

Tüm yaşam döngüsü teorisine dayalı olarak yeşil binaların düşük karbonlu değerlendirilmesi üzerine araştırma

Farah Adilah Binti Jamaludin¹ - Jiabo Li¹

Alındı: 19 Haziran 2023 / Kabul edildi: 30 Ağustos 2023

Published online: 11 September 2023

© Yazar(lar) 2023

AÇIK

Özet

Şehirler, önemli ölçüde enerji tüketimi ve atık üretimi olan oldukça yoğun alanlardır. Bu nedenle, düşük enerji tüketimine ve azaltılmış kirletici emisyonlara sahip binalar geliştirmek, Çin'in karbon nötrlüğü, en yüksek karbon emisyonu ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşması için önemli bir yaklaşımdır. Bu bağlamda yeşil bina kavramı ve uygulaması ortaya çıkmıştır. Bu araştırma, binalardaki karbon emisyonlarının hesaplanması için ilgili göstergeleri entegre eden tüm yaşam döngüsü teorisinin tüm yaşam döngüsü değerlendirme yöntemine dayanmaktadır. Yeşil binaların düşük karbon seviyesinin çok boyutlu bir değerlendirmesini ve analizini yapmaktadır. Nicel analiz, tüm inşaat sürecinin beş aşamasına ve beş boyutuna dayalı olarak gerçekleştirilir. Yeşil binaların düşük karbon değerlendirmesi için kavramsal bir model oluşturulmuş ve projeleri sıralamak ve değerlendirmek için gri ilişkisel analiz ve analitik hiyerarşi süreci kullanılmıştır. Çalışma, yeşil binaların düşük karbon değerlendirmesindeki kilit faktörleri belirlemeyi amaçlamakta ve yeşil binaların tüm yaşam döngüsü boyunca gelecekteki düşük karbon yönetimi için odak ve önerileri tartışmaktadır.

Önemli Noktalar

- Yeşil binaları değerlendirmek için LCA teorisi ve karbon emisyon endeksi temel alınmıştır.
- Beş aşama ve boyuta dayalı olarak yeşil binalar üzerine nicel analiz.
- Dört yeşil bina örneği Ahp ve gri korelasyon yöntemi ile değerlendirilmiş ve sıralanmıştır.

Anahtar Kelimeler Tüm yaşam döngüsü teorisi - Yeşil binalar - Düşük karbonlu değerlendirme - Gri ilişkisel analiz - Analitik hiyerarşi süreci (AHP)

1 Giriş

Çin'in kentleşme düzeyinin sürekli olarak gelişmesiyle birlikte, inşaat sektörü kentsel altyapının geliştirilmesinde çok önemli bir rol oynamıştır. Bununla birlikte, giderek daha ciddi bir enerji tüketimi sorununu da beraberinde getirmiştir. Bu nedenle, kilit bir endüstri olarak

Enerji tasarrufu ve emisyonların azaltılması, Çin'deki inşaat sektörünün, özellikle Çin'in karbon emisyonlarının en üst düzeye çıkarılması ve karbon nötrlüğü hedefleri bağlamında, acilen kaynak tüketiminden kaynak tasarrufuna geçmesi gerekmektedir [1]. Düşük karbon konseptinin inşaat alanındaki uygulamalarından biri olan yeşil binalar, Çin'de gelişmektedir.

✉ Jiabo Li, 1002164116@ucsiuniversity.edu.my | ¹Mühendislik, Teknoloji ve Yapılı Çevre Fakültesi, UCSI Üniversitesi, 56000 Kuala Lumpur, CO, Malezya.



SN Uygulamalı Bilimler

(2023) 5:262

| <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05488-4>

SN Applied Sciences
A SPRINGER NATURE journal

inşaat sektöründe yirmi yılı aşkın bir süredir kullanılmaktadır [2]. Bu süre zarfında, ilgili tasarım standartları, değerlendirme sistemleri ve diğer hususlar oluşturulmuştur. Ancak, öncelikli olarak tasarım aşamasına odaklanılmıştır. Ayrıca, inşaat projelerinin uzun inşaat ve işletme süreleri nedeniyle, yeşil binaların kapsamlı yaşam döngüsü değerlendirmesinde hala önemli araştırma boşlukları bulunmaktadır. Bu boşluklar arasında tüm yaşam döngüsü boyunca yetersiz izleme ve değerlendirme, yeşil binalar için birleşik değerlendirme standartlarının eksikliği ve karbon emisyonları perspektifinden değerlendirme ve analiz eksikliği yer almaktadır [3].

Bu çalışma, tüm yaşam döngüsü değerlendirme perspektifini benimsemekte ve bina karbon emisyonları için ilgili göstergelere odaklanmaktadır. Yeşil binaların düşük karbon seviyesi için kavramsal bir model oluşturmakta ve çoklu boyutları entegre eden kapsamlı bir değerlendirme analizi yürütmektedir. Daha sonra, yeşil bina projelerini sıralamak ve değerlendirmek için gri ilişkisel analiz ve analitik hiyerarşi süreci (AHP) kullanılmaktadır. Mevcut yeşil bina değerlendirme yöntemleriyle karşılaştırmalı bir analiz yapılarak, yeşil binaların düşük karbonlu değerlendirmesi için yeni algı ve boyutların keşfedilmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada ayrıca gelecekteki yeşil bina inşaat süreçlerinde düşük karbonlu hususların vurgulanmasına yönelik stratejiler de tartışılmaktadır. Spesifik araştırma yolu Şekil 1'de gösterilmiştir:

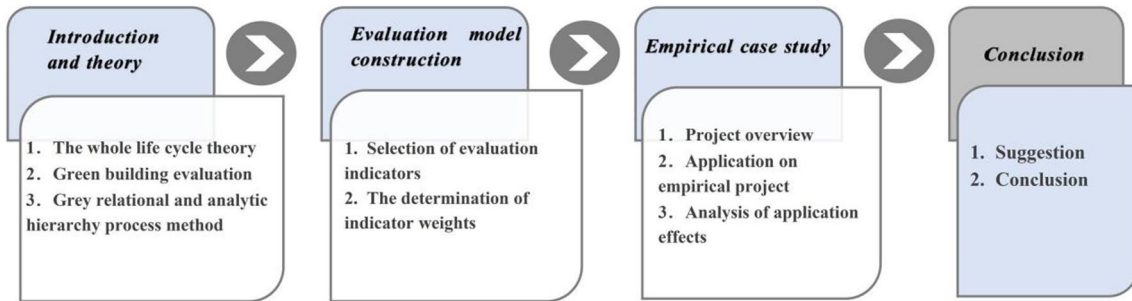
Bu çalışmanın yeniliği, sürece daha fazla önem vermesidir. Geleneksel yeşil bina değerlendirmeleriyle karşılaştırıldığında, bu çalışma yeşil binaların düşük karbon performansına birden fazla boyutta ve daha uzun bir zaman aralığında odaklanmaktadır. Ayrıca yeşil yönetim yöntemlerinin önemini de ortaya koymaktadır. Aynı zamanda, sürece vurgu yaparak ve tüm yaşam döngüsünün dinamik kontrolünü güçlendirerek, yeşil binaların düşük karbon performansı etkili bir şekilde geliştirilebilir, bu da bu çalışmanın önemini ortaya koymaktadır.

2 Teori ve yöntemler

2.1 Tüm yaşam döngüsü teorisi

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA), bir ürünün çevresel yükünü ve kaynak tüketimini niceliksel analiz yoluyla değerlendiren bir yöntemdir. Hammadde üretiminden bertarafına kadar bir ürünün tüm yaşam döngüsünü kapsar ve Tüm Yaşam Döngüsü Teorisinin uygulama alanlarından biridir [4]. LCA, sistemik prensipleri takip etmeli ve bir ürünün üretiminin başlangıcından nihai bertarafına kadar olan tüm süreci dikkate almalıdır. Zaman dilimi ve faktörlere ilişkin spesifik açıklamalar sunmalı, şeffaf ve standartlaştırılmış yöntemler benimsemelidir [5, 6]. LCA sadece bir ürünün yaşam döngüsü boyunca kaynak tüketimini ve çevresel etkilerini değerlendirmekle kalmaz, aynı zamanda mevcut ürünün çevresel etkilerinin nicel analizini de sağlar. Çin'deki LCA araştırmaları çeşitli sanayi ve inşaat ürünlerine uygulanmış ve bu alandaki değerlendirme ve araştırmalar için zengin bir teorik temel sağlamıştır.

Çin inşaat sektöründe yaşam döngüsü değerlendirmesine ilişkin araştırmalar öncelikle bina enerjisi ve CO2 emisyonları analizi perspektifinden yürütülmektedir [7]. Şu anda, LCA teorisine dayalı inşaat alanındaki ilgili çalışmalar iki türe ayrılabilir: ilk tür, yapı malzemeleri, yapı bileşenleri vb. dahil olmak üzere kısmi araştırmalara odaklanmaktadır. [8]. İkinci tür ise binalar üzerine bütünsel araştırmaları içermektedir [9]. Zheng Yanming ve Li Qiming gibi araştırmacılar, LCA'yı gayrimenkul geliştirme yönetimine uygulayarak, LCA teorisine dayalı olarak binaların inşaat ve geliştirme sürecinin potansiyel çevresel etkilerini analiz etmişlerdir. İnşaat projelerinde yeşil gelişimi kolaylaştıran bir yönetim modeli oluşturmuşlardır [10]. Jun W, LCA teorisine dayalı olarak "yaşam döngüsü odaklı yeşil bina tasarımı" stratejisini önermiştir,



Şekil 1 Araştırma yolu

LCA teorisini mimari tasarım sürecine uygularken göz önünde bulundurulması gereken hususları vurgulamaktadır [11]. Gong Zhiqi ve Zhang Zhihui de LCA teorisini çimentonun yaşam döngüsündeki fiziksel ve çevresel koşulları incelemek için kullanmışlardır [12, 13]. Yaşam döngüsü değerlendirmesinin nesnesi, somut bir maddi ürün, bir üretim süreci veya hatta maddi olmayan ürünleri temsil eden bir faaliyet olabilen bir ürün sistemidir [14].

