



Yapı Bilgi Modellemesi ile Sürdürülebilir İç Mekan Tasarımında Enerji Verimliliği, Aydınlatma Optimizasyonu: Avantajlar ve Zorluklar

Nilay YILMAZ¹, Doç. Dr. Fatma Ceyda GÜNEY YÜKSEL²

^{1*} Haliç Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İç Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

² Haliç Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, İstanbul, Türkiye

E-Posta: nilayyilmaz@hotmail.com, fatmaceydayuksel@halic.edu.tr

Gönderim 18.11.2024; Kabul 16. 04.2025

Özet: Tarih boyunca insanlar, yaşamlarını sürdürebilmek adına doğayı dönüştürme gereksinimi duymuştur. Ancak bu etkileşimler zamanla evrimleşmiş; değişen ihtiyaçlar, teknolojik ilerlemeler ve kaynakların aşırı tüketimi çevresel sorunların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Kontrolsüz doğal kaynak kullanımı, ekosistemi tahrip ederek canlıların yaşamlarını tehdit eden temel faktörlerden biri haline gelmiştir. Bu durum, çevresel bozulmayı önlemek ve iyileştirmek amacıyla sürdürülebilir yaşam biçimlerinin benimsenmesini zorunlu kılmıştır. Sürdürülebilirlik kavramı birçok sektöre uyarlanabilir olsa da, en etkili değişimlerin gerçekleştirilebileceği alanlardan biri mimaridir. Mimari ve iç mimari süreçler içerisinde, tasarımcılar tarafından düşünülen tasarım uygulamalarını daha sürdürülebilir hale getirmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler ile birlikte, tasarımların uygulama aşamasına geçilmeden önce kapsamlı analizlerin yapılması da mümkün kılınmıştır. Günümüzde farklı ihtiyaçlara yönelik birçok çizim yazılımı bulunmaktadır, ancak CAD gibi eski nesil yazılımlar, analizlerin farklı platformlarda yürütülmesini gerektirmektedir. Bu durum, zaman kaybına neden olmakta ve süreçleri karmaşık hale getirmektedir. Ancak analiz ve çizim süreçlerini birleştiren Building Information Modeling (BIM) yazılımları, özellikle Revit, daha etkili ve verimli bir çözüm sunmaktadır. Bu yazılımlar, daha tutarlı ve güvenilir sonuçlar elde edilmesine katkı sağlamaktadır. Bu makale, sürdürülebilir tasarımın önemine dikkat çekerek, bu bağlamda gerçekleşen dönüşüm süreçlerini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Çalışma, sürdürülebilir tasarımın değerlendirilmesi amacıyla Yapı Bilgi Modellemesi yazılımlarının yapay zekâ özelliklerini kullanarak modellenmiş binaların incelenmesine odaklanmaktadır. Bu doğrultuda, BIM modellerinden elde edilen veriler, belirlenen sürdürülebilirlik ölçütleri çerçevesinde analiz edilip değerlendirilecek; elde edilen bulgular, mevcut binaların sürdürülebilirlik performansını ölçmek ve gelecekteki tasarımlar için daha sürdürülebilir yaklaşımlar geliştirmek amacıyla kullanılacaktır. Mimari alandaki sürdürülebilir uygulamalar, enerji verimliliğini artırırken ekosistemlere verilen zararları en aza indirmeyi hedeflemektedir. Bu bağlamda, çalışmanın sürdürülebilir mimarlık yaklaşımlarına önemli katkılar sunması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir İç Mimari, Enerji Verimliliği, İklimlendirme, BIM Teknolojisi

Energy Efficiency and Lighting Optimization in Sustainable Interior Design with Building Information Modeling: Advantages and Challenges

Received 18.11.2024; Accepted 16. 04.2025

Abstract: Throughout history, humans have transformed their surrounding environment to meet the demands of daily life. Over time, these interactions have evolved due to shifting needs, technological advancements, and the overconsumption of resources, resulting in significant environmental challenges. The depletion of natural resources without control has disrupted ecosystems and jeopardized the existence of various species. As a response, adopting sustainable practices has become essential to mitigate environmental degradation and pave the way for ecological restoration. Sustainability principles can be integrated into many fields, but architecture stands out as a domain with immense potential for impactful change, given its deep connection to human activity. The integration of sustainable strategies into architectural and interior design processes allows for enhanced energy efficiency and reduced environmental harm. Moreover, advanced technologies, such as Building Information Modeling (BIM), enable comprehensive assessments of design proposals before their implementation. In today's landscape, a variety of design software tools serve diverse purposes. Traditional systems, like CAD, facilitate certain types of analysis; however, they often require separate platforms for drawing and evaluation. This fragmented approach consumes time and complicates workflows. Conversely, BIM software, such as Revit, combines design and analysis processes within a unified framework, offering an efficient and effective solution. This integration not only streamlines workflows but also supports the generation of accurate and consistent results. This article emphasizes

* İlgili E-posta / Corresponding E-mail: nilayyilmaz@hotmail.com (ORCID: 0009-0004-0838-9740)

Bu makale, 'BIM (Building Information Modelling) Yazılımı ile İç Mimari'de Sürdürülebilirlik İlişkisi ve Örnek Bir Model Üzerinde İnceleme' başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

the critical role of sustainable design and explores its evolution within the architectural field. The study specifically investigates how BIM software equipped with artificial intelligence features contributes to evaluating sustainability in building design. The research methodology involves analyzing existing buildings modeled with BIM to understand its effectiveness in sustainability assessment.

By examining BIM-based data from various structures against defined sustainability criteria, the study aims to evaluate the performance of current buildings and provide insights to guide more sustainable future designs.

Sustainable practices in architecture play a vital role in preserving ecosystems by optimizing energy use and minimizing environmental damage. Through its ability to unify design processes and foster innovative analyses, BIM software represents a transformative tool in advancing sustainability in the built environment. This shift is expected to contribute significantly to creating a healthier and more balanced ecological future.

Key Words: Sustainable Interior Architecture, Energy Efficiency, Climate Control, BIM Technology

