

Mimarlıkta 3D Baskı Yönteminin Kullanıldığı Çalışmaların Bibliyometrik Analiz Yöntemiyle İncelenmesi

Begüm Yelda GÜR KARABULUT*

Öz

Teknoloji alanındaki gelişmeler mimariyi de etkilemiş ve alana yeni olanaklar sunmuştur. 3D baskı teknolojisinin kullanılması maliyet ve ürün zamanını azaltma, çevreci olma gibi birçok avantaja sahiptir. Diğer yandan 3D basılı teknolojisi ile daha karmaşık geometrik yapıların üretilmesi mümkün olmaktadır. Bu çalışma, son yıllarda hızla gelişen 3D baskı teknolojisinin mimarlık alanındaki uygulamalarına yönelik yapılan bilimsel çalışmaların bibliyometrik analizini sunmayı amaçlamaktadır. Örneklem alanı olarak, çalışma kapsamında birçok farklı akademik disiplin için kapsamlı ve çoklu veri sağlayan veri tabanı olan "Web of Science" seçilmiştir. Örneklemin analizi için, makalelerin nicel olarak analiz edilmesinde kullanılan yöntemlerden biri olan bibliyometrik ağların görselleştirilmesini sağlayan "Vosviewer" yazılımı kullanılmıştır. Bibliyometrik analiz ile 3D baskı ve mimarlık üzerine yapılan çalışmaların sayısını, atıf alan çalışmalarını, öne çıkan kurumlar ve yazarları, anahtar kelimeleri, konu başlıklarını ve araştırma eğilimlerini net bir şekilde görmemizi sağlamaktadır. Çalışmalarda en çok kullanılan anahtar kelimeler; "3D printing", "Additive manufacturing", "sürdürülebilir mimarlık", "3D concrete printing", "mimarlık", "mekanik özellikler", "sürdürülebilirlik", "robotik", "dijital-fabrikasyon", "robotic fabrication" olmaktadır. Bu, çalışmaların hem teknolojik ilerlemeler hem de sürdürülebilirlik ile ilişkilendirildiğini göstermektedir. Diğer yandan 3D baskı teknolojisinin kullanılmasının yenilikçi çözümlerle, maliyet düşürücü ve çevresel sürdürülebilirliği artırıcı etkileri gibi konuları da içererek, gelecekte bu alanda yapılacak araştırmaların ana temalarını oluşturacaktır.

Anahtar Sözcükler: 3D baskı; Dijital mimarlık; Bibliyometrik analiz; Web of Science; Vosviewer

*Ankara Medipol Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu, begum.gur@ankamedipol.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-2704-1713

The Examination of Studies Using 3D Printing in Architecture Through Bibliometric Analysis Method

Begüm Yelda GÜR KARABULUT*

Abstract

Developments in technology have also influenced architecture, providing new opportunities within the field. The use of 3D printing technology offers numerous advantages, such as reducing costs and production time while also promoting eco-friendliness. This study aims to present a bibliometric analysis of scientific studies on the applications of rapidly evolving 3D printing technology in architecture. The Web of Science database, known for its comprehensive, multidisciplinary data, has been selected as the sample source. For the analysis, Vosviewer software, a tool for visualizing bibliometric networks commonly used to quantitatively analyze articles, was utilized. Bibliometric analysis is employed to examine the volume of research on a specific topic, the distribution of published works, prominent authors, most-cited articles, key concepts, and the countries where research is conducted. The most commonly used keywords in these studies include '3D printing,' 'Additive manufacturing,' 'sustainable architecture,' '3D concrete printing,' 'architecture,' 'mechanical properties,' 'sustainability,' 'robotics,' and 'digital fabrication,' indicating that the studies are associated with both technological advancements and sustainability. Additionally, topics such as innovative solutions, cost reduction, and enhancement of environmental sustainability, all associated with the use of 3D printing technology, will shape the main themes of future research in this field.

Keywords: 3D printing; Digital architecture; Bibliometric analysis; Web of Science; Vosviewer

* Ankara Medipol University, Vocational School, begum.gur@ankamedipol.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-2704-1713

GİRİŞ

3D baskı teknolojisi, son yıllarda inşaat ve mimarlık alanlarında devrim niteliğinde yenilikler sunmaktadır. "Eklemeli üretim (additive manufacturing)" olarak da bilinen bu teknoloji, yapı elemanlarının katman katman üretimi sayesinde, daha karmaşık geometrilere, malzeme tasarrufuna ve sürdürülebilir çözümlere olanak tanımaktadır. 3d baskı teknolojisi, 1980'lerin ortalarında Charles Hull'un geliştirdiği stereolithography (sla) tekniğiyle başlamış ve o günden bugüne hızla evrilmiştir. 3d baskı teknikleri arasında en yaygın kullanılanlar, fused deposition modeling (fdm), stereolithography (sla), selective laser sintering (sls) ve polyjet printing yer alır. Fdm, genellikle plastik filamentler için en uygun olan tekniktir. Sla, sıvı reçinelerin ışıkla sertleştirilmesiyle yüksek çözünürlükte baskılar almayı sağlarken özellikle hassasiyet gerektiren alanlarda tercih edilir. Sls, toz halindeki malzemelerin lazerle eritilerek birleştirilmesini sağlar ve endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılır. Polyjet printing ise çok ince katmanlar ve pürüzsüz yüzeyler sağlamak için genellikle de tıbbi ve mimari modelleme gibi alanlarda kullanılır. Her bir teknik, kendine özgü avantajlarla farklı sektörlerde kullanılmaktadır. Başlangıçta yalnızca prototip üretimi ve mühendislik tasarımları için kullanılan 3d baskı, artık medikal, otomotiv, havacılık, inşaat, moda ve gıda sektörlerinde de yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. 3d baskı, sadece kullanılan tekniklerle değil, aynı zamanda bu tekniklerde kullanılan malzemelerle de çeşitlenir. Özellikle son yıllarda, plastik, metal, reçine, seramik ve kompozit malzemeler, 3d baskının farklı alanlardaki uygulamaları için yaygın olarak kullanılmaktadır. Pla, abs, petg gibi termoplastikler, fdm gibi malzemeler, baskı tekniklerinde tercih edilen malzemelerdir. Metal malzemeler ise özellikle sls ve dmls gibi teknolojilerde kullanılır ve yüksek dayanıklılık gerektiren endüstriyel uygulamalarda yer bulur. Ayrıca, seramik ve kompozit malzemeler de sanat, mimari ve otomotiv gibi sektörlerde çeşitli ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır. Medikal alanda, kişiye özel protezler, diş tedavisi ve hatta biyolojik dokuların üretimi gibi uygulamalar gerçekleştirilirken, otomotiv ve havacılık sektörlerinde, hafif ve dayanıklı parçalar üretilmektedir. İnşaat sektöründe ise 3d yazıcılar, beton gibi malzemelerle büyük ölçekli yapılar inşa edebilmektedir. Moda dünyasında ise, tasarımcılar 3d baskı teknolojisini, özel takı ve giysi tasarımlarında kullanmaktadır.

3D baskı teknolojilerinin mimaride kullanımı son yıllarda dikkat çekici bir yenilik olarak ortaya çıkmıştır. Bu teknoloji, yapıların tasarımından inşaat süreçlerine kadar geniş bir yelpazede önemli avantajlar sunmaktadır. Ancak bu alandaki bilgi ve gelişmelerin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi için sistematik bir literatür taraması gerekmektedir. Bu bağlamda, Web of Science (WOS) veri tabanı üzerinden yürütülecek bibliyometrik analiz, bu alandaki mevcut çalışmalarını derinlemesine incelemek için önemli bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Literatürdeki yayınların eğilimlerini, anahtar kelimelerini, yazarlarını ve etkileşim ağlarını ortaya çıkarmak için Vosviewer yazılımı kullanılacaktır. Bu analiz, mimaride 3D baskı teknolojilerinin gelişimini daha iyi anlamamızı ve alanın geleceği hakkında önemli çıkarımlarda bulunmamızı sağlayarak, konu alanı ile ilgili çalışmalarda eğilimleri belirlemeye ve gelecek çalışmalarda eğilimlere odaklanacaktır.

LİTERATÜR

Literatürde 3D baskının mimarideki uygulamaları, çeşitli açılardan ele alınmıştır. İnşaat süreçlerinin optimizasyonu, sürdürülebilirlik, malzeme kullanımı, tasarım esnekliği ve yenilikçi yapı formları gibi konular, araştırmaların odak noktalarını olmuştur. 3D baskı teknolojisinin son yıllarda, hem endüstriyel hem de bireysel kullanım alanlarında önemli bir gelişim gösterdiği, özellikle prototip üretimiyle sınırlı olan bu teknolojinin, zaman içinde geniş bir kullanım alanına yayıldığı belirtilmektedir (Kralj, 2017). Katmanlı imalat yöntemine dayanan 3D baskı süreci, dijital modellerin rehberliğinde malzemelerin katman katman eklenerek fiziksel nesnelere dönüştürülmesini sağlar.