1990'larda Uluslararası Çevre Toksikolojisi ve Kimyası Derneği (SETAC) tüm Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi üzerine ilk uluslararası semineri düzenledi ve Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) kavramını ilk kez ortaya attı. Ardından 1997 yılında Uluslararası Standardizasyon Örgütü, dünyanın gelişmiş çevre yönetimi deneyimini özetleyerek yaşam döngüsü değerlendirmesinin ilkelerini ve çerçevesini formüle etmiştir. Aynı zamanda Amerika Birleşik Devletleri, çevresel ve ekonomik açıdan dengeli yapı ürünlerinin rasyonel seçimi için sistematik bir analiz aracı sağlayan Build- ing for Environmental and Economic Sustainability (BEES) bilgisayar değerlendirme yazılım sistemini geliştirmiştir. İnşaat alanında, farklı ülkelerden uzmanlar ve akademisyenler de kapsamlı tartışmalar yürütmüştür. Örneğin, İspanya'dan Ignacio Zabalza Bribian binaların yaşam döngüsü değerlendirme yapısı üzerine basitleştirilmiş bir çalışma yürütmüştür [15] ve Yeni Zelanda'dan Daniel Kellenberger bina yaşam döngüsü boyunca ilgili bina bileşenleri üzerine derinlemesine araştırmalar yürütmüştür [16], Kanghee Lee

Güney Kore, bir inşaat projesi üzerinde bir yaşam döngüsü değerlendirmesi gerçekleştirmiştir [17].

Yaşam döngüsü teorisinin uygulamaları çeşitlilik göstermekte, sanayi sektöründen inşaat sektörüne kadar uzanmakta, değerlendirme sistemlerinin oluşturulması ve göstergelerin seçimi için örnek referanslar sağlamaktadır [18]. Literatür incelendiğinde, inşaat sektörünün yaşam döngüsü ile ilgili araştırmaların bina inşa sürecinin tamamını veya tasarım aşamasında yeşil kavramlara yapılan vurguyu içerdiği görülmektedir. Bununla birlikte, yeşil binaların yaşam döngüsü boyunca değerlendirilmesine ilişkin araştırma eksikliği devam etmektedir. Kapsamlı ve sistematik bir değerlendirme yöntemi olan LCA, sadece yeşil binaların niceliksel olarak değerlendirilmesine olanak sağlamakla kalmaz, aynı zamanda farklı bina çözümlerinin veya inşaat yöntemlerinin göreceli avantajları ve dezavantajları açısından karşılaştırılmasına da olanak tanır. Ayrıca yeşil binaların ekonomik yönlerini de analiz ederek çoklu perspektiflerden daha kapsamlı bir değerlendirme sağlayabilir [19, 20]. Yaşam döngüsü teorisine dayanan bu çalışma, bir binanın tüm yaşam döngüsünü beş aşamada tanımlamaktadır: inşaat öncesi hazırlık, tasarım, inşaat ve montaj, işletme ve bakım ve yıkım [21], Şekil 2'de gösterildiği gibi.

2.2 Yeşil bina değerlendirmesi

1990'lardan bu yana, dünyanın dört bir yanındaki ülkeler çeşitli türlerde yeşil bina değerlendirme sistemleri geliştirmiştir,



Şekil 2 Yaşam döngüsü teorisine dayalı değerlendirme boyutları

yeşil binaların uygulanmasına ve ilerlemesine önemli katkılarda bulunmaktadır [22-25]. Örnekler arasında Birleşik Krallık'taki BREEAM değerlendirme sistemi, ABD'deki LEED yeşil bina derecelendirme sistemi, Japonya'daki CASBEE kapsamlı çevresel performans değerlendirme sistemi, Avustralya'daki NABERS bina çevresel derecelendirme sistemi, Norveç'teki EcoProfile, Fransa'daki ESCALE [26] ve diğerleri yer almaktadır. Çin'deki temsili yeşil bina değerlendirme sistemlerinden biri, Japonya'nın CASBEE (Japon kapsamlı çevresel performans değerlendirme sistemi) standartlarına dayanan Yeşil Olimpik Bina Değerlendirme Sistemidir. Bu sistem, tüm süreç izleme ve aşamalı değerlendirmenin yol gösterici ilkelerini takip etmekte ve karar verme, tasarım, inşaat, kabul ve işletme yönetimi aşamaları için bir değerlendirme endeksi sistemi oluşturmaktadır. Yeşil bina değerlendirme sistemlerinin bu zengin temellerine dayanarak, araştırmacılar farklı yeşil bina değerlendirme kriterleri kullanarak LCA teorisine dayalı bina enerji tüketimi analizi ve değerlendirme yöntemleri üzerine çalışmalar yürütmüşlerdir [27-29].

Yeşil bina kavramı ve ilgili değerlendirme sistemleri Çin'de nispeten yeni olmasına rağmen, ülkedeki yeşil binaların gelişimi için teorik temel teşkil etmektedir. Teorik sistemdeki sürekli gelişmeler ve zenginleştirilmiş pratik araştırmalarla Çin, farklı bölgelerde birbiriyle ilişkili yeşil bina değerlendirme standartları oluşturmuş ve bu da bölgesel farklılıklara yol açmıştır. Halen, düşük karbonlu binaların kapsamlı değerlendirmesinin temel ilkeleri ve düşük karbonlu bina değerlendirme sistemlerinin çoklu perspektiflerden geliştirilmesi konusunda akademik camiada sistematik bir araştırma eksikliği bulunmaktadır.

2.3 Gri ilişkisel analiz-hiyerarşik analiz

yöntem

1982 yılında Profesör Deng Julong, o zamandan beri çeşitli endüstrilerde yaygın olarak uygulanan Gri Sistem Teorisini önermiştir [30]. Bu teori sadece mühendislik kontrolü ve tarımsal sistemlerde geniş uygulama alanı bulmakla kalmamış, aynı zamanda önemli araştırma yöntemleri de sağlamıştır.

Yönetim ve tahmin gibi disiplinler için [31]. Gri Sistem Teorisi günümüze kadar geliştikçe

gün, çok sayıda uygulama başarısı elde etmiş ve Gri Korelasyon Analizi gibi belirli bileşenleri de içeren nispeten eksiksiz bir bilimsel sistem oluşturmıştır,

Gri Küme Değerlendirmesi, Gri Sistem Tahmin Modelleri ve daha fazlası [32, 33].

Gri sistem teorisinde gri rengin temsili, kontrol teorisindeki farklı bilgi netliği seviyelerine dayanmaktadır. Örneğin, "siyah" tamamen eksik veya bilinmeyen bilgiyi, "beyaz" tamamen bilinen bilgiyi temsil eder ve "gri" eksik veya belirsiz bilgiyi gösteren ikisinin arasında yer alır. Buna dayanarak, bu üç renk üç tür sisteme karşılık gelir: siyah sistem, gri sistem ve beyaz sistem. Genel olarak, uğraştığımız bilgiler çoğunlukla eksiktir, bu nedenle gri verileri nicelleştirmek ve beyaz verilere dönüştürmek için matematiksel yöntemler kullanırız. Bu işlem veri beyazlatma olarak bilinir [34].

2.3.1 Gri korelasyon derecesi

Gri korelasyon analizi, gri sistem teorisinin temel bileşenlerinden biridir. Avantajı, örneklem büyüklüğü için daha az katı gerekliliği ve örneklerde tipik dağılım kalıpları olup olmadığını önceden analiz etme ihtiyacının olmamasıdır. Makul hesaplama karmaşıklığı nedeniyle bulanık teori sistemindeki ana akım yöntemlerden biridir [35]. Gri korelasyon analizi, gri korelasyon katsayılarının büyüklüğüne dayalı olarak karşılaştırmalı diziler ile optimal diziler arasındaki benzerlik derecesini ölçer. Daha yüksek bir gri korelasyon katsayısı, optimum diziye daha yakın olduğunu gösterir. Bu çalışmada, tüm yaşam döngüsü teorisine dayalı olarak, yeşil binaların düşük karbonlu değerlendirmesinde gri korelasyon analizi yapmak için özel adımlar aşağıdaki gibidir:

1) Gri korelasyon derecesi için veri sütununu türetin. Değerlendirme sisteminin m örnek öğeye ve her deney planının n optimizasyon göstergesine sahip olduğu varsayıldığında, değerlendirme göstergelerini temsil eden matris formül 1 olarak ifade edilebilir:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{pmatrix} \quad (1)$$

İdeal çözümün referans dizisini oluşturmak için her bir değerlendirme göstergesinin maksimum değerlerini seçin (formül 2 gibi):

$$X_{(0)}(k) = X_{(0)}(1), X_{(0)}(2), \dots, X_{(0)}(n) \quad (2)$$

Kalan değerler karşılaştırmalı diziyi oluşturur (formül 3 gibi):

$$X_{(i)(k)} = X_1, X_2, \dots, X_m = \begin{pmatrix} x_{(1)(1)} & x_{(2)(1)} & \dots & x_{(m)(1)} \\ x_{(1)(2)} & x_{(2)(2)} & \dots & x_{(m)(2)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{(1)(n)} & x_{(2)(n)} & \dots & x_{(m)(n)} \end{pmatrix} \quad (3)$$

2) Veri normalizasyonu. Veri farklılıklarından kaynaklanan hesaplamalardaki yanlışlıkları önlemek için, orijinal veriler önce nor-

malizasyon yapılarak normalize edilmiş göstergeleri elde etmek için formül 4 kullanılarak malize edilmiştir (formül 4 gibi):

$$x_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij} - \min_j(x_j)}{\max_j(x_j) - \min_j(x_j)} & (+) \\ \frac{\max_j(x_j) - x_{ij}}{\max_j(x_j) - \min_j(x_j)} & (-) \end{cases} \quad (4)$$

