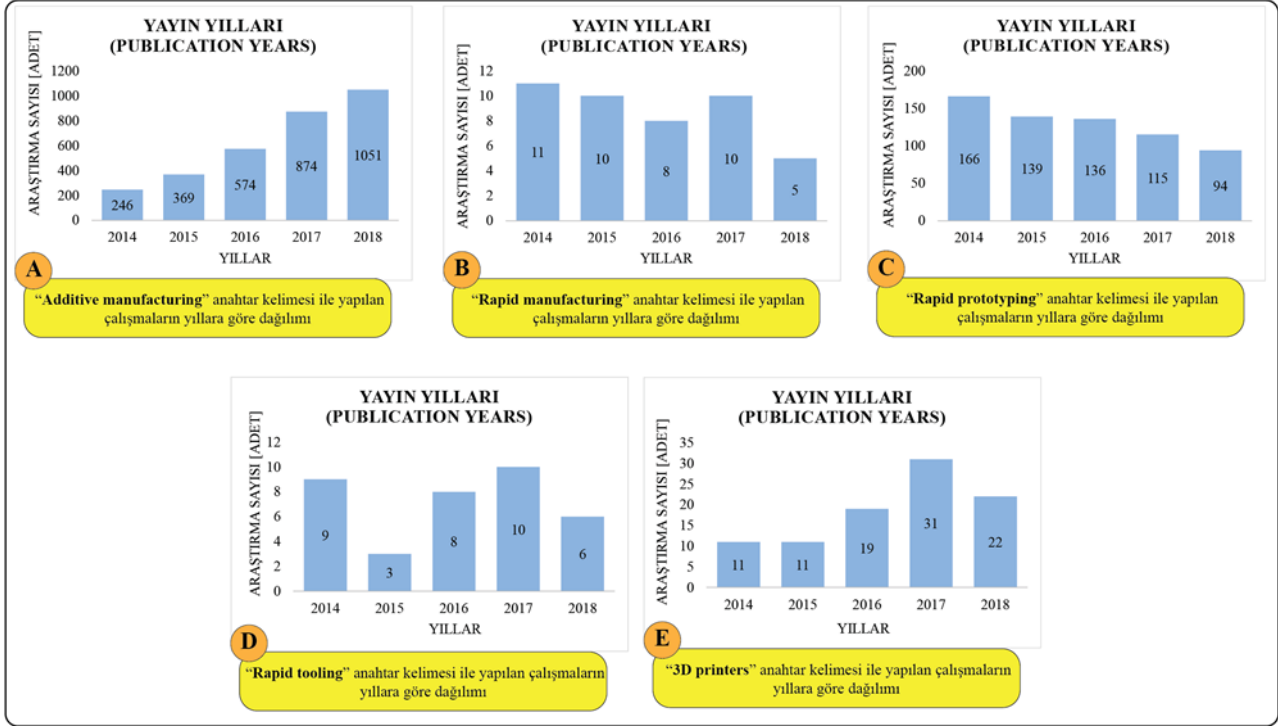
"Rapid manufacturing" (hızlı imalat) anahtar kelimesi ile belirtilen kısıtlamalar göz önünde bulundurularak yapılan taramada, 2014-2018 yılları arasında toplamda 44 adet bilimsel nitelikli çalışmaya rastlanmıştır. Bu kapsamda söz konusu anahtar kelime kullanılarak yapılan çalışmaların, 5 yıllık sürece göre dağılımı Şekil 5.B'de gösterilmiştir. Elde edilen verilere göre, 2018 yılında 5 adet, 2017 yılında 10 adet, 2016 yılında 8 adet, 2015 yılında 10 adet ve 2014 yılında 11 adet çalışmaya rastlanılmıştır.

"Rapid prototyping" (hızlı prototipleme) anahtar kelimesi ile belirtilen kısıtlamalar göz önünde bulundurularak yapılan taramada, 2014-2018 yılları arasında toplamda 650 adet bilimsel nitelikli çalışmaya rastlanmıştır. Bu kapsamda söz konusu anahtar kelime kullanılarak yapılan çalışmaların, 5 yıllık sürece göre dağılımı Şekil 5.C'de gösterilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, 2018 yılında 94 adet, 2017 yılında 115 adet, 2016 yılında 136 adet, 2015 yılında 139 adet ve 2014 yılında 166 adet çalışmaya rastlanılmıştır. Rapid prototyping ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, additive manufacturing anahtar kelimesi ile ilgili yapılan çalışmaların tam aksine, giderek azalan bir eğilim gözlemlenmiştir.

