

Prefabrikasyon - BIM Entegrasyonunun Bibliyometrik Analizi ve Haritalandırılması

Prefabrication - BIM Bibliometric Analysis and Mapping the Integration

Özlem BAYRAK^{1*} , Nuray BENLİ YILDIZ² 

Gönderilme Tarihi: 20.11.2024 - Kabul Tarihi: 17.01.2025

Özet

Prefabrikasyon ve Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) entegrasyonu, inşaat sektöründe giderek artan bir şekilde uygulanmakta ve sektörün dijitalleşmesine önemli katkılar sağlamaktadır. Bu çalışmada, prefabrikasyon ve BIM entegrasyonuna yönelik literatürdeki durum bibliyometrik analiz yöntemiyle incelenmiştir. Web of Science veri tabanından elde edilen 426 yayın, VOSviewer yazılımı aracılığıyla analiz edilmiş ve haritalandırılmıştır. Prefabrikasyonun hız, maliyet tasarrufu, kalite kontrolü ve sürdürülebilirlik gibi avantajları ele alınırken BIM'in dijitalleşme ve disiplinler arası koordinasyon sağlama potansiyeli vurgulanmıştır. Analiz sonuçları; Çin, Avustralya ve İngiltere'nin bu alandaki bilimsel liderliğini ve Hong Kong Politeknik Üniversitesinin katkılarını ortaya koymuştur. Ayrıca, Automation in Construction dergisi en etkili yayın platformu olarak belirlenmiştir. En fazla iş birliği içinde olan yazar olarak 'Li, Clyde Zhengdao' öne çıkarken; en çok atıf alan yayın Hosseini vd., (2018), en yüksek bağlantı gücüne sahip yayın ise Yin vd., (2019) tarafından gerçekleştirilen makale olarak belirlenmiştir. Bu çalışma, BIM destekli prefabrikasyonun sektördeki yenilikçi uygulamaların yaygınlaşmasını destekleme ve gelecekteki araştırmalara yön verebilme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapı bilgi modellemesi, Prefabrikasyon, Prefabrike yapı, Saha dışı inşaat, Bibliyometrik analiz.

Abstract

The integration of prefabrication and Building Information Modelling (BIM) is becoming increasingly prevalent in the construction industry, significantly contributing to its digital transformation. This study investigates the current state of the literature on prefabrication-BIM integration through a bibliometric analysis. A total of 426 publications retrieved from the Web of Science database were analyzed and mapped using the VOSviewer software. The analysis highlights the advantages of prefabrication—such as speed, cost savings, quality control, and sustainability—while also emphasizing BIM's potential for digitalization and interdisciplinary coordination. The results reveal the scientific leadership of China, Australia, and the United Kingdom in this field, as well as notable contributions from the Hong Kong Polytechnic University. Automation in Construction has been identified as the most influential journal. 'Li, Clyde Zhengdao' emerged as the most collaborative author, while the most cited article was by Hosseini et al. (2018), and the publication with the highest total link strength was authored by Yin et al. (2019). The findings demonstrate that BIM-enabled prefabrication holds substantial potential to foster the dissemination of innovative practices in the construction sector and to guide future research.

Keywords: Building information modelling, Prefabrication, Prefabricated construction, Off-site construction, Bibliometric analysis.

Atıf: Bayrak, Ö. ve Benli Yıldız, N. (2025). Prefabrikasyon - BIM entegrasyonunun bibliyometrik analizi ve haritalandırılması. *Modular Journal*, 8(1), 22–43.

¹ Düzce Üniversitesi, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Düzce, Türkiye. mimarozlembayrak@gmail.com

² Düzce Üniversitesi, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Düzce, Türkiye. nuraybenli@duzce.edu.tr

* Sorumlu Yazar

Extended Abstract

Introduction: The integration of Prefabrication and Building Information Modelling (BIM) has emerged as a transformative approach in the construction industry, addressing long-standing challenges such as inefficiencies, high costs, and environmental impacts. Prefabrication provides benefits in terms of speed, cost-effectiveness, and quality control, while BIM enables digital coordination, data management, and lifecycle planning. With accelerating global urbanization and increasing emphasis on sustainability, the need to combine prefabrication techniques with digital technologies like BIM has become more critical than ever. Although the number of related studies is growing, a structured understanding of the research landscape—particularly in terms of key contributors, emerging trends, and collaborative networks—remains limited. This study aims to bridge that gap by presenting a bibliometric analysis and mapping of the literature on Prefabrication–BIM integration, offering data-driven insights into its academic development and future research directions.

Purpose: The primary aim of this study is to conduct a systematic bibliometric evaluation of scientific publications focusing on the integration of Prefabrication and BIM. By analyzing a comprehensive dataset extracted from the Web of Science (WoS), the study identifies publication trends, prolific authors, influential institutions, and key thematic areas. Specifically, the study addresses the following research questions: (1) How has the volume of publications on Prefabrication–BIM integration evolved over time? (2) Which countries, institutions, journals, authors, and publications are most influential in this field? (3) What are the most frequently used keywords and central research themes?

Method: A quantitative bibliometric analysis was adopted. A total of 426 publications were retrieved from the Web of Science database on 15 November 2024, using the search terms: ('prefabricated construction' OR prefabrication OR 'offsite construction' OR 'modular construction') AND ('building information modelling' OR BIM). The dataset includes articles, conference proceedings, reviews, early access papers, and book chapters published between 2008 and 2024. VOSviewer software was used to visualize bibliometric networks and to perform co-authorship, co-citation, and keyword co-occurrence analyses. Minimum thresholds were applied to enhance clarity in visualizations: 10 documents for country and institution analyses, 7 for journals, and 50 citations for authors. The analysis focused on citation performance, total link strength, and thematic clustering.

Findings: The publication trend shows a sharp increase after 2018, peaking in 2022 with 79 publications. This surge reflects the construction industry's growing focus on digitalization and sustainable practices, particularly during and after the COVID-19 pandemic. In terms of geographical distribution, China leads with 190 publications and 6,232 citations, followed by Australia, the United Kingdom, and the United States. China's dominance is attributed to its rapid urbanization, growing housing demands, and strong governmental policies promoting prefabrication and digital transformation. Institutional analysis identified Hong Kong Polytechnic University, the University of Hong Kong, and Shenzhen University as top contributors—all located in China. These institutions demonstrate high research output, citation impact, and strong international collaboration. Among the journals, *Automation in Construction* is the most influential, with 53 publications and 3,045 citations. It holds a central position in the citation network, shaping key academic discourse on BIM and prefabrication. Other important journals include the *Journal of Cleaner Production*, *Sustainability*, and the *Journal of Building Engineering*. Li, Clyde Zhengdao of Shenzhen University emerged as the most influential author based on both citation metrics and co-authorship networks. Other prominent scholars include Arashpour, Jaillon, and Tam, highlighting a well-connected academic community. At the document level, the most cited article is by Hosseini et al. (2018), with 408 citations, offering a scientometric evaluation of off-site construction research. Yin et al. (2019) recorded the highest total link strength (70), highlighting its central role in the citation network and its forward-looking review of BIM for off-site construction.

- Keyword co-occurrence analysis generated nine thematic clusters with 66 frequently used terms. Core themes include:
- Digitalization and technological integration (e.g., BIM, digital twin, IoT)
- Prefabrication processes and modular systems
- Sustainability and environmental performance
- Construction management and lean construction
- Literature reviews and scientometric approaches

These clusters underscore the field's interdisciplinary nature and its alignment with emerging technologies and global sustainability goals.

Conclusion: This bibliometric analysis confirms that the integration of prefabrication and BIM represents a rapidly expanding and strategically important research domain in construction. The results underscore China's substantial academic contributions and affirm *Automation in Construction* as the leading journal in this field. Influential authors and thematic clusters are centered around digital innovation, sustainable construction, and off-site production techniques. The findings offer a comprehensive knowledge base for researchers, practitioners, and policymakers, highlighting the need for enhanced international collaboration, standardized digital workflows, and the integration of advanced technologies such as IoT, AI, and robotics in prefabrication processes. Given its advantages in speed, cost, flexibility, and sustainability, BIM-enabled prefabrication is poised to become a foundational component of future construction practices. Continued interdisciplinary research and broader technological adoption will further promote efficiency, quality, and environmental responsibility across the built environment.

Keywords: Building information modelling, Prefabrication, Prefabricated construction, Off-site construction, Bibliometric analysis.

GİRİŞ

İnşaat sektörü, sanayileşme ilkelerinin yeterince uygulanamaması ve zayıf bilgi yönetimi nedeniyle düşük üretkenlik, yüksek maliyetler ve çevresel zararlar gibi sorunlarla eleştirilmektedir (Yönden, 2023). II. Dünya Savaşı sonrasında hızla artan kentleşme, inşaat süreçlerini optimize etmek ve çevresel etkileri azaltmak amacıyla prefabrikasyonun gelişimine zemin hazırlamıştır. Latince kökenli ‘prefabrikasyon’ terimi, ‘önceden üretilmiş’ anlamına gelir ve yapı elemanlarının fabrika ortamında üretildikten sonra sahada birleştirilmesini ifade eder. Prefabrikasyon; zaman tasarrufu, maliyet avantajı ve yüksek verimlilik gibi belirgin faydaları nedeniyle gelişmiş ülkelerde yaygın olarak tercih edilmektedir. Şantiye ortamında karşılaşılan öngörülemeyen hatalar, prefabrik üretim sayesinde daha hızlı ve düşük maliyetle çözülebilmektedir. Prefabrike yapılar; fabrikada üretilip sahada monte edilen modüler, panel veya iskelet sistemli yapılardır (Eser, 1960). Bu sistem, konutlardan ticari yapılara kadar pek çok farklı yapı tipinde hızlı, ekonomik ve sürdürülebilir çözümler sunmaktadır. Prefabrike yapılar; önceden üretilmiş beton, çelik veya ahşap panellerin bir araya getirilmesiyle inşa edilir. Seri ve kontrollü üretim süreci, bu yapıların geleneksel inşaat yöntemlerine göre daha hızlı ve ekonomik olmasını sağlar. Özellikle acil ihtiyaçlar veya projelerin kısa sürede tamamlanması gereken durumlarda önemli avantajlar sunar. Düşük maliyet, hızlı kurulum ve etkin kalite kontrolü, prefabrike yapıların inşaat sektöründeki artan tercih edilirliğinin temel nedenleri arasında yer almaktadır (Eser, 1981).

