



YBM ve YDD Entegrasyonuna Yönelik Sistematik Bir Literatür İncelemesi

Mevlüde AYDIN¹, Yasemin ERBİL²

¹ B.U.Ü., Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Bursa, TURKEY, ORCID ID 0000-0002-7546-2504

² B.U.Ü., Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Bursa, TURKEY, ORCID ID 0000-0002-2290-3097

Corresponding Author: Mevlüde AYDIN, 512112004@uludag.edu.tr,

Özet

Binaların iklim değişikliği üzerindeki çevresel etkileri bilinen bir konudur. Bu bağlamda bina teknolojilerini ve çevresel değerlendirme yöntemlerini entegre etme kavramı, Yapı Bilgi Modellemesi (YBM-BIM) ve Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD - LCA), binaların çevresel etkilerini iyileştirmek için yenilikçi bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır. Son yıllarda YBM yazılımını ve yaşam döngüsü değerlendirme (YDD) araçlarını entegre etme konularında yapılan yayınların sayısında bir artış gözlemlenmiştir. Bu bağlamda çalışmada literatür analizi yapılmıştır. Veri analizi üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada Web of Science Core Collection üzerinden uluslararası yayınlara ulaşabilmek adına yapı bilgi modellemesi ve bina yaşam döngüsü değerlendirme kelimeleri İngilizce olarak 'YBM' ve 'LCA' anahtar kelimeleriyle filtrelenmiştir.

Article Info

Review Article

Received: 02/05/2023

Accepted: 30/06/2023

Anahtar Kelimeler

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi, Yapı Bilgi Modellemesi, Metin madenciliği

Öne Çıkanlar

Literatürde YBM ve YDD entegrasyonu

A Systematic Literature Review on BIM and LCA Integration

Abstract

The environmental impact of buildings on climate change is a well-known issue. In this context, the concept of integrating building technologies and environmental assessment methods, Building Information Modeling (BIM) and Life Cycle Assessment (LCA), has emerged as an innovative approach to improve the environmental impact of buildings. In recent years, there has been an increase in the number of publications on integrating BIM software and life cycle

Keywords

Life Cycle Assessment, Building Information Modeling, Text mining

Highlights

BIM and YDD integration in the literature

assessment (HLB) tools. In this context, literature analysis was made in the study. Data analysis consists of three stages. In the first stage, the words building information modeling and building life cycle assessment were filtered in English with the keywords 'YBM' and 'LCA' in order to access international publications through the Web of Science Core Collection.

Giriş

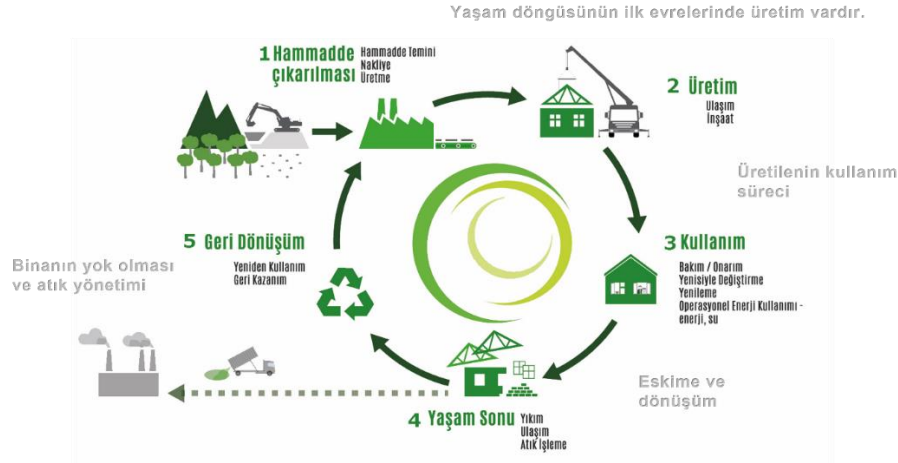
İnşaat sektörü doğal kaynak tüketiminde ve atık oluşumunda önemli bir yere sahiptir. Küresel birincil enerji talebinin %40'ından fazlasını ve sera gazı emisyonlarının yaklaşık %33'lük payını inşaat sektörü oluşturmaktadır [1].

Sürdürülebilirlik gereksinimlerini karşılayabilen bir tasarım oluşturmak genellikle profesyoneller için zordur [2]. Böylece LCA'ya karşı artan bir ilgi söz konusudur [3]. LCA, inşaat sektörü için ve binaların işletim aşamasında kullanılan malzemelerin üretimi ve bertarafına kadar geçen süreçte kaynaklanan etkilere dayalı olarak binaların yaşam döngüsünün bilimsel bir değerlendirmesine olanak tanımaktadır. YBM'i sürdürülebilirlik tabanlı bir araçla entegre etmek, tasarımın ilk aşamalarında yapılacak ayrıntılı çevresel analizleri mümkün kılmaktadır. YBM programları, projenin hem grafiksel hem de grafiksel olmayan yönlerini aynı anda yönetme yeteneğine sahiptir. Bu özellikler, tasarımcıların YDD analizini gerçekleştirmek için gereken bilgi miktarını hızla yönetmesine olanak tanımaktadır.

Binaların iklim değişikliği üzerindeki çevresel etkileri konusunda oluşan endişelerden dolayı son yıllarda binaların çevresel etki değerlendirmesinde YBM kullanımını yaygınlaştırmak için YBM ve YDD kavramları üzerindeki çalışmalar da bir artış gözlemlenmiştir [4]. Bu amaçla çalışma sistematik bir gözden geçirme sürecine dayalı olarak YDD'yi YBM ile entegre etme konusunda mevcut literatürün durumunu açıkça tartışmaktadır. Bu entegrasyon için araştırma boşluklarını ve fırsatları ve bu konuda yapılabilecek araştırma alanlarını ortaya koymaktadır

