



Makale

Kentsel Planlama ve Tasarım Yoluyla Karbon Nötrlüğüne Ulaşmak

Zhiqiang Wu ¹, Zichen Zhao ^{2,3,*}, Wei Gan ^{3,*}, Shiqi Zhou ², Wen Dong ³ ve Mo Wang ⁴

¹ Mimarlık ve Şehir Planlama Fakültesi, Tongji Üniversitesi, Şanghay 200092, Çin

² Tasarım ve İnovasyon Koleji, Tongji Üniversitesi, Şangay 200093, Çin

³ Shanghai Tongji Urban Planning & Design Institute Co, Ltd, Shanghai 200092, Çin

⁴ Mimarlık ve Şehir Planlama Fakültesi, Guangzhou Üniversitesi, Guangzhou 510006, Çin

* Yazışma: zzichen0719@163.com (Z.Z.); ganwei1989up@gmail.com (W.G.)

Özet: İklim değişikliği üzerine yapılan araştırmaların çoğu şehirlerde veya ülkelerde karbon azaltımına odaklanmıştır. Bununla birlikte, kentsel tasarım ve planlama aşamasında karbon nötrlüğünün nasıl sağlanacağına daha fazla dikkat edilmesi gerekmektedir ve kentsel alanla ilgili karbonun nicel analizinin eksikliği, kentsel alanın yerini belirlemeyi ve kentsel planlama ve tasarım için doğrudan rehberlik sağlamayı zorlaştırmaktadır. Bu çalışma, çok ölçekli kentsel bina kümelerinde karbon nötrlüğüne ulaşmak için üç optimizasyon yolu önermiştir. İlk olarak, karbon nötrlüğü hedefiyle kentsel bina topluluklarının nicel hesaplama sistemini yeniden oluşturduk; ikinci olarak, çok ölçekli kentsel bina toplulukları için uygun olan karbon kaynağı azaltma ve karbon yutağı müdahalelerini taradık; son olarak, 100×100 m'lik bir ızgara hücresi ile planlama ve tasarım şemalarının ilgili unsurlarının düzenine dayalı olarak planlama ve tasarım şemalarının karbon emisyonu ve karbon yutağı hesaplama sistemini oluşturduk. Uygulamada, karbon-nötr hedefinden yaklaşık 115.000 ton CO₂'lik bir boşluk vardı ve karbon emisyonunun %26'sı Xiajiabian İstasyonu TOD'da dağıtıldı. Bu çalışmada, bölgede karbon nötrlüğüne ulaşmak için dokuz tür karbon azaltma önlemi benimsenmiştir; bunlar arasında en yüksek karbon azaltımı, 33.745,27 T'lik toplam karbon azaltımının %29'unu oluşturan biyokütle enerjisi önlemleriyle sağlanmıştır. Bu çalışmanın amacı, farklı ölçeklerdeki kentsel alanların karbon hedeflerini doğru ve nicel olarak değerlendirmek ve karbon nötrlüğüne ulaşmak için etkili önlemler almaktır.

Anahtar Kelimeler: kentsel bina kümesi; karbon emisyonu; karbon yutağı; karbon nötrlüğü; müdahale önlemleri



Atıf: Wu, Z.; Zhao, Z.; Gan, W.; Zhou, S.; Dong, W.; Wang, M. Karbon Nötrlüğüne Ulaşmak Kentsel Planlama ve Tasarım yoluyla. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2023**, *20*, 2420. <https://doi.org/10.3390/ijerph20032420>

Akademik Editör: Paul B. Tchounwou

Alındı: 14 Aralık 2022

Revize: 17 Ocak 2023

Kabul Tarihi: 26 Ocak 2023

Yayınlanma tarihi: 29 Ocak 2023



Telif hakkı: © 2023 yazarlar tarafından. Lisans sahibi MDPI, Basel, İsviçre. Bu makale Creative Commons Attribution (CC BY) lisansının hüküm ve koşulları altında dağıtılan açık erişimli bir makedir (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Giriş

Karbon nötrlüğü, insan faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazlarını belirli bir süre içinde dengelemek için karbon azaltımıyla ilgili teknolojilerin uygulanmasıyla elde edilir ve şehirlerin yapı çevresi önemli bir sera gazı kaynağıdır. Bu nedenle, karbon-nötr bir bakış açısıyla kentsel planlama ve tasarımın yanı sıra kentsel tasarım aşamasında etkili karbon azaltma planlarının düzenlenmesi, sürdürülebilir kentsel kalkınma için çok önemlidir [1]. Buna ek olarak, farklı ölçeklerdeki bina kümeleri, merkezi kentsel birimleri oluşturduklarından karbon azaltma yollarında önemli bir rol oynamaktadır. Dahası, nicel değerlendirme karbon nötr hedeflerine ulaşmada en etkili yollardan biridir [2]. Bu nedenle, bina kümelerinden kaynaklanan karbon emisyonlarının doğru bir şekilde çok ölçekli nicel olarak incelenmesi, kentsel karbon nötrlüğü uygulama yollarının geliştirilmesini kolaylaştırabilir [3].

Kentsel planlama sürecinde, şehir planlamacıları ve hükümetler politika ve stratejik hedefler belirler ve bu kararlar ve planlar şehirlerin enerji verimliliğini ve karbon emisyonlarını önemli ölçüde etkiler. Bununla birlikte, planlama ve tasarım aşamalarında kentsel düşük karbonlu kalkınma hedeflerine ulaşmada şehir planlamacılarına ve politika yapıcılara yardımcı olmak için konumlandırılabilir alanlar için daha fazla nicel göstergeye ve müdahale stratejisine ihtiyaç vardır. Kentsel CO₂ tahminine ilişkin mevcut çalışmalarda, bazı akademisyenler kentsel CO₂ değerlerini ve etkilerini ölçmek için ampirik CO₂ denklemleri ve karbon değerlendirme yazılımları kullanmaktadır. Diğerleri ise mevcut CO₂ etki faktörlerini, çalışma alanı olarak mahalleler veya sokaklar ile tam olarak değerlendirmektedir.

birimi. Ayrıca, bazı çalışmalar karbon azaltım önlemleri çalışmasına karbon yutağı veya kaynak azaltımını da dahil etmektedir.

