

Araştırma Makalesi

BIM Teknolojisine Dayalı Yeşil Bina Enerji Tasarruflu Tasarım Yöntemi Üzerine Araştırma

Xiao-guang Zhao¹ ve Chun-Ping Gao²

¹*Ekonomi ve Yönetim Bölümü, Hebei Çevre Mühendisliği Üniversitesi, Hebei 066102, Çin*

²*Hebei Mesleki ve Teknik Yapı Malzemeleri Koleji, Hebei 066000, Çin*

Yazışmalar Chun-Ping Gao ile yapılmalıdır; gaochunping11234@163.com

Alındı 30 Kasım 2021; Gözden geçirildi 26 Aralık 2021; Kabul edildi 31 Aralık 2021; Yayınlandı 4 Şubat 2022

Akademik Editör: Tongguang Ni

Telif hakkı© 2022 Xiao-guang Zhao ve Chun-Ping Gao. Bu, orijinal çalışmaya uygun şekilde atıfta bulunulması koşuluyla, herhangi bir ortamda sınırsız kullanım, dağıtım ve çoğaltmaya izin veren Creative Commons Attribution Lisansı altında dağıtılan açık erişimli bir makaledir.

İnşaat sürecindeki yüksek yeniden işleme oranı ve işbirliğine dayalı tasarım ve akıllı bilgi işleme eksikliği gibi geleneksel mimari tasarım modunun eksiklikleri göz önünde bulundurularak, BIM teknolojisine dayalı bir yeşil bina enerji tasarrufu tasarım yöntemi önerilmiştir. Geleneksel bilgisayar destekli bina tasarımı ve BIM yeşil bina teknolojisinin karşılaştırmalı analizine dayanarak, yeşil bina tasarım ilkesi, tasarım hazırlığı ve tasarım konsepti yönlerinden enerji tasarrufu sağlayan tasarımın genel şeması oluşturulmuştur. Bu makale, modelleme yazılımı seçimi, dış cephe enerji tasarrufu tasarımı ve aydınlatma enerji tasarrufu tasarımı açılarından enerji tasarrufu sağlayan tasarım unsurlarının çağrışımlarını açıklamıştır. Buna göre, BIM'e dayalı bina enerji verimliliği analizinin özellikleri ve süreci önerilmiştir. Son olarak, BIM'e dayalı yeşil binanın enerji tasarrufu etkisi değerlendirme yöntemi verilmiş ve bir örnek, bu makalede önerilen BIM'e dayalı yeşil binanın enerji tasarrufu tasarım yönteminin iyi bir fizibilite ve etkinliğe sahip olduğunu göstermiştir. Bu makalede önerilen yöntem, BIM teknolojisinin yeşil bina alanında uygulanması için belirli bir teorik temel ve uygulama desteği sağlayabilir.

1. Giriş

Geçen yüzyılın sonundan bu yana, çoğu gelişmiş ülke yeşil binaları ve uygulamalarını derinlemesine araştırmakta ve çeşitli ülkelerin gerçekliğine dayalı olarak art arda bazı farklı değerlendirme standartları yayınlamaktadır, bu da dünyadaki yeşil binaların gelişimini büyük ölçüde hızlandırmıştır [1-3]. Yeşil bina alanının sürekli gelişmesiyle birlikte, BIM teknolojisi gelişmiş batı ülkelerinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Diğer ülkelerdeki ilgili personel de BIM teorik ve teknik sistemi ve pratik uygulaması hakkında derinlemesine araştırmalar yapmış ve büyük ilerleme kaydetmiştir. Bazı akademisyenler, üç boyutlu bir bina modelini enerji tüketim analizi ile birleştirerek bina enerji tasarrufu tasarımının simülasyonunu ve etkisini gerçekleştirebilmektedir.

Son yıllarda, Autodesk şirketinin Revit serisi ve ArchiCAD gibi BIM yazılımlarının tanıtımıyla

grafik iSOFTcompany, yeşil bina alanında iyi bir şekilde [5]. uygulanmıştır [4, BIM teknolojisinin inşaat projelerinin tasarımına uygulanması, yalnızca tasarımdaki eksiklikleri tahmin edip bulmakla kalmaz, aynı zamanda gerçek inşaat sürecindeki ek tüketimden de kaçınabilir [6-8]. Örneğin, Revit yapısı ile bir 3D model ve yapısal model oluşturmanın etkili entegrasyonu, inşaat projesi katılımcılarının bilgi alışverişini ve ortak çalışmasını teşvik edebilir.

BIM teknolojisinin uygulanması, sadece mimari tasarım yöntemlerinin yenilenmesini teşvik etmekle kalmayıp aynı zamanda iş verimliliğini de artıran çeşitli tasarım, inşaat ve daha sonra inşaat projelerinin bakımının tamamlanmasına yardımcı olmaktadır [9, 10]. Küresel enerji krizi, enerji kıtlığı ve son yıllarda doğal çevrenin sürekli bozulmasıyla birlikte, yeşil binaların enerji tasarrufu sağlayan tasarımını gerçekleştirmek ve enerji tasarrufu etkisini bilimsel olarak değerlendirmek için BIM teknolojisinin nasıl kullanılacağı ilgili akademisyenlerin endişesi haline gelmiştir. Ancak, orada

BIM teknolojisinin yeşil binalarda uygulanmasında yetersiz tasarım yetkinliği ve bilimsel olmayan akıllı işleme yöntemi gibi bazı eksiklikler hala mevcuttur. Bu nedenle, BIM teknolojisine dayalı yeşil bina tasarımının nasıl geliştirileceği, yeşil binalar alanında çözülmesi gereken acil sorunlardan biridir.

2. İlgili Çalışmalar

Gelişmiş ülkeler BIM teknolojisini ilk kullananlardır ve bunu inşaat projelerinin tüm sürecine uygulamışlardır. Bina enerji tasarrufu kavramının derinleşmesiyle birlikte, yeşil bina araştırmaları ve uygulamaları da gelişmektedir. Teknoloji, bir [11-13]. inşaat alanının gelişimini teşvik etmek için güçlü destek sağlamaktadır [Benimsenen bina bilgi modeli, geleneksel bina modelinin eksikliklerinin temelde üstesinden gelen binanın gerçek sahnesini ve aşamalarını farklı boyutlardan gerçek anlamda yeniden üretebilir. BIM'in çekirdek yazılımı, bina modelini parametrelendirebilir ve modelde yer alan çeşitli bilgiler aracılığıyla bina sürecinde meydana gelebilecek çeşitli durumları tahmin edebilir veya simüle edebilir. BIM bina bilgi modeli ile diğer enerji tasarrufu analiz yazılımları arasındaki ortak çalışma, yeşil binaların tasarım etkisini bilimsel olarak değerlendirebilir.

