

Manufacturing Technologies and Applications

MATECA



On Biomedical Applications of Additive Manufacturing Bibliometric Analysis

Halime İlayda Doğan^{1,*} , Ahmet Mavi² 

¹ Department of Manufacturing Engineering, Institute of Science, Gazi University, Ankara, Türkiye

² Manufacturing Engineering, Faculty of Technology, Gazi University, Ankara, Türkiye

ABSTRACT

This study aims to provide a comprehensive bibliometric analysis of the literature on the applications of additive manufacturing in the biomedical field. The analysis examines data from a total of 1130 studies published in the Web of Science (WoS) database up to August 19, 2024. VOSviewer software was used for data visualization and analysis. The findings indicate that the first study on biomedical applications of additive manufacturing was published in 2012, and a total of 1130 studies were conducted between 2012 and 2024. Among these studies, the year 2023 was identified as the most prolific publication period, with 193 studies. The majority of the analyzed works were found to be research articles. Furthermore, it was determined that these studies were conducted with contributions from 5249 different authors across 78 countries. The unique contribution of this study lies in its comprehensive examination of trends in additive manufacturing within the biomedical field, offering insights and recommendations for future research. In addition to presenting numerical data, the study provides a detailed analysis and comparison with the existing literature. In conclusion, this study is expected to serve as a valuable resource for researchers and academics planning to conduct studies on the biomedical applications of additive manufacturing.

Keywords: 3D printing, Additive manufacturing, Tissue engineering, Biomaterials, Bioprinting

Eklemeli İmalatın Biyomedikal Uygulamaları Üzerine Bibliyometrik Analiz

ÖZET

Bu çalışma, eklemeli imalatın biyomedikal alanındaki uygulamalarına ilişkin literatürün kapsamlı bir bibliyometrik analizini sunmayı amaçlamaktadır. Analiz kapsamında, Web of Science (WoS) veri tabanında 19 Ağustos 2024 tarihine kadar yayınlanan toplam 1130 çalışmaya ait veriler incelenmiştir. Verilerin görselleştirilmesi ve analizi için VOSviewer yazılımı kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, eklemeli imalatın biyomedikal uygulamaları üzerine ilk çalışmanın 2012 yılında yayınlandığını ve 2012-2024 yılları arasında toplam 1130 çalışma gerçekleştirildiğini göstermektedir. Bu çalışmalar arasında, 2023 yılının 193 çalışma ile en yoğun yayın dönemi olduğu belirlenmiştir. İncelenen çalışmaların büyük çoğunluğunun makale türünde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, bu çalışmaların 5249 farklı yazar tarafından, 78 ülkeden katkı sağlanarak gerçekleştirildiği belirlenmiştir. Bu çalışmanın özgün katkısı, eklemeli imalatın biyomedikal alanındaki yaklaşımlarını kapsamlı bir şekilde ortaya koyarak gelecek araştırmalara yönelik öneriler sunmasıdır. Araştırmada, sadece sayısal veriler sunulmamış, bunlar detaylı bir şekilde analiz edilerek literatürdeki mevcut durumla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, bu çalışmanın eklemeli imalatın biyomedikal uygulamaları üzerine araştırma yapmayı planlayan bilim insanları ve akademisyenler için değerli bir kaynak oluşturacaktır.

Anahtar Kelimeler: 3B baskı, Eklemeli imalat, Doku mühendisliği, Biyomalzemeler, Biyobaskı

1. GİRİŞ

Bibliyometrik analizi sistematik literatür taramasından ayıran özellik, bir konunun mevcut durumuna ilişkin nesnel ve sayısal verilere ulaşmak için kullanılan ve görselleştirme yazılımlarıyla akademik yaklaşımları takip etmeyi kolaylaştıran bir analiz yöntemi olmasıdır. Bibliyometrik analiz sayesinde anahtar kelimeler, ülkeler, yazarlar, kurumlar ve dergilerin üretkenliği, gelişmiş veya gelişmesi gereken araştırma konuları, literatürdeki eksiklikler, iş birliği bağlantıları ve bir konudaki çalışmaların geniş kapsamı etkileri üzerine sayısal verilere ulaşılabilir. Günümüzde sistematik literatür taramasının hazırlık adımı olarak da kullanılabilecek bibliyometrik analiz, birçok sınırlamaya sahip olmasına rağmen herhangi bir araştırmanın ilk adımı olarak önem arz etmektedir [1].

*Corresponding author, e-mail: amavi@gazi.edu.tr

Üç boyutlu (3B) baskı olarak da bilinen eklemeli imalat (Eİ), 1980'li yılların sonlarından bu yana ilerletilen yenilikçi imalat teknikleri grubunu ifade etmektedir [2]. Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu (ASTM) F2792-10 standardına göre Eİ, “geleneksel imalat yöntemlerinin aksine, malzemelerin 3 boyutlu model verilerinden nesneler oluşturmak için genellikle katman katman malzemeleri birleştirme süreci” olarak tanımlanmaktadır [3]. Eİ teknolojisi 40 yılı aşkın süredir geliştirilmeye devam etmekte olup otomotiv, havacılık, tüketici ürünleri ve biyomedikal gibi çeşitli endüstrilerde ticari uygulamalara dönüştürülebilecek bir olgunluk seviyesine ulaşmıştır [4,5]. Yüksek performanslı metaller [6], seramikler [7], polimerler [8] ve hidrojeller [9] gibi malzemelerin hızlı gelişimi, eklemeli imalatın uygulama alanlarının genişlemesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca, birden fazla renk ve malzemede baskı yapabilme gibi makine teknolojilerindeki ilerlemeler bu sürekli evrilen imalat sürecinin potansiyelini artırmaktadır [10].

Eklemeli imalatın biyomedikal uygulamaları, üç boyutlu model verileri ve sürekli eklemeli baskı teknolojilerine dayanarak geliştirilmiştir [11]. Geleneksel imalat proseslerinin aksine Eİ; yüksek üretim hassasiyeti, sadeleştirilmiş süreçler, malzeme tasarrufu, daha kısa üretim süreleri ve artan üretim verimliliği ile karmaşık üç boyutlu yapıları doğrudan tek parça halinde oluşturabilir ve kişiselleştirilmiş gereksinimleri karşılamak amacıyla farklı medikal alanlarda kullanılabilir [11-13]. Canlı doku ve organların yapısı, gereken esneklik ve dayanıklılığı sağlayacak malzemeler seçilerek uygun eklemeli imalat yöntemiyle üretilebilmektedir [14]. 3B baskı ile üretilen doku ve organ modelleri, cerrahi planlama ve tıbbi eğitim gibi farklı amaçlar için de kullanılmaktadır [15]. İmplantların üretiminde kemik özelliklerine uygun bir yapı elde edebilmek amacıyla parça gözenekliliği de ayarlanarak kemik implant uyumu iyileştirilmektedir [16]. Hastaya özel tasarlanan implantlar ve tıbbi cihazlar tedavi sürecinin başarı oranlarını artırmaktadır [14-16]. Bu nedenle Eİ teknolojisinin çeşitli biyomedikal alanlarında kullanımı önem kazanmaktadır.