3) Korelasyon katsayısını hesaplayın. Korelasyon k-inci referans dizisi ile karşılaştırmalı dizi arasındaki katsayı ((_{(0)(i)} (k)) formül 5 kullanılarak hesaplanır:

$$r_{(i)(k)} = \frac{\Delta_{\min} + (\Delta_{\max} - \Delta_{(i)(k)})}{\Delta_{\max} + (\Delta_{\min} - \Delta_{(i)(k)})} \quad (5)$$

Formülde (, tipik olarak 0,1 ile 0,5 arasında seçilen çözünürlük katsayısını temsil eder. Daha küçük bir değer, korelasyon katsayıları arasında daha büyük bir farklılaşmayı yansıtır. Bu çalışmada, ilgili literatüre başvurulduktan sonra (= 0.5 değeri seçilmiştir [36, 37]. $\Delta_{\min}$ X_0 ve X_i arasındaki minimum mutlak farkı, $\Delta_{\max}$ X_0 ve X_i arasındaki maksimum mutlak farkı ve $\Delta_{(i)(k)}$ X_0 ve X_i arasındaki mutlak farkı gösterir. $\Delta_{\min}$, $\Delta_{\max}$ ve $\Delta_{(i)(k)}$ sırasıyla formül 6, 7 ve 8 kullanılarak hesaplanır.

$$\Delta_{\min} = \min_i \min_k |X_{(0)(k)} - X_{(i)(k)}| \quad (6)$$

$$\Delta_{\max} = \max_i \max_k |X_{(0)(k)} - X_{(i)(k)}| \quad (7)$$

$$\Delta_{(i)(k)} = |X_{(0)(k)} - X_{(i)(k)}| \quad (8)$$

4) Korelasyon derecesini hesaplayın. Her optimizasyon göstergesinin sistem üzerinde farklı bir etkisi vardır. Korelasyon katsayılarının ağırlıklı ortalaması formül 9 kullanılarak hesaplanır.

$$r_{oi} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \omega_k r_{(i)(k)} \quad (9)$$

Formül 9'da, ω_k 'nci ağırlığını temsil etmektedir.

göstergesi, AHP yöntemi kullanılarak belirlenir.

Gri korelasyon analizi, faktörler arasındaki korelasyona dayalı olarak verilerin gelişimini eğilimini analiz edebilir. Az sayıda örneklem ile ve verilerin tipik dağılım yasasını yansıtmaması gerektirmez. Yüksek veri gereksinimi olan diğer faktör analizi yöntemleriyle karşılaştırıldığında, bu makalenin araştırması için daha uygundur.

2.3.2 AHP yöntemi

AHP yöntemi, sistematik bir analiz yöntemidir.

Amerikalı operasyon araştırmacısı T.L. Saaty tarafından

1970s [38]. Çok seviyeli bir hiyerarşik yapı oluşturmayı, çeşitli göstergelerin uzman değerlendirmelerini birleştirmeyi, her bir gösterge çiftinin göreceli önemine dayalı ikili karşılaştırma matrisleri oluşturmayı ve her bir gösterge seviyesinin ağırlıklarını hesaplamayı içerir [39]. Belirli adımlar aşağıdaki gibidir:

(1) Hedef seviyesi, kriter seviyesi ve alternatif seviyesi formatını takip eden bir hiyerarşik yapı modeli oluşturun. Bu yapıda, her düzeydeki faktörler bir üst düzeydeki faktörlere bağlıdır ve aynı zamanda bir alt düzeydeki faktörleri belirler.

(2) Karar matrisleri oluşturun. Yargı matrisi

$Bir = (a_{ij})_{(n) \times (n)}$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$) temel alınarak oluşturulmuştur.

Uzmanlar tarafından belirlenen 1'den 9'a kadar bir ölçek kullanılarak önem derecesi (formül 10 olarak) (Tablo 1). Bu uzman puanlama yöntemiyle hesaplanmıştır.

Tablo 1 1-9 Değerlendirme ölçeği ve anlamı

Ölçek	Tanım	Anlamı
1	Aynı derecede önemli	Eşit derecede önemli iki unsurun karşılaştırılması
3	Biraz önemli	İki unsur karşılaştırıldığında, bir unsur diğerinden biraz daha önemlidir
5	Önemli ölçüde önemli	İki unsur karşılaştırıldığında, bir unsur diğerinden önemli ölçüde daha önemlidir
7	Son derece önemli	İki unsurun karşılaştırılması, bir unsurun diğerinden çok daha önemli olması
9	Son derece önemli	İki unsur karşılaştırıldığında, bir unsur diğerinden çok daha önemlidir
	Yukarıda belirtilen iki bitişik yargı arasındaki ara değer	

$$A = (a_{ij})_{(n) \times n} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (10)$$

- (3) Matris ağırlıklarını hesaplayın. $A = (a_{ij})_{n \times n}$ matrisinin her bir sütun vektörünü formül 11'de gösterildiği gibi normalleştirin:

$$\omega_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (11)$$

Formül 12'de gösterildiği gibi ω_j satırlarını toplayın:

$$\omega_j = \sum_{i=1}^n \omega_{ij} \quad (12)$$

Her bir elemanı aşağıdaki gibi toplama bölerek $\omega_{(j)}$ yi normalleştirin

formül 13'te gösterilmiştir:

$$\omega_i = \frac{\omega_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \quad (13)$$

$\omega = \omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ öz vektörünü elde edin. Hesaplamak maksimum özdeğer $\lambda_{\max}$ Karar matrisinin $\beta_{\max}$

formül 14'ü kullanarak:

$$\beta_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n (A\omega)_i}{n\omega_i} \quad (14)$$

Bu formülde 14, $\beta_{\max}$ öz değerine karşılık gelen normalize edilmiş öz vektörü temsil eder. ω_i önem sırasına göre her bir elemanın ağırlık değerlerini temsil eder.

4) Tutarlılık kontrolü. Her bir ikili yargı matrisi için karşılık gelen özvektörü hesaplayarak ve tutarlılık standartları ile tutarlılık oranlarını kullanarak bir tutarlılık kontrolü gerçekleştirin. Tutarlılık endeksi C.I. formül 15 ile belirlenir:

$$C.I. = \frac{\beta_{\max} - n}{n - 1} \quad (15)$$

Tutarlılık oranı C.R. formül 16 ile belirlenir. Daha yüksek bir C.I. değeri matrisin tutarlılığının daha zayıf olduğunu gösterir. Matris tutarlılık testinde başarısız olursa, ayarlanması ve yeniden kontrol edilmesi gerekir. Formülde R.I. rastgele indeksi temsil etmektedir ve Tablo 2'de bulunabilir. Tutarlılık oranı $C.R. < 0$. sağlandığında, matris geçer

tutarlılık testi. Eğer kriteri karşılamıyorsa

matrisin tutarlılık testinde başarısız olduğu ve geçene kadar ayarlanmalıdır. Karar matrisi olduğunda mertebesi 3'ten küçükse, mükemmel tutarlılığa sahip olduğu kabul edilir-

ency, yani hem de C.I. hem de C.R. 0'dır.

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad (16)$$

Analitik hiyerarşi sürecinin özelliği, karar vericiler için karar verme sürecini sistematik bir şekilde modelleyebilmesidir. Nitel göstergeler matematiksel hesaplamadan sonra nicel göstergelere dönüşür ve

analiz fikirleri daha net ve daha mantıklıdır. İkinci olarak, yöntem analizde çok fazla nicel veri gerektirmez, ancak nitel faktörler arasındaki ilişkinin tamamen açık ve spesifik olmasını gerektirir. Bu yöntem özellikle analiz, araştırma ve karar verme süreçleri için uygundur.

Karmaşık problemlerin çözümünde çok kriterli ve çok amaçlı karar verme süreçlerinin bilimsel analizini yapabilir.

yapma problemleri. Bu nedenle, AHP yöntemi bu makaledeki ağırlığı belirlemek için bilimsel ve uygulanabilir.

3 Düşük karbonlu bir değerlendirmenin oluşturulması temelli yeşil binalar için model

yaşam döngüsü teorisi üzerine

3.1 Değerlendirme göstergelerinin seçimi

3.1.1 Yeşil binaların yaşam döngüsü için göstergelerin seçilmesine yönelik ilkeler

- (1) Bilimsel titizlik ilkesi

Yeşil binaların değerlendirilmesine yönelik bir gösterge sisteminin oluşturulmasında bilimsel titizlik temel ilkedir. Değerlendirme süreci, mevcut durum ve literatür taraması dikkate alınarak bilimsel yöntemlere dayandırılmalıdır. Göstergelerin bilimsel ve güvenilir niteliğini garanti altına almak için göstergelerin özgünlüğünü ve güvenilirliğini sağlamak önemlidir. araştırma bulguları.

- (2) Veri erişilebilirliği ilkesi

Değerlendirme çalışması, nicel ve nitel araştırma yöntemlerinin bir kombinasyonunu içerir. Verilerin erişilebilirliği göz önünde bulundurulduğunda, bazı göstergeler ilgili dokümanlardan ve parametrelerden elde edilebilirken, diğerleri fiili duruma dayalı olarak ilgili personel tarafından bilimsel puanlama gerektirebilir. Bu nedenle, göstergeler belirlenirken aşağıdakilerin yapılması önemlidir

Tablo 2 Rastgele tutarlılık göstergelerinin ortalama standart değerleri

Matris sırası n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R.I.	0	0	0.52	0.89	1.12	1.36	1.41	1.46	1.49	1.52

Sonuçların tarafsızlığını sağlamak için veri kaynaklarını veya puanlama kriterlerini belirtiniz.