Geleneksel bilgisayar destekli tasarım modunu kullanarak, çeşitli departmanların merkezi olmayan yönetimi ve uygunsuz bilgi iletişimi nedeniyle, inşaat projesindeki tüm tarafların işbirliği gereksinimlerini gerçekleştirmek zordur. BIM teknolojisine dayalı yeşil bina sadece bilgi etkileşimini sürdürmekle kalmaz, aynı zamanda inşaatta yer alan tüm personel için etkili bilgi etkileşimi ve entegre yönetim gerçekleştirmek için işbirliğine dayalı çalışma platformunu kullanabilir [14, 15]. İnşaat sektörünün ve diğer alanların işbirliğine dayalı gelişimi için önemli teknik destek sağlar. Geleneksel bilgisayar destekli bina yöntemi ile BIM yeşil bina teknolojisi arasındaki karşılaştırma Tablo 1'de gösterilmektedir

BIM'in özü sadece çeşitli mimari tasarımları optimize etmek için BIM teknolojisini kullanmakla kalmaz, aynı zamanda binanın kapsamlı maliyetini etkili bir şekilde kurtarmak ve binanın enerji tüketimini azaltmak için inşaat sürecinin farklı aşamalarında ortakların işbirliği modunu optimize eder. Buna ek olarak, BIM teknolojisi bina enerji tüketimini simüle etmek için kullanılır. Simülasyon sonuçlarının analizine dayanarak, bina tasarım şeması sürekli olarak optimize edilir, en iyi şema seçilir ve yeniden kaynak kullanım oranı da iyileştirilir.

BIM teknolojisi, geleneksel mimari anlamında tasarım modunu değiştirmiştir. BIM bina modeli sadece alan tesislerini görselleştirmekle kalmaz, aynı zamanda yeşil bina projelerinin tasarımı, inşası ve bakımı için uygun olan ve farklı aşamalarda katılımcılar tarafından inşaat projelerinin iletişimini ve karar vermesini karşılayabilen modeli kullanarak ilgili veri ve bilgileri de çıkarabilir [16, 17]. Buna ek olarak, BIM tarafından sağlanan veri platformu aşağıdakiler için bilgi desteği sağlayabilir

İnşaat projelerinin uygulanması sırasında risklerden kaçınmak, maliyetleri azaltmak ve verimliliği artırmak için inşaat maliyet planı, malzeme kullanım planı ve personel planlama planı gibi inşaatla ilgili çeşitli iş planlarını etkin bir şekilde formüle etmek.

Geleneksel mimari çizim bilgileri entegre edemez ve inşaat sırasında iletişim kurmak zordur. Geleneksel bina modellerinin çizimleri ve bilgileri genellikle birbiriyle ilişkili olmadığından, model modifikasyonu sadece zaman alıcı değil, aynı zamanda hatalara da açıktır, bu da inşaat sektörü için önemli yardım sağlamak zordur bilgi etkileşimi yoluyla binanın tamamlanmasından sonra gerçek durumu tahmin edebilen bina modeli ve BIM veri merkezi, farklı aşamalar için çeşitli veriler sağlayabilir ve binanın tamamlanmasından sonra ilgili hizmetleri sağlayabilir. Proje uygulamasının farklı aşamalarındaki katılımcılar, mimari tasarım ve inşaat çizimlerini kontrol etmeden eşzamanlı olarak formasyonu güncelleyebilirler. Şekil 1'de gösterildiği gibi, geleneksel bina modeli ile BIM bina modeli arasındaki karşılaştırma sonuçları gösterilmektedir.

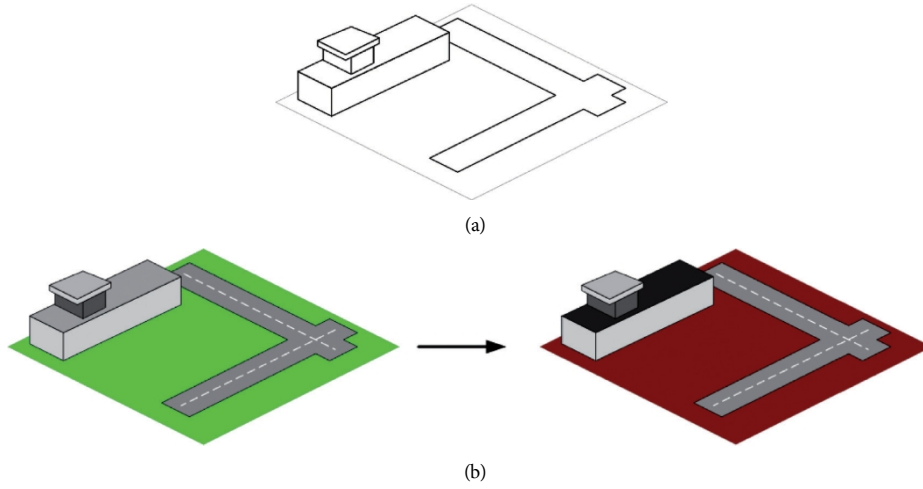
3. Enerji Tasarruflu Tasarımın Genel Şeması

3.1. Yeşil Bina Tasarım İlkeleri. Tüm yeşil bina sürecinde, enerji tasarrufu sağlayan tasarım sadece mimari özelliklerle ilgili değildir, aynı zamanda doğal çevre faktörlerini ve dış çevre ile mimari özellikler arasındaki ilişkiyi de dikkate alır. Bu nedenle, yeşil bina tasarımının belirli ilkelere ihtiyacı vardır.

- (1) Sürdürülebilir kalkınma ve insan odaklılık ilkelerine bağlı kalmalıyız. Uzun vadeli ve istikrarlı kalkınmanın ihtiyaçlarını karşılamak için yeşil binalar, yeniden kaynak tüketimi, çevre kirliliği ve kaynakların korunması gibi sürdürülebilir kalkınma sorunlarını koordine edebilmelidir. Binanın enerji tasarrufu sağlayan tasarımı, insan yaşam alanını daha iyi bir şekilde dönüştürmek olduğundan, sakinlerin sağlığını etkilememesini sağlamak amacıyla, yeşil binalar uygulanırken inşaat ekipmanı ve malzemeleri makul bir şekilde kullanılmalıdır.
- (2) Yeşil binaların enerji tasarrufu sağlayan tasarımı, yaşam konforuna ve teknolojinin rasyonelliğine uygun olmalıdır. Yeşil binaları uygularken, sadece konut sakinlerinin konut binaları için mekansal yapı ihtiyaçlarını göz önünde bulundurmamalı, aynı zamanda teknik standartlara göre dış doğa tarafından sağlanan güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve diğer kaynak koşullarından da tam olarak yararlanmalıyız. Enerji tasarrufu sağlayan iyi bir tasarım, konut sakinlerine iyi bir iç ortam sıcaklığı, nem ve diğer çevre koşullarını sağlayabilir.
- (3) Kaynak ve enerji tasarrufu ilkesine dayanarak, yeşil binaların enerji tasarrufu sağlayan tasarımında farklı bölgelerdeki çevresel farklılıklar göz önünde bulundurulmalıdır. Dış doğal çevrenin özellikleri ile birlikte,

TABLO 1: Geleneksel bilgisayar destekli mimari tasarım ile BIM yeşil bina teknolojisi arasındaki karşılaştırma.

Öge	Geleneksel mimari tasarım	BIM yeşil bina teknolojisi
Çalışma döngüsü	Tasarım aşaması	Tüm döngü
Tasarım boyutu	İki boyutlu tasarım	3D üzeri alan tasarımı
Çalışma modu	Bağımsız çalışma	Ortak çalışma
Tasarım efekti ekranı	Plan çizimi	Görsel model



ŞEKİL 1: Geleneksel bina modeli ile BIM bina modelinin karşılaştırılması.

Bölgesel özellikler ve insanların sosyal yaşam gelenekleri göz önünde bulundurulduğunda, yeşil binalar yalnızca yerel inşaat tarzına uymakla kalmamalı, aynı zamanda yerel kaynakları ve çevreyi de tam olarak kullanmalıdır.