Bu konu ile ilgili olarak yapılan araştırmalara nerelerden ulaşabileceği ve bu alana dair yapılan çalışmaların genel olarak güncel araştırmaları inceleyen bir çalışmaya ihtiyaç olduğu düşünülmüştür. Bundan dolayı çalışmanın sonuçlarının eklemeli imalatın biyomedikal alanındaki çalışmalara ve uygulamalarına katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Bu çalışmanın amacı, eklemeli imalatın biyomedikal alanı ile ilgili akademik eserleri tarayarak sonuçları bibliyometrik analiz yöntemiyle sunmaktır.

Eklemeli imalatın biyomedikal alanındaki uygulamalarını inceleyen bir literatür çalışması, bu alandaki mevcut yaklaşımları ortaya koymanın yanı sıra, eksik kalan veya daha az çalışılmış konuların belirlenmesi açısından önem arz etmektedir. Anahtar sözcük analizi, bu doğrultuda, araştırmacılar için detaylı bir yol haritası sunmakta ve literatürdeki boşlukların belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Yapılan analizlerde, özellikle kişiselleştirilmiş implant tasarımı, biyoyazıcı teknolojilerinin optimizasyonu ve biyomalzemelerin uzun vadeli biyouyumluluğu gibi konuların nispeten az çalışıldığı tespit edilmiştir. Bu alanlarda yapılan çalışmaların hem biyomedikal araştırmalara hem de klinik uygulamalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. YÖNTEM

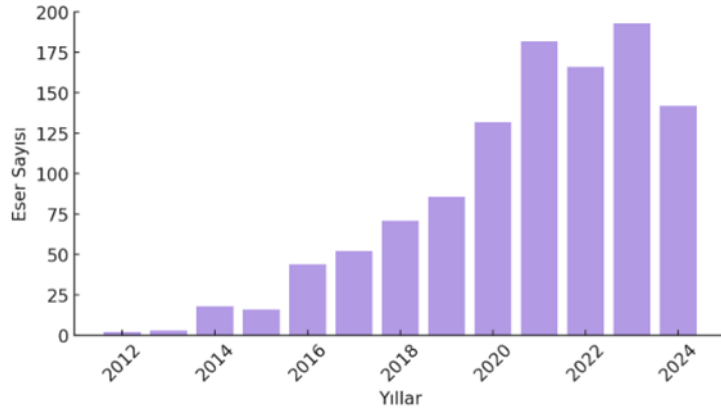
Bu çalışmada, sayısal veriler ve sayısal ölçüm göstergeleri kullanılarak gerçekleştirilen bibliyometrik analizlerle, eklemeli imalatın biyomedikal uygulamaları kavramına dair araştırmaların kapsamlı bir perspektifle araştırmacılara sunulması hedeflenmektedir.

19.08.2024 tarihinde, “additive manufacturing”, “biomedical” ve “3D printing” anahtar kelimeleriyle “all fields” arama yapıldığında, sonuç olarak 1136 adet veri elde edilmiştir. Yıllara göre inceleme yapıldığında 2012 yılından 2024 yılına kadar, bu konuda birçok çeşitli kategoriden 30 tanesi erken erişim aşamasında olan; 1026 makale, 110 bildiri, 20 kitap bölümü, ve 4 editöryal yazıya ulaşılmıştır. Veri tabanı olarak Web of Science (WoS)’ da yer alan veriler esas alınmıştır. Elde edilen verilerin, yıl ve kategori analizi için WoS; anahtar sözcük, yazar, atıf, ülke, kurum, kaynak ve bibliyografik eşleşmeleri bakımından analizi için ise VOSviewer uygulamasından yararlanılmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Yayınların Yıllara Göre Analizi

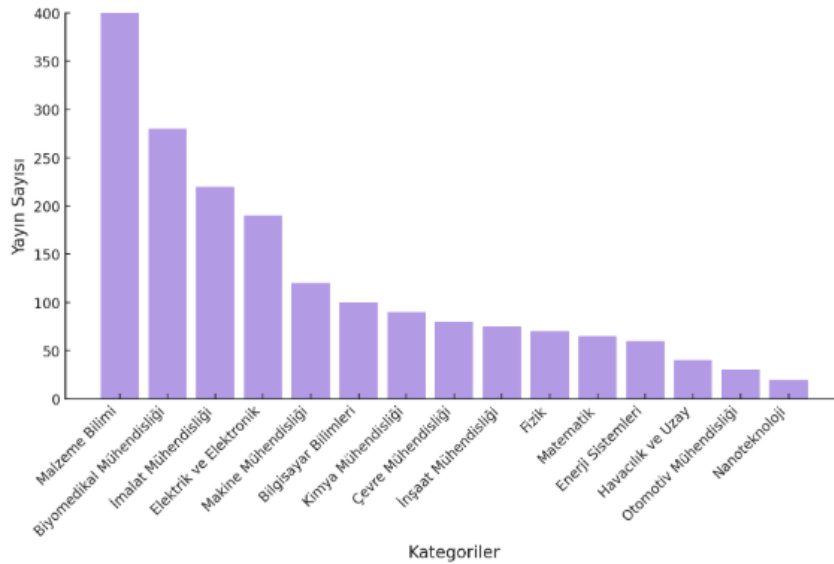
Eklemeli imalatın biyomedikal alanındaki eserlerin yayınlanma süreçleri ilk olarak 2012 yılında başlamıştır. 2012 yılından 2024 yılına kadar her yıl yayınlanan eserlerin sayısı Şekil 1’ de grafik ile gösterilmiştir. 2016 yılından itibaren ciddi bir artış gösteren yıllık yayın sayısının 2023 yılında 194 adet yayın ile en fazla yayın yapılan yıl olduğu gözlenmektedir.



Şekil 1. Yıllara göre yayınlanan eserlerin analizi.

3.2. Yayınların Farklı Kategorilere Göre Analizi

Eklemeli imalatın biyomedikal uygulamalarının yayınları Şekil 2’ de bulunan grafikte görüldüğü üzere birçok farklı kategori içerisinde yer almaktadır.



Şekil 2. Yayınların farklı kategorilere göre analizi.

419 (%36,4) adet yayın ile materials science multidisciplinary (çok disiplinli malzeme bilimi), 245 (%21,2) adet yayın ile engineering biomedical (biyomedikal mühendisliği), 202 (%17,5) adet yayın ile engineering manufacturing (imalat mühendisliği), 188 (%16,3) adet yayın ile materials science biomaterials (malzeme bilimi biyomalzemeler) konularının bu alanda önde gelen kategoriler olduğu görülmüştür.