(3) 3) Yaşam döngüsü değerlendirme ilkesi

Yaşam döngüsü ilkesi, gösterge seçim süreci boyunca çok önemlidir. Şu anda, değerlendirme sistemleri öncelikle binaların tasarım ve işletme aşamalarına odaklanmaktadır. Ancak, bir binanın yaşam döngüsünün her aşaması düşük karbon performansı düzeyini etkiler. Bu nedenle, değerlendirme göstergelerini seçerken, tüm yaşam döngüsü perspektifini göz önünde bulundurmak ve tüm aşamaları değerlendirme ve analiz çalışmalarına dahil etmek önemlidir.

3.1.2 Yeşil binaların yaşam döngüsü düşük karbon analizi

(1) Hazırlık aşaması

Proje öncesi aşamada, kaynak tahsisinin optimizasyonu yeşil binaların tüm yaşam döngüsündeki karbon emisyonları üzerinde bir etkiye sahiptir. Arazi kaynak planlaması ve yeşil yönetim önlemlerinin formülasyonu gibi faktörler, yeşil binaların yaşam döngüleri boyunca düşük karbon performansını etkileyebilir. Bu nedenle, hazırlık aşamasında, verimlilik standartları ve teknolojik emisyon azaltımına odaklanılarak bu alanlarda optimizasyon yapılmalıdır [40].

(2) Tasarım aşaması

Düşük karbonlu tasarım, birden fazla disiplinin ve paydaşın işbirliğini gerektirir. Tasarımın ilk aşamalarında mimarlar, düşük karbon hedeflerine ilişkin etkili bir fikir birliği ve hedef belirleme sağlamak için müşteriler ve çeşitli profesyonellerle kapsamlı bir iletişim kurmalıdır. Ön tasarım sürecinde, yapı, HVAC (ısıtma, havalandırma ve hava koşullandırma), sıhhi tesisat, elektrik ve iç tasarım gibi disiplinlerin entegrasyonu esastır. Her disiplin, karbon azaltma tekniklerinin kapsamlı iletilmesine ve ölçülebilir tahminine katılmalıdır. Örnekler arasında bina kabuğunun ısı yalıtım performansının iyileştirilmesi, kapı ve pencerelerin hava sızdırmazlığının artırılması, iç tasarımda doğal aydınlatma ve renk kullanımının vurgulanması, enerji tasarruflu aydınlatma armatürlerinin uygulanması ve uygun aydınlatma tasarımının uygulanması, akıllı kontrollere sahip enerji tasarruflu elektrikli cihazların kullanılması, doğal havalandırma gibi pasif tasarım stratejilerine odaklanması, radyan soğutma ve güneş enerjili su ısıtma gibi yenilikçi teknolojilerin keşfedilmesi ve karbon tutma ve emisyon azaltma yeniliklerini içeren yeşil bina malzemelerinin aktif olarak benimsenmesi yer almaktadır.

(3) İnşaat aşaması

Tang ve arkadaşlarına göre, yönetim uygulamalarının inşaat aşamasındaki karbon emisyonları üzerinde önemli bir etkisi vardır. Uygun yönetim stratejileri seçilerek, Tang ve meslektaşlarının önerdiği gibi, proje maliyetlerini artırmadan veya proje programlarını geciktirmeden sera gazı emisyonlarını azaltmak mümkündür [41]. Qin ve arkadaşları, düşük karbonlu inşaatın malzeme ve ekipman seçimi, inşaat nakliyesi, saha düzenlemesi, inşaat süreçleri ve inşaat yönetimi dahil olmak üzere çeşitli yönlerini önermiştir [42]. Bu hususlar arasında malzeme seçimi, özellikle çeşitli yapı malzemesi kategorilerini içeren dekoratif ve son kat inşaatlar için kritik bir kontrol noktasıdır. Uygulamada, yeşil bina malzemelerine öncelik verirken ve malzemeler için yerel veya kısa mesafeli taşımacılıktan yararlanırken tasarım gereksinimlerini karşılayabilecek malzeme tedarikçilerini seçmek önemlidir. Bu yaklaşım, malzemelerle ilişkili doğrudan ve dolaylı karbondioksit emisyonlarının azaltılmasını en üst düzeye çıkararak tasarım etkinliği ile düşük karbon hedefleri arasında bir denge sağlar. Ayrıca, inşaat sırasında malzeme israfını en aza indirmek ve inşaat tekniklerini ve süreçlerini sürekli olarak araştırmak ve iyileştirmek esastır.

(4) İşletme ve bakım aşaması

Bir binanın işletme aşamasındaki karbon emisyonları öncelikle çeşitli bina sistemleri tarafından üretilen doğrudan veya dolaylı emisyonlardan kaynaklanır. Tasarım ve inşaat aşamalarıyla karşılaştırıldığında, işletme aşaması daha uzun bir gözlem süresine sahiptir ve bu da onu karbon emisyonları açısından bir binanın tüm yaşam döngüsündeki en kritik aşama haline getirmektedir [43]. Araştırmalar, işletme aşamasındaki karbon emisyonlarının toplam emisyonların önemli bir bölümünü oluşturabileceğini göstermiştir. Bu emisyonların %40'ı HVAC (ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme) sistemleri, aydınlatma ve asansör sistemleri gibi elektrik tüketimiyle ilgilidir. Tasarım aşaması işletme ve bakım için temel oluştursa da, bina ürünlerinin ve ekipmanlarının kullanımının optimize edilmesi uzun bir süre boyunca karbon emisyonlarını büyük ölçüde azaltabilir. Bu nedenle, işletme ve bakım yönetimine ve personel yapısına öncelik vermek önemlidir. Kapsamlı yönetim ve eğitim sistemlerinin kurulması, hiyerarşik sorumlulukların uygulanması ve operasyonel verilerin hızlı ve doğru bir şekilde kaydedilmesi çok önemlidir. Daha sonra, binanın tüm yaşam döngüsü boyunca düşük karbon azaltımını mümkün kılmak için veri analizi ve yönetim yinelemesine önem verilmelidir.

(5) Yıkım aşaması

Çin'de yeşil bina değerlendirmelerinin nispeten kısa sürmesi nedeniyle, ilgili örnek gözlem dönemi henüz tamamlanmamıştır. Bu nedenle, binaların yıkım aşaması için sınırlı karbon izleme verisi mevcuttur [44]. Ancak mevcut araştırmalar, yıkım ve temizlik aşamasındaki karbon emisyonlarının öncelikle yıkım sürecinde enerji tüketen büyük inşaat araçlarının kullanımından kaynaklandığını göstermektedir. Ayrıca, yıkım tamamlandıktan sonra enkaz ve yapı malzemelerinin taşınması sırasında da emisyonlar ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, bina atıklarının yakılması da karbon emisyonlarına katkıda bulunabilir.

3.1.3 Yeşil bina değerlendirme boyutlarının analizi

Çin'deki yeşil binalar için ilgili standartlara göre, yeşil binaların mevcut değerlendirmesi temel olarak beş boyuta odaklanmaktadır: kaynak kullanımı, çevre koruma, konfor ve yaşanabilirlik, düşük karbonlu eko- nomik faydalar ve bina sürdürülebilirliği. Bu beş boyut içindeki spesifik değerlendirme içeriği şunları içerir:

(1) Kaynak kullanımı

Geri dönüştürülebilir malzeme kullanımı: İnşaat standartlarını karşılayan geri dönüştürülmüş atıklardan işlenmiş yapı malzemelerinin kullanımını ifade eder. Malzeme tüketiminde geri dönüştürülebilir malzemelerin oranının artırılması sadece atıkları azaltmak ve çevre dostu olmakla kalmaz, aynı zamanda yapı malzemesi tüketiminde de tasarruf sağlar [45, 46].

Ana yapı malzemelerinin nakliye mesafesi: Kaynak tahsisini optimize etmeye dayalı olarak, yüksek maliyet oranına sahip büyük miktarlardaki ana malzemeler için, nakliye sırasında kirliliği ve karbon emisyonlarını azaltmak ve nakliye maliyetlerini düşürmek için tedarikçileri uygun şekilde seçmek önemlidir.

Yeniden kullanılan malzeme devir hızı: Yeniden kullanılan malzemeler, basit işlemlerden ve denetimlerden geçtikleri sürece karmaşık süreçlerden geçmeden yeniden kullanılabilir. Geri dönüştürülebilir malzemelerin devir hızı, binanın çevresel ve karbon azaltma performansının yanı sıra süreçteki maliyet etkinliğini gösterir ve binanın yıkım aşamasında üretilen değeri yansıtır.

İnşaat sahası düzeni: İnşaat aşamasında, inşaat sahasının uygun şekilde düzenlenmesi, yeşil bina projelerinin düşük karbon emisyonları üzerinde olumlu bir etkiye sahip olabilir. Binaların yaşam döngüsü boyunca önemli bir rol oynar ve arazi kaynaklarının korunması, rasyonel yerleşim, kayıp ve atıkların azaltılması hedeflerini yansıtır [47].

Su tasarrufu önlemlerinin değerlendirilmesi: Su tasarrufu önlemleri, tasarım aşamasında su tasarrufu yollarına ve ekipman seçimine yapılan vurgu, inşaat aşamasında alınan çeşitli su tasarrufu önlemleri ve bina işletimi ve bakımı sırasında su tasarrufu uygulamaları dahil olmak üzere yaşam döngüsü perspektifinden analiz edilir.

(2) Çevre koruma

Yeşil Yönetim Sisteminin Uygulanması: İnşaat yaşam döngüsünün her aşaması için ilgili yeşil yönetim sistemlerinin geliştirilmesi, yeşil binaların başarılı bir şekilde uygulanması için önemli bir garantidir ve süreç boyunca karbon emisyonları için bilimsel yönetim çözümleri sağlar [48].

Toz kontrolü: İnşaat faaliyetlerinin çevredeki ortam üzerinde etkisi olabilir ve toz kirliliği kentsel hava kirliliğine önemli bir katkıda bulunur. Bu nedenle, yeşil binaların değerlendirilmesinde bina tozunun artırılmasına dikkat edilmelidir.