"Rapid tooling" (hızlı takım) anahtar kelimesi ile belirtilen kısıtlamalar göz önünde bulundurularak yapılan taramada, 2014-2018 yılları arasında toplamda 36 adet bilimsel nitelikli çalışmaya rastlanmıştır. Bu kapsamda söz konusu anahtar kelime kullanılarak yapılan çalışmaların, 5 yıllık sürece göre dağılımı Şekil 5.D'de gösterilmiştir. Elde edilen bulgulara göre,

2018 yılında 6 adet, 2017 yılında 10 adet, 2016 yılında 8 adet, 2015 yılında 3 adet ve 2014 yılında 9 adet çalışmaya rastlanılmıştır.

“3D printers” (3B yazıcılar) anahtar kelimesi ile belirtilen kısıtlamalar göz önünde bulundurularak yapılan taramada, 2014-2018 yılları arasında toplamda 94 adet bilimsel nitelikli çalışmaya rastlanmıştır. Bu kapsamda söz konusu anahtar kelime kullanılarak yapılan çalışmaların, 5 yıllık sürece göre dağılımı Şekil 5.E’de gösterilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, 2018 yılında 22 adet, 2017 yılında 31 adet, 2016 yılında 19 adet, 2015 ve 2014 yıllarında ise 11 adet çalışmaya rastlanılmıştır.



Şekil 5. Tanımlanan anahtar kelimelere göre sıralanan çalışmaların yıllara göre dağılımı

3.3. Tarama Sorusu-3: Katmanlı imalat teknolojilerine yönelik yapılan çalışmaların yayın tiplerine göre dağılımı

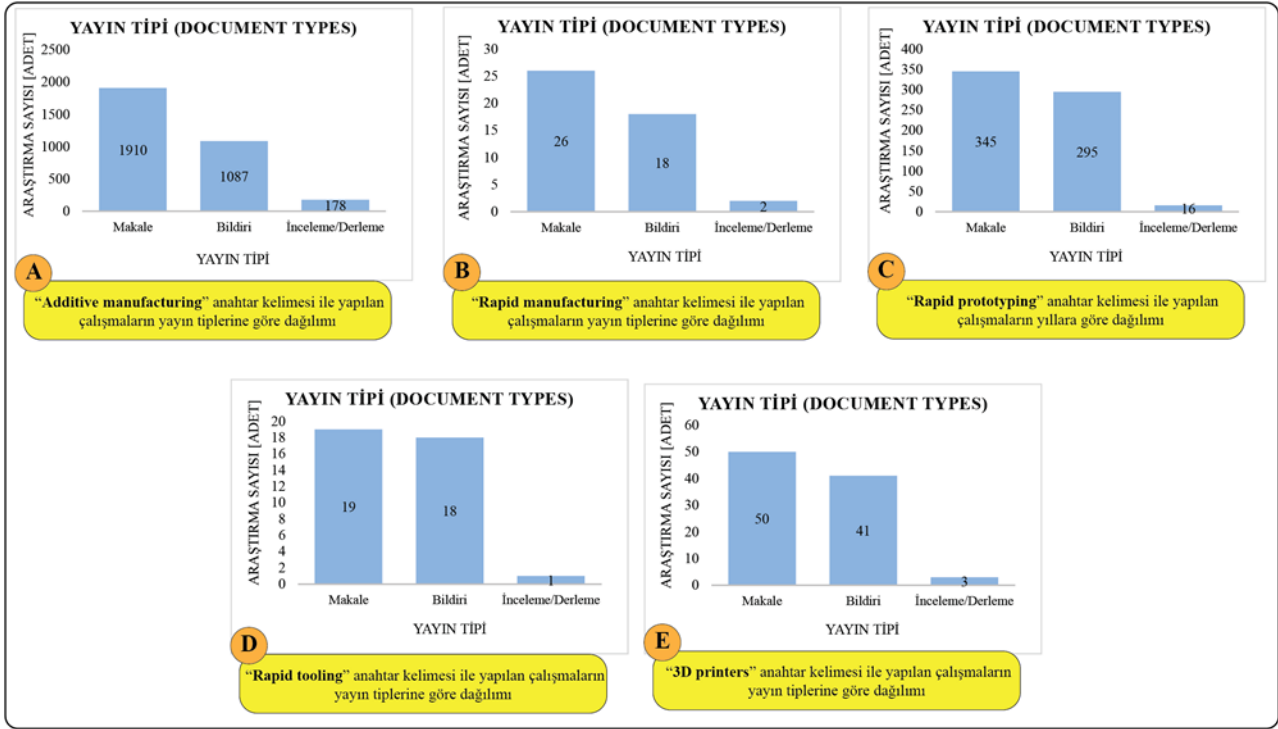
“Additive manufacturing” (katmanlı imalat) anahtar kelimesi ile belirtilen kısıtlamalar göz önünde bulundurularak yapılan taramada, toplamda 3114 adet bilimsel nitelikli çalışmaya rastlanmıştır. Bu kapsamda söz konusu anahtar kelime kullanılarak yapılan çalışmaların, yayın tipine göre dağılımları Şekil 6.A’da gösterilmiştir. Elde edilen bulgularda, makale türünden 1914 adet, bildiri türünden 1087 adet ve inceleme/derleme türünden 178 adet çalışmaya rastlanılmıştır.