3.2. Ön Tasarım Hazırlığı. Enerji tasarrufu sağlayan tasarımın etkisi yeşil bina değerlendirmesinin önemli bir parçası olduğundan, enerjinin etkin bir şekilde tasarruf edilip edilmediği ve kullanılıp kullanılmadığı önemli bir referans standardıdır ve BIM'in yeşil binalarda uygulanmasını teşvik etmek çok önemlidir. Yeşil binaların normal şekilde uygulanmasını sağlamak için, BIM modeli genellikle bina dışındaki doğal ışık radyasyonunu ve dağılımını analiz etmek, uygulanabilir bir güneş enerjisi kullanım şeması oluşturmak ve yeşil binalar tarafından güneş enerjisi kaynaklarının tam kullanımını gerçekleştirmek için kullanılır.

Aynı zamanda, BIM modeline dayalı iç mekan doğal aydınlatmasının analiz sonuçlarına göre, iç mekan aydınlatmasının enerji tüketimini azaltmak için dış aydınlatmadan tam olarak yararlanın. Buna ek olarak, enerji tasarrufu sağlayan malzemelerin seçimi ve kullanımında, kamu binalarının işlevsel gerekliliklerine ve mimari tasarımın teknik rasyonellik gerekliliklerine göre, elektromekanik boru ağının mantıksız tasarımından kaynaklanan bazı sorunları önlemek için elektromekanik boru ağını tespit etmek için BIM teknolojisi kullanılmalıdır. Son olarak, iç ortam ve yapısal termal performans testi açısından, çevresel yapı ve termal fonksiyon parametreleri BIM bina modelinin girdi parametreleri olarak kullanılır ve gerekli parametreler ilgili yazılım aracılığıyla hesaplanarak yeşil binanın

ulusal standartları karşılayabilir. İnşaat projesinin tasarımı veya uygulaması ilgili ulusal yeşil bina standartlarının gerekliliklerini karşılamıyorsa, bina enerji tüketiminin yeniden analiz edilmesi ve hesaplanması gerekir.

3.3. Kavramsal Tasarım. Yeşil binaların enerji tasarrufu sağlayan tasarımında, genellikle bina sakinlerinin inşaat ihtiyaçlarına veya fikirlerine göre uygulanabilecek bir açıklamaya dönüştürülür. Bu nedenle, ilgili tasarım belgeleri yeşil binaların enerji tasarrufunun uygulanması için temel oluşturur. Yeşil bina sonuçlarını değerlendirirken, yeşil binanın doğru ve ayrıntılı enerji tasarrufu sağlayan tasarım bilgilerini elde etmek için ilgili bina bilgilerini tasarım aşamasında entegre etmek ve ardından uygulama sürecindeki tüm katılımcılar için paylaşılan verileri sağlamak için ilgili bilgileri BIM platformu veritabanına aktarmak gerekir [14].

Yeşil bina uygulama sürecinin tamamı, farklı profesyonel alanlarda işbirliği ve ortak tasarım gerektirmektedir ve BIM modeli, ortak çalışma için daha iyi bir bilgi yönetimi platformu sağlayabilir. BIM modeli yeşil bina konsepti hakkında çeşitli ayrıntılı bilgiler içerdiğinden, yeşil bina enerji verimliliğinin simülasyonu ve analizi için bir temel ve destek sağlayabilir. Buna ek olarak, BIM modelinin parametrelendirilmesi ve modülerleştirilmesi, daha sonraki enerji tasarrufu sağlayan tasarım etkisi için doğru bilgi geri bildirimi sağlayabilir. BIM tabanlı yeşil bina enerji verimliliği tasarımının özel uygulama rotası Şekil 2'de gösterilmektedir

4. Enerji Tasarruflu Tasarımın Temel Noktaları

4.1. Modelleme Yazılımı Seçimi. Yeşil bina, BIM yazılım teknolojisinin gelişmesiyle birlikte yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Uygun bir BIM yazılımı seçmek, yeşil bina enerji tasarrufu tasarımcıları için çok önemlidir [18]. BIM teknolojisi kullanılarak bir bina modeli oluşturulur. Bu temelde, yeşil binaların enerji tasarrufu tasarlanır, enerji tüketimi simüle edilir ve ana- liz edilir ve simülasyon analiz sonuçlarına göre bina enerji tasarrufu simülasyon tasarımının teknik rotası formüle edilir.

Son yıllarda, tasarımcılar yeşil binalar tasarlamak ve model simülasyon sonuçlarını analiz etmek için çoğunlukla Ecotec, Energy Plus ve diğer simülasyon analiz yazılımlarını kullanmış ve iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Örneğin, Ecotec yazılımı basit kullanım ve özel analiz özelliklerine sahiptir. Farklı mimari tasarım modellerine göre ilgili parametreleri optimize edebilir ve özel uygulama için etkili bir garanti sağlar. Şu anda çoğu tasarımcı, farklı BIM model yazılımları tarafından sağlanan ilgili simülasyon yazılımlarını Ecotec simülasyon yazılımı ile birleştirmekte, ardından mimari tasarım modellerinin verilerini BIM model yazılımındaki simülasyon yazılımına göre farklı aşamalarda analiz etmekte ve analiz ve tasarım simülasyon sonuçlarını kullanarak enerji tasarrufu ve emisyon azaltma planını optimize etmektedir.

4.2. Muhafaza Enerji Tasarruflu Tasarım. Yeşil binanın çatı bölümü, enerji tasarrufu faktörleri kapsamlı bir şekilde dikkate alınarak tasarlanmalıdır. Şu anda, yaygın çatı şekilleri temel olarak yüksek düz çatı, eğimli düz çatı ve çeşitli aerodinamik düz çatı tarzlarında tasarlanmaktadır. Enerji tasarrufu ve termal performans tasarımı açısından, yaz ve kış aylarında iyi ısı yalıtım etkileri elde etmek için genellikle dekoratif malzemelerin, eğim tasarımının ve ısı yalıtım katmanının kullanımını dikkate almak gerekir.

Binanın ana parçası olarak, dış duvar enerji tasarrufunun amacı uygun iç ortam sıcaklığını sağlamak, dış yüksek sıcaklığın etkisinden kaçınmak ve iç ve dış sıcaklık farkının olumsuz etkisini azaltmaktır. Enerji tasarrufu sağlayan dış duvarlar için kullanılan malzemeler genellikle su geçirmez kil katı tuğla ve merkezi ısı yalıtım duvarı gibi iyi enerji tasarrufu etkilerine sahip kompozit yapı duvarı hammaddeleridir. Yeşil binaların önemli bir parçası olan pencereler temel olarak havalandırma, gün ışığı ve ısı yalıtımı için kullanılır ve tüm binanın enerji tüketimi üzerinde belirli bir ölçüde büyük bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, pencere tasarımı yalnızca kullanıcıların konut ihtiyaçlarını karşılamakla kalmamalı, aynı zamanda bina enerji tasarrufu gereksinimlerini de karşılamalıdır.

En son BIM tasarım yöntemi, genellikle yüksek binaların ve bunların yardımcı muhafaza tesislerinin ısı yalıtımı ve enerji tasarrufu ihtiyaçlarını karşılayabilir. Örneğin, BIM bina modeli kullanılarak, farklı duvar ve çatı yapı malzemeleri seçilebilir ve ilgili parametreler

enerji tasarruflu inşaat planını optimize etmek için ayarlanabilir.