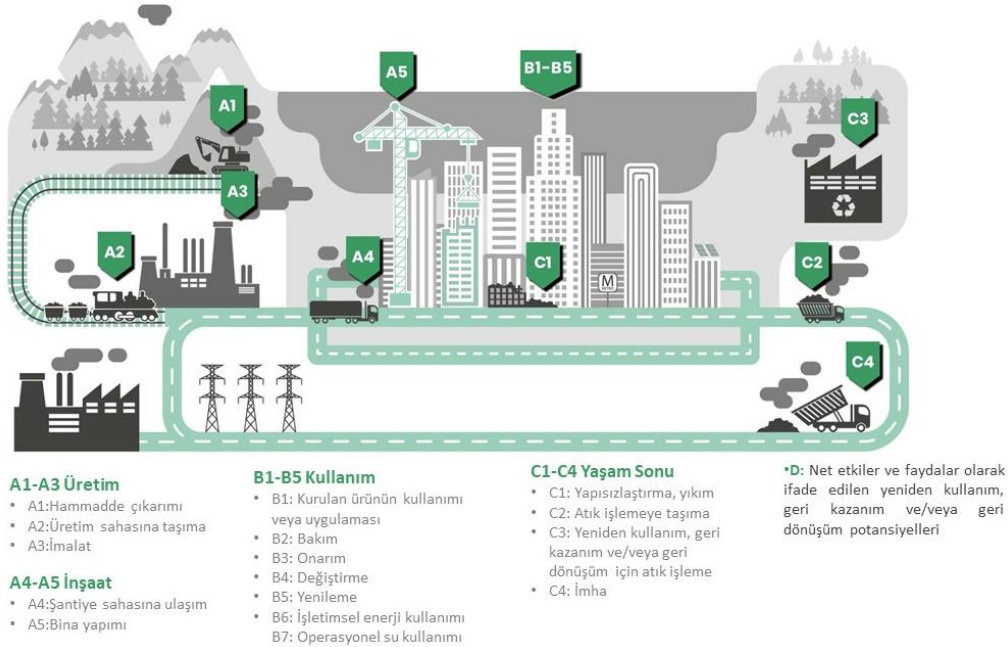
YDD Kavramı

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD), bir ürünün hammadde ediniminden üretime, kullanıma, kullanım ömrü sonunda arıtmaya, geri dönüşüme ve nihai bertarafa kadar bir ürünün yaşam döngüsü boyunca çevresel etkileri ölçmek için kullanılan bir araçtır (Şekil 1) [5]. Bu araç inşaat sektöründe de binaların çevresel etkilerini ölçmek için sıklıkla kullanılmaktadır [6,7]



Şekil 1. Bir ürünün yaşam döngüsü değerlendirme aşamaları [8]

Binaların ürün, inşaat, bakım, onarım ve yenileme ve kullanım ömrü sonu aşamalarında üretilen çevresel etkileri (örneğin, kaynakların kullanımı ve salınımların çevresel sonuçları), somutlaştırılmış çevresel etkiler olarak tanımlanır. İnşaat işlerinin sürdürülebilirliğini sağlamaya yönelik bir standart olan EN 15978 yaşam döngüsü modüllerini tanımlanmaktadır [9]. İnşaat sektörü için bu yaşam döngüsü fazları A1-A3, A4-5, B1-5 ve C1-4 modüllerine karşılık gelmektedir (Şekil 2). Gömülü çevresel etkiler binaların toplam çevresel etkilerinde önemli paylara sahip olmaktadır [7,10].



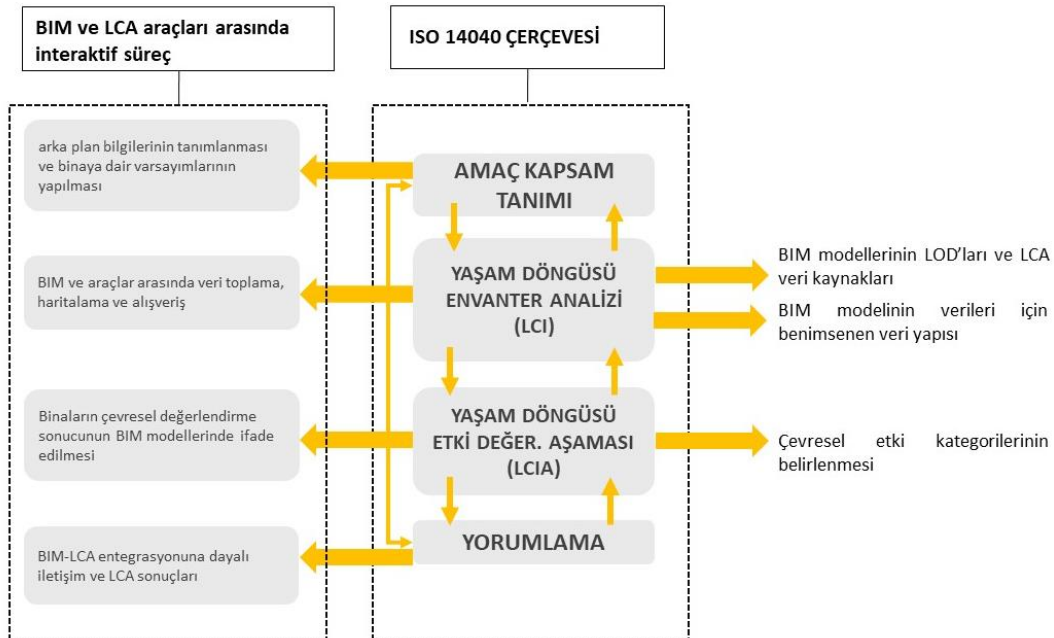
Şekil 2. İnşaat sektöründe YBM – YDD Entegrasyonu [8].

YBM – YDD Entegrasyonu

YBM-YDD entegrasyonu için dünya genelinde birkaç çerçeve bulunmaktadır. İlk olarak Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO) tarafından 1997 yılında yayınlanan ISO 14040 standart serisi genel bir metodolojik çerçeve geliştirmiştir. Bu çerçeve 2006 yılında yenilenecek şekilde tekrar yayınlanmıştır [11, 12]. ISO 14040 çerçevesi YDD'yi uygulayabilmek için standart bir süreç sağlamaktadır. Bu süreç dört aşamadan oluşmaktadır.

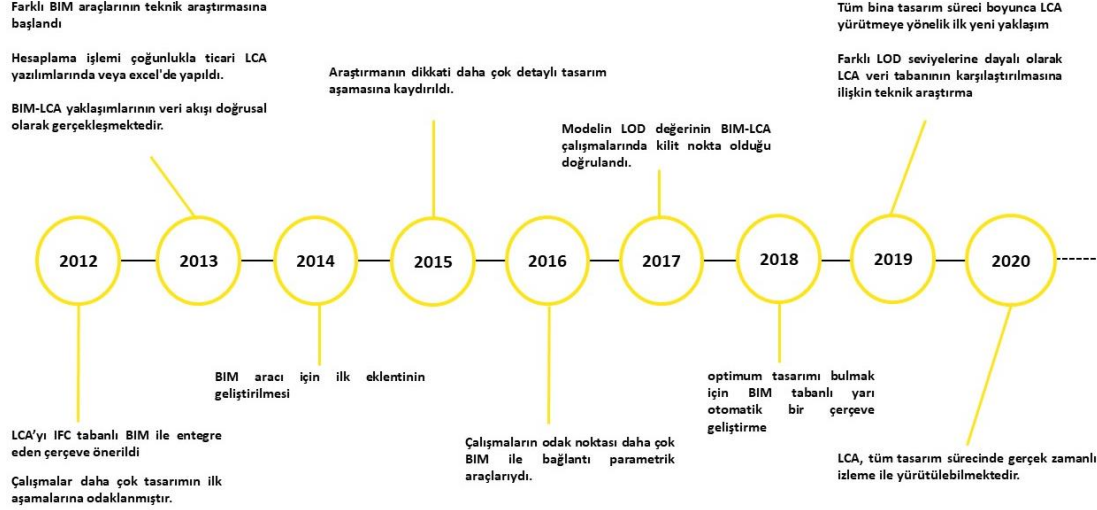
- 1) Amaç ve kapsam tanımı
- 2) Yaşam Döngüsü envanter analizi
- 3) Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi
- 4) Yaşam döngüsü yorumlama [9].