Karbon emisyonunun ampirik formülü, kentsel unsurların karbon emisyonu üzerindeki etkisi incelenerek oluşturulmuştur. Kentsel özellikler temel olarak binaları, ulaşımı ve vatandaşları içerir. Ampirik formüller genellikle iki türe : karbon emisyonu hesaplamaları ve karbon azaltma hesaplamaları (Tablo 1). Örneğin, ZhangJie (2015) kentsel karbon emisyonları olarak Çin'deki kent sakinlerinden kaynaklanan doğrudan CO₂ emisyonlarını kullanmaktadır. Chao Liu (2017), yeni kentsel ölçekte entegre kentsel karbondioksit (CO₂) emisyon modellerinin ve CO₂ azaltım planlarının uygunluğunu araştırmak için karbon emisyonlarını (binalar, ulaşım) ve karbon yutaklarını hesaplamak üzere bir model oluşturmuştur [4]. Congrong (2018) kentsel karbon emisyonları olarak kentsel arazi ile ilgili karbon emisyonları toplamını kullanmaktadır [5]. S. Zubelzu (2015), kentsel tasarım parametreleri (alan, aile birimi) ile hane bazlı bir karbon ayak izi korelasyon çalışması kullanarak öngörülen kentsel emisyonları incelemiştir [6]. Yukarıdaki karbon değerlendirme yöntemlerinin her ikisi de kentsel ölçekli karbon tahminidir ve kentsel bina kümelerinin küçük ölçekli değerlendirmesini dikkate almamaktadır. Son yıllarda, bazı çalışmalar yerel kentsel alanın karbon emisyonu tahminini denemeye başlamıştır, bunlar temel olarak kentsel tek alanlı alan ölçeği, sokak alanı ve binaların iç veya yerel alanı olarak ayrılmıştır, örneğin Cong R. (2018), ticari arazi kullanımı gibi farklı alanların karbon emisyonu tahmininin kentsel karbon emisyonu artışına yol açtığına dikkat çekmiştir [5]. Sokak ölçeğindeki karbon emisyonları kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Örneğin, J. Felkner ve diğerleri (2021) sokaklardaki bina kümelerinin ölçeğinin kentsel enerji verimliliği ve karbon emisyonları üzerindeki etkisini incelemiştir [7]. Vititneva (2021), sokak alanı kompozisyonunun karbondioksit emisyonu miktarı üzerindeki etkisini araştırmıştır [8]. Baghi (2021), şehir bloğu ölçeğinde karbon emisyonu korelasyonunun unsurlarını araştırmıştır [9]. MariHukkalainen (2017), Kurke platform yardımına dayalı olarak kentsel bina kümeleri ile ulaşım ve karbon emisyonu hesaplaması arasındaki ilişkiyi araştırmıştır [10]. Stojanovski T. (2019) bir kentsel seyahat alanı seçimi modeli önermiş ve test etmiş, böylece kentsel karbon emisyonunu etkilemiştir [11]. Zhang Xiaoping (2021), Hasan, Javeriya (2021, Christina Meier-Dotzler1 (2021) ve Wang Yifan ve diğerleri (2021) bina mekânsal morfolojisinin ve iç mekânın tam döngü çalışmasının enerji ve emisyon etkilerini ampirik olarak test etmiştir [12-15]. Hasan ve Javeriya (2021), çatı alanının bina karbon emisyonlarını nasıl değiştirdiğini araştırmak için çatı alanı ile güneş potansiyeli arasında bir korelasyon çalışması kullanmıştır [14]. Bununla birlikte, yukarıdaki çalışmaların kentsel karbondioksit ölçümü için hala sınırlamaları vardır. İlk olarak, yukarıdaki çalışmaların çoğu, yollar veya binalar gibi kentsel bina kümelerinin tek değişkenlerini analiz etmekte ve bunların kentsel karbondioksit emisyonları üzerindeki etkisini kanıtlamaktadır. Yine de, karbondioksit değerlendirme mekanizmasına kentsel bina kümelerinin çoklu değişkenlerini dahil etmemektedirler. İkinci olarak, karbon emisyonlarının hesaplanması mikro ölçekli çalışmalara odaklanmaya başlamış olsa da, çoğu çalışma yalnızca tek tek binalara odaklanmış ve etki faktörlerini değerlendirirken bina grupları arasındaki bağlantıları dahil etmemiştir.