“Rapid manufacturing” (hızlı imalat) anahtar kelimesi ile belirtilen kısıtlamalar göz önünde bulundurularak yapılan taramada, toplamda 44 adet bilimsel nitelikli çalışmaya rastlanmıştır. Bu kapsamda söz konusu anahtar kelime kullanılarak yapılan çalışmaların, yayın tipine göre dağılımları Şekil 6.B’de gösterilmiştir. Elde edilen bulgularda, makale türünden 26 adet, bildiri türünden 18 adet ve inceleme/derleme türünden 2 adet çalışmaya rastlanılmıştır.

“Rapid prototyping” (hızlı prototipleme) anahtar kelimesi ile belirtilen kısıtlamalar göz önünde bulundurularak yapılan taramada, toplamda 650 adet bilimsel nitelikli çalışmaya rastlanmıştır. Bu kapsamda söz konusu anahtar kelime kullanılarak yapılan çalışmaların, yayın tipine göre dağılımları Şekil 6.C’de gösterilmiştir. Elde edilen bulgularda, makale türünden 345 adet, bildiri türünden 295 adet ve inceleme/derleme türünden 16 adet çalışmaya rastlanılmıştır.

“Rapid tooling” (hızlı takım) anahtar kelimesi ile belirtilen kısıtlamalar göz önünde bulundurularak yapılan taramada, toplamda 36 adet bilimsel nitelikli çalışmaya rastlanmıştır. Bu kapsamda söz konusu anahtar kelime kullanılarak yapılan çalışmaların, yayın tipine göre dağılımları Şekil 6.D’de gösterilmiştir. Elde edilen bulgularda, makale türünden 19 adet, bildiri türünden 18 adet ve inceleme/derleme türünden 1 adet çalışmaya rastlanılmıştır.

“3D printers” (3B yazıcılar) anahtar kelimesi ile belirtilen kısıtlamalar göz önünde bulundurularak yapılan taramada, toplamda 94 adet bilimsel nitelikli çalışmaya rastlanmıştır. Bu kapsamda söz konusu anahtar kelime kullanılarak yapılan çalışmaların, yayın tipine göre dağılımları Şekil 6.E’de gösterilmiştir. Elde edilen bulgularda, makale türünden 50 adet, bildiri türünden 41 adet ve inceleme/derleme türünden 3 adet çalışmaya rastlanılmıştır.



Şekil 6. Tanımlanan anahtar kelimelere göre sıralanan çalışmaların yayın tiplerine göre dağılımı

