



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



Yeşil Bina Sertifikasyonunda Yapı Bilgi Modellemesi Kullanımının Değerlendirilmesi

Yüksek Lisans Tezi

Orkun ÇORUH

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir
2024

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Yeşil Bina Sertifikasyonunda Yapı Bilgi Modellemesi Kullanımının Değerlendirilmesi

Orkun ÇORUH

Danışman : Doç. Dr. Selim BARADAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Programı

İzmir
2024

Orkun Çoruh tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan “Yeşil Bina Sertifikasyonunda Yapı Bilgi Modellemesi Kullanımının Değerlendirilmesi” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 30.01.2024 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı

:

.....

Üye

:

.....

Üye

:

.....

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yeşil Bina Sertifikasyonunda Yapı Bilgi Modellemesi Kullanımının Değerlendirilmesi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

30 / 01 / 2024

Orkun Çoruh

ÖZET**YEŞİL BİNA SERTİFİKASYONUNDA YAPI BİLGİ
MODELLEMESİ KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

ÇORUH, Orkun

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Selim BARADAN

Ocak 2024, 82 sayfa

Yeşil binalar, inşaat sektörünün hızla gelişmesi ve çevreye etkisi ile yatırımcıların ve inşaat yönetimi personelinin fikir birliği haline gelmiştir. Öte yandan gelişen bilgi teknolojisi bina inşaatı alanında da değişime yol açmaktadır. Hem BIM hem de yeşil binayı benimseyen şirketler, ikisi arasındaki sinerjiyi, yani yeşil BIM uygulamasını sürdürmek için bilinçli çaba göstermektedir. Doğru uygulandığında proje ekipleri, yeşil BIM'in proje sonuçlarını iyileştirebileceğini ve belirlenmiş sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasını kolaylaştırabileceğini kabul etmektedir. Bu makale, yeşil bina değerlendirme, inşası, yaşam döngüsü kontrolünde BIM kullanımının avantajlarını belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu makalede yeşil binalarda BIM uygulamaları ve yeşil bina değerlendirme kriterleri üzerine kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Ayrıca bu alanlarda oluşturulan platformlar, yönetmelikler ve programlar incelenmiştir. Yeşil BIM ve sertifikasyon sürecine etkisi, BIM ve yeşil bina kavramlarının gelişmesinde önemli payı bulunan yasal düzenlemeler yoluyla daha da gelişmesi mümkün görülmektedir. Bunu yaparak endüstri, sürdürülebilirliği teşvik etme ve gelecek nesiller için daha yeşil yapılı bir çevre yaratma konusunda BIM teknolojisinin faydalarını en üst düzeye çıkarabilir.

Anahtar sözcükler: BIM, Green Building Certification, Energy Efficiency, BEM, Green Building Regulation

ABSTRACT**EVALUATION OF BUILDING INFORMATION MODELING
USAGE IN GREEN BUILDING CERTIFICATION**

ÇORUH, Orkun

MSc in Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Selim BARADAN

January 2024, 82 pages

Green buildings have become the consensus of investors and construction management personnel with the rapid development of the construction industry and its impact on the environment. On the other hand, developing information technology also leads to change in the field of building construction. Companies that embrace both BIM and green building are making conscious efforts to maintain the synergy between the two, that is, the implementation of green BIM. When implemented correctly, project teams recognize that green BIM can improve project outcomes and facilitate the achievement of established sustainability goals. This article aims to identify the advantages of using BIM in green building evaluation, construction, life cycle control. In this article, a comprehensive literature review will be conducted on BIM applications in green buildings and green building evaluation criteria. Additionally, the platforms, regulations and programs created in these areas were examined. It seems possible that green BIM and its impact on the certification process will be further developed through legal regulations that have an important role in the development of BIM and green building concepts. By doing this, the industry can maximize the benefits of BIM technology in promoting sustainability and creating a greener built environment for future generations.

Keywords: BIM, Green Building Certification, Energy Efficiency, BEM, Green Building Regulation

ÖNSÖZ

Yapı Bilgi Modellemesinin günümüzde önemle altı çizilen sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği gibi kavramlarla olan simbiyotik birlikteliğinin incelenmesi ve bu birliktelik sonucunda ne gibi kazanımlar el edilebilir arayışı bu çalışmanın konusunun belirlenmesini sağlamıştır. Sürdürülebilirlik, enerji verimliliği gibi kavramlar inşaat sektörü için yeşil bina kavramını ortaya koymaktadır. Uluslararası çevrede yeşil bina ve yapı bilgi modellemesi genellikle birbirinden ayrı şekilde yaygınlaşmaktadır ancak yeşil yapı bilgi modellemesi bu yaygınlaşmadan yeteri kadar payını alamamakta ve görece yeni bir kavram olarak görülmektedir. Bu sebeple yeşil yapı bilgi modellemesinin, yapı bilgi modellemesi ve yeşil bina kavramlarının yaygınlaşmasında önemli payı bulunan yasal düzenlemeler yoluyla daha da yaygınlaşıp geliştirilmesi mümkün gözükmemektedir. Böylelikle bu çalışmada, literatürde kendine yer bulan ve gelişime açık bu konunun kapsamlı bir literatür taraması yapılmış, çeşitli programlar ve yasal düzenlemeler incelenmiştir.

İZMİR

30/01/2024

Orkun Çoruh

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇ KAPAK	ii
KABUL ONAY SAYFASI	iii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ÖNSÖZ	ix
İÇİNDEKİLER	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ	xiv
KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1.GİRİŞ	1
2.METODOLOJİ	5
3. YEŞİL BİNALAR	7
3.1 Yeşil Bina Yönetmelikleri	7
3.1.1 Avrupa birliği yeşil bina direktifi	7
3.1.2 Birleşik krallık binalarda enerji performansı yönetmeliği	8
3.1.3 ABD uluslararası yeşil inşaat kodu (international green construction code – IGCC)	9
3.1.4 Türkiye binalarda enerji performansı yönetmeliği	10

İÇİNDEKİLER (Devam)

Sayfa

4. YEŞİL BİNA DEĞERLENDİRME SİSTEMLERİ	11
4.1 LEED Sertifikası	12
4.1.1 LEED sertifika puanlaması	12
4.1.2 LEED dokümantasyonu	16
4.2 BREEAM Sertifikası	17
4.2.1 BREEAM sertifika puanlaması	18
4.2.2 BREEAM dokümantasyonu	20
4.3 DGNB Sertifikası	21
4.3.1 DGNB sertifika puanlaması	22
4.3.2 DGNB dokümantasyonu	23
5. BIM	25
5.1 BIM Gelişim Düzeyi (LOD)	27
5.2 BIM Boyutları	30
5.3 Dünyadaki BIM Düzenlemeleri	34
5.3.1 Amerika Birleşik Devletleri	34
5.3.2 Birleşik Krallık	37
5.3.3 Singapur	38
5.3.4 Norveç	39
5.3.5 Finlandiya	39

İÇİNDEKİLER (Devam)

Sayfa

5.3.6 Avrupa Birliği	39
5.3.7 Türkiye	40
6. YEŞİL BIM – BEM	41
7. YEŞİL BİNA SERTİFİKASYONUNDA BIM	44
7.1 Yeşil Bina Sertifikasyonunda BIM'in Avantajları	44
7.2 Yeşil Bina Sertifikasyonunda BIM'in Benimsenmesinin Önündeki Engeller	46
7.3 Literatürde Yeşil Bina Sertifikasyonunda BIM Entegrasyonuna Yönelik Çalışmalar	48
8. SONUÇ	52
KAYNAKLAR DİZİNİ	55
TEŞEKKÜR	65
ÖZGEÇMİŞ	66

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Metodoloji şeması.....	6
3.1. LEED sertifikasyon süreci.....	16
3.2 Geleneksel belge tabanlı iletişim	26
3.3 BIM tabanlı iş birliği.....	27
3.4 LOD geometri ve bilgi modelleri.....	28
3.5 Yeşil BIM: BIM, BEM ve Sürdürülebilir Tasarım Entegrasyonu	41
3.6 BIM ve YBD otomasyonu.....	44

TABLÖLAR DİZİNİTabloSayfa

3.1 Yeşil bina sertifikasyon sistemleri12

3.2 Dünya çapında öne çıkan bazı BIM düzenlemeleri34



KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
AIA	Amerikan mimarlar enstitüsü
API	Uygulama planlama arayüzü
ASHRAE	Amerikan ısıtma, soğutma ve iklimlendirme mühendisleri derneği
BCA	Yapı ve inşaat otoritesi
BEM	Yapı enerji modellemesi
BIM	Yapı bilgi modellemesi
BREEAM	Bina araştırma kuruluşu çevresel değerlendirme yöntemi
BSI	İngiliz standart enstitüsü
CAD	Bilgisayar destekli tasarım
COBie	İnşaat operasyonları bina bilgi alışverişi
CORENET	İnşaat ve emlak ağı
DGNB	Alman sürdürülebilir bina topluluğu
EUPPD	Avrupa birliği kamu ihale direktifi
GBCI	Yeşil işletme sertifikasyonu anonim şirketi
GSA	Genel hizmetler idaresi
HVAC	Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme
IES	Entegre çevre çözümleri

KISALTMALAR DİZİNİ (Devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
IESNA	Kuzey Amerika aydınlatıcı mühendislik topluluğu
IFC	Endüstri temel sınıfları
IgCC	Uluslararası yeşil inşaat kodu
LCA	Yaşam döngüsü değerlendirme
LEED	Enerji ve çevre tasarımında liderlik
LEED AP	Enerji ve çevre tasarımında liderlik akredite profesyoneli
LOD	Gelişmişlik düzeyi
MILCON	Savunma bakanlığı askeri yapılar
NIBS	Ulusal yapı bilimleri enstitüsü
ODBC	Açık veri tabanı bağlantısı
PBS	Kamu binaları hizmeti
PDF	Taşınabilir belge formatı
SLR	Sistemik literatür taraması
USGBC	Amerika Birleşik Devletleri yeşil bina konseyi
VE	Sanal ortam
YBD	Yeşil bina değerlendirme

1. GİRİŞ

Sürdürülebilir kalkınma kavramı, çevreyi koruma isteği ve Sanayi Devrimi'nin çevresel etkilerini azaltma ihtiyacı nedeniyle ortaya çıkmıştır. Mimarlık, mühendislik ve inşaat endüstrisi, çevre üzerindeki olumsuz etkilere en çok katkıda bulunanlardan biri olmuştur (T. H. Nguyen et al., 2015). Dünyanın geleneksel endüstrilerinden biri olan inşaat sektörü, ekonomik kalkınmayı ve kentleşmenin gerçekleşmesini hızlandırıp, büyük miktarda kaynak tüketirken aynı zamanda birçok çevre sorununu da beraberinde getirmiştir (Jiang et al., 2018). Birleşmiş Milletler Çevre Programına göre küresel enerjinin yüzde 40'ından fazlası binalar tarafından tüketilmekte ve küresel sera gazı üretiminin üçte biri binalar tarafından üretilmektedir (UNEP, 2009). Sürdürülebilirlik açısından inşaat sırasında gerekli özen gösterilmediğinde aşırı atık üretilmekte ve çevre kirliliği meydana gelmektedir (Zhang & Chen, 2015). Ayrıca binaların enerji tüketimi, bir binanın sadece inşaat aşamasında değil, işletme aşamasında da yaşam döngüsü üzerinde büyük bir çevresel etkiye sahiptir (Khasreen et al., 2009).

Yeni teknolojinin ve yeni malzemelerin ortaya çıkışıyla birlikte inşaat projeleri büyümekte ve giderek daha karmaşık hale gelmektedir. Bu, gelişen endüstrideki kaynakların korunmasının en üst düzeye çıkarılması, çevre üzerindeki olumsuz etkilerin azaltılması, enerji ve toprak tasarrufu, su ve çevrenin korunması, kalite yönetimi ve güvenlik konularında yatırımcı ve inşaat yönetimi personeli arasında bir fikir birliğine dönüşmektedir (Raouf & Al-Ghamdi, 2019). Ayrıca mimarlık, mühendislik ve inşaat sektörünün mevcut zorluklarından biri de doğal çevre, ekonomi, sağlık ve üretkenlik üzerinde önemli etkisi olan mevcut binaların sürdürülebilirliğini artırmaktır. Ticari ve konut binaları elektrik tüketiminin %72'sini, enerji kullanımının %39'unu ve karbondioksit emisyonlarının %38'ini oluşturmaktadır (USGBC, 2018). Bu sebeple mevcut binaların çoğu, enerji tüketimini ve karbon ayak izini azaltmak için büyük bir sürdürülebilirlik uyarlamasına ihtiyaç duymaktadır.

Sürdürülebilir kalkınma ihtiyacı ve karmaşık büyük yapıların artmasıyla birlikte yeşil bina kavramı giderek yaygınlaşmaktadır (Azhar, 2010; Berardi, 2012; Cole, 2002; Ding, 2008). Yeşil bina değerlendirmesi ise, yeşil bina hedefine başarılı

bir şekilde ulaşmak için vazgeçilmezdir. Bu nedenle 1998 yılından bu yana sürdürülebilirlik anlayışına temel oluşturmak amacıyla çeşitli yeşil bina derecelendirme sistemleri inşaat sektörüne kazandırılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Yeşil Bina Konseyi (U.S. Green Building Council - USGBC) tarafından sunulan Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik (Leadership in Energy and Environmental Design – LEED) derecelendirme sistemi, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki en popüler sürdürülebilirlik değerlendirme sistemlerinden biridir ve uluslararası alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (T. H. Nguyen et al., 2015). LEED sertifikası almak karmaşık, zorlu, pahalı ve zaman alıcı bir süreçtir. LEED derecelendirme sistemi gereklilikleri, bir projenin tasarım aşamasından uygulamaya kadar tüm aşamalarında sadece bir puanlama sistemiyle değil aynı zamanda uygun dokümantasyonla da ortaya konulmalıdır. LEED standartları, yeşil binaların gereksinimlerinin nasıl karşılanacağı konusunda bir kılavuz görevi görse de tasarımcılar genellikle standartlarda belirtilen tüm ayrıntılı kurallara uymanın sınırlı zaman faktörü ve karmaşıklığı ile mücadele etmektedir (Zhang & Chen, 2015). Özellikle proje büyük ve karmaşık olduğunda, sürdürülebilirlik performansının değerlendirilmesini gerektiren süreçte farklı gereksinimleri dengelemek zor olduğundan çeşitli kuralların göz ardı edilmesi kaçınılmazdır (Iwaro et al., 2014). Bunun yanında uzun vadeli sürdürülebilirlik performansının kontrol edilememesi nedeniyle planlanan faktörlere uyulup gerçek anlamda sürdürülebilir ve çevreye duyarlı binaların inşa edilmesi çoğunlukla mümkün olamamaktadır.

Gelişen bilgi teknolojileriyle birlikte bina inşaatı alanında da değişimler yaşanmaktadır. Yapı Bilgi Modellemesi (Building Information Modelling – BIM), mimarlık, mühendislik, inşaat ve tesis yönetimi endüstrisindeki en önemli yeniliklerden biridir. BIM, dijital bina tasarımı ve proje veri yönetiminde ihtiyaç duyulan süreç ve teknolojiye dayanan bir metodoloji olup, akademik ve endüstriyel alanlarda yeni bir Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design – CAD) paradigması olarak yayılmaktadır (Succar et al., 2007). Birlikte çalışabilirlik, entegrasyon ve iş birliği için önemli bir araç olarak kabul edilmektedir. BIM'in en büyük avantajı, 3 boyutlu geometriler gibi bina bilgilerinin tüm yönlerini dahil ederek dijital olarak oluşturulabilen akıllı, 3 boyutlu, sanal bir bina modeli

olmasıdır. Örneğin; maliyetler, bakım programları, malzemeler, yapısal veriler, mekanik, elektrik ve sıhhi tesisat sistemleri akıllı bir formatta belirtilebilir. Bunlara ek olarak; tasarım planına başlamadan önce, daha düşük risk ve artan değer ile optimize edilmiş bina çözümleri geliştirmek için kullanılabilir (Woo et al., 2010).

Hem BIM hem de yeşil binayı benimseyen şirketler, ikisi arasındaki sinerjiyi, yani yeşil BIM uygulamasını sürdürmek için bilinçli çaba göstermektedir. Proje ekipleri, yeşil BIM'in proje sonuçlarını iyileştirebileceği ve doğru uygulandığında belirlenmiş sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasını kolaylaştırabileceğini kabul etmektedir. Sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için BIM araçlarının kullanımını ifade eden yeşil BIM terimi, iki farklı eğilimin simbiyotik bir birleşimidir. BIM'in bilgi zenginliği ve parametrik modelleme kapasitesi, tasarım tercihlerinin bina performansını nasıl etkilediğine dair bilgi sağlar (Wu & Issa, 2013).

Chen ve Hsieh (2020), binaların sera gazı emisyonlarını otomatik olarak kontrol etmek için BIM'i kullanarak kurula dayalı bir yaklaşım geliştirmişlerdir (Chang & Hsieh, 2020). Planlama ve tasarım aşamasından başlayarak bina tasarımını değerlendirmek amacıyla BIM modeli üzerine LEED standartları yerleştirilerek daha iyi bir yeşil not alınması hedeflenmiştir (Zhang & Chen, 2015). Binaların çevresel performansını belirlemek için BIM'in bir alt kümesi olarak ortaya çıkan Bina Enerji Modellemesi (Building Energy Modelling - BEM), çeşitli simülasyon araçlarını kullanır (Reeves et al., 2012). Ayrıca BIM, farklı paydaşlar arasındaki iş birliğini güçlendirir ve yaşam döngüsü açısından sürdürülebilirliğin daha doğru bir şekilde değerlendirilmesini kolaylaştıran, bilgi açısından zengin bir veri tabanını hedefler. Böylelikle BIM, basit bilgileri depolamak yerine, bu basit bilgilere dayanarak farklı analizler yapabilen bir platforma dönüşmektedir (Motawa & Carter, 2013).

Amerika Birleşik Devletleri inşaat endüstrisindeki BIM uygulamalarında uzun süredir küresel bir liderdir (A. Wong et al., 2009). ABD Genel Hizmetler İdaresi (General Services Administration - GSA), BIM'in kamu projelerinde uygulanmasının önünü açmıştır. 2003 yılında GSA, Kamu Binaları Hizmeti (Public Building Services - PBS) ofisi ile ulusal bir 3B-4B-BIM programı oluşturmuştur. 2007 yılında ise tüm projelerde BIM kullanımını zorunlu hale getirilmiştir. Ayrıca

uluslararası kabul görmüş Ulusal BIM Standardını da içeren bir dizi yöntem ve standart geliştirilmiştir.

Avrupa Parlamentosu, Ocak 2014'te kamu ihale kurallarının modernleştirilmesi kararıyla BIM kullanımının yaygınlaştırılmasını hedeflemiştir. Avrupa Birliği Kamu İhale Direktifi'ne (European Union Public Procurement Directive - EUPPD) göre; 2016'dan itibaren Avrupa Birliği'nin 28 üye ülkesi, kamu tarafından finanse edilen inşaat projelerinde BIM'in kullanımını teşvik etmeli veya zorunlu kılmalıdır. Ayrıca Birleşik Krallık, Hollanda, Danimarka, Finlandiya ve Norveç, kamu tarafından finanse edilen inşaat projeleri için BIM'in kullanılmasını zorunlu kılmaktadır (Smith, 2014).