Kentsel karbon azaltımı hesaplamasına ilişkin araştırmalar temel olarak iki hesaplama yaklaşımına ayrılmaktadır: kentsel karbon yutağı ve kentsel karbon kaynağı karbon azaltımı. Bununla birlikte, çoğu kentsel karbon azaltma yaklaşımı makroskopik araştırma veya politika geliştirme aşamasında kalmaktadır. Örneğin, HuanyuZheng (2020) kentsel karbon kaynağı karbon azaltımının esas olarak yenilenebilir enerjinin karbon emisyon yoğunluğu üzerindeki frenleyici etkisine işaret ettiğini belirtmiştir. Bu çalışma ayrıca, yenilenebilir enerji gelişiminin her %1'i için karbon emisyon yoğunluğunun %0,028-0,043 oranında azaldığını doğrulamıştır [16]. Bununla birlikte, çalışmaların çoğu, bina ve ulaşım ile ilgili karbon azaltma önlemlerinin yanı sıra her bir hükümet bileşeni için koordineli hedefler öneren MariHukkalainen (2017) gibi kentsel karbon azaltma politikası geliştirmeye odaklanmaktadır [10]. Kentsel karbon yutak önlemleri üzerine yapılan araştırmalar, ağırlıklı olarak yeşil alan türlerinin karbon yutak değerleri üzerindeki etkisine odaklanmıştır. Örneğin, Huanyu Zheng (2021) kentsel karbon yutaklarının çoğunlukla doğal karbon yutaklarına atıfta bulunduğunu öne sürmüştür. Doğal karbon yutağı, karbonun tarla, ormanlık alan, bahçe, otlak, sulak alan, yeşil çatı ve üç boyutlu yeşillik gibi yeşil alan sistemleri tarafından emilmesi ve dönüştürülmesi anlamına gelir [17,18]. Ancak, çalışma

Kentsel karbon yutak önlemleri, çoğunlukla gerçek yerel ölçümlerle yürütülen ve kesin doğruluk ve uygulama kolaylığından yoksun olan bitkiler ve yeşil alan türleri üzerine yapılan benzersiz bir [17,19–22].

Tablo 1. Kentsel karbon emisyonu hesaplama yöntemlerinin özeti. Kentsel karbon emisyonu hesaplama yöntemlerinin özeti.

Yazar, Araştırma Yılı	Karbon Değerlendirme Nesneleri	Karbon Değerlendirme Formülü	Şehir Faktörlerinin Değerlendirilmesi
Zhang Jie, 2015 [23]	Kentsel kaynaklı doğrudan CO ₂ emisyonları Çin'de ikamet edenler	$EDCE = E_1 + EF_{(1)(0)}$ $GDCE = \sum_{i=1}^n \frac{F_i}{Q_i} \times NV_{(i)} \times \frac{EF_i}{EF_s}$ $CDCE = \frac{EF_{(s)(2)} \times E_2 \times Q'_{s(2)/Q'_c}}{(s)2}$ $= S \times N \times EF_0$	Nüfus elektrik tüketimi, konut gaz tüketimi, s kamu aracı benzini tüketimi, özel araç benzin tüketimi, ısıtma amaçlı karbon tüketimi
S. Zubeizu, 2015 [6]	Hane bazlı karbon ayak izi hesaplama yöntemi	$HC = \frac{kgCO_2eq}{yıl} = 1,05 \times [HC_{su} + HC_{wastewater} + HC_{elect} + HC_{gas} + HC_{build} + HC_{roadtraffic} + HC_{inhab}]$	İçme suyu tüketimi, atık su yönetim karbonu, elektrik, gaz tedariki, ulaşım tabanı (zorunlu, zorunlu olmayan), kentsel tasarım parametreleriyle (alan, aile birimi) ilişkili olarak atık arıtımı ve geliştirilemeyen arazinin öngörülen karbon emisyonlarını belirleme yeteneği
Congrong, 2018 [5]	Kentsel alanlarla ilişkili karbon emisyonlarının hesaplanmasına yönelik metodoloji	$CE = C_{Rhousing} + C_{Industry} + C_{Ticari hizmetler} + C_{Transportation} + C_{rwaste} + C_{wwater kaynakları}$	Konut, sanayi, ticari hizmetler, ulaşım, atık, su kaynakları
Chao Liu, 2017 [4]	Kentsel CO ₂ emisyonlarının hesaplanması	$CE = BCE + TCE - GCF$	Mimarlık, ulaşım, kentsel yeşil uzay sistemi

Karbon değerlendirme yazılımı, ETH Zürih tarafından geliştirilen City Energy Analyst (CEA) mimari değerlendirme sistemi gibi geleneksel formül hesaplamalarına kıyasla kentsel tasarım senaryoları için nicel hesaplamaların ve CO₂ değerlendirme yöntemlerinin çok yönlülüğünü artırmıştır. CEA, kentsel planlama, düşünme ve enerji sistemleri teknolojisini kapsamlı bir değerlendirme sisteminde entegre etmiş ve kentsel tasarım senaryolarının ayarlanmasını ve kentsel karbon emisyonlarının hesaplanmasını gerçekleştirerek planları tasarlamış ve enerji altyapısı düzenlerinin yanı sıra kentsel karbon emisyonlarını da hesaplamıştır. Bununla birlikte, çoğu platform karbon emisyonu ve yutağının sensör tabanlı izlenmesine dayanmakta ve verileri yalnızca bazı şehirler için geçerli olan bir platform olarak sunmaktadır. Trimble's Tekla 2022, Sefaira, RIB's iTWO 4.0 ve GBSWARE's CEEB 2023, bina tasarım malzemelerinin ve yapılarının gerçek zamanlı olarak değiştirilmesine, karbon emisyonu hesaplamalarına ve birden fazla bina tasarım seçeneğinin karşılaştırmalı hesaplamalarına olanak tanır. Sistemler (kontrol stratejileri dahil), yerel enerji kaynaklarının entegrasyonu ve bölgesel enerji sistemlerinin müdahalesi. Ayrıca, yeni bölgeleme gibi kentsel form değişikliklerine ve doluluk ve bina tipindeki değişikliklere izin vererek gerçek zamanlı karbon değerlendirme hesaplamalarına olanak tanır. Xiamen Tupau Software tarafından geliştirilen Tupau karbon izleme platformu, karbon emisyonlarını gerçek zamanlı olarak tespit etmeyi amaçlamaktadır. Buna ek olarak, bazı karbon değerlendirme yazılımları, bölgesel sınır seçimi ve karbon azaltma önlemleri seçimi ile Çin Planlama Enstitüsü'nün karbon emisyon ölçüm sistemi gibi karbon müdahaleleri modellerini de içermekte ve böylece karbon değerlendirmesi yapmaktadır. Bununla birlikte, mevcut karbon değerlendirme platformlarının çoğu, kentsel karbon yutağı ve karbon azaltımının toplam talebine ulaşmak için gerçekleştirme yolunu dikkate almadan ve müdahalelerin kapsamlılığını ve çoklu yaklaşımların kombinasyon senaryolarını dikkate almadan kentsel karbon emisyonunun görselleştirilmesiyle sınırlıdır (Tablo 2).