Amaç ve kapsam tanımlama aşamasında; varsayım, sistem sınırı, çalışmanın amaç ve hedefleri belirtilmektedir. Yaşam döngüsü envanter analizi aşaması tanımlanan çalışmanın hedeflerini karşılamak için gerekli verilerin toplanmasını içermektedir. Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi aşamasında amaç, çevresel etkiyi daha iyi anlayabilmek için bir ürün sisteminin yaşam döngüsü envanter analizi sonuçlarını değerlendirmeye yardımcı olan ek bilgiler sunmaktadır. Yorumlama aşamasında, hedef ve kapsam tanımına uygun olarak yaşam döngüsü envanter analizi ve yaşam döngüsü etki değerlendirmesi sonuçları özetlenmektedir ve bu doğrultuda tavsiyeler ve gelecek için kararlar tartışılır (Şekil 3).



Şekil 3. ISO 14040 çerçevesinde YBM-YDD entegrasyonu [13].

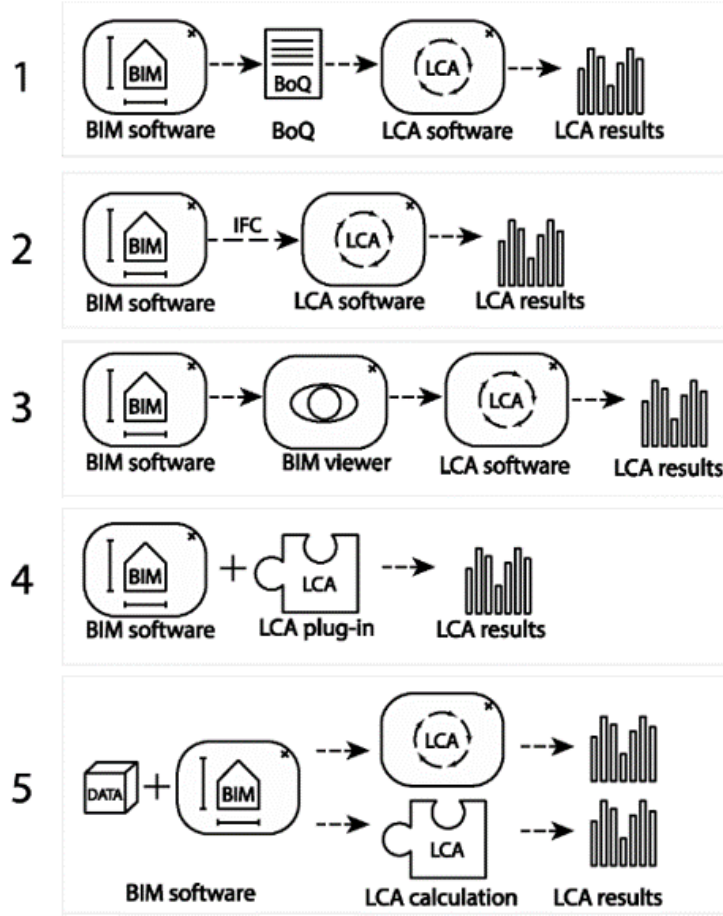
Yıllar içerisinde YBM-YDD entegrasyonuna yönelik çalışmalarda binaların yaşam döngüsü performansını optimize etmek için önemli gelişmeler yaşanmıştır (Şekil 4). Bu gelişmelerde özellikle 2016 yılında bir artış gözlemlenmiştir. Tasarım gereksinimlerini optimize etmek ve dinamik bir YDD gerçekleştirebilmek için YBM'in potansiyeli kullanılmıştır [14].



Şekil 4. 2012 yılından beri YBM ve YDD'yi entegre etme alanındaki ilerlemeler ve gelişmeler [14].

Wastiels ve Decuypere YBM-YDD entegrasyonunu 5 türe ayırmaktadır. İlk tipte (1) keşif dosyasının YBM ortamından diğer araçlar aktarılması ile diğer yazılım araçlarıyla entegrasyonudur. Araştırmacıların gözlemlerine göre bu yaklaşım mevcutta en yaygın uygulamadır. İkinci tipte (2) YBM üzerinden verilerin IFC formatında alınması yöntemidir. Üçüncü tip (3) YBM aracından alınan verilerin farklı bir YBM ortamında daha detaylı işlendiği ve daha sonra özel YDD yazılımlarına aktarıldığı yöntemdir. Dördüncü tipte (4) YBM ortamında kullanıma olanak sunan YDD yazılımlarının kullanıldığı yöntemdir. Beşinci tip (5), YDD verilerinin YBM modelinde kullanılan YBM nesnelere dahil edildiği yaklaşımdır (Şekil 5).

YBM-YDD yaklaşımları, veri türü verilerini uyumlu hale getirmek için bir tasarımcı tarafından manuel müdahale gerektirmektedir [14]



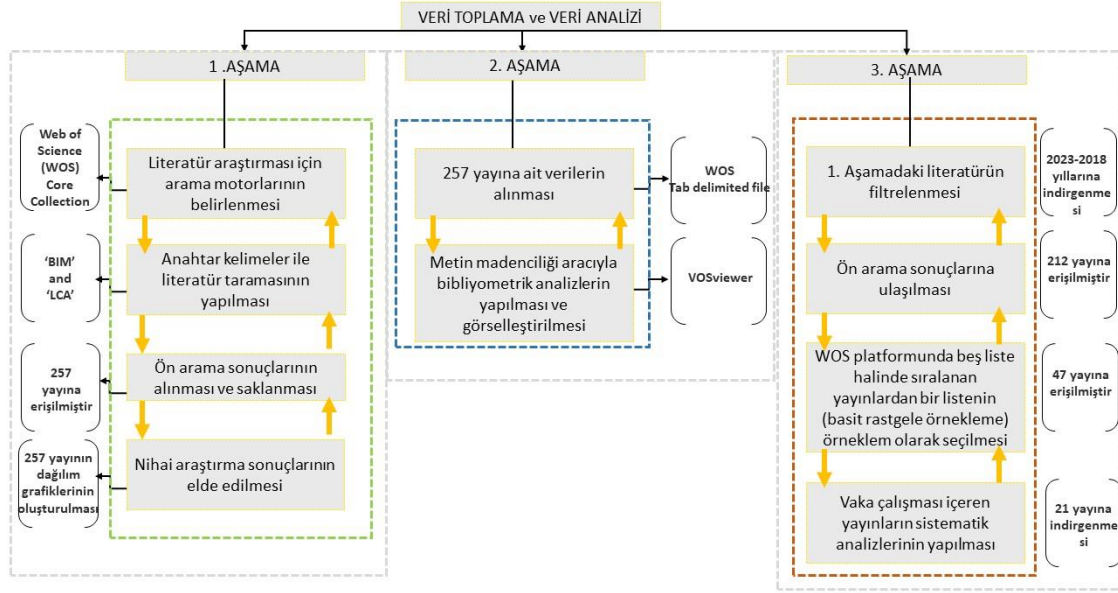
Şekil 5. Wastiels ve Decuypere'den uyarlanan YBM-YDD entegrasyon türleri [15].