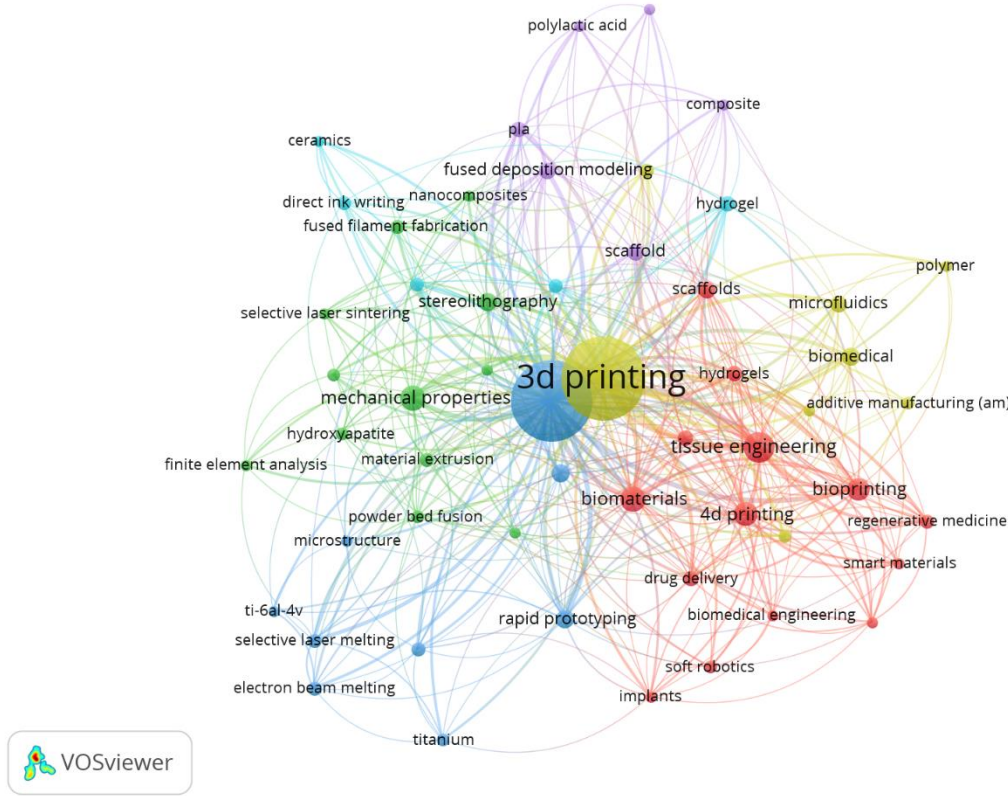
3.3. Anahtar Sözcük Analizi

Anahtar sözcük analizi, literatürde hangi konuların daha fazla çalışıldığını ve hangi alanların nispeten daha az araştırıldığını belirlemek için önemli bir araçtır. Elde edilen analizler doğrultusunda en sık kullanılan terimler ve bunların literatürdeki bağlamı şu şekilde özetlenebilir:

- **3D Printing:** Tıbbi modelleme, cerrahi planlama ve kişiye özel implant üretimi gibi geniş bir uygulama alanına sahiptir. 3B baskı, özellikle cerrahi operasyonlar öncesinde hasta bazlı simülasyonlar için yoğun şekilde kullanılmaktadır.
- **Tissue Engineering:** Doku mühendisliği, biyomalzemeler ve hücresel yapılar üzerine yapılan çalışmalar, eklemeli imalat ile desteklenen en önemli alanlardan biridir. Bu alandaki araştırmaların büyük bir kısmı biyoyazıcılar ve hücre bazlı üretim tekniklerine odaklanmaktadır.

- **Biomaterials:** Biyouyumlu polimerler, seramikler ve metaller gibi malzemeler, eklemeli imalat ile biyomedikal uygulamalara entegre edilmektedir. Özellikle kemik doku mühendisliği ve protez üretimi açısından biyomalzemeler kritik öneme sahiptir.
- **Bioprinting:** Canlı hücrelerin katman katman basılması ile doku ve organ üretimi hedeflenmektedir. Biyoyazıcı teknolojileri, doku mühendisliği ve rejeneratif tıp açısından büyük bir potansiyele sahiptir.

Eklemeli imalatın biyomedikal alanındaki uygulamaları ile ilgili yayınlarda en sık kullanılan anahtar sözcüklerin incelenmesi için uygun kriterler ile filtreleme yapılmıştır. En az 10 kez tekrar eden anahtar sözcükler filtrelendiğinde 2707 kelimedenden aralarında yoğun olarak ilişki bulunan 54 adet anahtar sözcük tespit edilmiştir. Bu 54 gözlem birimine odaklanılarak gerçekleştirilen analiz sonucunda 6 grup, 437 ağ ve 1860 ağ gücü belirlenmiştir.



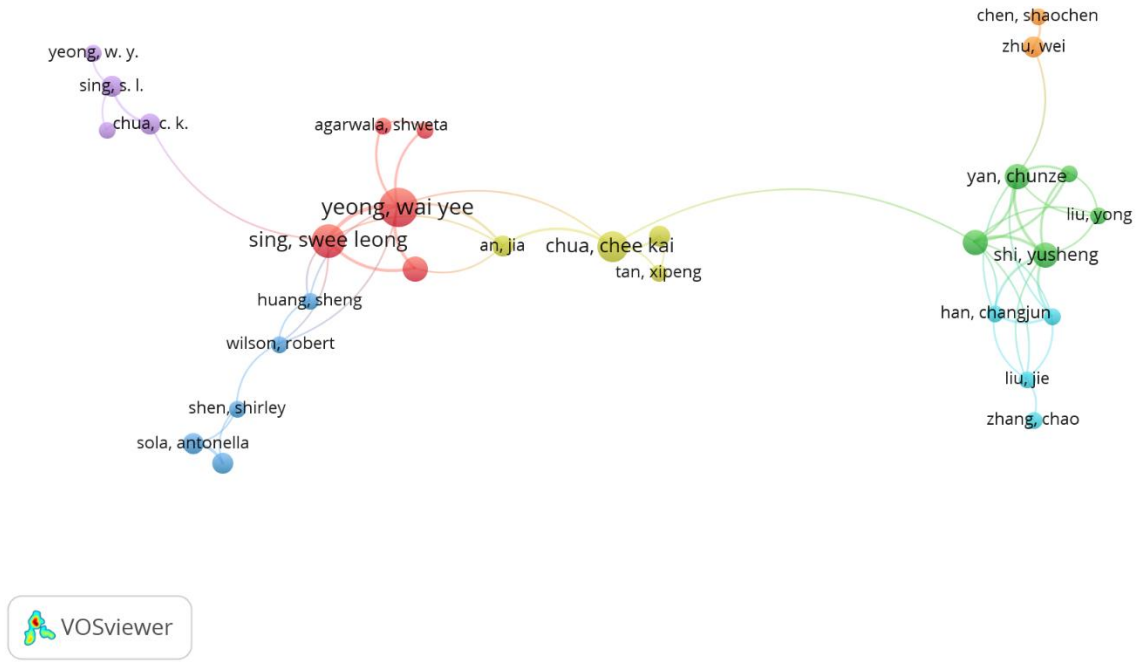
Şekil 3. En fazla kullanılan anahtar sözcüklerin haritası.

Veri sonuçlarına bakıldığında 539 adet ile 3d printing (3B yazıcı), 511 adet ile additive manufacturing (eklemeli imalat), 78 adet ile tissue engineering (doku mühendisliği), 50 adet ile biomaterials (biyomalzemeler) ve 43 adet ile bioprinting (biyoyazıcı) ifadeleri öne çıkan sözcüklerdir. Ağ gücü açısından en güçlü ifadeler 3d printing, additive manufacturing ve tissue engineering olmuştur.