GİRİŞ

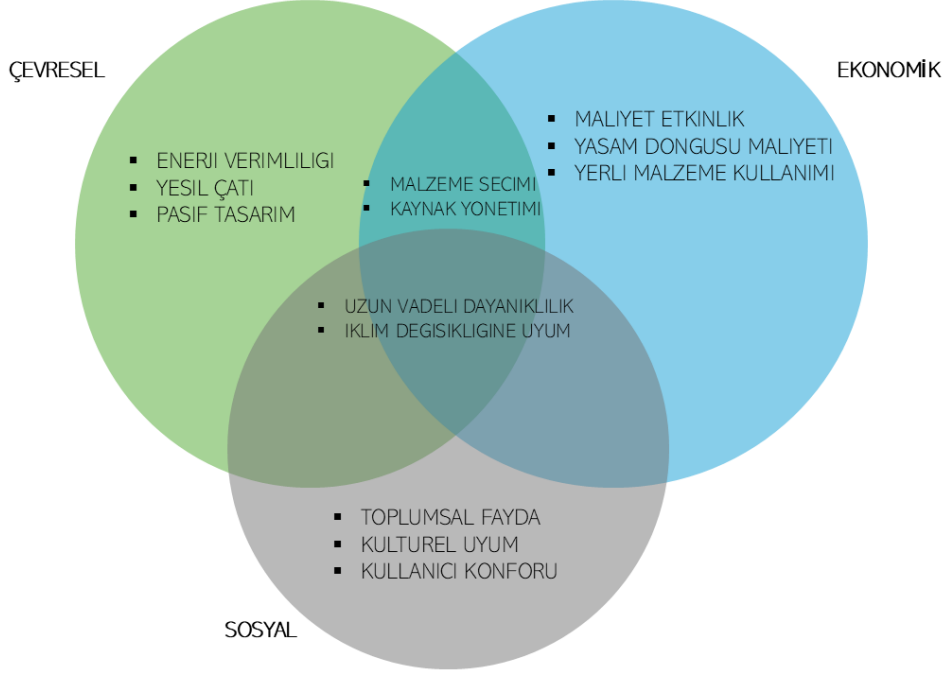
Günümüzde doğal kaynakların hızla tükenmesi ve çevresel dengelerin bozulması, sürdürülebilirlik kavramını bir seçenek olmaktan çıkarıp bir gereklilik haline getirmiştir. İklim değişikliği, enerji kaynaklarının sınırlılığı ve çevresel tahribatın geri dönülemez boyutlara ulaşması, özellikle mimarlık ve iç mimarlık gibi yapı odaklı alanlarda sürdürülebilir çözümler geliştirilmesini kaçınılmaz kılmaktadır. Bu bağlamda, teknolojinin sunduğu yenilikler, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada kritik bir rol oynamaktadır. Sürdürülebilir çözümlerin hayata geçirilmesinde, tasarım süreçlerinin yenilikçi yaklaşımlarla desteklenmesi büyük önem taşımaktadır. Tasarım süreçlerinde, geleneksel el çizimlerinden bilgisayar destekli tasarım (CAD) sistemlerine geçiş, bu dönüşümün önemli bir aşamasını oluşturmuştur. CAD yazılımları, iki boyutlu tasarım ve çizim süreçlerini kolaylaştırarak mimar ve mühendislerin iş akışlarını önemli ölçüde hızlandırmıştır. Ancak, modern projelerin artan karmaşıklığı ve yoğun veri gereksinimleri, CAD sistemlerinin sınırlarını gözler önüne sermiştir. Bu sınırlamaları aşmak ve daha bütüncül bir yaklaşım sunmak amacıyla Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) geliştirilmiştir. BIM, yapı projelerine bütünlük bir bakış açısı sunarak, tasarım, planlama ve inşaa süreçlerini daha verimli ve sürdürülebilir hale getirmeyi amaçlamaktadır [1]. Yapı Bilgi Modelleme (YBM), mimari tasarım programlarına entegre edilmiş ve yapay zekâ teknolojilerinden yararlanarak çalışan bir yazılım sistemidir. Son yıllarda öne çıkan bu yenilikçi yaklaşım, diğer adıyla Building Information Modeling (BIM), mimarlık, mühendislik ve inşaat sektörlerinde tasarım ve inşaa süreçlerine modern ve bütüncül bir bakış açısı kazandırmaktadır. BIM, bir yapının dijital ortamda kapsamlı bir sanal modelini oluşturarak planlama, tasarım, inşaat ve işletme süreçleri arasında güçlü bir iş birliği ve etkin veri paylaşımı imkânı sunmaktadır. Bu yaklaşımın temelinde, yalnızca fiziksel özellikleri değil, aynı zamanda tasarım süreci, malzeme tercihleri ve işletme dinamiklerini de kapsayan yapı bilgi modeli yer almaktadır. Bu model, bütünlük bir çalışma ortamı sunar. Bu sayede karar alma süreçleri daha etkin hale gelir. Bunun yanı sıra, BIM'in sürdürülebilirlik ilkeleriyle güçlü bir bağ kurarak çevresel etkileri en aza indirmeyi hedefleyen projelere olanak tanınması, bu teknolojiyi yenilikçi bir çözüm haline getirmektedir. Enerji verimliliği ile yapay ve doğal aydınlatma unsurlarını bütünlük bir yaklaşımla değerlendiren bu sistem, yapıların çevresel etkilerini minimuma indirmeyi amaçlamaktadır. Özellikle doğal ışığın etkin kullanımıyla enerji tüketimini optimize eden özellikleri, sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda çevresel performansın iyileştirilmesine önemli katkılar sunmaktadır. BIM tabanlı simülasyon araçları, tasarım sürecinde farklı aydınlatma senaryolarını kapsamlı bir şekilde analiz etme imkânı sağlayarak, binaların enerji performansını artırmaya yönelik stratejik karar süreçlerini desteklemektedir. Bu analizler, yapay ve doğal aydınlatma unsurları arasında dengeli bir entegrasyon sağlayarak yalnızca enerji tasarrufunu değil, aynı zamanda iç mekan konforunun artırılmasını hedeflemektedir. Sonuç olarak, bu sistem, enerji tüketimini azaltmakla sınırlı kalmayıp, çevresel sürdürülebilirliği odağına alan bilinçli ve veri odaklı tasarım süreçlerinin oluşturulmasına da olanak tanımaktadır. Günümüzde, Building Information Modeling (BIM), yalnızca iş süreçlerini kolaylaştıran bir araç olmanın ötesinde, büyük ölçekli projelerde stratejik bir gereklilik haline gelmiştir. Bu eğilim, İngiltere, Amerika Birleşik Devletleri ve birçok Kuzey Avrupa ülkesinde kamu projelerinde BIM kullanımının zorunlu hale getirilmesiyle daha da güçlenmiştir. Bu uygulamalar, inşaat sektöründe dijitalleşmenin ve sürdürülebilir yaklaşımların artan önemini net bir şekilde ortaya koymaktadır [2]. BIM, bir yapının tüm aşamalarını kapsayarak, tasarım süreçlerini izleme ve gerektiğinde müdahale etme olanağı sunan üç boyutlu bir platformdur. Bu özellikleri sayesinde proje süreçleri daha şeffaf, verimli ve kontrol edilebilir bir yapıya kavuşmaktadır. Ayrıca, BIM, inşaat sürecinin herhangi bir aşamasında