3D baskının mimarideki kullanımı, genellikle büyük ölçekli yapıların ya da bileşenlerin üretimine odaklanmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalarda, beton ekstrüzyonu ile yapı üretiminin nasıl gerçekleştirilebileceği araştırılmış ve bu teknolojinin büyük ölçekli yapı elemanlarının hızlı ve verimli bir şekilde üretilmesini sağladığı vurgulanmıştır (Buswell ve diğ., 2018). Lim ve diğ. (2012), 3D baskı teknolojisinin inşaat sektöründeki geleneksel yöntemlere göre sağladığı hız ve maliyet avantajlarına dair önemli bulgular sunmuşlardır. Ayrıca, 3D baskının malzeme atıklarını en aza indirerek çevresel sürdürülebilirliği artırdığı ve yeni nesil malzemelerle daha dayanıklı yapılar üretmenin mümkün olduğu sıkça belirtilmektedir (Perkins ve Skitmore, 2015). Kazemian ve diğ. (2017), çimento bazlı malzemelerin performansını test etmiş ve taze baskı karışımlarının laboratuvar testlerine dayalı sonuçlarını sunmuşlardır. 3D baskının mimarideki en dikkat çekici katkılarından biri tasarım esnekliğidir. Geleneksel kalıpların sınırlamalarını aşarak, organik ve karmaşık geometrilerin üretimi mümkün hale gelmektedir. Dini ve diğ. (2019), dijital fabrikasyon süreçlerinin 3D baskı teknolojisi ile birleşerek karmaşık mimari formlar ve özelleştirilmiş yapılar üretme konusunda büyük bir potansiyel sunduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, dijital tasarım araçlarının entegrasyonu ile 3D baskı süreçlerinin daha özgün ve yaratıcı yapı formlarının ortaya çıkmasına olanak sağladığı ifade edilmiştir (Bogue, 2013). Gelecekte, 3D baskının mimarlık alanındaki uygulamalarının daha geniş bir yelpazeye yayılması beklenmektedir. Koramaz ve Zeren Güler (2011), çalışmalarında, üç boyutlu kentsel modellerin tarihi alanların mekansal özelliklerini daha başarılı bir şekilde tanımlama yeteneğine sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu bulgu, 3D baskının mimarlıkta tarihi ve kültürel mirasın korunmasında önemli bir araç olabileceğini göstermektedir. Kentsel modellerinin tarihi alanlarını koruma süreçlerinde üç boyutlu görselleştirme tekniklerinde 3D yazıcılar etkili bir şekilde kullanılabilirliğini vurgulamışlardır. Kılıçarslan (2020), 3D baskının şehir planlama ve büyük yapılar üzerinde daha fazla araştırma alanı bulacağını öngörmektedir. Ayrıca, yapısal dayanıklılık, enerji verimliliği ve maliyet optimizasyonu gibi konularda daha fazla deneysel çalışmaya ihtiyaç duyulacağı vurgulanmaktadır. Bu teknolojinin inşaat süreçlerine entegrasyonu ve bu süreçlerin otomasyonu üzerine yapılan araştırmalar da hızla artmaktadır (Tay ve diğ., 2017). 3D baskının sunduğu fırsatlar, mimari tasarım süreçlerini köklü bir biçimde değiştirmektedir. Geleneksel kalıpların ötesine geçerek organik ve yenilikçi formlar yaratma imkânı sunmakta ve malzeme atıklarını minimize ederek enerji tüketimini optimize etmektedir (Kazemian ve diğ., 2017). Diğer yandan 3D baskı çevresel sürdürülebilirlik bağlamında yeni araştırma yönelimleri için disiplinlerarası çalışmalar yapılmasını önermektedir (Demirarslan ve Onur-Demirarslan, 2017).

Bu çalışmada, 3D baskı ve mimarlık ilişkisine yönelik bilimsel literatürün bibliyometrik analizi yapılacak, alanın gelişim trendleri ve gelecekteki araştırma potansiyeli değerlendirilecektir. Son yıllarda, 3D baskı teknolojisinin maliyet, hız ve esneklik gibi avantajları sayesinde mimarlık alanındaki kullanımı hızla artmaktadır. Özellikle büyük ölçekli yapılar, konut projeleri ve acil durum barınaklarının hızlı üretimi gibi alanlarda önemli uygulama potansiyeli göstermektedir (Buswell ve diğ., 2018; Lim ve diğ., 2012). Bu teknoloji, yapı bileşenlerinin katman katman eklenerek üretildiği bir süreç olarak, geleneksel inşaat yöntemlerine alternatif bir çözüm sunmaktadır. Zhou ve diğerleri (2024), eklemeli üretim (AM) teknolojilerinin kapsamlı bir incelemesini sunarken, Seçici lazer sinterleme (SLS) ve Doğrudan Metal Lazer Sinterleme (DMLS) gibi tekniklerin karmaşık geometrilere sahip işlevsel parçaların üretiminde nasıl kullanıldığını belirtmişlerdir. Diğer yandan, 3D baskının malzeme çeşitliliğini artırma ve üretim süreçlerini optimize etme potansiyeline rağmen, özellikle seri üretim için baskı hızının yavaşlığı ve malzeme çeşitliliğinin sınırlılığı gibi sorunlar, bu teknolojinin yaygın benimsenmesini engelleyen faktörler arasında yer almaktadır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bibliyometrik analiz, belirli bir alandaki akademik yayınların sayısal ve istatistiksel yöntemlerle analiz edilmesiyle, ilgili alanda araştırma eğilimlerini ve önemli katkıları ortaya koymak için kullanılır

(Aria ve Cuccurullo, 2017). Bu çalışmada, mimarlıkta 3D baskı teknolojilerinin kullanımına dair literatürün bibliyometrik analizi için Vosviewer1.6.16 sürümü kullanılmıştır. Leiden Üniversitesi tarafından geliştirilen bu yazılım, ücretsiz, kullanıcı dostu ve yaygın olarak kullanılan bir araçtır. Vosviewer, akademik ağların görselleştirilmesinde etkili sonuçlar sunan bir yazılım olup, özellikle büyük veri kümelerinin işlenmesi ve analiz edilmesinde avantajlar sağlamaktadır. Web of Science veritabanı kapsamlı ve güvenilir bir içerik sunduğundan, çalışmada kullanılan veriler buradan elde edilmiştir. Elde edilen veriler beş aşamada analiz edilmiştir: a) Yayın sayısı ve yıllara göre dağılımı ile, belirli bir alanda yayımlanan makalelerin sayısal dağılımının zaman içindeki değişimi incelenmiştir. b) Atıf analizi ile, yayınlar arasındaki alıntı ilişkileri incelenerek, hangi çalışmaların daha fazla etki yarattığı belirlenmiştir. c) Yazar ve kurum analizi, yazarlar arasındaki işbirliklerini ve hangi kurumların alanda daha etkin olduğunu belirlemektedir. d) Anahtar kelime analizi, belirli bir konu üzerinde yapılan araştırmaların hangi yönleri odaklandığını ve zaman içinde hangi temaların öne çıktığını göstermektedir. e) Konu dağılımı analizi, 3D baskı teknolojisinin mimarlık alanındaki çeşitli konularda nasıl yayıldığını ve hangi alt konuların daha fazla ilgi gördüğünü inceleyen bir analizdir. Elde edilen sonuçların görselleştirilmesiyle, araştırmacıların literatürdeki ana eğilimleri ve potansiyel araştırma boşluklarını daha kolay bir şekilde analiz etmelerinin sağlanması amaçlanmıştır. Yazarlar arasındaki işbirlikleri, anahtar kelimelerin zaman içindeki değişimi ve coğrafi dağılımlar, yapılan analizlerin sonucunda ortaya çıkan görselleştirmelerde belirgin bir şekilde görülebilir. Vosviewer, bilimsel literatürün analizinde yaygın olarak tercih edilen bir araçtır ve büyük veri kümelerinin görselleştirilmesine olanak tanır. WOS'dan elde edilen veriler, Vosviewer yazılımı ile analiz edilmiştir. "3D printing", "additive manufacturing", "architecture", "construction", "digital fabrication" gibi anahtar kelimeler kullanılarak, Web of Science veritabanından 2010-2023 yılları arasındaki yayınlar taranmıştır. Analiz, yalnızca mimarlık ve inşaat sektörüne odaklanan çalışmalarla sınırlandırılmış olup; tıp, makine mühendisliği ve diğer teknik alanlar dışarıda bırakılmıştır. Elde edilen veriler, yalnızca akademik dergiler ile sınırlanarak geçerli hale getirilmiştir. Bu işlem, analizde kullanılan verilerin güvenilirliğini sağlamak amacıyla yapılmıştır. Atıf analizi, ortak atıf, bibliyografik eşleştirme, anahtar kelime analizi ve ortak yazarlık ağları kullanılarak, verilerin görselleştirilmesi sağlanmıştır. Elde edilen ağlar normalleştirilerek, analiz edilen alanın gelişim trendleri haritalanmıştır. Bu aşama, verilerin anlamlı ve anlaşılır bir şekilde görselleştirilmesine olanak tanımaktadır. Analiz sonuçları, Vosviewer tarafından sağlanan görselleştirmeler aracılığıyla sunulmuştur. Bu görselleştirmeler, araştırmalar arasındaki atıf ilişkilerini, yazarlar arasındaki işbirliklerini, anahtar kelimelerin zaman içindeki dağılımını ve coğrafi dağılımları incelememize olanak tanımaktadır. Bu çalışma, 3D baskı teknolojisinin mimarlık alanındaki gelişimini anlamak ve gelecekteki araştırma yönelimlerini ortaya koymak için bibliyometrik analiz yöntemlerinden yararlanmış, elde edilen sonuçlar, alanın mevcut durumunu ve gelecekteki potansiyelini değerlendirmek adına önemli bir katkı sunacaktır.