Dünya çapında BIM kullanımına yönelik artan teşvikler, yeşil bina ile BIM arasında ki simbiyotik ilişkinin geliştirilmesinde önemli faydalar sağlamaktadır. Bu teşvikler aynı zamanda binaların sürdürülebilirliğine ve enerji performansının artmasına da yol açmaktadır. Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yayınlanan Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği ve Binalar ile Yerleşmeler İçin Yeşil Sertifika Yönetmeliği bu alanda önemli adımlar atıldığının göstergesidir. Öte yandan Türkiye Cumhuriyeti'nin BIM kullanımını teşvik edecek herhangi bir hukuki kararı bulunmamakla birlikte bu alanda çalışmalar sürmektedir.

2. METODOLOJİ

Bu yazıda, yanlışlığı en aza indirmek ve araştırmayı daha kapsamlı ve tekrarlanabilir hale getirmek için Sistematik Literatür Taraması (Systematic Literature Review - SLR) protokolü uygulanmıştır. İlgili alanlardaki farklı çalışmaların incelenmesi, belirli bir konuya ilişkin kapsamlı bir genel bakış elde etmek için etkili bir yöntem olarak kabul edilmektedir (Mumtaz Abdul Hameed, 2012). Ayrıca Sistematik Literatür Taraması yönteminin kullanılması gelecekteki araştırmalardaki boşlukların doldurulmasına yardımcı olacaktır.

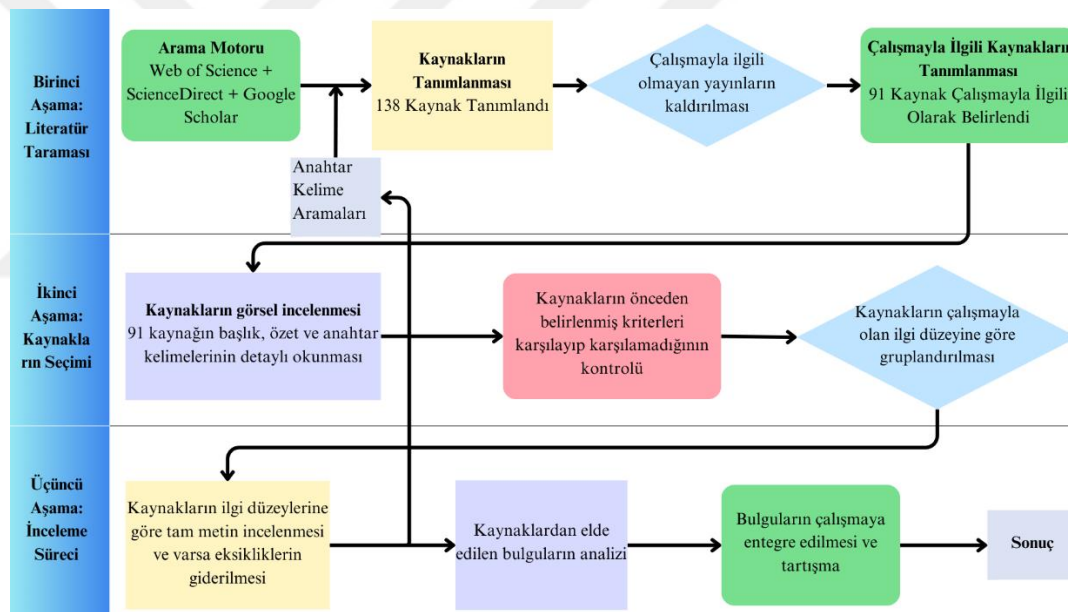
SLR, belirli araştırma sorularına yanıt vermek veya belirli araştırma hedeflerine ulaşmak için ilgili literatürün belirlenmesi, seçilmesi ve analiz edilmesine yönelik sistematik ve titiz bir süreci içerir. Süreç aşağıdaki adımları içerir:

1. Araştırma sorularının veya hedeflerinin belirlenmesi
2. İlgili veri tabanlarının ve arama terimlerinin seçimi
3. Kapsamlı bir literatür taraması yapılması
4. Makalelerin önceden tanımlanmış dahil etme ve hariç tutma kriterlerine göre taranması
5. Seçilen çalışmaların detaylı incelemesi ve gruplandırılması
6. Edinilen bilgilerin analizi
7. Bulguların entegrasyonu ve tartışma
8. Sonuç

Öncelikle bu çalışmanın ana kapsamını yeşil binalarda BIM kullanımı ve yeşil bina değerlendirme süreci oluşturmaktadır. İkincil kapsam ise dünyada yeşil bina uygulaması ve BIM kullanımındaki eğilimlerin incelenmesi olup, Türkiye Cumhuriyeti devletinin bu alanda attığı adımların incelenmesi ve atılması gereken adımların vurgulanması olarak hedeflenmiştir. Bu kapsamların dışına çıkmamak adına karşılaştırmalar dışında BIM içermeyen yeşil binaların incelemelerine yer verilmeyecektir. Türetilmiş programların ve bu kapsamı destekleyen sistemlerin incelemeleri dahil edilecektir. Edinilen kaynakların kalitesinin analizi için Adnan

Menderes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Gözde Başak Öztürk Özeray'dan destek alınmıştır.

Bu çalışmanın kapsamına özel anahtar kelimeler kullanılarak bir arama stratejisi geliştirilmiş ve literatür taramasının yapıldığı veri tabanları seçilmiştir. Seçilen veri tabanlarında aşamalı olarak literatür taraması yapılmış ve elde edilen kaynaklar kayıt altına alınmıştır. Kaydedilen kaynaklar öncelikle özet kısımları incelenerek analiz edilmiş, kapsam dışı olanlar elenmiştir. Geriye kalan kaynaklar ise kapsam itibarıyla birincil, ikincil ve üçüncül yararlanılacaklar olarak gruplandırılmıştır. Daha sonra elde edilen kaynakların tam metin analizi yapılarak kaynakların kalitesi analiz edilmiştir. Araştırma ve inceleme metodolojisi aşağıda şematize edilmiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Metodoloji şeması

Tam metin incelemelerinin ardından, çalışmanın ana ve alt başlıkları belirlenmiştir. Belirlenen başlıkların içeriklerinin oluşturulması ve/veya desteklenmesi için başta birincil kaynaklar olmak üzere kaynakların başlık konusuyla ilgili spesifik kısımları ayrı bir yerde toplanmıştır. Toplanan bu kısımlardan faydalanılarak ilgili içerikler oluşturulmuştur.

3. YEŞİL BİNALAR:

Yeşil binalar kısaca sürdürülebilir, ekolojik, yeşil ve çevre dostu gibi pek çok isimle anılan, doğayla uyumlu yapılar olarak anılabilir. Yeşil binalara 19. yüzyılın sonlarından beri önem verilmektedir (Cassidy, 2003). Arsa seçiminden başlayarak yaşam döngüsü içerisinde değerlendirilen, sosyal ve çevresel sorumluluk yaklaşımıyla bütünsel anlamda tasarlanan yapılardır. Yeşil binaların, inşa edileceği bölgenin iklim verilerine ve o bölgeye özgü koşullara göre inşa edilmesi gerekmektedir. Bunların yanı sıra yeşil binalar; ihtiyaç duyduğu kadar enerji tüketen, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelen, kaynakları olabildiğince verimli kullanmayı hedefleyen ve bu amaçla yeni teknolojilere açık yapılardır.

Ayrıca sürdürülebilir mimarlık ve inşaat uygulamaları alanında yenilenebilir kaynakları kullanarak enerji verimliliğini ön planda tutan binaların bulunduğunu da belirtmekte fayda vardır. Çevreye duyarlı bu yapılar, sürdürülebilirliği teşvik eden yeni teknolojileri benimserken kaynak kullanımını optimize etmeye çalışmaktadır (Cao et al., 2022).

3.1 Yeşil Bina Yönetmelikleri:

İnşaat sektöründe çevresel sürdürülebilirlik ve enerji verimliliğinin öneminin artmasıyla birlikte birçok ülke, sürdürülebilir yapıları çevrelerin gelişimini teşvik etmek ve binaların çevresel etkilerini azaltmak amacıyla yeşil bina düzenlemelerini yürürlüğe koymuştur (Likhitruangsilp et al., 2012). Bu düzenlemeler, binaların "yeşil" veya çevre dostu olarak değerlendirilmesi için karşılaması gereken kriterleri ve standartları özetlemektedir. Bunlar genellikle enerji verimliliği, su tasarrufu, atık yönetimi ve iç mekân hava kalitesine ilişkin yönergeleri içermektedir. Bu düzenlemelerin amacı inşaat sektöründe sürdürülebilir uygulamaların benimsenmesini ve uygulanmasını teşvik etmektir.

3.1.1 Avrupa Birliği Yeşil Bina Direktifi:

Avrupa Birliği Yeşil Bina Direktifi, binalarda enerji performansının iyileştirilmesini teşvik etmek ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmak için bir çerçeve ortaya koymaktadır. Direktif, üye devletlerin yeni binalar

ve büyük yenilemeler için minimum enerji performansı gereksinimlerinin yanı sıra binaların genel enerji verimliliğini ve sürdürülebilirliğini değerlendirmek için bir sertifikasyon sistemi oluşturmasını gerektirir. (DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, 2021)

Ek olarak, direktif kılavuzu, maliyetleri bölmek veya geri kazanmak için kuralların oluşturulması, ihtiyacı olanların finansman araçlarına erişiminin sağlanması ve kiralık mülkler için minimum enerji performansı standartlarının getirilmesi gibi uygun maliyetli eylemlerin önemini tartışmaktadır (Fabbri et al., 2020). Amaç, binaların yenilenmesini teşvik etmek ve genel enerji verimliliğini artırmaktır.

3.1.2 Birleşik Krallık Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği:

Avrupa Parlamentosu'nun direktiflerini uygulamayı amaçlayan İngiltere ve Galler'deki Binalarda Enerji Performansı Düzenlemeleri, binalarda enerji performansına ilişkin gereksinimleri özetlemektedir. Bu düzenlemelerde, enerji kimlik belgelerinin büyük kamu binalarında sergilenmesine ve iklimlendirme sistemlerinin düzenli denetimlerine ilişkin hükümler yer almaktadır. Bunlar, 2007'de oluşturulan önceki yasal yönergelerin bir uzantısı ve güncellemesi olarak hizmet vermektedir.

Bu yönetmelik binaların enerji performansının değerlendirilmesi ve raporlanmasına yönelik yapılandırılmış bir sistem oluşturmaktadır. Bu sistemin temel bileşenleri, 2012 yılında yayınlanan ve 2013 yılında yürürlüğe giren yönetmeliğin kapsamında uygulamaya konulan Enerji Performans Sertifikaları ve Görüntülü Enerji Sertifikalarıdır. Bir binanın inşa edilmesi, satılması veya kiralanması sırasında gerekli olan Enerji Performans Sertifikası, bir binaya enerji verimliliği derecesi atamaktadır. A'dan (veya konut dışı binalar için A+) G'ye kadar değişen değerler ve enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik öneriler vermektedir. Bu sertifikalar potansiyel alıcılara veya kiracılara ücretsiz olarak sağlanmaktadır. Sertifikalar, özellikle kamu yetkilileri tarafından kullanılanlar olmak üzere, halk tarafından düzenli olarak ziyaret edilen daha büyük binalar için zorunludur (UK Secretary of State, 2022).

Daha önce Görüntülü Enerji Sertifikası yalnızca 1.000 metrekareden büyük binalar için gerekli görülmekteydi. Ancak bu gereklilik 250 metrekarenin üzerindeki binaları da kapsayacak şekilde değiştirilmiştir. Bu sertifikalar, tavsiye raporlarıyla birlikte sırasıyla 12 ay ve 10 yıl süreyle geçerlidir. Bu değerlendirmelerin temel amacı bina sahiplerine binalarının enerji verimliliğini artıracak pratik öneriler sunmaktır (Ministry of Housing, Communities and Local Government, 2020).

3.1.3 ABD Uluslararası Yeşil İnşaat Kodu (International Green Construction Code – IgCC):

Bu yönetmelik, bina inşaatında sürdürülebilirliği teşvik etmeyi amaçlayan sağlam bir dizi talimatı uygulamaktadır. Yönetmelik hem öngörülen önlemleri hem de performansa dayalı kriterleri dikkate alarak bina sistemleri ve saha planlaması gibi çeşitli hususlara ilişkin minimum gereklilikleri belirlemektedir. Yönetmelik, enerji tasarrufu, yangın güvenliği, ısı tesisatı, imar ve daha fazlasını içeren çok çeşitli hususları kapsayan, Uluslararası Yasa Konseyi tarafından onaylanmış ve uluslararası yasalarla uyumludur.

Yönetmelik, Amerikan Mimarlar Enstitüsü (American Institute of Architects – AIA), USGBC, Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers – ASHRAE) ve Kuzey Amerika Aydınlatıcı Mühendislik Topluluğu (Illuminating Engineering Society of North America – IESNA) gibi saygın kuruluşlarla iş birliği içinde formüle edilmiştir. Amacı uygulanabilir, pratik ve esnek yeşil düzenlemeler oluşturmaktır (*International Green Construction Code (IgCC) - ICC*, 2023).

Bu Uluslararası Yeşil İnşaat Kodu da dahil olmak üzere i-Kodlar hem kamu hem de özel performans zorunlu uyumluluk gerekliliklerinin ötesinde daha geniş uygulamalara sahiptir. Sürdürülebilirlik girişimlerini ilerletmenin, enerji verimliliği kısıtlamalarını teşvik eden üyeleri ve gönüllü programları aracılığıyla afetlere karşı dayanıklılığın artırılmasının bir aracı olarak hizmet vermektedir (Mason, 2011).

Ayrıca sigorta şirketleri ile ilgili potansiyel risklerin değerlendirilmesi ve yönetilmesi için araçlar olarak da hizmet vermektedirler.

3.1.4 Türkiye Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği:

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, Avrupa Birliği'nin (AB) Binalarda Enerji Performansı Direktifi esas alınarak hazırlanmış ve resmî gazetede yayımlandıktan bir yıl sonra 2009 yılında uygulamaya konulmuştur. 2010 ve 2011 yıllarında önemli ölçüde yenilenmiştir. Revizyonlarla birlikte yeni binalar için Enerji Kimlik Belgesi uygulamasına 01.01.2011 tarihinden itibaren başlanmıştır. Yeni binaların yanı sıra mevcut binaları da kapsayan düzenleme, binalarda ısıtmanın yanı sıra soğutma, havalandırma, aydınlatma, sıcak su temini gibi enerji kullanım alanları ve sistemlerinin verimliliklerini de dikkate almaya başlamıştır. Bu yönetmeliğe göre binaların enerji performansları, enerji tüketimi ve sera gazı emisyonları açısından "A" ve "G" sınıfları arasında etiketlenerek belgelenmeye başlanmıştır. Ayrıca 2017 yılı sonuna kadar mevcut binaların enerji performanslarının iyileştirilmesi, enerji kimlik belgelerinin oluşturulması ve tüm binaların enerji tüketimi ve sera gazı emisyonları açısından etiketlenmesi planlanmıştır.

2017 yılında yürürlüğe giren Bina ve Yerleşimler Yeşil Sertifika Yönetmeliği (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022), yeşil bina ve yerleşimlere ilişkin değerlendirme kriterlerini ve sertifikasyon sistemlerini belirlemektedir. Yönetmelikte ayrıca yeşil sertifikaya ilişkin usul ve esaslar ile yeşil sertifika değerlendirme uzmanları ve eğitim kurumlarının nitelikleri de yer almaktadır.

4. YEŞİL BİNA DEĞERLENDİRME SİSTEMLERİ:

19. yüzyılın başlarında sanayi ürünleri ve gıdanın “güvenli” olarak kayıt altına alınması zorunluluğu getirilmiştir. Bu nedenle yasal sistemler, üreticilerin belirli standartlara uyması gerektiğini ve bu standartları karşıladıklarını kanıtlamak için sertifikasyon sistemlerini kullanmaları gerektiğini belirtmiş ve etiket kullanımına başlanmıştır (Çetik, 2014). Daha sonra çevre sorunları ve küresel enerji krizleri nedeniyle ürünlerin enerji verimliliğini veya diğer ekolojik özelliklerini gösteren sertifikasyon sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde yapı sektöründe ürün güvenliği, enerji verimliliği gibi çeşitli sertifikaların alınmasına yönelik talep giderek artmaktadır. Bazı sertifikalar zorunlu olsa da diğerleri isteğe bağlıdır ancak şiddetle tavsiye edilir.

Dünya çapında sürdürülebilirlik konusunda çalışan çeşitli yeşil bina konseylerinin deneyimlerine göre, binalara yeşil sertifika verilmesinin, yeşil binaların yaygınlaşmasında önemli bir etkiye sahiptir (Kauskale et al., 2016). Bu sertifikalar, binaların sürdürülebilirlik, enerji verimliliği, çevresel etki gibi birçok alanda belirli standartlar dahilinde kayıt altına alınmasına olanak tanımaktadır. Bu standartlar aynı zamanda yeşil bina tasarlamak isteyen mimar ve mühendislere de yol gösterici niteliktedir. Ayrıca şirketler çevreye karşı sorumluluklarını yerine getirdiklerini kamuoyuyla paylaşmak için yeşil sertifikalı projeler yürüterek prestij kazanmaktadır.

Dünya çapında birçok kuruluş, binaların enerji performansı gibi sürdürülebilir kalkınmanın farklı alanlarına odaklanan yeşil bina değerlendirme sistemleri geliştirmiştir. İnşaat sektörüne doksanlı yıllardan bu yana tanıtılan ve mimarlık, mühendislik ve inşaat sektörü ile paydaşları tarafından kullanılan yeşil bina değerlendirme sistemlerinden bazıları aşağıda Tablo 3.1’de sıralanmıştır (Jiang et al., 2018; T. H. Nguyen et al., 2015).

Tablo 3.1 Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemleri

İsim	Organizasyon	Ülke	Yıl
LEED	USGBC	ABD	1998
BREEAM	BRE	Birleşik Krallık	1990
DGNB	GSBC	Almanya	2007
SBTool	iiSBE	Kanada	2007
CASBEE	JSBC	Japonya	2001
Green Star	GBCA	Avustralya	2003

4.1 LEED sertifikası:

ABD'de 1998 yılında başlayan LEED Sertifikası süreci USGBC tarafından oluşturulmuştur. Bu sertifikasyon sürecinin oluşturulma nedeni, enerji verimli ve çevre hassasiyetli tasarımlara öncülük ederek sürdürülebilir sistemler ve standartlar oluşturmaktır (*LEED Rating System | U.S. Green Building Council, 2023*).

LEED Sertifikası dünyada ve Türkiye'de en çok tercih edilen çevreye duyarlı bina sertifikasyonudur. LEED Sertifika Sisteminin farklı değerlendirme sistemleri ile her türlü yapı için LEED Sertifikası alınabilmektedir. LEED AP (LEED Akredite Profesyoneli) tarafından yapılan değerlendirmeye göre binalara dört seviyeden birinde LEED Sertifikası verilebilir: sertifikalı, gümüş, altın ve platin. Bu sertifika seviyeleri, puanlama sürecinde değerlendirilen çeşitli özellik ve kriterlere göre belirlenmektedir.