hızlı ve kolay revizyonlar yapılmasına olanak sağlayarak kullanıcılarına esneklik sunmaktadır. Mimari tasarım süreci ideal bir döngü izlerken, BIM, bir yapının tüm yaşam döngüsü evrelerini kapsayacak şekilde optimize edilmiş araçlar ve koşullar sunmaktadır. Bu sistem, yalnızca tasarım aşamasında değil, inşaat ve işletme süreçlerinde de etkili çözümler sağlayarak projelerin sürdürülebilirlik hedeflerini desteklemektedir [3]. BIM yazılımı, sürdürülebilir tasarımların geliştirilmesini kolaylaştırarak tasarımcılara önemli avantajlar sunmaktadır. Revit, dünya genelinde yaygın olarak kullanılan BIM yazılımları arasında yer almakta ve ülkemizde de geniş bir kabul görmektedir. BIM'in yapı sektörüne sağladığı katkılar, kaynak verimliliği ve ekolojik tasarımı desteklerken, teknolojinin daha yaygın benimsenmesiyle sürdürülebilirliğin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarını da olumlu yönde etkilemesi beklenmektedir [4]. BIM yazılımları, bir tasarım aracı olmanın ötesine geçerek, kaynakların etkin ve sürdürülebilir kullanımını teşvik eden bir platform sunmaktadır. Bu teknolojiler, yalnızca tasarım süreçlerini iyileştirmekle kalmaz, aynı zamanda sürdürülebilirlik hedeflerinin gerçekleştirilmesi için stratejik bir araç olarak öne çıkmaktadır. Doğal kaynakların tükenme hızının giderek arttığı günümüz koşullarında, sürdürülebilir mimarlık, çok yönlü ve disiplinler arası bir yaklaşım gerektiren kritik bir alan olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle enerji analizlerini yapı henüz inşaat sürecine geçmemişken tamamlamak ve öngörmek oldukça önemli bir strateji olacaktır. Dünya kaynaklarının korunması ve sürdürülebilirliğe katkı sağlama hedefi doğrultusunda, bu yazılım anlamlı başarılar elde etmektedir. Bu çalışma, BIM ile simüle edilen ve enerji analizleri gerçekleştirilen mimari yapıların incelenmesi yoluyla, bu teknolojinin faydalarını karşılaştırmalı olarak ortaya koymayı amaçlamaktadır ve azalan doğal kaynaklar ışığında sürdürülebilir tasarımın önemini vurgulamak ve BIM yazılımının bu bağlamdaki işlevlerini ve sağladığı avantajları değerlendirmektedir.

Sürdürülebilirlik ve BIM: İç Mimari Tasarıma Etkileri

Farklı araştırmacıların tanımlarına göre, sürdürülebilirlik; kaynak tüketimini en aza indiren, doğal ekosistem döngülerine zarar vermeyen yöntemlerin, sistemlerin ve malzemelerin kullanımı olarak tanımlanmaktadır [5]. Sürdürülebilirlik, bireylerin ve toplumların düşünce yapılarında köklü bir dönüşümü gerektiren bir süreçtir. Bu dönüşüm, yalnızca bireysel bilinçle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda siyasal kararlar ve stratejik tercihlerle desteklenmelidir. Günümüzün çevresel açıdan zararlı tüketim alışkanlıkları, politik, ekonomik ve kültürel sistemlerde köklü reformlar yapılmadığı sürece, sürdürülebilir bir çevre hedefi gerçek anlamda hayata geçirilemeyecek bir ideal olarak kalabilir [6]. Sürdürülebilirlik kavramı, tarih boyunca çevresel değişimlerin etkisiyle farklı aşamalardan geçmiştir. İlk olarak 15. ve 16. yüzyıllarda Bilimsel Rönesans dönemiyle gündeme gelen çevresel tahribat, insanlığın doğal kaynaklarla olan ilişkisini yeniden değerlendirmesine neden olmuştur. Bu dönem, çevrenin zarar görmeye başladığı bir eşik olarak kabul edilirken, kaynakların nasıl kullanılması gerektiği konusundaki ilk tartışmaları da beraberinde getirmiştir. 19. yüzyılda yaşanan Endüstri Devrimi, üretim odaklı bir kalkınma sürecini başlatmıştır. Bu dönemde artan sanayileşme, ekonomik büyümeye katkı sağlamış olsa da çevresel sorunların hızla büyümesine yol açmıştır. Bu sorunlar, doğal kaynakların korunmasının ve dengeli bir şekilde yönetilmesinin önemini [7]. 1960 ve 1970'li yıllar, sosyo-politik yaklaşımların etkisiyle sürdürülebilirlik kavramının çevreci bir anlayışla derinleştiği bir dönem olmuştur. Bu süreçte, toplumlar çevresel etkileri azaltmaya ve doğal kaynakları daha bilinçli bir şekilde yönetmeye yönelik politika ve stratejiler geliştirmiştir. Sürdürülebilirlik anlayışındaki bu dönüşüm, kavramın tarihsel olarak nasıl şekillendiğini ve değişen koşullara nasıl uyum sağladığını ortaya koymaktadır. Çevresel değişimler ve artan toplumsal farkındalık, sürdürülebilirlik yaklaşımlarının evriminde belirleyici bir rol oynamış ve bu gelişmeler, gelecekte daha sürdürülebilir bir dünya inşa etmek için önemli bir rehber olmuştur [8]. Sürdürülebilir gelişme, insan yaşamının merkezinde yer almakta ve bireylerin doğa ile uyumlu, sağlıklı bir yaşam sürme hakkını desteklemektedir. Bu kavram, yalnızca mevcut nesillerin ihtiyaçlarını karşılamayı değil, aynı zamanda gelecekteki kuşakların gereksinimlerini gözeterek bir denge oluşturmayı amaçlamaktadır. Sürdürülebilir mimarlık, bu yaklaşımı mimari tasarım süreçlerine entegre eden bir disiplin olarak öne çıkmaktadır. Ekolojik mimarlık olarak da bilinen bu yöntem, yenilenebilir kaynakların -özellikle enerji ve su gibi- etkin

kullanımını sağlamayı ve kaynak verimliliğini artırmayı hedeflemektedir. Ayrıca, yapıların yaşam döngüsü boyunca çevresel uyumu gözeterek, sosyal, ekonomik ve çevresel faydaları bütünsel bir şekilde ele almayı amaçlamaktadır. Bu tasarım anlayışı, biyolojik, kültürel ve psikolojik verileri bir araya getirerek, yapıların sürdürülebilirlik ilkelerine uygun bir şekilde inşa edilmesini desteklemektedir [9]. Sürdürülebilir mimari yaklaşımlarını daha iyi anlayabilmek için, bu yaklaşımların sosyal, ekonomik ve çevresel boyutlarla mimari arasındaki ilişkilerinin incelenmesi büyük önem taşımaktadır.



Şekil 1. (Sürdürülebilirlik Kriterleri Venn Şeması)