Çalışmada, 3D baskının mimarideki uygulamalarına dair yayımlanmış akademik makalelerin incelenmesiyle bu alandaki temel temalar, araştırma yönelimleri ve öne çıkan yazarlar belirlenmiştir (Morris ve Van Der Veer Martens, 2008; van Eck ve Waltman, 2010). Bibliyometrik haritalama analizi, veri toplama, ön işleme, ağ çıkarma, normalizasyon, haritalama, analiz ve görselleştirme gibi genel iş akışının farklı aşamalarını içermektedir. Verilerin elde edilmesi noktasında, ISI Web of Science (WoS), Google Scholar veya Scopus gibi farklı bibliyometrik kaynaklar kullanılır (Cobo, 2011). Çalışma kapsamında, araştırmacıya veri elde etmede önemli kolaylık sağlaması ve zengin içerik sağlaması açısından, "Web of Science" veri tabanı seçilmiştir. Elde edilen verilerin bibliyometrik ağlarının görselleştirilmesi genellikle alıntılama, ortak atıf, bibliyografik eşleştirme, anahtar kelime, ortak yazarlık ağları aracılığıyla oluşturulmuştur. Çalışmada, ücretsiz olması, kullanıcı dostu olması ve yaygın kullanımı olmasından dolayı Leiden Üniversitesi'nde geliştirilmiş olan Vosviewer 1.6.16. kullanılmıştır. Veri toplama sürecinde, 3B baskı ve mimarlık üzerine yayımlanmış literatüre erişmek için kapsamlı bir tarama yapılmıştır. Web of Science bilimsel veri tabanları kullanılarak ilgili makaleler taranmıştır. Tarama sürecinde, "3D printing", "additive

manufacturing", "architecture", "construction", "digital fabrication" gibi anahtar kelimeler kullanılmıştır. Tarama, 2010-2023 yılları arasındaki literatürü kapsayacak şekilde sınırlandırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan sadece hakemli dergilerde yayımlanmış makaleler ve konferans bildirileri analiz için seçilmiştir. Toplanan veriler bibliyometrik analizi "yayın sayısı ve yıllara göre dağılım"; "atıf analizi"; "yazar ve kurum analizi"; "anahtar kelime analizi" ve "konu dağılımı analizi" alanlarında gerçekleştirilmiştir. Analiz kapsamında, özellikle mimarlık ve inşaat sektörüne odaklanan çalışmalar seçilmiştir. Tıp, makine mühendisliği veya diğer teknik alanlarda 3D baskı üzerine yapılan çalışmalar bu analiz dışı bırakılmıştır. Bu sınırlama, çalışmanın odaklanmış bir şekilde yalnızca mimarlık disiplinine yönelik bilgi sunmasını amaçlamaktadır. Tarama sürecinde seçilen makalelerin geçerliliği ve güvenilirliği, yalnızca hakemli akademik dergilerde yayımlanmış olan çalışmaların seçilmesiyle sağlanmıştır. Ayrıca, veri tabanlarından elde edilen veriler, doğruluk ve tekrarlanabilirlik açısından kontrol edilmiştir. Bibliyometrik araçlar kullanılarak yapılan analizler, literatür taraması sonucunda elde edilen verilerin sistematik bir şekilde işlenmesini ve görselleştirilmesini sağlamıştır.

BULGULAR

Araştırma bulguları ve kavramlar arası ilişkiler belirlenirken, Vosviewer 1.6.16 bibliyometrik haritalama programı kullanılmıştır. Nees Jan van Eck ve Ludo Waltman tarafından geliştirilen program, bilimsel araştırmaların ülke, dergi, yazar, özet, atıf, anahtar kelimeler, gibi verileri kullanarak, mevcut ya da araştırmacılar tarafından çalıştırılan veriler üzerinden haritalar oluşturan bir bibliyometrik haritalama programıdır (Van Eck ve Waltman, 2010). Araştırmaya konu olan kelimeler "3D printing", additive manufacturing", "architecture" kavramlarıdır. Araştırma Web of Science veri tabanında 12.09.2024 tarihinde yapılmıştır. Araştırma Web of Science veritabanı arama kısmında 2020-2024 yılları yazılarak, çalışmalar makale başlık, özet ve anahtar kelimeleri içeren arama türü seçilerek gerçekleştirilmiştir. Arama kısmına "3D printing" and additive manufacturing" and "architecture" araması yapıldığında 5652 eser bulunmuştur. Bu çalışmada odaklandığımız nokta sosyal bilimler (social science) alanında ve makale (article) olarak verilen eserlerdir. Kısıtlamalara belge türüne de makale (article), derleme (review article), erken erişim (early access), açık erişim (open access) seçeneği seçilerek kısıtlama yapılmıştır. Kısıtlamalar yapıldıktan sonra 5652 eserden 3884 çalışma kalmıştır.

Araştırma kapsamındaki araştırma soruları; "Literatürdeki eserlerin yıllara göre makale dağılımı nasıldır?", "Eser yazarlarının bağlı oldukları ülke bağları nasıldır?", "Literatüre katkı veren ilk 10 yazar kimlerdir?", "Yazarların bağlı bulunduğu ilk 10 kurum hangileridir?", "Kullanılan Anahtar Kelimelerin nelerdir?", "Anahtar kelimelerin kullanımlarındaki eğilim dağılımları nasıldır?", "Literatürdeki en çok kullanılan kaynaklar arası ilişki nasıldır?" ve "Eserlerin en fazla yayınlandığı dergiler hangileridir?". Araştırma sorularının cevapları aşağıdaki şekilde verilmiştir.

Araştırmanın konu alanı ile ilgili Web of Science kategorisinde yer alan belgelerin sayısı ve yüzdelik dağılımı Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. "Web of Science Categories" alanındaki kayıt sayısı ve yüzdelik dağılımı

Field	Record Count	% of 464
Engineering Civil	228	49.138%
Architecture	209	45.043%
Construction Building Technology	165	35.560%

Field	Record Count	% of 464
Materials Science Multidisciplinary	64	13.793%
Computer Science Interdisciplinary Applications	56	12.069%
Computer Science Hardware Architecture	24	5.172%
Education Educational Research	23	4.957%
Urban Studies	20	4.310%
Art	19	4.095%
Education Scientific Disciplines	14	3.017%
Computer Science Software Engineering	11	2.371%
Green Sustainable Science Technology	10	2.155%
Computer Science Theory Methods	9	1.940%
Engineering Mechanical	9	1.940%
Telecommunications	8	1.724%
Computer Science Information Systems	7	1.509%
Engineering Electrical Electronic	7	1.509%
Engineering Industrial	7	1.509%
Archaeology	6	1.293%
Engineering Aerospace	6	1.293%
Engineering Manufacturing	5	1.078%
Mechanics	5	1.078%
Remote Sensing	5	1.078%
Engineering Geological	4	0.862%
Imaging Science Photographic Technology	4	0.862%

Tablo 1, "Web of Science Categories" alanındaki kayıt sayısı ve yüzdelik dağılımını göstermektedir. Tabloya göre, 3D baskı teknolojisinin mimarlık alanındaki uygulamalarına dair bilimsel çalışmaların çeşitli akademik disiplinlerdeki dağılımını göstermektedir. Tablodaki dağılım incelendiğinde, en yüksek oranların "Civil Engineering" (%49.138), "Architecture" (%45.043) ve "Construction

Building Technology" (%35.560) alanlarında olduğunu ve 3D baskı teknolojisinin özellikle inşaat, yapı ve mimarlık alanlarında yoğun olarak araştırıldığını göstermektedir. Malzeme bilimi (%13.793) ve bilgisayar bilimleri ile ilgili kategoriler (%12.069 ve %5.172) de dikkat çekicidir. Bu alanlardaki yüksek oranlar, 3D baskının gelişiminde çok disiplinli çalışmaların önemini ortaya koymaktadır. Sürdürülebilirlik (%2.155) ve şehir çalışmaları (%4.310) gibi kategorilerdeki varlık, bu teknolojinin çevresel ve kentsel konularla da bağlantılı olduğunu göstermektedir.