3.4. Tarama Sorusu-4: Katmanlı imalat teknolojilerine yönelik yapılan çalışmaların yayınlandığı ülkelere göre dağılımı

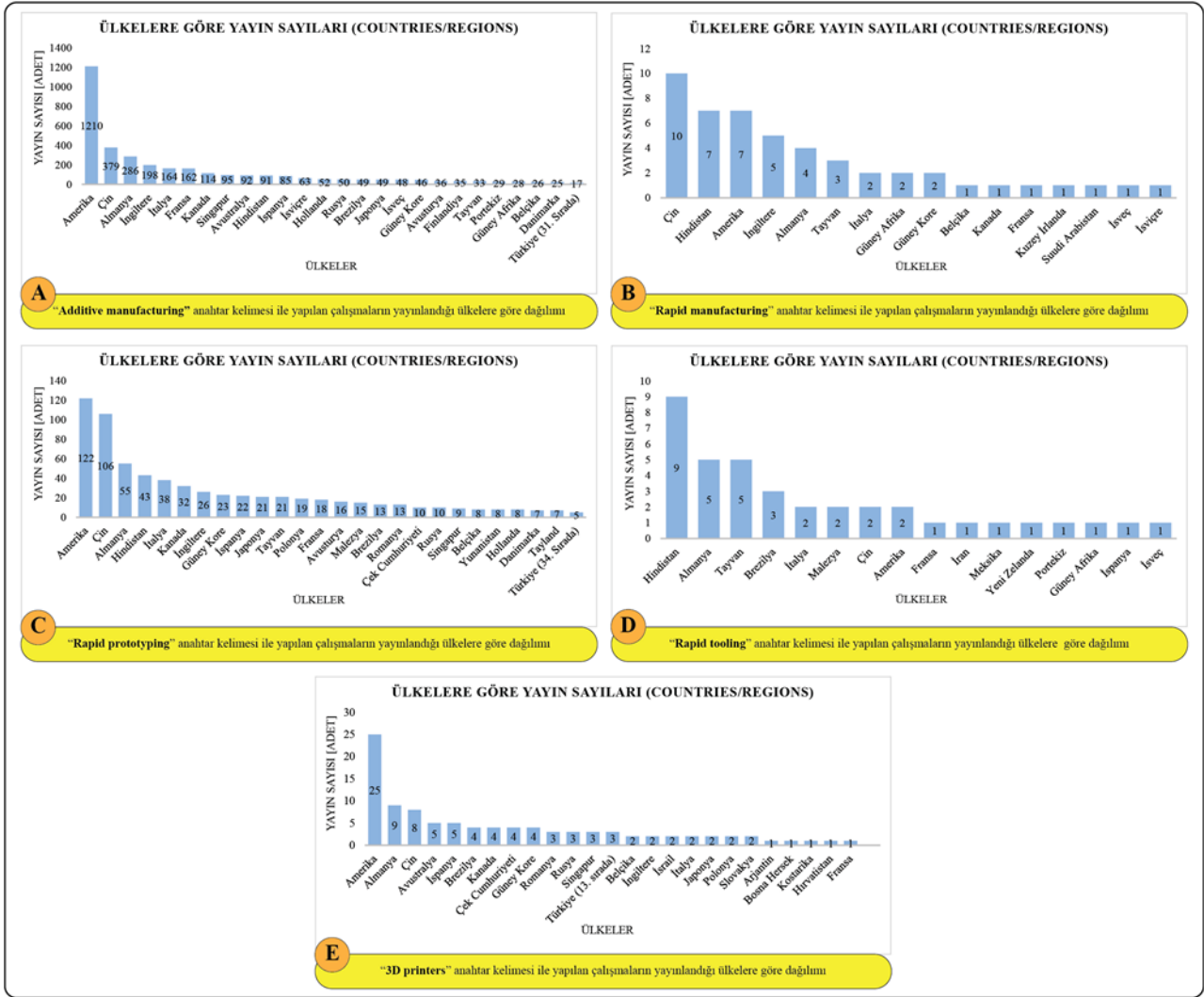
"Additive manufacturing" (katmanlı imalat) anahtar kelimesi ile belirtilen kısıtlamalar göz önünde bulundurularak yapılan taramada toplamda 3114 adet bilimsel nitelikli çalışmaya rastlanmıştır. Bu kapsamda söz konusu anahtar kelime kullanılarak yapılan çalışmaların, ilk 25 sırada bulunan ülkeler bazında dağılımı Şekil 7.A'da gösterilmiştir. Grafikte gösterildiği üzere Amerika Birleşik Devletleri 1210 adet, Çin 379 adet ve Almanya 286 adet çalışma ile ilk üç sırada yer almaktadır. Elde edilen verilere göre Türkiye, 17 adet çalışma ile 31. sırada bulunmaktadır.

"Rapid manufacturing" (hızlı imalat) anahtar kelimesi ile belirtilen kısıtlamalar göz önünde bulundurularak yapılan taramada toplamda 44 adet bilimsel nitelikli çalışmaya rastlanmıştır. Bu kapsamda söz konusu anahtar kelime kullanılarak yapılan çalışmaların, ülkeler bazında dağılımı Şekil 7.B'de gösterilmiştir. Grafikte gösterildiği üzere Çin 10 adet, Hindistan ve Amerika ise 7 adet çalışma ile ilk üç sırada yer almaktadır.

"Rapid prototyping" (hızlı prototipleme) anahtar kelimesi ile belirtilen kısıtlamalar göz önünde bulundurularak yapılan taramada toplamda 650 adet bilimsel nitelikli çalışmaya rastlanmıştır. Bu kapsamda söz konusu anahtar kelime kullanılarak yapılan çalışmaların, ilk 25 sırada bulunan ülkeler bazında dağılımı Şekil 7.C'de gösterilmiştir. Grafikte gösterildiği üzere Amerika 122 adet, Çin 106 adet ve Almanya 55 adet çalışma ile ilk üç sırada yer almaktadır. Ayrıca Türkiye, 5 adet çalışma ile 34. Sırada bulunmaktadır.