Doğal kaynakların kullanımı: Yeni inşaat, yenileme ve genişletme projelerinde, zemin altındaki yapılar ve mevcut bitki örtüsü inşaat faaliyetlerinden etkilenebilir. Bu nedenle, mimari tasarım aşamasında, mevcut kaynaklara verilen zarar en aza indirmek için doğal kaynakların kullanımı göz önünde bulundurulmalıdır.

(3) Konforlu ve yaşanabilir bir ortam

Yeşil alan oranı: Çin'in mevcut yeşil bina değerlendirme standartlarına atıfta bulunan faktör.

Doğal havalandırmadan yararlanma: Tasarım aşamasında, bina ve doğa arasındaki uyumu en üst düzeye çıkarmak için bina yönelimi, yerleşim düzeni ve pencere alanı gibi parametrelerin dikkate alınması önemlidir. Doğal havalandırma da dahil olmak üzere doğal kaynakları etkin bir şekilde kullanarak, binanın kullanım aşamasında enerji tüketimini azaltmak mümkündür.

Binaların gün ışığı seviyesi: Bu faktör temel olarak tasarım aşamasında doğal ışık kullanımına ve binanın işletimi sırasında yüksek verimli ve enerji tasarruflu aydınlatma kaynaklarının kullanımına odaklanmaktadır.

(4) Düşük karbonlu ekonomik faydalar

İşletme sırasında karbon emisyonu azaltım oranı: Binaların yaşam döngüsü boyunca karbon emisyonları üzerine yapılan araştırmalar, operasyonel karbon emisyonlarının %35'ten fazla olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, işletme aşamasında karbon emisyonlarının azaltılması, binaların genel düşük karbon performansının değerlendirilmesi için çok önemlidir ve emisyonların azaltılması için önemli bir potansiyel sunmaktadır.

Yeşil teknoloji önlemlerinin artan faydaları: Ekonomik faydalar, çevresel faydalar ve sosyal faydalar dahil.

(5) Bina sürdürülebilirliği

Binaların akıllı işletimi ve bakımı: Yaygın akıllı işletme önlemleri arasında enerji yönetim sistemleri, hava kalitesi izleme sistemleri, su kalitesi izleme sistemleri ve akıllı şehir hizmetleri ile entegrasyon yer almaktadır.

Yenilenebilir enerji kullanım oranı: Geleneksel enerji yerine rüzgar ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerjinin kullanım oranını ifade eder.

Bina uyarlanabilirliği: Binaların daha sonraki bakım aşamalarında uyarlanabilirliği mimari tasarımda göz önünde bulundurulmalıdır. Bu, yenileme, genişletme veya alan kullanımının verimliliğini artırır. Sıradan binalarla karşılaştırıldığında, uyarlanabilir binalar işlevsel kullanımdaki değişiklikleri karşılamak için daha donanımlıdır [49, [50].

3.2 Değerlendirme modelinin oluşturulması

3.2.1 Gösterge sisteminin oluşturulması

Yukarıdaki boyutların analizine dayanarak ve ilgili göstergelerle birlikte, Tablo 3'te gösterildiği gibi kapsamlı bir yaşam döngüsü yeşil bina düşük karbon değerlendirme sistemi oluşturulmuştur.

3.2.2 Gösterge ağırlıklarının belirlenmesi

Yukarıda açıklanan oluşturulmuş değerlendirme gösterge sistemine dayanarak, birinci seviye gösterge setinin $X = X_i, i = 1, 2, \dots, m$ olarak gösterildiğini ve X_i göstergesinin ağırlıklarının $\omega_i, i = 1, 2, \dots, m$ olarak tanımlandığını varsayalım. İkinci seviye gösterge seti $X_{(ij)} = X_{(ij)1}, X_{(ij)2}, \dots, X_{(ij)j}$ olarak tanımlanır ve farklı göstergeler için ağırlıklar ω_{ij} olarak tanımlanır.

Bu makalede oluşturulan yeşil bina düşük karbon değerlendirme modeli, birinci ve ikinci seviyedeki göstergeler için hiyerarşik bir ağırlık sistemi oluşturmak üzere uzman anketleri aracılığıyla AHP yöntemini benimsemektedir. Değerlendirme sistemindeki her bir gösterge için tüm ağırlık dağılımı, iki seviyenin ağırlıklarının çarpılmasıyla elde edilir. Ağırlık dağılımına ilişkin spesifik hesaplama sonuçları Tablo 4'te gösterilmektedir.

4 Ampirik vaka çalışması

4.1 Projeye genel bakış

Yukarıdaki değerlendirme göstergelerinin yeşil binaların düşük karbon değerlendirmesinde uygulanabilirliğini daha fazla doğrulamak için, karşılaştırmalı test için proje örnek verilerinin toplanması gerekmektedir. Örnekler bilimsellik ve tutarlılık ilkelerine göre seçilmiştir. Bilimsellik, makul bir örneklem büyüklüğünün seçilmesi ve nesnel ve kapsamlı verilerin toplanması anlamına gelirken, tutarlılık, örneklemelerin zaman boyutunda ve nesnel koşullarında tutarlılığın korunması anlamına gelmektedir.

Verilerin mevcudiyeti, yeşil bina değerlendirmesinin zaman boyutundaki istikrarı ve Çin'in farklı bölgelerindeki yeşil bina değerlendirme standartları göz önüne alındığında, bu makale araştırma yapmak için esas olarak temsili ticari bina vakalarını seçmekte ve ayrıca Doğu Çin ile Güney Çin arasındaki farklılıkları ve bağlantıları dikkate almaktadır. Guangdong eyaletinin Guangzhou şehrinde, Guangdong eyaletinin Shenzhen şehrinde ve Zhejiang eyaletinin Hangzhou şehrinde dört temsili ticari bina projesi seçilmiştir.

Bu çalışmada, dört farklı yeşil bina projesinden yukarıdaki göstergeler hakkında veri toplamak için uzman puanlama yöntemi kullanılmıştır. Her bir değerlendirme göstergesinin tatmin düzeyine bağlı olarak dört seviye belirlenmiştir: Mükemmel, İyi, Orta ve Zayıf. İlgili puanlar Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 6, bu çalışmada yeşil bina değerlendirmesi için dört tipik projenin temel profillerini sunmaktadır.

4.2 Tüm yaşam döngüsü teorisine dayalı yeşil bina düşük karbon değerlendirmesi uygulaması

Tüm yaşam döngüsü teorisine dayalı yeşil bina düşük karbon değerlendirmesi toplam 16 gösterge içermektedir. Önceki bölümde sıralanan dört proje için bu göstergelerin puanlanmasına dayanarak, gri ilişkisel analiz yöntemi kullanılarak 16×4 gösterge matrisi X oluşturulmuştur. Referans dizisi, her bir değerlendirme göstergesinin maksimum değerleri kullanılarak oluşturulmuştur. X' matrisini elde etmek için orijinal veriler normalize edilir. Formül 4'e göre, referans dizisi ile karşılaştırma dizisi arasındaki korelasyon katsayısı matrisi X'' olarak hesaplanır.

Tablo 3 Yeşil binaların yaşam döngüsü düşük karbon değerlendirme modeli için gösterge sistemi

Boyut Yok	İçerik	Gösterge	Veri
1	Kaynak kullanımı	Eşler de dahil olmak üzere çeşitli kaynak kullanımı sanayi cirosu, makine ve arazi kaynak tahsisi	Geri dönüştürülmüş yapı malzemelerinin kullanım oranı Puan, aşağıdaki oranlara göre belirlenir Geri dönüştürülmüş yapı malzemesi miktarının toplam yapı malzemesi miktarına oranı
2		Başlıca yapı malzemelerinin nakliye mesafesi	Puan, 500 km'lik bir taşıma mesafesi içindeki yapı malzemelerinin ağırlığının toplam yapı malzemesi ağırlığına oranına göre belirlenir
3		Geri dönüştürülebilir malzemelerin devir hızı	Puan, geri dönüştürülebilir malzemelerin devir hızının ortalama hızına göre belirlenir
4		Şantiye yerleşiminin değerlendirilmesi	Puan, BIM şantiye yerleşim yazılımından alınan derecelendirmeye göre hesaplanır
5		Su tasarrufu önlemlerinin değerlendirilmesi	Puan, inşaat yaşam döngüsünün her aşamasında su tasarrufu önlemlerinin uygulanıp uygulanmadığına göre hesaplanır
6	Çevre koruma	Çevreye verilen önemin derecesini içerir z i h i n s e l koruma ve benimsenen yönetimsel ve teknolojik önlemler	Yeşil yönetim sistemlerinin uygulanması Puan, yeşil yönetim sistemlerinin uygulanıp uygulanmadığına göre hesaplanır yönetim sistemlerinin inşaat yaşam döngüsünün her aşamasında uygulanması
7		Toz kontrol önlemleri	Puan, proje inşaat organizasyonu tasarımına aşına personel tarafından değerlendirilir
8		İnşaat gürültüsünü azaltma önlemleri	Puan, tüm inşaat projesinde yer alan saha personeli tarafından değerlendirilir
9	Konforlu ve yaşanabilir	Aşağıdakileri karşılayan çeşitli göstergeler içerir binanın kullanım sürecinde insan konforu ve yaşanabilirlik gereksinimleri	Yeşil alan oranı Puan, kontrol öğeleri için tasarım aşamasında değerlendirilir
10		Doğal havalandırma kullanım oranı	Proje yerinin doğal koşullarına bağlı olarak, çeşitli odalar için makul havalandırma tasarımı uygulanmış ve doğal havalandırma kullanımı en üst düzeye çıkarılmıştır
11		Bina aydınlatma seviyesi	Puanlama, şu anda Çin'in farklı bölgelerinde uygulanan yeşil bina değerlendirme standartlarına dayanmaktadır
12	Düşük karbonlu ekonomik faydalar	Emisyon azaltımının etkinliğini ve faydalarını yansıtır. Bina'nın tüm yaşam döngüsü boyunca emisyonların azaltılması	Atık ayrıştırma ve toplama oranı belirlenir- ayrıştırma toplama tesislerinin sayısının toplam atık toplama tesislerinin sayısına oranlanmasıyla elde edilir
13		Sırasında karbon emisyonu azaltım oranı operasyon	Operasyonel karbon emisyonu azaltım oranı, yeşil bina karbon emisyonu azaltımının referans binanın karbon emisyonuna oranına göre hesaplanır