Bir binanın her kategoride aldığı puanları belirlemek için; sertifika başvurusunda bulunan binalar, LEED metodolojisi veya ASHRAE / ANSI / IESNA tarafından belirlenen teorik altyapı veya daha katı hükümlere sahip yerel yasalarla karşılaştırılmaktadır. Başvuru inceleme ve sertifikasyon süreci, proje ekipleri ile Yeşil Bina Sertifikasyonu Anonim Şirketi (Green Building Certification Inc - GBCI) denetçileri arasındaki yazışma ve iletişimi sağlayan web tabanlı LEED Online üzerinden gerçekleştirilmektedir. Sertifika yalnızca projenin LEED gerekliliklerinin üçüncü taraf onayından sorumlu olan GBCI tarafından verilebilmektedir.

4.1.1 LEED sertifikası puanlaması:

LEED sertifikasyon süreci, bir binanın sürdürülebilir alan, su verimliliği, enerji ve atmosfer, malzeme ve kaynaklar, iç mekân hava kalitesi ve tasarımdaki yenilik dahil olmak üzere çeşitli kategorilere göre puanlanmasını içermektedir (Zargar et al., 2019). LEED v4 Yeni İnşaat kategorileri ve puanlaması aşağıda sıralanmıştır (USGBC, 2018):

Konum ve Ulaşım- 16 Puan:

Lokasyon ve Ulaşım kategorisi, LEED versiyon 4 ile yeni oluşturulmuş bir LEED Sertifika kategorisidir. Lokasyon ve Ulaşım kategorisinin temel amacı, insanların ulaşımı sonucu ortaya çıkan sera gazı miktarının (karbon ayak izi) azaltılmasıdır. Bina doğal kaynaklar veya hasat edilmiş arazi üzerine yapılmamışsa arsa konumu sosyal hayata yakın olmalıdır. Bu LEED Sertifikası kategorisi, bina çevresindeki konut yoğunluğu, binanın su kaynaklarına uzaklığı, binanın toplu taşımaya olan konumu, bina içindeki bisiklet park alanları, yeşil otopark ve şarj istasyonları gibi LEED kredilerinden oluşmaktadır.

Sürdürülebilir çevre- 10 Puan:

Yeşil bina projeleri sürdürülebilir çevre koşullarını ihlal etmemelidir. LEED sertifikası inşaattan kaynaklanan kirliliğin önlenmesi ve inşaat aşamasında toprak erozyonunun önlenmesi için ön koşul olarak kabul edilmiştir. Saha yeşillendirmesi ve açık alanlar, dış aydınlatmanın ışık kirliliği, proje alanına düşen yağmur suyunun değerlendirilmesi ve ısı adası etkilerinin azaltılması sürdürülebilir çevre kategorisinin kriterleri arasında yer almaktadır.

Su verimliliği- 11 Puan:

Su kullanımı günümüzün küresel sorunlarından biridir. LEED Sertifikası kriterlerinde evsel su miktarının azaltılması ve suyun geri dönüştürülmesi çok önemli bir faktördür. Arıtma ve atıksuya dönüştürülerek suyun kullanımı mümkün olduğu kadar artırılmalıdır. LEED Sertifikası projelerinde bölgenin coğrafyası ve

iklim koşulları dikkate alınmalı ve peyzaj düzenlemelerinden mümkün olduğunca az yararlanılmalıdır.

Enerji ve atmosfer- 33 Puan:

LEED sertifikasyon sürecinin en önemli kriteri ve en çok puan alan kategori enerji ve atmosfer kategorileridir. LEED Sertifikası almayı hedefleyen binalar enerji tüketiminde en ileri teknoloji ilkesiyle hareket etmeli ve atmosferi etkilememelidir.

Binanın ısıtma-soğutma ve havalandırma sistemleri enerji verimli sistemlerden seçilmelidir. Duvarlar ve pencereler gibi bina bileşenlerinin, yüksek yalıtımlı malzemeler içeren yapı malzemeleri seçilerek ASHRAE Standardı 90.1 2010'da verilen standart binadan daha verimli bir şekilde inşa edilmesi beklenmektedir. Bu hesaplamaların enerji modellemesi ile yapılması ve raporlanması gerekmektedir. İklim değişikliği etkisi düşük soğutucu akışkan kullanımı ve yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi gibi kriterlerin odaklandığı bu kategori, binanın karbon ayak izi sıfırlamasında da 2 puan elde edilebilmektedir.

Malzemeler ve kaynaklar- 13 Puan:

Hammadde temini, yapı malzemelerinin üretimi ve taşınması sırasında çeşitli çevresel etkiler meydana gelmekte ve doğaya zarar verilmektedir. LEED Sertifikasına göre çevreye ve kaynaklara zarar verilmemelidir. Ayrıca LEED Sertifikasında yer alan malzemelerin bir binanın ömrünün bitiminden sonra başka bir binada mevcut olması veya malzemenin yeniden değerlendirilebilecek durumda olması gerekmektedir. Bu kategoride yerli malzeme ve enerji performans sertifikalı malzeme kullanılarak daha yüksek puanlar alınabilmektedir. LEED Sertifikası ve LEED Sertifika kriterleri ile birlikte bina yaşam döngüsünün değerlendirilmesi projeye ekstra 3 puan kazandırabilmektedir.

İç Mekan Çevre Kalitesi - 16 Puan:

LEED Sertifikası kriterleri yeşil binalarda yaşayan insanların hayatlarını kolaylaştıracak faaliyetleri de dikkate almaktadır. İç ortam kalitesi kriterleri

arasında iç ortamdaki kirliliğin veya kirlilik kaynaklarının azaltılması, yaşam standartlarının yükseltilmesi, radyoaktif cihazların kullanılmaması, evlerin kontrol edilebilirliğinin sağlanması, sağlıklı iç mekan malzemeleri kullanılması ve insanlara sosyal yaşam ilişkisi vaat eden ortamlar yaratılması yer almaktadır. Bunun dışında mekanlara sağlanacak minimum temiz hava miktarının LEED Sertifikası gereği mekanik havalandırma ile kontrol edilmesi, filtrelerin kontrol edilmesi, sigara içilmesinin ve mekanda tehlikeli emisyon oluşturabilecek her türlü faaliyetin yasaklanması gerekmektedir.

Yenilik ve Bölgesel Öncelik - 10 Puan:

LEED Sertifikasında 110 kredide 100 kredi gerekliliği açıkça tanımlanmıştır. Geriye kalan 10 kredi Yenilik, Örnek Performans ve Bölgesel Önceliğe dayanmaktadır. LEED Sertifikasında toplam 6 puan aşağıdaki kategorilerden alınabilmektedir:

LEED Proje Kütüphanesi'nde verilen İnovasyon Kataloğundaki kredilerden 1-3 puan, LEED Proje Kütüphanesi'nde verilen Pilot Kredi Kütüphanesi'ndeki kredilerden 1-3 puan, LEED Örnek Performans kredilerinden 1-2 puan alınabilir.

Bölgesel Öncelik kategorisinden 4 puan olmak üzere projenin lokasyonuna bağlı olarak LEED Bölgesel Öncelik listesinde yer alan LEED Sertifikası kriterleri ve diğer LEED kategorileri esas alınmaktadır.

Bütünleştirici Süreç - 1 Puan:

LEED sertifikasyon sistemindeki Bütünleştirici Süreç kategorisi, tasarım ve inşaatla işbirlikçi, bütünleştirici bir yaklaşım sergileyen projelere fazladan 1 puan dahan verir.

4.1.2 LEED dokümantasyonu:

Sertifikasyon sürecinin işleyişi aşağıda gösterilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. LEED sertifikasyon süreci (LEED Rating System | U.S. Green Building Council, 2023)

USGBC, proje ekiplerinden projenin gerekli LEED kredilerini sağladığını kanıtlamak için yeterli sayıda belge sunmalarını talep etmektedir. İki ana belge türü vardır. Bunlara LEED Online şablonları ve ek teslim belgeleri adı verilir.

USGBC tarafından oluşturulan LEED Online şablonu, Adobe LifeCycle kullanılarak dinamik bir Taşınabilir Belge Formatı (PDF) belgesidir. Başvurulan LEED kredileri için proje ekiplerinin varsayılan bilgileri doldurması gerekmektedir. Ancak ek teslim belgeleri isteğe bağlıdır. Bu belge ile proje ekipleri şanslarını artırmayı ve gerekli gördükleri sorunları çözmek için kullanmayı amaçlamaktadır (Bayraktar & Owens, 2010).

Geleneksel proje teslim modeliyle LEED belgelerinin hazırlanması, bu modeldeki bilgi yönetiminin karmaşıklığı nedeniyle oldukça zordur. Merkezi bir bilgi kaynağının bulunmaması, proje üyelerinin veri toplama ve belge hazırlama sürecinde kendi başlarına hareket etmelerine neden olmaktadır. Dolayısıyla projeler geliştikçe ve karmaşıklaştıkça bilgi alışverişinin yoğunluğu LEED belgelerinin hazırlanmasını olumsuz etkilemektedir. Bu zorluklar nedeniyle bilgilerin hatalı olması veya bilgi kaybı yaşanması muhtemeldir. Bu nedenle hazırlanacak belgelerde hatalar veya eksiklikler meydana gelebilmektedir.

4.2 BREEAM sertifikası

Bir diğer önemli yeşil bina sertifikası ise Bina Araştırma Kuruluşu Çevresel Değerlendirme Yöntemi (Building Research Establishment Environmental Assessment Method- BREEAM)'dir. 1990 yılında başlatılan BREEAM, binaların çevresel performansını değerlendirmeye ve iyileştirmeye odaklanan, yaygın olarak tanınan ve saygın bir yeşil bina sertifikasıdır. BREEAM, enerji verimliliği, su yönetimi, atık yönetimi ve malzeme seçimi de dahil olmak üzere bina sürdürülebilirliğinin çeşitli yönlerini ele alır. BREEAM sertifikası, ulaşıldığında belirli bir kıyaslama notuna yönelik puanlarla ile sonuçlanan hedefler belirleyerek binalar için net bir sonuç sağlar (Helseth & Haskins, 2022).

BREEAM'e göre değerlendirme üç bölümde gerçekleşir: inşaat aşaması, işletme aşaması ve söküm aşaması. Farklı kategorileri temsil eden yaklaşık 180 kriter içerir. LEED gibi BREEAM de sürdürülebilirliğin enerji ve malzeme gibi çevresel yönlerini vurgulamaktadır. Ancak sürdürülebilirlik puanlaması açısından LEED'den farklıdır çünkü nihai puanı belirli bir katsayıya göre belirlerken, LEED'de krediler basitçe nihai puana eklenir. BREEAM, genel değerlendirme puanına katkıda bulunan, farklı ağırlıklara sahip bir dizi göstergeye sahiptir. Bu ağırlıklar, "Görsel Konfor" gibi belirli kategorilerdeki perakende satış binaları için ayarlanmıştır ve kullanıma özel yönergeler, gün ışığı faktörleri ve perakende binalarına özel soğutucu yönetimi gerekliliklerini içerir.

BREEAM sertifikasyon seviyeleri Geçti (%30'un üzerinde), İyi (%45'in üzerinde), Çok İyi (%55'in üzerinde), Mükemmel (%70'in üzerinde) ve Olağanüstü (%85'in üzerinde) şeklindedir. Bu çerçeve, işletmelerin çevresel performanslarını iyileştirmelerine, doğal kaynak tüketimini azaltmalarına ve binalarının sürdürülebilirliği konusunda bilinçli kararlar almalarına yardımcı olabilir. BREEAM, sertifikasyon sırasında bir binanın yaşam döngüsünü dikkate alır ancak sonuçların, ekonomik olarak elde edilen kaliteden ziyade diğer ekolojik kalite hususlarıyla karşılaştırıldığında genel değerlendirme üzerinde yalnızca küçük bir etkisi vardır.

4.2.1 BREEAM sertifikası puanlaması:

BREEAM sertifikasyon puanlaması, farklı kriterlerin ve kategorilerin ağırlıklandırıldığı bir puan sistemine dayanmaktadır. Bu ağırlıklar genel değerlendirme puanına katkıda bulunur ve kazanılan puanların yüzdesine göre farklı sertifika seviyeleri elde edilir. BREEAM 2018 New Construction ana kategorileri ve ağırlık puanları aşağıda sıralanmıştır (*BREEAM Non Domestic Buildings Technical Manual*, 2018):

Yönetim - %11:

Bu kategori, bir binanın işletimi boyunca sağlam sürdürülebilirlik hedeflerinin belirlenmesini ve takip edilmesini sağlamak için sürdürülebilir yönetim uygulamalarının benimsenmesini teşvik eder. Bir binanın yaşam döngüsünün başından sonuna kadar sürdürülebilirlik eylemlerinin yerleştirilmesine odaklanır.

Arazi kullanımı ve ekoloji - %13:

Bu kategori, sürdürülebilir arazi kullanımını, habitatın korunmasını ve binanın sahasındaki ve çevresindeki arazideki biyolojik çeşitliliğin korunmasını içerir. Bu, kahverengi alanların yeniden kullanımı, ekolojinin geliştirilmesi ve uzun vadeli biyolojik çeşitlilik yönetimi ile ilgilidir.

Ulaşım - %10:

Bu kategori, bina sakinlerinin sürdürülebilir ulaşım araçlarına erişiminin kolaylaştırılmasını teşvik eder. Toplu taşımanın erişilebilirliğine ve bisiklet yolları gibi diğer alternatif ulaşım çözümlerine odaklanır, böylece araba yolculuklarında azalma sağlanarak trafik sıkışıklığı ortadan kalkar ve binanın ömrü boyunca karbon emisyonları sınırlanır.

Kirlilik - %8:

Bu kategori bir binanın neden olduğu kirliliğin önlenmesi ve kontrolüne yöneliktir. Bir binanın, ışık kirliliği, gürültü kirliliği, su baskını gibi etkenlerle komşu topluluklar ve çevreler üzerindeki etkisini azaltmayı amaçlamaktadır.

Enerji - %16:

Bu kategori, bir binanın inşasında ve işletilmesinde enerjinin sürdürülebilir kullanımını destekleyen enerji verimli bina çözümlerinin spesifikasyonunu ve tasarımını teşvik eder. Binanın doğal enerji verimliliğini artırmaya, karbon emisyonlarının azaltılmasını teşvik etmeye ve binanın işletme aşamasında verimli bir yönetimi desteklemeye yönelik önlemlerin değerlendirilmesini içerir.

Su - %7:

Bu kategori, bir binanın inşaatı ve işletmesi sırasında suyun verimli ve sürdürülebilir kullanımıyla ilgilidir. Bir binanın yaşam döngüsü boyunca içme suyu tüketimini (iç ve dış) azaltmanın ve sızıntı nedeniyle su kaybını en aza indirmenin yollarını belirlemeye odaklanır.

Malzemeler - %15:

Bu kategori, malzemelerin sorumlu bir şekilde tedarik edildiğini ve çıkarma, işleme, üretim ve geri dönüşüm de dahil olmak üzere kullanım ömrü üzerinde düşük somut etkiye sahip olduğunu dikkate alır. Tasarım, inşaat, bakım ve onarım yoluyla inşaat malzemelerinin etkisini azaltmayı amaçlamaktadır.

Atık - %6:

Bu kategori, bir binayla ilgili inşaat ve işletme atıklarının sürdürülebilir yönetimi ve mümkünse yeniden kullanılmasıyla ilgilidir. İyi tasarım ve inşaat uygulamalarını teşvik ederek, inşaat sırasındaki atığı azaltmayı ve aynı zamanda gelecekteki atıkları azaltmaya yönelik tedbirleri tanımayı amaçlamaktadır.

Sağlık ve refah - %14:

Bu kategori, bina sakinlerinin, ziyaretçilerin ve yakın çevredeki diğer kişilerin konforunu, sağlığını ve refahını artırmayı amaçlar. Bina sakinleri için sağlıklı ve güvenli bir iç ve dış çevreyi teşvik eden faktörleri tanımlayarak binalardaki yaşam kalitesini arttırmayı amaçlamaktadır.

Yenilik - %10:

Bu kategori, kredi kriterlerinin gerekliliklerine dahil olmayan veya bunların ötesine geçmeyen örnek performans ve yeniliklerin tanınmasına yönelik fırsatlar sağlar. Aynı zamanda BREGlobal tarafından onaylandığında yenilikçi kredi talep edilebilecek yenilikçi ürünleri ve süreçleri de içerir.

4.2.2 BREEAM dokümantasyonu

BREEAM sertifikasını almak için ilk adım, ilgili BREEAM standardının tanımlanmasını ve projeyi değerlendirme için kaydetmek üzere sertifikalı bir BREEAM Değerlendiricisinin atanmasını içerir. Daha sonra değerlendiricinin rehberliğinde ön değerlendirmeye tabi tutulur ve değerlendirme devam ederken gerekli tüm proje detayları sunulur. Değerlendirici, inceleme için belgelendirme kuruluşuna iletmeden önce bilgiyi uygunluk açısından değerlendirir. Yetkilendirme sonrasında resmi BREEAM sertifikası alınır.

BREEAM, sertifikasyon kriterlerine uygunluğun gösterilmesi için ayrıntılı belgelerin sunulmasını zorunlu kılar. Bu, tasarım seçimlerinin, hesaplamaların, çizimlerin, fotoğrafların ve diğer gerekli sertifikasyonların kanıtlarını kapsar. Bu bilgilerin, sertifikasyon standartlarına bağlılık sürecini sergilemek için yeterli ayrıntıya sahip olması, belgelendirme işleminin doğrulanması için hayati öneme sahiptir. Bu, sürecin doğrulanması ve değerlendirilmesi için gerekli olan tasarım seçimlerinin, hesaplamaların, şemaların, görüntülerin ve diğer ilgili ayrıntıların kanıtlarını içerir.

BREEAM değerlendirmesi, binanın tasarımı, inşaatı ve işletme aşamaları sırasında çeşitli çevre, konfor ve sağlık göstergelerine uygunluğu doğrulayan

kanıtların izlenmesini, belgelenmesini ve sunulmasını kapsamaktadır. Dokümantasyon süreci, bina elemanlarının, malzemelerinin ve sistemlerinin teknik ayrıntılarının yanı sıra bina yönetiminde uygulanan politika ve prosedürleri de kapsayacak şekilde karmaşık olabilmektedir (Schweber, 2013).

4.3 DGNB sertifikası

Alman Sürdürülebilir Bina Topluluğu (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB) sertifikası, sürdürülebilir binalara yönelik bir Alman sertifikasyon sistemidir. DGNB, sosyal, ekonomik ve çevresel boyutları eşit derecede dikkate alarak, üçlü kârlılık yaklaşımını yansıtır ve sürdürülebilirliğe dengeli bir yaklaşım benimser. Bu, sürdürülebilirliğin çevresel yönlerine daha güçlü odaklanan BREEAM ve LEED'den farklıdır (Ferreira et al., 2023).

DGNB'ye özgü olan, LEED veya BREEAM'de görülmeyen “Sosyokültürel ve Fonksiyonel Kalite” ve “Teknik Kalite” gibi belirli kategoriler bulunmaktadır. Bu, yalnızca çevresel faktörleri değil aynı zamanda sosyokültürel etkiler, işlevsel yönler ve inşaatın teknik kalitesi gibi konuları da dikkate alarak DGNB'nin kapsamlı doğasını ortaya koymaktadır.

DGNB, perakende binalara yönelik iç mekân hava kalitesi, görsel konfor, kullanıcı kontrolü, tasarımın uyarlanabilirliği ve ticari uygulanabilirlik gibi çeşitli spesifik göstergeleri kapsamaktadır. Aynı zamanda daha önce bahsedilen sertifikalar arasında su talebinin hesaplanmasında müşterilerin rolünü özel olarak dikkate alan tek sertifikadır; bu da perakende binaların sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesine yönelik bütünsel yaklaşımın göstergesidir.