Materyal ve Yöntem

Bu çalışma sistematik bir gözden geçirme sürecine dayalı olarak YDD'yi YBM ile entegre etme konusunda mevcut literatürün durumunu açıkça tartışmayı ve ardından bu entegrasyon için araştırma boşluklarını ve fırsatları ve bu konuda yapılabilecek araştırma alanlarını belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla belli bir konuda hazırlanmış araştırma sorusuna yanıt bulmak için, belirlenmiş kriterlere uygun olarak o alanda yayınlanmış orijinal çalışmaların sistemli ve yan tutmadan taranması olarak bilinen sistematik analiz yöntemi kullanılmıştır. Aynı zamanda sistematik analiz yapılırken bibliyometrik analiz yönteminden de yararlanılmıştır.

Araştırmaya dair bazı kısıtlılıklar mevcuttur. Literatür taraması WOS Core Collection adlı araştırma kanalı üzerinde yapılmıştır. WOS Core Collection'da listelenen çalışmalar üzerinden yapılan analizlere, Türkiye'de Tubitak, Ulakbim, YÖK Tez Arşivi, Uluslararası alanda Scopus ve Pubmed gibi veritabanları ile çevrimiçi dolanım girmemiş olan kaynakların dahil edilmemiş olması bu çalışmanın en kritik kısıtlılığıdır.

Araştırma için veri toplama ve analizi üç aşamada gerçekleşmiştir (Şekil 6).



Şekil 5. Araştırmanın veri toplama ve veri analizi yöntem şeması

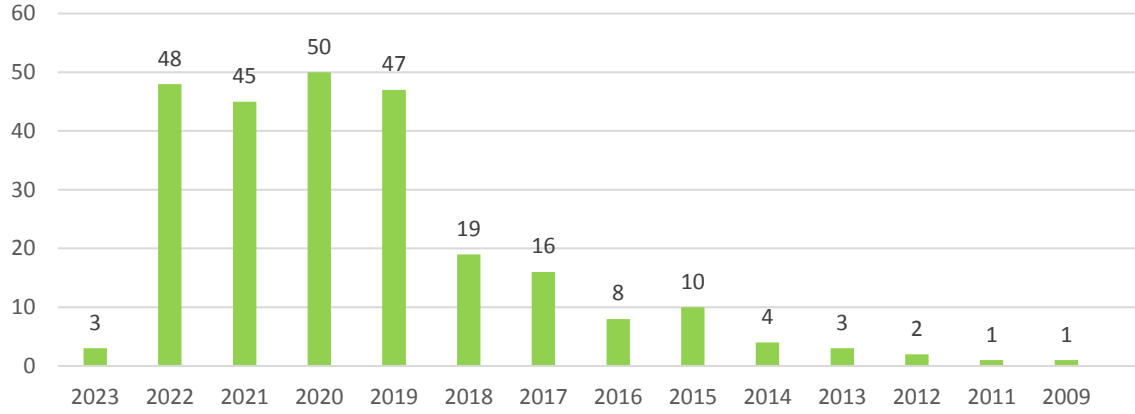
Veri toplamanın 1. Aşamasında Web of Science veri tabanında daha önceden tanımlanmış 'BIM' ve 'LCA' anahtar kelimeleri kullanılarak ilgili literatür taraması yapılmıştır. Tarama sonucunda 257 yayına erişilmiştir.

Veri toplamanın 2. Aşamasında 257 yayına ait bibliyometrik ağı analiz etmek ve görselleştirmek için VOSViewer adlı bir metin madenciliği programı kullanılmıştır.

Veri toplamanın 3. Aşamasında 2018-2023 yılları arasını içeren bir filtreleme yapılmıştır. Ön arama sonuçları 212 yayına indirgenmiştir. Bu 212 yayın içerisinde basit rastgele örnekleme ile 47 yayına indirgenmiştir. Son olarak vaka çalışması içeren ilgili makaleleri belirlemek için başlıklar ve özetler görünümünde bir filtreleme yapılmıştır ve araştırma 21 yayına indirgenerek detaylıca incelenmiştir.

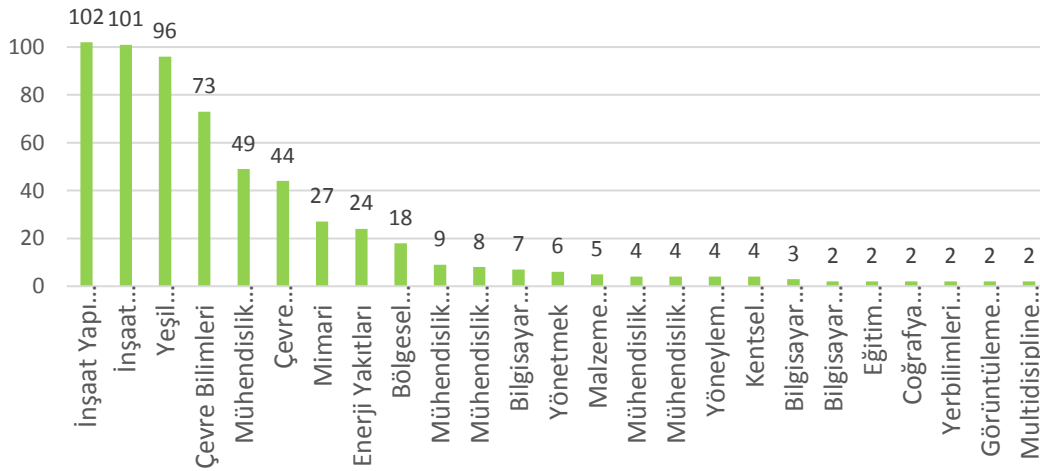
Bulgular ve Tartışma

Aşama 1 Bulguları: Araştırma yıllarına göre dağılıma bakıldığında ilk olarak 2019 yılında yapılan yayın sayısında artış gözlemlenmekte ve devam etmektedir. Bu verilere göre 'BIM' ve 'LCA' anahtar kelimelerinin yer aldığı çalışmalar literatürde yeni ve araştırmaya açık alanlar olarak değerlendirilebilir (Şekil 7).



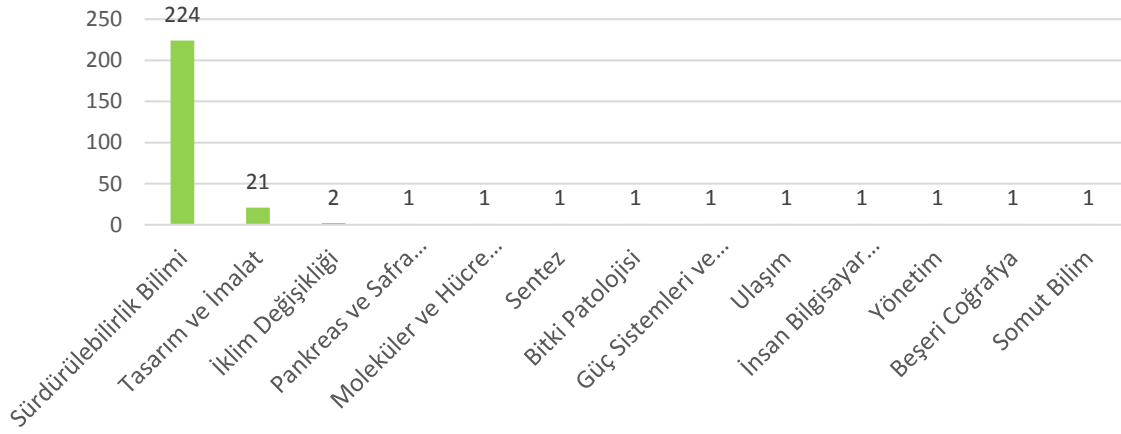
Şekil 6. WOS'dan seçilen 257 yayının 'BIM' ve 'LCA' anahtar kelimelerinin araştırma yıllarına göre dağılımı.