Yapılan analizler göstermektedir ki, eklemeli imalatın biyomedikal alanındaki kullanımına ilişkin çalışmaların büyük bir bölümü, tıbbi cihaz üretimi, biyoyazıcı teknolojileri ve kişiselleştirilmiş tedavi yöntemlerine odaklanmaktadır. Bununla birlikte, biyomalzemelerin uzun vadeli biyouyumluluk testleri ve biyoyazıcı ile üretilen dokuların klinik kullanım olanakları gibi bazı konuların henüz yeterince araştırılmadığı tespit edilmiştir. Gelecekteki çalışmaların bu alanlara yönelmesi önerilmektedir.

3.4. Ortak Yazar Analizi

Ortak yazar analizine göre, en çok iş birliği kuran yazarları belirlemek üzere, 5249 yazardan minimum 2 eser ve minimum 2 atıf kriterleri seçilerek bağlantı haritasının görseli meydana getirilmiştir. Belirlenen kriterleri sağlayan 539 yazar arasından en fazla iş birliği yapan 29 yazarın ağ haritası oluşturulmuştur (Şekil 4). Bu 29 yazarın oluşturduğu birimler ile yapılan analiz sonucunda 7 grup, 53 ağ ve 81 ağ gücü belirlenmiştir.

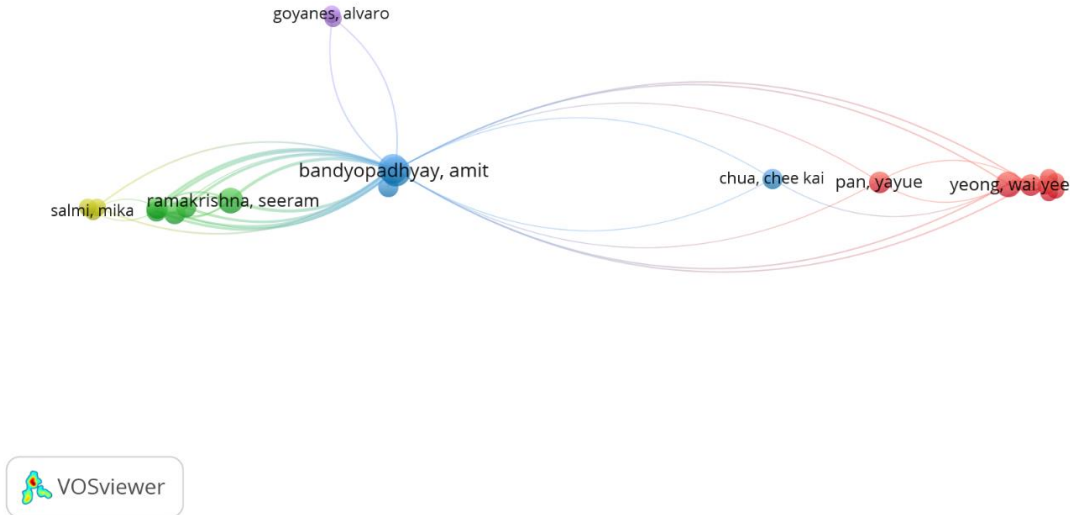


Şekil 4. Ortak yazar iş birliği analizi.

En fazla atıf sayısına sahip olan yazarlar, 2340 atıf ile Susmita Bose, 2256 atıf ile Amit Badyopadhyay ve 1673 atıf ile Wai Yee Yeong olmuştur. En çok yayın üreten yazarlar arasında da 13 yayın ile Susmita Bose, 13 yayın ile Amit Badyopadhyay ve 10 yayın ile Wai Yee Yeong ilk üçte yer almaktadır. Maksimum atıf sayısına sahip olan ve maksimum sayıda eseri olan ilk üç yazardan yalnızca Wai Yee Yeong en bağlantılı yazarlar arasında olduğu gözlemlenmiştir.

3.5. Yazar Atıf Analizi

Atıf bağlantılarını belirleyebilmek için minimum 5 eser ve minimum 5 atıf kriterleri ile bir bağlantı haritası oluşturulmuştur. Aralarında sık bağlantı olduğu tespit edilen 22 unsur ile oluşturulan analiz sonucunda 5 grup, 54 ağ ve 236 ağ gücü olduğu belirlenmiştir. Maksimum atıf sayısına sahip olan yazarlar 2340 atıf ile Susmita Bose, 2256 atıf ile Amit Badyopadhyay olarak tespit edilmiştir. Bu iki yazarın, ağ gücü bakımından da sıralamalarına bakıldığında ilk iki sırada yerlerini koruduğu tespit edilmiştir.

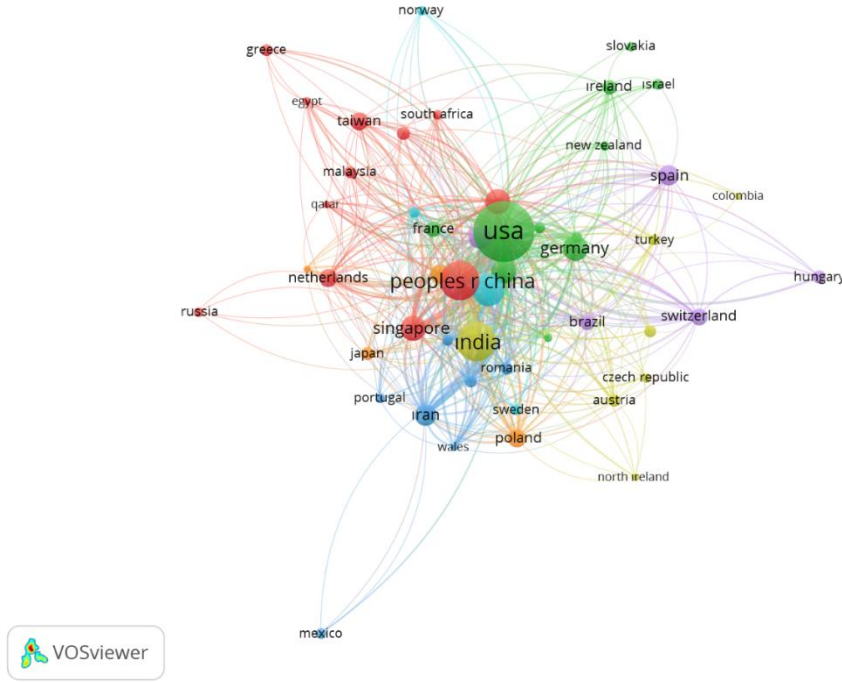


Şekil 5. Yazarların atıf analizi.

3.6. Ülke Atıf Analizi

Toplam 78 ülkeden yayınlanan eserlerin ülkeleri, aldıkları atıf sayıları bakımından ağ analizi haritası meydana getirmek üzere, herhangi bir ülkenin minimum 5 eser ve minimum 5 atıf kriterlerini sağlamasına

göre birbiriyle iş birliği kurulan 50 adet ülkenin gözlem birimini oluşturduğu, Şekil 5'te bulunan haritaya göre değerlendirme gerçekleştirilmiştir. 7 grup, 508 ağ ve 2830 ağ gücü olduğu belirlenmiştir.