BIM (Yapı Bilgi Modellemesi) ise bir yapının üç boyutlu olarak modellenmesini, disiplin içi ve disiplinler arası çalışma ve koordinasyonun sağlanmasını, inşaat süreçlerinin planlanıp simüle edilmesini, maliyet analizlerinin yapılmasını ve işletme-bakım aşamaları için gerekli bilgilerin yönetilmesini mümkün kılan bir teknolojik sistemdir. Bu sistem sayesinde tüm paydaşlar, ortak bir dijital model üzerinde çalışarak yapının hem sanal ortamda hem de sahada inşasını gerçekleştirebilmekte ve yapı yaşam döngüsünü bütüncül bir yaklaşımla yönetebilmektedir (Eastman, 1999). BIM teknolojisi; Amerika Birleşik Devletleri, Kanada, Fransa ve diğer birçok ülkede yaygın olarak kullanılmakta olup, prefabrike yapı üretim süreçlerinin optimizasyonuna önemli katkılar sunmaktadır. Geleneksel inşaat yöntemlerinde sıkça karşılaşılan hataları azaltan BIM; maliyet kontrolü, zaman yönetimi ve disiplinler arası koordinasyonda sağladığı avantajlarla dikkat çekmektedir. Malzeme seçimi doğruluğu, paydaşlar arası etkin iletişim ve iş gücü verimliliğini artıran bu teknoloji, prefabrikasyonun bazı dezavantajlarını da minimize etme potansiyeline sahiptir. BIM’in önümüzdeki yıllarda inşaat sektöründe çok daha yaygın bir şekilde kullanılacağı ve yapı çevrenin dijital dönüşümünde kilit rol oynayacağı öngörülmektedir (Kumar, 2015).

Araştırmanın Problemi

Prefabrikasyon ve BIM entegrasyonu alanında yapılan çalışmalar, literatürde dijitalleşme, sürdürülebilirlik ve süreç optimizasyonu gibi önemli temalar etrafında yoğunlaşsa da bu alanın genel durumu ve gelişim süreci hakkında kapsamlı ve sistematik bir çerçeve sunma konusunda eksiklikler bulunmaktadır. Ülkeler, kurumlar, yazarlar ve anahtar kelimeler üzerinden yapılan sınırlı analizler; bilgi paylaşımı, disiplinler arası iş birliği ve bölgesel uygulamalar açısından önemli boşluklar olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, prefabrikasyon ve BIM entegrasyonu konusunda hem akademik hem de sektörel bağlamda bilgi birikimini derinleştirmek ve stratejik bir yol haritası oluşturmak için daha kapsamlı analiz ve değerlendirmelere ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

Araştırmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, Prefabrikasyon-BIM entegrasyonu konusundaki bilimsel literatürü bibliyometrik analiz yöntemiyle inceleyerek alanın mevcut durumunu ortaya koymak, eğilimleri ve odak noktalarını belirlemek ve gelecekteki araştırmalara yön verecek öneriler sunmaktır. Bu doğrultuda çalışma, aşağıdaki araştırma sorularına yanıt aramaktadır:

- Prefabrikasyon-BIM entegrasyonu alanında yıllar içerisinde yayın sayılarında nasıl bir değişim yaşanmıştır?
- Bu alanda en çok atıf alan ülkeler, kurumlar, dergiler, yazarlar ve dokümanlar hangileridir?
- Literatürde en sık kullanılan anahtar kelimeler ve öne çıkan tematik alanlar nelerdir?

Araştırmanın Kapsamı

Bu çalışma, prefabrikasyon ve BIM entegrasyonuna ilişkin bilimsel literatürdeki mevcut durumu değerlendirmek ve bu alandaki eğilimleri ortaya koymak amacıyla bibliyometrik analiz yöntemini kullanmaktadır. Analizler, Web of Science veri tabanında 'prefabricated construction', 'offsite construction' ve 'modular construction' gibi anahtar kelimelerle yapılan taramalar sonucunda elde edilen 426 akademik yayını kapsamaktadır. Bu yayınlar üzerinden en etkili makaleler, dergiler, kurumlar, yazarlar, ülkeler ve anahtar kelimeler değerlendirilerek literatürün genel yapısı ortaya konulmuştur.

Bu çalışmanın hedef kitlesi; prefabrikasyon ve BIM entegrasyonu alanında faaliyet gösteren karar vericiler, mimarlar, inşaat mühendisleri, akademisyenler, teknoloji geliştiriciler ve öğrencilerdir. Çalışma, sektörde yenilikçi teknolojilerin benimsenmesini teşvik etmeyi ve geleneksel yöntemlerle çalışan profesyonellere BIM teknolojisi ile süreçlerin nasıl optimize edilebileceği konusunda yol göstermeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, akademik bilgi birikimini zenginleştirerek inşaat sektöründe sürdürülebilir ve verimli uygulamaların geliştirilmesine katkı sunmayı hedeflemektedir.

Prefabrikasyon Teknolojisinde Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) Kullanımı

Prefabrikasyon, inşaat projelerinde üretim süreçlerinin sahadan bağımsız bir ortamda tamamlanarak son montajın sahada yapılmasına dayanan yenilikçi bir yaklaşımdır. Bu süreçte BIM'in sunduğu dijital destek sayesinde, tüm iş akışları entegre bir şekilde yönetilmekte, üretim ve montaj aşamaları optimize edilmektedir. BIM'in prefabrikasyon teknolojisiyle entegrasyonu; maliyet tasarrufu, kalite kontrolü ve zaman yönetimi gibi avantajlar sağlayarak inşaat sektörünün dijital dönüşümünü hızlandırmaktadır.

BIM; prefabrikasyon projelerinde tasarım, analiz, simülasyon ve iş birliği olanakları sunarak süreçlerin dijital ortamda planlanmasına, izlenmesine ve optimize edilmesine imkân tanır. Bu sayede bileşenler üretim öncesinde dijital ortamda test edilerek sahada oluşabilecek hatalar en aza indirgenir (Eastman vd., 2008; Matarneh ve Hamed, 2017; Stride vd., 2020). BIM, prefabrikasyon projelerinde tasarım aşamasından başlayarak üretim ve montaj süreçlerine kadar tüm süreci kapsayan bir iş birliği altyapısı sunar. Dijital modeller aracılığıyla tüm proje katılımcılarının aynı platformda çalışması sağlanarak iletişim ve koordinasyon güçlendirilir. Bu entegrasyon, malzeme ve iş gücü yönetimini optimize ederek maliyetlerin düşmesine ve proje süresinin kısalmasına katkı sağlar (Xiao, Shen, Wu ve Yue, 2019).

BIM uygulamaları, prefabrikasyon projelerinde kalite kontrol süreçlerinin dijital ortamda yürütülmesini de mümkün kılar. Tasarım ve analiz süreçlerinin BIM modeli üzerinden gerçekleştirilmesi, süreç planlamasını iyileştirerek üretim verimliliğini artırır. Montaj aşamasında ihtiyaç duyulan lojistik ve ekipman planlaması da BIM ile önceden belirlenerek sahada karşılaşılabilecek olası aksaklıklar önlenir (Eastman vd., 2008; Xiao vd., 2019).

Geleneksel yerinde üretim yöntemleriyle karşılaştırıldığında prefabrikasyon, BIM desteğiyle proje süresini kısaltmakta, ürün kalitesini artırmakta, şantiye güvenliğini iyileştirmekte ve nitelikli iş gücüne olan bağımlılığı, atıkları ve karbon emisyonlarını azaltmaktadır. Ayrıca BIM modelleri üzerinden gerçekleştirilen enerji analizleri sayesinde prefabrike yapılar daha sürdürülebilir hâle getirilebilmektedir. BIM'in sunduğu simülasyon araçları, üretim ve montaj aşamalarındaki verimliliği artırarak toplam proje maliyetlerinin düşürülmesini sağlamaktadır (Jang ve Lee, 2018).

Bununla birlikte, BIM ve prefabrikasyon entegrasyonu bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir. Öncelikle, BIM sistemlerinin kurulumu ve işletilmesi yüksek maliyet gerektirmekte olup, bu sistemlerin etkin kullanımı için deneyimli personele ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, veri güvenliği ve paylaşımı gibi konularda dikkatli olunması gerekmektedir. Prefabrikasyon süreçleriyle ilişkili yüksek üretim, taşıma ve kurulum maliyetleri de proje süresi ve bütçesi üzerinde baskı oluşturabilmektedir. Bu risklerin minimize edilmesi için dikkatli planlama, süreç entegrasyonu ve güçlü bir koordinasyon mekanizması şarttır (Wang ve Wang, 2021; Wen ve Zhang, 2021). Ayrıca, BIM ve prefabrikasyon süreçlerinin etkili biçimde entegre edilebilmesi için belirli standartlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu standartlar, bileşenlerin dijital modelleme süreçleri, veri paylaşımı ve veri güvenliği gibi konularda rehberlik etmektedir. Standartların benimsenmesi, BIM tabanlı prefabrikasyon projelerinde kaliteyi artırmakta ve farklı projeler arasında uyumluluk sağlamaktadır (Wang ve Wang, 2021).

Günümüzde birçok firma hâlen geleneksel inşaat yöntemlerine bağlı kalsa da BIM destekli prefabrikasyonun sunduğu verimlilik, kalite ve sürdürülebilirlik gibi avantajlar, sektörde artan bir ilgi ve benimsemeyi teşvik etmektedir. Bu teknolojinin başarılı şekilde uygulanabilmesi için inşaat firmalarının eğitim ve değişim yönetimine yatırım yapması, BIM yazılımları ile prefabrikasyon iş akışları arasında birlikte çalışabilirliği sağlaması ve tüm süreçleri dikkatli biçimde planlayıp koordine etmesi gerekmektedir (Jang ve Lee, 2018).

BIM entegrasyonu için gerekli yüksek başlangıç yatırımları, inşaat sektöründe adaptasyonu zorlaştıran başlıca engellerden biri olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, sektör genelinde standartların ve birlikte çalışabilirlik protokollerinin yetersizliği, BIM'in prefabrikasyon projelerine entegrasyonunu daha karmaşık hâle getirmektedir. İnşaat sektöründeki yeniliklere karşı var olan direnç, dijital dönüşüm sürecinin yavaş ilerlemesine neden olmaktadır. Ancak, BIM destekli prefabrikasyonun sunduğu verimlilik, kalite artışı ve sürdürülebilirlik gibi önemli potansiyel faydalar, sektördeki paydaşların ilgisini çekmekte ve bu teknolojinin benimsenmesini teşvik etmektedir (Sriyolja vd., 2021).

Bu dönüşüm sürecinde, BIM ve prefabrikasyon entegrasyonunun giderek yaygınlaşması beklenmektedir. Gelecekte, robotik üretim ve 3D baskı gibi yenilikçi teknolojiler prefabrike bileşenlerin daha hızlı ve hassas üretimini mümkün kılarken veri odaklı analiz ve yapay zekâ kullanımı sayesinde süreçlerdeki hatalar en aza indirilecek, kaynak kullanımı optimize edilecektir. Aynı zamanda, BIM verileri üzerinden gerçekleştirilen enerji verimliliği ve maliyet analizleri, projelerin çevresel etkilerini azaltmaya yönelik stratejiler geliştirilmesine katkı sağlayacak ve prefabrikasyon süreçlerinde sürdürülebilirliğe dayalı daha bilinçli bir yaklaşımı teşvik edecektir (Hahlbrock vd., 2022; Zhu vd., 2018). Prefabrikasyon-BIM entegrasyonunun, inşaat sektöründeki zayıf yönleri azaltma potansiyeline sahip olduğu yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur. Entegrasyon sayesinde; daha iyi karar alma, verimli modelleme ve tasarım süreçleri, arıza ve hasar tespiti, çakışma analizi, zaman ve maliyet tasarrufu, daha az atık ve emisyon, daha yüksek kaliteli yapılar ve işçi güvenliğinde önemli gelişmeler sağlandığı gözlemlenmiştir (Begić ve Galić, 2021; Greenough vd., 2019).