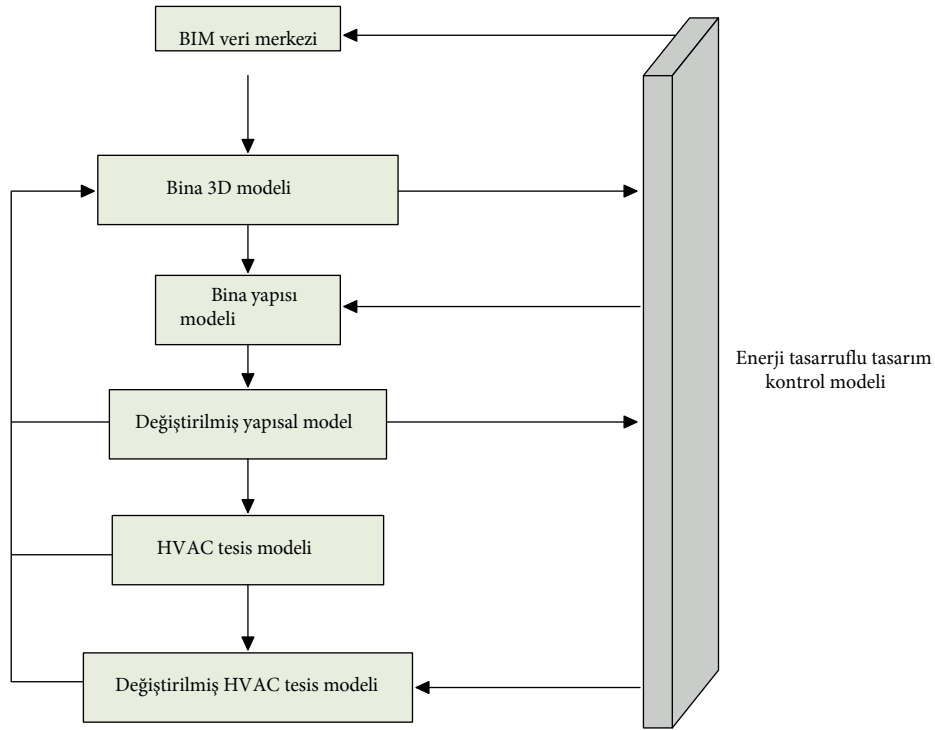
4.3. Güneş Işığı Enerji Tasarruflu Tasarım. Güneş ışığı koşullarının nasıl tasarlanacağı sadece yeşil binaların enerji tasarrufu sağlayan tasarımının anahtarı olmakla kalmaz, aynı zamanda binadaki gün ışığı etkisini de etkileyebilir. Aydınlatma enerji tasarrufu teknolojisinin etkin kullanımı yapay enerji tüketimini azaltabilir. Doğal aydınlatma tasarımı açısından, iç mekan aydınlatmasını desteklemek, iç mekan yapay aydınlatması için gereken enerji tüketimini azaltmak ve bina ikamet ve yaşamı için gereken aydınlatma koşullarını karşılamak için dış güneş ışığının ürettiği yansıyan ışıktan tam olarak yararlanmak gerekir.

Yeşil bina endüstrisine ilişkin ulusal yasa ve politikalara göre, binaları simüle etmek için Revit mimari modelini kullanırken, binaların iç mekan aydınlatmasını, güneş ışığını ve gün ışığını simüle etmek ve kapsamlı bir şekilde analiz etmek için aydınlatma yazılımı Ecotec'i içe aktarabilirsiniz. Analiz sonuçlarına göre, bina modelinin yapısını ayarlayabilir veya yeniden tasarım için ilgili parametreleri güncelleyebilirsiniz.

Yeşil bina tasarımı için teknik standartlara göre, binalardaki yatak odalarının ortalama gün ışığı katsayısı güneş ışığı koşullarıyla ilgilidir. Genel olarak, yatak odasının ortalama gün ışığı katsayısı %4,7'dir. Güneş ışığı koşulları ne kadar iyi olursa, gün ışığı katsayısı da o kadar yüksek olur. Kapalı salonların, mutfakların, tuvaletlerin ve diğer mekanların gün ışığı katsayısı genellikle %1'dir [18, 19]. Pencerelerden uzaklık nedeniyle, bu odaların daha iyi bir güneş ışığı ortamı elde etmesi genellikle zordur. Yeşil binaların enerji tasarrufu sağlayan tasarımında, yalnızca iç mekan gün ışığı katsayısı standardını karşılamakla kalmamalı, aynı zamanda iç mekan enerji tasarrufu ve çevre koruma gereksinimlerini de karşılamalıdır.

5. BIM'e Dayalı Bina Enerji Verimliliği Analiz Yöntemi

5.1. BIM'e Dayalı Bina Enerji Verimliliği Analizinin Özellikleri. Geçmişte, teknik koşulların sınırlılığı nedeniyle bina enerji tüketimi analizinde birçok sorun vardı. Geleneksel bina enerji tüketimi analizi esas olarak inşaat sürecinde gerçekleştirilmektedir. Mimari tasarım çizimi değiştirilemez, hatta enerji tüketim analizi yoluyla bulunan sorunlar üzerinde yeniden çalışılmaz, bu da insan ve malzeme kaynaklarının israfına neden olur. Bu nedenle, tasarım aşamasında enerji tüketimini analiz etmek ve optimum tasarım şemasını elde etmek için bina modelini kullanmak, daha sonraki inşaat verimliliğini etkili bir şekilde artırabilir ve inşaat maliyetini düşürebilir. Geleneksel enerji tüketim analizi yöntemi, ilgili faktörler arasındaki etki ilişkisini kapsamlı bir şekilde dikkate almadan genellikle yalnızca tek bir faktörü analiz eder, bu da bu enerji tasarrufu planının ekonomik ve uygulanabilir olmamasına neden olur. Örneğin, geçmişte sadece bina kabuğunun yüksek sıcaklık performansı analiz ediliyordu veya tek bir aydınlatma



ŞEKİL 2: Yeşil bina enerji verimliliği tasarımının bilgi aktarım süreci.

sistemi ve HVAC ekipmanı değiştirilerek enerji tasarruflu dönüşüm gerçekleştirilmiştir [20].

Verileri işlemek ve analiz etmek için BIM teknolojisi uygulanır, inşa edilen bina modeli ilgili bilgileri, dış ortamı ve gerekli parametreleri entegre etmek ve analiz etmek için kullanılır ve bina enerji tüketimi ilgili programlar çalıştırılarak simüle edilir ve analiz edilir. BIM teknolojisine dayalı bina modeli, modelleme yazılımı ile enerji tüketimi simülasyon yazılımı arasındaki etkileşimi gerçekleştirebilir. Bina enerji tüketimi binanın tamamını ve bir kısmını içerdiğinden ve farklı profesyonel alanların bilgisi kullanılarak analiz edilmesi gerektiğinden, analistlerin modalizmi sürekli olarak geliştirmelerine yardımcı olmak için farklı yazılımlar arasındaki etkileşim kullanılmalıdır. Teknoloji, parametrik modelleme ve enerji tüketim analizi arasındaki işbirlikçi çalışmayı gerçekleştirebilir, bu da yalnızca enerji tasarrufu sağlayan tasarım etkisinin bilimsel analizine ve değerlendirilmesine yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda yönetimin aşağıdaki tüm departmanlarla iletişim kurmasını ve yönetmesini sağlamak için projenin tüm yaşam döngüsünde bilgilerin entegrasyonuna ve paylaşılmasına da yardımcı olur. Buna ek olarak, kapsamlı enerji tüketim analizi yoluyla, BIM teknolojisine dayalı bina modeli yalnızca bireysel faktörleri analiz etmekle kalmaz, aynı zamanda binanın genel performansını ve çeşitli faktörlerin kapsamlı etkisini de değerlendirebilir. Böylece, bina enerji tüketiminin durumunu kapsamlı bir şekilde kavrayabilir ve çeşitli departmanlar için karar desteği sağlayabilir.