Web of Science'dan çekilen 257 yayına ait verilere göre yapılan yayınlar en fazla inşaat yapı teknolojisi, inşaat mühendisliği, yeşil sürdürülebilir bilim, çevre bilimleri ve mühendislik çevre araştırma kategorilerinde yer almaktadır (Şekil 8). Buradan yola çıkılarak konunun inşaat sektöründe ve mimarlık alanında önem kazandığı söylenebilir.



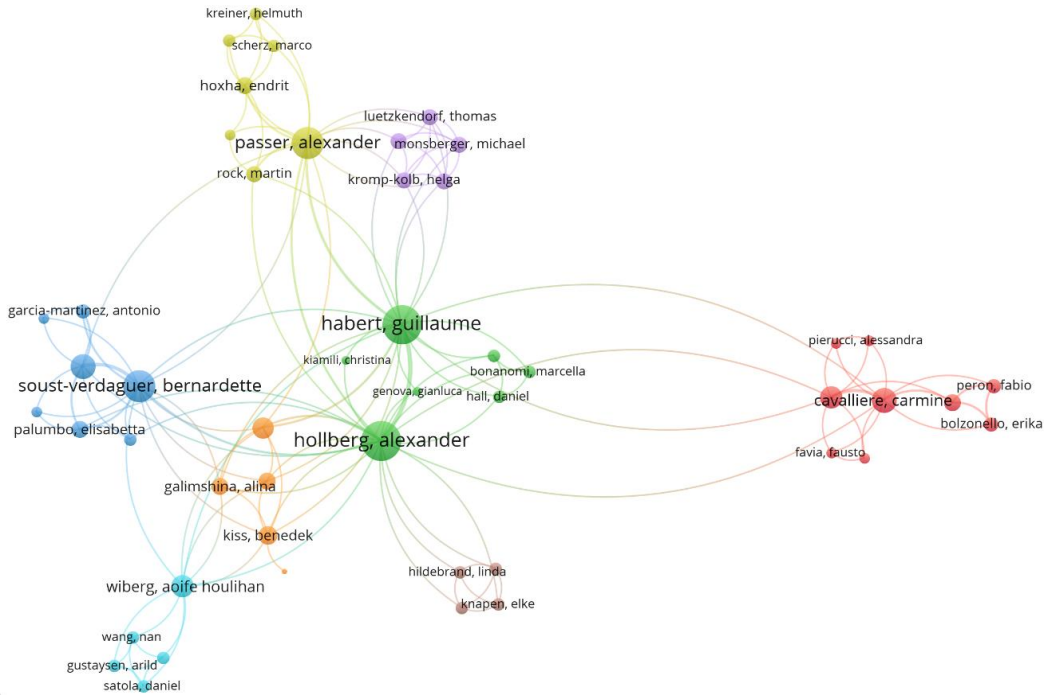
Şekil 7. WOS'dan seçilen 257 yayının 'BIM' ve 'LCA' anahtar kelimelerinin araştırma kategorilerine göre dağılımı.

257 yayın atıf konularına göre kategorilerine göre dağılımına bakıldığında yayınların önemli miktarı inşaat yapı teknolojisi, inşaat mühendisliği, yeşil sürdürülebilir bilim kategorilerinde yer almaktadır (Şekil 9).



Şekil 8. WOS'dan seçilen 257 yayının 'BIM' ve 'LCA' anahtar kelimelerinin atıf konularına göre dağılımı.

Aşama 2 Bulguları: Bibliyometrik ağı analiz etmek ve görselleştirmek için, bu çalışmada VOSViewer adlı bir metin madenciliği aracıyla yapılan analiz yöntemi tercih edilmiştir. Araç, iki düğüm arasındaki mesafenin aralarındaki korelasyonun gösterdiği bibliyometrik ağların mesafeye dayalı görselleştirmelerini analiz etmek için kullanılmaktadır.



Şekil 9. Yazarlar arasındaki atıf ilişkisi.

VOSViewer üzerinden yapılan bu alanda çalışma yapan yazarlar arası ilişkiye bakıldığında verilerin 8 kümeye ayrıldığı ve bu veriler arasında 143 tane bağlantı olduğu saptanmıştır. Bu analize göre Habert, Guillaume ve Hollberg, Alexander kümelerinde bir yoğunlaşma görülmektedir (Şekil 10).

Aşama 3 Bulguları: Bu aşamada basit rastgele örnekleme yöntemi ile araştırma 47 yayına indirgenmiştir. Bu 47 yayın içerisinde 21 yayında vaka çalışması yer almaktadır. Geriye kalan çalışmalar genel çerçevedeki çalışma yöntemlerine göre gruplandırılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. ‘BIM’ and ‘LCA’ kavramlarını inceleyen çalışmaların araştırma yöntemlerine göre gruplandırılması.

ANKET ÇALIŞMASI İÇEREN ÇALIŞMALAR (7)

-
- **Asare, K. A., Ruikar, K. D., Zanni, M., & Soetanto, R. (2020).** BIM-based LCA and energy analysis for optimised sustainable building design in Ghana. *SN Applied Sciences*, 2(11), 1-20. [16]
 - **Zimmermann, R. K., Bruhn, S., & Birgisdóttir, H. (2021).** BIM-Based Life Cycle Assessment of Buildings—An Investigation of Industry Practice and Needs. *Sustainability*, 13(10), 5455.[17]
 - **Febriyani, R. A., Wijatmiko, I., & Wisnumurti, W. (2021).** Environmental Impact Evaluation On Construction Materials With The Integration Of Building Information Modeling (Bim) And Life Cycle Assessment (LCA). *Rekayasa Sipil*, 15(2), 78-85. [18]
 - **Schumacher, R., Theißen, S., Höper, J., Drzymalla, J., Lambertz, M., Hollberg, A., ... & Meins-Becker, A. (2022).** Analysis of current practice and future potentials of LCA in a BIM-based design process in Germany. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 349, p. 10004). EDP Sciences.[19]
 - **Kamari, A., Paari, A., & Torvund, H. Ø. (2020).** Bim-enabled virtual reality (vr) for sustainability life cycle and cost assessment. *Sustainability*, 13(1), 249.[20]
 - **Onososen, A., Musonda, I., & Tjebane, M. M. (2022).** Drivers of BIM-Based Life Cycle Sustainability Assessment of Buildings: An Interpretive Structural Modelling Approach. *Sustainability*, 14(17), 11052.[21]
-

BIM ve LCA ENTEGRASYONUN GELİŞTİRİLMESİNİ NİTEL OLARAK İNCELEYEN ÇALIŞMALAR (14)