Puanlama ve sertifikalandırma açısından DGNB, Bronz (puanın %35'inden fazlasını elde etmek için), Gümüş (%50'nin üzerinde), Altın (%65'in üzerinde) ve Platin (%80'in üzerinde) arasında değişen sertifika seviyeleri tanımlanmıştır. Ayrıca, %85'i aşan puanlara yenilikçilik seviyesi verilir. Özellikle DGNB, bir binanın sertifikasyon alabilmesi için tüm kriterlerin karşılanmasını şart koşmaktadır. DGNB, sıkı ve kapsamlı standartlar belirleyerek, sürdürülebilirliğin

her boyutunu dikkate alan, belirli bölgesel ve kültürel yönleri de hesaba katan sürdürülebilir inşaatları teşvik etmektedir.

4.3.1 DGNB sertifikası puanlaması:

DGNB Sistemi, değerlendirmede eşit ağırlıkta olan ekoloji, ekonomi ve sosyo-kültürel kalite olmak üzere üç merkezi sürdürülebilirlik alanını temel almaktadır. DGNB Sistemi, bütünsel bir yaklaşımla lokasyonun yanı sıra teknik ve süreç kalitesini de değerlendirmektedir. Bu niteliklerdeki performans, sertifikasyon kriterleri aracılığıyla değerlendirilebilir. Bunlar farklı planlara ayrı ayrı uyarlanarak yeni binalara, mevcut binalara, tadilatlar ve kullanımda olan binalara uygulanabilmektedir. Yeni Bina İnşaatı için DGNB Sistemi, Versiyon 2018 kategorileri aşağıda sıralanmıştır (*DGNB SYSTEM CRITERIA SET NEW CONSTRUCTION BUILDING*, 2018):

Çevre kalitesi- %22,5

Göstergeler arasında bina yaşam döngüsü değerlendirmesi, yerel çevresel etki, sürdürülebilir kaynak çıkarımı, içme suyu talebi, atık su hacmi, arazi kullanımı ve sahadaki biyolojik çeşitlilik yer alır.

Ekonomik kalite- %22,5

Kriterler yaşam döngüsü maliyetini, esnekliği ve uyarlanabilirliği ve ticari uygulanabilirliği içerir.

Sosyo-kültürel kalite- %22,5

Kriterler, kullanıcı konforu ve emniyet için bina tasarımının çeşitli yönlerini tartışmaktadır. Termal, akustik, görsel konfor, iç hava kalitesi, iç ve dış mekân kalitesi ve herkese yönelik çok yönlü tasarımı kapsar. Bu kapsamlı kriterler, perakende yapılarında sürdürülebilirliğin yalnızca çevresel faktörlerle sınırlı kalmamasını, ekonomik ve sosyo-kültürel boyutların da dikkate alınmasını sağlar.

Teknik kalite- %15

Dikkate alınması gereken kriterler, yangın güvenliği, ses yalıtımı, bina kabuğunun kalitesi, güncel bina teknolojisinin kullanımı ve entegrasyonu, bina bileşenlerinin temizliğinin kolaylığı, geri kazanım ve geri dönüşüm kolaylığı, emisyon kontrolü ve mobilite altyapısıdır.

Süreç kalitesi- %12,5

Kriterler arasında kapsamlı proje özeti, ihale aşamasındaki sürdürülebilirlik hususları, sürdürülebilir yönetim dokümantasyonu, kentsel ve tasarım planlama prosedürü, inşaat alanı / inşaat süreci, inşaatın kalite güvencesi, sistematik devreye alma, kullanıcı iletişimi ve tesis yönetimi uyumlu planlama yer alır.

Site kalitesi- %5

Değerlendirme yerel çevresel etkiyi, bölge etkisini, ulaşım erişimini ve olanakların kullanılabilirliğini içerir.

4.3.2 DGNB dokümantasyonu:

Sertifikasyon süreci dört adımdan oluşur:

Hazırlık ve kayıt: Müşteri, kayıttan sertifikasyon sürecinin tamamlanmasına kadar projeyi destekleyen akredite bir DGNB Denetçisi ile iletişime geçer.

Belgelerin sunulması: Denetçi gerekli belgeleri derler ve uygunluk testine sunmadan önce DGNB'nin belirlediği kriterlere göre sürdürülebilirliği değerlendirir.

Uygunluk testi: DGNB Sertifikasyon Ekibi, dokümanları uygunluk açısından inceler ve ardından bina sahibine ve denetçiye ikinci bir değerlendirme raporu gönderir.

Sonuçlar ve sertifikanın verilmesi: Onayın ardından DGNB, ticari fuarlar veya resmi bina açılışları gibi yüksek profilli etkinliklerde maksimum tanıtım için bir ön sertifika veya sertifika verir (Pillars, 2020).

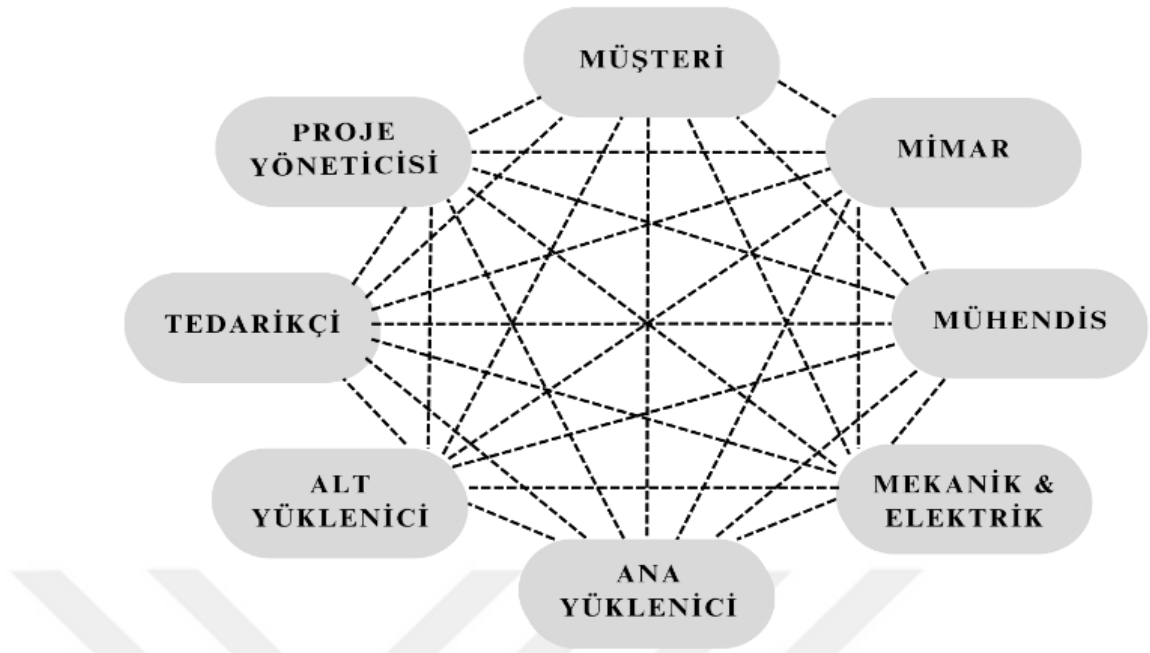
DGNB sertifikasyon süreci, testlerin, hesaplamaların, simülasyonların ve karar süreçlerinin kapsamlı bir şekilde belgelenmesini gerektirir. Bu, dokümantasyonun üretimi ve işlenmesi için görünürlüğü uygulanması, yönetimi ve geliştirilmesine yönelik yeni görevleri içerir. Kuruluşların testler, simülasyonlar ve hesaplamalarla ilgili yeni görevler, süreçler ve prosedürler uygulamaya koyması gerekebilir. Başarılı DGNB sertifikasyonu, çalışma yöntemleri ve süreçlerinde yenilik açısından organizasyon içinde önemli değişiklikleri içerir. İnşaat sektöründeki birçok taraf, sistemin gereksinimleri hakkında genel bilgi eksikliği ve gerekli verileri üreten kaynakların kıtlığı gibi nedenlerden dolayı DGNB belgelendirme sürecini zorlu bulmaktadır. Bu zorlukların doğru bir şekilde ele alınması, sürdürülebilir inşaat uygulamaları için değerli bir kaynak görevi gören kapsamlı dokümantasyonla sonuçlanabilir.

5. BIM

BIM, paydaşların sanal bir ortamda binaları iş birliği içinde tasarlamasına, inşa etmesine ve bakımını yapmasına olanak tanıyarak inşaat sektöründe devrim yaratan dijital bir teknolojidir (Nguyen vd., 2016). Proje ekipleri, BIM'i kullanarak bir projenin tüm yaşam döngüsü boyunca kullanılabilir olacak doğru ve ayrıntılı dijital bina modelleri oluşturabilir. Bu modeller yalnızca geometrik bilgileri değil, aynı zamanda malzemeler, enerji tüketimi ve çevresel performans da dahil olmak üzere binanın çeşitli bileşenleri ve sistemleriyle ilgili verileri de içerir.

BIM, bir inşaat projesinin tasarım, planlama, maliyet tahmini ve sürdürülebilirlik analizi dahil olmak üzere çeşitli yönlerinin entegrasyonunu sağlar. Proje ekipleri, BIM'i kullanarak tasarım aşamasındaki çatışmaları ve ihtilafları kolayca tespit edebilir, bu da farklı disiplinler arasında koordinasyonun iyileştirilmesine ve inşaat sırasında maliyetli yeniden çalışmaların azaltılmasına olanak tanır (Noviani et al., 2022). Ek olarak, daha doğru miktar alımı ve maliyet tahmininin yanı sıra daha iyi inşaat analizi ve planlamasına olanak tanır. Ayrıca, enerji simülasyonu ve analizinin yanı sıra malzeme seçimi optimizasyonuna yönelik araçlar sağlayarak sürdürülebilirlik analizini destekleyebilir.

BIM ayrıca bilgi paylaşımı ve görevlerin koordinasyonu için merkezi bir platform sağladığından proje ekibi üyeleri arasındaki iş birliğini ve iletişimi de geliştirir (Goulding et al., 2012). Bu, verimliliği artırır ve geleneksel belge tabanlı iletişim (Şekil 3.2) yöntemlerinde meydana gelebilecek hata veya yanlış iletişim olasılığını azaltır.



Şekil 3.2 Geleneksel belge tabanlı iletişim

Üstelik BIM platformunun parametrik yapısı, tasarım parametrelerinin kolayca değiştirilmesine ve gerçekçi görselleştirmelerin, gözden geçirmelerin ve sanal gerçeklik deneyimlerinin oluşturulmasına olanak tanır. Bu, paydaşların tasarımı daha iyi anlamalarını ve projenin genel sürdürülebilirliğine katkıda bulunacak bilinçli kararlar almalarını sağlar.

Bir projenin tasarım ve inşaat aşamalarında BIM'in kullanılması birçok önemli avantajı beraberinde getirir. İlk olarak, proje ekibi arasında koordinasyonun (Şekil 3.3) geliştirilmesine olanak tanır, bu da iş birliğinin artmasına ve tasarım aşamasında çatışma veya anlaşmazlıkların azalmasına yol açar. Bu sonuçta daha verimli inşaat süreçleriyle sonuçlanır ve maliyetli yeniden tasarım veya yeniden işleme ihtiyacını azaltır.



Şekil 3.3 BIM tabanlı iş birliği

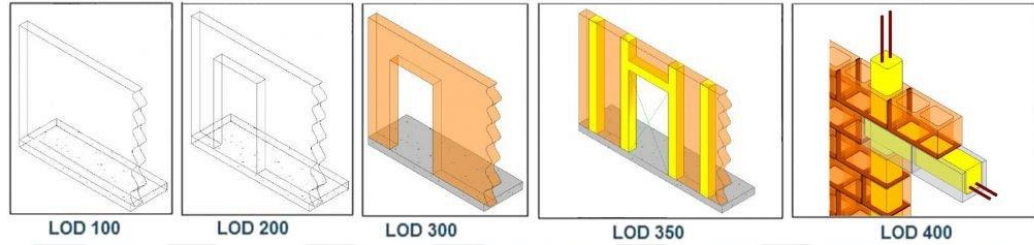
Ayrıca BIM, bilinçli kararlar alınmasına yardımcı olan doğru ve güncel bilgiler sağlayarak projenin genel kalitesini artırır (Olbin & Elliott, 2019). Diğer yandan BIM, sürdürülebilirlik analizinin tasarım sürecine entegre edilmesini sağlayarak enerji tüketiminin, çevresel etkinin ve malzeme seçiminin daha iyi değerlendirilmesine olanak tanır (Liu et al., 2019). Son olarak, inşaat sektöründe BIM kullanımının proje planlamasını ve maliyet tahminini iyileştirdiği ve daha doğru bütçelere ve zaman çizelgelerine yol açtığı gösterilmiştir.

5.1 BIM gelişim düzeyi (LOD)

İnşaat projelerinin 3 boyutlu modellerinin bağlamsal, veri açısından zengin mimari bileşenlere veya öğelere bağlanması gerekir. Bağlamsal veriler açısından zengin mimari öğelere ilişkin tüm bilgiler, öncelikle geliştirme düzeyi (Level of Development - LOD) spesifikasyonlarından elde edilmiştir. LOD konsepti, mimarlık, mühendislik ve inşaat endüstrisindeki inşaat paydaşlarının 3B modelleri çeşitli aşamalarda yüksek düzeyde netlik ve güvenle belirlmesine ve netleştirmesine yardımcı olmak için BIM'e uyarlanmıştır. LOD ayrıntı düzeyiyle

bağlantılıdır. Ayrıntı düzeyi, model öğelerinin içerdiği ayrıntı miktarıdır (Nechyporchuk & Baskova, 2021).

Öte yandan LOD, inşaat yetkililerinin modeli kullanırken elemanların geometrisini ve bileşenlerle ilgili bilgileri ne ölçüde dikkate aldığını temsil eder (Şekil 3.4). Bu, proje ekibi üyelerinin modeli kullanırken bilgilere ne kadar güvendikleri anlamına gelmektedir. Temel olarak ayrıntı düzeyi öğenin girdisidir ve LOD güvenilir çıktıyı tanımlar (Wang et al., 2012). LOD, tasarım aşamasında ortaya çıkan çeşitli sorunları kapsamak için kullanılır. Bunun nedeni, modellenen elemanların doğruluğunun kolaylıkla yanlış anlaşılabilmesidir. Ayrıca model elemanlarının sağladığı bilgi miktarı arasında da ayırım yapılması gerekmektedir.



Şekil 3.4 LOD geometri ve bilgi modelleri (Level of Development (LOD) Specification – BIM Forum, 2023).

Ayrıca, model kullanıcılarının bina modellerinin kullanımını tanımlamasına olanak tanıyarak inşaat paydaşlarının, edinilen bina modellerinin kullanılabilirliğini ve sınırlamalarını açıkça anlamalarına olanak tanır (Latiffi et al., 2015). Gelişmişlik Düzeyi ve Ayrıntı Düzeyi ile ilgili uluslararası terminolojinin farklılık gösterdiğini unutmamak önemlidir. Bazı ülkeler bu spesifikasyonda tanımlanan Geliştirme Düzeyi kavramını Ayrıntı Düzeyi olarak adlandırmakta ve farklı numaralandırma sistemleri kullanmaktadır (Bedrick et al., 2021).

LOD 100:

LOD 100 elemanları geometrik gösterimler değildir. Örnekler arasında, bir bileşenin varlığını belirten ancak şeklini, boyutunu veya tam konumunu göstermeyen diğer model öğelerine iliştilmiş bilgi veya semboller yer alır. LOD 100 öğesi tarafından sağlanan tüm bilgiler yaklaşık olarak değerlendirilmelidir.

LOD 200:

Model öğeleri, bir modelde yaklaşık miktarlar, boyutlar, şekiller, konumlar ve yönelimlerle genel bir sistem, nesne veya düzenek olarak grafiksel olarak temsil edilir. Model öğelerine grafiksel olmayan bilgiler de eklenebilir. LOD 200 elemanı tarafından sağlanan tüm bilgiler yaklaşık olarak değerlendirilmelidir.

LOD 300:

Tasarlanan elemanların miktarı, boyutu, şekli, konumu ve yönelimi, notlar veya ölçümler gibi modellenmemiş bilgilere dayanmaksızın doğrudan model üzerinde ölçülebilir. Proje menşei tanımlanır ve öğeler, proje menşesine göre tam olarak yerleştirilir.

LOD 350:

Elemanın yakındaki veya bağlı elemanlarla koordinasyonu için gerekli parçalar modellenir. Bu parçalar destekler ve bağlantılar gibi elemanları içerir. Tasarlanan elemanların miktarı, boyutu, şekli, konumu ve yönelimi, notlar veya ölçümler gibi modellenmemiş bilgilere dayanmaksızın doğrudan model üzerinde ölçülebilir.

LOD 400:

Bir LOD 400 elemanı, temsil edilen bileşenin imalatı için yeterli detay ve doğrulukta modellenmiştir. Tasarlanan elemanların miktarı, boyutu, şekli, konumu ve yönelimi, notlar veya ölçümler gibi modellenmemiş bilgilere dayanmaksızın doğrudan model üzerinde ölçülebilir.

LOD 500:

LOD 500 modeli, nesnenin işletimi ve bakımıyla ilgili maliyetleri optimize etmek için tasarlanmıştır. Grafiksel veriler artık değiştirilmez, görüntüleme için tesis yönetimi modeli kullanılır ve ek veriler veya ayrı belgeler (gözden geçirilmiş baskılar, fotoğraflar, teknik belgeler) atanır (Grytting et al., 2017).

5.2 BIM boyutları

BIM boyutları, modelleme geometrisini 2 veya 3 boyuttan ayırma ihtiyacından doğmuştur. Bu, çizim tahtalarından ilk 2B CAD sistemlerine ve 3B modelleme paketlerine doğru ilerleyen modelleme evriminin bir parçası olmuştur.

Ayrıca BIM sadece binaların 3 boyutlu modellerinin oluşturulması anlamına gelmemektedir. Buna tasarım, inşaat ve bakım aşamaları hakkında bilgi eklenmesi de dahildir. BIM boyutları (3B, 4B, 5B, 6B ve hatta 7B) inşaat projelerinin daha derinlemesine anlaşılmasını sağlamak için modellerle ilişkili verileri zenginleştirir. Belirli BIM verilerine ilişkin bilgi düzeylerini ifade eden BIM boyutları şunlardır:

1B BIM (Dokümantasyon):

BIM'in ön temeli, bir inşaat projesinin yaşam döngüsüne ilişkin tüm gereksinimlerin belgelenmesidir. Paydaşlardan ve ekip çalışmasından dağıtılan bilgiler BIM platformuna entegre edilir ve konfigürasyon ve dokümantasyon değişikliklerinin yönetilmesinin temelini oluşturur. Dokümantasyon, altyapı inşaat projelerinin işletmeye alma aşamasında kritik bilgilerin üretilmesi ve dağıtılmasına ilişkin süreci açıklamaktadır. Bir tesisin planlanması, devreye alınması ve yönetilmesi için gerekli olan tüm kritik belgelerin merkezileştirilmesi, sahiplere bilginin boyutları ve paydaşlar arasındaki dağılımı hakkında derinlemesine bilgi sağlar (Ershadi et al., 2021).