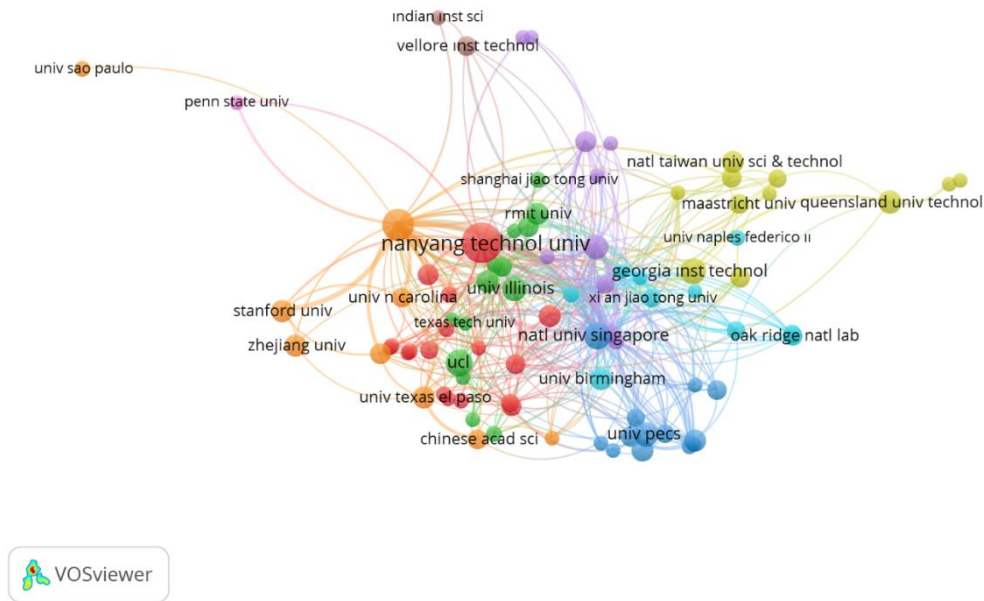


Şekil 6. Ülkelerin atıf ağ analizi.

En fazla yayın yapan ülkelerden 330 yayın ile ABD, 135 yayın ile Çin ve yine 135 yayın ile Hindistan önde gelen ülkeler olduğu görülmüştür. Ağ gücü açısından da bu ülkelerin ilk üç sırada yer aldığı gözlemlenmiştir. En çok atıf sayısına sahip ülkeler arasında ise, 22727 atıf ile ABD, 7067 atıf ile Avustralya ve 5039 atıf ile Çin olmuştur.

3.7. Kurum Atıf Analizi

Eserlerin yayınlandığı kurumların aldığı atıflara ait bir haritasını oluşturabilmek için toplam 1537 kurum arasından en az 5 yayında yer alan ve en az 5 atıf almış olan kurumlar için filtreleme uygulandığında 94 adet kurumun seçildiği bu kriterleri sağladığı saptanmıştır. Şekil 7, yoğun olarak iş birliği içerisinde olan ve en az 5 yayında yer alan 87 adet kurumun haritası gösterilmektedir. 9 grup, 451 ağ ve 798 ağ gücü belirlenmiştir.

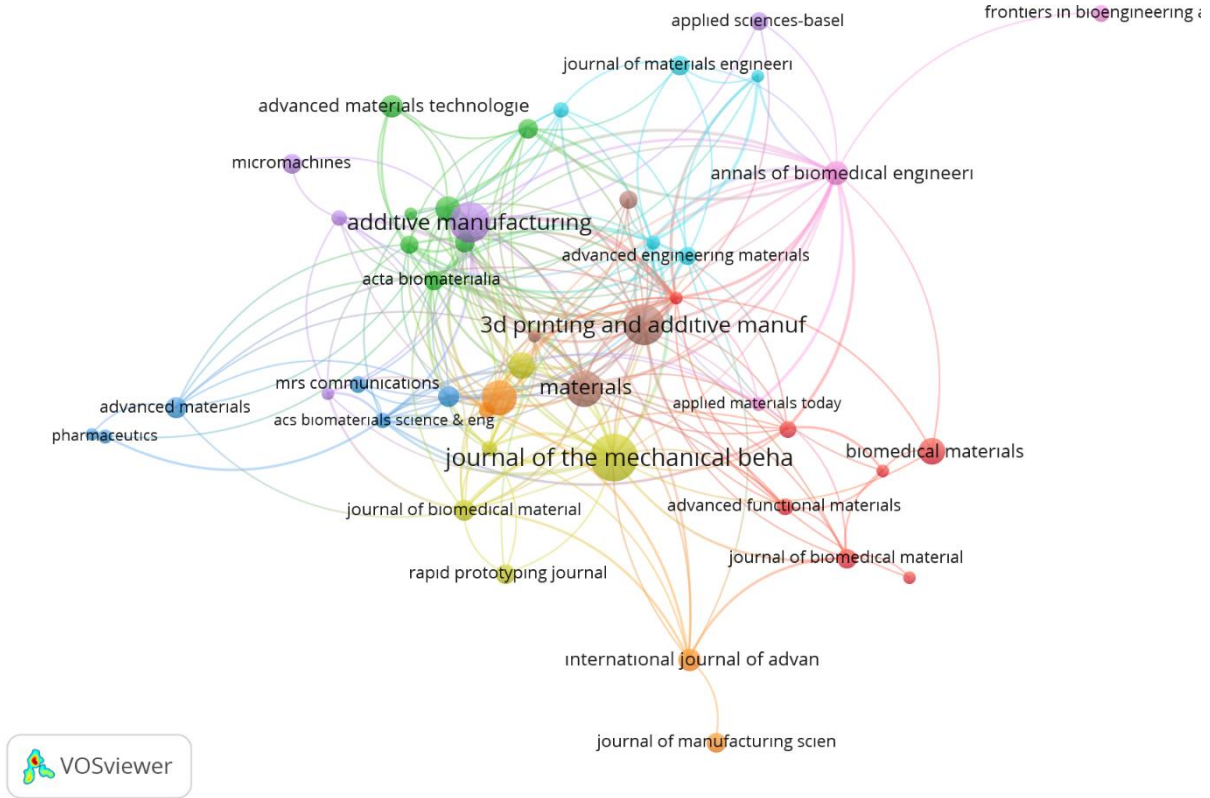


Şekil 7. Kurumların atıf ağ analizi.

En fazla yayın yapan kurumlar arasında, 35 eser ile Nanyang Technological University, 21 eser ile Washington State University ve 16 eser ile National University of Singapur önde gelen kurumlardır. En çok atıf alan kurumlardan ise, 4606 atıf ile Nanyang Technological University, 4516 atıf ile Melbourne University ve 2583 atıf ile Washington State University kurumları ilk sıralarda yer almıştır.

3.8. Eserlerin Kaynak Analizi

Eserlerin yayınlandığı kaynakların aldığı atıflara ait bir haritasını oluşturabilmek için toplam 447 kaynak arasından minimum 5 eser içeren ve minimum 5 atıf almış olan kaynaklar için filtreleme uygulandığında 47 adet derginin seçildiği bu kriterleri sağladığı saptanmıştır. Şekil 8, yoğun olarak iş birliği içerisinde olan ve en az 5 yayın yapılmış olan 46 adet kurumun haritası gösterilmektedir. 9 grup, 229 ağ ve 331 ağ gücü olduğu gözlemlenmiştir.