- **Dalla Mora, T., Bolzonello, E., Cavalliere, C., & Peron, F. (2020).** Key parameters featuring bim-lca integration in buildings: A practical review of the current trends. *Sustainability*, 12(17), 7182. [22]
 - **Kamari, A., Kotula, B. M., & Schultz, C. P. L. (2022).** A BIM-based LCA tool for sustainable building design during the early design stage. *Smart and Sustainable Built Environment*. [23].
 - **Naneva, A. (2022).** greenBIM, a BIM-based LCA integration using a circular approach based on the example of the Swiss sustainability standard Minergie-ECO. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 349, p. 10002). EDP Sciences. [24].
 - **Xue, K., Hossain, M. U., Liu, M., Ma, M., Zhang, Y., Hu, M., ... & Cao, G. (2021).** BIM integrated LCA for promoting circular economy towards sustainable construction: An analytical review. *Sustainability*, 13(3), 1310. [25].
 - **Abdelaal, F., & Guo, B. H. (2022).** Stakeholders’ perspectives on BIM and LCA for green buildings. *Journal of Building Engineering*, 48, 103931.[26].
 - **Tam, V. W., Zhou, Y., Illankoon, C., & Le, K. N. (2022).** A critical review on BIM and LCA integration using the ISO 14040 framework. *Building and Environment*, 213, 108865.[13].
 - **Li, X. J., Xie, W. J., Xu, L., Li, L. L., Jim, C. Y., & Wei, T. B. (2022).** Holistic life-cycle accounting of carbon emissions of prefabricated buildings using LCA and BIM. *Energy and Buildings*, 266, 112136. [27].
-

Tablo 1. ‘BIM’ and ‘LCA’ kavramlarını inceleyen çalışmaların araştırma yöntemlerine göre gruplandırılması (devam).

-
- **Röck, M., Hollberg, A., Habert, G., & Passer, A. (2018).** LCA and BIM: Visualization of environmental potentials in building construction at early design stages. *Building and environment*, 140, 153-161.[28].
 - **Han, D., Kalantari, M., & Rajabifard, A. (2021).** Building Information Modeling (BIM) for Construction and Demolition Waste Management in Australia: A Research Agenda. *Sustainability*, 13(23), 12983. [29].
 - **Zimmermann, R. K., Bruhn, S., & Birgisdóttir, H. (2021).** BIM-Based Life Cycle Assessment of Buildings—An Investigation of Industry Practice and Needs. *Sustainability*, 13(10), 5455.[30].
 - **Ansah, M. K., Chen, X., Yang, H., Lu, L., & Lam, P. T. (2021).** Developing an automated BIM-based life cycle assessment approach for modularly designed high-rise buildings. *Environmental Impact Assessment Review*, 90, 106618. [31]
 - **Santos, R., Costa, A. A., Silvestre, J. D., & Pyl, L. (2019).** Integration of LCA and LCC analysis within a BIM-based environment. *Automation in Construction*, 103, 127-149. [32]
-

LCA ARAÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASINI İÇEREN ÇALIŞMALAR (2)

-
- **Bueno, C., & Fabricio, M. M. (2018).** Comparative analysis between a complete LCA study and results from a BIM-LCA plug-in. *Automation in construction*, 90, 188-200. [33].
 - **Sobhkhiz, S., Taghaddos, H., Rezvani, M., & Ramezani pour, A. M. (2021).** Utilization of semantic web technologies to improve BIM-LCA applications. *Automation in Construction*, 130, 103842. [34].
-

LİTERATÜR TARAMASI (1)

-
- **Obrecht, ve ark. (2022).** I. M. LCA integration: A systematic literature review.2020. [35].
-

YEŞİL BİNA BELGELENDİRMESİ İLE İLİŞKİLENDİREN (1)

-
- **Veselka, J., Nehasilová, M., Dvořáková, K., Ryklová, P., Volf, M., Růžička, J., & Lupíšek, A. (2020).** Recommendations for Developing a BIM for the Purpose of LCA in Green Building Certifications. *Sustainability*, 12(15), 6151. [36]
-

21 yayına ait incelemeler Tablo 2’ de yer almaktadır. Çalışmaların LOD seviyelerine yer verme durumları, kullanılan veri tabanları, LCA eklentileri, çalışmanın hangi LCA aşamalarını kapsama durumları çizelgede belirlenmiştir.

Tablo 2. 21 akademik yayına ait elde edilen bulgular.

YAZAR	ÜLKE	BIM MODELİ		LCA YÖNTEMİ					LCA AŞAMALARI				
		BİNA FONKS.	LOD	FONKS. BİRİMİ	ÖMÜR	VERİ TABANI	LCA EKLENTİSİ	A1-	A4-	B1-	C1-	D	
								A3	A5	B7	C4		
Holberg ve ark. 2020 [37]	İSVİÇRE	OFİS BİNASI	-	Yapının tamamı	-	Revit Dynomo	Gabi , Tally	+	+	-	-	-	
Bueno, C., & Fabricio, M. 2018 [33]	BREZİLYA	-	-	Yapının duvarları	40	REVİT	GABİ	+	+	+	+	+	
Kamari, A. ve ark. 2022 [23]	DANİMARKA	KONUT	100-300	Yapının tamamı	-	REVİT	One-Click LCA	+	-	-	-	-	
Cheng B ve ark. 2020 [38]	ÇİN	KÜLTÜR MERKEZİ	-	Yapının tamamı	50	REVİT	Tally	+	+	+	+	+	
Crippa ve ark. 2018 [4]	BREZİLYA	4 FARKLI DUVAR TİPİ	-	Duvar tipleri	-	ARCHICAD	SimaPro'	+	-	-	-	-	
Raposa ve ark. 2019 [39]	PORTEKİZ	ENDÜSTRİYEL YAPI	-	Yapının tamamı	30	REVİT	Tally	+	+	-	-	-	
Cavalliere, C. ve ark. 2019 [7]	İSVİÇRE	KONUT	300	Yapının tamamı	60	Rhinoceros	-	+	+	-	-	-	
Yangyang, H. ve ark. 2021 [40]	ÇİN	KONUT	-	Yapının tamamı	60	REVİT	Tally	+	-	-	-	-	
Schumacher, R. ve ark. 2020 [19]	AVUSTRALYA	OFİS	300	Yapının tamamı	50	REVİT	Eco2soft	+	+	+	-	+	
Carvalho, J. P. ve ark. 2020 [41]	PORTEKİZ	KONUT	-	Yapının tamamı	60	REVİT	Tally	+	-	-	-	-	
Santos, R. ve ark. 2019 [32]	BELÇİKA	KONUT	-	Yapının tamamı	60	REVİT	Ecoinvent	+	+	-	-	-	
Zhang, Y. ve ark. 2022 [42]	ÇİN	KAMU YAPISI	-	Yapının tamamı	50	REVİT	Green Building S.	+	+	+	+	+	
Carvalho, J. P. ve ark. 2021 [42]	PORTEKİZ	KONUT	-	Yapının tamamı	-	REVİT	Cypetherm REH	+	-	-	-	-	
Llatas ve ark. 2022 [43]	İSPANYA	KONUT	-	Yapının tamamı	50	REVİT-Dynomo	-	+	+	+	+	-	
Kiamili, C. ve ark. 2020 [44]	İSVİÇRE	OFİS	300	Yapının tamamı	60	REVİT	Excel manuel	+	+	+	+	-	
Martínez-Rocamora, A. 2021 [45]	İSPANYA	KONUT	-	Yapının tamamı	-	REVİT	Tally	+	+	+	+	-	
Mohebbi, G. ve ark. 2021 [46]	BİRLEŞİK KRALLIK	AVM	-	Yapının tamamı	50	REVİT	-	+	-	-	-	-	
Alwan, Z., & Jones, B. I. 2022. [47]	BİRLEŞİK KRALLIK	KONUT	-	Yapının tamamı	-	ARCHICAD	-	+	-	-	-	-	
Figueiredo ve ark. 2021. [48]	-	KONUT	400	Yapının tamamı	60	REVİT	-	+	-	-	-	-	
Morsi, D. M. ve ark. 2022 [49]	MISIR	KONUT	400	Yapının tamamı	50	REVİT	One-Click LCA	+	+	+	+	+	
Růžička, J. ve ark. 2022 [50]	ÇEK CUMHURİYETİ	KONUT	350	Yapının tamamı	-	REVİT	-	-	-	-	-	-	