Şekil 1’de yer alan Venn şeması, sürdürülebilir mimarlığın sosyal, ekonomik ve çevresel boyutlarının birbiriyle olan etkileşimlerini ve ortak noktalarını görselleştirmektedir. Şemada her bir daire, bir boyutu temsil etmektedir. Kesişim alanları ise bu boyutların bir araya gelerek sürdürülebilir mimarlık anlayışını nasıl oluşturduğunu göstermektedir. Bu analiz, sürdürülebilir tasarım süreçlerinde hangi alanların daha fazla iş birliği gerektirdiğini anlamamıza yardımcı olmaktadır. Sosyal ve ekonomik boyutlar, tasarım süreçlerinde hem maliyet etkinliğini sağlama hem de toplumsal faydayı artırma gerekliliğini ortaya koymaktadır. Ekonomik ve çevresel boyutlar, kaynak yönetimini ve malzeme kullanımını daha verimli hale getirmeye odaklanırken, sosyal ve çevresel boyutlar ise insan sağlığını koruma ve kültürel değerlere duyarlılığı önceliklendirmektedir. Bu bağlamda sürdürülebilir mimariyi tasarım süreçlerine dahil etmenin en yaygın ve etkili yöntemlerinden biri, Yapı Bilgi Modelleme (BIM) teknolojileridir. BIM, bu entegrasyonu kolaylaştırarak verimliliği artırmakta ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmayı mümkün kılmaktadır. Yapı Bilgi Modelleme, inşaat sektöründe süreçleri dönüştürme ve iş birliğini geliştirme potansiyeline sahip güçlü bir araçtır. Her ne kadar son yıllarda önem kazanmış olsa da, BIM’in temeli yıllar süren akademik çalışmalar ve veri standartlarına dayanmaktadır. Yapı Bilgi Modelleme (YBM) yazılımlarının ortaya çıkmasında önemli bir etken, yapı sektöründe uzun yıllardır sıklıkla kullanılan Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) yazılımlarındaki belirli eksikliklerdir. Bu eksikliklerden biri, projelerdeki değişikliklerin yönetimiyle ilgilidir. BDT yazılımları, geleneksel kağıt ve cetvel ortamlarını dijitalleştirerek tasarım süreçlerini kolaylaştırırken, tasarım temsillerini (planlar, kesitler, görünüşler vb.) benzer yöntemlerle oluşturmaya devam etmiştir. Bu temsillerin bağımsız hazırlanması, büyük projelerde uyum sağlanmasını zorlaştırmaktadır. Her proje belgesinin tek tek incelenmesi gerekmektedir [10]. Günümüzde, LEED ve BREEAM gibi sertifikasyon sistemleri aracılığıyla yapıların

sürdürülebilirlik ölçütleri değerlendirilebilmekte ve binaya ait fiziksel çevre koşulları ile yapım süreçleri sayısal modellerle test edilebilmektedir. BDT yazılımlarının alfa sayısal verileri yapı modeli ile bütünleştirememesi, bu hesaplamaları zorlaştırmakta ve çoğu durumda hesaplamalar için ayrı modeller oluşturulmasını gerektirmektedir [11]. Bu bağlamda, BIM yazılımlarının iç mekan tasarımında sunduğu olanaklar, özellikle Revit gibi araçlarla daha belirgin hale gelmektedir. Revit'in sunduğu özellikler, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada etkili bir araç olarak öne çıkmaktadır

Yapı Bilgi Modellemesi; Revit'in Sağladığı Özellikler

Yapı Bilgi Modellemesi, diğer bir adıyla BIM yazılımı, kullanıcıya pek çok analizi yapma olanağı sağlamaktadır. BIM araçları, yapı kabuğu ve termal kütle üzerinde etkili ve verimli çözüm alternatiflerini simüle etme ve bu alternatifler arasından seçim yapma sürecini kolaylaştırmaktadır [12]. BIM tabanlı sistemlerde, örneğin Revit (Autodesk) yazılımında, yapıların temel çizimleri genellikle **"Mass Modelling"** yöntemiyle oluşturulmaktadır. Bu yöntem, analizlerin başlangıç aşamasında yeterli bir temel sağlayabilir; ancak detaylı analizler genellikle yapıların kat seviyelerinin tasarlanması ve modele dahil edilmesiyle gerçekleştirilir. Bina tipi ve konumu ile ilgili yapılan seçimler, kapsamlı analizlerin gerçekleştirilmesine olanak tanıyan en önemli özellikler arasındadır. Revit yazılımında bu seçimler, "Analyse" sekmesi üzerinden yapılmakta olup, **"Energy Settings"** bölümünde bina tipi, konum ve lokasyon gibi faktörlerin belirlenmesi mümkündür. Kullanıcının tasarladığı projenin konut, okul, müze veya ofis gibi bir yapı türüne ait olması, analizlerin doğru şekilde yapılabilmesi için bu seçimlerin özelleştirilmesini gerektirir. Konum seçimi (Location) aşamasında, yapının proje alanının harita üzerinden belirlenmesi oldukça kritiktir. Bu adım, sıcaklık, nem ve rüzgar gibi analizlerin temelini oluşturan çevresel verilerin elde edilmesini sağlar. Yapının ışık ve ısı miktarını optimize etmek için dikkate alınması gereken bir diğer önemli unsur ise cam yüzdesidir. Bu oran, **"Target Percentage Glazing"** seçeneği ile ayarlanarak, projeye uygun şekilde tanımlanır. Cam cepheli ve opak yüzeyler arasındaki farklılık, iç mekana giren ışık ve ısı miktarını doğrudan etkilemekte, bu da sürdürülebilir tasarım süreçlerinde önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Revit/Green Building Studio gibi araçlar, enerji analizlerini detaylandırarak her aya özgü farklı veri setleri sunmakta ve maliyet hesaplamalarının daha sağlıklı yapılmasına olanak tanımaktadır. Ayrıca, bu araçlar henüz inşa edilmemiş projelere yönelik enerji performansı tahminleri yaparak tasarım sürecine stratejik bir katkı sağlamaktadır. Bu özellikler, sürdürülebilirlik hedeflerini destekleyen bilinçli tasarım kararlarının alınmasında etkin bir rol oynamaktadır [13]. Yapı Bilgi Modellemesi, sunduğu gelişmiş proje simülasyon özellikleri sayesinde sürdürülebilir yapıların tasarlanmasını ve inşa edilmesini mümkün hale getirmiştir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan bu yazılımlar, çevre dostu ve uzun ömürlü yeşil binaların hayata geçirilmesini kolaylaştırmaktadır. BIM ile oluşturulan projeler, sürdürülebilirlik kriterlerini büyük ölçüde karşılayacak şekilde tasarlanmaktadır. Bu yazılımların öne çıkan avantajlarından biri, bina enerji modelleme (BEM) araçlarıyla entegre çalışabilme yeteneğidir. BEM, yapıların enerji tüketimi ve termal konfor performansını analiz ederek iyileştiren etkili bir yöntemdir. Ayrıca, proje ekiplerine farklı tasarım seçeneklerinin çevresel etkilerini ve performansını değerlendirebilecek ayrıntılı bilgiler sağlamaktadır. Bununla birlikte, bu avantajlarına rağmen, birçok tasarımcı BIM'in enerji analiz özelliklerini yeterince kullanmamaktadır. Bu durumun temel nedenleri arasında, enerji modellerinin oluşturulması için gerekli uzmanlık ve sonuçların yorumlanmasının zaman alıcı bir süreç olması yer almaktadır [14]. BIM'in sunduğu avantajlara rağmen, birçok araştırmacı enerji odaklı BIM kullanımında belirli sınırlamaların olduğunu vurgulamaktadır. BIM modelleme platformları ile enerji analiz araçları arasında hala tam bir entegrasyon sağlanamamış olup, bu durum iş akışında kesintilere yol açmaktadır. Bina Enerji Modellemesi (BEM), BIM ortamına yeterince entegre edilememiş olduğundan, dijital modelleme süreçlerinde sürekli bilgi akışı çoğu zaman mümkün olamamaktadır. BIM ve BEM arasındaki bu uyum eksikliği, enerji verimliliğini ve sürdürülebilirliği hedefleyen projelerin uygulanmasını önemli ölçüde zorlaştırmaktadır [15].