2B BIM:

Bir projenin iki boyutlu olarak modellenmesi, proje tasarımının ve çizimlerinin basit bir X ve Y eksenli temsiliyle sınırlıdır. Planlama öncelikle iki boyutludur ve sınır koşullarını ve hedeflerini proje spesifikasyonlarıyla ilişkilendirir. Yapı modellemenin erken bir biçimi olan 2B BIM, temel planlama faaliyetlerinin daha hızlı ve kolay bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanır. Ancak büyük ve karmaşık altyapı projeleri, inşaat projesinin hedeflerine ulaşmak için uygun maliyetli ve sağlam bir plan ve tasarım oluşturmak ve uygulamak için daha derinlemesine çalışma gerektirir. Daha fazla değişken ve kısıtlamanın dahil

edilmesi, ayrıntılı planlamayı daha karmaşık hale getirir ve parametrelerin görselleştirilmesini gerektirir (Abanda et al., 2015).

İnşaat alanındaki BIM trendi hızla artmasına rağmen dünya çapında birçok proje hala 2 boyutlu çizimler ve BIM modellerinin bir kombinasyonu kullanılarak tasarlanıp inşa edilmektedir. Çünkü dünyanın birçok yerinde 2 boyutlu çizimler tek yasal referans belgesi ve en önemli iletişim aracı olmayı sürdürmektedir (Park & Lee, 2017).

3B BIM:

3B BIM, diğer bilgilere bağlı X, Y ve Z eksenlerini temsil eden dijital geometrik bir modeldir. Üç boyutlu bir ortamda tasarlamak ve planlamak, sürecin netliğini ve doğruluğunu artırır. Bu, inşaat belgeleri için hataları ortadan kaldıran ve proje kalite standartlarına uyumu güçlendiren bir tür kalite güvencesidir.

3B BIM, paydaşların çok disiplinli faaliyetleri koordine etmesine ve bileşenlerin yapısal özelliklerini analiz etmesine yönelik bir araçtır. 3B BIM, geleneksel 2B CAD çizimlerine daha fazla alan ekler ve bir tesisin grafik özelliklerine ilişkin daha derin bir anlayış sağlar. Bir tesisin görsel ayrıntılarının sanal bir temsili olan 3B BIM, mimarların ve mühendislerin tasarım belgelerindeki çatışmaları belirlemesine yardımcı olur. İnşaat öncesi görselleştirme, yeni tesislerin inşaat aşamasında temel tasarım çatışmalarını hafifletmek için en iyi risk azaltma stratejisidir (Rogers et al., 2015).

3B BIM, BIM'siz 3B CAD modellerinden farklıdır. 3B CAD modelleri yalnızca binanın yapısını görselleştirir ve görsel detaylar sağlar. 3B BIM ayrıca yalnızca tasarım ve inşaat aşamasında değil aynı zamanda binanın ömrü boyunca faydalı olan ek parametreler ve bilgiler de sağlar (Piaseckienė, 2022).

4B BIM (Planlama):

Planlanan projelerin görselleştirilmesi için 3 boyutlu modeller kullanılır. Ancak bu sanal yapının kendisi statik kalmakta ve inşaat sürecinin uygulanmasını ve sıralı çalışmayı karakterize eden dinamiklerin net bir şekilde anlaşılmasına izin

vermez. Bunu dinamik hale getirmek için dördüncü boyutu entegre etmek gerekir: o da “zaman”dır. Bu 4 boyutlu planlamanın prensibidir. Uygulamada bu, BIM modelinin 3 boyutlu unsurlarını proje programındaki faaliyetlerle ilişkilendirmeye karşılık gelir (Doukari et al., 2022).

3B BIM modellerinin planlama verileriyle zenginleştirilmesi, birden fazla kullanım senaryosunun geliştirilmesi ve entegrasyonu yoluyla inşaat planlama sürecinin kalitesini giderek artırmıştır. Aslında 4B BIM tabanlı görselleştirme, inşaat sürecinin sezgisel olarak anlaşılmasını sağlar, daha etkili iletişim sağlar ve tüm proje katılımcıları arasındaki iş birliğini geliştirir (Hartmann et al., 2008).

4B BIM'in avantajları inşaat süreci, bantlarda görselleştirme süresi, zaman optimizasyonu imkânı, olası kritik sorunların değerlendirilmesi ve zamanla ilgili farklı olası senaryoların hazırlanmasıdır. Basit bina planları için detaylı inşaat planlarını içeren 2B ve 3B BIM model verileri yeterlidir. Bununla birlikte, karmaşık projelerde 4B BIM, yanlış anlamaları ve anlaşmazlıkları önlemek açısından çok yararlı olabilir.

5B BIM (Miktar ve maliyet tahmini):

5B BIM, modelin bir inşaat projesinde miktar çıkarımı, maliyet tahmini, maliyet güncellemeleri, hak ediş ödemesi ve diğerleri gibi maliyet yönetimi için kullanılmasına olanak tanır. 5B BIM yalnızca ölçümleri otomatikleştirip anlık maliyet tahminleri oluşturmakla kalmaz, aynı zamanda tasarım süreci ve inşaat boyunca gerçek zamanlı maliyet tavsiyeleri ve gerçek zamanlı maliyet güncellemeleriyle farklı tasarım seçeneklerini simüle etme yeteneği sağlar. 5B BIM teknolojisi, araştırmacının, standart ölçüm yöntemlerine ve proje gereksinimlerine göre 3B modellerini kullanarak projenin maliyetini verimli bir şekilde geliştirmek ve yönetmek için proje ekibiyle iş birliği yapmasına olanak tanır (Smith, 2014).

Miktarları ve malzeme tanımlarını bina bilgi modelinden maliyet tahmin sistemine aktarmanın çeşitli yolları vardır. Entegrasyon yaklaşımlarının geniş kategorileri şunları içerir: Uygulama Programlama Arayüzü (API), Açık Veritabanı Bağlantısı (ODBC), Excel çıktısı. Daha doğru malzeme miktarları, daha doğru

maliyet tahminleriyle sonuçlanır. Ölçüm çabasının azaltılması, tahmincilerin zamanlarını ve bilgilerini daha yüksek değerli tahmin faaliyetlerine daha etkili bir şekilde uygulayabilecekleri anlamına gelir.

6B BIM (Sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği):

Bu çalışmanın ana konusu literatürde atfedildiği gibi, enerji verimliliği ve sürdürülebilirliğe ilişkin model bilgilerini içeren 6B BIM'dir. Bir binanın ömrünün çeşitli aşamalarını hesaplayarak enerji tüketimi ihtiyaçlarını doğru bir şekilde tahmin eder. Bu, gayrimenkulün toplam maliyetini ve bu paranın sürdürülebilirlik ve maliyet verimliliği sağlamak için nasıl harcanması gerektiğini anlamaya yardımcı olur. Temel olarak bileşen üreticileri ve ekipman tarihleri, teknik bakım grafikleri, en iyi performans için ayrıntılı yapılandırma bilgileri, enerji gereksinimleri ve eskime bilgileri hakkında bilgiler içerir.

BIM'in altıncı boyutunun bir diğer tanımı olan Yeşil BIM bu çalışmanın ilerleyen kısımlarında ele alınacaktır. Önceki araştırmalar, yeşil BIM uygulayıcılarının BIM'in sürdürülebilirliğe ulaşmada önemli bir rol oynayabileceğine inandığını göstermiştir (J. Wong & Zhou, 2015).

7B BIM (Tesis yönetimi)

Bu boyut, kritik varlık verileri, bakım/işletme talimatları, garanti bilgileri, teknik özellikler vb. sağlamak için kullanılır. 7B BIM'in özelliği, bina yönetimi süreciyle ilgili her şeyin tek bir yerde temsil edilmesidir. Bu, proje yaşam döngüsü boyunca hizmet sunumunun kalitesinin artırılmasına yardımcı olur. 7B BIM ile projedeki her şey (yapılar, ekipmanlar vb.) ilk günden bina yıkımına kadar kontrol altında olacaktır.

Planlamadan inşaat, bakım ve yıkıma kadar varlık ve tesis yönetimi süreçlerini optimize edilmesi 7B BIM ile mümkündür (Piaseckienė, 2022). Bir projenin yaşam döngüsü boyunca karar alma konusunda veri açısından zengin destek sağlayan BIM gibi yeşil inovasyon ve teknolojiyi uygulayarak binaların sürdürülebilirliğini artırır. BIM, yüklenici ve taşeronlar için parça değişimi ve

onarımında daha verimli sürdürülebilir binalara ulaşmak amacıyla bir projenin yaşam döngüsünde yer alan paydaşlar arasında bilgi paylaşımını kolaylaştırır.

5.3 Dünyadaki BIM düzenlemeleri

Dünyada bazı ülkeler, büyüyen inşaat sektörü ve gelişen teknolojilerin birleşimiyle oluşturulan BIM yaklaşımıyla maliyet, çevresel faktörler ve yaşam kalitesi gibi alanlarda önemli faydalar sağlanabileceği sonucuna varmıştır.

Bu nedenle çeşitli çalışmalar sonucunda BIM'in yaygınlaşmasını sağlayacak yol haritaları belirlenmiş, BIM'e yönelik teşvik programları oluşturulmuş, hatta bazı devletler BIM'in kullanım koşullarını belirleyen ilgili düzenlemeler oluşturmuştur. Bu düzenlemelerden bazıları aşağıda gösterilmiştir (Tablo 3.2).

Tablo 3.2 Dünya çapında önce çıkan bazı BIM düzenlemeleri

Program	Organizasyon	Ülke	Yıl
Ulusal 3D-4D-BIM	GSA	ABD	2003
NBIMS	NIBS	ABD	2007
Dijital Veri	AIA	ABD	2007
BIM Yol Haritası	MILCON	ABD	2006
BIM Stratejisi	BIM Görev Gücü	Birleşik Krallık	2011
CORONET	Yapı ve İnşaat Otoritesi	Singapur	2008
BIM Kılavuzu	Statsbygg	Norveç	2007
Ortak BIM Gereksinimi	Senato Varlıkları	Finlandiya	2007
BIM Kılavuzu	BIM Görev Grubu	Avrupa Birliği	2017

5.3.1 Amerika Birleşik Devletleri

Dünyada BIM alanına ilk adımı atan ülke olan ABD, uzun yıllardır BIM alanındaki liderliğini sürdürmektedir. Bu liderliğin sürdürülmesinde dört devlet kurumunun rolü büyüktür. Bu kurumlar şunlardır:

ABD Genel Hizmet İdaresi:

GSA Ulusal 3B-4B-BIM programını içerir ve programın öne çıkan özellikleri şunlardır:

- Tüm büyük projeler için ve GSA iş kolları genelinde BIM'in benimsenmesini zorunlu kılacak politika oluşturmak (Edirisinghe & London, 2015)
- 3B, 4B ve BIM teknolojilerini birleştirmek amacıyla devam eden sermaye projelerine uzman desteği ve kaynak temini sağlamak
- Varlık ve tesis yönetiminde BIM verilerinin sürekli kullanımına yönelik rehberlik sağlamak
- Sektörün hazırlığının ve teknoloji olgunluğunun değerlendirilmesi
- 3B-4B-BIM hizmetleri için talep ve sözleşme dilinin geliştirilmesi
- BIM tedarikçileriyle, diğer federal kurumlarla, mesleki derneklerle, açık standart kuruluşlarıyla ve akademik/araştırma kurumlarıyla ortaklık
- GSA içinde BIM Şampiyonlarından oluşan bir topluluk oluşturmak

Yayınlanan BIM Kılavuz Serisi aşağıda sıralanmıştır (*3D-4D Building Information Modeling* | GSA, 2023):

- BIM Kılavuzu 01- 3D-4D-BIM'e Genel Bakış
- BIM Kılavuzu 02- Mekânsal Program Doğrulaması
- BIM Kılavuzu 03- 3D Lazer Tarama
- BIM Kılavuzu 04- 4D Aşamalandırma
- BIM Kılavuzu 05- Enerji Performansları
- BIM Kılavuzu 06- Gezinme ve Güvenlik Doğrulaması
- BIM Kılavuzu 07- Yapı Elemanları
- BIM Kılavuzu 08- Tesis Yönetimi

Ulusal Yapı Bilimleri Enstitüsü (National Institute of Building Science - NIBS):

Ulusal BIM Standardı V1.0, NIBS 2007'de genel bakış, ilkeler ve metodolojiler sağlar. 2012'de NBIMS V2.0: Kılavuzlar ve Uygulamalar, Bilgi Değişim Standartları ve Referans Standartları gibi teknik bilgileri içeren yönergesini yayınlamıştır. 2015'in sonlarında yayınlanan NBIMS V3.0, planlama ve tasarımdan inşaat ve işletmeye kadar binaların tüm yaşam döngüsünü kapsamaktadır (Amerika Birleşik Devletleri | Ulusal BIM Standardı)(*United States | National BIM Standard*, 2023). NIBS'de devam eden çalışmalar binalarda enerji performansı için bir BIM standardı geliştirmeyi amaçlamaktadır.

Amerikan Mimarlar Enstitüsü:

AIA, inşaat sektörüne BIM ve diğer dijital verilerin nasıl kullanılacağı konusunda rehberlik sağlamak amacıyla 2007 yılında Dijital Veri belgelerini yayınladı (Cheng & Lu, 2015). Bu belgeler:

- E201-2007: tarafların dijital veri alışverişine ilişkin izlenmesi gereken prosedürleri tanımlayan, çeşitli taraflar arasındaki anlaşmanın bir ekidir.
- C106-2007, Gönderen Tarafın Alıcı Tarafa dijital verilerin kullanımına ilişkin bir lisans vermesi için iki taraf arasında yapılan ayrı bir anlaşmadır.

2008 yılında BIM'in artan kullanımına uygun olarak AIA, BIM'in bilgi seviyesi gerekliliğini ve uygulamalarını belirlemek için E202-2008'i yayınladı. 2013 yılında E202-2008 geliştirilmiş ve bugün dünyanın birçok yerinde kullanılan ve BIM modelinde yer alıp bilgi düzeyini tanımlayan beş LOD derecesi tanımlanmıştır (*AIA Contract Documents*, 2023)

Savunma Bakanlığı Askeri Yapılar (Military Construction - MILCON):

Savunma Bakanlığı, inşaat sürecinin neredeyse her adımında standart işletme prosedürlerine ilişkin düzenlemeleri, kılavuzları, kodları ve talimatları bulundurur.

ABD Ordusu, federal hükümetteki orijinal BIM öncülerinden biridir ve Ekim 2006'da "BIM Yol Haritası"nı yayınlamıştır (Suermann & Maddox, 2015). Hava Kuvvetleri de aynı yolu izleyerek 2009 yılında yeni dikey inşaat projelerinde BIM'i zorunlu kılmıştır.

5.3.2 Birleşik Krallık

İngiltere, Kabine Ofisi'nin baskısı altında çoğu alanda BIM'i zorunlu hale getirmiştir. Kabine Ofisi, bina politikaları hakkında bir kitap yayınlamış ve tüm BIM uygulama sürecini denetlemek için bir BIM Görev Gücü kurmuştur.

BIM Görev Gücü, beklenen yeterlilik seviyelerinin net bir şekilde ifade edilmesini sağlamak, projeler ve sözleşmeler için destekleyici standartlar ve kılavuz notları sağlamak üzere BIM olgunluklarını tanımlamıştır (*A Report for the Government Construction Client Group Building Information Modelling (BIM) Working Party Strategy Paper*, 2011).

BIM Olunluk Seviyeleri, BIM Seviye 0: Kağıt (veya elektronik posta) ile iyi bilinen ve en olası değişim mekanizması olarak yönetilmeyen 2B CAD çizimleri olarak tanımlanır ve şu şekilde devam eder (Georgiadou, 2019):

- BIM Seviye 1: Ortak bir veri ortamı, bazı standart veri yapıları ve formatları sağlayan bir iş birliği aracıyla 2B veya 3B CAD formatında nesne yönelimli modellemedir.
- BIM Seviye 2: Bir veya iki proje yaşam döngüsü arasında farklı disiplinler tarafından yönetilebilen ve üzerinde çalışılabilen 3 boyutlu ortam olarak tanımlanabilir. Ayrıca program verileri (4B), maliyet unsurları (5B) ve Enerji Performansı (6B) modellerini kullanma potansiyeli de bulunmaktadır.
- BIM Seviye 3: Tüm yaşam döngüsü aşamalarında entegre modelleri hesaba katan, iş birliğine dayalı bir model sunucusu tarafından yönetilen ağ tabanlı veri entegrasyonuna dayanan BIM konseptidir. Bu, gelişen proje standartlarıyla uyumlu, tamamen açık bir süreçtir. Aynı zamanda entegre BIM (iBIM) olarak da adlandırılır.

Birleşik Krallık'ın BIM Seviye 2 kılavuzu, 2013 yılında Devlet İnşaat Stratejisi ve Endüstriyel Strateji'de tanıtılmış ve Nisan 2016'da yürürlüğe girmiştir (*Construction 2025*, 2013). Yönetmelik, 2016'dan itibaren devlet tarafından finanse edilen tüm binalarda 3 boyutlu birlikte çalışabilen BIM Seviye 2 modellerinin kullanılmasını gerektirmektedir.

Bununla birlikte 2015 yılında yayınlanan Stratejik Planda BIM Seviye 3 anlayışına geçiş için çalışmalar yapıldığı belirtilmiştir (Bew, 2015). BIM direktifinin 2013 yılında Birleşik Krallık hükümeti tarafından uygulamaya konulmasıyla birlikte İngiliz Standartları Enstitüsü (British Standards Institution – BSI), BIM Seviye 2 uygulamasının tanımlarını sağlayan BIM standardı PAS1192:2'yi yayınlamıştır.

5.3.3 Singapur

Singapur'daki Yapı ve İnşaat Otoritesi (Building and Construction Authority - BCA), 2008 yılında dünyanın ilk BIM elektronik gönderim (e-dosyalama) sistemini uygulamaya koymak için çok kurumlu bir çabaya öncülük etmiştir. İnşaat ve Emlak Ağı (Construction and Real Estate Network - CORENET) olarak adlandırılan bu girişim, 2011 yılında kurulmuştur (*Singapore BIM Guide Version 2*, 2012).

CORENET, Singapur'daki çeşitli yapı ve inşaat düzenleme kurumları tarafından yayınlanan bina kodları, yönetmelikleri ve genelgelerinin merkezi bir deposudur. 2012 yılında yürürlüğe konan Singapur BIM Kılavuzu, bir projenin farklı aşamalarında BIM'i kullanırken proje üyelerinin rollerini ve sorumluluklarını özetleyen bir referans kılavuzudur.

Kılavuz hem BIM spesifikasyonlarını hem de BIM modelleme ve iş birliği prosedürlerini içermektedir. Proje ekipleri, düzenleyici kurumun gereksinimlerini karşılamak için gereken tüm bilgileri içeren bir bina modeli sunmakla yükümlüdür.

2012 yılında tüm kamu bina projelerinde BIM zorunlu hale gelmiştir. 2013 yılında, 20.000 m2'den büyük yeni bina projeleri için mimari BIM e-dosyalaması

zorunlu hale gelmiş ve bunu 2014'te mühendislik BIM e-dosyalaması takip etmiştir. 2015 yılına gelindiğinde, 5.000 m2'den büyük yeni bina projeleri için hem mimari hem de mühendislik BIM e-dosyalaması zorunlu hale gelmiştir.

5.3.4 Norveç

Norveç hükümetine bağlı bir kuruluş olan Statsbygg, ilk olarak 2007 yılında BIM Kılavuzunu yayınlamıştır. Kuruluş, 2010 yılından bu yana tüm projelerinde BIM tabanlı modelleri zorunlu hale getirmiştir (Cheng & Lu, 2015).