Çizelgeden elde edilen sonuçlara göre yapılan araştırmaların çoğunluğunda LOD seviyelerinin tanımlanmadığı görülmüştür. Çalışmalarda yapı ömrünü tanımlayan ortak bir karar söz konusu değildir. Bu durumda çalışmaların karşılaştırılmasını güçleştirmektedir. Çalışmalar yapılırken ağırlıklı olarak Revit programı kullanılmıştır. Çalışmaların çoğunluğu yaşam döngüsünün ilk aşamalarına odaklanmıştır. Yaşam döngüsünün tamamını kapsayan çalışmalara nispeten daha azdır.

Sonuç

Yapılan bu çalışma sonucunda BIM ve LCA'yı entegre etmek için birçok farklı yaklaşım olsa da bu sürecin hala erken bir aşamada olduğu tespit edilmiştir. İncelenen çalışmalardan yola çıkılarak BIM ve LCA araçları arasında kusursuz ve otomatik bir bilgi alışverişi henüz sağlanamadığı anlaşılmıştır. Araştırma sonucunda literatüre dair elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Sürdürülebilirlik konusu hala güncel bir konu olmakla birlikte literatürde farklı alanlara evrilmiştir.
- BIM kavramı literatür açısından hala önemli olmakla birlikte farklı kavramlarla ilişkilendirildiğinde güncel bir konu haline gelmektedir.
- BIM ve LCA entegrasyonu konusu güncel bir alandır.
- Literatürde LCA senaryolarına uygun olarak BIM modellerinin uygun LOD seviyelerini tanımlayan bir standart boşluğu bulunmaktadır.
- Literatürde mevcut vaka çalışmaları LCA'nın erken tasarım aşaması üzerinedir. Farklı aşamalara entegrasyonu kolaylaştıracak bir çerçeve geliştirilebilir.
- Vaka çalışmaları dijital olarak gerçekteşirilmifitir. Gerçek bir yapı üzerine yapılan veya dijital olarak oluşan veri ile mevcuttaki durumu değerlendiren bir çalışma bulunmamaktadır.

Finansal Destek

Makalenin hazırlanmasında herhangi bir finansal destek alınmamıştır.

Yazar katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamışlardır.

Çıkar çatışma beyanı

Bu çalışmanın hazırlanmasında; veri toplanması, sonuçların yorumlanması ve makalenin yazılması aşamalarında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Etik kurul

Makale etik kurul onayı gerektirmemektedir.

Kaynaklar

- [1] Çekirge, G. Çubukçuoğlu, B., 2017. İnşaat Sektöründe Sürdürülebilirlik ve Atık Yönetiminin Önemi: Vaka Çalışması Örneğiyle. Conference: 7. İnşaat Yönetimi Kongresi.
- [2] Naneva, A., Bonanomi, M., Hollberg, A., Habert, G., ve Hall, D. (2020). Integrated BIM-based LCA for the entire building process using an existing structure for cost estimation in the Swiss context. *Sustainability*, 12(9), 3748.
- [3] Lasvaux, S., Favre, D., Périsset, B., Bony, J., Hildbrand, C., ve Citherlet, S. (2015). Life Cycle Assessment of energy related building renovation: methodology and case study. *Energy Procedia*, 78, 3496-3501.
- [4] Crippa, J., Araujo, A. M., Bem, D., Ugaya, C. M., ve Scheer, S. (2020). A systematic review of BIM usage for life cycle impact assessment. *Built Environment Project and Asset Management*, 10(4), 603-618.
- [5] International Organization for Standardization. (2006). Environmental management: life cycle assessment; Principles and Framework. ISO.
- [6] Jalaei, F., ve Jade, A. (2014). Integrating building information modeling (BIM) and energy analysis tools with green building certification system to conceptually design sustainable buildings. *J. Inf. Technol. Constr.*, 19, 494-519.
- [7] Cavalliere, C., Habert, G., Dell'Osso, G. R., ve Hollberg, A. (2019). Continuous BIM-based assessment of embodied environmental impacts throughout the design process. *Journal of Cleaner Production*, 211, 941-952.
- [8] One Click LCA 2023. <https://www.oneclicklca.com/> (Erişim Tarihi: 13.04.2023).
- [9] International Organization for Standardization. (2006). Environmental management: life cycle assessment; Principles and Framework. ISO.
- [10] Basbagill, J., Flager, F., Lepech, M., ve Fischer, M. (2013). Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts. *Building and Environment*, 60, 81-92.
- [11] CEN. (2011). EN 15942 Sustainability of construction works. Environmental product declarations—Communication format business-to-business. Standard.
- [12] ISO 21930. (2017). Sustainability in buildings and civil engineering works—Core rules for environmental product declarations of construction products and services.
- [13] Tam, V. W., Zhou, Y., Illankoon, C., ve Le, K. N. (2022). A critical review on BIM and LCA integration using the ISO 14040 framework. *Building and Environment*, 213, 108865.