Genel olarak Tablo 1'deki bulguların, 3D baskı teknolojisinin yapı, malzeme bilimi, bilgisayar bilimleri ve sürdürülebilirlik gibi farklı alanlarda önemli bir araştırma konusu olduğunu ortaya koymaktadır. Web of Science kategorilerini, mimarlık ve 3D baskı ile sınırladığımızda ise 209 çalışma ile karşılaşmaktadır. 3D baskı teknolojisinin mimarlık alanındaki uygulamaları üzerine yapılan 209 yayın, geniş bir akademik ilgi görmüş ve toplamda 667 atıf alarak alanda anlamlı bir etki yaratmıştır ve makale başına ortalama 3.19 atıf düşmektedir. Öz-alıntılar hariç tutulduğunda toplam atıf sayısı 643'tir. Atıf sayısının yüksekliği, konunun bilimsel toplulukta ilgi çektiğini ve yapılan çalışmaların alandaki diğer araştırmalara katkı sağladığını gösterir. H-indeks ise 13 hesaplanmıştır. Bu değer, en az 13 makalenin en az 13 atıf aldığını gösterir ve yayın başına ortalama 3.19 atıf düşmesi, literatürdeki yayınların orta derecede etkili olduğunu, ancak araştırma konusunun hala gelişmekte olduğunu göstermektedir. Genel olarak bu veriler, 3D baskı ve mimarlık alanının hızla büyüyen bir araştırma alanı olduğunu ve akademik camiada dikkat çektiğini göstermektedir. Ancak, araştırma sayısı arttıkça atıf sayılarının da yükselmesi beklenebilir.

Analize dahil edilen makalelerin yer aldığı kategoriler Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2, 3D baskı teknolojisinin mimarlık alanındaki uygulamaları üzerine yapılan çalışmaların farklı akademik kategorilerdeki dağılımını görselleştirmektedir. Kategorilerin büyüklüğü, o alanda yapılan çalışma sayısını temsil etmektedir.

Tablo 2. Makalelerin yer aldığı kategoriler

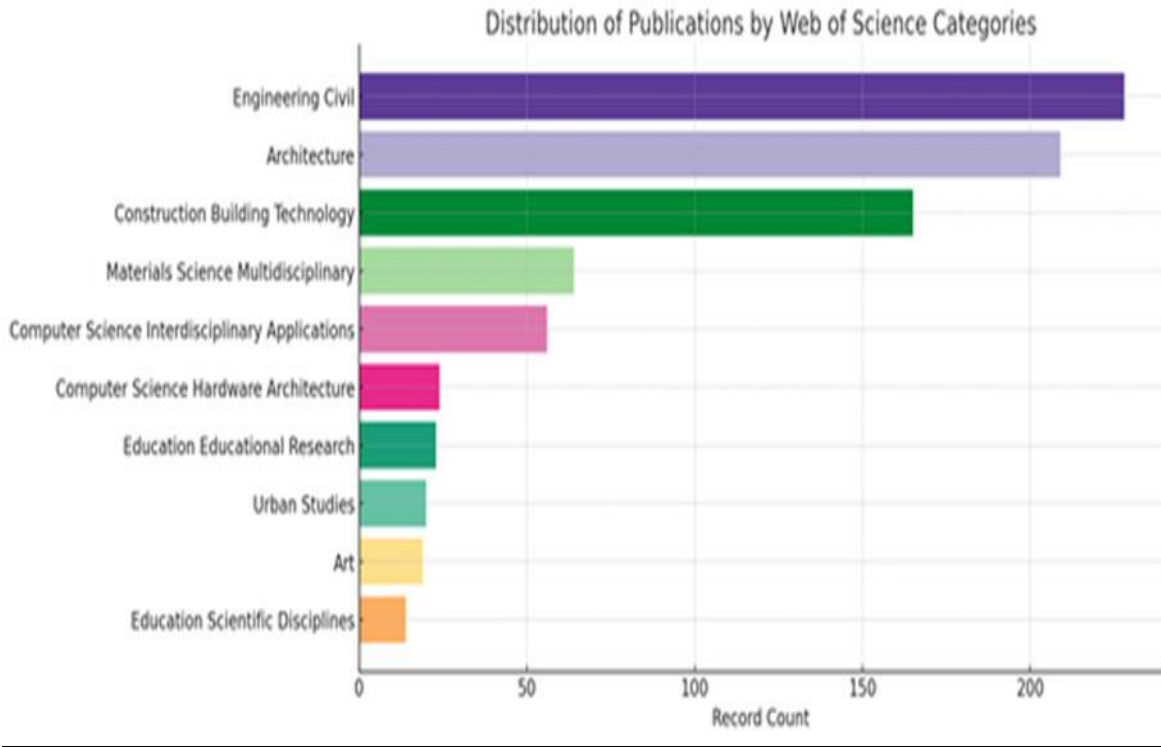
Kategori	Yayın Sayısı
Engineering Civil	228
Architecture	209
Construction Building Technology	165
Materials Science Multidisciplinary	64
Computer Science Interdisciplinary Applications	56
Computer Science Hardware Architecture	24
Education Educational Research	23
Urban Studies	20
Art	19
Education Scientific Disciplines	14

Tablo 2'de yer alan grafikte, İnşaat Mühendisliği (Civil Engineering) ve Mimarlık (Architecture) kategorilerinin en yüksek yayın sayısına sahip olduğu görülmektedir. 3D baskı teknolojisinin

özellikle inşaat mühendisliği ve mimarlık alanlarında yoğun bir araştırma konusu olduğunu ifade etmektedir. Construction Building Technology ve Materials Science Multidisciplinary kategorileri de önemli bir paya sahip olup, yapı teknolojisi ve malzeme biliminin 3D baskı teknolojisi ile ilişkisini ortaya koymaktadır. Diğer alanlarda, özellikle bilgisayar bilimleri ve eğitim araştırmaları gibi disiplinlerde daha az sayıda çalışma yapılmıştır, ancak yine de bu teknolojinin çok yönlü kullanım alanlarına işaret etmektedir.

Yıllara göre yayınların kategori sayıları, yayın sayıları atıf sayıları Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir.

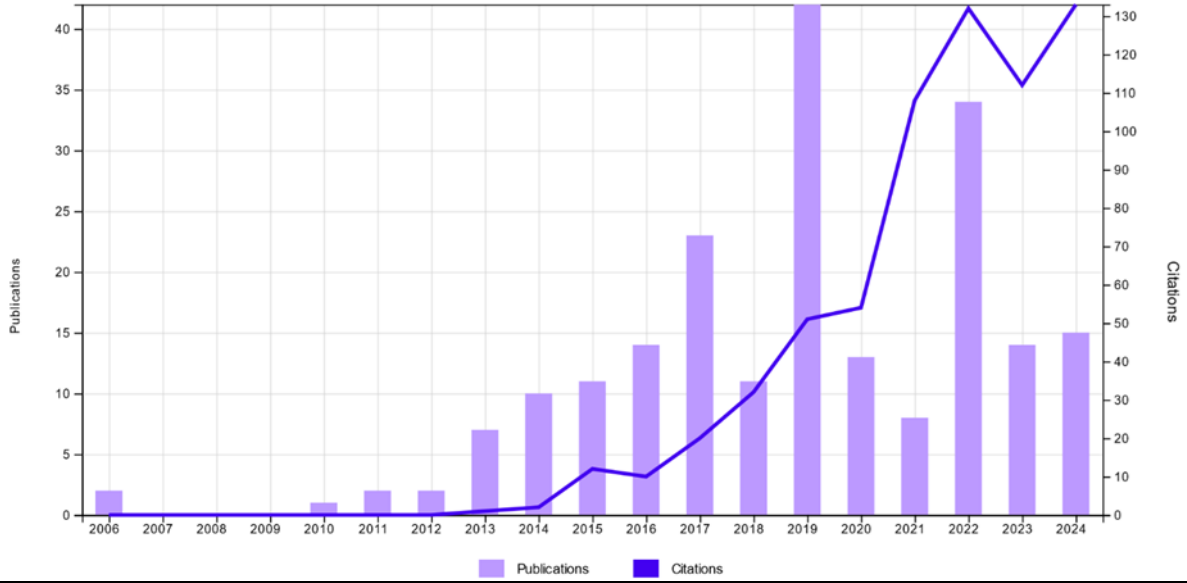
Tablo 3. Yıllara göre yayınların kategorileri sayısı



Tablo 3, 3B baskı teknolojisinin mimarlık alanındaki uygulamaları üzerine yapılan çalışmaların farklı "Web of Science" kategorilerinde nasıl dağıldığı gösterilmektedir. Engineering Civil (228) ve Architecture (209), Construction Building Technology (165) ve Materials Science Multidisciplinary (64), Computer Science Interdisciplinary Applications (56) ve Hardware Architecture (24) kategorilerinde çalışmaların yoğunlaştığı görülmektedir. Bu dağılım, 3B baskı teknolojisinin çok disiplinli bir yaklaşımla ele alındığını ve özellikle inşaat, mimarlık, malzeme bilimi gibi alanlarda daha yoğun araştırma yapıldığını ortaya koymaktadır.