"Rapid tooling" (hızlı takım) anahtar kelimesi ile belirtilen kısıtlamalar göz önünde bulundurularak yapılan taramada toplamda 36 adet bilimsel nitelikli çalışmaya rastlanmıştır. Bu kapsamda söz konusu anahtar kelime kullanılarak yapılan çalışmaların, ülkeler bazında dağılımı Şekil 7.D'de gösterilmiştir. Grafikte gösterildiği üzere Hindistan 9 adet, Almanya ve Tayvan 5 adet çalışma ile ilk üç sırada yer almaktadır.

"3D printers" (3B yazıcılar) anahtar kelimesi ile belirtilen kısıtlamalar göz önünde bulundurularak yapılan taramada toplamda 94 adet bilimsel nitelikli çalışmaya rastlanmıştır. Bu kapsamda söz konusu anahtar kelime kullanılarak yapılan çalışmaların, ilk 25 sırada bulunan ülkeler bazında dağılımı Şekil 7.E'de gösterilmiştir. Grafikte gösterildiği üzere Amerika 25 adet, Almanya 9 adet ve Çin 8 adet çalışma ile ilk üç sırada yer almaktadır. Ayrıca Türkiye, 3 adet çalışma ile 13. sırada bulunmaktadır.



Şekil 7. Tanımlanan anahtar kelimelere göre sıralanan çalışmaların yayımlandığı ülkelere göre dağılımı

3.5. Tarama Sorusu-5: Katmanlı imalat teknolojilerine yönelik yapılan çalışmaların araştırma alanlarına göre dağılımı

"Additive manufacturing" (katmanlı imalat) anahtar kelimesi ile belirtilen kısıtlamalar göz önünde bulundurularak yapılan taramada, toplamda 3114 adet bilimsel nitelikli çalışmaya rastlanmıştır. Bu kapsamda söz konusu anahtar kelime kullanılarak yapılan çalışmaların, ilk 25 sırada bulunan araştırma alanlarına göre dağılımları Şekil 8.A'da gösterilmiştir. Elde edilen bulgularda, mühendislik 1848 adet, malzeme bilimi 1230 adet ve metalürji mühendisliği 292 adet çalışma ile ilk üç sırada yer almaktadır.

"Rapid manufacturing" (hızlı imalat) anahtar kelimesi ile belirtilen kısıtlamalar göz önünde bulundurularak yapılan taramada, toplamda 44 adet bilimsel nitelikli çalışmaya rastlanmıştır. Bu kapsamda söz konusu anahtar kelime kullanılarak yapılan çalışmaların, araştırma alanlarına göre dağılımları Şekil 8.B'de gösterilmiştir. Elde edilen bulgularda, mühendislik 28 adet, malzeme bilimi 16 adet ve otomasyon kontrol sistemleri 5 adet çalışma ile ilk üç sırada yer almaktadır.