Örnek Projeler Üzerinde Sürdürülebilirlik İncelemesi

Bu araştırma kapsamında, enerji verimliliği, doğal kaynak yönetimi, su kullanımında verimlilik ve malzeme seçimi gibi sürdürülebilirlik kriterlerini karşılayan çeşitli BIM projeleri incelenmiştir. Seçilen projeler, BIM teknolojilerinin sürdürülebilir tasarım süreçlerine nasıl katkıda bulunduğunu gözler önüne sermektedir. Seçilen projeler, coğrafi ve ölçek farklılıklarıyla birlikte, sürdürülebilirlik kriterlerinin BIM teknolojileriyle nasıl karşılanabileceğine dair çeşitli yaklaşımları temsil etmektedir. Çalışma kapsamında ele alınan, Tablo 1 de yer alan üç örnek de sürdürülebilirlik alanında BIM kullanımına ilişkin öne çıkan özelliklere sahiptir. Whizdom 101 su yönetimi ve karbon ayak izi azaltımına, Silver Oak Winery enerji verimliliği ve malzeme seçimine, Shanghai Tower ise yenilikçi pasif iklimlendirme ve enerji yönetimi çözümlerine odaklanmaktadır. Bu farklı odaklar, BIM ve sürdürülebilirlik entegrasyonunun çok yönlü doğasını anlamak için bir temel oluşturmaktadır. Bu projelerin özellikleri ve BIM ile elde edilen katkılar Tablo 1 de detaylandırılmaktadır.

Tablo 1. BIM ve Sürdürülebilirlik; Örnek Binalar

<u>Yapı Adı</u>	<u>Konum</u>	<u>Proje Tipi</u>	<u>Yapım Yılı</u>	<u>Öne Çıkan Teknolojiler</u>	<u>Sürdürülebilir Özellikler</u>	<u>Sertifikalar</u>
Whizdom 101	Bangkok, Tayland	Karma Kullanım	2017	Güneş Panelleri, Akıllı Enerji Yönetim Sistemi Yağmur Suyu Hasadı, Gri su Dönüşümü, Elektrikli Araç Şarj İstasyonu	Yenilenebilir enerji, Enerji verimliliği, Su tasarrufu Gri Su Dönüşümü, Su geri kazanımı, Düşük karbon ulaşım	LEED Gold, TREES Gold, TREES Platinum
Silver Oak Winery	Kaliforniya, ABD	Şaraphane ve Ziyaretçi Merkezi	2016	Güneş Panelleri, Enerji Verimli HVAC, Yağmur Suyu Hasadı,	Yenilenebilir Enerji, Yerel Malzeme Kullanımı, Su Kullanımında Verimlilik, Atık Yönetimi	LEED Platinum, Napa Green, Green Medal, ILFI
Shanghai Tower	Şanghay, Çin	Ofis ve Ticaret Merkezi	2015	Rüzgar Türbinleri, Akıllı Sensörler, Yağmur Hasadı, HVAC	Enerji Verimli, Pasif İklimlendirme, Su Kullanımında Verimlilik	LEED Platinum

Doğal Havalandırma Analizi

Whizdom 101 (Bangkok, Tayland)

Whizdom 101 sürdürülebilirlik alanındaki uygulamalarıyla dikkat çeken ve bu başarısı sayesinde Autodesk 2017 Mükemmellik Ödülü'ne layık görülen bir projedir. Su kullanımında verimlilik sağlayan bu proje kapsamında, sahada yağmur suyu toplama ve yeniden kullanım sistemleri hayata geçirilerek, su tüketiminde %40 oranında bir azalma sağlanmıştır. Bunun yanı sıra, yıllık yaklaşık 15.000 ton CO2 emisyonunun azaltılması hedeflenmiştir. İnşaat sırasında atık malzeme miktarı %15 ile %30 arasında düşürülmüş, böylece çevresel etkiler en aza indirilmeye çalışılmıştır. Projenin analiz sürecinde ise Autodesk'in akışkan dinamikleri yazılımı kullanılarak yağmur suyu yönetimi, doğal havalandırma ve cephe tasarımına yönelik kapsamlı değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir [16]. Yapının sürdürülebilir bina kriterlerini karşılaması için birçok farklı yöntem uygulanmış ve bu süreçte önemli başarılar elde edilmiştir. Ayrıca, yapı üzerinde yapılan analizlerde çeşitli yazılımlar kullanılmıştır. Bu kapsamda, Autodesk'in bilgisayarlı akışkanlar dinamiği yazılımı, projenin erken tasarım aşamalarında yağmur suyu

akışı, açık alan doğal havalandırması ve cephe tasarımına yönelik havalandırma analizleri gerçekleştirmek için tercih edilmiştir [17].



Şekil 2, Whizdom 101, Bangkok

Silver Oak Winery

Bir diğer dikkat çekici örnek olan Silver Oak Winery projesi, Amerika Birleşik Devletlerinin Kaliforniya eyaletinde bulunmaktadır. Yapı 2006 yılında meydana gelen yangın nedeniyle tahrip olup yeniden inşaa edilmiştir. Proje sürecinde Yapı Bilgi Modellemesinden yararlanılarak sürdürülebilir bir yapı tasarlanmıştır. Bu proje de özellikle güneş enerjisinin etkili bir şekilde kullanıldığı görülmektedir. Yapıya entegre edilen 1.464 adet güneş paneli, tesisin enerji ihtiyacını karşılamakla kalmayıp, enerji tüketiminde yaklaşık %105'lik bir denge oluşturmuştur. BIM teknolojisinin kullanımı, su yönetimi, enerji tasarrufu ve aydınlatma sistemleri gibi kritik alanlarda yenilikçi uygulamaların hayata geçirilmesine olanak tanımıştır. Özellikle geri dönüştürülmüş suyun entegrasyonu sayesinde, şarap üretimi sırasında kullanılan su miktarını azaltmaya yönelik önemli adımlar atılmıştır. Bu yaklaşım, bir galon şarap üretimi için gereken su tüketiminin iki ila üç galon seviyesine indirilmesini mümkün kılmıştır [18]. Ayrıca, inşaat sürecinde kullanılan 3.000'den fazla malzeme ve ekipman detaylı bir şekilde değerlendirilmiş, "kırmızı liste" kimyasalları içeren ürünler elenmiştir. Kapalı alanlarda kullanılan boya, zemin kaplamaları, yalıtım malzemeleri ve mobilyalar emisyon testlerinden geçirilmiş; bina tamamlandıktan sonra iç hava kalitesine yönelik analizler yapılmıştır. Bu süreç hem atık oluşumunun önlenmesine hem de iç mekan sağlığının korunmasına önemli katkılar sağlamıştır. Doğal aydınlatma, havalandırma ve biyofilik tasarım prensipleri uygulanarak, çalışanlar ve ziyaretçiler için sağlıklı ve konforlu bir ortam oluşturulmuştur [19]. Silver Oak projesi, Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) teknolojisinin etkin bir şekilde kullanıldığı ve geçirdiği bir yangın felaketinin ardından, sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda yeniden inşa edilerek dikkat çekici bir örnek haline gelmiştir.