Konu alanı ile ilgili yıllara göre atıf sayıları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Yıllara göre yayın ve atıf sayısı



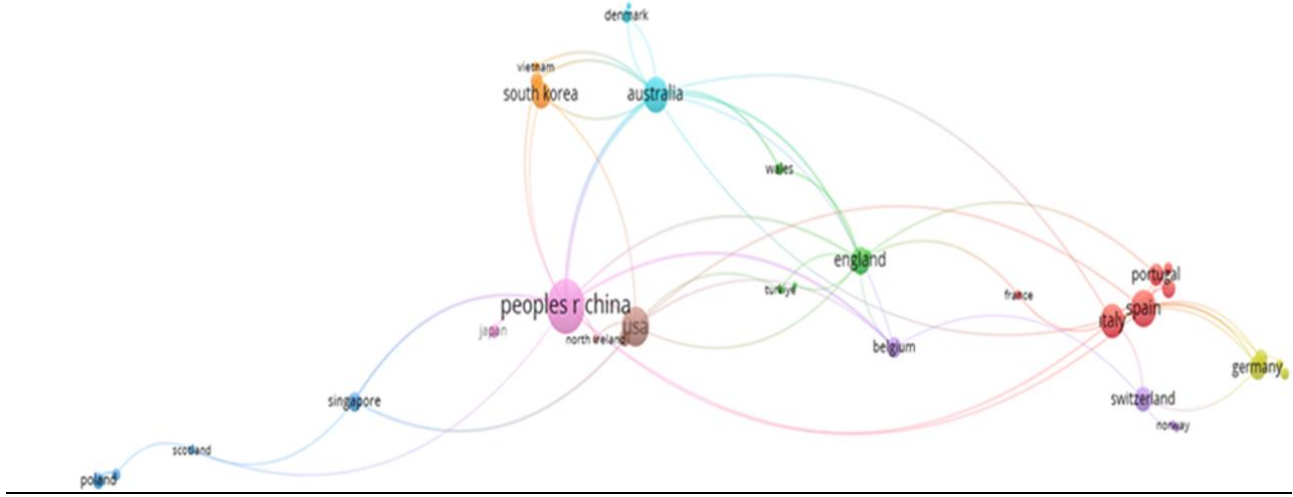
Tablo 4'e göre, 2006-2012 yılları arasında 3D baskı ve mimarlık ile ilgili yayın sayısının çok düşük olduğu bir dönem olduğunu ve teknolojinin mimarlıkta henüz yaygın bir şekilde kullanılmadığını göstermektedir. 2013-2018 yılları arasında yayın sayısında kademeli bir artış görülmektedir. 2019 yılında ani bir sıçrama yaşanmış ve bu, 2020'den sonra istikrarlı bir seviyeye gelmiştir. 2023 ve 2024 yıllarında ise nispeten düşüş olmasına rağmen hala yüksek sayıda yayın vardır. 3D baskı teknolojisinin mimarlıkta büyük ilgi uyandırdığını ve akademik araştırmaların yoğunlaştığını ifade etmektedir. Tablo 4 incelendiğinde, 2015'e kadar olan dönemde yapılan yayınlar neredeyse hiç atıf almamıştır. 2015'ten sonra atıf sayılarında belirgin bir artış gözlenmiştir. 2020'ye kadar atıflarda düzenli bir yükseliş olması 3D baskı teknolojisinin mimarlık alanında daha fazla kabul görmeye başladığını göstermektedir. 2020'de atıf sayılarında ani bir artış gözlenmiş ve sonrasında zirveye ulaşmıştır. Bu yıllarda yapılan yayınların hem daha fazla atıf almış olması hem de alandaki farkındalığın artmış olduğunu ve önceki yıllarda yapılan çalışmaların daha fazla tanındığını ve alana katkı sağladığını işaret etmektedir. Sonuç olarak, hem yayın hem de atıf sayılarının artışı, bu teknolojinin akademik dünyada önem kazandığını ve daha fazla araştırmacının dikkatini çektiğini ortaya koymaktadır. En fazla yayın yapan ve en fazla atıf alan yayın yapan organizasyon tablosu, Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. En fazla yayın yapan ve en fazla yayınlarına atıf alan on organizasyon

Organizasyon- Üniversite	Yayın Sayısı	Bağlantı	Organizasyon- Üniversite	Atıf sayısı	Bağlantı
Tongji Üniversitesi	11	9	Hebei Teknoloji Üniversitesi	968	15
Beijing Teknoloji Üniversitesi	7	8	Beijing Teknoloji Üniversitesi	959	14
Hebei teknoloji Üniversitesi	8	8	Western Avusturya Üniversitesi	551	9

çalışma, 195 atıf), Güney Kore, (14 çalışma, 320 atıf), Hindistan (5 çalışma, 145 atıf), Singapur (7 çalışma, 84 atıf), Hollanda (6 çalışma, 212 atıf), Portekiz (9 çalışma, 225 atıf), Vietnam,(2 çalışma 60 atıf), Wales (3 çalışma, 122 atıf), İngiltere (14 çalışma, 341 atıf), Şili (7 çalışma,57 atıf), Çek Cumhuriyeti (3 çalışma, 28 atıf), Japonya (4 çalışma, 5 atıf) yer almaktadır (Şekil 2).

Konu alanı ile ilgili çalışmaların ülkeler bazında değerlendirilmesine ait Vosviewer görseli Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Konu ile ilgili çalışmaların görseli

Şekil 2 incelendiğinde konu ile ilgili en fazla çalışma yapan ülkelerin başında Çin, İngiltere, Avusturya, ABD, Güney Kore gibi ülkeler gelmektedir. Çalışma yapan yazarların yayın sayıları ve atıflarına ait veriler aşağıda tabloda verilmiştir (Tablo 6, Şekil 3).

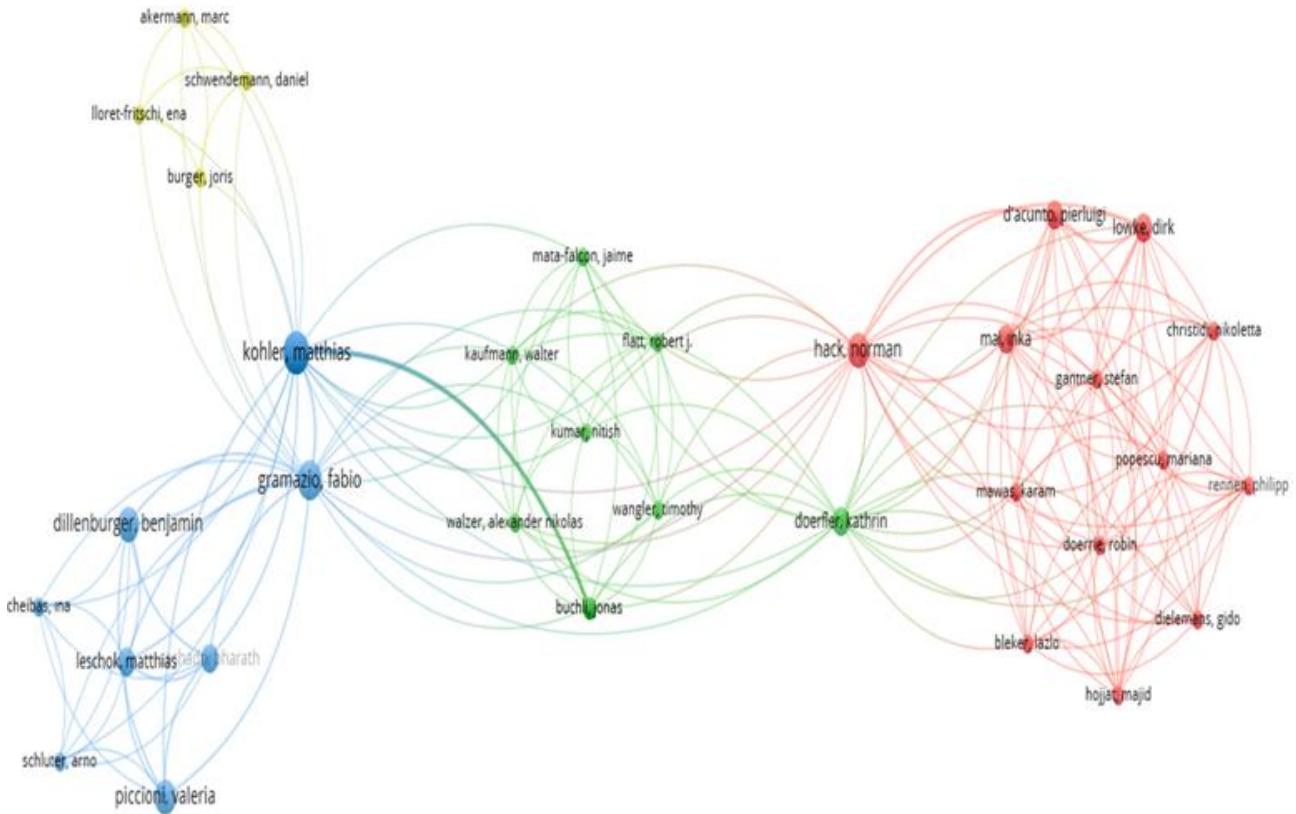
Tablo 6. Çalışma yapan yazarların yayın sayıları ve atıflar