Tablo 2. Mevcut karbon değerlendirme platformlarının Mevcut karbon değerlendirme platformlarının işlevlerinin karşılaştırılması.

	Akıllı Kümeler Yaşam Döngüsü	2022 Sefaira'yı al Itwo4.0CEE2023	Şehir Enerji Analisti	Singapur Soğutma	Karbon Emisyon Ölçümü Çin Planlama Enstitüsü Sistemi	Tupou Karbon İzleme Platformu
Karbon Emisyon Değerlendirmesi	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet
Karbon Lavabo Değerlendirmesi	Evet	Evet	Evet	Evet	Hayır	Hayır
Müdahalenin kapsamı dinamik değerlendirme	Hayır	Hayır	Evet	Hayır	Hayır	Hayır
Aşağıdakiler için artan manuel müdahaleler karbon azaltımı ve gerçek zamanlı değerlendirme	Eve	Evet	Hayır	Hayır	Evet	Hayır
Aşağıdakiler için artan manuel müdahaleler karbon yutakları ve gerçek zamanlı değerlendirmeler	Evet	Evet	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır
Karbon azaltma ağırlıkları kapsamında	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Orta	Düşük
Karbon ağırlığı yutar kapsamında	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Orta	Düşük
Veri Analizi Görselleştirme	Yüksek	Orta	Orta	Yüksek	Düşük	Düşük
Kullanım sürecinin rahatlığı	Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek	Orta	Düşük
Platform Paylaşılabilirliği	Düşük	Orta	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük

Kentsel CO₂ değerlendirmesine yönelik yukarıdaki iki yaklaşımın dezavantajlarına ek olarak, daha da önemlisi, yukarıda belirtilen hesaplama sistemlerinin uyarlandığı mekansal hesaplama ölçekleri çoğunlukla şehir veya yerel mahalle tabanlıdır ve küçük ölçekli kentsel tasarım CO₂ hesaplamalarına uygulanamaz. Ayrıca, hem hesaplama sistemleri hem de müdahale sistemleri standartlaştırılmış mekansal birim hesaplamalarından yoksundur ve şehirlerdeki yerel mekansal karbon değerlendirmesinin sonuçlarını doğru bir şekilde dikkate alamamaktadır. Doğru bir şekilde değerlendirmek ve ardından hassas bir şekilde yönetmek mümkün değildir ve karbon azaltma müdahalelerinin güvenilirliğinin hafife alınmasına veya abartılmasına da yol açabilir. Buna ek olarak, karbon azaltma çalışmalarının müdahalesi, karbon kaynağı azaltımı ve karbon yutak önlemlerinin kombinasyonunu dikkate almamaktadır. Spesifik müdahale önlemleri, müdahale tasarımı çalışmasındaki kentsel mekansal tasarım taşıyıcılarıyla doğrudan ilişkili değildir ve bu da kentsel tasarıma etkili şekilde rehberlik edemez.

Yukarıdakiler göz önüne alındığında, bu çalışmanın amaçları şunlardır:

- (1) Kentsel bina kümeleri ölçeğinde karbon-nötr bir değerlendirme sistemini yeniden yapılandırmak;
- (2) Karbon nötrlüğü hedefiyle kentsel planlama için bir müdahale portföyü gerçekleştirmek;
- (3) Değerlendirme sonuçlarını ve müdahale tasarım sonuçlarını kentsel alanlarda somut olarak konumlandırarak kentsel küçük ölçekli CO₂ değerlendirmesi ve müdahaleleri için pratik teorik destek sağlamak.

Bu makalenin yenilik noktaları şunlardır:

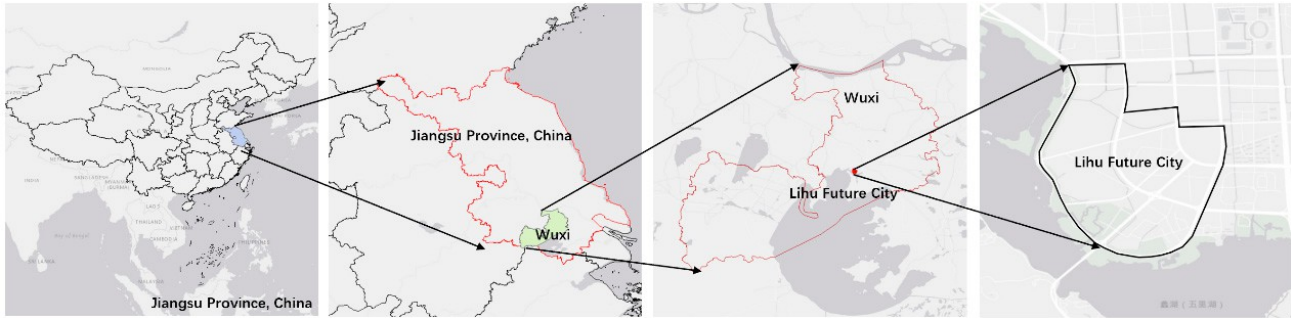
1. Planlamacılar ve karar vericiler için farklı ölçeklerdeki karbon göstergelerini görsel olarak karşılaştırmak için uygun olan 100m * 100m kentsel bina kompleksi alanında karbon emisyonu ve karbon yutağının ince değerlendirmesi.
2. Kentsel bina kümelenme alanında karbon nötrlüğü hedefine ulaşmak ve belirli bir alanı konumlandırmak için daha kapsamlı karbon azaltma önlemleri alın ve konumlandırmanın planlanması ve uygulanması için rafine öneriler ortaya koyun.
3. Karbon nötrlüğü perspektifiyle, endüstriyel dönüşüm, enerji kullanım türleri, ekolojik alan düzeni ve yeşil bina entegrasyonu konularında önerilerde bulunuyoruz.