Tablo 3 (devam)

Hay Boyut	İçerik	Gösterge	Veri
14		Yeşil bina uygulamalarının teşvik edilmesi	Bu gösterge, yeşil bina tanıtımının düzenlenmesi, yeşil yaşama rehberlik edilmesi, acil durum tatbikatlarının yapılması ve yıllık bazda konut sakini memnuniyet anketlerinin yapılması gibi faaliyetlerin sıklığını ölçer. Binaların akıllı işletimi, uygulanan akıllı önlemlerin miktarı ile ölçülür.
15	Bina sürdürülebilirliğinin yaşam döngüsü boyunca çeşitli nesnel ve binaların akıllı işletimi ve bakımı özel koşullardaki değişikliklere uyulanabilirliğini yansıtır		
16		Yenilenebilir enerji kullanım oranı	Yenilenebilir enerji kullanımının binanın toplam enerji tüketimine oranı %5'ten az olmamalıdır ve bu kritere göre ek puan verilir.
17		Binaların uyulanabilirliği	Bu gösterge tasarım aşamasında değerlendirilir ve puanlanır.

$$X = \begin{pmatrix} 6,464 \\ 7,758 \\ 8,596 \\ 6,948 \\ 9,996 \\ 5,496 \\ 8,465 \\ 7,694 \\ 9,886 \\ 5,974 \\ 6,768 \\ 9,454 \\ 9,586 \\ 5,796 \\ 7,776 \\ 5,869 \end{pmatrix} \quad X^{-1}X = \begin{pmatrix} 0,250 & 0,400 \\ 0,500 & 0,602 \\ 0,750 & 0,210 \\ 0,251 & 0,080 \\ 1 & 1 & 1 & 0,4 \\ 0 & 0 & 1 & 0,4 \\ 0,750 & 0,400 & 0,210 \\ 0,500 & 0,410 & 0 & 0 \\ 1 & 0,800 & 0,400 & 0,600 \\ 0 & 0,250 & 0,600 & 0,408 \\ 1 & 0 & 0,200 & 0 \\ 1 & 0,200 & 0,804 & 0 \\ 0 & 0,610 & 0,080 & 0,410 \\ 0,500 & 0,600 & 0,604 & 0 \\ 0 & 0,800 & 0,410 & 0 \end{pmatrix} \quad X^{-1}Y = \begin{pmatrix} 0,250, 0,140, 0,240, 0,370 \\ 0,150, 0,140, 0,220, 0,280 \\ 0,110, 0,140, 0,210, 0,170 \\ 0,080, 0,140, 0,240, 0,130 \\ 0,230, 0,080, 0,200, 0,370 \\ 0,250, 0,140, 0,140, 0,240 \\ 0,110, 0,080, 0,240, 0,140 \\ 0,110, 0,140, 0,130, 0,170 \\ 0,250, 0,060, 0,210, 0,360 \\ 0,150, 0,060, 0,240, 0,200 \\ 0,250, 0,140, 0,100, 0,190 \\ 0,150, 0,140, 0,100, 0,180 \\ 0,250, 0,050, 0,240, 0,370 \\ 0,250, 0,060, 0,130, 0,280 \\ 0,250, 0,080, 0,100, 0,220 \\ 0,250, 0,140, 0,080, 0,190 \end{pmatrix}$$

Son olarak, her bir göstergenin ağırlık katsayıları birleştirilerek, her bir çözümün gri korelasyon derecesi formül 9 kullanılarak hesaplanır ve Tablo 7'de gösterildiği gibi buna göre sıralanır.

4.3 Uygulama etkilerinin analizi

Önerilen modelin yaşam ortamını iyileştirme ve yeşil bina tasarımının düşük karbon değerlendirme düzeyini artırma performansını test etmek amacıyla karşılaştırmalı bir deney gerçekleştirilmiştir. Deney için değerlendirme kriterleri, ilgili kuruluşlarla işbirliği içinde ulusal standart "Yeşil Bina Değerlendirme Standardı" GB/T 50378-2006 temel alınarak revize edilmiştir. Yeşil binaların değerlendirilmesinde arazi ve dış çevrenin korunması, enerji ve enerji kullanımı, su ve su kaynaklarının kullanımı, malzeme ve malzeme kaynaklarının kullanımı ve iç mekan çevre kalitesi gibi unsurlar temel alınmıştır. Dört değerlendirme düzeyi kullanılmıştır: mükemmel, iyi, orta ve zayıf. Son olarak, performansı niceliksel olarak analiz etmek için farklı değerlendirme yöntemleri kullanılmış ve Tablo 8'de gösterildiği gibi dört yeşil bina projesi için düşük karbon değerlendirmeleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 8'den elde edilen analiz, bu makalede önerilen yöntemle elde edilen değerlendirme sonuçlarının ana akım yeşil bina değerlendirmelerinin gerçek sonuçlarıyla tutarlı olduğunu göstermektedir. Bu makaledeki yöntem kullanılarak dört örnek projenin değerlendirme sıralamaları, gerçek yeşil bina değerlendirme puanlarıyla uyumludur. Öte yandan, hesaplama için Literatür I [51] ve Literatür II'deki [52] yöntemler kullanıldığında, gerçek yeşil bina değerlendirme puanlarına kıyasla belirli farklılıklar vardır. Bu durum, bu makalede önerilen yöntemle elde edilen değerlendirme sonuçlarının doğru ve pratik uygulama için uygun olduğunu göstermektedir. Başka bir açıdan

Tablo 4 İnşaat projelerinin düşük karbonlu değerlendirilmesi için birinci ve ikinci seviye göstergelerin ağırlık dağılımı

Hayı r.	Boyut	Birinci seviye ağırlık	Gösterge	İkinci seviye ağırlık	Gösterge ağırlığı	CR
1	Kaynak kullanımı (D1)	0.22	Geri dönüştürülmüş yapı malzemelerinin kullanım oranı	0.36	0.0792	0.010
2			Başlıca yapı malzemelerinin ulaşım mesafesi	0.25	0.055	
3			Geri dönüştürülebilir malzemelerin devir hızı	0.21	0.0462	
4	Çevre koruma (D2)	0.21	Su tasarrufu önlemlerinin değerlendirilmesi	0.18	0.0396	0.008
5			Yeşil yönetim sistemlerinin uygulanması	0.48	0.1008	
6			Toz kontrol önlemleri	0.31	0.0651	
7	Konfor ve yaşanabilirlik (D3)	0.22	İnşaat gürültüsünün azaltma önlemleri	0.21	0.0441	0.011
8			Yeşil alan oranı	0.30	0.066	
9			Doğal havalandırma kullanım oranı	0.31	0.0682	
10	Düşük karbonlu ekonomik faydalar (D4)	0.18	Bina aydınlatma seviyesi	0.39	0.0858	0.000
11			Sırasında karbon emisyonu azaltım oranı operasyon	0.42	0.0756	
12			Yeşil teknolojinin artan faydaları önlemler	0.58	0.1044	
13	Bina sürdürülebilirliği (D5)	0.17	Binaların akıllı işletimi ve bakımı	0.36	0.0612	0.067
14			Yenilenebilir enerji kullanım oranı	0.26	0.0442	
15			Sürdürülebilirlik ve düşük karbon seviyesi	0.21	0.0357	
16			Binaların uyarlanabilirliği	0.17	0.0289	

Tablo 5 Değerlendirme puanı ayarı

Değerlendirme seviyesi	Zayıf düşük puan	Adil	İyi
	Mükemmel Değerlendirme puanı	< 4	
	4-6	6-8	8-9

perspektifinden bakıldığında, bu yöntem yeşil binaların düşük karbon performansının değerlendirilmesini sağlar.

5 Öneri ve sonuç

5.1 Öneri

(1) Erken aşamaya odaklanın

Yeşil binaların erken hazırlık ve tasarım aşaması, binanın tüm yaşam döngüsünün düşük karbonlu yönetimi için temel oluşturur. Bu nedenle, yeşil bina projelerinin erken aşamasında düşük karbon yönetiminin vurgulanması önemlidir.

Bu, bilimsel ve standartlaştırılmış bir proje başlatma süreci oluşturularak ve yeşil binaların yaşam döngüsü boyunca enerji tasarrufu ve emisyon azaltma çabalarına rehberlik edecek bir düşük karbonlu gösterge sistemi geliştirilerek başarılabilir.

(2) Temel olarak karbon azaltımı

Mevcut çeşitli yeşil bina değerlendirme sistemlerinde, farklı değerlendirme kriterlerinin kendi vurguları vardır. Ancak, Çin'in ikili karbon hedefleri bağlamında, Çin'in kentsel gelişimine uygun yeşil binaların değerlendirilmesi karbon emisyonlarına odaklanmayı önceliklidir. Karbon azaltımı, tüm yönetim tedbirlerine rehberlik eden temel kriter olmalıdır.