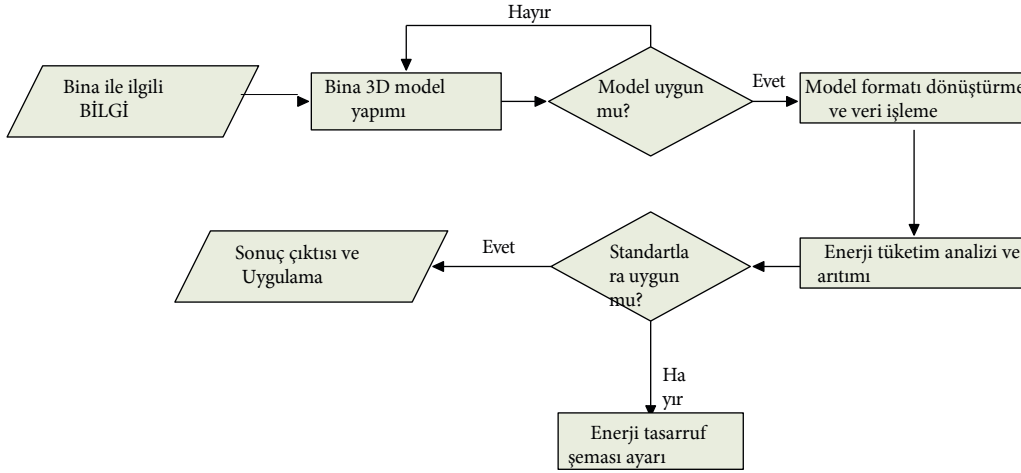
5.2. Bina Enerji Verimliliği Analiz Süreci. Son yıllarda, BIM teknolojisinin hızla gelişmesiyle birlikte, bina enerji verimliliğini simüle etmek ve analiz etmek giderek daha kolay hale gelmektedir.

enerji tüketimi ve BIM enerji tüketimi analiz yazılımının uygulanması, bina enerji tüketimi ve iç mekan enerji tüketimi dinamik analizi gibi inşaat sürecindeki bina projeleriyle ilgili çeşitli faktörleri kapsamlı bir şekilde değerlendirebilir. BIM enerji tüketimi simülasyon yazılımı, belirli bina projelerinin enerji tüketimini tasarlamak ve analiz etmek için genellikle Ecotec'i kullanır ve ana süreci Şekil 3'te gösterilmiştir.

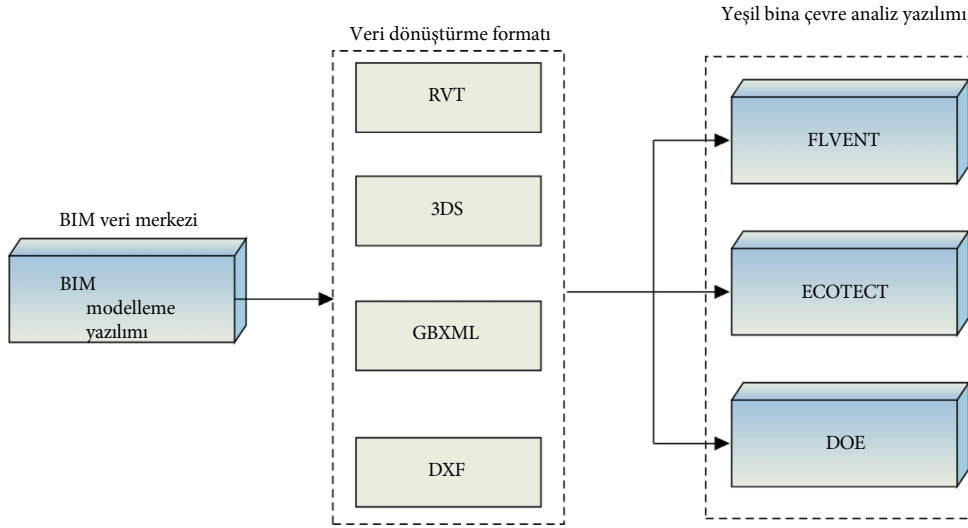
Genellikle, ilk deneme sınavı inşaat projelerinin farklı aşamaları için gereklidir. Tek bir modelin tasarımı esas olarak belirli bir aşamayla sınırlı olduğundan, tüm inşaat projesini tamamlamak için her aşamanın bilgileri entegre edilmeli ve işlenmelidir. Bunlar arasında, her bir monomer modelin etkileşimli çalışması, yalnızca bilgi aktarım süresinden etkili bir şekilde tasarruf etmekle kalmaz, aynı zamanda gerekli mesleki farklılıklar nedeniyle çeşitli sorunları da önleyebilir.

BIM'e dayalı bina modeli esas olarak inşaat projesinin genel bilgilerini içerir. Enerji tüketimini simüle etmek ve analiz etmek için BIM teknolojisini kullanmak, yalnızca etkili bilgileri analiz yazılımına aktarmak ve ilgili analizi tamamlamakla kalmaz, aynı zamanda farklı aşamalar arasında tekrarlanan işleri azaltır ve iş verimliliğini artırır.

BIM çekirdek bina modelinde yer alan bilgileri ilgili enerji tüketimi analiz yazılımına aktarın, enerji tüketimi analiz yazılımı tarafından elde edilen analiz sonuçlarını bina modeline geri döndürün ve ardından model parametrelerini dinamik olarak ayarlayarak enerji tasarrufu sağlayan tasarım etkisini sürekli olarak iyileştirin. Spesifik bilgi aktarım süreci Şekil 4'te gösterilmektedir.



ŞEKİL 3: BIM'e dayalı enerji tüketimi analiz yöntemi.



ŞEKİL 4: BIM çekirdek yazılımı ile bina çevre analiz yazılımı arasındaki etkileşim.

6. BIM'e Dayalı Yeşil Binaların Enerji Tasarrufu Etkisinin Değerlendirilmesi

6.1. Değerlendirme Endeksi Sisteminin Oluşturulması. BIM teknolojisiye dayalı enerji tüketimi analiz yazılımı, inşaat ve kullanım aşamalarındaki enerji tasarrufu etkisini simüle etmek ve analiz etmek için esas olarak tasarım aşamasındaki bina modelini kullanır. Bu nedenle, yeşil binaların enerji tasarrufu etkisini değerlendirmek için ilgili bir değerlendirme endeksi sisteminin oluşturulması gerekmektedir. Yeşil bina enerji verimliliği değerlendirme endeksinin oluşturulması, inşaat dönemi boyunca inşaat proje departmanlarını teşvik etmektir; yerel doğal koşullara göre, binanın güvenliğini sağlama öncülüğünde, enerji kullanımını etkin bir şekilde iyileştirmek ve inşaatın yeniden çalışmasından kaynaklanan gereksiz kayıpları azaltmak. Değerlendirme sistemi sadece bina enerji tasarrufu etkisinin değerlendirme temeli olmamalı, aynı zamanda yeşil bina enerji tasarrufu tasarımını yönlendirmek için rehberlik sağlamalıdır. Bina enerji verimliliğinin değerlendirilmesi ve analizi yoluyla

Değerlendirme sisteminin etkisiyle, inşaat projesinin her bir departmanının çalışma süreci takip edilebilir ve inşaat projesinde var olan sorunlar özetlenebilir ve analiz edilebilir.