2. Metodoloji ve Veri Hazırlama

2.1. Veri Kaynağı

Lihu Future City, Çin'in Jiangsu Eyaleti, Wuxi Şehrinin ortasında yer almaktadır. Lihu Future City'nin çekirdek alanı yaklaşık 3,7 kilometrekaredir ve 120° 14'8"-120° 15'32" E ve 31° 31'6"-31° 32'32" N adreslerinde yer almaktadır. Lihu Future City, kentin bilim ve inovasyon alanı, peyzaj turizmi ve eğlence alanlarının bilim ve inovasyon değişim merkezi işlevlerini taşıyacaktır.

Taihu Gölü çevresinde. Bu nedenle, gelecekteki Lihu kentinde karbon nötrlüğü hedefine ulaşmak için yeni kasabanın inşa edilmesi hayati önem taşımaktadır (Şekil 1).



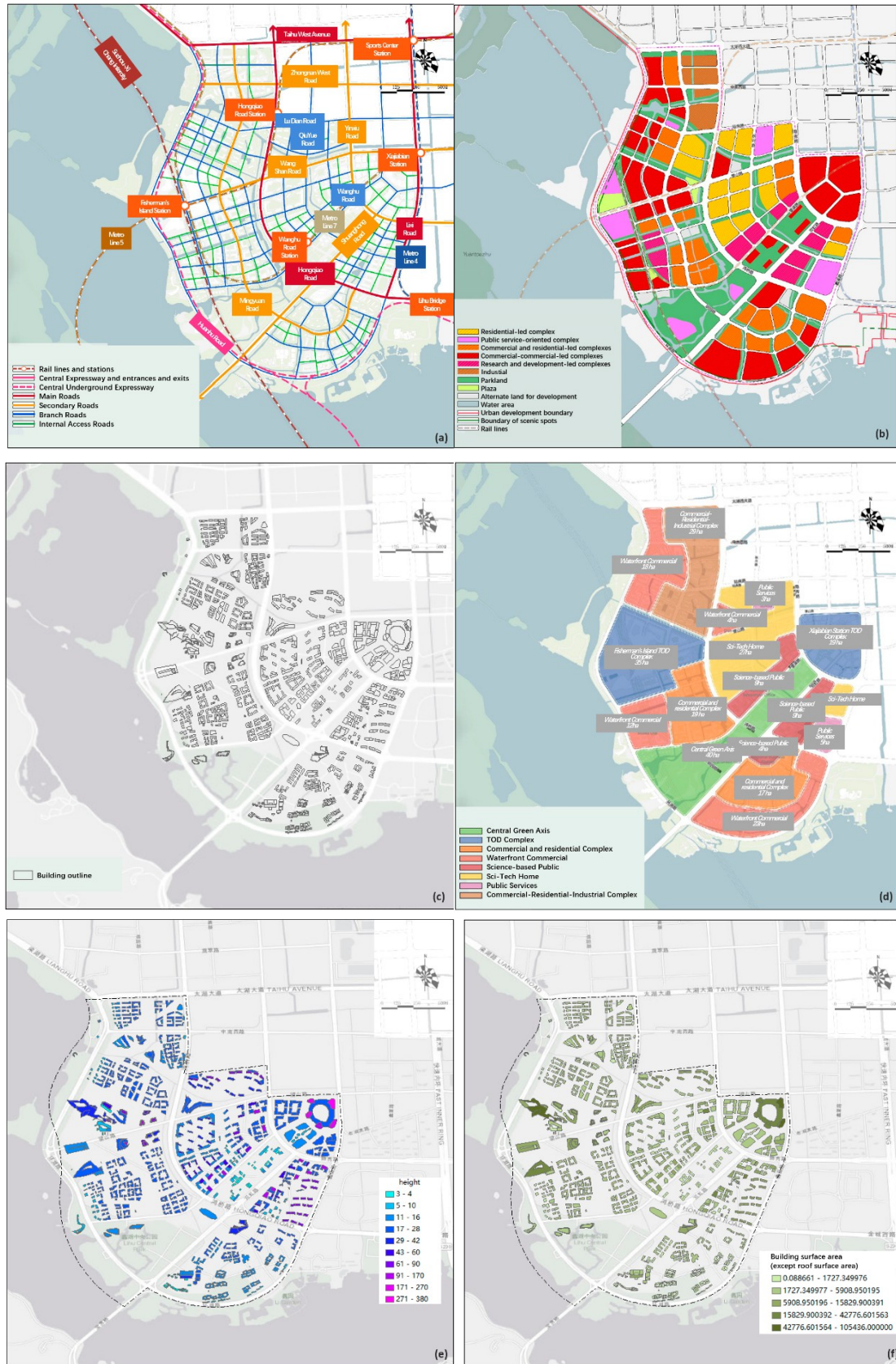
Şekil 1. Lihu Gelecek Şehir Konum Haritası.