Ayrıca, BIM'in tasarım sürecinde daha fazla esneklik sağlayarak prefabrikasyonun geleneksel tasarım kısıtlarını azalttığı da literatürde vurgulanmaktadır. Parametrik tasarım ve 3D modelleme yetenekleri sayesinde, farklı tasarım senaryoları hızlı biçimde analiz edilerek en uygun çözümler belirlenebilmektedir.

(Lee vd., 2022; Wang vd., 2022). BIM ayrıca, lojistik sorunları en aza indirmek için prefabrikasyon elemanlarının taşınması ve montaj sürecini optimize etmektedir. İşbirlikçi tasarım ve şantiye planlaması yoluyla, nakliye rotaları ve montaj işlemleri daha verimli bir şekilde yönetilmektedir. Buna ek olarak, BIM'in simülasyon ve çakışma tespit yetenekleri, montaj ve taşıma süreçlerinde önceden belirlenmiş risklerin tespit edilmesine ve önlem alınmasına olanak tanımaktadır (Wei, 2021). BIM, proje planlama ve yönetiminde daha etkin bir şekilde kullanılarak prefabrikasyonun yüksek yatırım maliyetlerini azaltımında etkili olmaktadır. Maliyet analizi ve simülasyon özellikleri, farklı malzeme seçeneklerinin ve tasarım değişikliklerinin maliyete etkilerini değerlendirebilir. Ayrıca, BIM'in proje süreçlerini optimize etmesi ve verimliliği artırması, projenin toplam maliyetini düşürmektedir. BIM'in ortaya çıkışı, prefabrikasyonun geliştirilmesi için gerekli olan süreçleri ve görevleri basitleştirerek prefabrike yapının verimliliğinden daha fazla yararlanmak için yeni fırsatlar sunmaktadır (Tan vd., 2019; Wettling vd., 2023).

YÖNTEM

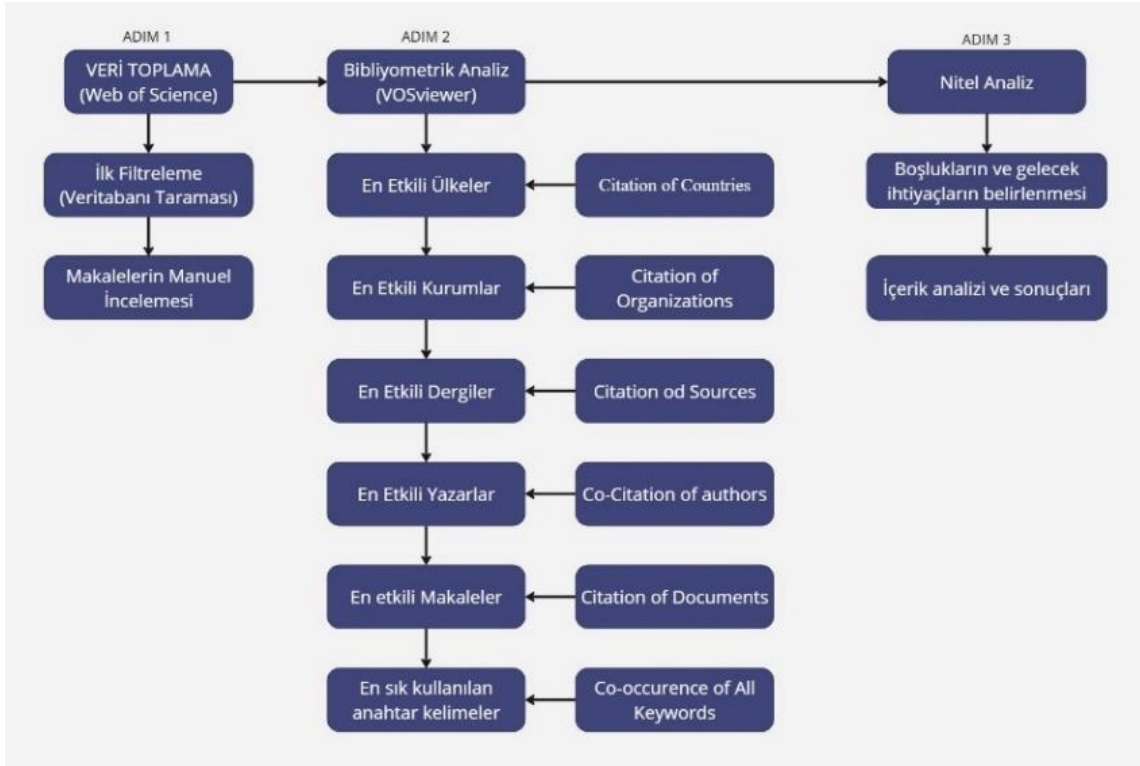
Bilimsel yayınların sayısının hızla artması, araştırmacıların alandaki etkili ve özgün konuları belirlemesini zorlaştırmaktadır. Bu bilgi yoğunluğu içerisinde, bibliyometrik analiz yöntemi, güncel eğilimleri takip etmek ve literatürdeki boşlukları belirlemek için etkili bir araç sunmaktadır (Dereli, 2024). Bibliyometrik analiz, belirli bir araştırma alanındaki akademik literatürün genel durumunu, gelişimini ve yapısal ilişkilerini incelemeye olanak tanıyan nicel bir yaklaşımdır. Özellikle geleneksel literatür taramalarının yetersiz kaldığı durumlarda tercih edilen bu yöntem, büyük veri kümeleri üzerinde sistematik analiz yapma kapasitesiyle öne çıkmaktadır. Geleneksel yöntemler, büyük ölçekli veri setlerini işleme ve bütüncül bir bakış açısıyla sunma konusunda sınırlıyken; bibliyometrik analiz, yüzlerce hatta binlerce yayını kapsayarak literatürün yapısal dinamiklerini ortaya koyabilmektedir (Öztürk vd., 2024).

Bibliyometrik analiz, istatistiksel veriler aracılığıyla bir araştırma alanını geniş bir perspektiften inceleyen bir yöntem olup diğer analiz tekniklerinin sunmakta zorlandığı derinlik ve kapsamı sağlamasıyla öne çıkmaktadır. İstatistik temelli olması, öznel değerlendirmelerden kaynaklanabilecek hata riskini en aza indirmektedir. Ayrıca, araştırma alanındaki aktörler (yazarlar, makaleler, dergiler vb.) arasındaki ilişkilerin görselleştirilmesine olanak tanıyarak bu ilişkilerin daha geniş bağlamlarda değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır. Atıf sayıları, yayın miktarı ve bağlantı gücü gibi metrikler aracılığıyla akademik çıktıların etkisi sistematik biçimde analiz edilebilmektedir (Ninkov vd., 2022).

Bu çalışma kapsamında bibliyometrik analiz verilerinin elde edilmesinden önce, Düzce Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulunun 25.04.2025 tarihli ve 2024/140 sayılı kararı ile etik izin alınmıştır. Bibliyometrik analizlerde Web of Science, Scopus, PubMed ve Google Scholar gibi çeşitli veri tabanları kullanılabilir. Bu çalışmada ise Web of Science (WoS) veri tabanı tercih edilmiştir. Bu tercihin nedeni; WoS'un çok disiplinli yapısı, yüksek kaliteli akademik yayınları içermesi ve kapsamlı atıf dizinleme özelliklerine sahip güvenilir bir veri tabanı olmasıdır.

Anahtar kelimeler, çalışma konusuna yönelik literatür taramaları ve uzman görüşleri doğrultusunda belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan anahtar kelimeler: ('prefabricated construction' OR prefabrication OR 'offsite construction' OR 'modular construction') AND ('building information modeling' OR BIM) olarak belirlenmiştir. Bu anahtar kelimeler kapsamında 15.11.2024 tarihinde 'Web of Science' veritabanı üzerinden 'All Fields' kriteri ile arama yapılmıştır. Toplam 426 yayın elde edilmiştir ve bu yayınların tamamı bibliyometrik analize dâhil edilmiştir. Elde edilen veriler 'tab-delimited file' formatında indirilmiştir ve herhangi bir ek düzenleme veya filtreleme işlemi yapılmamıştır; Web of Science'dan elde edilen veriler analiz için doğrudan uygun bulunmuştur.

Performans analizi kapsamında; yıllara göre yayın sayıları, en çok atıf alan makaleler, en etkili yazarlar, dergiler, ülkeler ve kurumlar analiz edilmiştir. Bu analizlerde, VOSviewer yazılımı kullanılarak bibliyometrik haritalama gerçekleştirilmiştir. VOSviewer'ın tercih edilme nedeni; görselleştirme yeteneklerinin güçlü olması, kullanım kolaylığı sunması ve çok boyutlu analizlere olanak tanınmasıdır. Yazılım, ağ haritaları ve kümeleme analizleri yoluyla literatürdeki kavramsal ilişkilerin ve yapısal örüntülerin görselleştirilmesini mümkün kılmaktadır.



Şekil 1. Literatür taramasının 3 aşamalı iş akış şeması

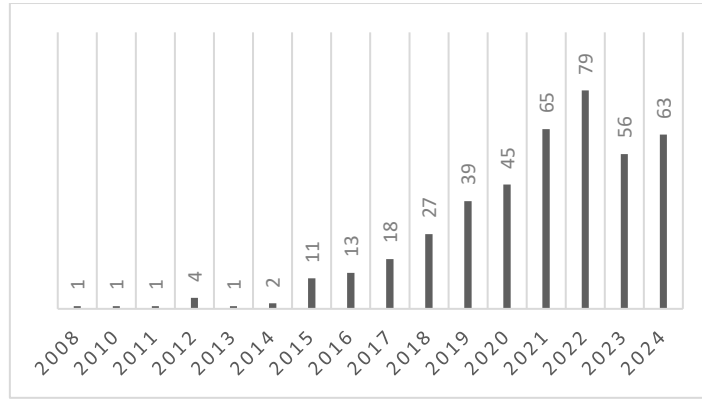
BULGULAR

Toplam 426 yayın analiz edildiğinde, 324 makale (*article*), 58 bildiri (*proceeding paper*), 48 derleme makalesi (*review article*), 11 erken erişim (*early access*) ve 2 kitap bölümüne (*book chapter*) ulaşılmıştır. Makalelerin yayımlandığı WoS kategorileri incelendiğinde; 228 makalenin inşaat mühendisliği (*Engineering Civil*), 199 makalenin İnşaat Yapı Teknolojisi (*Construction Building Technology*), 62 makalenin Yeşil Sürdürülebilir Bilim Teknolojisi (*Green Sustainable Science Technology*), 57 makalenin Çevre Bilimleri (*Environmental Sciences*) ve 56 makalenin Endüstriyel Mühendislik (*Engineering Industrial*) olmak üzere, büyük bir kısmının bu alanlarda olduğu görülmektedir. Bu bulgu, Prefabrikasyon-BIM entegrasyonunun çok disiplinli bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 1, yayınların 2008-2024 yılları arasındaki dağılımını göstermektedir. Bu grafik incelendiğinde, Prefabrikasyon-BIM entegrasyonuna yönelik ilginin, özellikle 2018 yılından itibaren hızla arttığı açıkça görülmektedir. 2008-2014 yılları arasında çok düşük düzeyde kalan çalışmalar, 2015 itibarıyla yavaş yavaş artmaya başlamış ve 2018'de belirgin bir sıçrama ile 27 makaleye ulaşmıştır. Bu sıçrama, alanın hem akademik hem de sektörel çevrelerde ilgi görmeye başladığını; dijitalleşme, sürdürülebilirlik ve maliyet verimliliği gibi etkenlerin ise bu artışta belirleyici rol oynadığını göstermektedir.