Genel olarak, iyi bir değerlendirme sisteminin belirli ilkeleri takip etmesi gerekir. Bunlardan ilki, yeşil binaların enerji tasarrufu etkisini nitel ve nicel analiz yöntemleriyle bilimsel olarak değerlendirmektir. İkincisi, değerlendirme göstergelerinin ayarlanabilir olması ve belirli inşaat projelerine göre uygun şekilde ayarlanabilmesidir. Buna ek olarak, endeks analizi ve hesaplama sürecini basitleştirebilir, böylece değerlendirme sürecinin yalnızca kullanımı kolay olmakla kalmaz, aynı zamanda değerlendirme sisteminin uygulanabilirliğine de katkıda bulunur. Yurtiçi ve yurtdışındaki yeşil bina enerji verimliliği değerlendirme standartlarına dayanarak, yeşil bina enerji tüketimi simülasyon analiz yazılımı tarafından çıkarılan ilgili raporlar temel olarak enerji tasarrufu sağlayan tasarım standartlarını karşılayabilir.

Bu nedenle, enerji tüketimi analiz yazılımının simülasyon sonuçları enerji tasarrufu etkisinin değerlendirilmesinde temel olarak kullanılabilir. Farklı bina tiplerine göre

Yeşil binaların enerji tasarruflu tasarımında yer alan unsurlar, Tablo 2'de gösterildiği gibi yeşil binaların enerji tasarrufu değerlendirme endeks sistemi oluşturulmuştur

6.2. Yeşil Binaların Enerji Tasarrufu Etkisinin Değerlendirme Modeli. Oluşturulan yeşil bina enerji verimliliği değerlendirme endeksi sistemini kullanarak, değerlendirme sistemindeki tüm seviyelerdeki göstergelerin farklı önemini kapsamlı bir şekilde göz önünde bulundurun ve ilgili göstergelerin ağırlık değerini hesaplayın. Ağırlık hesaplama yöntemi, öznel ve nesnel ilkelerini göz önünde bulundurabilir.

Enerji tasarruflu tasarımın hedeflerine, kriterlerine ve özel tasarım şemasına göre, hiyerarşik yapı enerji tasarrufu etkisi değerlendirme endeksi sisteminin modeli Şekil 5'te gösterildiği gibi oluşturulabilir

Yukarıdaki enerji tasarrufu değerlendirme hiyerarşisi modeline dayanarak, her bir değerlendirme endeksinin ağırlığını elde etmek için, aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi ilgili bir yargı matrisi oluşturmak gerekir:

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1m} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \dots & b_{mm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

1, 2, ..., 10 sayıları genellikle yargı matrisindeki her bir unsurun göreceli önemini temsil etmek için kullanılır. Daha sonra, değerlendirme uzmanlarına göre, her bir endeksin önemi karşılaştırılır ve bir yargı matrisi oluşturmak için karşılık gelen puanlar verilir.

Ardından her bir endeksin ağırlığını hesaplayın. Spesifik hesaplama formülü aşağıdaki gibidir:

$$a_i = \frac{b_{ij}}{\sum_{j=1}^m b_{ij}}, \quad (2)$$

$$u_i = \frac{(m) \cdot a_i}{\sum_{i=1}^m (m) \cdot a_i} \quad (i=1, 2, \dots, m)$$

Burada a_i yargı matrisinin her bir bileşen değerini temsil eder.

$$c = \frac{u - m}{m - 1} \quad (3)$$

$$q = \frac{c}{q}$$

Burada c yargı matrisinin tutarlılık endeksinin, q rastgele tutarlılık endeksinin ve cq revize edilmiş tutarlılık oranını ifade eder.

Rastgele tutarlılık endeksi değerleri Tablo 3'te gösterilmektedir

TABLO 2: Yeşil bina enerji verimliliği tasarım etkisinin değerlendirme sistemi ve tüm seviyelerde endeks ilişkisi.

Öge	Birincil endeks	İkincil endeks
1	Enerji tasarrufu sağlayan tasarım	Tasarım şemasının fizibilitesi Dış koruma yapısının kalitesi Enerji tüketimi Aydınlatma durumu Enerji kullanımı
2	Enerji tüketimi	Dış çevre koşulları İç aydınlatma koşulları
3	Gün ışığı durumu	Dış pencerenin ışık geçirgenliği İç mekan havalandırması
4	Havalandırma durumu	İç mekan hava kalitesi
		Dış mekan havalandırması

$cq < 0.1$ olduğunda, yargı matrisinin iyi bir tutarlılığa sahip olduğunu gösterir. Aksi takdirde, tutarlılık gereklilikleri yargı matrisinin eleman değerlerinin sürekli olarak ayarlanmasıyla sağlanabilir.

Enerji tasarrufu değerlendirmesinin oluşturulmasından sonra

endeks sisteminde, niteliksel endekslerin genellikle niceliksel olarak ele alınmıştır. Bu nedenle, her bir değerlendirme endeksinin sınıf seviyesini belirleyerek ve ardından farklı değerlendirme endekslerine göre Bu endekslerin değerlendirme endeks sistemindeki seviyeleri veya ilgili projelerin önemi, beş dereceye ayrılır: mükemmel, iyi, orta, nitelikli ve zayıf.

Yukarıdaki beş farklı sınıf sırasıyla 10, 9, 8, 7 ve 6 ile temsil edilebilir.

Her bir endeksin puanları uzman puanlamasıyla elde edilir ve enerji tasarrufu etkisi değerlendirme örnek matrisi puanlama sonuçlarına göre oluşturulur. Örneğin, puanlamaya katılan uzman sayısının z olduğunu, x birincil değerlendirme göstergesinin uzmanlar tarafından sırayla puanlandığını ve her bir birincil değerlendirme göstergesinin y ikincil değerlendirme göstergesine sahip olduğunu varsayalım; o zaman nihai enerji tasarrufu etki değerlendirme örnek matrisi şu şekilde ifade edilebilir

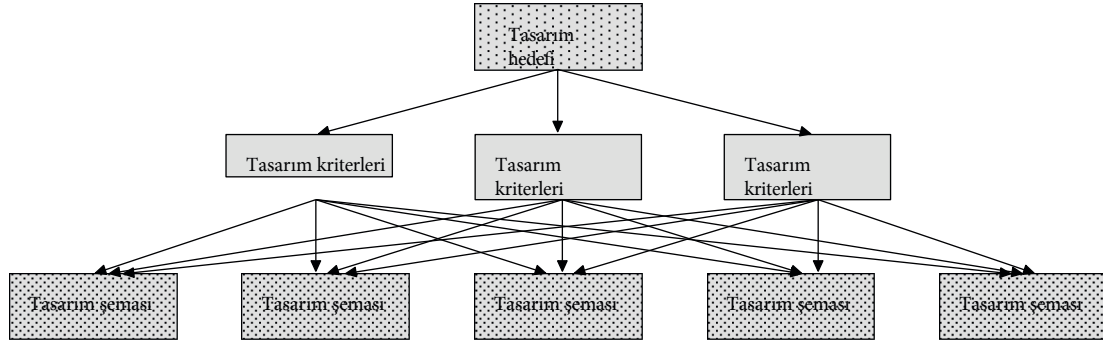
$$S = \begin{bmatrix} s^{111} & s^{112} & \dots & s^{11z} \\ s^{121} & s^{122} & \dots & s^{12z} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s^{xy1} & s^{xy2} & \dots & s^{xyz} \end{bmatrix} \quad (4)$$

6.3. Değerlendirme Modelinin Mühendislik Vakalarında Uygulanması. Mimari Tasarım Enstitüsü tarafından formüle edilen tasarım teknik şemasına göre, yeşil binanın üç boyutlu bir modeli oluşturulur. Ardından, BIM platformuna dayalı olarak,

farklı profesyoneller ve departmanlar birlikte çalışabilir. Şekil 6'da üç boyutlu bina modeli gösterilmektedir.

bina yapısı modelini içerir ve Şekil 7, farklı profesyoneller tarafından yapılan bina su temini ve drenaj sistemi, HVAC tesisleri ve zayıf akımın elektromekanik kapsamlı modellerini temsil eder.