5.2 Sonuç

Bu araştırma, ulusal ve uluslararası tipik düşük karbonlu bina değerlendirme sistemlerinin kapsamlı bir analizi ve değerlendirme sistemi çerçevelerindeki temel unsurların sistematik olarak incelenmesi yoluyla

Tablo 6 Yeşil bina değerlendirmesi için örnek projelerin temel bilgileri

Hayır	Proje adı	Projeye genel bakış	Veri
A	Guangzhou'da ofis binası	Su tasarrufu önlemlerinin uygulanması düşük akışlı musluklar gibi Yönlendirme tasarımı sayesinde doğal ışık kullanımı en üst düzeye çıkarıldı Otomatik zaman kontrollü aydınlatma sistemleri kuruldu Kirlilik emisyonları için ekipman ve personel izolasyonu uygulandı	Gösterge verileri mevcut, yeni inşaat için yeşil bina sertifikası altın seviyesine (41 puan) ulaşıldı
B	Shen- zhen'de ticari konut binası	Çatı ve cephe duvarları için yeşil bitki örtüsü kullanıldı Sıcaklık düzenlemesi için doğal havalandırma kullanımı en üst düzeye çıkarıldı Geri dönüşümlü su sistemi uygulandı Enerji tasarruflu yapı malzemeleri kullanıldı	Gösterge verileri mevcut, yeni inşaat için yeşil bina sertifikası gümüş seviyesine (37 puan) ulaşıldı
C	Hangzhou'da yüksek katlı MIA binası	İnşaatta yenilenebilir malzemeler kullanıldı Enerji tasarruflu aydınlatma sistemleri uygulandı Su tasarrufu önlemleri uygulandı Kapsamlı bir yeşil bina geliştirildi İnşaat sürecinde inşaat el kitabı	Gösterge verileri mevcut, yeni inşaat için yeşil bina sertifikası altın seviyesine (43 puan) ulaşıldı
D	Vanke'den Shenzhen'de konferans merkezi binası	İnşaat sırasında yerel yapı malzemelerinin kullanılması ve yenilenebilir malzemelerin dahil edilmesi için çaba gösterildi Tamamlandıktan sonra %100'e yakın bir yeşil kaplama oranı elde edildi Hareket algılayıcı enerji tasarruflu aydınlatma sistemleri kuruldu Otomatik ayarlanabilir güneşlikler uygulandı Peyzaj havuzlarında su tasarrufu önlemleri uygulandı	Gösterge verileri mevcut, yeni inşaat için yeşil bina sertifikası platin seviyesine (52 puan) ulaşıldı

Tablo 7 Her bir test şemasının
gri korelasyon derecesi ve
sıralaması

Hayır	Korelasyon derecesi	Rütbe
A	0.1580	3
B	0.1467	4
C	0.1974	2
D	0.2266	1

Tablo 8 Yeşil için düşük karbon değerlendirme sonuçlarının karşılaştırılması
tüm yaşam döngüsüne dayalı binalar

Sıralama	1	2	3	4
Bu çalışmada önerilen yöntem	D	C	A	B
Literatürden Yöntem I [51]	D	C	B	A
Literatürden Yöntem II [52]	D	B	C	A
Gerçek değerler	D	C	A	B

gri ilişkisel analiz ve AHP'ye dayalı olarak yeşil binaların tüm yaşam döngüsü için kapsamlı bir düşük karbonlu değerlendirme sistemi geliştirmiştir. Değerlendirme siste-

tem teorik model iki seviyeye ayrılmıştır: "sistem

çerçevesi" ve "değerlendirme boyutları". Sistemde

çerçeve düzeyinde, çalışma kuralları ve unsurları tartışmaktadır.

Gösterge setleri de dahil olmak üzere model oluşturma unsurları, ağırlıklandırma sistemleri, derecelendirme ölçütleri ve değerlendirme sonuçları. Değerlendirme boyutları düzeyinde, aşağıdaki hususları araştırır çoklu değerlendirme için ilgili değerlendirme göstergeleri ve süreçleri

yaşam döngüsü boyunca aşamalar. Sistem çerçevesi ve boyutları birbirini tamamlayarak bir bütün oluşturur. kapsamlı ve entegre değerlendirme sistemi.

Bu makale, yeşil binaların düşük karbon değerlendirmesi için tüm yaşam döngüsü boyutlarına dayalı bir modelleme yöntemi önermekte ve deneysel karşılaştırmalar yapmaktadır. Araştırma sonuçları, önerilen değerlendirme yaklaşımının yeşil binalar için bilimsel ve objektif kapsamlı bir değerlendirme sağlayabileceğini göstermektedir.

yaşam döngüleri. Ayrıca, çevre koruma ve kirlilik azaltma hedeflerine ulaşmak için arazi, su ve malzeme tasarrufunu en üst düzeye çıkararak kaynakların korunması için özel yönler önerebilir. Değerlendirme sonuçları, yeşil binalar için mevcut uluslararası standartları karşılamakta ve yeşil binaların tasarımı ve değerlendirilmesi için doğru modeller ve veriler sağlamaktadır.

Yazar katkıları Tüm yazarlar çalışma konseptine ve tasarımına katkıda bulunmuştur. Materyal hazırlama, veri toplama ve analiz ABJF, JL tarafından gerçekleştirilmiştir. Makalenin ilk taslağı JL tarafından yazılmıştır ve tüm yazarlar makalenin önceki versiyonları hakkında yorumda bulunmuştur. Tüm yazarlar makalenin son halini okumuş ve onaylamıştır.

Finansman Bu araştırma dış finansman almamıştır.

Beyanlar

Çıkar çatışması Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemektedir.

Açık Erişim Bu makale Creative Commons Attribution 4.0 Uluslararası Lisansı altında lisanslanmıştır ve orijinal yazar(lar) ve kaynağa uygun şekilde atıfta bulunduğunuz, Creative Commons lisansına bir bağlantı verdiğiniz ve değişiklik yapıp yapılmadığını belirttiğiniz sürece herhangi bir ortam veya formatta kullanım, paylaşım, uyarılma, dağıtım ve çoğaltmaya izin verir. Bu makalede yer alan görseller veya diğer üçüncü taraf materyalleri, aksi belirtilmedikçe, makalenin Creative Commons lisansına dahildir. Materyal, makalenin Creative Commons lisansına dahil değilse ve kullanım amacınız yasal düzenlemeler tarafından izin verilmiyorsa veya izin verilen kullanımı aşılıyorsa, doğrudan telif hakkı sahibinden izin almanız gerekecektir. Bu lisansın bir kopyasını görüntülemek için <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> adresini ziyaret edin.

Referanslar

- Congxiao L, Changjie Z, Aimin Z ve diğerleri (2021) İnşaat sektörünün tepe karbondioksit emisyonları ve yeşil inşaat. *Constr Enterp Manag* 400(12):26-29. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-9251.2021.12.004>
- Liu G, Zhao T, Yan H ve diğerleri (2022) Atomik yörünge araştırması ile optimize edilen pro- jeksiyon takip modeline dayalı olarak sürdürülebilirliği sağlamak için kentsel yeşil bina tasarım şemalarının değerlendirilmesi. *Sustainability* 14(2):1021-1021. <https://doi.org/10.3390/su141711007>
- Nugradi DNA (2022) Yeşil bina sertifikalı binalar için kullanım sonrası değerlendirme (örnek çalışma UGM hukuk merkezi binası). *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* 969(1):012065. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/969/1/012065>
- Hajare A, Elwakil E (2020) Bina enerji verimliliği stratejilerinin değerlendirilmesi için yaşam döngüsü maliyet analizi ve enerji simülasyonunun entegrasyonu. *Sustain Cities Soc*. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102293>
- Zhang L, Liu G, Wang S (2020) Çin'de karbon ticareti ve karbon vergisi sistemi altında binaların yaşam döngüsü karbon maliyeti. *Sustain Cities Soc*. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102509>
- Changqing X, Jia M, Ming X, Long Y, Jia H (2019) Yaşam döngüsü perspektifinden düşük etkili geliştirme türü en iyi yönetim uygulamalarının çevresel ve ekonomik değerlendirmesinde ilerleme. *J Clean Prod* 213(2019):1103-1114. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.272>
- Wang J, Tingley DD, Mayfield M, Wang Y (2018) Belirsizlik ve duyarlılık analizi dikkate alınarak farklı beton zemin döşemelerinin yaşam döngüsü etkisi karşılaştırmalı- tainty and sensitivity analysis. *J Clean Prod* 189: 374-385
- Enyoghasi C, Brown A, Aydın R, Badurdeen F (2020) Sürdürülebilir ürün tasarımlarını değerlendirmek için nicel risk modellemesi. *Int J Sustain Manuf* 4(2-4):165-185. <https://doi.org/10.1504/IJSM.2020.107138>
- Guo DW, Jiang ZG (2011) Yeşil yeniden üretim yönetiminin mimarisi ve uygulama stratejisi üzerine çalışma. *Key Eng Mater* 1104(467-469):1639-1644. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.467-469.1639>
- Yanming Z, Qiming L, Yvonne A ve diğerleri (2001) yaşam döngüsü değerlendirmesine dayalı yeşil kalkınma. *J Southeast Univ* 31(1):78-80. <https://doi.org/10.3321/j.issn.1001-0505.2001.01.017>
- Jun W (2022) Tüm yaşam döngüsü için yeşil bina tasarımı stratejisi üzerine çalışma. *Ceramics* 446(12):150-152. <https://doi.org/10.19397/j.cnki.ceramics.2022.12.011>
- Zhiqi G, Rui D, Baikun C ve diğerleri (2012) Yaşam döngüsü değerlendirmesi kullanılarak beton atık arıtma sisteminin değerlendirilmesi. *Build Sci* 28(03):29-33. <https://doi.org/10.13614/j.cnki.11-1962/tu.2012.03.004>
- Zhiqi G, Zhihui Z (2004) Yapı malzemelerinin somutlaştırılmış çevresel profilinin niceliksel değerlendirmesi. *J Tsinghua Univ*. <https://doi.org/10.16511/j.cnki.qhdxxb.2004.09.016>
- Gopanagoni V, Velpula SL (2020) Yeşil bir binanın yaşam döngüsü maliyet analizi üzerine analitik bir yaklaşım. *Materyal. Today Proc.* 33:387-390. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.226>
- Bribian IZ, Uson AA, Scarpellini S (2009) Binalarda yaşam döngüsü değerlendirmesi: bina sertifikasyonu için bir tamamlayıcı olarak son teknoloji ve basitleştirilmiş LCA yöntemi. *Build Environ* 44(12):2510-2520. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.05.001>
- Kellenberger D, Althaus H-J (2009) Bina bileşenlerinin LCA'sında basitleştirmelerin önemi. *Build Environ* 44(4):818-825. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.06.002>
- Lee K, Tae S, Shin S (2009) Güney Kore'de binalar için bir yaşam döngüsü değerlendirme programının (SUSB-LCA) geliştirilmesi. *Renew Sustain Energy Rev* 13(8):1994-2002. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.01.002>
- Shiyu W, Grace D, Goran R, Yisheng L (2022) Sürdürülebilir binaların enerji verimli güçlendirilmesi: Pekin'deki büyük ofis binaları üzerine bir çalışma. *Sustainability* 14(2):1021-1021. <https://doi.org/10.3390/SU14021021>
- Ren YL, Bao XY (2021) Oyun teorisi-bulut modeline dayalı olarak demiryolu yeşil inşaatının çevresel etkilerinin kapsamlı değerlendirilmesi. *Highw Eng*. pp 1-14. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1481.U.20210408.1153.028.html>
- Karimpour M, Belusko M, Xing K, Bruno F (2014) Binaların yaşam döngüsü enerjisinin en aza indirilmesi: inceleme ve analiz. *Build Environ* 73:106-114. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.11.019>
- Sharma A, Saxena A, Sethi M, Varun VS (2011) Binaların yaşam döngüsü değerlendirmesi: bir inceleme. *Renew Sustain Energy Rev* 15(1):871-875. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.008>
- Dwaikat LN, Ali KN (2018) Yeşil binalar yaşam döngüsü maliyet analizi ve yaşam döngüsü bütçesi geliştirme: pratik uygulamalar. *J Build Eng* 18:303-311. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.03.015>
- Haize P, Mengjie C, Wei M (2016) Amerika Birleşik Devletleri'nde LEED ve yeşil bina değerlendirmesi üzerine karşılaştırma ve analiz