Bu çalışma, Lihu Geleceğin Şehri'nin ilk tur ön planının trafik ağı, arazi kullanımı, bina ile ilgili ve işlevsel bölgeleme verilerini toplamıştır. Tüm veriler "Wuxi Lihu Geleceğin Şehri Master Planı"ndan alınmıştır. Yol ağı ana yolları, tali yolları, şube yollarını, iç erişim yollarını vb. içermektedir. Arazi kullanımı, konut öncülüğünde birleşik, kamu hizmeti tesisi öncülüğünde birleşik arazi, ticari işletme ve konut öncülüğünde birleşik arazi, ticari işletme öncülüğünde birleşik arazi, teknoloji Ar-Ge öncülüğünde arazi, parklar, yeşil alanlar ve işlevsel bölgelendirmeyi içermektedir. Arazi kullanımı, konut öncülüğünde birleşik arazi, kamu hizmeti tesisi öncülüğünde birleşik arazi, ticari ve konut öncülüğünde birleşik arazi, ticari ve ticari öncülüğünde birleşik arazi, teknoloji Ar-Ge öncülüğünde birleşik arazi, park yeşil alanı, meydan arazisi, geliştirme rezerv arazisi ve su alanını içermektedir. Bina ile ilgili veriler arasında bina yüksekliği verileri, bina alanı verileri ve bina profili verileri yer almaktadır. Yedi tür işlevsel bölgeleme verisi bulunmaktadır: merkezi yeşil aks, TOD kompleksi, ticari ve konut kompleksi, su kenarı ticari, bilim ve teknoloji öncülüğündeki kamu, bilim ve teknoloji öncülüğündeki ev ve kamu hizmetleri (Şekil 2 ve 3).

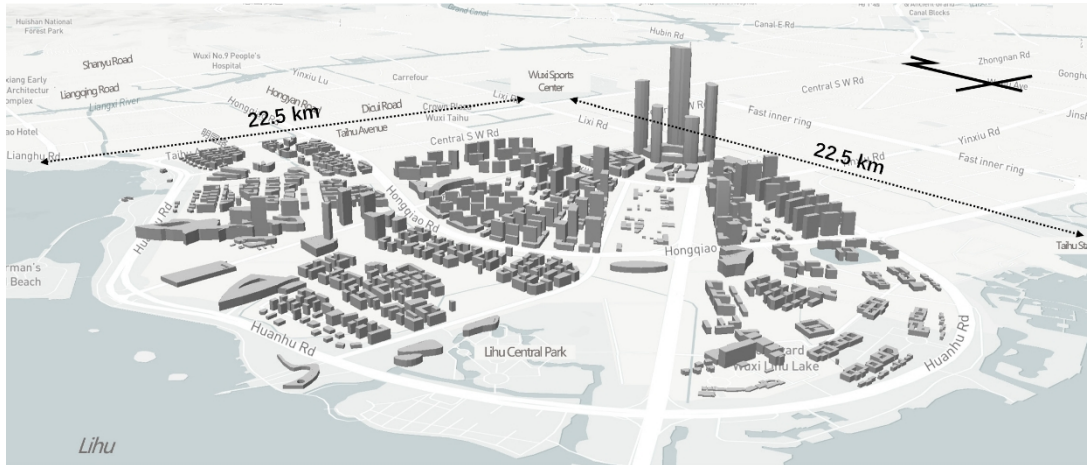
2.2. Metodoloji: Kentsel Bina Kümeleri Ölçeğinde Tasarım Yoluyla Karbon-Nötr Hedef Yollarının Optimizasyonu

Tasarım sürecinde kentsel kümelerin farklı ölçeklerinde karbon nötrlüğüne ulaşmak için karbon değerlendirme ve müdahalelerinin hesaplama sistemi yeniden yapılandırılmıştır:

1. Hesaplama sistemindeki değerlendirme faktörlerinin sınıflandırılmasının her ölçekteki mekânsal birimlere genelleştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, hesaplama modülleri ve yöntemleri, müdahalelerin yanı sıra mekânsal birimlerdeki mekânsal unsurlara da uygulanabilir.
2. Müdahale tedbirlerinin tasarımı sadece strateji formülasyonu ile sınırlı aynı zamanda karbon müdahale tedbirlerinin karbon azaltma veya yutak potansiyelinin nicel bir şekilde tahmin edilmesi ve nicel değerlendirme temelinde tüm kategori ve tüm unsur taşıyıcısı gerçekleştirilebilecek karbon müdahale yöntemlerinin, örneğin hem karbon azaltma hem de karbon yutak tedbirlerinin farklı kombinasyon senaryolarının kapsamlı bir şekilde ele alınması gerekmektedir.
3. Değerlendirme sonuçları ve nicel müdahale tasarımı, farklı kentsel ölçekte planlama ve tasarım için sezgisel ve etkili tasarım stratejileri sağlamak amacıyla değerlendirme sonuçlarının ve müdahale sonuçlarının görsel olarak görülebilmesi için en küçük standart mekânsal birime yerleştirilmiştir.



Şekil 2. Veri hazırlama Veri hazırlama: (a) yol ağı, (b) arazi kullanımı, (c) mimari şema, (d) işlevsel bölgeleme, (e) bina yüksekliği, (f) bina yüzey alanı (çatı yüzey alanı hariç) [24].



Şekil 3. Mimari şema. Mimari şemanın havadan görünümü.