Şekil 3, Silver Oak

Shanghai Tower (Çin, Şangay)

Araştırma kapsamındaki son örnek olan, Shanghai Tower, Çin’de sürdürülebilirlik prensiplerine göre inşa edilmiş en dikkat çekici projelerden biri olarak öne çıkmaktadır. Shanghai Tower’ın inşaatına 2008 yılında başlanmış ve bu süreç, yapının mimari, mühendislik ve sürdürülebilirlik hedeflerini birleştiren kapsamlı bir planlama ve uygulama döneminin ardından 2015 yılında tamamlanmıştır. Bu dönemde, özellikle rüzgar yüklerini azaltan dönel formu, çift cidarlı cephe sistemi ve BIM tabanlı tasarım yaklaşımıyla modern inşaat teknolojilerinin ve yenilikçi çözümlerin bir araya getirildiği dikkat çekici bir proje hayata geçirilmiştir. Akıllı sensörlerden rüzgar türbinlerine(elektrik) yağmur suyu hasadı sistemlerinden enerji tasarruflu HVAC çözümlerine kadar birçok ileri teknolojiyi bünyesinde barındırmaktadır. Bu yenilikçi yaklaşım, projeye LEED Platinum sertifikası kazandırmıştır. Kuleye özgü tasarım özellikleri arasında yer alan, tabandan başlayarak yukarı doğru dönen üçgen biçim, rüzgar yükünü %24 oranında azaltarak yapı üzerindeki gerilimi hafifletmiştir. Yuvarlak köşe detayları ise, güçlendirme ihtiyacını ortadan kaldırarak binanın ekstrem hava koşullarına karşı dayanıklılığını artırmıştır. Bunun yanı sıra, doğal ışık kullanımını optimize eden stratejiler, binanın enerji tüketimini minimuma indirme hedefine önemli katkılar sağlamaktadır. Pasif iklimlendirme yöntemlerinin desteklenmesine rağmen, tamamlayıcı bir iklim kontrol sistemi de binada yer almaktadır. Çatısına entegre edilen rüzgar türbinleri, binanın yüksekliğinden faydalanarak yılda 1 gigavat enerji üretme kapasitesine sahiptir. Ek olarak, yağmur suyu hasadı sistemi sayesinde, yapının su ihtiyacı %50 oranında azaltılmıştır. Bu özellikler, Shanghai Tower’ı enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik açısından örnek teşkil eden bir yapı haline getirmiştir [20]. Bütün bu tasarım kriterleri ele alındığında özellikle mimari ve mühendislik olarak başarılı bir sürdürülebilir yapı inşa edilmiştir. Özellikle dönel form kullanımı ile birlikte rüzgar yüklerinin azaltılmış olması yapının enerji performansını ve dayanıklılığını etkilemiştir. Su yönetiminin de yağmur suyu toplama sistemiyle daha kontrollü sağlanmış olması da yapının sürdürülebilirlik kriterini etkilemiş ve başarılı bir yapı olarak öne çıkarmıştır. Sonuç olarak Shanghai Tower, sürdürülebilirlik teknolojileri ile BIM tabanlı tasarımın entegre edildiği dikkat çekici bir projedir. Bu yenilikçi yaklaşımlar, enerji verimliliğini maksimize ederken çevresel etkileri en aza indirmek amacıyla uygulanmıştır. Bu sayede yapı, hem ekolojik hem de ekonomik sürdürülebilirlik hedeflerine başarıyla ulaşmıştır [20]. Shanghai Tower, BIM tabanlı tasarım ve sürdürülebilirlik teknolojilerinin entegre bir şekilde kullanıldığı çarpıcı bir yapı olarak öne çıkmaktadır. Yenilikçi tasarım yaklaşımları, enerji verimliliğini artırırken çevresel etkileri en aza indirmeye yönelik uygulanmıştır. Rüzgar yüklerinin azaltılması, su yönetiminin verimli hale getirilmesi ve enerji kullanımının optimize

edilmesi, bu yapıyı sürdürülebilir mimari açıdan örnek bir proje haline getirmiştir. Tüm bu kriterler göz önüne alındığında, Shanghai Tower, hem ekolojik hem de ekonomik sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmayı başaran önemli bir mühendislik başarı örneğidir.

BIM ile Sürdürülebilirlik için Öngörülen Avantajlar ve Zorluklar

İncelenen örnekler ve literatür taramaları doğrultusunda, Building Information Modelling (BIM) yazılımının çeşitli avantajlar ve zorluklar sunduğu görülmektedir. Tasarım ve inşaat süreçlerinde verimliliği artırmak, maliyetleri optimize etmek ve iş birliğini geliştirmek amacıyla geliştirilen BIM, özellikle karmaşık projelerde tasarım sürecini hızlandırarak karar alma mekanizmalarını daha etkin hale getirmekte ve proje ekipleri arasındaki koordinasyonu güçlendirmektedir [21]. Bununla birlikte, BIM'in sunduğu simülasyon olanakları sayesinde projelerin sürdürülebilirlik performansı değerlendirilebilir ve yapının inşa edileceği alanın iklim koşulları analiz edilerek enerji verimliliği sağlanabilir [22]. Bu özellikler, çevresel etkilerin azaltılması, enerji tüketiminin optimize edilmesi ve uzun vadeli maliyetlerin düşürülmesi açısından önemli avantajlar sunmaktadır [23]. BIM'in sağladığı bu yüksek düzeydeki entegrasyon, proje süreçlerinde kaynakların daha verimli kullanılmasına olanak tanırken, çevresel etkilerin en aza indirilmesine de yardımcı olur. Bu bağlamda, sürdürülebilir bina projelerinde BIM kullanımı hem operasyonel verimlilik hem de uzun vadeli çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için stratejik bir yaklaşım sunmaktadır [24]. BIM'in kullanımı, tasarım sürecinde hızlı karar almaya ve benzer kütlelerde farklı alternatiflerin kolayca oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Parametrik modelleme sayesinde oluşturulan parçalar, başka projelerde de yeniden kullanılabilir, bu da süreçlerin verimliliğini arttırmaktadır. Özellikle nesne tabanlı ve parametrik yaklaşımlar, karmaşık yapıların hem tasarım hem de inşa aşamalarında hız kazandırmaktadır. BIM parametreleri ile çalışmak, proje sürecindeki revizyonların ve yinelemelerin daha pratik ve verimli bir şekilde yapılmasını mümkün kılmaktadır [25]. Ancak, BIM'in sunduğu tüm bu avantajlara rağmen, teknolojinin yaygınlaşmasını engelleyen çeşitli faktörler bulunmaktadır. Yüksek başlangıç maliyetleri, gerekli teknik altyapı gereksinimleri ve kullanıcıların öğrenme süreci gibi faktörler, bu teknolojinin yaygın olarak benimsenmesinde engeller oluşturabilmektedir. Bu nedenle, BIM'in sağladığı avantajların yanı sıra, tasarımcılar ve proje ekiplerinin karşılaştığı pratik zorlukların da dikkate alınması gerekmektedir. Böylelikle, BIM'in inşaat sektörüne kattığı değerin sürdürülebilirliği ve geliştirilmeye açık yönleri dengeli bir bakış açısıyla değerlendirilebilir. BIM teknolojisinin mimarlık, mühendislik ve inşaat (AEC) sektörüne önemli katkılar sunması öngörülse de, her yeni teknolojiye olduğu gibi, uygulanması belirli maliyetleri beraberinde getirmektedir. Bu maliyetler; eğitim ve öğretim süreçlerine yönelik harcamalar, yönetim ve başlangıç aşamalarında ortaya çıkan giderler ile geçiş sürecinde karşılaşılan finansal ve davranışsal maliyetleri içermektedir. Özellikle uygulama maliyetleri, BIM'in yaygınlaşmasını zorlaştıran en önemli faktörlerden biri olarak değerlendirilmektedir [26]. Diğer önemli bir zorluğu ise yüksek maliyetli olması olarak değerlendirilmektedir. BIM'in uygulanması, yazılım ve veri depolama gereksinimleri nedeniyle işletmeler için önemli bir maliyet unsurudur. Yazılım edinme maliyeti, firmanın bilgi teknolojileri altyapısına bağlı olarak değişse de, özellikle küçük işletmeler için finansal bir engel oluşturabilir. Bu durum, yatırımcıları ve kullanıcıları seçenekleri dikkatle değerlendirmeye yönlendirmektedir [27]. İnşaat sektöründe BIM'in yaygınlaşmasının önündeki temel engellerden biri, ulusal ölçekte belirlenmiş bir strateji ve standart eksikliğidir. BIM'in etkin bir şekilde uygulanabilmesi için sektör genelinde ortak kabul gören standartların oluşturulması ve bu süreci yönlendirecek rehber dokümanların yayımlanması büyük önem taşımaktadır [22], [28]. Ancak, sektördeki farklı iş kollarının sistematik bir çerçevede sınıflandırılmasına yönelik eksiklikler, BIM'in entegrasyon sürecini zorlaştırmaktadır [29]. Mevcut durumda, AEC (Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat) sektöründe çeşitli bina yönetmelikleri ve kılavuzlar oluşturulmuş olsa da, BIM uygulamalarını doğrudan düzenleyen ve bağlayıcı nitelikte olan kapsamlı bir standart bulunmamaktadır. AEC sektörü genel olarak belirli standartlara sahip olsa da [30], BIM'in etkili biçimde hayata geçirilebilmesi için yeni düzenlemelere