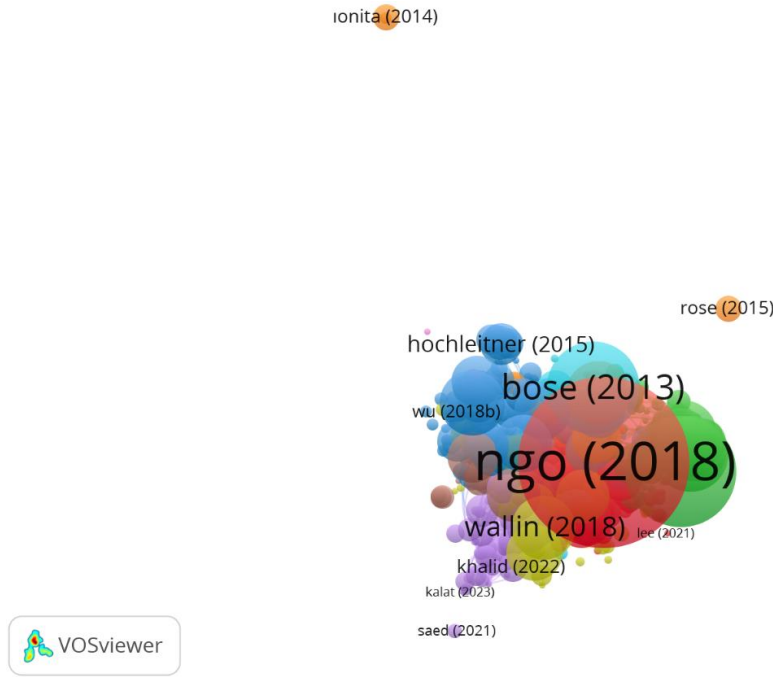


Şekil 8. Eserlerin yayınlandığı kaynakların analizi.

En fazla yayın yapan kaynakların, 61 adet yayın ile “journal of the mechanical behavior of biomedical materials”, 45 adet yayın ile “additive manufacturing” ve 44 adet yayın ile “3d printing and additive manufacturing” adlı kaynaklar olduğu tespit edilmiştir.

3.9. Eserlerin Bibliyografik Eşleşme Analizi

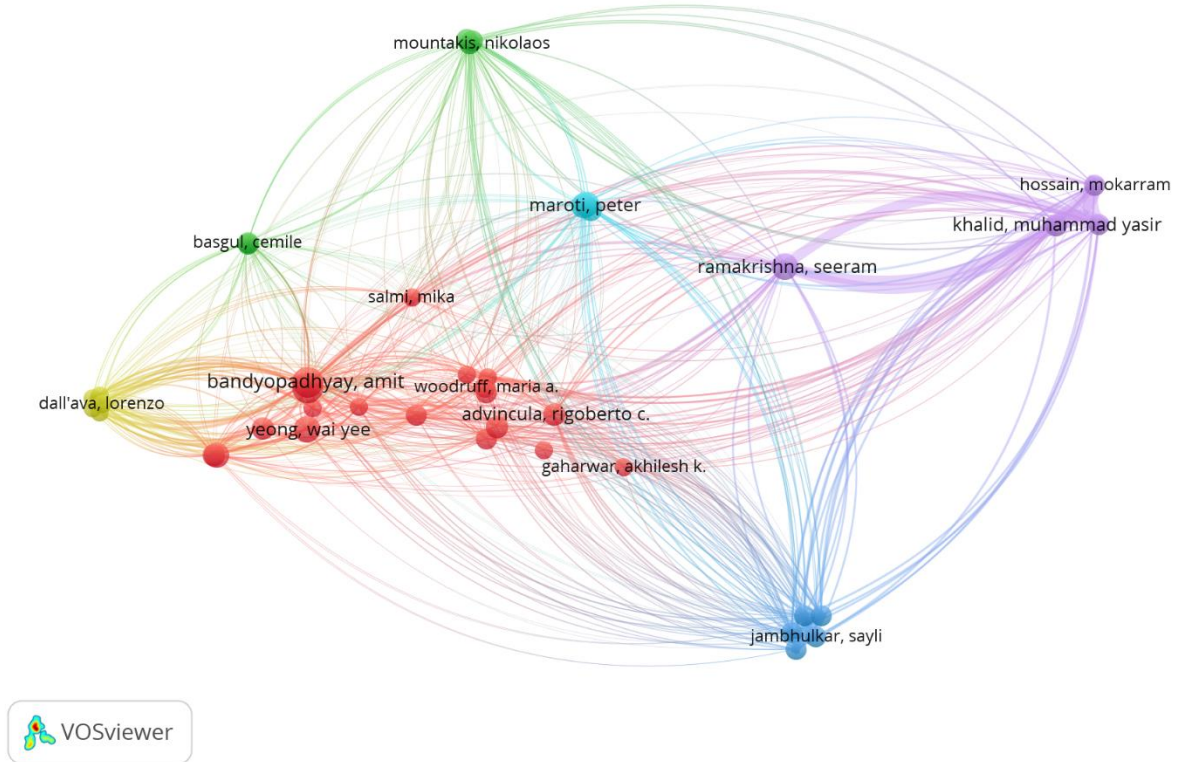
Bibliyografik eşleşme, bağımsız iki kaynağın ortak bir çalışmayı referans göstermesi durumunu tanımlar. Minimum 5 atıf alma kriteri ile filtrelenen ve birbiriyle ağı olan 760 eser ile oluşturulan analizin sonucunda 17 grup, 25328 ağ ve 37144 ağ gücü olduğu gözlemlenmiştir. Maksimum sayıda bibliyografik eşleşmeye sahip olan eserler 4442 atıf ile Tuan D. Ngo (2018), 1855 atıf ile Martin (2017) ve 1324 atıf ile Bose (2013) olduğu belirlenmiştir. Maksimum ağ gücüne sahip eserler ise Li (2020a), Jia (2023) ve Puppi (2020) olmuştur.



Şekil 9. Eserlerin bibliyografik eşleşme analizi.