2.2.1. Kentsel Bina Kümeleri için Karbon Nötr Değerlendirme Modellerinin Yeniden Yapılandırılması Geleneksel endeks değerlendirme sisteminin birimleri ve hesaplama yöntemleri

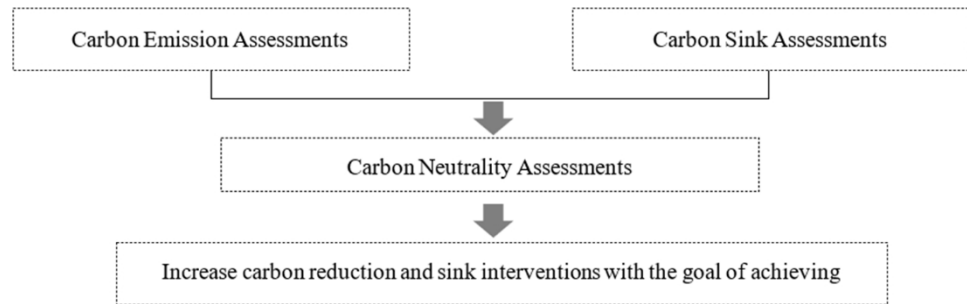
tekdüzedir ve tüm şehirler için değerlendirilemez [25]. Bina kümeleri, tek bina kent ölçeğinden ve hatta daha büyük farklıdır. Bina kümeleri, kentin tüm unsurlarını içeren, ancak mikro alanlarla etkili bir şekilde bağlantı kurmaya yetecek kadar kentlerin kurucu birimleridir, böylece şehir planlamacılarının ve kentsel karar vericilerin kentsel alanı çoklu ölçeklerde analiz etmesini ve ayrıntılı kararlar almasını kolaylaştırır (Tablo 3). Bu nedenle, bina topluluğu ölçeğinde karbon-nötr bir bakış açısıyla planlama ve tasarım, kentsel karbon azaltımının zorluklarını ele almanın en etkili yollarından biridir. Bu nedenle, kentsel bina kümeleri için makul bir karbon-nötr değerlendirme modeli oluşturmak çok önemlidir [26].

Tablo 3. Kentsel Yapı Kümesi Araştırma Ölçeği.

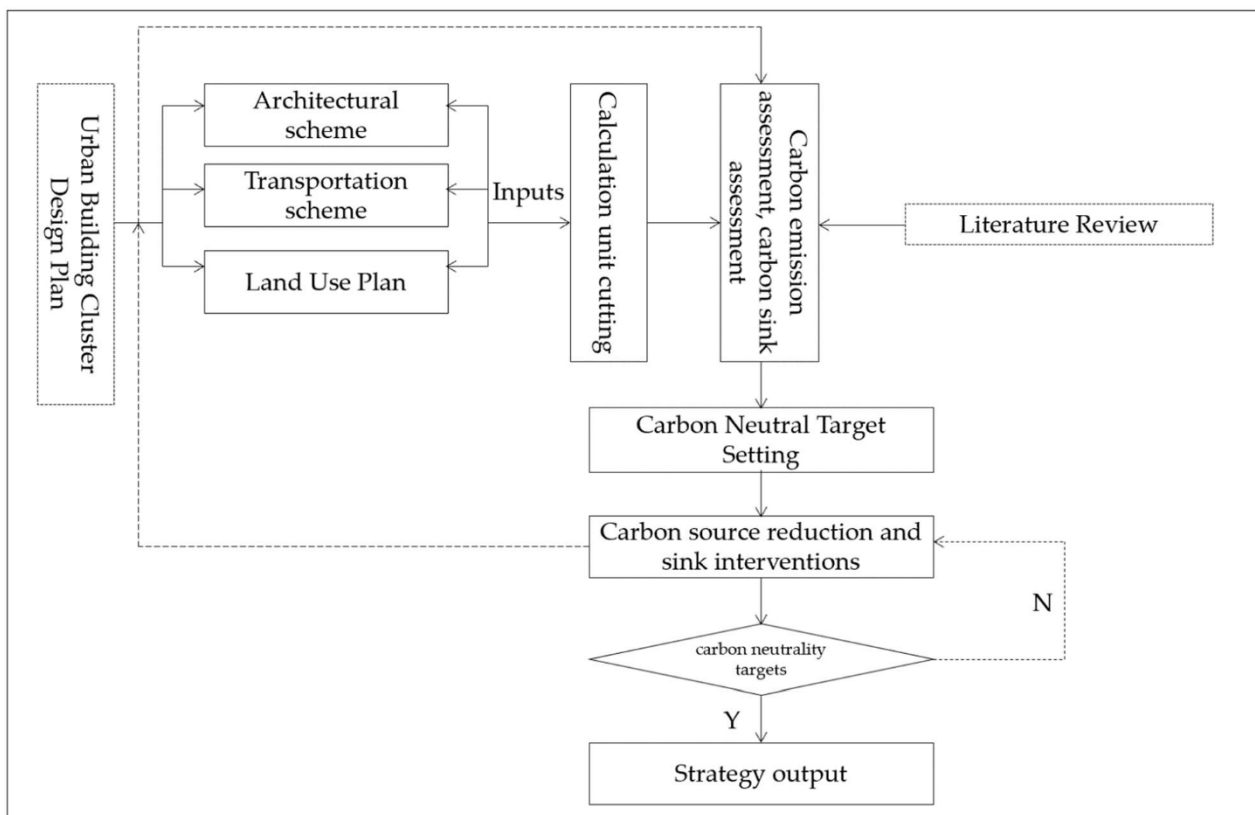
Kentsel Yapı Kümesi Araştırma Kapsamı	Ölçek	Karbon Nötr Birimler
Ulusal, il, ilçe ve il çapında	–	MT
Kentsel tasarım (küçük ölçekli)	>500,000 m ²	MT
Kısmi Alan	>40.000 m ² , ≤500.000 m ²	10 KT
Tek Bina	≤40,000 m ²	T