Yazar	En fazla yayın yapan on yazar			En fazla atıf alan on yazar		
	Yayın Sayısı	Atıf	Bağlantı	Yazar	Atıf	Bağlantı
Li Wang	8	968	26	Li Wang	968	26
Guowei Ma	7	959	22	Guowei Ma	959	22
Rodrigo Garcia-Alvarado	6	57	19	Zhijian Li	814	16
Amardeep Singh	5	44	20	Jay Sanjayan	475	11
Zhijian Li	5	814	16	Fang Wang	410	7
Fabio Gramazio	4	89	27	Domenico Asprone	302	11

Matthias Kohler	4	89	27	Costantino Menna	302	11
Xiangyu Wang	4	78	16	Ferdinando Auricchio	289	7
Hailong Wang	4	76	15	Guojian Liu	251	5
Mohamed Gomaa	4	122	11	Bo Pang	251	51

Tablo 6 incelendiğinde en fazla yayın yapan üç yazar; Li Wang; Guowei Ma ve Rodrigo Garcia-Alvarado olmaktadır. Diğer yandan çalışmalarına en fazla atıf alan üç yazar; Li Wang, Guowei Ma ve Zhijian Li'dir. Konu alanı ile ilgili çalışma yaparak katkı veren yazarların dağılımı ve bağlantılı çalışmaların Vosviewer görseli Şekil 3'te verilmiştir.

Şekil 3. Literatüre katkı veren yazarların dağılımı ve bağlantılı çalışmaları



Literatüre katkı veren yazarların dağılımına bakıldığında Li Wang, Guowei Ma ve Rodrigo Garcia-Alvarado en çok yayın yapan yazarlardır. Li Wang, Guowei Ma aynı zamanda en çok atıf alan çalışma yapan yazarlardır.

Mimarlıkta 3D alanında en fazla çalışma yapan yazarların makalelerinin künyeleri ve özetleri Tablo 7'de verilmiştir.

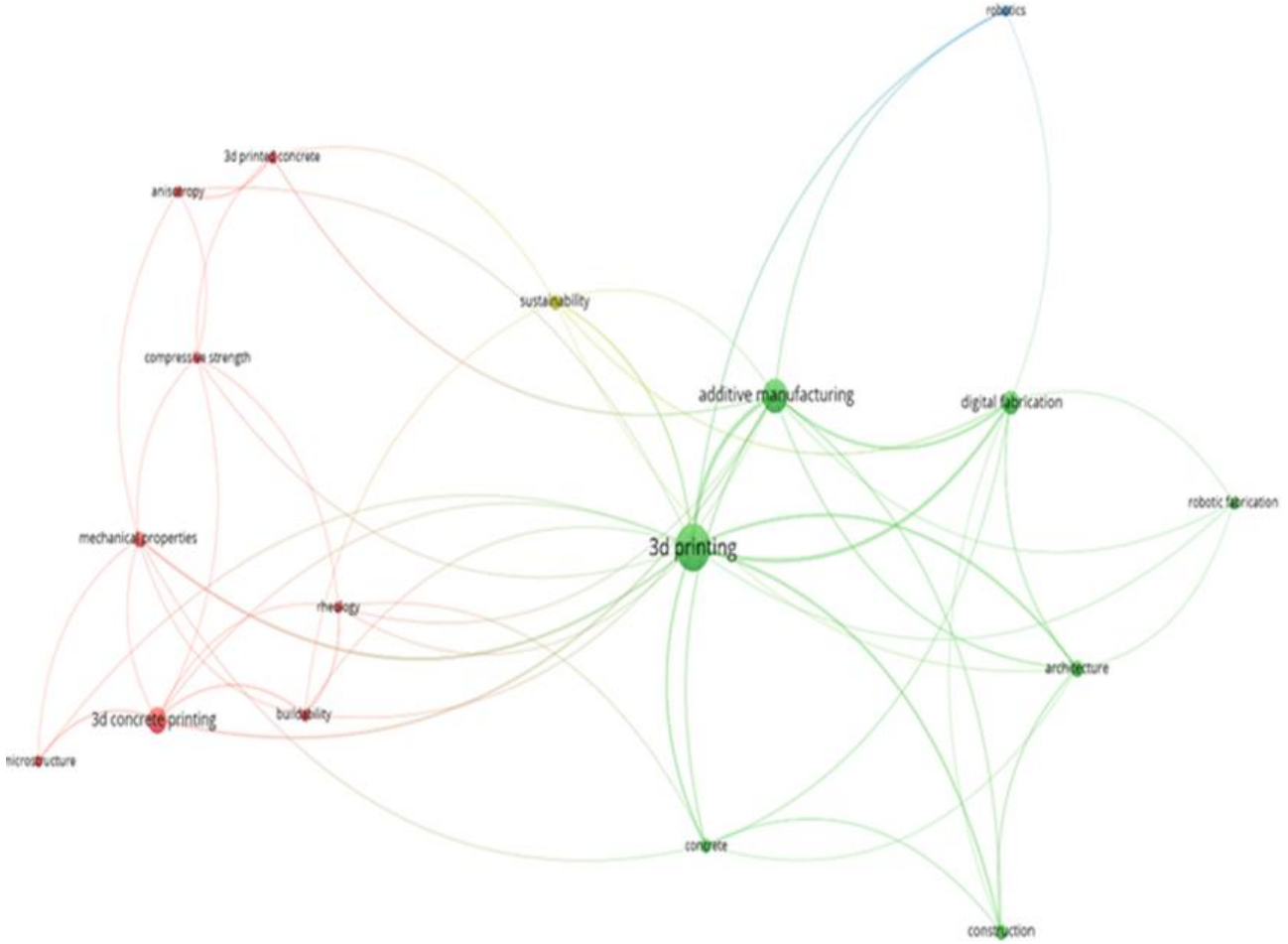
Tablo7. En fazla çalışma yapan yazarların çalışmaları, künye ve özetleri

Yazarlar	Makale Adı	Yayınlandığı Dergi	Anahtar Kelimeler	Atıf Sayısı	Özet
Nicholas, P; Rossi, G; Schork, T	Integrating real-time multi-resolution scanning and machine learning for Conformal Robotic 3D Printing in Architecture	International Journal of Architectural Computing	Conformal printing, robotic fabrication, 3D scanning, neural networks, Industry 4.0	25	Bu makale, konformal 3D baskının potansiyellerini ele almakta ve 3D alt tabakalara baskı yapmak için yeni bir iş akışı sunmaktadır. Bu iş akışı, robotik tarama, sinir ağı tahminleri ve PETG plastiği basımını entegre ederek bilinmeyen geometrilere yanıt verme avantajı sunmaktadır.
Marijnissen, M.P.A.M.; van der Zee, A.	Concrete Printing in Architecture: A Research on the Potential Benefits of 3D Concrete Printing in Architecture	ECAADE 2017: Sharing of Computable Knowledge (SHOCK!)	Additive Manufacturing, 3D Concrete Printing, Structural Optimization, Personalization	10	Makale, büyük ölçekli 3D baskı tekniklerinin mimaride nasıl kullanılabileceğini araştırmaktadır. 3D Beton Yazıcı ile inşa etme süreci, malzeme ve işçilik maliyetlerini minimize ederek yeni bir tasarım dili oluşturulmaktadır.
Leach, N.	Size Matters: Why Architecture Is the Future of 3D Printing	Architectural Design	3D printing, architecture, small-scale design, structural stability	18	Bu makale, 3D baskının binalar ve şehirler boyutuna taşınmasını tartışmakta, ancak mimarların daha küçük ölçekli projelere odaklanmalarını önererek, yapısal kararlılık ve yük taşıma açısından karşılaşılan zorlukları ele almaktadır.
Krugelis, L.	3D Printing Technology as a Method for Discovering New Creative Opportunities for Architecture and Design	Landscape Architecture and Art	Contemporary architecture, industrial design, 3D printing, contemporary art	16	Makale, 3D baskının Batı dünyasında yaşam ortamlarıyla ilişkili kullanımını incelemekte, bu teknolojinin ortaya çıkardığı yaratıcı fırsatları ve mimarlıkta yeni eğilimleri tartışmaktadır.
Anton, A.; Dillenburger, B.	Towards a Sustainable 3D-Concrete-Printed Architecture: Assemblies, Detailing, and Ornamentation	Architectural Design	3D concrete printing, digital building technologies, digital fabrication	0	Bu makale, 3D baskılı beton kullanarak kıvrımlı yapılar üretmek için geleneksel döküm yöntemlerinden farklı deneysel yapı elemanları tasarlamayı amaçlamaktadır.
Tohidi, A.; Gomaa, M.; Hae-Ussler, M.H.; Shiel, J.	3D Printing Self-Shading Wall Structure With Earth: Enhancing Thermal Properties in Earthen Architecture	Proceedings of the 29th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2024)	Vernacular architecture, biomimicry, 3D printing, sustainability, computational design, environmental analysis	24	Makale, toprak duvarların tasarımı ve dijital üretimi için biyomimikri ve yerel mimarlık bilgisinin birleştirildiği bir yaklaşım sunmaktadır. 3D baskı, termodinamik ve çevreye duyarlı tasarım stratejileri ile daha sürdürülebilir ve verimli yapılar inşa etmeyi hedeflemektedir.
Berdos, Y.; Vele, J.; Dounas, T.	Decentralised Additive Manufacturing for Architecture: Exploring the	ECAADE 2023 Digital Design Reconsidered	Blockchain, additive manufacturing, 3D printing, integration, distributed ledger	15	Makale, blok zinciri teknolojisi ve dağıtılmış üretim sistemlerinin 3D baskı ile entegrasyonunu incelemekte, bu teknolojilerin mimarlık ve inşaatta şeffaf ve