ihtiyaç duyulmaktadır. BIM'in etkili bir şekilde uygulanabilmesi için sektör genelinde ortak kabul gören standartların oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Bu noktada, BIM'in sektörde daha etkili bir şekilde uygulanabilmesi için mevcut engellerin aşılması adına çeşitli stratejilerin geliştirilmesi gerekmektedir. Bir sonraki bölümde, BIM'in daha geniş ölçekli adaptasyonu için çözüm önerileri ele alınacak ve sektörel sürdürülebilirliği artırmaya yönelik stratejiler tartışılacaktır.

SONUÇ

Bu çalışmada, sürdürülebilir tasarım süreçlerinde Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) teknolojisinin sunduğu katkılar ele alınmış, avantajları ve zorlukları detaylı bir şekilde incelenmiştir. BIM, tasarım, inşaat ve işletme süreçlerinde kaynak yönetimini optimize eden, maliyetleri düşüren ve proje paydaşları arasındaki iş birliğini artıran kritik bir araç olarak öne çıkmaktadır. Özellikle tasarım sürecinin erken aşamalarında yapılan analizlerle enerji tüketiminin azaltılması, malzeme kullanımının optimize edilmesi ve karbon ayak izinin düşürülmesi gibi önemli sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada etkili bir rol oynamaktadır. Çalışma kapsamında analiz edilen Whizdom 101, Silver Oak Winery ve Shanghai Tower projeleri, BIM'in farklı coğrafi ve iklimsel koşullarda yenilenebilir enerji kullanımı, su yönetimi ve yapı performans analizleri gibi sürdürülebilirlik stratejileriyle nasıl başarılı bir şekilde uygulandığını göstermektedir. Bu projeler, BIM'in yalnızca büyük ölçekli projelerde değil, küçük ve orta ölçekli projelerde de etkili bir araç olarak kullanılabileceğini kanıtlamaktadır. Ancak, yüksek başlangıç maliyetleri, gelişmiş donanım gereksinimleri, teknik eğitim eksikliği ve standart yetersizliği, BIM'in yaygınlaşmasını sınırlayan başlıca faktörler arasında yer almaktadır. Özellikle küçük ve orta ölçekli işletmeler için BIM'e geçiş süreci, finansal ve operasyonel zorluklar doğurmaktadır. Ayrıca, uluslararası düzeyde BIM standartları geliştirilmiş olsa da, birçok ülkede ulusal BIM mevzuatının eksikliği bu teknolojinin entegrasyonunu zorlaştırmaktadır. Sonuç olarak, BIM teknolojisi sürdürülebilir bina tasarımlarında yalnızca bir dijital araç değil, aynı zamanda enerji verimliliğini artıran, kaynak yönetimini optimize eden ve inşaat sektöründe daha çevreci uygulamaları teşvik eden bir dönüşüm unsuru olarak değerlendirilmektedir. Ancak, bu dönüşümün tüm sektöre yayılabilmesi için eğitim, mevzuat ve finansal teşvikleri içeren bütüncül bir yaklaşım benimsenmelidir.

ÖNERİLER

Bu çalışmada, BIM teknolojisinin sürdürülebilir tasarım süreçlerine sunduğu katkılar incelenmiş ve çeşitli avantajları ile karşılaşılan zorluklar ortaya konulmuştur. Elde edilen bulgular doğrultusunda, BIM'in yaygınlaştırılması ve etkinliğinin artırılması için bazı stratejik adımların atılması gerekmektedir. Öncelikle, bu teknolojinin eğitim sistemine entegre edilmesi önemlidir. Üniversitelerde BIM ile ilgili uygulamalı derslerin artırılması ve mimarlık, mühendislik, iç mimarlık gibi alanlarda kapsamlı eğitim programlarının oluşturulması, gelecekte bu alanda çalışacak uzmanların daha donanımlı olmasını sağlayacaktır. Küçük ve orta ölçekli firmaların BIM'e uyum sağlamasını kolaylaştırmak için danışmanlık hizmetleri sunulmalı ve mesleki eğitim programları desteklenmelidir. Bunun yanı sıra, BIM'in yaygınlaşmasını sağlamak için ulusal ve uluslararası düzeyde standartlar oluşturulmalı ve kamu projelerinde kullanımı teşvik edilmelidir. Özel sektör için destekleyici politikalar geliştirilmeli, özellikle küçük ölçekli projelerde BIM'in maliyetini düşürecek, kullanımı kolay çözümler sunulmalıdır. BIM'in yalnızca büyük ölçekli projelerde değil, daha küçük projelerde de yaygınlaşması için yerel yönetimler ve sektör paydaşları destekleyici politikalar geliştirmelidir. BIM tabanlı sürdürülebilir mimari projeleri teşvik etmek için fon ve hibe programları oluşturulmalı ve düşük maliyetli, açık kaynak yazılımlar geliştirilmelidir. BIM'in daha etkin kullanılabilmesi için uluslararası iş birlikleri ve deneyim paylaşımı da artırılmalıdır. Başarılı BIM uygulamalarının farklı ülkelerde nasıl uygulandığını inceleyen çalışmalar yapılmalı ve bunlar rehber niteliğinde yayımlanmalıdır. Kamu ve özel sektör iş birlikleri ile BIM tabanlı sürdürülebilir projelerin yaygınlaşmasını destekleyecek bilgi paylaşım platformları oluşturulmalıdır. Sonuç olarak, BIM teknolojisi sürdürülebilir tasarım süreçlerinde önemli bir dönüşüm sağlamak ve çevresel etkileri azaltarak enerji verimliliğini artırmaktadır. Ancak, bu dönüşümün tüm sektöre yayılabilmesi için eğitim, mevzuat ve finansal destekleri kapsayan bütüncül bir yaklaşım