3.10. Yazarların Bibliyografik Eşleşme Analizi

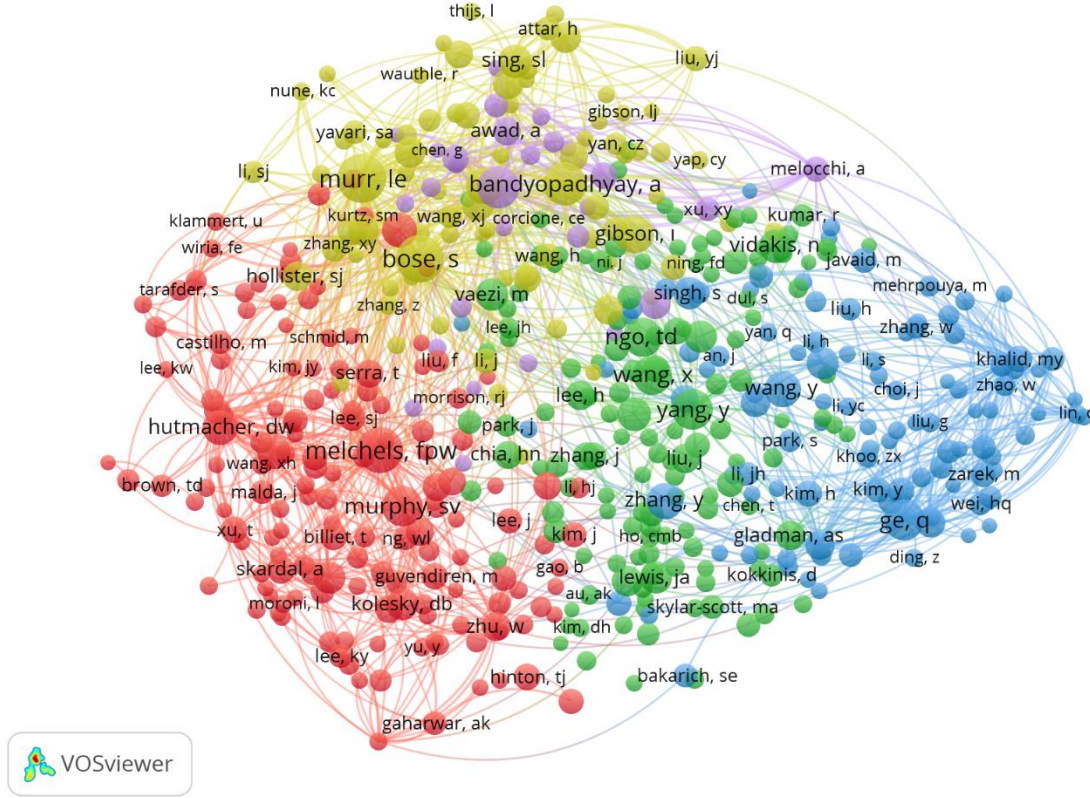
Minimum 5 yayın yapmış olma ve minimum 5 atıf alma kriterleri ile belirlenen ve birbirleriyle bağlantısı olan 41 yazar ile gerçekleştirilen analiz sonucunda göre 6 grup, 676 ağ ve 58371 ağ gücü gözlemlenmiştir.



Şekil 10. Yazarların bibliyografik eşleşme analizi.

En fazla sayıda bibliyografik eşleşme olan yazarların 2340 atıf ile Susmita Bose, 2256 atıf ile Amit Badyopadhyay ve 1673 atıf ile Wai Yee Yeong olduğu görülmüştür.

3.11. Yazarların Eş atf Analizi



Şekil 11. Yazarların eş atf analizi.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen sayısal veriler, eklemeli imalatın biyomedikal uygulamalarındaki gelişiminin nicel boyutunu ortaya koymaktadır. Ancak, bu verilerin derinlemesine yorumlanması, çalışmanın amacına uygun olarak teknolojik gelişmeler ve uygulamalardaki trendlerle ilişkilendirildiğinde daha anlamlı hale gelmektedir. Örneğin, 2012–2024 yılları arasında artan yayın sayısının, özellikle 2023 yılında 194 yayına ulaşması, eklemeli imalata yönelik araştırmalarda artan ilgi ve teknolojik gelişmelerin bir göstergesidir. Bu yaklaşım, Bose ve arkadaşları ile Ngo ve arkadaşları tarafından bildirilen, teknolojinin evrimi ve uygulama alanlarının genişlemesiyle paralellik göstermektedir [13, 17].

Yayınların farklı kategorilere dağılımı, disiplinlerarası bir yaklaşımın benimsendiğini açıkça ortaya koymaktadır. Multidisipliner malzeme bilimi, biyomedikal mühendislik ve imalat mühendisliği gibi kategorilerde yoğunluk, eklemeli imalatın sadece üretim teknikleri olarak değil aynı zamanda klinik uygulamalar ve malzeme geliştirme süreçlerinde de kritik bir rol oynadığını işaret etmektedir. Bu durum, Tan ve arkadaşları ile Chimene ve arkadaşlarının çalışmalarıyla uyumlu olup, eklemeli imalatın farklı disiplinlerdeki entegrasyonunu desteklemektedir [8, 18].

Anahtar sözcük analizi sonuçlarına göre; “3B baskı”, “doku mühendisliği”, “biyomalzemeler” ve “biyoyazıcı” gibi ifadelerin öne çıkması, bu alanlarda yoğunlaşan araştırmaların, kişiselleştirilmiş tıp ve rejeneratif uygulamalara yönelik literatürdeki artan ilgiyi yansıttığını göstermektedir. Bu bulgu, Javaid ve Haleem ile Tasneem ve arkadaşlarının çalışmalarıyla paralellik arz etmektedir; her iki çalışma da biyomedikal uygulamalarda bu terimlerin ve teknolojilerin önemine vurgu yapmaktadır [14, 15].

Sonuç olarak, sayısal veriler yalnızca yayın sayısı, kategori dağılımı ve anahtar sözcük frekansları gibi nicel ölçütleri sunmaktan öte, eklemeli imalatın biyomedikal alandaki dinamik yapısını ve geleceğe yönelik araştırma potansiyelini de gözler önüne sermektedir. Bu kapsamlı yorum, literatürdeki benzer yaklaşımlarla karşılaştırıldığında, mevcut teknolojik ilerlemelerin ve disiplinlerarası etkileşimlerin altını çizmekte, çalışmanın bilimsel katkısını güçlendirmektedir.

Çalışma kapsamında WoS veri tabanında biyomedikal alanında eklemeli imalat üzerine yayınlanan akademik yayınların günümüze kadar olan gelişim süreci incelenmiştir. Belirlenen kriterler aralığında ilgili kavramları içeren yayınlar zamana göre incelendiğinde, eklemeli imalatın biyomedikal uygulama alanlarında yapılan ilk yayınının 2012 yılında yapıldığı görülmüştür. Araştırma kapsamında eklemeli imalatın

biyomedikal uygulamaları ile ilgili en fazla yayının 2023 yılında yapıldığı tespit edilmiştir. 2012 yılından bu yana yayın sayısında değişkenlik görülmekle birlikte genel yönelimin son yıllarda artış olduğu gözlemlenmektedir. Ek olarak, yayınlanan eserler konuları bakımından sınıflandırıldığında, üçte birinden fazlasının multidisipliner malzeme bilimi kategorisinde yer aldığı görülmüştür. Bu da, konuyla ilgili eserlerin hem anatomi, fizyoloji, biyokimya gibi tıbbi alanlarda, hem de mekanik, dayanıklılık ve performans gibi mühendislik alanlarının gelişmesinin sonucudur.

Eklemeli imalatın biyomedikal uygulamalarını içeren eserler incelendiğinde 3B yazıcı ve eklemeli imalat terimlerinin yoğun olarak kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu terimlere ek olarak; doku mühendisliği, biyomalzeme, biyoyazıcı ve mekanik özellikler gibi terimler de bu alanda yayınlanan makalelerde önde gelen terimler arasında yer almaktadır.