Yazarlar	Makale Adı	Yayınlandığı Dergi	Anahtar Kelimeler	Atıf Sayısı	Özet
	Integration of Distributed Ledger Technologies with 3D Printing		technologies		verimli üretim süreçleri yaratma potansiyelini tartışmaktadır.
López, M.V.; Contreras, M.C.S.; Díaz, J.R.O.	3D Printing in Presentation Architecture Projects	Book Series: Lecture Notes in Civil Engineering	Architectural education, educational innovation in the university, new technologies	3	Makale, 3D baskı teknolojilerinin mimarlık projelerinde sunum amaçlı kullanımını incelemekte, özellikle eğitimde bu teknolojilerin nasıl daha etkili bir şekilde kullanılabileceğini tartışmaktadır.
Peters, B.	Additive Architecture: 3D Printed Architecture	Architectural Research Addressing Societal Challenges	3D printed architecture, construction revolution, urban planning	18	Makale, 3D baskı mimarisinin küresel ölçekteki etkilerini incelemekte, bu teknolojinin gelecekte nasıl şekilleneceği hakkında kapsamlı bir bakış sunmaktadır.
Aghaei, M.; Andrei, J.; Dillenburger, B.	Smart Slab: Computational Design and Digital Fabrication of a Lightweight Concrete Slab	Acadia 2018 Recalibration: On Imprecision and Infidelity	Computational design, digital fabrication, smart slab, lightweight concrete	-	Bu makale, hafif beton levhaların dijital fabrikasyon teknikleri ile tasarımını ve üretimini incelemektedir.

Tablo 7'deki çalışmalar incelendiğinde, 3D baskı teknolojisinin mimarlık ve inşaat alanındaki çeşitli kullanım alanlarını ve gelecekte hangi yönlere daha fazla gelişebileceğini vurgulamaktadır. 2020'li yıllardan sonra, 3D baskı ve eklemeli üretim teknolojilerinin mimarlıkta farklı alanlarda kullanılabileceğine dair belirgin eğilimler gözlemlenmektedir. Özellikle, sürdürülebilirlik, robotik üretim, biyomimikri, ve dijital fabrikasyon gibi kavramlar ön plana çıkmaktadır. Bu trendler, mimarlık ve inşaat alanında 3D baskı teknolojilerinin yalnızca yapısal tasarımda değil, aynı zamanda çevresel etkilerin azaltılması, üretim süreçlerinin iyileştirilmesi ve tasarımın daha özgür ve yaratıcı hale getirilmesi gibi alanlarda da önemli dönüşümler yaratabileceğini göstermektedir. Örneğin, Nicholas ve Rossi'nin çalışması, konformal baskı ve robotik üretimin mimaride nasıl entegre edilebileceğini ve bu teknolojilerin yapı tasarımında nasıl yeni çözümler sunduğunu araştırmaktadır. Marijnissen ve van der Zee'nin çalışması ise, büyük ölçekli 3D beton baskı teknolojisinin mimarlık ve yapısal tasarımda nasıl daha verimli kullanılabileceğine dair ipuçları sunmaktadır. Leach, 3D baskı teknolojisinin mimarlık için geleceğini, özellikle küçük ölçekli yapılar için olan potansiyelini tartışarak, daha büyük ölçekli inşaat projelerinde karşılaşılan zorlukları ele almaktadır. Bu tür çalışmalar, 3D baskının yalnızca estetik ve yapısal açıdan değil, aynı zamanda sürdürülebilirlik ve verimlilik açısından da büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Öte yandan, Tohidi ve diğerlerinin çalışması, toprak ve biyomimikri ile entegre edilmiş 3D baskı teknolojilerinin sürdürülebilir tasarımlar yaratmadaki rolünü vurgulamaktadır. Bu tür çalışmalar, 3D baskı teknolojilerinin çevresel etkilere duyarlı ve yerel malzemelerle uyumlu çözümler üreterek, sürdürülebilir mimarlık pratiğine nasıl katkı sağlayabileceğini gösteriyor. Ayrıca, Berdos ve diğerlerinin çalışması, blok zinciri ve dağıtılmış üretim teknolojilerinin entegrasyonu ile mimarlık ve inşaat sektöründeki üretim süreçlerini daha şeffaf ve verimli hale getirme potansiyelini tartışmaktadır. Bu bulgular, 3D baskı teknolojilerinin, mimarlık alanında yalnızca yapısal tasarımlarla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda sürdürülebilirlik, dijital fabrikasyon ve robotik üretim gibi geniş bir yelpazede dönüşüm yaratma kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Gelecekteki araştırmaların, bu teknolojilerin daha geniş çapta benimsenebilmesi için teknolojinin uygulanabilirliğini ve verimliliğini artırmaya odaklanması gerektiği açıktır.

Çalışmada en fazla kullanılan anahtar kelimeler ve aralarındaki ilişki Şekil 4'te verilmiştir. Bunlardan en çok tekrar eden kelimeler; 3D printing, additive manufacturing, 3d concrete printing olmaktadır.



Şekil 4. En sık kullanılan anahtar kelimeler

Yapılan bibliyometrik analiz sonucunda, 3D baskı teknolojisinin mimarlık alanındaki çeşitli uygulamaları ile ilgili öne çıkan anahtar kelimeler ve bunların frekansları belirlenmiştir. Çalışmada en çok tekrar eden anahtar kelimeler ve bunların bağlantı sayıları Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. "Web of Science Categories" konu alanı ile ilgili en fazla kullanılan anahtar kelimeler ve bağlantı sayıları

Anahtar Kelimeler	Tekrar sayısı	Bağlantıların sayısı
3D printing	78	73
Additive manufacturing	40	48
3D concrete printing	25	11
Digital fabrication	20	29

Architecture	11	19
Construction	9	16
Mechanical properties	9	11
Sustainability	9	11
Concrete	8	18
3d printing concrete	7	6
Buildability	6	8
Robotic fabrication	6	4
Robotic	5	8
Rheology	5	7
Compressive strength	5	6
Architectural education	5	4
New technologies	5	4

Tablo 8 incelendiğinde, en çok tekrar edilen anahtar kelimenin 3D printing (78 tekrar, 73 bağlantı) additive manufacturing (40 tekrar, 48 bağlantı) ve 3D concrete printing (25 tekrar, 11 bağlantı) olduğunu göstermektedir. Bu sonuç ana eğilimin, özellikle yapı üretiminde 3D baskı teknolojisine yöneldiğini göstermektedir. Digital fabrication (20 tekrar, 29 bağlantı) ise 3D baskı teknolojisinin dijital üretim süreçleriyle ilişkili araştırmaları vurgulamaktadır. Architecture ve Construction gibi terimler, mimarlık ve inşaat sektörlerinde 3D baskı kullanımına olan ilgiyi yansıtan diğer anahtar kelimeler arasında yer almaktadır. Bunun yanı sıra, Mechanical properties (9 tekrar, 11 bağlantı) ve Sustainability (9 tekrar, 11 bağlantı) gibi anahtar kelimeler, 3D baskı ile üretilen yapıların dayanıklılığı ve çevresel sürdürülebilirliği üzerine yapılan araştırmaları işaret etmektedir.