Norveç'in BIM yaklaşımı, altyapının ve yaşam döngüsü maliyetinin çevresel etkisine odaklanmaktadır. BIM kılavuzu, açık BIM standartlarını kullanan nesne odaklı tasarıma dayalı dijital bir 3B çıktı olan Teslim Edilebilir Açık BIM'e yönelik gereksinimleri ve geliştirme hedeflerine katkıda bulunacak özel modellemeyi içerir.

5.3.5 Finlandiya

Finlandiya Maliye Bakanlığına bağlı en büyük devlet kuruluşu olan Senato Varlıkları, 2007 yılından bu yana projelerinde bina bilgi modellerinin ortak veri yapısı olan Endüstri Temel Sınıfları (Industry Foundation Classes - IFC) standartlarını karşılayan modellere ihtiyaç duymaktadır. 2012 yılında Senato Varlıkları, proje modellerindeki gereksinimleri ve koşulları belirten Ortak BIM Gereksinimini yayınlamıştır (Jokela et al., 2012).

5.3.6 Avrupa Birliği

Avrupa Birliği BIM Görev Grubu tarafından 2017 yılında yayınlanan BIM kılavuzunda, üye devletler için BIM'in değer önermesini vurgulayan çeşitli öneriler bulunmaktadır (EU BIM Task Group, 2017).

Bu önerilerin çoğu, BIM'in entegrasyonu için ayrı bir değer teklifi ve strateji oluşturmayı içerir. Buna göre kılavuzda belirtilen stratejik çerçeveyi ve performans standartlarını benimsemek, geniş kaynakları garanti etmek ve girişimi yürütmek için deneyimli bir yönetim ekibi oluşturmak çok önemlidir. BIM yol haritasının

ilerletilmesi ve uygulanmasına yönelik kamu vizyonunun, motivasyonların ve hedeflerin proaktif olarak iletilmesi önemle tavsiye edilir.

Ayrıca yine kılavuza göre; BIM hedeflerinin yasal ve düzenleyici yapıyla senkronize edilmesi için kamu paydaşları arasında bağlantıların kurulması büyük önem taşımaktadır. Bilgi alışverişi için uluslararası ve ulusal BIM organizasyonlarıyla etkileşim kurmak önemlidir. Yine kılavuza göre kamu proje ihalelerinde ve sözleşmelerinde BIM'in bir zorunluluk olarak benimsenmesi, sistemin hayata geçirilmesi açısından hayati önem taşımaktadır. Çeşitli kaynaklar aracılığıyla en iyi uygulamalar tanınıp savunulurken, çeşitli pilot projeler yoluyla BIM uygulamasının ve sektör kapasitesinin geliştirilmesi belgelenmelidir.

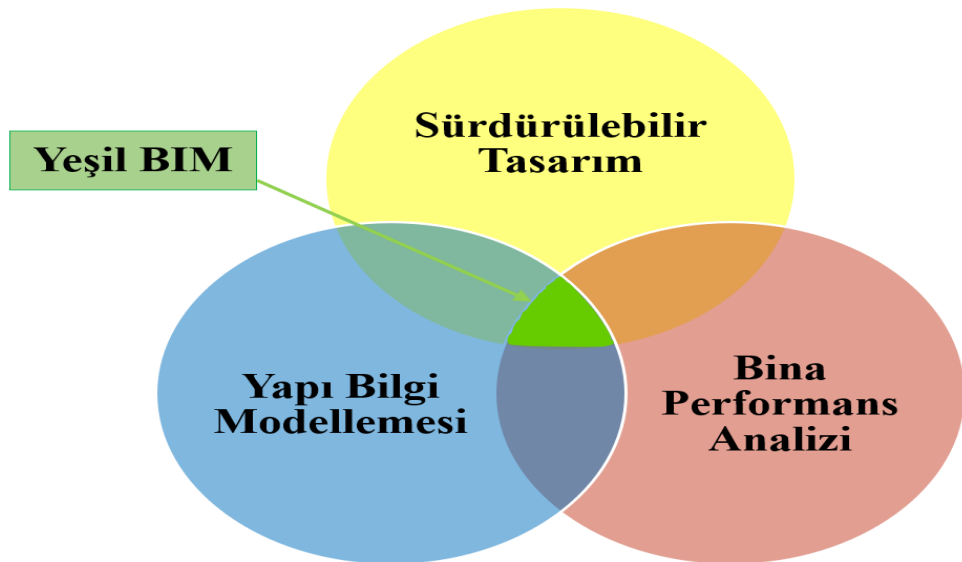
5.3.7 Türkiye

Ne yazık ki Türk inşaat sektöründe BIM ile ilgili bir düzenleme veya yönetmeliğin hayata geçirilmediği görülmektedir. Şimdilik bu, Türkiye'de BIM uygulamasının ilerlemesinin, bu teknolojiyi benimsemenin değerini gören şirketler ve profesyoneller tarafından yönlendirildiği anlamına gelir. Ancak bu, Türkiye'nin ülke içindeki inşaat projelerinde BIM'in zorunlu kullanımına yönelik çaba göstermediği anlamına gelmez. Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından 24.02.2021 tarihinde yayınlanan ve 02.09.2022 tarihinde son şekli verilen BIM Teknik Şartnamesi, bakanlığa bağlı kurum ve kuruluşların yürüteceği projelerde BIM süreçlerinin yönetimi için gerekli uygulama esaslarını içermektedir (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2022). Bu spesifikasyonda yer alan hükümler, projenin tüm yaşam döngüsü boyunca BIM verilerinin etkin yönetimini sağlamayı amaçlamaktadır.

Altyapının iyileştirilmesi ve gayrimenkul geliştirme konularına giderek daha fazla odaklanan Türk hükümeti, inşaatla BIM'in kullanımını teşvik etmektedir. BIM kullanılarak gerçekleştirilen İstanbul Havalimanı projesi, bu teknolojinin bölgede uygulanması açısından önemli bir kilometre taşı temsil eder. Projenin başarısı, BIM'in inşaat sektöründe daha fazla benimsenmesi ve entegrasyonu için bir katalizör görevi gördü ve BIM'in büyük ölçekli altyapı projelerinde kullanımı için bir emsal oluşturmuştur.

6. YEŞİL BIM - BEM

Yeşil BIM ve BEM, inşaat sektöründe çevresel sürdürülebilirliği teşvik etmeyi amaçlayan birbiriyle yakından ilişkili kavramlardır. Yeşil BIM, yerel iklim koşullarına yanıt olarak bina performans analizini gerçekleştirmek için tasarım süreci boyunca BIM teknolojisinin kullanımını vurgulamaktadır (Maltese et al., 2017). Tasarımı optimize etmek ve çevresel açıdan etkili teklifler oluşturmak için tasarım ve analiz süreçlerini entegre eder (Şekil 3.5) (C. J. Chen et al., 2017). BEM ise özellikle binalarda enerji tüketimi ve konfor konularına odaklanmaktadır. Enerji yükünü analiz etmek ve çevresel koşulları simüle etmek için BIM yazılımının ve sanal hava durumu istasyonu teknolojisinin kullanımını içerir (Araszkiewicz, 2016). Enerji tasarruflu ve sürdürülebilir bina tasarımlarına ulaşmak için yeşil BIM ve BEM birlikte kullanılabilir. Ancak bina bakımı, güçlendirme ve yıkım aşamalarında çevresel performansın yönetilmesi gibi alanlarda daha fazla araştırma ve geliştirmeye ihtiyaç vardır (Lin et al., 2019). Ek olarak, bulut tabanlı BIM teknolojisinin ve büyük veri yönetiminin entegrasyonu, bina sürdürülebilirliğinin izlenmesini ve yönetimini geliştirebilir (J. Wong & Zhou, 2015).



Şekil 3.5 Yeşil BIM: BIM, BEM ve Sürdürülebilir Tasarım Entegrasyonu

Elnabawi'in yaptığı bir çalışma, Revit, DesignBuilder ve Virtual Environment arasındaki veri aktarımında önemli birlikte çalışabilirlik sorunlarını ortaya çıkarmıştır. Çalışmada konum ve hava durumu dosyaları, geometri, inşaat

malzemeleri, termal bölgeler ve Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme (Heating Ventilating and Air Conditioning- HVAC) sistemleri gibi çeşitli yönlerdeki zorluklar belirlenmiştir. Ancak daha sonra içe aktarılan BIM modellerinde eksik veya tutarsız verileri telafi edecek düzenlemeler yapılmıştır. Her iki BEM aracı da gerçek enerji kullanımından minimum sapmayla gerçek hayattaki enerji tüketimine ilişkin güvenilir tahminler sağlamıştır (Elnabawi, 2020).

Delgado ve arkadaşları, farklı mevsimlerde birden fazla odada bulunan modüler bir ahşap evi izleyerek bunu test etmişlerdir. Deneysel izleme ve sayısal sonuçlardan elde edilen sıcaklık profillerinin karşılaştırılması, herhangi bir odada %9,3'ü aşmayan mutlak hatalar ile iyi bir uyum göstermiş ve bu da enerji verimliliği simülasyonları için BEM modelinin kullanılmasının geçerliliğini ortaya koymuştur (Delgado et al., 2023).

Başka bir çalışmada ise Chiayi Harbour Otel Projesi örnek olay olarak kullanılarak yeşil BIM'in karar verme süreci sorgulanmıştır. Bu süreçteki önemli bir bileşen, Autodesk'in Yeşil Bina Stüdyosu'nun (Green Building Studio) DOE-2 enerji yükü analiz motorunun uygulanmasıdır. Öncelikle otel projesinin teknik bilgileri bulut tabanlı Green Building Studio'ya gbXML formatında yüklenmiş ve enerji yükü analizi için DOE-2 ile analiz edilmiştir. Çalışmanın sonuçları, enerji kullanım yoğunluğunu yaklaşık %8,1 oranında azaltmak için ayarlanabilen cam yüzdesi, eşik yüksekliği ve saçak gölgelemesi gibi çeşitli parametrelere ilişkin bilgiler sağlamıştır. Bu, Autodesk'in Yeşil Bina Stüdyosu gibi araçlarla desteklenen Yeşil BIM'in, sürdürülebilir bina projelerinde başlangıçtan itibaren etkili, enerji tasarruflu tasarımlar sunabildiğini göstermektedir (C. J. Chen et al., 2017).

Literatürde çeşitli BEM araçları kullanılarak birçok çalışma yapılmış ve dikkat çekici sonuçlar elde edilmiştir. Literatürde odaklanılan bu önemli alanlardan biri, bina enerji modelleri oluşturmak için bina bilgi modellemesinin kullanılması ve süreçle ilgili zorluklardır. BIM ve BEM'in entegrasyonu, enerji verimli bina tasarımlarına ulaşmak için çok önemlidir, ancak veri aktarım güvenilirliği, BIM ile BEM arasındaki birlikte çalışabilirlik ve BIM'den BEM'e sürecinin standartlaştırılmasıyla ilgili endişeler yaygın uygulamayı engellemiştir. Ancak

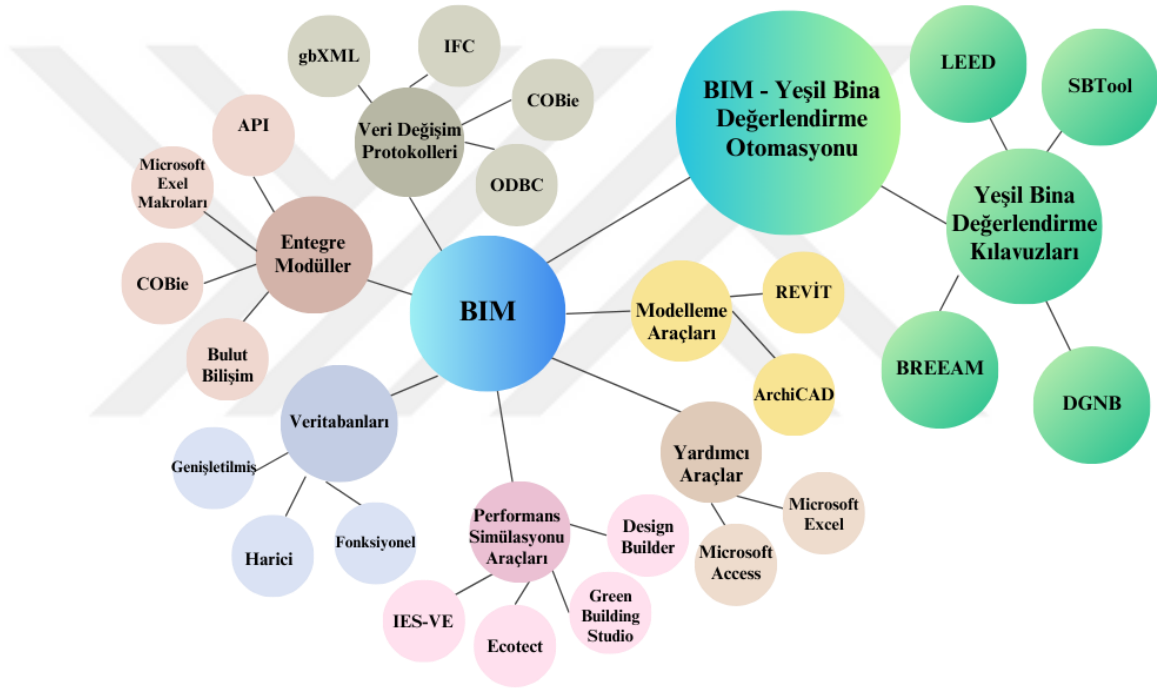
BIM'in altıncı boyutu olan Yeşil BIM'in, doğru ve yeterli verileri yani yüksek LOD ile başarıya ulaşmasının mümkün olabileceği görülmektedir.

Literatürde tanımlanan zorluklar ve fırsatlar ışığında, BIM ve BEM'in entegrasyonu konusunda sürekli araştırma ve geliştirmeye açık bir ihtiyaç vardır. Tüm bina yaşam döngüsü boyunca çevresel performansın yönetilmesi ve büyük veri yönetimi ile bulut tabanlı BIM teknolojisinden yararlanılması gibi ilerlemeler, bina projelerinin izlenmesini, yönetimini ve sürdürülebilirliğini daha da geliştirerek daha verimli ve çevre dostu tasarımlara yol açacaktır.



7. YEŞİL BİNA SERTİFİKASYONUNDA BIM

BIM ile entegre yeşil bina değerlendirmesi, yeşil bina derecelendirme sistemlerine artan vurgu nedeniyle küresel olarak oldukça ilgi toplamıştır (Ansah et al., 2019; Solla et al., 2020). Yeşil Bina Değerlendirme (YBD) programlarını BIM ile birleştirerek paydaşlar, yeşil bina kredilerini değerlendirmek ve almak için BIM verilerini kullanabilir, böylece değerlendirme süreci kolaylaştırılabilir. Birçok ülke, BIM'in yeşil bina sertifikasyonu uygulamasını geliştirmek için YBD'nin tam entegrasyonuna ve otomasyonuna (Şekil 3.6) doğru ilerlemektedir.



Şekil 3.6 BIM ve YBD otomasyonu

7.1 Yeşil bina sertifikasyonunda BIM'in avantajları

BIM, yeşil bina sertifikasyonuna ulaşmada çeşitli avantajlar sunmaktadır. İlk olarak BIM entegrasyonu, tasarımcıların binaların performansını kavramsal tasarım aşamasında değerlendirmelerine olanak tanır (Alkhatib & Mohsen Alawag, 2022). Bu, farklı tasarım seçeneklerinin değerlendirilmesine ve enerji tasarrufu önlemlerinin tasarım sürecinin erken aşamalarında belirlenmesine olanak tanır ve sonuçta daha iyi enerji verimli binalara yol açar.

İkinci olarak BIM, çeşitli sürdürülebilirlik değerlendirme araçlarının ve standartlarının tasarım sürecine entegrasyonunu kolaylaştırabilir. Örneğin BIM araçları, bina sürdürülebilirliği analizi için termal, gün ışığı, enerji ve hesaplamalı akışkan dinamiği simülasyonlarını birleştirebilir (Lim et al., 2018). Bu entegrasyon, tasarımcıların tasarım kararlarının çevresel etkilerini anlamalarına ve enerji performansını optimize etmek ve karbon emisyonlarını azaltmak için bilinçli seçimler yapmalarına yardımcı olur.

Üçüncüsü BIM, yeşil bina sertifikasyon sürecine dahil olan farklı disiplinler arasında iş birliği ve koordinasyon için bir platform sağlar. BIM, bilgi alışverişini ve görevlerin koordinasyonunu düzenleyerek sertifikasyon sürecini kolaylaştırmaya ve mimarlar, mühendisler, yükleniciler ve sürdürülebilirlik danışmanları arasındaki iletişimi geliştirmeye yardımcı olur.

Ek olarak BIM, sürdürülebilir malzeme ve kaynakların etkin yönetimine olanak tanır. BIM, binanın ve bileşenlerinin sanal bir modelini oluşturarak, kullanılan malzemelerin, karbon emisyonu ve su kullanımı gibi çevresel etkilerini izleyebilir ve yönetebilir. Proje ekipleri BIM'i kullanarak malzeme seçimi ve tedariki konusunda daha bilinçli kararlar alabilir, sonuçta çevresel etkiler azaltılabilir ve sürdürülebilirlik performansı iyileştirilebilir. BIM ve Web Harita Hizmeti teknolojilerinin saha konumu ve ulaşım analizi için entegre edilmesi önemli faydalar sağlayabilir (P. Chen & Nguyen, 2016).

Ayrıca BIM, binaların yaşam döngüleri boyunca sürekli olarak izlenmesine ve yönetilmesine katkıda bulunabilir. Tasarımcılar, BIM'i sensör teknolojisiyle entegre ederek binaların performansını gerçek zamanlı olarak sürekli olarak izleyebilir ve analiz edebilir. Bu, enerji verimliliğini ve sürdürülebilirliği optimize etmek için iyileştirmelerin yapılabileceği alanların belirlenmesine olanak tanır. Son olarak BIM, yeşil bina sertifikasyonu için gerekli bilgi ve verilerin derlenmesini ve belgelenmesini kolaylaştırabilir (J. Wong & Zhou, 2015). Yeşil bina sertifikasyon sürecinin otomatikleştirilmesi, sertifikasyon prosedürünü önemli ölçüde basitleştirirken BIM kullanarak bina sürdürülebilirlik değerlendirmesini optimize edebilir (Carvalho et al., 2019).

Genel olarak yeşil bina uygulama ve sertifikasyonunda BIM'in avantajları şunları içerir:

- Artan enerji verimliliği ve azaltılmış karbon emisyonları
- Sürdürülebilirlik değerlendirme araçlarının ve standartlarının entegrasyonu
- Proje paydaşları arasında kolaylaştırılmış iş birliği ve koordinasyon
- Sürdürülebilir malzemeler ve kaynakların etkin yönetimi
- Bina performansının sürekli izlenmesi ve yönetimi
- Yeşil bina sertifikasyonu için geliştirilmiş dokümantasyon ve veri yönetimi

7.2 Yeşil bina sertifikasyonunda BIM'in benimsenmesinin önündeki engeller

BIM'in yeşil bina sertifikasyonuna entegrasyonu dikkate değer avantajlar sunarken, bu yaklaşımla ilgili sınırlamaların ve potansiyel dezavantajların dikkate alınması önemlidir. Yeşil bina sertifikasyonunda BIM ile ilgili en önemli endişelerden biri, BIM araçlarının ve teknolojilerinin uygulanmasıyla ilgili karmaşıklık ve maliyettir. BIM yazılımına, eğitimine ve altyapısına yapılan ilk yatırım, özellikle küçük firmalar veya sınırlı kaynaklara sahip projeler için önemli olabilir. Bu potansiyel olarak bazı paydaşlar için giriş engeli oluşturabilir ve dolayısıyla yeşil bina sertifikasyonu için BIM'in yaygın şekilde benimsenmesini sınırlayabilir.