2019-2021 döneminde bu eğilim devam etmiş ve 2021 yılında 65 yayına ulaşılmıştır. Bu dönemdeki artış, COVID-19 sonrası dijitalleşme süreçlerinin hızlanması ve BIM entegrasyonunun sektörel avantajlarının öne çıkmasıyla ilişkilendirilebilir. 2022'de en yüksek değer olan 79 makaleye ulaşılması, bu dönemde Prefabrikasyon-BIM entegrasyonuna olan ilginin zirvede olduğunu göstermektedir. 2024 yılında 63 makale yayımlanmıştır. Bu genel eğilim ile birlikte, Prefabrikasyon-BIM entegrasyonunun inşaat sektöründe dijitalleşme, sürdürülebilirlik ve maliyet verimliliği gibi kritik hedefler doğrultusunda hem akademik hem de sektörel açıdan giderek daha stratejik bir alan hâline geldiği açıkça görülmektedir.

Tablo 1. Yıllara göre makale sayısı

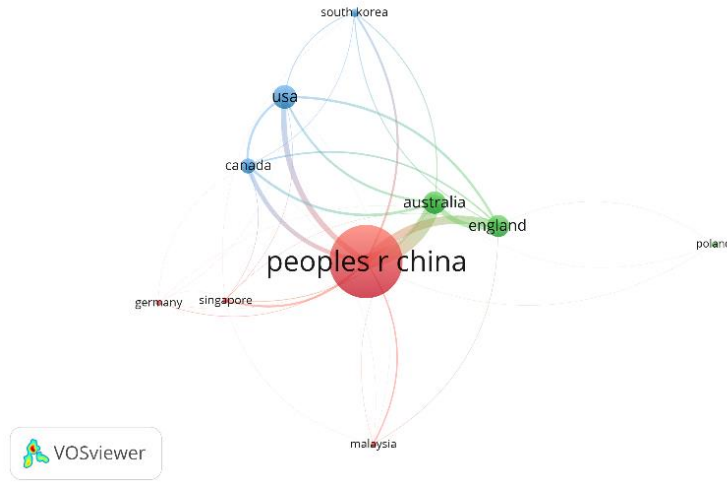


Ülkelerin Atıf Analizi

Prefabrikasyon-BIM entegrasyonu alanında ülkelerin bilimsel üretkenliğini değerlendirmek amacıyla atıf analizi gerçekleştirilmiş ve en etkili ülkeler belirlenmiştir. Bu analiz, ülkelerin akademik başarılarını ve bilimsel katkılarını ortaya çıkarmayı hedeflemektedir. 57 ülke arasından en etkili 10 ülkeyi belirlemek için bir ülkenin minimum 10 makale yayımlaması kriter olarak belirlenmiş ve eşik değeri sağlayamayan ülkeler analize dâhil edilmemiştir.

Şekil 2’de, Prefabrikasyon ve BIM entegrasyonu konusundaki akademik çalışmalarda en etkili ülkeleri gösteren bir ağ haritası sunulmaktadır. Bu harita, ülkeler arasındaki iş birliği ağlarını ve bu ülkelerin bilimsel etkilerini görselleştirmek amacıyla oluşturulmuştur. Haritada her ülke bir düğüm (node) olarak temsil edilmekte olup düğüm büyüklükleri ülkelerin yayın etkisini; düğümler arasındaki çizgiler ise uluslararası iş birliklerini göstermektedir.

Yapılan analizde, 10 ülkeden oluşan 36 bağlantılı 3 küme tespit edilmiştir. Tablo 2’ye göre en fazla atıf alan ülkeler sırasıyla; Çin (6232 atıf), Avustralya (2331 atıf), İngiltere (2171 atıf), Amerika Birleşik Devletleri (2042 atıf), Kanada (1056 atıf) şeklinde sıralanmıştır.



Şekil 2. Ülkelerin atıf analizi

Tablo 2. Ülkelerin atıf analizi

Ülkeler	Doküman	Atıf	Toplam Bağ. Gücü	Ortalama Ort. Atıf
Çin	190	6232	711	32
Avustralya	59	2331	485	39
İngiltere	58	2171	356	37
ABD	62	2042	256	32
Kanada	39	1056	226	27
Güney Kore	21	392	105	18
Singapur	12	591	80	49
Malezya	13	251	45	19
Almanya	13	171	20	13
Polonya	11	39	8	3

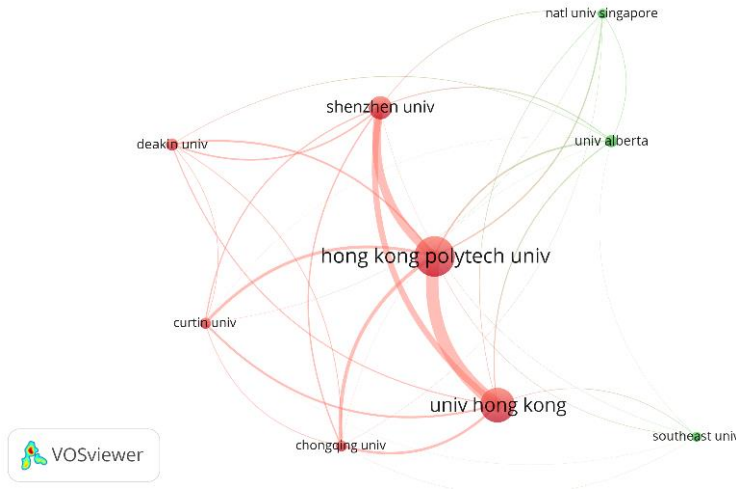
Tablo 2'ye göre Çin'in bu alandaki en etkili ülke olduğu ve Avustralya, İngiltere, ABD gibi ülkelerin de yüksek atıf ve iş birliği düzeyleri ile öne çıktığı söylenebilir. Çin'in özellikle ABD, İngiltere ve Avustralya ile kurduğu güçlü iş birlikleri, Prefabrikasyon-BIM entegrasyonu konusundaki bilgi paylaşımını ve uluslararası etkileşimi artırarak küresel bir bilgi ağı oluşturmıştır.

Çin'in prefabrikasyon alanında en etkili ülke olmasının temel nedeni; hızlı şehirleşme, artan nüfus ve konut ihtiyacının büyük ölçekli inşaat projelerine olan ihtiyacın artmasına neden olmasıdır. Prefabrikasyon, geleneksel yöntemlere kıyasla daha hızlı bir inşaat süreci sunarak, şehirleşme hedeflerine ulaşmada önemli bir rol oynamaktadır (Junjun vd., 2021).

Çin hükûmeti, prefabrikasyonun yaygınlaşması adına çeşitli teşvikler ve düzenlemeler getirmiştir. Örneğin, 13. Beş Yıllık Kalkınma Planı'nda yeni inşaat projelerinin %30'unun prefabrike yöntemlerle tamamlanması hedeflenmiştir (Mordor Intelligence, 2024). Bu tür politikalar, prefabrikasyonun benimsenmesi için güçlü bir yasal ve ekonomik zemin hazırlamıştır. Aynı zamanda, enerji tasarrufu ve atık azaltımı gibi çevresel avantajları nedeniyle prefabrikasyonu sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda stratejik bir çözüm olarak benimsemiştir (Shang vd., 2022).

Kurumların Atıf Analizi

Atıf analizi, Prefabrikasyon-BIM entegrasyonunda kurumların bilimsel etkinlikleri ve başarılarını değerlendirmek, kurumlar arası iş birliği ağlarını anlamak ve araştırma alanlarındaki trendleri belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bu analizde bir kurumun minimum 10 makale yayımlaması şartı belirlenerek, 481 kurum arasından şartı sağlayan kurumlar analiz edilmiştir. Yapılan analizde 9 kurumdan oluşan 33 bağlantılı, 608 bağlantı gücüne sahip 2 küme tespit edilmiştir. Şekil 3'te en etkili kurumların ağ haritası gösterilmektedir. Tablo 3'e göre en fazla atıf alan kurumların başında 2346 atıf ile Hong Kong Politeknik Üniversitesi, 2319 atıf ile Hong Kong Üniversitesi ve 1115 atıf ile Shenzhen Üniversitesi gelmektedir. Bağlantı gücü ve yayımlanan makale sayısına göre incelendiğinde de bu üç kurumun öne çıktığı görülmektedir.