BIM veri platformuna dayanarak ve bina modelini enerji tüketimi analiz yazılımına aktararak ilgili analiz raporları oluşturulabilir.



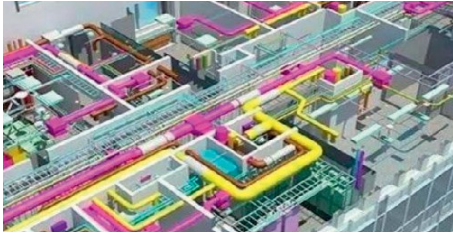
ŞEKİL 5: Enerji tasarrufu sağlayan tasarım değerlendirme hiyerarşisi.

TABLO 3: Karar matrisindeki farklı boyutlara karşılık gelen rastgele tutarlılık endeksi değerleri.

Matris boyutu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q	0.01	0.02	0.36	0.54	0.82	1.15	1.27	1.32	1.41	1.49



ŞEKİL 6: Üç boyutlu bina yapısı modeli.



ŞEKİL 7: Bina su temini ve drenaj sisteminin elektromekanik kapsamlı modeli.

Analiz raporuna ve yeşil binaların enerji tasarrufu etkisinin değerlendirme endeks sistemine göre, birincil endeks enerji tasarrufu tasarım şeması B_1 , enerji tüketimi B_2 , gün ışığı durumu B_3 ve havalandırma durumu B_4 kullanılarak yargı matrisi oluşturulmuştur. Enerji tasarrufu değerlendirme sisteminin birincil endeks yargı matrisi Tablo 4'te gösterilmektedir

$\bar{a} \diamond (0.136, 0.247, 0.315, 0.063)$ yargı matrisinden hesaplanabilir. Tutarlılık testi formülüne göre, maksimum özdeğer $u \diamond 4.13$ ve $cq \diamond 0.014 < 0.1$ 'dir. Tutarlılık testi aracılığıyla, her bir birincil endeksin ağırlık değerleri Tablo 5'te gösterildiği gibi elde edilir.

Daha sonra, her bir birincil endeks altındaki her bir ikincil endeks, karar matrisini belirlemek için sırayla karşılaştırılabilir

TABLO 4: Enerji tasarrufu değerlendirme sisteminin birincil endeks karar matrisi.

B	B_1	B_2	B_3	B_4
B_1	1	0.5	0.8	1.5
B_2	1.5	1	2.5	3
B_3	0.5	0.5	1	2.5
B_4	0.8	0.5	1.5	1

TABLO 5: Enerji tasarrufu değerlendirme endeks sisteminin birincil endeks ağırlık değeri.

Birincil endeks	Ağırlık değeri
Enerji tasarrufu sağlayan tasarım	0.136
Enerji tüketimi	0.247
Gün ışığı durumu	0.315
Havalandırma durumu	0.063

katmanının bir parçasıdır. Örneğin, enerji tasarrufu sağlayan tasarımın birincil endeksi altında çeşitli faktörlerin değerlendirilmesi ve karşılaştırılmasıyla, Tablo 6'da gösterildiği gibi ilgili yargı matrisi elde edilir.

Karar matrisine göre, ilgili $a_1 \diamond 0.124, 0.216, 0.473$) hesaplanabilir. Tutarlılık testi sonucunda, $cq \diamond 0.008 < 0.1$ olup gereksinimleri karşılamaktadır. Tutarlılık testinden sonra, her bir ikincil endeksin birincil endeks altındaki ağırlık değerleri Tablo 7'de gösterildiği gibi elde edilir.

Benzer şekilde, diğer birincil göstergeler altındaki unsurların karşılaştırılmasıyla oluşturulan yargı matrisini elde etmek için de aynı yöntem kullanılabilir. Aynı zamanda, yargı matrisine göre karşılık gelen ağırlık da elde edilebilir. Son olarak, yeşil bina enerji tasarrufu etkisi değerlendirme endeksi katmanının tüm farklı endeks ağırlıkları Tablo 8'de gösterildiği gibi hesaplanabilir

Bu nedenle, ilgili puanlama matrisi formül (4) kullanılarak oluşturulabilir ve Tablo 8'deki enerji tasarrufu sağlayan tasarım etkisi değerlendirme sisteminin tüm seviyelerindeki endeks ağırlıkları ile birleştirilebilir

TABLO 6: Enerji tasarrufu değerlendirme endeks sistemi ikincil endeks yargı matrisi.

B _i	B11	B12	B13
B11	1	0.8	0.6
B12	2.5	1	0.5
B13	3	2	1

TABLO 7: Enerji tasarrufu değerlendirme endeks sisteminin ikincil endeks ağırlık değeri.

İkincil endeks	Ağırlık değeri
Tasarım şemasının fizibilitesi	0.124
Dış koruma yapısının kalitesi	0.216
Enerji tüketimi	0.473

TABLO 8: Enerji tasarrufu sağlayan tasarım etkisi değerlendirme sisteminin tüm seviyelerindeki endekslerin ağırlığı.

Birincil endeks	Ağırlık değeri	İkincil endeks	Ağırlık değeri
Enerji tasarrufu sağlayan tasarım	0.136	Tasarım şemasının fizibilitesi	0.124
		Dış koruma yapısının kalitesi	0.216
Enerji tüketimi	0.247	Enerji tüketimi	0.473
		Aydınlatma durumu	0.103
		Enerji kullanımı	0.185
		Dış çevre koşulları	0.327
Gün ışığı durumu	0.315	İç mekan aydınlatma durumu	0.162
		Dış pencerenin ışık geçirgenliği	0.538
Havalandırma durumu	0.063	İç mekan havalandırması	0.178
		İç mekan hava kalitesi	0.349
		Dış mekan havalandırması	0.426

Yeşil binaların enerji tasarrufu etkisi değerlendirmesinin derece sınıflandırmasına göre, beş kategoriye ayrılabilir: 10, 9, 8, 7 ve 6 tam sayıları ile temsil edilen mükemmel, iyi, orta, nitelikli ve zayıf. Bu makalede önerilen enerji tasarrufu değerlendirme yöntemine göre, yeşil binaların enerji tasarrufu etkisinin kapsamlı değerlendirme sonucu M aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$M = \begin{pmatrix} 0,21 & 0,17 & 0,35 & 0,23 & 0,13 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 10 \\ 9 \\ 8 \\ 7 \\ 6 \end{pmatrix} \quad (5)$$

Bina projesinin enerji tasarrufu etkisinin kapsamlı değerlendirme değeri 8.82'dir ve bu değer iyi ile orta arasında olup yeşil bina modelinin enerji tasarrufu etkisinin beklenen hedefe ulaştığını göstermektedir.