Dahası, enerji verimliliği değerlendirmeleri ve sürdürülebilirlik analizi için BIM'e güvenmek, istemeden de olsa teknolojik çözümlere aşırı vurgu yapılmasına yol açabilir ve potansiyel olarak sürdürülebilir tasarımın diğer kritik yönlerini gölgede bırakabilir. BIM değerli veriler ve simülasyonlar sağlayabilse de dijital bir modelde yakalanabileceklerin ötesinde sosyal, ekonomik ve çevresel faktörleri dikkate alan bütünsel ve bütünleşmiş tasarım yaklaşımlarının öneminin yerini almamalıdır.

Göz önünde bulundurulması gereken bir diğer husus, BIM yazılımının diğer tasarım ve analiz araçlarıyla birlikte çalışabilirliği ve uyumluluğudur. BIM ile çeşitli sürdürülebilirlik değerlendirme yazılımları arasında kusursuz entegrasyon sağlamanın yanı sıra veri alışverişinin güvenilirliğini sağlamak da önemli bir zorluk olabilir. Bu potansiyel olarak verimsizliklere ve veri tutarsızlıklarına yol açarak BIM kullanılarak yürütülen sürdürülebilirlik değerlendirmelerinin doğruluğunu tehlikeye atabilir. Ayrıca, yeşil BIM uygulamalarına yönelik net endüstri standartlarının ve kodların olmayışı, sertifikasyon süreçleri için zorluk teşkil etmektedir (Simhachalam et al., 2021).

Yeşil bina sertifikasyonunda BIM'in avantajlarından tam anlamıyla yararlanabilmek için yasal düzenlemelerin olması gerekmektedir. Bu düzenlemeler, standardizasyonu ve en iyi uygulamaları teşvik ederek BIM'in endüstri genelinde etkin ve tutarlı bir şekilde kullanılmasını sağlayacaktır. Yasal düzenlemeler olmadan, yeşil bina uygulamaları için BIM'in nasıl uygulandığı ve kullanıldığı konusunda tutarsızlıklar olabilir, bu da potansiyel kafa karışıklığına, verimsizliklere ve sürdürülebilirlik performansının yanlış değerlendirilmesine yol açabilir. Bu nedenle BIM'in yeşil bina uygulama ve sertifikasyon süreçlerine başarılı bir şekilde entegre edilmesi ve uygulanması için yasal düzenlemelerin oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Ayrıca BIM ve yeşil bina uygulama ve sertifikasyonu alanındaki yasal düzenlemeler de veri gizliliği, güvenliği ve mülkiyeti konusunda yönergeler sağlayacaktır. Bu, BIM teknolojileri aracılığıyla toplanan verilerin paylaşılması ve sahiplenilmesiyle ilgili endişeleri gidererek ve hassas bilgilerin korunmasını ve uygun şekilde kullanılmasını sağlayabilir.

Sonuç olarak, yeşil bina sertifikasyonunda BIM entegrasyonu çok sayıda fayda sunarken, bu yaklaşımla ilgili potansiyel sınırlamaların ve zorlukların da kabul edilmesi önemlidir. BIM'in avantajlarını ilgili karmaşıklıklarıyla dengelemek ve geleneksel sürdürülebilir tasarım uygulamalarının yerine geçmek yerine tamamlayıcı olmasını sağlamak, yeşil bina sertifikasyonunda BIM'in tam potansiyelinin gerçekleştirilmesinde çok önemlidir.

7.3 Literatürde yeşil bina sertifikasyonunda BIM entegrasyonuna yönelik çalışmalar

Literatürde, BIM'in yeşil bina sertifikasyon süreçlerine entegrasyonunu araştıran birçok çalışma bulunmaktadır (Seghier et al., 2017). Bu çalışmalar, proje ekipleri arasında gelişmiş koordinasyon ve iletişim, daha az hata ve yeniden çalışma, gelişmiş enerji performansı değerlendirmesi ve optimizasyonu, kolaylaştırılmış sürdürülebilirlik değerlendirmeleri ve çoklu tasarım alternatifleri aracılığıyla basitleştirilmiş tasarım süreçleri gibi yeşil bina sertifikasyonunda BIM kullanmanın avantajlarını vurgulamıştır. Ancak bu çalışmalar aynı zamanda yeşil bina sertifikasyonu için BIM entegrasyonundaki zorlukları ve sınırlamaları da belirlemiştir. Bu zorluklar arasında net endüstri standartlarına ve kodlarına olan ihtiyaç, BIM ile sürdürülebilirlik değerlendirme yazılımı arasında güvenilir veri alışverişi ve sürdürülebilirlik performansını izleme için BIM'e aşırı güvenme olasılığı yer almaktadır.

Entegre Çevre Çözümleri (Integrated Environmental Solutions - IES), Tek Tıklamayla Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (One Click Life Cycle Assessment – One Click LCA) ve Autodesk gibi BIM yazılımı tedarikçileri, belirli LEED ve BREEAM kriterlerine göre belgeleri değerlendirmek ve oluşturmak için araçlar geliştirmiştir. Örneğin IES, Sanal Ortam Gezginini (Virtual Environment Navigator - IES-VE-Navigator) termal konfor, iç mekan ortamlarındaki gün ışığı kalitesi, enerji ve atmosfer önkoşullarıyla ilgili LEED sürüm 4'ün belirli kredilerini otomatik olarak değerlendirmek üzere tasarlanmış bir modül olarak sunmaktadır. Bu araç, LEED şablonlarıyla kullanılmak üzere uyarlanmış girdi yönetimine ve sonuç üretimine olanak tanır. Ek olarak, kanıtların çevrimiçi olarak LEED'e doğrudan sunulmasını sağlayan bulut tabanlı bir proje yönetimi aracı olan IES Tap for LEED ile tamamen uyumludur. IES, LEED projelerinin gerekliliklerini desteklemenin yanı sıra, BREEAM kapsamındaki sağlık ve refah kredilerinin bazı yönleri için analiz yeteneği de sağlar.

Jalaei ve arkadaşları, BIM'den elde edilen erken tasarım verilerine dayanarak potansiyel LEED derecelendirmelerini hesaplamak için bir eklenti oluşturmayı içeren yenilikçi bir otomasyon metodolojisi geliştirmiştir. Bu eklenti, BIM'den

şantiye ortamı, proje konumu ve yönelimi gibi bilgilerin yanı sıra enerji, aydınlatma ve su verimliliği analizi sonuçlarından bilgi alan entegre bir model kullanır. Konum ve yönlendirme bilgileri için Google Haritalar, çeşitli çevresel etkiler için Green Buildings Studio ve tasarım özellikleri için BIM'in API araçlarını içerir. Metodoloji, bina projesi için LEED sertifikası almaya yönelik kullanılabilecek sürdürülebilirlik kredilerinin hesaplanmasına olanak tanır. Doğrudan tasarım parametrelerinden hesaplanamayan potansiyel krediler için, eksik olanları tahmin etmek amacıyla Ağırlıklı K-En Yakın Komşu (K-Nearest Neighbors Algoritması) olarak bilinen bir veri madenciliği yöntemi kullanılmıştır. Sonuçlar açısından, metodolojileri, çoğu LEED v4 kategorisini ele almıştır. Böylece BIM'in LEED ile entegrasyonunun fizibilitesi gösterilerek, mimarların ve inşaatçıların tasarımın ilk aşamalarında sürdürülebilirliği değerlendirmede devrim yaratma potansiyeline sahip olduğu, insan çabasını azaltarak zamandan tasarruf sağladı ve süreç verimliliğini artırdığı sonuçlarına ulaşılmıştır (Jalaei et al., 2020).

Başka bir çalışmada Guo ve diğerleri, yeşil binaların değerlendirilmesini ve optimizasyonunu otomatikleştiren bir BIM sistemi sunmaktadır. Yazarlar, hedef binanın 3 boyutlu BIM modelinin oluşturulmasını, önemli ve etkili faktörlere dayalı bir değerlendirme sisteminin oluşturulmasını ve oluşturulan değerlendirme sistemine dayalı olarak binanın performans simülasyonunun gerçekleştirilmesini içeren üç aşamalı bir süreç geliştirmektedir. Bu simülasyonun sonuçları, araştırmacıların binanın yeşil performansını optimize etmek için potansiyel yenileme tedbirleri önermelerine olanak tanımaktadır. Sistem, çeşitli yeşil bina değerlendirme standartlarına uygulanabilir ve değerini ve verimliliğini bir örnek olay çalışmasıyla gösterir (Guo et al., 2021).

Romano ve Riediger (2019), BIM'in LEED, BREEAM ve DGNB gibi Yeşil Bina Sertifikasyonlarının başarısını destekleme potansiyeli gösterdiğini bulmuştur. EUREF HAUS 12–13 vaka çalışmasının kullanıldığı deney sırasında BIM, DGNB'nin enerjiyle ilgili kriterlerinin %100'ünü, BREEAM'in %60'ını ve LEED'in %55'ini destekleyebilmiştir. BREEAM ve LEED için BIM desteğini daha da optimize etmek amacıyla bu sertifikalar için standart BIM parametrelerinin belirlenmesi gerekliliği vurgulanmıştır. Çalışmaya göre yüksek maliyet, yeşil bina

sertifikasyonları için standart BIM parametrelerinin bulunmaması, zaman alıcı süreçler ve düşük birlikte çalışabilirlik gibi zorluklar nedeniyle başlangıçta zaman ve kaynak yatırımına rağmen, BIM ve yeşil bina sertifikasyonların entegrasyonu uzun vadede verimliliği artırmaktadır. Dokümantasyon otomasyonunun yanı sıra ekipler arasında gelişmiş iş birliği ve bilgi alışverişinin önemli avantajlar olduğu vurgulanmıştır. BIM'in kullanılmasıyla yeşil bina sertifikasyonuna ulaşma süreci zaman içinde çok daha organize ve verimli hale gelebilir. Geleneksel yöntemle karşılaştırıldığında, BIM yönteminin başlangıçtaki zaman yatırımının daha kapsamlı olduğu, ancak tüm parametreleri BIM modeline dahil ettiği için sürecin otomatikleştirildiği ve sonraki uygulamalarda önemli ölçüde zaman tasarrufu sağladığı bulunmuştur (Romano & Riediger, 2019).

Yeşil bina sertifikasyonunda BIM entegrasyonu alanında yapılan çalışmalara ve gelişmelere dayanarak, BIM teknolojisinin kullanımının yeşil binaların değerlendirilmesinde ve optimizasyonunda çeşitli avantajlar sunduğu açıktır. Jalaei, Guo ve diğerleri tarafından geliştirilen yenilikçi otomasyon metodolojileri, BIM'in LEED, BREEAM ve DGNB gibi yeşil bina sertifikalarına ulaşma sürecini kolaylaştırma potansiyelini ortaya koymaktadır. Üstelik BIM ile yeşil bina sertifikasyonlarının entegrasyonu, proje ekipleri arasındaki iş birliği ve bilgi alışverişinde gelişmelere yol açarak uzun vadede verimliliği artırmaktadır. Bu entegrasyon aynı zamanda dokümantasyonun otomatikleştirilmesi ve binanın yeşil performansının optimize edilmesi için gerekli araçları da sunarak sonraki uygulamalarda önemli ölçüde zaman tasarrufu sağlamaktadır.

Yeşil bina sertifikasyonu için BIM'in uygulanmasına yönelik ilk zaman ve kaynak yatırımı önemli olsa da otomasyon ve verimlilik açısından uzun vadeli faydaların değerli olduğu vurgulanmaktadır. Ek olarak, IES, One Click LCA ve Autodesk gibi BIM yazılım satıcılarının belirli LEED ve BREEAM kriterlerini desteklemesi, BIM'in yeşil binaların sertifikasyonu ve değerlendirme sürecine yardımcı olma potansiyelini daha da ortaya koymaktadır.

İleriye dönük olarak, yeşil bina sertifikasyonu için BIM entegrasyonunda devam eden araştırma ve geliştirme, çalışmalarda belirlenen açık endüstri standartlarına ve kodlara duyulan ihtiyaç gibi zorlukların ele alınması açısından

hayati öneme sahiptir. Sektör, BIM teknolojisinin yeteneklerinden yararlanarak ve bu zorlukların üstesinden gelerek sürdürülebilir tasarım ve inşaat uygulamalarının etkisini daha da artırabilir.



8. SONUÇ

Bu çalışmada literatürde kendine yer bulan yeşil binalar, BIM ve bu ikisinin simbiyotik birleşimi olan yeşil BIM kavramları ile bu alanlarda yürürlüğe konulmuş çeşitli yönetmelikler ve uluslararası düzeyde kabul görmüş bazı yeşil bina sertifikasyon sistemleri incelenmiştir. Yeşil bina sertifikasyonunda BIM kullanımının avantajları, bu alanda yapılan çalışmalar ve elde edilen bilgiler ışığında irdelenmiştir.

Sonuç olarak, BIM'in yeşil bina sertifikasyonuna entegrasyonu verimlilik, iş birliği ve otomasyon açısından çok sayıda avantaj sunmaktadır. Bu avantajlar arasında yeşil bina hedeflerine ulaşmak için etkili stratejiler seçme yeteneği, yeşil bina değerlendirme kredilerini yorumlama, dokümantasyon yönetimini kolaylaştırma, proje kalitesi ve performansını optimize etme yeteneği yer alır. Ayrıca yeşil bina sertifikasyonunda BIM entegrasyonu, değerlendirme sürecini kolaylaştırmaya yardımcı olur ve sürdürülebilir tasarım ilkelerine uygunluğu sağlar.

BIM'in yeşil bina uygulamalarında ve sertifikasyonunda kullanılmasının, geleneksel binalara kıyasla bina değerlerinde artışa yol açtığı gösterilmiştir. Değerdeki bu artış, artan enerji verimliliğine, azaltılmış çevresel etkiye ve yeşil binaların artan genel performansına bağlanmaktadır.

Yeşil bina uygulamalarında ve sertifikasyonunda BIM'in etkin bir şekilde uygulanması ve başarısının sağlanmasında yasal düzenlemeler önemli bir rol oynamaktadır. Yasal düzenlemeler olmadığında, BIM'in kullanımında ve uygulanmasında tutarsızlıklar ortaya çıkabilir ve bu da sürdürülebilir tasarım ve inşaat uygulamalarını teşvik etme konusundaki tam potansiyeline engel olabilir. Bu nedenle hükümetlerin ve düzenleyici kurumların yeşil bina sertifikasyonunda BIM kullanımına ilişkin net kurallar ve yönergeler oluşturması gerekmektedir. Bu düzenlemeler, veri sahipliği ve paylaşımı, BIM uygulamalarının standartlaştırılması, sorumluluk kaygıları ve BIM'in mevcut inşaat düzenlemeleri ve süreçlerine entegrasyonu gibi konuları ele almalıdır. Sektör, yasal düzenlemeleri hayata geçirerek, yeşil bina uygulamalarında ve sertifikasyonunda BIM'in etkin ve

tutarlı bir şekilde kullanılmasını sağlayabilir. Bunu yaparak endüstri, sürdürülebilirliği teşvik etme ve gelecek nesiller için daha yeşil yapılı bir çevre yaratma konusunda BIM teknolojisinin faydalarını en üst düzeye çıkarabilir.

Çeşitli ülkelerin deneyimlerine bakıldığında, BIM kullanımını zorunlu kılan düzenlemelerin benimsenmesinin, BIM'in benimsenmesini hızlandırmada son derece etkili olduğu ve aynı zamanda genel proje yönetimini ve teslimini önemli ölçüde iyileştirdiği açıktır. Birleşik Krallık hükümeti, BIM'i zorunlu kılarak yalnızca birlikte çalışabilen 3 boyutlu modelleme için bir standart belirlemekle kalmayarak, aynı zamanda tüm inşaat yaşam döngüsünün dijitalleştirilmesinin yolunu da açmıştır. Ek olarak, Singapur'daki CORENET'e benzer şekilde bina mevzuatı ve genelgeleri için merkezi bir veri havuzu oluşturmak, düzenleme sürecini kolaylaştırabilir ve Türkiye'deki tüm inşaat projeleri için ilgili bilgilere kolay erişim sağlayabilir.

Mevzuat ve kılavuzlardaki bu ilerlemeler küresel ölçekte gözlenmekle birlikte, gelecekte Türkiye'nin de benzer düzenlemeleri hayata geçirmesi, inşaat sektöründe BIM uygulamalarının daha yaygın hale getirilmesi ve standart hale getirilmesi açısından faydalı olabilir. Bunu yaparak ülke, tüm paydaşlar arasında verimliliği, iş birliğini ve yeniliği teşvik eden tek tip BIM standartlarını sağlayabilir.