Diğer önemli anahtar kelimeler arasında Concrete (8 tekrar, 18 bağlantı), 3D printing concrete (7 tekrar, 6 bağlantı) ve Buildability (6 tekrar, 8 bağlantı) yer alırken, Robotic fabrication (6 tekrar, 4 bağlantı) ve Robotic (5 tekrar, 8 bağlantı) terimleri de robot teknolojilerinin 3D baskı ile entegrasyonunu vurgulamaktadır. Ayrıca, Rheology (5 tekrar, 7 bağlantı) ve Compressive strength (5 tekrar, 6 bağlantı) gibi terimler, 3D baskı malzemelerinin fiziksel özelliklerine yönelik yapılan çalışmaları işaret etmektedir. Son olarak, Architectural education (5 tekrar, 4 bağlantı) ve New technologies (5 tekrar, 4 bağlantı) gibi anahtar kelimeler, bu teknolojilerin mimarlık eğitimi ve yenilikçi teknolojilere olan etkisini ele alan araştırmaların arttığını göstermektedir. Bu bulgular, 3D baskı teknolojisinin mimarlık alanındaki çok çeşitli uygulama alanlarını ve gelişim yönelimlerini açık bir şekilde ortaya koymaktadır.

SONUÇ

2010-2023 yılları arasındaki çalışmalar incelendiğinde; 3D baskı ve mimarlık konusunda yayınlanan çalışmaların sayısının son 5 yılda hızla arttığı görülmüştür. Bu, teknolojinin yaygınlaşması ve mimarlıkta inovasyon ihtiyacına paralel bir artış olarak yorumlanabilir. Buswell ve diğerlerinin (2018) çalışması 532 atıf alan bir çalışma olup 3D baskı teknolojisinin inşaat sektöründe nasıl

kullanılacağına dair kapsamlı bir inceleme sunmaktadır. En çok atıf alan makale olması, bu çalışmanın alandaki temel kaynaklardan biri olduğunu göstermektedir. Diğer yandan, Lim, 76 yayın, Kazemian, 58 yayın, Khoshnevis ise 47 yayın ile görülmektedir. Yazarların çalışmalarında, 3D baskı teknolojisinin mimarlık ve inşaat alanındaki araştırmalarında öncü kabul edilmektedir. Çalışmalarında özellikle eklemeli üretim süreçleri ve malzeme kullanımı konularında yoğun araştırmalar yapmışlardır. Ülkeler bazında baktığımızda ise Amerika Birleşik Devletleri'nin 62 yayın, Çin'in 45 yayın, Almanya'nın 32 yayın yaptığı görülmüştür. Yapılan çalışmaların, genellikle büyük ölçekli inşaat projeleri ve endüstriyel üretim üzerine yoğunlaşmaktadır. En çok atıf alan konular, sürdürülebilirlik, inovasyon üzerine yoğunlaşmıştır.

Gelecekteki araştırmaların en önemli yönlerinden biri, 3D baskının sürdürülebilirlik potansiyelinin keşfedilmesi olacaktır. Çevre dostu malzemeler ve geri dönüştürülebilir inşaat malzemeleri ile yapılan 3d baskılar, mimarlık alanında önemli bir trend olabilir. Yenilikçi biyobazlı malzemeler, beton yerine kullanılacak alternatifler ve atık malzemelerin 3D baskı süreçlerinde kullanımı gibi konular, gelecekteki çalışmalar için büyük bir araştırma alanı sunmaktadır. Modüler yapıların 3D baskı teknolojisi ile üretimi, gelecekteki mimarlık uygulamaları için önemli bir yönelim olabilir. 3D baskı, esnek ve özelleştirilebilir tasarımların üretimini mümkün kılmakta, böylece kullanıcı ihtiyaçlarına göre kişiselleştirilen yapılar oluşturulmaktadır. Ayrıca, prefabrik yapılar ve taşınabilir konutlar gibi konular da artan bir araştırma alanı yaratmaktadır. Tasarım, mühendislik ve inşaat süreçlerinin 3D baskı ile birleştirilmesi, iş akışlarını daha verimli hale getirebilir. Bu bağlamda, yazılım geliştirme, yapay zeka (AI) ve veri analitiği kullanımı ile 3D baskı süreçlerinin optimize edilmesi önemli bir araştırma alanı olacaktır. 3D baskı teknolojisinin robotik sistemlerle birleşmesi, inşaat alanında devrim yaratabilir. Bu alandaki araştırmalar, 3D baskı ile entegre olan otonom inşaat sistemlerine odaklanabilir. Biyomimikri ve insan odaklı tasarımlar, gelecekteki 3D baskı araştırmalarının önemli bir parçası olabilir. 3D baskının mimaride sadece fiziksel yapıları değil, insanların yaşam kalitesini artıran yapılar oluşturma potansiyeli, sağlık ve ergonomi açısından derinlemesine incelenebilir. Sürdürülebilirlik, esnek tasarımlar, modüler yapılar ve çevre dostu üretim, önümüzdeki yıllarda daha da fazla önem kazanacak anahtar konulardır. Ayrıca, 3D baskı ve robotik sistemlerin entegrasyonu, otomasyon ve otonom inşaat süreçlerinin hızla gelişmesi beklenmektedir. Gelecekteki araştırmaların, 3D baskı teknolojisinin potansiyelini daha iyi kullanacak ve bu teknolojiyi mimarlık alanında daha verimli hale getirecek yeni yöntemlere odaklanması gerekecektir. Sonuç olarak, teknolojik gelişmeler, baskı tekniklerinin çeşitlenmesi ve farklı malzemelerin kullanım alanlarının genişlemesiyle, 3D baskının gelecekte daha da yaygınlaşması beklenmektedir. Bu teknoloji kullanılarak, gelecekteki araştırmalar; "sürdürülebilir 3D baskı malzemeleri", "modüler yapıların üretimi", "robotik ve otomasyon süreçlerinin entegrasyonu", "sürdürülebilirlik", "sürdürülebilir çevre dostu mimarlık", "maliyet etkinliği", "dijital fabrikasyon", "özgün, yaratıcılığı kullanarak esnek tasarımlar", "karmaşık mimari formların üretimi", "yapısal dayanıklılık", "baskı hızını artırma" ve "verimlilik" gibi alanlara yoğunlaşmalıdır. Bu trendler, yalnızca teknolojik yenilikleri değil, aynı zamanda mimarlık pratiğinin daha çevre dostu ve verimli hale gelmesini sağlayacak araştırmalara zemin hazırlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Aria, M. ve Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: An R-Tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959-975.
- Bogue, R. (2013). 3d printing: The dawn of a new era in manufacturing?. *Assembly Automation*, 33(4), 307-311.
- Buswell, R. A., De Silva, W. L., Jones, S. Z. ve Dirrenberger, J. (2018). 3d printing using concrete extrusion: A roadmap for research. *Cement and Concrete Research*, 112, 37-49.
- Cobo, M.J., López-Herrera, A.G., Herrera-Viedma, E. ve Herrera, F. (2011). Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 62(7), 1382-1402.

- Demirarslan, D. ve Demirarslan, O. K. (2017). An interdisciplinary approach to interior design in the context of environmental protection awareness: Relation between interior architecture and environmental engineering. *The Journal of Natural Hazards and Environment (J Nat Haz Environ - JNHE)*, 3(2), 112-128.
- Dini, E., Sugihara, Y. ve Paci, R. (2019). Digital fabrication and 3d printing in architectural design. *Frontiers of Architectural Research*, 8(3), 383-397.
- Kazemian, A., Yuan, X., Cochran, E. ve Khoshnevis, B. (2017). Cementitious materials for construction-scale 3d printing: Laboratory testing of fresh printing mixture. *Construction and Building Materials*, 145, 639-647.
- Kılıçarslan, G. (2020). The future of architecture with 3D printing: Potential large-scale applications. *Journal of Architectural Technology*, 13(2), 214-229.
- Koramaz, K. T. ve Güler, Z.N. (2011). Kentsel koruma sürecinde görselleştirme tekniklerinin etkinliğinin değerlendirilmesi. *İTÜ A/Z Dergisi*, 9(2), 145-154.
- Kralj, A. (2017). 3D print and practical use. University North, Hırvatistan.
- Lim, S., Buswell, R. A., Le, T. T., Austin, S. A., Gibb, A. G., ve Thorpe, T. (2012). Developments in construction-scale additive manufacturing processes. *Automation in Construction*, 21, 262-268.
- Morris, S. Ve Van Der Veer Martens, B. (2008). Mapping research specialties, *Annual Review of Information Science and Technology*, 42(1), 213-295.
- Perkins, S. ve Skitmore, M. (2015). Three-dimensional printing in the construction industry: A review. *International Journal of Construction Management*, 15(1), 1-9.
- Tay, Y. W. D., Panda, B., Paul, S. C., Noor Mohamed, N. A., Tan, M. J. ve Leong, K. F. (2017). 3d printing trends in building and construction industry: A review. *Virtual and Physical Prototyping*, 12(3), 261-276.
- Van Eck, N. J. ve Waltman, L. (2010). Software survey: Vosviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523-5388.
- Zhou, L., Miller, J., Vezza, J., Mayster, M., Raffay, M., Justice, Q., Al Tamimi, Z., Hansotte, G., Devi Sunkara, L., ve Bernat, J. (2024). Additive manufacturing: A comprehensive review. ncbi.nlm.nih.gov