benimsenmelidir. Gelecekte, BIM'in farklı ölçeklerde nasıl uygulanabileceği üzerine yapılacak araştırmalar hem mimarlık hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] K. Demircan ve N. Çakılcı Alp, «Yapı Bilgi Modellemesine Geçiş Sürecinde Yaşanan Anlaşmazlık ve Uyuşmazlıklar,» pp. 135-144, 2020.
- [2] H. Tekin, *Yapı Bilgi Modellemesi Sisteminin Türk İnşaat Sektörüne Uygulanması ve Adaptasyonunda Kritik Yol Haritasının Oluşturulması*, İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017.
- [3] E. Epstein, *Implementing Successful Building Information Modeling*, USA: Artech House, 2012.
- [4] M. O. Duru ve İ. Koç, «SÜRDÜRÜLEBİLİR YAPI ÜRETİMİNDE YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRME (LCA) HESAPLAMALARININ YAPI BİLGİ MODELLEMESİ (BIM) İLE ENTEGRASYONUNA YÖNELİK BİR ARAŞTIRMA,» *Sanat ve Tasarım Araştırma Dergisi*, pp. 107-121, 2020.
- [5] M. Rosenbaum, *Green Building on Campus*, Atlanta, GA.: ASHRAE Journal., 2002.
- [6] D. İncedayı, «Çevresel Duyarlılık Bağlamında Davranış Biçimi Olarak Sürdürülebilirlik,» *Mimarlar Odası Yayınları, Mimarlık Dergisi*, pp. 318, 39-43., 2004.
- [7] S. Sohrabi, «Ekolojik Mimarlık Kapsamında Çok Katlı Konut Yapılarının,» *Hacettepe Üniversitesi Yüksek Lisans tezi*, p. 19, 2015.
- [8] R. Bozdoğan, «SÜRDÜRÜLEBİLİR GELİŞME DÜŞÜNCESİNİN TARİHSEL ARKA PLANI,» *Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi*, 2005.
- [9] S. Aytis ve I. Polatkan, «ÜRDÜRÜLEBİLİR TASARIM KAVRAMINDA TEMEL İLKELERİNYAPI ve TOPLUM ÖLÇEĞİNDE DEĞERLENDİRİLME,» %1 içinde *Yapı Fiziği ve Sürdürülebilir Tasarım Kongresi*, İstanbul, 2010.
- [10] P. D. S. Ofluoglu, «Yapı Bilgi Modelleme : Gereksinim ve Birlikte Çalışabilirlik,» *Mimarist*, pp. 1-5, 2014.
- [11] A. Rezeallah, C. Bolognesi ve R. A. Khoraskani, «LEED and BREEAM; Comparison between policies, assessment criteria and calculation methods,» %1 içinde *In Proceedings of the 1st International Conference on Building Sustainability Assessment (BSA 2012)*, 2012.
- [12] K. Aljundi , A. Pinto ve F. Rodrigues , «Energy analysis using cooperation between BIM tools (Revit and Green Building Studio) and EnergyPlus,» %1 içinde *Universidade do Minho, Guimarães* , 2016.
- [13] S. Ofluoglu, *Revit/Green Building Studio ile Kavramsal Enerji Analizi*, SayısalMimar, 2016.
- [14] R. Edwards, E. Lou, A. Bataw, S. Kamaruzzaman ve C. Johnson, «Sustainability-led design: Feasibility of incorporating whole-life cycle energy assessment into BIM for refurbishment projects.,» *Journal of Building Engineering (J. Build. Eng.)*, pp. 24,100697, 2019.
- [15] C. Reinhart ve C. Davila, «Urban building energy modellin,» *A review of a nascent field. Build. Environ.*, pp. 97, 196–202., 2016.
- [16] E. Rosselle, «“The Great Good Place” Bangkok Sakinlerini Birbirine Bağlamak İçin Sürdürülebilir İnovasyonu Kullanıyor,» 2018. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.autodesk.com/design-make/articles/sustainable-innovation>.
- [17] Architect Magazine , «WHIZDOM 101,» 2018. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.architectmagazine.com/project-gallery/whizdom-101>.
- [18] Axio, «Axio,» 25 04 2023. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.axiomint.com/state-of-the-art-bim-design-and-the-glass-of-red/>. [Erişildi: 21 Aralık 2024].
- [19] Silver Oak, «Sustainability at Silver Oak,» 2018. [Çevrimiçi]. Available: <https://silveroak.com/about/sustainability/>.

- [20] J. Smith, «Sustainable Design in Skyscrapers: A Case Study of Shanghai Tower,» *Journal of Green Architecture*, 2019.
- [21] P. Demian ve D. Walters, «The advantages of information management through building information modelling,» *Construction Management and Economics*, cilt 32(12), pp. 1153-1165, 2014.
- [22] H. Azhar, «Building Information Modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry,» *Leadership and Management in Engineering*, pp. 241-252, 2011.
- [23] Y. Jung ve M. Joo, «Building information modelling (BIM) framework for practical implementation,» *Automation in Construction*, pp. 126-133., 2011.
- [24] ,. S. Sepasgozar, F. HUI, S. Shirowzhan, M. Foroozanfarm, L. Yang ve L. Aye, «Lean Practices Using Building Information,» *Sustainability*, pp. 13, 161, 2021.
- [25] C. Eastman, BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors, New Jersey, ABD., (2011.
- [26] S. Liu, B. Xie, L. Tivendal ve C. Liu, «Critical Barriers to BIM Implementation in the AEC Industry,» *International Journal of Marketing Studies*, 2015.
- [27] Allen Consulting Group, «Productivity in the buildings network: assessing the impacts of Building Information Models,» Sydney, 2010.
- [28] D. B. Thomson ve R. G. Miner, «Building Information Modeling – BIM: Contractual Risks are Changing with Technology.,» Ae Pronet, 2006.
- [29] P. G. Bernstein ve J. H. Pittman, «Barriers to the Adoption of Building Information Modeling in the,» Autodesk Bulding Solutions, 2004.
- [30] B. C. Björk ve M. Laakso, «CAD standardisation in the construction industry—A process view.,» *Automation in Construction*, pp. 398-406, 2010.