Yeşil bina sertifikasyonu için BIM entegrasyonu alanında gelecekteki akademik araştırmalar, mevcut çalışmalarda belirlenen zorlukların ele alınmasına odaklanmalıdır. Araştırma alanlarından biri, yeşil bina sertifikasyonunda BIM teknolojisinin kullanımını kolaylaştırmak için net endüstri standartları ve kodları oluşturma etrafında dönebilir. Bu, LEED, BREEAM ve DGNB gibi çeşitli yeşil bina değerlendirme standartları için BIM modelleri içerisinde standartlaştırılmış parametrelerin geliştirilmesini içerecektir. Ek olarak, daha fazla araştırma, sürdürülebilirlik değerlendirmeleri için kusursuz bir entegrasyon sağlamak amacıyla BIM ve Bina Enerji Modelleme araçları arasındaki birlikte çalışabilirliği keşfedebilir. Başka bir araştırma alanı ise, BIM modelleri içerisinde çevresel ve sürdürülebilirlik bilgilerinin kusursuz bir şekilde paylaşılmasını sağlayan verimli veri alışverişi protokollerinin ve formatlarının geliştirilmesi olabilir. Bu, yeşil bina

performansının doğru analizini ve değerlendirilmesini kolaylaştıracak ve daha etkili sertifikasyon süreçlerine yol açacaktır.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- 3D-4D building information modeling | GSA.** (2023). <https://www.gsa.gov/real-estate/design-and-construction/3d4d-building-information-modeling>
- Working Party Strategy Paper.** (2011) *A report for the Government Construction Client Group Building Information Modelling (BIM).*
- Abanda, F. H., Vidalakis, C., Oti, A. H., & Tah, J. H. M.** (2015). A critical analysis of Building Information Modelling systems used in construction projects. *Advances in Engineering Software*, 90, 183–201. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2015.08.009>
- AIA Contract Documents.** (2023). <https://aiacontracts.com/>
- Alkhatib, F., & Mohsen Alawag, A.** (2022). Building Information Modelling (BIM) and Energy Performance of Building - A Review. *Journal of Applied Artificial Intelligence*, 2(1), 22–31. <https://doi.org/10.48185/jaai.v2i1.581>
- Ansah, M. K., Chen, X., Yang, H., Lu, L., & Lam, P. T. I.** (2019). A review and outlook for integrated BIM application in green building assessment. In *Sustainable Cities and Society* (Vol. 48). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101576>
- Araszkiewicz, K.** (2016). Green BIM Concept – Scandinavian Inspirations. *Archives of Civil Engineering*, 62(1), 99–110. <https://doi.org/https://doi.org/10.1515/ace-2015-0054>
- Azhar, S.** (2010). BI M for Sustainable Design: Results of an Industry Survey. *Journal of Building Information Modeling, Spring*(National Institute of Building Sciences: An Authoritative Source of Innovative Solutions for the Built Environment), 44.
- Bayraktar, M. E., & Owens, C. R.** (2010). LEED Implementation Guide for Construction Practitioners. *Journal of Architectural Engineering*, 16(3), 85–93. [https://doi.org/https://doi.org/10.1061/\(asce\)ae.1943-5568.0000013](https://doi.org/https://doi.org/10.1061/(asce)ae.1943-5568.0000013)
- Bedrick, J., Ikerd, W., & Reinhardt, J.** (2021). *LEVEL OF DEVELOPMENT (LOD) SPECIFICATION Part I 2021 Level of Development (LOD) Specification For Building Information Models Part I, Guide, & Commentary.* www.bimforum.org/lof

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Berardi, U.** (2012). Beyond Sustainability Assessment Systems: Upgrading Topics by Enlarging The Scale of Assessment. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 2(4), 276–282. <https://doi.org/10.5390/susb.2011.2.4.276>
- Bew, M.** (2015). *Digital Built Britain – Level 3 Strategy*.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı,** (2022) BİNALAR İLE YERLEŞMELER İÇİN YEŞİL SERTİFİKA YÖNETMELİĞİ. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/06/20220612-1.htm>
- Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı,** (2022). *BIM TEKNİK ŞARTNAMESİ ve İHALE DOKÜMANLARI ULAŞTIRMA PROJELERİ Yapım İşleri İhaleleri*.
- BREEAM Non domestic buildings technical manual.** (2018). <https://bregroup.com/products/breeam/breeam-technical-standards/>
- Cao, Y., Kamaruzzaman, S. N., & Aziz, N. M.** (2022). Green Building Construction: A Systematic Review of BIM Utilization. *Buildings*, 12(8), 1205. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/buildings12081205>
- Carvalho, J. P., Bragança, L., & Mateus, R.** (2019). Optimising building sustainability assessment using BIM. *Automation in Construction*, 102, 170–182. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.021>
- Cassidy, R.** (2003). White Paper on Sustainability: A report on the green building movement. *Reed Business Information, Building Design & Construction*, November, 1–48. [https://www.bdcnetwork.com/sites/bdc/files/BD%2BC2003 White Paper on Sustainability.pdf](https://www.bdcnetwork.com/sites/bdc/files/BD%2BC2003%20White%20Paper%20on%20Sustainability.pdf)
- Cetik, M.** (2014). The Governance of Standardisation in Turkish Green Building Certification Schemes. In SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2435160>
- Chang, Y. T., & Hsieh, S. H.** (2020). A review of building information modeling research for green building design through building performance analysis. *Journal of Information Technology in Construction*, 25, 1–40. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2020.001>

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Chen, C. J., Chen, S. Y., Li, S. H., & Chiu, H. T.** (2017). Green BIM-based building energy performance analysis. *Computer-Aided Design and Applications*, 14(5), 650–660. <https://doi.org/10.1080/16864360.2016.1273582>
- Chen, P., & Nguyen, T. C.** (2016). Integrating BIM and Web Map Service (WMS) for Green Building Certification. *Procedia Engineering*, 164, 503–509. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.651>
- Cheng, J. C. P., & Lu, Q.** (2015). *A Review of the Efforts and Roles of the Public Sector for BIM Adoption Worldwide*. www.itcon.org
- Cole, R. J.** (2002). Emerging trends in building environmental assessment methods. *Building Research & Information*, 26(1), 3–16. <https://doi.org/10.1080/096132198370065>
- Construction 2025.** (2013). <https://www.gov.uk/government/publications/>
- Delgado, J. M. P. Q., Guimarães, A. S., Poças Martins, J., Parracho, D. F. R., Freitas, S. S., Lima, A. G. B., & Rodrigues, L.** (2023). BIM and BEM Interoperability–Evaluation of a Case Study in Modular Wooden Housing. *Energies*, 16(4). <https://doi.org/10.3390/en16041579>
- DGNB SYSTEM CRITERIA SET NEW CONSTRUCTION BUILDING.** (2018). <https://www.dgnb.de/en/certification/buildings/new-construction>
- Ding, G. K. C.** (2008). Sustainable construction-The role of environmental assessment tools. *Journal of Environmental Management*, 86(3), 451–464. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.12.025>
- DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL,** (2021). <http://data.europa.eu/eli/dir/2010/31/2021-01-01>
- Doukari, O., Seck, B., & Greenwood, D.** (2022). The Creation of Construction Schedules in 4D BIM: A Comparison of Conventional and Automated Approaches. *Buildings*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/buildings12081145>
- Edirisinghe, R., & London, K.** (2015). *Comparative Analysis of International and National Level BIM Standardization Efforts and BIM adoption. Comparative Analysis of International and National Level BIM Standardization Efforts and BIM adoption.*

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Elnabawi, M. H.** (2020). Building Information Modeling-Based Building Energy Modeling: Investigation of Interoperability and Simulation Results. *Frontiers in Built Environment*, 6. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2020.573971>
- Ministry of Housing, Communities and Local Government**, (2020). Energy Performance of Buildings Regulations 2012 Implementation Report.. <https://www.gov.uk/government/publications/energy-performance-of-buildings-regulations-2012-implementation-report>
- Ershadi, M., Davis, P., Jefferies, M., & Mojtahedi, M.** (2021). Implementation of Building Information Modelling in infrastructure construction projects: a study of dimensions and strategies. *International Journal of Information Systems and Project Management*, 9(4), 43–59. <https://doi.org/10.12821/ijispm090403>
- Fabbri, M., Glicker, J., Schmatzberger, S., Roscini, A. V., Milne, C., & Jeffries, B.** (2020). A GUIDEBOOK TO EUROPEAN BUILDING POLICY KEY LEGISLATION AND INITIATIVES BPIE review and editing team Roberta D'Angiolella. www.bpie.eu
- Ferreira, A., Pinheiro, M. D., de Brito, J., & Mateus, R.** (2023). A critical analysis of LEED, BREEAM and DGNB as sustainability assessment methods for retail buildings. *Journal of Building Engineering*, 66, 105825. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.105825>
- Georgiadou, M. C.** (2019). An overview of benefits and challenges of building information modelling (BIM) adoption in UK residential projects. *Construction Innovation*, 19(3), 298–320. <https://doi.org/10.1108/CI-04-2017-0030>
- Goulding, J., Rahimian, F. P., Arif, M., & Sharp, M.** (2012). Offsite Construction: Strategic Priorities for Shaping the Future Research Agenda. *Architectoni.Ca*, 1(1), 62–73. <https://doi.org/10.5618/arch.2012.v1.n1.7>
- Grytting, I., Svalestuen, F., Lohne, J., Sommersteth, H., Augdal, S., & Lædre, O.** (2017). Use of LoD Decision Plan in BIM-projects. *Procedia Engineering*, 196, 407–414. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.217>

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Guo, K., Li, Q., Zhang, L., & Wu, X.** (2021). BIM-based green building evaluation and optimization: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 320, 128824. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128824>
- EU BIM Task Group,** (2017). *Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector Strategic action for construction sector performance: driving value, innovation and growth.*
- Hartmann, T., Gao, J., & Fischer, M.** (2008). Areas of Application for 3D and 4D Models on Construction Projects. *JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT* © ASCE. <https://doi.org/10.1061/ASCE0733-93642008134:10776>
- Helseth, H. L., & Haskins, C.** (2022). Systems Engineering applied in the construction industry to achieve a BREEAM certification. *INCOSE International Symposium*, 32(1), 51–74. <https://doi.org/10.1002/iis2.12917>
- International Green Construction Code (IgCC) - ICC.** (2023). <https://www.iccsafe.org/products-and-services/i-codes/2018-i-codes/igcc/>
- Iwaro, J., Mwasha, A., Williams, R. G., & Zico, R.** (2014). An Integrated Criteria Weighting Framework for the sustainable performance assessment and design of building envelope. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 417–434. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.096>
- Jalaei, F., Jalaei, F., & Mohammadi, S.** (2020). An integrated BIM-LEED application to automate sustainable design assessment framework at the conceptual stage of building projects. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101979. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101979>
- Jiang, S., Wang, N., & Wu, J.** (2018). Combining BIM and Ontology to Facilitate Intelligent Green Building Evaluation. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 32(5), 04018039. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cp.1943-5487.0000786](https://doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000786)
- Jokela, M., Laine, T., & Hänninen, R.** (2012). *Common BIM Requirements.*

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Kauskale, L., Geipele, I., Zeltins, N., & Lecis, I.** (2016). Energy Aspects of Green Buildings - International Experience. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 53(6), 21–28. <https://doi.org/10.1515/lpts-2016-0040>
- Khasreen, M. M., Banfill, P. F. G., & Menzies, G. F.** (2009). Life-cycle assessment and the environmental impact of buildings: A review. *Sustainability*, 1(3), 674–701. <https://doi.org/10.3390/su1030674>
- Latiffi, A. A., Brahim, J., Mohd, S., & Fathi, M. S.** (2015). Building Information Modeling (BIM): Exploring Level of Development (LOD) in Construction Projects. *Applied Mechanics and Materials*, 773–774, 933–937. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.773-774.933>
- LEED rating system | U.S. Green Building Council.** (2023). <https://www.usgbc.org/leed>
- Level of Development (LOD) Specification – BIM Forum.** (2023). <https://bimforum.org/resource/lod-level-of-development-lod-specification/>
- Likhitrungsilp, V., Putthividhya, W., & Ioannou, P. G.** (2012). *Conceptual Framework of the Green Building Information Management System*.
- Lim, Y. W., Majid, H. A., Samah, A. A., Ahmad, M. H., Ossen, D. R., Harun, M. F., & Shahsavari, F.** (2018). Bim and genetic algorithm optimisation for sustainable building envelope design. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 13(1), 151–159. <https://doi.org/10.2495/SDP-V13-N1-151-159>
- Lin, P. H., Chang, C. C., Lin, Y. H., & Lin, W. L.** (2019). Green BIM assessment applying for energy consumption and comfort in the traditional public market: A case study. *Sustainability (Switzerland)*, 11(17). <https://doi.org/10.3390/su11174636>
- Liu, Z., Zhang, C., Guo, Y., Osmani, M., & Demian, P.** (2019). A building information modelling (BIM) based water efficiency (BWe) framework for sustainable building design and construction management. *Electronics (Switzerland)*, 8(6). <https://doi.org/10.3390/electronics8060599>

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Maltese, S., Tagliabue, L. C., Cecconi, F. R., Pasini, D., Manfren, M., & Ciribini, A. L. C.** (2017). Sustainability Assessment through Green BIM for Environmental, Social and Economic Efficiency. *Procedia Engineering*, 180, 520–530. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.211>
- Mason, H.** (2011). *THE INTERNATIONAL GREEN CONSTRUCTION CODE-"Safe and Sustainable: By the Book THE INTERNATIONAL GREEN CONSTRUCTION CODE-"Safe and Sustainable: By the Book"*.
- Motawa, I., & Carter, K.** (2013). Sustainable BIM-based Evaluation of Buildings. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 74, 419–428. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.03.015>
- Mumtaz Abdul Hameed.** (2012). *Adoption Process of Information Technology (It) Innovations in Organizations*. December, 1–295.
- Nechyporchuk, Y., & Baskova, R.** (2021). The level of detail for 4D BIM modeling. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1209(1), 012002. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1209/1/012002>
- Nguyen, T. H., Toroghi, Sh. H., & Jacobs, F.** (2015). Automated Green Building Rating System for Building Designs. *Journal of Architectural Engineering*, 22(4), A4015001. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ae.1943-5568.0000168](https://doi.org/10.1061/(asce)ae.1943-5568.0000168)
- Nguyen, T.-H., Toroghi, Sh. H., & Jacobs, F. W.** (2016). Automated Green Building Rating System for Building Designs. *Journal of Architectural Engineering*, 22(4). [https://doi.org/https://doi.org/10.1061/\(asce\)ae.1943-5568.0000168](https://doi.org/https://doi.org/10.1061/(asce)ae.1943-5568.0000168)
- Noviani, S. A., Amin, M., & Hardjomuljadi, S.** (2022). The impact of 3D, 4D, and 5D Building Information Modeling for reducing claims to service providers. *SINERGI*, 26(1), 47. <https://doi.org/10.22441/sinergi.2022.1.007>
- Olbina, S., & Elliott, J. W.** (2019). Contributing project characteristics and realized benefits of successful BIM implementation: A comparison of complex and simple buildings. *Buildings*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/buildings9080175>

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Park, J. H., & Lee, G.** (2017). Design coordination strategies in a 2D and BIM mixed-project environment: social dynamics and productivity. In *Building Research and Information* (Vol. 45, Issue 6, pp. 631–648). Routledge. <https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1288998>
- Piaseckienė, G.** (2022). DIMENSIONS OF BIM IN LITERATURE: REVIEW AND ANALYSIS. *Mokslas - Lietuvos Ateitis*, 14(0), 1–11. <https://doi.org/10.3846/mla.2022.16071>
- Pillars, T.** (2020). *Basic structure of the DGNB System Overview of the criteria **.
- Raouf, A. M. I., & Al-Ghamdi, S. G.** (2019). Building information modelling and green buildings: challenges and opportunities. *Architectural Engineering and Design Management*, 15(1), 1–28. <https://doi.org/10.1080/17452007.2018.1502655>
- Reeves, T. J., Olbina, S., & Issa, R. R. A.** (2012). Guidelines for Using Building Information Modeling (BIM) for Environmental Analysis of High-performance Buildings. *Computing in Civil Engineering*, 9(4), 43–50.
- Rogers, J., Chong, H. Y., & Preece, C.** (2015). Adoption of Building Information Modelling technology (BIM): Perspectives from Malaysian engineering consulting services firms. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 22(4), 424–445. <https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2014-0067>
- Romano, S., & Riediger, N.** (2019). BIM as a tool for Green Building Certifications: an evaluation of the energy category of LEED, BREEAM and DGNB. *Journal of Physics*, 1425(1), 12162. <https://doi.org/https://doi.org/10.1088/1742-6596/1425/1/012162>
- Schweber, L.** (2013). The effect of BREEAM on clients and construction professionals. *Building Research and Information*, 41(2), 129–145. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/09613218.2013.768495>
- Seghier, T. E., Lim, Y. W., Ahmad, M. H., & Samuel, W. O.** (2017). Building Envelope Thermal Performance Assessment Using Visual Programming and BIM, based on ETTV requirement of Green Mark and GreenRE. *International Journal of Built Environment and Sustainability*, 4(3). <https://doi.org/10.11113/ijbes.v4.n3.216>

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Simhachalam, V., Wang, T., Liu, Y., Wamelink, H., Montenegro, L., & van Gorp, G.** (2021). Accelerating building energy retrofitting with bim-enabled breem-nl assessment. *Energies*, 14(24). <https://doi.org/10.3390/en14248225>
- Singapore BIM Guide Version 2.** (2012). www.bca.gov.sg
- Smith, P.** (2014). BIM implementation - Global strategies. *Procedia Engineering*, 85, 482–492. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.575>
- Solla, M., Milad, A., Hakim, L., Shaarani, A., Yusoff, N. I. M., & Abass, F.** (2020, November 11). The Application of Building Information Modelling in Green Building Index for Energy Efficiency Assessment. *2020 2nd International Sustainability and Resilience Conference: Technology and Innovation in Building Designs*. <https://doi.org/10.1109/IEEECONF51154.2020.9320002>
- Succar, B., Sher, W., Aranda-mena, G., & Williams, T.** (2007). a Proposed Framework To Investigate Building Information Modelling Through Knowledge Elicitation and Visual Models. *Conference of the Australasian Universities Building Education Association (AUBEA)*, July, 1–18. <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents>
- Suermann, P. C., & Maddox, L. R.** (2015). MILCON in the department of defense: Estimating, building information modeling (BIM) based design, and impact on United States army and air force construction. In *Building Information Modeling: Applications and Practices* (pp. 83–106). American Society of Civil Engineers (ASCE). <https://doi.org/10.1061/9780784413982.ch04>
- UK Secretary of State, (2022).** The Energy Performance of Buildings (England and Wales) Regulations 2012. *Legislation.Gov.Uk*. <https://www.legislation.gov.uk/ukxi/2012/3118>
- UNEP.** (2009). *UNEP Annual Report Seizing the Green Opportunity*.
- United States | National BIM Standard.** (2023). <https://www.nationalbimstandard.org/>

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- USGBC.** (2018). *LEED v 4 for BD+C*. 161.
http://www.usgbc.org/sites/default/files/LEED_v4_BDC_04.05.16_current.pdf
- Wang, X., Love, P. E. D., & Davis, P. R.** (2012). MULTI-CRITERIA DECISION MAKING TO IMPROVE PERFORMANCE IN CONSTRUCTION PROJECTS WITH LEED CERTIFICATION. *Construction Research Congress, Mathiassen* 1993, 778–786.
<https://doi.org/10.1061/9780784412329.146>
- Wong, A., Wong, F. K. W., & Nadeem, A.** (2009). Comparative roles of major stakeholders for the implementation of BIM in various countries. *Proceedings of the International Conference on Changing Roles: New Roles, New Challenges, October*, 5–9. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Wong, J., & Zhou, J. X.** (2015). Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review. *Automation in Construction*, 57, 156–165.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.06.003>
- Woo, J., Wilsman, J., & Kang, D.** (2010). *Use of As-Built Building Information Modeling*. 538–548.
- Wu, W., & Issa, R.** (2013). Integrated Process Mapping for BIM Implementation in Green Building Project Delivery. *In Proceedings of the 13th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, October*, 30–31.
<https://doi.org/10.2466/05.20.22.PMS.114.3.748-756>
- Zargar, S. H., Dehghani Firouzabadi, F., Zareie, M., & Khaghani, S.** (2019). Human-centered Approach for Proper Functioning of LEED Criteria; A Case Study in Tehran. *Advanced Journal of Social Science*, 6(1), 109–121.
<https://doi.org/10.21467/ajss.6.1.109-121>
- Zhang, C., & Chen, J.** (2015). LEED Embedded Building Information Modeling System. *AEI*, 25–36.

TEŞEKKÜR

Uzun ve zorlu tez yazım sürecinde danışmanlığını benden esirgemeyen Doç. Dr. Selim BARADAN'a teşekkür ederim. Lisans eğitimimde danışmanım olan ve bu tez fikrimin ortaya çıkmasını sağlayan Doç. Dr. Gözde Başak ÖZTÜRK ÖZERAY'a teşekkürü borç bilirim.

Her zaman arkamda hissettiğim beni var eden annem Nurcan GONCAL'a ve babam Mustafa ÇORUH'a teşekkür ederim.

Bütün üniversite eğitim hayatım boyunca yanımda olup, beni destekleyen ve bana güç veren hayat arkadaşım Uzm. Dyt. Rabia BERBER'e ve kedilerimiz Miyiv ve Tomris'e teşekkür ederim.

30 / 01 / 2024

Orkun Çoruh

ÖZGEÇMİŞ

Orkun Çoruh, Adnan Menderes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2019 yılında mezun olmuştur. 2021 bahar yarıyılında Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır.