- [14] Safari, K., ve AzariJafari, H. (2021). Challenges and opportunities for integrating BIM and LCA: Methodological choices and framework development. *Sustainable Cities and Society*, 67, 102728.
- [15] Wastiels, L., ve Decuyper, R. (2019, August). Identification and comparison of LCA-BIM integration strategies. In *IOP conference series: earth and environmental science* (Vol. 323, No. 1, p. 012101). IOP Publishing.
- [16] Asare, K. A., Ruikar, K. D., Zanni, M., & Soetanto, R. (2020). BIM-based LCA and energy analysis for optimised sustainable building design in Ghana. *SN Applied Sciences*, 2(11), 1-20.
- [17] Zimmermann, R. K., Bruhn, S., & Birgisdóttir, H. (2021). BIM-Based Life Cycle Assessment of Buildings—An Investigation of Industry Practice and Needs. *Sustainability*, 13(10), 5455.
- [18] Febriyani, R. A., Wijatmiko, I., & Wisnumurti, W. (2021). Environmental Impact Evaluation On Construction Materials With The Integration Of Building Information Modeling (Bim) And Life Cycle Assessment (LCA). *Rekayasa Sipil*, 15(2), 78-85.
- [19] Schumacher, R., Theißen, S., Höper, J., Drzymalla, J., Lambertz, M., Hollberg, A., ... & Meins-Becker, A. (2022). Analysis of current practice and future potentials of LCA in a BIM-based design process in Germany. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 349, p. 10004). EDP Sciences.
- [20] Kamari, A., Paari, A., & Torvund, H. Ø. (2020). Bim-enabled virtual reality (vr) for sustainability life cycle and cost assessment. *Sustainability*, 13(1), 249.
- [21] Onososen, A., Musonda, I., & Tjebane, M. M. (2022). Drivers of BIM-Based Life Cycle Sustainability Assessment of Buildings: An Interpretive Structural Modelling Approach. *Sustainability*, 14(17), 11052.
- [22] Dalla Mora, T., Bolzonello, E., Cavalliere, C., & Peron, F. (2020). Key parameters featuring bim-lca integration in buildings: A practical review of the current trends. *Sustainability*, 12(17), 7182.
- [23] Kamari, A., Kotula, B. M., & Schultz, C. P. L. (2022). A BIM-based LCA tool for sustainable building design during the early design stage. *Smart and Sustainable Built Environment*.
- [24] Naneva, A. (2022). greenBIM, a BIM-based LCA integration using a circular approach based on the example of the Swiss sustainability standard Minergie-ECO. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 349, p. 10002). EDP Sciences.
- [25] Xue, K., Hossain, M. U., Liu, M., Ma, M., Zhang, Y., Hu, M., ... & Cao, G. (2021). BIM integrated LCA for promoting circular economy towards sustainable construction: An analytical review. *Sustainability*, 13(3), 1310.

- [26] Abdelaal, F., & Guo, B. H. (2022). Stakeholders' perspectives on BIM and LCA for green buildings. *Journal of Building Engineering*, 48, 103931.
- [27] Li, X. J., Xie, W. J., Xu, L., Li, L. L., Jim, C. Y., & Wei, T. B. (2022). Holistic life-cycle accounting of carbon emissions of prefabricated buildings using LCA and BIM. *Energy and Buildings*, 266, 112136.
- [28] Röck, M., Hollberg, A., Habert, G., & Passer, A. (2018). LCA and BIM: Visualization of environmental potentials in building construction at early design stages. *Building and environment*, 140, 153-161.
- [29] Han, D., Kalantari, M., & Rajabifard, A. (2021). Building Information Modeling (BIM) for Construction and Demolition Waste Management in Australia: A Research Agenda. *Sustainability*, 13(23), 12983.
- [30] Zimmermann, R. K., Bruhn, S., & Birgisdóttir, H. (2021). BIM-Based Life Cycle Assessment of Buildings—An Investigation of Industry Practice and Needs. *Sustainability*, 13(10), 5455.
- [31] Ansah, M. K., Chen, X., Yang, H., Lu, L., & Lam, P. T. (2021). Developing an automated BIM-based life cycle assessment approach for modularly designed high-rise buildings. *Environmental Impact Assessment Review*, 90, 106618.
- [32] Santos, R., Costa, A. A., Silvestre, J. D., & Pyl, L. (2019). Integration of LCA and LCC analysis within a BIM-based environment. *Automation in Construction*, 103, 127-149.
- [33] Bueno, C., & Fabricio, M. M. (2018). Comparative analysis between a complete LCA study and results from a BIM-LCA plug-in. *Automation in construction*, 90, 188-200.
- [34] Sobhkhiz, S., Taghaddos, H., Rezvani, M., & Ramezani pour, A. M. (2021). Utilization of semantic web technologies to improve BIM-LCA applications. *Automation in Construction*, 130, 103842.
- [35] Obrecht, ve ark. (2022). I. M. LCA integration: A systematic literature review.2020.
- [36] Veselka, J., Nehasilová, M., Dvořáková, K., Ryklová, P., Volf, M., Růžička, J., & Lupíšek, A. (2020). Recommendations for Developing a BIM for the Purpose of LCA in Green Building Certifications. *Sustainability*, 12(15), 6151.
- [37] Hollberg, A., Genova, G., & Habert, G. (2020). Evaluation of BIM-based LCA results for building design. *Automation in Construction*, 109, 102972.
- [38] Cheng, B., Li, J., Tam, V. W., Yang, M., & Chen, D. (2020). A BIM-LCA approach for estimating the greenhouse gas emissions of large-scale public buildings: a case study. *Sustainability*, 12(2), 685.

- [39] Raposo, C., Rodrigues, F., & Rodrigues, H. (2019). BIM-based LCA assessment of seismic strengthening solutions for reinforced concrete precast industrial buildings. *Innovative Infrastructure Solutions*, 4(1), 1-10.
- [40] Yangyang, H., & Gong, Z. (2021). An Add Environmental Dimension Using BIM-LCA integration Technology. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 253, p. 03027). EDP Sciences.
- [41] Carvalho, J. P., Alecrim, I., Bragança, L., & Mateus, R. (2020). Integrating BIM-based LCA and building sustainability assessment. *Sustainability*, 12(18), 7468.
- [42] Zhang, Y., Jiang, X., Cui, C., & Skitmore, M. (2022). BIM-based approach for the integrated assessment of life cycle carbon emission intensity and life cycle costs. *Building and Environment*, 226, 109691.
- [43] LLatas, C., Soust-Verdaguer, B., Hollberg, A., Palumbo, E., & Quiñones, R. (2022). BIM-based LCSA application in early design stages using IFC. *Automation in Construction*, 138, 104259.
- [44] Kiamili, C., Hollberg, A., & Habert, G. (2020). Detailed assessment of embodied carbon of HVAC systems for a new office building based on BIM. *Sustainability*, 12(8), 3372.
- [45] Martínez-Rocamora, A., Rivera-Gómez, C., Galán-Marín, C., & Marrero, M. (2021). Environmental benchmarking of building typologies through BIM-based combinatorial case studies. *Automation in Construction*, 132, 103980.
- [46] Mohebbi, G., Bahadori-Jahromi, A., Ferri, M., & Mylona, A. (2021). The role of embodied carbon databases in the accuracy of life cycle assessment (LCA) calculations for the embodied carbon of buildings. *Sustainability*, 13(14), 7988.
- [47] Alwan, Z., & Jones, B. I. (2022). IFC-based embodied carbon benchmarking for early design analysis. *Automation in Construction*, 142, 104505.
- [48] Figueiredo, K., Pierott, R., Hammad, A. W., & Haddad, A. (2021). Sustainable material choice for construction projects: A Life Cycle Sustainability Assessment framework based on BIM and Fuzzy-AHP. *Building and Environment*, 196, 107805.
- [49] Morsi, D. M., Ismaeel, W. S., Ehab, A., & Othman, A. A. (2022). BIM-based life cycle assessment for different structural system scenarios of a residential building. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(6), 101802.
- [50] Růžička, J., Veselka, J., Rudovský, Z., Vitásek, S., & Hájek, P. (2022). BIM and Automation in Complex Building Assessment. *Sustainability*, 14(4), 2237.