Şekil 3. En etkili kurumların ağ haritası

Tablo 3. En etkili kurumların analizi

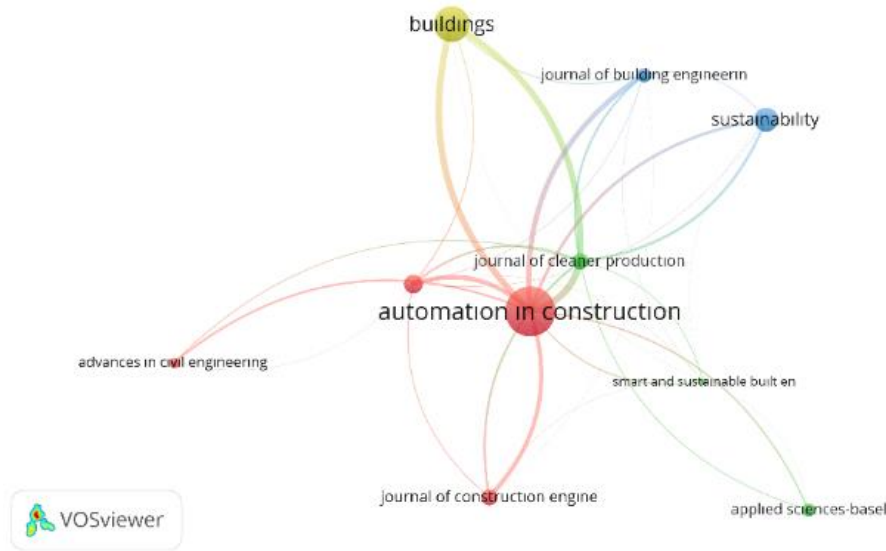
Kurum	Bulunduğu Ülke	Doküman	Atıf	T. Bağ. Gücü	Ortalama Atıf
The Hong Kong Politeknik Üniversitesi	Çin	40	2346	348	58
Hong Kong Üniversitesi	Çin	34	2319	281	68
Shenzhen Üniversitesi	Çin	23	1115	219	48
Chongqing Üniversitesi	Çin	11	390	102	35
Curtin Üniversitesi	Avustralya	11	594	84	54
Deakin Üniversitesi	Avustralya	12	759	69	63
Alberta Üniversitesi	Kanada	12	513	55	42
Singapur Ulusal Üniversitesi	Singapur	10	538	39	53
Güneydoğu Üniversitesi	Güney Asya	10	126	19	12

Bu analiz, Prefabrikasyon-BIM entegrasyonu konusunda en etkili kurumların çoğunlukla Asya bölgesinde yoğunlaştığını göstermektedir. Çin merkezli kurumlar, özellikle Hong Kong Politeknik Üniversitesi ve Hong

Kong Üniversitesi, bu alanda yüksek akademik etkiye sahip olup; diğer ülkelerle kurdukları bağlantılarla küresel bilgi ağına katkıda bulunmaktadır. Bu eğilim, Asya'daki akademik kurumların Prefabrikasyon-BIM entegrasyonu konusunda lider rol oynadığını ve uluslararası iş birlikleriyle bu etkiyi daha da artırdıklarını göstermektedir. Özellikle Çin'deki üniversitelerin, devlet destekli araştırma fonları ve hızlı kentleşme süreçleri sayesinde bu alanda yoğunlaştığı ve küresel bilgi ağına önemli katkılarda bulunduğu söylenebilir. Ayrıca, diğer Asya ülkelerindeki kurumların da benzer şekilde prefabrikasyon ve BIM entegrasyonu konularında artan bir ilgi ve araştırma faaliyetleri içinde olduğu gözlemlenmektedir. Bu bölgesel yoğunlaşma, Asya'nın inşaat sektöründe dijitalleşme ve endüstriyel modernizasyon konularında öncü bir rol üstlendiğini ve gelecekte de bu alandaki akademik ve pratik gelişmelerin merkezinde yer alacağını işaret etmektedir.

Dergilerin Atıf Analizi

Prefabrikasyon-BIM alanında en etkili dergileri belirleyerek gelecekte yazılacak makalelerin dergi seçimini kolaylaştırmak ve mevcut literatürde öne çıkan dergileri belirlemek amacıyla dergi atıf analizi yapılmıştır. Bir derginin minimum 7 makale yayımlama şartı seçilerek, 154 dergi arasından sınırı karşılayan en etkili dergiler analiz edilmiştir. Yapılan analizde, 10 dergiden oluşan 31 bağlantılı, 406 bağlantı gücüne sahip 4 küme tespit edilmiştir. Şekil 4'te en iyi dergilerin atıf değerine göre ağ haritalandırılması gösterilmektedir.



Şekil 4. En etkili dergilerin ağ haritası

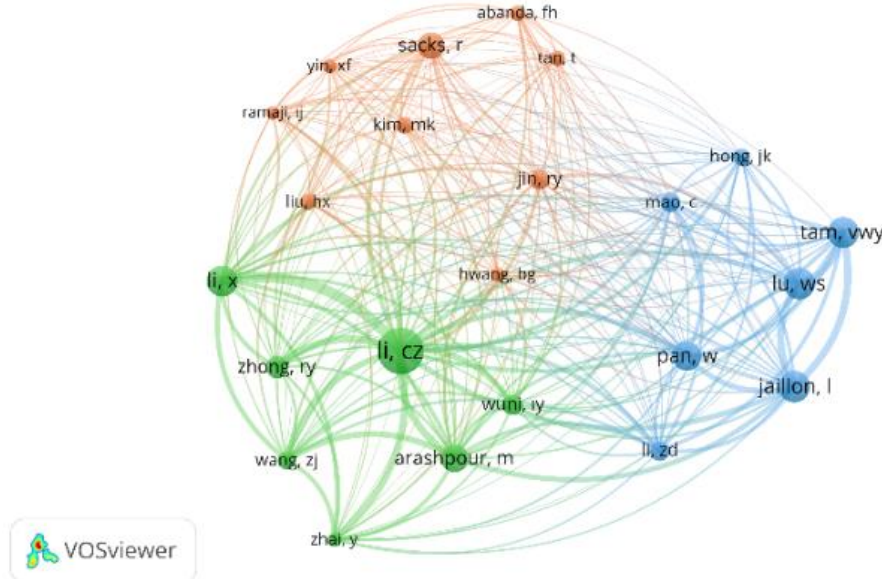
Merkezi konumda bulunan 'Automation in Construction' dergisi hem büyüklüğü hem de diğer dergilerle kurduğu bağlantıların yoğunluğu ile bu alandaki en etkili bilgi kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Bu derginin merkezi rolü, Prefabrikasyon ve BIM entegrasyonu konularındaki araştırmalara yön veren bir kaynak olduğunu göstermektedir. Çevre dostu inşaat ve sürdürülebilirlik temalarını öne çıkaran 'Journal of Cleaner Production' ve 'Sustainability' gibi dergiler, bu alanda yükselen bir trend olan sürdürülebilirliğe odaklanmaktadır. Dergiler arasındaki güçlü bağlantılar, disiplinler arası bilgi paylaşımını desteklerken yapı mühendisliği ve mimari yönetim gibi çeşitli temaların alanı zenginleştirdiğini göstermektedir. 'Advances in Civil Engineering' ve 'Smart and Sustainable Built Environment' gibi dergiler ise spesifik katkılar sunarak bilgi ağını genişletmektedir.

Tablo 4. En Etkili Dergilerin Analizi

Dergi Adı	Doküman Sayısı	Atıf
Automation in Construction	53	3045
Journal of Cleaner Production	17	1670
Buildings	37	627
Engineering Construction and Architectural Management	20	350
Journal of Building Engineering	15	519
Journal of Construction Engineering and Management	17	361
Sustainability	25	417
Advances in Civil Engineering	11	199
Smart and Sustainable Built Environment	7	88
Applied Sciences-Basel	14	379

Ortak Yazarlık Analizi

Prefabrikasyon-BIM entegrasyonu alanında yazarlar arası ilişkileri ve iş birliği ağlarını analiz etmek amacıyla ortak yazarlık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analiz, araştırmacıların birlikte çalışma düzeylerini ortaya koymak ve alandaki etkileşim yapılarını görselleştirmek için önemli bir yöntemdir. Toplam 10.595 yazar arasından, en az 50 atıf almış olanlar dikkate alınarak iş birliği yoğunluğu en yüksek yazarlar analiz kapsamına alınmıştır. Yapılan analiz sonucunda 23 yazardan oluşan, 253 bağlantı ve 8.539 toplam bağlantı gücüne sahip 3 kümelenme (cluster) tespit edilmiştir. Şekil 5'te, en sık iş birliği içinde olan yazarların ağ haritası yer almaktadır.



Şekil 5. Ortak yazarlık analizi ağ haritası

Haritada renklerle gösterilen kümeler, tematik veya coğrafi odaklı gruplaşmaları temsil etmektedir. Yeşil küme, Li, Clyde Zhengdao liderliğinde prefabrikasyon ve BIM entegrasyonu üzerine yoğunlaşırken; mavi küme, Tam, Vivian W.Y. ve iş birliği içinde olduğu araştırmacıların yürüttüğü sürdürülebilir inşaat uygulamalarını konu edinmektedir. Turuncu küme ise Sacks, Rafael ve Jin, R.Y. etrafında şekillenen, daha çok BIM entegrasyonunun teknik ve metodolojik yönlerine odaklanan bir grubu temsil etmektedir. Bu tematik çeşitlilik, çalışmanın çok disiplinli bir yapıya sahip olduğunu ve farklı araştırma konularını kapsadığını ortaya koymaktadır. Tablo 5'te en sık iş birliği içinde bulunan yazarların bağlı olduğu kurumlar ve aldığı atıf miktarları gösterilmektedir.

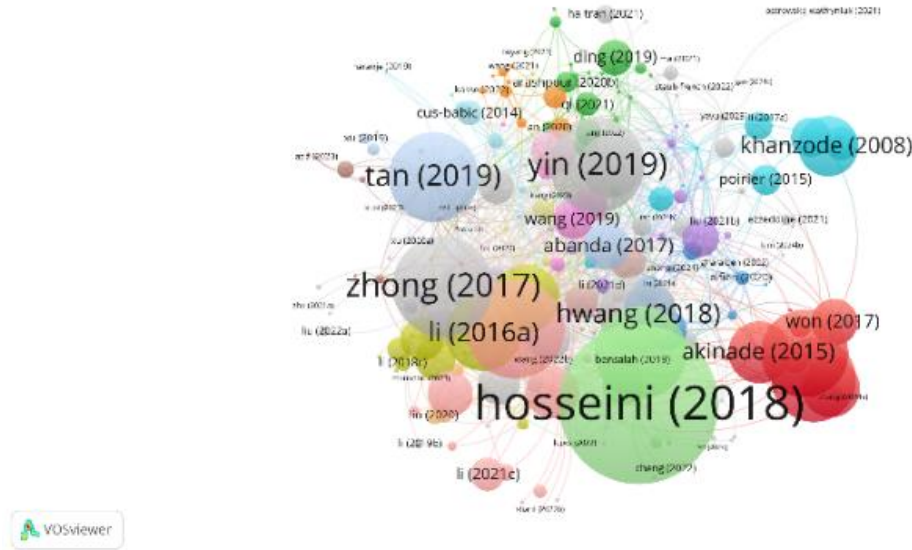
Tablo 5. En etkili yazarlar analizi

Yazar	Kurum	Atıf	Toplam Bağ. Gücü
Li, Clyde Zhengdao	Shenzhen Üniversitesi	172	1715
Arashpour Mehrdad	Monash Üniversitesi	102	1069
Li, Xiao	Hong Kong Üniversitesi	116	1055
Jaillon, Lara Celine	Hong Kong Politeknik Üniversitesi	117	989
Pan Wei	Hong Kong Üniversitesi	107	864
Lu, Wilson	Hong Kong Üniversitesi	118	839
Tam Vivian W.Y.	Batı Sidney Üniversitesi	115	821

Tablo 5'te görüldüğü üzere Li, Clyde Zhengdao (Shenzhen Üniversitesi), 172 atıf ve 1.715 toplam bağlantı gücü ile en etkili yazar olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, söz konusu yazarın hem yüksek akademik etki yarattığını hem de geniş bir iş birliği ağına sahip olduğunu göstermektedir.