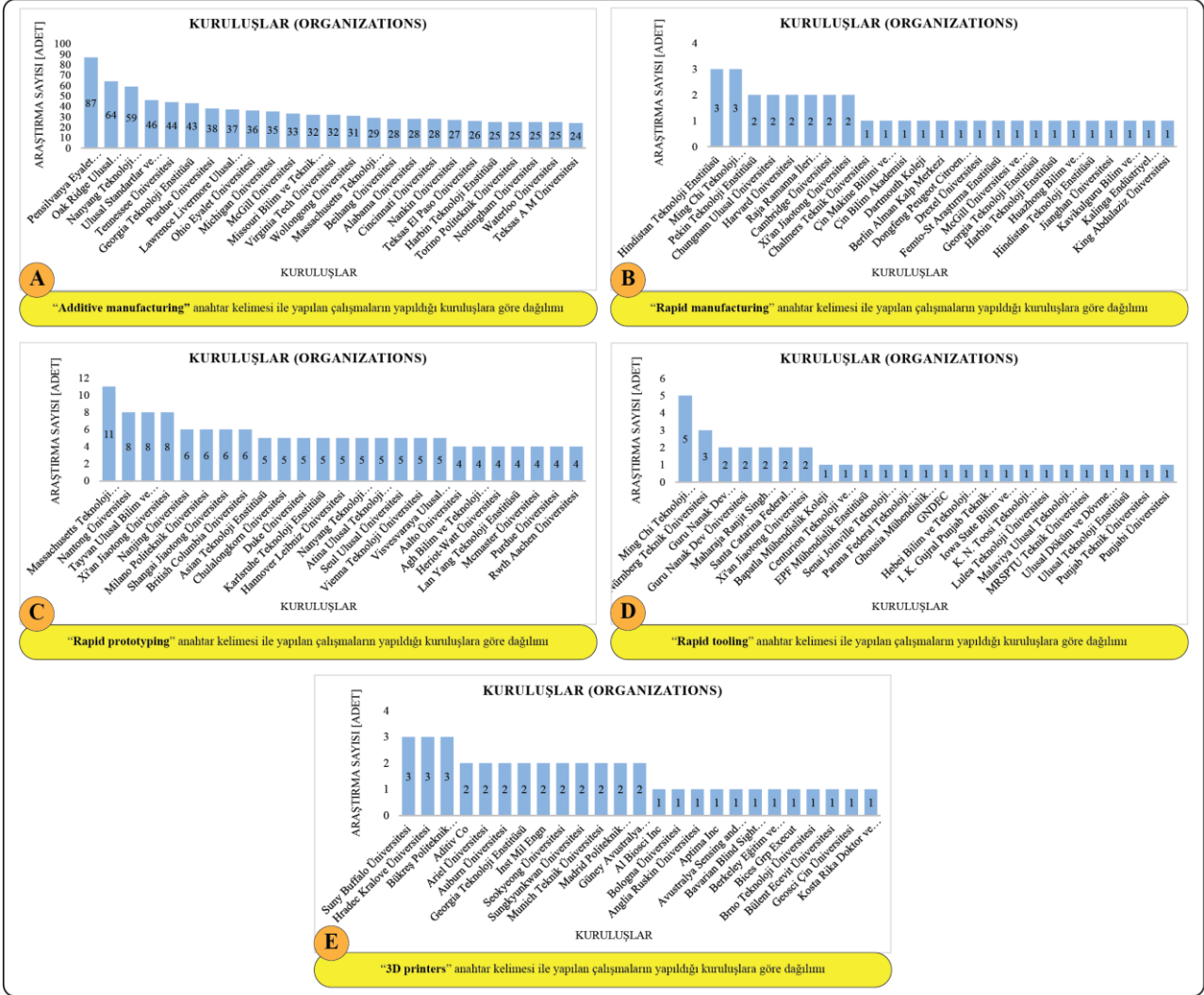
"Rapid prototyping" (hızlı prototipleme) anahtar kelimesi ile belirtilen kısıtlamalar göz önünde bulundurularak yapılan taramada, toplamda 650 adet bilimsel nitelikli çalışmaya rastlanmıştır. Bu kapsamda söz konusu anahtar kelime kullanılarak yapılan çalışmaların, ilk 25 sırada bulunan araştırma alanlarına göre dağılımları Şekil 8.C'de gösterilmiştir. Elde edilen bulgularda, mühendislik 342 adet, bilgisayar bilimi 129 adet ve malzeme bilimi 125 adet çalışma ile ilk üç sırada yer almaktadır.

"Rapid tooling" (hızlı takım) anahtar kelimesi ile belirtilen kısıtlamalar göz önünde bulundurularak yapılan taramada, toplamda 36 adet bilimsel nitelikli çalışmaya rastlanmıştır. Bu kapsamda söz konusu anahtar kelime kullanılarak yapılan çalışmaların, araştırma alanlarına göre dağılımları Şekil 8.D'de gösterilmiştir. Elde edilen bulgularda, mühendislik 27 adet, malzeme bilimi 13 adet ve otomasyon kontrol sistemleri 5 adet çalışma ile ilk üç sırada yer almaktadır.

"3D printers" (3B yazıcılar) anahtar kelimesi ile belirtilen kısıtlamalar göz önünde bulundurularak yapılan taramada, toplamda 94 adet bilimsel nitelikli çalışmaya rastlanmıştır. Bu kapsamda söz konusu anahtar kelime kullanılarak yapılan

çalışmaların, ilk 25 sırada bulunan yayınların yapıldığı kuruluşlara göre dağılımı Şekil 9.D'de gösterilmiştir. Grafikte gösterildiği üzere Ming Chi Teknoloji Üniversitesi 5 adet, Nürnberg Teknik Üniversitesi 3 adet ve Gru Nadak Dev Mühendislik Fakültesi 2 adet çalışma ile ilk üç sırada yer almaktadır.

"3D printers" (3B yazıcılar) anahtar kelimesi ile belirtilen kısıtlamalar göz önünde bulundurularak yapılan taramada toplamda 94 adet bilimsel nitelikli çalışmaya rastlanmıştır. Bu kapsamda söz konusu anahtar kelime kullanılarak yapılan çalışmaların, ilk 25 sırada bulunan yayınların yapıldığı kuruluşlara göre dağılımı Şekil 9.E'de gösterilmiştir. Grafikte gösterildiği üzere Suny Buffalo Üniversitesi, Hradec Kralove Üniversitesi ve Bükreş Politeknik Üniversitesi üçer adet çalışma ile ilk üç sırada yer almaktadır. Ayrıca Türkiye'de Zonguldak ilinde bulunan Bülent Ecevit Üniversitesi, 1 adet çalışma ile 24. sıradadır.