7. Sonuç

Modern inşaat endüstrisinin önemli bir gelişme yönü olarak yeşil bina, BIM teknolojisinin geniş uygulamasından ayrılmazdı. Bu makale, aşağıdaki işlevlere sahip olan BIM teknolojisini tam olarak kullanmıştır

bina bilgi modeli ve simülasyonunun entegre edilmesi. Bina enerji tüketiminin azaltılması ve ekolojik çevrenin sürdürülebilir gelişiminin korunması perspektifinden, bu makale BIM teknolojisine dayalı yeşil binaların enerji tasarrufu sağlayan tasarım yöntemini incelemiştir. Bu makale, yeşil binaların tasarım ilkelerini ve tasarım kavramlarını sistematik olarak açıklamış ve yeşil binaların enerji tasarrufu sağlayan tasarımının genel şemasını vermiştir. Bu makale, yeşil binaların enerji tasarruflu tasarımını derinlemesine incelemiştir. dikkate alınması gereken yeşil binaların işaret unsurları-

Modelleme yazılımı seçimi, zarf enerji tasarrufu tasarımı ve aydınlatma enerji tasarrufu tasarımı yönlerinden ele alınmış ve BIM'e dayalı yeşil binaların enerji tasarrufu analiz yöntemini ortaya koymuştur. Ayrıca bu makale, enerji tasarrufu etkisi değerlendirme endeksi sisteminin tasarımı ve yeşil binaların enerji tasarrufu etkisi değerlendirme modeli açısından BIM'e dayalı yeşil binaların enerji tasarrufu etkisi değerlendirme yöntemini de ortaya koymuştur. Bir örnek, bu makalede önerilen enerji tasarrufu tasarım yönteminin yeşil binalar alanı için belirli bir yol gösterici öneme sahip olduğunu doğrulamıştır [18]. Bu makalede önerilen BIM teknolojisine dayalı yeşil binaların enerji tasarruflu tasarımı, sadece BIM teknolojisinin derinlemesine araştırılması için bir referans sağlamamakla kalmaz, aynı zamanda yeşil binalar alanındaki geniş uygulama için teknik destek sağlar.

Veri Kullanılabilirliği

Bu çalışmanın bulgularını desteklemek için kullanılan etiketli veri seti, talep üzerine ilgili yazardan temin edilebilir.

Çıkar Çatışmaları

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmişlerdir.

Teşekkür

Bu çalışma kısmen Hebei Çevre Mühendisliği Üniversitesi Projesi tarafından desteklenmiştir: "BIM Teknolojisine Dayalı Yeşil Bina Fonksiyon Değerlendirmesi Araştırması" (no. 2020RWQN03).

Referanslar

- [1] S. Azhar, "Building information modeling (BIM): trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry," *Leadership and Management in Engineering*, vol. 11, no. 3, pp. 241-252, 2011.
- [2] J. Zhang, X. Hu, Z. Ning ve diğerleri, "Energy-latency tradeoff for energy-aware offloading in mobile edge computing networks," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 4, pp. 2633-2645, 2018.
- [3] E. E. Sabelman ve R. Lam, "The real-life dangers of augmented reality," *IEEE Spectrum*, vol. 52, no. 7, pp. 48-53, 2015.
- [4] S. Azhar, W. A. Carlton, D. Olsen, and I. Ahmad, "Building information modeling for sustainable design and LEED rating analysis," *Automation in Construction*, vol. 20, no. 2, pp. 217-224, 2011.
- [5] P. Bynum, R. R. A. Issa ve S. Olbina, "Building information modeling in support of sustainable design and construction," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 139, no. 1, pp. 24-34, 2013.
- [6] Z. Ma, S. Cai, N. Mao, Q. Yang, J. Feng ve P. Wang, "Construction quality management based on a collaborative system using BIM and indoor positioning," *Automation in Construction*, vol. 92, pp. 35-45, 2018.
- [7] D. Castro-Lacouture, "Jorge A. Sefair, Laura Florez, Andres L. Medaglia. Leed tabanlı bir yeşil bina derecelendirme sistemi kullanarak malzeme seçimi için optimizasyon modeli," *Kolombiya. Yapı ve Çevre*, cilt 44, no. 6, pp. 156-167, 2009.
- [8] A. T. Joel, C. Drury, ve G. Susanne, "Çevresel performans araçlarının karşılaştırmalı değerlendirilmesi ve yeşil bina mücadelesinin rolü," *Building Research & Information*, vol. 29, no. 5, s. 324-335, 2010.
- [9] H. Abdurad, "Metric-based BIM implementation assessment: a review of research and practice," *Architectural Engineering and Design Management*, vol. 13, pp. 52-78, 2017.
- [10] Y. Deng, J. Li, Q. Wu, S. Pei, N. Xu ve G. Ni, "Using network theory to explore BIM application barriers for BIM sustainable development in China," *Sustainability*, vol. 12, no. 8, p. 3190, 2020.
- [11] W. He ve B. Zhou, "Yeşil bina işletme yönetiminin mevcut durumunun analizi ve karşı önlemler," *IOP Konferans Serisi: Earth and Environmental Science*, vol. 632, no. 5, p. 52105, 2021.
- [12] Z. Ning, X. Hu, Z. Chen ve diğerleri, "A cooperative quality-aware service access system for social Internet of vehicles," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 4, pp. 2506-2517, 2017.
- [13] E. Seinre, J. Kurnitski, and H. Voll, "Building sustainability objective assessment in Estonian context and a comparative evaluation with LEED and BREEAM," *Building and Environment*, vol. 82, no. 82, pp. 110-120, 2014.
- [14] J. Pinkse ve M. Dommisse, "Overcoming barriers to sustainability: an explanation of residential builders' reluctance to adopt clean technologies," *Business Strategy and the Environment*, vol. 18, no. 8, pp. 515-527, 2010.
- [15] C. Karkanias, S. N. Boemi, A. M. Papadopoulos, T. D. Tsoutsos ve A. Karagiannidis, "Energy efficiency in the Hellenic building sector: an evaluation of the restrictions and perspectives of the market," *Energy Policy*, vol. 38, no. 6, pp. 2776-2784, 2010.
- [16] U. Berardi, "Sustainable construction: green building design and delivery," *Intelligent Buildings International*, vol. 5, no. 1, pp. 65-66, 2013.
- [17] D. Bryde, M. Broquetas ve J. M. Volm, "The project benefits of building information modelling (BIM)," *International Journal of Project Management*, vol. 31, no. 7, pp. 971-980, 2013.
- [18] H. Abbasianjahromi, M. Ahangar, and F. Ghahremani, "A maturity assessment framework for applying BIM in consultant companies," *Ijst-T Civ. Eng.* vol. 431, pp. 637-649, 2019.
- [19] Z. Ahmad, M. J. Thaheem, and A. Maqsoom, "Building information modeling as a risk transformer: an evolutionary insight into the project uncertainty," *Automation in Construction*, vol. 92, pp. 103-119, 2018.
- [20] L. M. Khodeir, "Ashraf Ali Nessim. BIM2BEM entegre yaklaşımı: Mısır'daki mimarlık firmalarında bina oluşum modellemesi ve bina enerji modellerinin benimsenme durumunun incelenmesi," *Ain Shams Eng.* vol. 9, no. 4, pp. 1781-1790, 2018.