Makalelerin Atıf Analizi

Prefabrikasyon-BIM entegrasyonu alanında en etkili bilimsel çalışmaları belirlemek amacıyla toplam 426 yayın analiz edilmiştir. Bu analiz, alandaki bilgi birikiminin hangi çalışmalar etrafında yoğunlaştığını ve literatürde öne çıkan katkıları görselleştirmeyi hedeflemektedir. Şekil 6'da atıf sayısı ve bağlantı gücü yüksek olan makalelerin oluşturduğu ağ haritası sunulmaktadır.



Şekil 6. Makalelerin atıf analizinin ağ haritası

Tablo 6, prefabrikasyon ve BIM entegrasyonu alanında öne çıkan çalışmaların atıf sayıları ve literatür içi bağlantı güçlerini kapsamlı biçimde ortaya koymaktadır. Çalışmalara yapılan atıflar ile diğer çalışmalarla olan bağlantılar, bu yayınların literatürdeki merkezi konumunu ve bilimsel etki düzeyini yansıtmaktadır.

Tablo 6. En etkili makaleler

Yazarlar	Makale Başlığı	Atıf	Bağlantı
(Yin vd., 2019)	Building information modelling for off-site construction: Review and future directions	244	70
(Li vd., 2018)	An Internet of Things-enabled BIM platform for on-site assembly services in prefabricated construction	253	62
(Zhong vd., 2017)	Prefabricated construction enabled by the Internet-of-Things	258	62
(Li vd., 2019)	Integrating Building Information Modeling and Prefabrication Housing Production	138	57
(Abanda vd., 2017)	BIM in off-site manufacturing for buildings	121	49
(Jin vd., 2018)	A holistic review of off-site construction literature published between 2008 and 2018	236	42
(Tan vd., 2019)	Barriers to Building Information Modeling (BIM) implementation in China's prefabricated construction: An interpretive structural modeling (ISM) approach	230	38
(Li vd., 2017)	Integrating RFID and BIM technologies for mitigating risks and improving schedule performance of prefabricated house construction	173	37
(Hosseini vd., 2018)	Critical evaluation of off-site construction research: A Scientometric analysis	408	35
(Li vd., 2016)	Schedule risks in prefabrication housing production in Hong Kong: a social network analysis	195	32
(Hwang vd., 2018)	Key constraints and mitigation strategies for prefabricated prefinished volumetric construction	195	32
(Li vd., 2016)	SWOT analysis and Internet of Things-enabled platform for prefabrication housing production in Hong Kong	113	28

Bağlantı gücü açısından değerlendirildiğinde; 'Automation in Construction' dergisinde yayımlanan, Yin vd., (2019) tarafından kaleme alınan 'BIM ve saha dışı inşaat: Literatür özeti ve gelecek yönelimler' başlıklı çalışma, 70 bağlantı gücü ile bilgi ağı içerisinde merkezi bir konuma sahiptir. Bu makale, saha dışı inşaat (Off-site Construction - OSC) ve BIM entegrasyonu alanındaki araştırma boşluklarını bibliyometrik ve nicel analiz yöntemleriyle ortaya koymuş; BIM tabanlı üretken tasarım, bulut veri paylaşımı, robotik sistemler, 3D baskı ve büyük veri analitiği gibi alanlarda ilerleme gerekliliğini vurgulamıştır. Literatüre sunduğu kapsamlı inceleme ve gelecek perspektifiyle, araştırmacılar ve uygulayıcılar için önemli bir referans kaynağı hâline gelmiştir.

Atıf sayısı açısından en etkili çalışma, yine 'Automation in Construction' dergisinde yayımlanan Hosseini vd., (2018) tarafından yazılan 'Saha Dışı İnşaat Araştırmalarının Eleştirel Değerlendirmesi: Bibliyometrik Bir Analiz' başlıklı makaledir. 408 atıf ile bu makale, literatürde en yüksek etki düzeyine sahip çalışmadır. Araştırma, saha dışı inşaat literatürünü sistematik olarak değerlendirmiş ve alanın kuramsal temellerine katkı sağlamıştır.

Benzer şekilde, Zhong vd., (2017) tarafından yayımlanan 'Nesnelerin İnterneti ile Etkinleştirilen Prefabrike İnşaat' başlıklı çalışma, 258 atıf ve 62 bağlantı gücü ile ikinci sırada yer almaktadır. Bu çalışma, Hong Kong'da gerçekleştirilen bir vaka çalışması üzerinden IoT-BIM entegrasyonunun prefabrike inşaat projelerinde verimlilik, iş birliği ve şeffaflığı nasıl artırabileceğini ortaya koymuştur.

Li vd., (2018) tarafından yayımlanan 'IoT Destekli BIM Platformu ile Prefabrike İnşaat Montaj Hizmetleri' başlıklı çalışma, 253 atıf ve 62 bağlantı gücü ile yüksek etki düzeyine sahiptir. Araştırma, BIM

uygulamalarındaki veri paylaşımı eksiklikleri ile sahadaki montaj süreçlerinde yaşanan gerçek zamanlı izlenebilirlik problemlerine odaklanmakta; çözüm olarak RFID teknolojisi ve akıllı nesneler aracılığıyla geliştirilen IoT destekli bir platform önermektedir. Bu platform sayesinde bulut tabanlı veri analizi yapılarak, saha yöneticilerine karar desteği sağlanmakta ve sanal gerçeklik entegrasyonu ile inşaat süreçleri daha izlenebilir hâle gelmektedir.

Abanda vd., (2017)'nin çalışması, 121 atıf ve 49 bağlantı gücü ile dikkat çekmekte olup, BIM'in saha dışı üretim (Off-site Manufacturing–OSM) süreçlerine entegrasyonunu ele almaktadır. Çalışma üç temel amaca odaklanmaktadır: (1) OSM süreçlerinde BIM'in tanımlanması, (2) BIM'in üretim sürecindeki engelleri nasıl aşabildiğinin gösterilmesi ve (3) OSM ile geleneksel inşaat süreçlerindeki BIM kullanımının karşılaştırılması. Makale, BIM'in niceliksel ve niteliksel katkılarını ortaya koyarak literatüre eleştirel bir katkı sunmuştur.

Jin vd., (2018), 236 atıf ve 42 bağlantı gücü ile OSC alanındaki 10 yıllık gelişimi kapsamlı bir bibliyometrik analizle incelemiştir. Araştırma, mevcut literatürün büyük ölçüde yapısal davranış, planlama ve performans odaklı olduğunu; buna karşın BIM entegrasyonu, sürdürülebilirlik ve üretim-montaj için tasarım (DfMA) gibi konularda boşluklar olduğunu vurgulamıştır.

Tan vd., (2019)'nin çalışması, 230 atıf ve 38 bağlantı gücü ile öne çıkmakta olup, Çin'de prefabrike inşaatla BIM'in benimsenmesinin önündeki engelleri analiz etmektedir. ISM yöntemiyle yürütülen bu araştırma; standart eksikliği, sınırlı araştırma çıktısı ve yetersiz yerel düzenlemeleri başlıca engeller olarak tanımlamaktadır.

Li vd., (2017), 173 atıf ve 37 bağlantı gücü elde ettikleri çalışmalarında, RFID özellikli BIM platformu geliştirerek prefabrike yapı üretiminde program risklerinin azaltılmasına ve teslim süresinin güvence altına alınmasına odaklanmıştır.

Li vd., (2016), 195 atıf ve 32 bağlantı gücü ile sosyal ağ analizi yöntemiyle Hong Kong'daki prefabrike konut üretiminde program risklerini incelemiş; risk faktörlerinin paydaşlar arasındaki ilişkilerle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

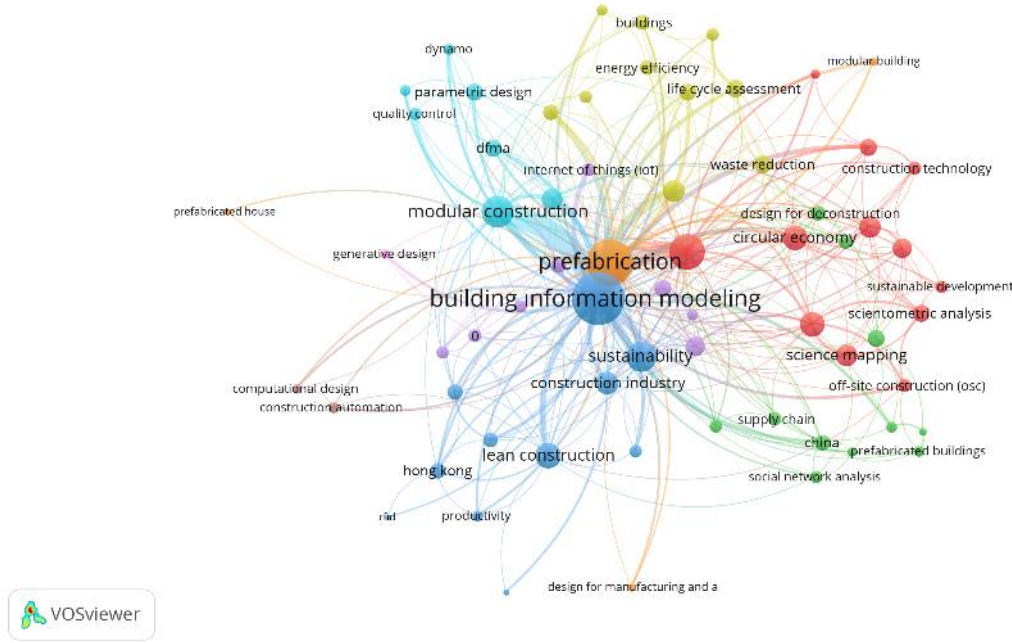
Hwang vd., (2018)'nin çalışması, 195 atıf ve 32 bağlantı gücü ile prefabrike bitmiş hacimsel inşaatın karşılaştığı kısıtlamaları inceleyerek, kapsamlı planlama, paydaş iş birliği ve teknolojik entegrasyon ihtiyacını vurgulamıştır.

Li vd., (2016) tarafından kaleme alınan bir diğer çalışma, 113 atıf ve 28 bağlantı gücü ile SWOT analizi çerçevesinde prefabrike konut üretiminin güçlü ve zayıf yönlerini değerlendirmekte; IoT destekli bir platform ile bu zayıflıkların giderilmesini amaçlamaktadır.

Genel olarak bu çalışmaların büyük çoğunluğunun BIM teknolojisinin prefabrikasyon süreçlerine entegrasyonu, IoT uygulamaları, risk yönetimi, üretim optimizasyonu ve dijital iş birliği konularına odaklandığı görülmektedir. Bu eğilim, alanın dijitalleşme, verimlilik ve sürdürülebilirlik ekseninde evrildiğini göstermekte; gelecekteki araştırmalar için güçlü tematik yönelimler sunmaktadır.