Şekil 9. Tanımlanan anahtar kelimelere göre sıralanan çalışmaların yapıldığı kuruluşlara göre dağılımı

3.7. Tarama Sorusu-7: Katmanlı imalat teknolojilerine yönelik yapılan çalışmaların Türkiye'deki durumu

Çalışma kapsamında, belirlenen anahtar kelimeler ve uygulanan kısıtlamalar göz önünde bulundurularak yapılan taramada, 2014-2018 yılları arasında Türkiye'de toplam 25 adet bilimsel nitelikli çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmaların anahtar kelimelere göre sayısı ve 5 yıllık sürece göre dağılımı grafiği ise Şekil 10.A ve Şekil 10.B'de gösterilmiştir. Bu grafiklere ek olarak, katmanlı imalat teknolojileri ile ilgili Türkiye ölçeğinde yapılan çalışmaların anabilim dallarına göre dağılımı Şekil 10.C'de verilmiştir. Grafikte gösterildiği gibi imalat mühendisliği 7 adet, biyomedikal mühendisliği 4 adet ve makine mühendisliği 3 adet çalışma ile ilk üç sırada yer almaktadır



Şekil 10. Türkiye ölçeğinde, yapılan toplam çalışmaların sayılara, yıllara ve anabilim dallarına göre dağılımı (2014-2018)

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu literatür taraması özelinde elde edilen bulgulara göre 2014-2018 yılları arasında Türkiye’de “additive manufacturing” (katmanlı imalat) anahtar kelimesi ile yapılan taramada 17 adet, “rapid prototyping” (hızlı prototipleme) anahtar kelimesi ile yapılan taramada 5 adet ve “3D printers” (3B yazıcılar) anahtar kelimesi ile yapılan taramada 3 adet çalışmaya rastlanmıştır. Buna ek olarak “rapid manufacturing” (hızlı imalat) ve “rapid tooling” (hızlı takım) anahtar kelimeleri ile yapılan hiçbir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Katmanlı imalat teknolojilerinin ülkemizdeki durumu incelendiğinde, özellikle 2018 yılında yapılan çalışmaların, diğer yıllara kıyasla artış gösterdiği görülmektedir. Ancak bu alanda çok sayıda çalışmalar yapıldığı Amerika, Çin, Almanya gibi ülkelere göre ülkemizde yeterli sayıda çalışma yapılmadığı gözlemlenmiştir. Katmanlı imalat teknolojileri ile ilgili yapılan 3938 adet çalışmadan 25 tanesi ülkemizde yapılmıştır. Bu da yaklaşık %0.63’lük bir orana karşılık gelmekte ve katmanlı imalat teknolojileri ile ilgili araştırmaların sayısının oldukça sınırlı sayıda kaldığı görülmektedir.

Ayrıca katmanlı imalat teknolojileri ile ilgili Türkiye ölçeğinde yapılan çalışmaların anabilim dallarına göre dağılımında elde edilen bulgular incelendiğinde (Şekil 10), bu çalışmasının yapıldığı tarım makineleri özeli ile alakalı hiçbir çalışmaya rastlanılmamış ve elde edilen sonuçlar bu konu üzerine odaklanılmasının gerektiğinin açık bir şekilde göstergesi olmaktadır. Bununla birlikte sektöre özgü bazı sınırlamaların dikkate alınması gerekmektedir. Özellikle tarım makineleri tasarım ve imalat sektöründe aktif rol alan büyük ölçekli ve kurumsal yapılara sahip sınırlı sayıda işletme bulunmaktadır. Bunların dışında kalan işletmeler genellikle küçük ve orta ölçekli imalat kapasitesine sahip işletmelerdir. Bu işletmeler, yeni ürün tasarımı, var olan ürünler için tasarım iyileştirme/geliştirme/optimizasyon ve yeni imalat yöntemleri ile üretim yapabilme konularında ileri düzey mühendislik ve imalat teknolojilerinden yararlanma yeterlilikleri diğer makine imalat sektörlerine kıyasla çok düşük düzeyde kalmaktadır. Özellikle ülkemizde tarım makineleri tasarımı ve imalatı alanında yeni imalat teknolojileri ve ileri düzey bilgisayar destekli tasarım/mühendislik araçlarının kullanımı oldukça sınırlı düzeyde olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır. Bu nedenle tarım alet ve makineleri üzerinde yapılan ileri düzey makine tasarımı, tasarım geliştirme ve yeni imalat teknolojileri içerikli araştırmalar oldukça az sayıda kalmaktadır.