Eklemeli imalat alanındaki biyomedikal uygulamalar üzerinde; ABD, Çin, Hindistan, İngiltere, Almanya, Avustralya, Singapur ve İtalya başta olmak üzere dünyada birçok ülkede çalışılmaktadır. Susmita Bose, Amit Badyopadhyay ve Wai Yee Yeong gibi bu alanda en çok yayın yapan bilim insanlarının da bu ülkelerden olduğu görülmüştür. Nanyang Technological University, Washington State University ve National University of Singapur bu konuyla ilgili en çok akademik yayının da yine bu ülkelerin üniversitelerinde yapıldığını göstermektedir.

Bu araştırmadan elde edilen diğer bir sonuç ise, 4442 adet atıf ile en fazla atıf sayına sahip “Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges” (Eklemeli İmalat (3B baskı): Malzemeler, yöntemler, uygulamalar ve zorlukların gözden geçirilmesi) adlı akademik makalenin Melbourne Üniversitesi Mühendislik Fakültesi öğretim üyesi Tuan D. Ngo tarafından yazılmıştır. Makalenin içeriğinde; eklemeli imalatın başlıca yöntemleri, kullanılan malzemeler ve biyomedikal, havacılık, inşaat gibi temel sektörlerdeki trend uygulamaları ve karşılaşılan zorlukların detaylı olarak anlatıldığı görülmüştür [17].

Biyomalzemeler ve kişiselleştirilmiş tıp cihazları alanındaki ilerlemeler, klinik uygulamalara yönelik önemli etkiler yaratmaktadır. Gelecek vadeden çalışma konuları olarak biyoyazıcı teknolojisinin optimizasyonu, doku modelleme yöntemlerinin geliştirilmesi ve biyomalzemelerin uzun dönemli biyoyumumluluğu üzerine odaklanılması önerilmektedir.

Bu çalışma, eklemeli imalatın biyomedikal alandaki uygulamalarına dair genel bir çerçeve sunmanın yanı sıra, bu alanda gelecekte araştırma yapmayı planlayan bilim insanları için yeni öneriler ortaya koymaktadır. Özellikle biyomalzeme tasarımında kişiselleştirilmiş yaklaşımlar, biyoyazıcı teknolojisinin optimizasyonu ve 3B baskının klinik uygulamalara entegrasyonu konuları gelecekte daha fazla araştırma gerektiren alanlar olarak dikkat çekmektedir.

5. SINIRLAMALAR VE GELECEK ÖNERİLER

Bu çalışmanın en önemli sınırlamalarından biri, yalnızca WoS veri tabanına dayalı olmasıdır. Diğer akademik veri tabanlarının dâhil edilmemesi, potansiyel olarak farklı bakış açılarının göz ardı edilmesine neden olabilir. Ayrıca, biyomalzemeler ve biyomedikal uygulamalara dair niteliksel çalışmalar bu analiz kapsamının dışında kalmıştır. Bu sınırlılıklar, gelecekte daha kapsamlı veri kaynaklarının ve metodolojilerin dâhil edilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Gelecek araştırmalar, biyoyazıcı teknolojilerinin klinik uygulamadaki etkinliğini, biyomalzemelerin uzun dönem performansını ve disiplinlerarası çalışmalarla daha büyük veri havuzlarını kapsayan analizlerin gerekliliğini vurgulamalıdır. Ayrıca, 3B baskı teknolojisinin doku ve organ baskısındaki pratik uygulamalarının etkinliğini incelemek, gelecek çalışmalar için önemli bir başlık olarak görülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma için herhangi bir kurum veya kuruluştan maddi ya da manevi destek sağlanmamıştır.

KAYNAKLAR

- [1] D. Dirik, İ. Eryılmaz, T. Erhan, Post-truth kavramı üzerine yapılan çalışmaların VOSviewer ile bibliyometrik Analizi, Sosyal Mucit Academic Review, 4(2), 2023, 164-188.
- [2] J. Tuomi, K-S. Paloheimo, J. Vehviläinen, A novel classification and online platform for planning and documentation of medical applications of additive manufacturing, Surgical Innovation, 21(6), 2014, 553-559.
- [3] C. Aumund-Kopp, A. Riou., 3rd ed., EPMA Introduction to Additive Manufacturing. European Powder Metallurgy Association, Shrewsbury, 2019.
- [4] H. Yang, P. Rao, T. Simpson, Y. Lu, P. Witherell, A. R. Nassar, E. Reutzel, S. Kumara, Six-sigma quality management of additive manufacturing, Proceedings of the IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers. 109(4), 2021, 347-376.

- [5] D. Gu, X. Shi, R. Poprawe, D. L. Bourell, R. Setchi, J. Zhu, Material-structure-performance integrated laser-metal additive manufacturing, *Science*, 372, 2021, (6545).
- [6] A. Vafadar, F. Guzzomi, A. Rassau, K. Hayward, Advances in metal additive manufacturing: a review of common processes, industrial applications, and current challenges, *Appl. Sci.*, 11(3), 2021, 1213.
- [7] Y.Lakhdara, C.Tucka, J.Binnerc, A.Terryb, R.Goodridge, Additive manufacturing of advanced ceramic materials, *Progress in Materials Science* 116, 2021, 10073.
- [8] L. J. Tan, W. Zhu, K. Zhou, Recent progress on polymer materials for additive manufacturing, *Adv. Funct. Mater.* 30, 2020, 2003062.
- [9] D. Chimene, R. Kaunas, A. K. Gaharwar, Hydrogel bioink reinforcement for additive manufacturing: a focused review of emerging strategies, *Advanced Materials*, 1902026, 2020.
- [10] M.I. Mohammed, J. Tatineni, B. Cadd, G. Peart, I. Gibson, Applications of 3D topography scanning and multi-material additive manufacturing for facial prosthesis development and production, in: *Proceedings of the 2016 International Solid Freeform Fabrication Symposium*, University of Texas at Austin, 2016.
- [11] M.E. Prendergast, J.A. Burdick, Recent advances in enabling technologies in 3D printing for precision medicine, *Advanced Materials*, 32 (13), 2020.
- [12] E. Guzzi and M. Tibbitt, Additive manufacturing of precision biomaterials, *Advanced materials*, 32 (13), 2020.
- [13] S. Bose, D. Ke, H. Sahasrabudhe, A. Bandyopadhyay, Additive manufacturing of biomaterials, *Progress in materials science*, 93, 2018, 45–111.
- [14] M. Javaid, A. Haleem, 3D printed tissue and organ using additive manufacturing: an overview, *Clinical Epidemiology and Global Health*, 8(2), 2020, 586-594.
- [15] I. Tasneem, A. Ariz, D. Bharti, A. Haleem, M. Javaid, S. Bahl, 3D printing technology and its significant applications in the context of healthcare education, *Journal of Industrial Integration and Management*, 8(01), 2023, 113-130.
- [16] S. He, J. Zhu, Y. Jing, S. Long, L. Tang, L. Cheng, Z. Shi, Effect of 3D-printed porous titanium alloy pore structure on bone regeneration: A review, *Coatings*, 14(3), 2024, 253.
- [17] T.D. Ngo, A. Kashani, G. Imbalzano, K.T. Nguyen, D. Hui, Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges, *Composites Part B: Engineering*, 143, 2018, 172-196.
- [18] D. Chimene, R. Kaunas, A.K. Gaharwar. Hydrogel bioink reinforcement for additive manufacturing: a focused review of emerging strategies, *Advanced materials*, 1902026, 2020.