Anahtar Sözcük Analizi

Bu analiz, prefabrikasyon ve BIM entegrasyonu literatüründe en sık kullanılan anahtar kelimelerin birlikte kullanım sıklığını inceleyerek temel kavramları, tematik kümelenmeleri ve aralarındaki ilişkileri ortaya koymayı amaçlamaktadır. Minimum 4 tekrar kriterine göre belirlenen anahtar kelimeler arasından seçilen 66 kelime, 343 bağlantı ve 687 bağlantı gücü ile 9 kümeye ayrılmıştır. Bu kümeler, literatürdeki temel araştırma eğilimlerini ve tematik odakları temsil etmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Anahtar kelimelerin ağ haritası

Şekil 7'ye göre kümeler arasındaki bağlantılar ve içerikler dikkate alındığında, öne çıkan ana temalar aşağıdaki şekilde gruplanmaktadır:

Dijitalleşme ve Teknolojik Entegrasyon: Prefabrikasyon ve BIM entegrasyonunda dijitalleşme, teknolojik dönüşümün temel yapı taşını oluşturmaktadır. Building Information Modeling (BIM), süreçlerin dijital ortamda modellenmesi, optimize edilmesi ve yönetilmesinde kilit bir rol üstlenmektedir. Bu tema altında, Nesnelerin İnterneti (IoT), parametrik tasarım, dijital ikiz, lazer tarama gibi ileri teknolojiler, süreçleri daha hassas, şeffaf ve verimli hale getirmek üzere kullanılmaktadır. Dijitalleşme yalnızca operasyonel süreçleri değil, aynı zamanda veri doğruluğu ve kalite kontrol gibi kritik aşamaları da iyileştirmektedir.

Prefabrikasyon Süreçleri ve Modüler Yapılar: Prefabrikasyon, dijitalleşme ile güçlü bir ilişki içerisinde olup literatürde temel bir araştırma alanı olarak öne çıkmaktadır. Modüler yapı, endüstriyel inşaat, üretim için tasarım (Design for Manufacturing) ve prefabrike konut gibi kavramlar; prefabrikasyonun maliyet-etkinlik, hız ve esneklik avantajlarını vurgulamaktadır. Bu tematik küme, sürecin daha az kaynakla, çevresel etkileri azaltarak ve sürdürülebilir biçimde yürütülmesini sağlayan dijital destekli çözümleri içermektedir.

Sürdürülebilirlik ve Çevresel Etkiler: Prefabrikasyonun en güçlü katkılarından biri, çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki olumlu etkisidir. Karbon emisyonlarının azaltılması, enerji verimliliği ve atık yönetimi gibi konular bu başlık altında ele alınmaktadır. Özellikle Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (Life Cycle Assessment – LCA), yapıların çevresel etkilerinin analizinde kullanılan temel yöntemlerden biridir. Ayrıca döngüsel ekonomi yaklaşımı, kaynakların yeniden kullanımı ve atıkların azaltılması yoluyla sürdürülebilir çözümler üretmeyi hedeflemektedir.

İnşaat Yönetimi: Prefabrikasyon süreçlerinin etkin yönetimi, inşaat yönetimi, proje planlaması, üretkenlik ve yalın inşaat (Lean Construction) gibi kavramlarla doğrudan ilişkilidir. Bu küme, süreçlerin zaman, maliyet ve kaynak yönetimi açısından optimize edilmesine odaklanmaktadır. Aynı zamanda dijital araçların (örneğin; BIM, dijital ikiz) kullanımıyla yönetsel kararların daha veri odaklı alınmasına olanak tanınmaktadır.

Literatür İncelemeleri ve Kavramsal Çalışmalar: Prefabrikasyon ve BIM entegrasyonu alanında yapılan literatür analizleri, mevcut bilgi birikimini sistematik biçimde değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu kümede yer alan anahtar kelimeler; bibliyometrik analiz, bilimsel haritalama, sistem dinamikleri gibi metodolojik araçlarla tematik yapıların ve bilgi akışlarının ortaya konulmasına katkı sunmaktadır.

Bölgesel ve Endüstriyel Uygulamalar: Bu tematik küme, özellikle saha dışı inşaat (Off-site Construction – OSC), prefabrike yapılar, tedarik zinciri yönetimi ve sosyal ağ analizi gibi kavramlarla ilişkilendirilmektedir. Çin ve Hong Kong gibi ülkelerde yapılan uygulamalar, prefabrikasyonun bölgesel düzeyde nasıl işlediğini ve bu bağlamdaki fırsat ve zorlukları ortaya koymaktadır. Bu durum, inşaat sektörünün küresel bağlamda dijitalleşme ve sanayileşme sürecinde nasıl yeniden şekillendiğini göstermektedir.

Tablo 7. En sık kullanılan anahtar kelimelerin analizi

Anahtar Kelime	Tekrar Sayısı	Toplam Bağ. Gücü
Building Information Modeling (BIM)	207	294
Prefabrication	79	139
Off-site Construction (OSC)	39	80
Modular Construction	46	77
Sustainability	17	43
Literature Review	13	32
Prefabricated Construction	29	31
Lean Construction	14	28
Circular Economy	11	26
Digital Twin	11	25
Construction Industry	13	23

Tablo 7, prefabrikasyon ve BIM entegrasyonu literatüründe en sık kullanılan anahtar kavramların başında BIM, prefabrikasyon ve off-site inşaat terimlerinin geldiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, literatürdeki araştırma yoğunluğunun teknolojik entegrasyon, süreç yönetimi ve sürdürülebilirlik eksenlerinde şekillendiğini göstermektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada, prefabrikasyon ve BIM entegrasyonuna yönelik literatür, bibliyometrik analiz yöntemiyle değerlendirilmiştir. Prefabrikasyon; hızlı inşaat, düşük maliyet, yüksek kalite ve hata oranlarının azaltılması gibi avantajlarıyla inşaat sektöründe yaygın olarak tercih edilmektedir. Ancak bu sistem aynı zamanda tasarım esnekliğinin sınırlı olması, lojistik sorunlar, saha koşullarına uyum güçlüğü ve yüksek ilk yatırım maliyetleri gibi çeşitli zorluklar da barındırmaktadır. Bu noktada BIM entegrasyonu, prefabrikasyonun söz konusu dezavantajlarını minimize etme ve süreci daha esnek ve kontrol edilebilir hâle getirme potansiyeliyle öne çıkmaktadır.

Yıllara göre yayın sayısının incelendiği analizler, 2008-2024 yılları arasında Prefabrikasyon-BIM entegrasyonu üzerine yürütülen çalışmaların özellikle 2018 yılından itibaren hızlı bir artış gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu yükselişin; dijitalleşmeye yönelik artan ilgi, sürdürülebilirlik hedeflerinin gündeme gelmesi ve maliyet verimliliği odaklı yaklaşımların yaygınlaşmasıyla doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir. 2021 ve 2022 yılları, bu alandaki yayın sayısının zirveye ulaştığı dönemlerdir ve inşaat sektöründe dijital teknolojilerin yaygın biçimde benimsendiğine işaret etmektedir.

Ülkelere göre yapılan atıf analizine göre Çin hem yayın sayısı hem de atıf etkisi açısından alanın en etkili ülkesi olarak öne çıkmaktadır. Bu durum; Çin'deki hızlı şehirleşme süreci, konut ihtiyacının artışı ve devlet destekli politikaların etkisiyle açıklanabilir. Bununla birlikte, Avustralya ve İngiltere gibi ülkeler de nispeten daha az yayın yapmalarına rağmen yüksek atıf oranları ile literatürde güçlü bir konuma sahiptir. Kurumsal düzeyde değerlendirildiğinde ise özellikle Çin'de bulunan Hong Kong Politeknik Üniversitesi, Hong Kong Üniversitesi, Shenzhen Üniversitesi ve Chongqing Üniversitesi, en yüksek akademik etkiye sahip kurumlar olarak öne çıkmıştır.

Dergi düzeyindeki analizlerde, 'Automation in Construction' dergisi hem yayın sayısı hem de atıf miktarı açısından açık ara önde yer almış; literatürdeki ana bilgi kaynağı konumunu güçlendirmiştir. Ayrıca, 'Buildings' dergisi yayın hacmi bakımından; 'Journal of Cleaner Production' ise sürdürülebilirlik temalı çalışmalara yaptığı katkılarla atıf düzeyinde öne çıkmaktadır. Ortak yazarlık analizine göre Clyde Zhengdao Li, yüksek bağlantı gücü ve atıf sayısı ile öne çıkan yazar olmuştur. Bununla birlikte, yazarlar arasında genel olarak dengeli bir etki dağılımı gözlenmiş; prefabrikasyon ve BIM entegrasyonu alanında yoğun bir iş birliği ortamı olduğu tespit edilmiştir.

Atıf analizinde Hosseini vd., (2018) tarafından yayımlanan çalışma, 408 atıf ile en yüksek etkiye sahip makale olarak belirlenmiştir. Bu çalışma, saha dışı inşaat alanındaki teorik çerçevenin güçlendirilmesine önemli katkılar sunmaktadır. Zhong vd., (2017) tarafından yapılan çalışma ise 258 atıf ile IoT teknolojisinin prefabrikasyon süreçlerine entegrasyonu bağlamında literatürde güçlü bir konum elde etmiştir. Yin vd., (2019) tarafından yayımlanan ve 70 bağlantı gücü ile öne çıkan çalışma ise literatürdeki bilgi ağı içinde merkezi bir konuma sahip olup araştırma boşluklarının belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle 2016-2020 yılları arasında yayımlanan çalışmaların sürdürülebilirlik, tasarım verimliliği ve risk yönetimi gibi konulara odaklandığı tespit edilmiştir.

Genel olarak Prefabrikasyon-BIM entegrasyonu alanında yürütülen araştırmalar; dijitalleşme, sürdürülebilirlik ve süreç verimliliği gibi temalar etrafında şekillenerek inşaat sektöründe önemli bir dönüşümün öncüsü olmuştur. 2018 yılından itibaren artan akademik ilgi, dijital teknolojilerin ve çevre dostu yaklaşımların sektöre entegrasyon sürecinin hız kazandığını göstermektedir. Özellikle Çin ve Hong Kong gibi bölgelerde yürütülen saha dışı inşaat projeleri, küresel düzeyde bu entegrasyonun etkilerini gözler önüne sermektedir. Modüler yapı sistemleri ve üretim için tasarım (DfM) yaklaşımları, süreçlerin esnekliğini artırmakta ve maliyetleri düşürmektedir. Literatür taramaları ve bibliyometrik analizler, bu alanın gelecekte verimli, çevre dostu ve yenilikçi inşaat uygulamalarına yön vereceğini göstermektedir.