Gerçekleştirilen bu çalışma amacına uygun şekilde konu ile ilgili sektör çalışanlarına ve araştırmacılara yön gösterici ve faydalı bir kaynak olarak yapılandırılmıştır. Sonuç olarak, çalışmada, son yıllarda ileri imalat teknolojilerinden biri olarak karşımıza çıkan katmanlı imalat teknolojileri alanında yapılan bilimsel nitelikli çalışmaların nicel olarak değişimi ve alana özel araştırma eğilimleri ortaya konmuştur.

5. BİLGİLENDİRME

Bu makale Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen FYL-2018-3411 no’lu, danışmanlığı Doç. Dr. H. Kürşat ÇELİK tarafından yürütülen Gökhan KUNT’a ait yüksek lisans tez projesinden üretilmiştir.

KAYNAKLAR

- Arcam. 2014. Arcam History. Ulaşılabilir URL: <http://www.arcam.com/company/about-arcam/history>. (Erişim tarihi: 21.09.2017).
- Aslan, E. ve Tavşancıl, E. 2001. İçerik Analiz ve Uygulama Örnekleri. İstanbul, Epsilon.136 s. (ISBN: 975331310-1)
- ASTM Standard F2792 - 12a. 2012. Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies. ASTM International.
- Bakkalbasi, N., Bauer, K., Glover, J. and Wang, L. 2006. Three options for citation tracking: Google Scholar, Scopus and Web of Science, Biomed. Digit. Libr. (Doi: 10.1186/1742-5581-3-7)
- Çelik, H.K., Lupeanu, M.E., Rennie, A.E.W., Neagu, C. Akıncı, İ. 2013. Product re-design using advanced engineering applications and function analysis: A case study for greenhouse clips. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. 35 (3): 305-318.
- Demir, S., Sezer, H.K. ve Özdemir, V. 2018. Topolojik nesnelerin FDM (Ergiyik Biriktirerek Modelleme) yöntemiyle üretimi: Klein şişesi örneği. International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry. 2 (2): 76-87.

- Gebhardt, A. 2011. Understanding Additive Manufacturing: Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Rapid Manufacturing. Hanser Publication, 1-9. (doi:10.3139/9783446431621.fm)
<https://elektromanyetix.com/> (Erişim tarihi: 18.10.2018).
<https://www.simplify3d.com/> (Son erişim tarihi: 18.10.2018).
ISO/ASTM 52900:2015: Additive manufacturing — General principles — Terminology. Ulaşılabilir URL: www.iso.org. (Erişim Tarihi: 18.09.2017)
- Nadasbaş, S.E. ve Çileroğlu, B. 2018. Moda tasarımında 3 boyutlu yazıcıların malzeme-işlev-form odaklı kullanımları ve çok işlevli modüler giysi tasarımı çalışması. *The Journal of Academic Social Science Studies*. 231-257.
- Olgun, R. ve Yılmaz, T. 2014. Peyzaj mimarlığında bilgisayar destekli tasarım ve tasarım aşamaları. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 3 (1): 48-59.
- Poyraz, Ö. & Kuşhan, M.C. 2018. Investigation of the effect of different process parameters for laser additive manufacturing of metals. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33 (2): 729-742.
- Sames, W.J., List, F.A., Pannala, S., Dehoff, R.R., Babu, S.S. 2016. The Metallurgy and Processing Science of Metal Additive Manufacturing. *International Materials Reviews*. 61 (5): 315-360.
- Sevim, Ö. 2013. Yapay arı koloni algoritması kullanılarak 3 boyutlu çelik yapıların optimum tasarımı. Yüksek lisans tezi, Aksaray Üniversitesi, Aksaray, 89 s.
- Şahin, K. & Turan, B.O. 2018. Üç boyutlu yazıcı teknolojilerinin karşılaştırmalı analizi. *Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2 (2): 97-116.
- Wohlers Report (A. Wohlers) 2017, 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry, Annual Worldwide Progress Report, Wohlers Associates: Fort Collins, CO, 2017.
- Wong, K.V. & Hernandez, A. 2012. A Review of Additive Manufacturing. *ISRN Mechanical Engineering*. 1-10. (Article ID: 208760) (doi: 10.5402/2012/208760)
- Yalçın, B. & Ergene, B. 2017. Endüstride yeni eğilim olan 3-B eklemeli imalat teknolojisi ve metalürjisi. *SDÜ Uluslararası Teknolojik Araştırmalar Dergisi*. 9 (3): 65-88.
- Zhang, J. & Jung, Y. 2018. Additive Manufacturing: Materials, Processes, Quantifications and Applications. Elsevier Inc. Oxford, United Kingdom. 350 p. (ISBN: 9780128121559)