- Çin'de standart. *Constr Econ* 37(01):88-92. <https://doi.org/10.14181/j.cnki.1002-851x.201601088>
24. Li P, Chen H (2022) IVPLTS-CBR karar verme yöntemine dayalı yeşil bina tedarikçilerinin değerlendirilmesi. *Int J Intell Comput Cybern* 1:15. <https://doi.org/10.1108/IJCC-06-2021-0118>
 25. Chenyuancao (2022) Alman dgnb ve Çin yeşil bina değerlendirme standartlarının karşılaştırmalı analizi. IOP Yayıncılık Ltd, Bristol
 26. Süzer O (2019) LEED ve BREEAM'in uyum ve korelasyonunun kriter bazlı karşılaştırmalı bir analiz yapılarak incelenmesi ve çift sertifikalı projelerin değerlendirilmesi. *Build Environ* 147:158-170. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.001>
 27. Yang W, Qun F (2023) Binaların LCA tabanlı tüm yaşam döngüsü enerji tüketimi çalışması. *Proje Yönetimi Teknol* 21(02):70-74. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-4313.2023.02.012>
 28. Zhenghan S (2017) Alman DGNB sertifikasyon sisteminin bina yaşam döngüsü değerlendirme (LCA) yönteminin kısa tanıtımı ve yerel projelerin vaka çalışması. *Green Build* 4:29-32. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-1672.2017.04.010>
 29. Yiming S, Yijia Q, Hong Z (2018) Yaşam döngüsü değerlendirme metodolojisinin mimarlık alanında uygulanması ve geliştirilmesi. *Arch Cult* 174(09):189-190. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-4909.2018.09.069>
 30. Julong D (1983) Gri sistem teorisi ve kantitatif fütüroloji. *Fut Dev* 1983(07):1-5
 31. Xuerui T, Julong D (1997) Gri ilişkisel analiz: tıpta çok faktörlü analiz için yeni bir istatistiksel yöntem. *J Xi'an Med Univ*, 1997. doi:CNKI:SUN:YKDY.0.1997-01-014
 32. Guo AM, Huang ZY, Long-Hua LI ve diğerleri (2006) Yedi Longan çeşidinin gri ilişkisel sınıf analizi. Güneybatı Çin J Agric Sci. <https://doi.org/10.1109/WICOM.2006.186>
 33. Muhittin S, Yalcin B, Memisliker A ve diğerleri (2021) Bulanık En İyi En Küçük ve bulanık TOPSIS ile elektronik atıklar için gelişmekte olan ekonomide sürdürülebilir toplama merkezi yer seçimi. *Waste Manag* 127:37-47. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.03.054>
 34. Qiankun W, Xianwei K, Chunguang N (2023) Gri kümelemeye dayalı prefabrik binaların yeşil inşaat değerlendirmesi üzerine araştırma. *Eng J Wuhan Univ* 56(05):567-574. <https://doi.org/10.14188/j.1671-8844.2023.05-007>
 35. Yuru C, Tong S, Ju L (2022) COWA- gri ağırlıklı kümelemeye dayalı prefabrik binaların yeşil inşaat seviyesinin kapsamlı değerlendirmesi. *Gansu Sci Technol* 38(5):1-5. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-0952.2022.05.002>
 36. Chuanjie C, Tongfeng Z, Meng L ve diğerleri (2022) Gri korelasyon analizi ve TOPSIS yöntemine dayalı dut yaprağı verimi ve ilgili karakterlerin analizi ve değerlendirilmesi. *North Sericult* 43(04):9-13. <https://doi.org/10.19443/j.cnki.1673-9922.2022.04.002>
 37. Yang L, Zhiguang G, Weihao Z ve diğerleri (2022) Gri ilişkisel dereceye dayalı yerel köprü yapısının güvenlik değerlendirmesi. *Const Design Eng* 494(24):65-68. <https://doi.org/10.13616/j.cnki.gcjsy.sj.2022.12.220>
 38. Ma Q, Lu L, Li Q, Wang Z (2022) Belirsiz AHP-çok boyutlu bulut modeline dayalı büyük kanalların yeşil inşaat sınıfı değerlendirmesi. *Sürdürülebilirlik* 14:6143. <https://doi.org/10.3390/su14106143>
 39. Li X, Li W, Lei W, Wang YH, Luo N, Fan HY (2021) AHP-yapay sinir ağına dayalı kentsel su ortamı yönetiminin yeşil yapı değerlendirmesi üzerine araştırma. *Water Sci Technol Econ* 27:18-23
 40. Liguang L (2022) Yeşil bina proje yönetimindeki sorunlar ve karşı önlemler üzerine çalışma. *Constr Sci Technol* 467(24):52-54. <https://doi.org/10.16116/j.cnki.jskj.2022.24.013>
 41. Tang P, Cass D, Mukherjee A (2013) Simülasyon kullanarak inşaat yönetimi stratejilerinin proje sera gazı emisyonu üzerindeki etkisinin araştırılması. *J Clean Prod* 54:78-88. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.03.046>
 42. Xuan Q, Lei J (2013) Yeşil binanın tüm yaşam döngüsünde risk sıralaması ve değerlendirmesi: inşaat sektöründen ampirik bir araştırma. *Chin Civil Eng J* 46(08):123-135. <https://doi.org/10.15951/j.tmgxb.2013.08.004>
 43. Ling S, Hongjun L (2011) Çalışma aşamasında yeşil bina değerlendirme etiketi uygulaması üzerine analiz. *Build Sci* 27(02):14-16. <https://doi.org/10.13614/j.cnki.11-1962/tu.2011.02.008>
 44. Yifei W (2021) 4M1E ve binanın yaşam döngüsüne dayalı yeşil inşaatın geliştirilmesi üzerine araştırma. İnşaat Teknolojisi, Çin: Pekin. doi:<https://doi.org/10.26914/c.cnkihy.2021.065652>
 45. Luigi P, Giulia B, Franco L (2022) Dijital malzeme pasaportları ve malzemelerin interneti aracılığıyla döngüsel ekonomiyi desteklemek için işbirlikçi bir mimari. *IFAC PapersOnLine* 55(10):1491-1496. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.601>
 46. Gheewala SH (2020) Döngüsel bir ekonomiye doğru sürdürülebilir tüketim ve üretim için yaşam döngüsü düşüncesi. *E3S Web Conf* 202:01003. <https://doi.org/10.1051/E3SCONF/202020201003>
 47. Zhang Z (2022) BIM ve ontolojiye dayalı otomatik bir sonlu eleman modeli oluşturma yöntemi. *Buildings*. <https://doi.org/10.3390/buildings12111949>
 48. Xu X, Xu P, Zhu J ve diğerleri (2022) Yeşil bina kabuğunun somutlaştırılmış çevresel etkisi nasıl en aza indirilir? Otomatik bir optimizasyon yöntemi. *Environ Impact Assess Rev*. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106732>
 49. Yingda L, Xin M, Xin Y (2022) Endüstri mirasının yenilenme tasarımının yeşil binalar perspektifinden incelenmesi. *J Landsc Res* 14(05):61-66. <https://doi.org/10.16785/j.issn1943-989x.2022.5.014>
 50. Chunlin Z, Wanting Z (2023) Değer değerlendirmesine dayalı olarak yaşayan miras köprülerinin sınıflandırılması, korunması ve sürdürülebilir kullanımı: Hangzhou'da bir vaka çalışması. *J Landsc Res* 15(01):6-10. <https://doi.org/10.16785/j.issn1943-989x.2023.1.002>
 51. Yuan G (2014) Çin'in yeşil bina değerlendirme sistemi karbon emisyonlarının entegre değerlendirmesi üzerine çalışmalar. Tianjin Üniversitesi. DOI:<https://doi.org/10.7666/d.D636407>
 52. Tao L (2012) Çin'de performans dayalı yeşil bina değerlendirme sistemi üzerine çalışmalar. Tianjin Üniversitesi. DOI:<https://doi.org/10.7666/d.D322136>

Yayıncının Notu Springer Nature, yayınlanan haritalardaki yetki iddiaları ve kurumsal bağlantılar konusunda tarafsız kalmaktadır.