BIM'in prefabrikasyon süreçlerine entegrasyonu, başta mimarlar, mühendisler ve müteahhitler olmak üzere tüm paydaşlara çok yönlü avantajlar sunmaktadır. Bu teknoloji; tasarım, üretim ve montaj aşamalarında verimliliği artırmak, koordinasyonu güçlendirmek, israfı azaltmak, hataları önlemek ve tasarım esnekliğini geliştirmek gibi çok boyutlu katkılar sağlamaktadır. Önümüzdeki yıllarda, BIM destekli prefabrikasyon sistemlerinin inşaat sektörünün vazgeçilmez uygulamaları arasında yer alması beklenmektedir. Yaşam döngüsü maliyetlerinin azaltılması, kaynak verimliliği ve kalite güvencesi açısından sunduğu olanaklar sayesinde bu entegrasyon hem akademik hem de sektörel çevrelerde artan bir ilgi görmektedir.

Bu çalışma kapsamında sunulan analiz ve bulgular, geleneksel inşaat yöntemlerine alternatif arayan profesyonellere BIM tabanlı süreç optimizasyonunun potansiyelini göstermektedir. Aynı zamanda, akademik bilgi birikimine katkı sağlayarak gelecekteki araştırmalar için stratejik bir temel oluşturmakta; sektörel dönüşümün yönünü belirlemeye yardımcı olmaktadır.

Yazar Katkı Beyanı

Sıra	Adı Soyadı	ORCID	Yazıya katkısı*
1	Özlem BAYRAK	0009-0004-0163-2883	1, 2, 3, 4, 5
2	Nuray BENLİ YILDIZ	0000-0003-0772-3634	1, 5
*Katkı bölümüne ilgili açıklamanın karşılığına gelen rakam(lar) yazılmıştır.			
1. Çalışmanın tasarlanması 2. Verilerin toplanması 3. Verilerin analizi ve yorumu 4. Yazının yazılması 5. Kritik revizyon			

Etik Kurul İzni

Bu araştırma, Düzce Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulunun 25.04.2024 tarihli ve 2024/140 sayılı izin kararı ile gerçekleştirilmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışma kapsamında herhangi bir kişisel ve/veya finansal çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKÇA

- Abanda, F. H., Tah, J. H. M., & Cheung, F. K. T. (2017). BIM in off-site manufacturing for buildings. *Journal of Building Engineering*, 14, 89–102.
- Amani, A. ve Niyazi, A. Q. (2018). Türkiye’de prefabrike yapı sektörünün hızlı gelişimi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(3), 487–494.
- Ay, I. ve Ayalp, G. (2021). Prefabrike yapıların tasarım, üretim, depolama, nakliye ve yapım süreçlerini etkileyen faktörler. *Teknik Dergi*, 32(3), 10907–10917. <https://doi.org/10.18400/tekderg.647272>
- Begić, H., & Galić, M. (2021). A systematic review of construction 4.0 in the context of the BIM 4.0 premise. *Buildings*, 11(8), 337. <https://doi.org/10.3390/buildings11080337>
- Dereli, A. B. (2024). Vosviewer ile Bibliyometrik Analiz. *Communicata*, (28), 1–7.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. Wiley.
- Eser, L. (1960). *Prefabrikasyon (Ana hatları)*. İTÜ Mimarlık Fakültesi.
- Eser, L. (1981). *Yerinde yapım endüstrileşmiş yapı*. İTÜ Mimarlık Fakültesi.
- Greenough, T., Smith, M., & Mariash, A. (2019). Integrating computational design to improve the design workflow of modular construction. *Modular and Offsite Construction (Moc) Summit Proceedings*, 165–172. <https://doi.org/10.29173/mocs90>

- Hahlbrock, D., Braun, M., Heidel, R., Lemmen, P., Boumann, R., Brückmann, T., Schramm, D., Helm, V., & Willmann, J. (2022). Cable robotic 3D-printing: Additive manufacturing on the construction site. *Construction Robotics*, 6(3–4), 305–318. <https://doi.org/10.1007/s41693-022-00082-3>
- Hosseini, M. R., Martek, I., Zavadskas, E. K., Aibinu, A. A., Arashpour, M., & Chileshe, N. (2018). Critical evaluation of off-site construction research: A scientometric analysis. *Automation in Construction*, 87, 235–247.
- Hwang, B. G., Shan, M., & Looi, K. Y. (2018). Key constraints and mitigation strategies for prefabricated prefinished volumetric construction. *Journal of Cleaner Production*, 183, 183–193.
- Jang, S., & Lee, G. (2018). Process, productivity, and economic analyses of BIM-based multi-trade prefabrication- A case study. *Automation in Construction*, 89, 86–98. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.035>
- Jin, R., Gao, S., Cheshmehzangi, A., & Aboagye-Nimo, E. (2018). A holistic review of off-site construction literature published between 2008 and 2018. *Journal of Cleaner Production*, 202, 1202–1219.
- Junjun, Z., Haining, W., & Hong, Z. (2021). Reflections on the development of prefabricated buildings in China from a historical and global perspective. In *Towards implementation of sustainability concepts in developing countries* (pp. 185–192). Springer.
- Kumar, B. (2015). *A practical guide to adopting BIM in construction projects*. Whittles Publishing.
- Lee, P., Lo, T., Wen, I., & Xie, L. (2022). The establishment of BIM-embedded knowledge-sharing platform and its learning community model: A case of prefabricated building design. *Computer Applications in Engineering Education*, 30(3), 863–875. <https://doi.org/10.1002/cae.22490>
- Li, C. Z., Hong, J., Xue, F., Shen, G. Q., Xu, X., & Luo, L. (2016). SWOT analysis and Internet of Things-enabled platform for prefabrication housing production in Hong Kong. *Habitat International*, 57, 74–87.
- Li, C. Z., Hong, J., Xue, F., Shen, G. Q., Xu, X., & Mok, M. K. (2016). Schedule risks in prefabrication housing production in Hong Kong: A social network analysis. *Journal of Cleaner Production*, 134, 482–494.
- Li, C. Z., Xue, F., Li, X., Hong, J., & Shen, G. Q. (2018). An Internet of Things-enabled BIM platform for on-site assembly services in prefabricated construction. *Automation in Construction*, 89, 146–161.
- Li, C. Z., Zhong, R. Y., Xue, F., Xu, G., Chen, K., Huang, G. G., & Shen, G. Q. (2017). Integrating RFID and BIM technologies for mitigating risks and improving schedule performance of prefabricated house construction. *Journal of Cleaner Production*, 165, 1048–1062.
- Li, X., Shen, G. Q., Wu, P., & Yue, T. (2019). Integrating building information modeling and prefabrication housing production. *Automation in Construction*, 100, 46–60.
- Li, X., Shen, G. Q., Wu, P., & Yue, T. (2019). Integrating building information modeling and prefabrication housing production. *Automation in Construction*, 100, 46–60. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.12.024>
- Matarneh, R., & Hamed, S. A. (2017). Exploring the adoption of Building Information Modeling (BIM) in the Jordanian construction industry. *Journal of Civil & Environmental Engineering*, 6(1), 1–6. <https://doi.org/10.4172/2168-9717.1000189>

- Mordor Intelligence. (2024). *China prefabricated buildings industry market size*.
<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/china-prefabricated-buildings-market>
- Ninkov, A., Frank, J. R., & Maggio, L. A. (2022). Bibliometrics: Methods for studying academic publishing. *Perspectives on Medical Education*, 11(3), 173–176.
- Öztürk, O., Kocaman, R., & Kanbach, D. K. (2024). How to design bibliometric research: An overview and a framework proposal. *Review of Managerial Science*, 1–29. <https://doi.org/10.1007/s11846-023-00642-0>
- Shang, Z., Wang, F., & Yang, X. (2022). The efficiency of the Chinese prefabricated building industry and its influencing factors: An empirical study. *Sustainability*, 14(17), 10695.
- Sriyolja, Z., Harwin, N., & Yahya, K. (2021). Barriers to implement building information modeling (BIM) in construction industry: A critical review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 738(1), 012021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/738/1/012021>
- Stride, M., Hon, C. K. H., Liu, R., & Xia, B. (2020). The use of building information modelling by quantity surveyors in facilities management roles. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(8), 1795–1812. <https://doi.org/10.1108/ECAM-11-2019-0660>
- Tan, T., Chen, K., Xue, F., & Lu, W. (2019). Barriers to building information modeling (BIM) implementation in China's prefabricated construction: An interpretive structural modeling (ISM) approach. *Journal of Cleaner Production*, 219, 949–959. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.141>
- Wang, M., Wang, C. C., Sepasgozar, S., & Zlatanova, S. (2022). Building information modeling implementation in the design stage of Chinese prefabrication construction. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1101(9), 092017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1101/9/092017>
- Wang, Y., & Wang, Y. (2021). Research on the integration of BIM technology in prefabricated buildings. *World Journal of Engineering and Technology*, 9(3), 579–588. <https://doi.org/10.4236/wjet.2021.93040>
- Wei, G. (2021). The application of BIM technology in design stage. *E3S Web of Conferences*, 252, 01047. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125201047>
- Wen, Z., & Zhang, H. (2021). Research on cost management of prefabricated construction based on BIM. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 768(1), 012110. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/768/1/012110>
- Wetling, C., Mourgues, C., & Guindos, P. (2023). IDM for the conceptual evaluation process of industrialized timber projects. *Advances in Civil Engineering*, 2023, 1–17. <https://doi.org/10.1155/2023/9200255>
- Yin, X., Liu, H., Chen, Y., & Al-Hussein, M. (2019). Building information modelling for off-site construction: Review and future directions. *Automation in Construction*, 101, 72–91. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.010>
- Yönden, A. ve Önal, S. (2023). *İnşaat muhasebesinin Türkiye muhasebe standartları açısından değerlendirilmesi*. Özgür Yayınları. <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub209>

- Zhong, R. Y., Peng, Y., Xue, F., Fang, J., Zou, W., Luo, H., Ng, S. T., Lu, W., Shen, G. Q. P., & Huang, G. Q. (2017). Prefabricated construction enabled by the Internet-of-Things. *Automation in Construction*, 76, 59–70. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.01.006>
- Zhu, J., Lin, C., & Zhu, X. X. (2018). Thoughts on informatization of prefabricated building. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 439, p. 032105). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/439/3/032105>

YAZAR BİYOGRAFİSİ

Özlem BAYRAK

Lisans eğitimini Düzce Üniversitesi Mimarlık Bölümünde tamamlamıştır. Halen Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programında öğrenimine devam etmektedir. Araştırma konuları arasında prefabrikasyon teknolojileri, Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) ve dijital tasarım süreçleri yer almaktadır.

Nuray BENLİ YILDIZ

Lisansını Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Bölümünde, yüksek lisansını aynı üniversitenin Yapı Bilgisi programında, doktorasını ise Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kompozit Malzeme Teknolojileri programında tamamladı. Düzce Üniversitesi Sanat, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi'nde doktor öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Araştırma alanları; sürdürülebilir mimarlık, BIM ve yaşam döngüsü değerlendirmesidir.