Bina topluluğu ölçeği, binalar, bina operasyonları ve kümeler arasındaki trafik akışları gibi mekânsal taşıyıcıların karbon bilgilerini bir araya getirmektedir. Buna göre, bu çalışma kentsel karbon kaynaklarını özetlemiş, kentsel karbon emisyonu hesaplama yöntemlerini düzenlemiş ve kentsel karbon kaynaklarını üç ana kentsel karbon kategorisine ayırmıştır. Kentsel karbon emisyonlarının ilk türü, klima, havalandırma, ısıtma, aydınlatma ve asansör işletimi gibi binanın kendi bakım ve enerji tüketiminden kaynaklanan karbon emisyonları gibi, esas olarak bina bakım ve işletiminden kaynaklanan insan kullanımından kaynaklanan karbon emisyonlarıdır. Kentsel karbon emisyonlarının ikinci türü, özellikle ticari kullanım nedeniyle binadan kaynaklanan endüstriyel enerji tüketiminden kaynaklanan karbon emisyonlarıdır. Üçüncü kategori ise seyahatlerden kaynaklanan karbon emisyonlarıdır; bunlar çoğunlukla bina kümelerinden ve binalar ile dış arasındaki metro ve otobüs gibi ulaşım hizmetlerinden kaynaklanan karbon emisyonlarıdır. Yukarıdaki karbon emisyonu sınıflandırma yöntemine dayanarak, kentsel tasarım şemasının karbon emisyonunu ve karbon yutağını değerlendirmek için entegre bir karbon emisyonu ve karbon yutağı hesaplama yöntemleri çerçevesi oluşturduk ve kentsel tasarım şemaları için bir karbon nötr değerlendirme sistemi kurduk (Şekil 4). Aynı zamanda, tasarımın karbon nötr sonuçları

şeması, kentsel planlama aşamasında karbon nörlüğü hedeflerini gerçekleştirmek için karbon azaltma müdahalelerine göre dinamik olarak hesaplanmıştır (Şekil 5).



Şekil 4. Karbon Değerlendirme ve Müdahale Karbon Değerlendirme ve Müdahale Teorisi Modu.



Şekil 5. Karbon değerlendirme ve müdahale modeli tasarımı. Karbon değerlendirme ve müdahale modeli tasarımı.

Yukarıda belirtilen üç tür kentsel karbon kaynağına göre, bu çalışmaya insan kullanımından kaynaklanan bina karbon (CE_H), endüstriyel enerji tüketiminden kaynaklanan karbon emisyonları (CE_I) ve seyahatten kaynaklanan karbon emisyonları (CE_T) olmak üzere üç tür karbon emisyonu çalışması dahil edilmiştir. Bu üç tür karbon emisyonunun toplamı (CE), bina kümesinin karbon emisyonlarını değerlendirmek için bir gösterge olarak kullanılmıştır. Karbon nötr değerlendirme için temel hesaplama modeli aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$CN^{t_{yr.}} = CE^{t_{yr.}} - CS^{t_{yr.}} \quad (1)$$

Bu çalışma, müdahale önlemleri olarak kentsel doğal karbon yutaklarını ve karbon kaynağı azaltımını içermektedir. Mekânsal modele enerji karbon azaltımı, sanayi karbon azaltımı ve yeşil alan karbon yutağı müdahaleleri yüklenerek kentsel planlama ve tasarımdaki farklı müdahale koşullarının karbon kaynaklarındaki değişimler üzerindeki etkileri simüle edilmiştir.

tasarım şemasının emisyon ve karbon yutağı. Buna ek olarak, karbon azaltım ve yutak önlemleri özellikle dört kentsel tasarım unsuruna yerleştirilmiştir: binalar, yollar, su sistemleri ve arazi kullanımı.

Modeldeki karbon nötr müdahaleler için temel denklem aşağıdaki gibidir:

$$CE = X + \sum_{i=0}^n f(w_i, v_i) \quad (2)$$

$$X = CE_H + CE_I + CE_T \quad (3)$$

Burada, X referans karbon emisyonu projeksiyonunu, CE_H binaların antropojenik kullanımından kaynaklanan karbon emisyonunu, CE_I endüstriyel enerji tüketiminden kaynaklanan karbon emisyonunu, CE_T seyahatten kaynaklanan karbon emisyonunu ve $f(w_i, v_i)$ i kategorilerinin karbon azaltma veya yutak tedbirleri kurallarını temsil etmektedir.

Bina faaliyetlerinden kaynaklanan karbon emisyonları CE_H , konut binaları, ticari binalar, kültürel, eğitim binaları, araştırma binaları, spor binaları, tıbbi binalar, tesis binaları ve endüstriyel binalar dahil olmak üzere ülke çapındaki kamu binalarının birim alanı başına emisyonlarına dayalı olarak hesaplanmıştır. Bazı çalışmalar Çin'de birim endüstriyel arazi başına ortalama enerji tüketiminin $104/\text{hm}^2$ olduğunu göstermiştir [27]. Endüstriyel binaların birim alanı başına ortalama karbon emisyonunun olmaması nedeniyle (Tablo 4), bu çalışma endüstriyel arazinin birim alanı başına karbon emisyonunu binanın birim alanı başına karbon emisyonu olarak hesaplamış ve enerji türünün karbon emisyon katsayısına dayalı olarak endüstriyel binalardan kaynaklanan karbon emisyonunu hesaplamıştır. Endüstriyel enerji tüketiminden kaynaklanan karbon emisyonları, esas olarak endüstriyel binaların üretim sürecinde gerekli olan enerji yapısından kaynaklanan karbon emisyonları için, endüstri türünün gerektirdiği enerji türüne göre hesaplanmıştır ve ifade aşağıdaki gibidir:

$$CE_H = BE_i \times S_i \quad (4)$$

Tablo 4. Birim taban alanı başına karbon emisyonları.

Arazi Kullanım Türü	Bina Tipi	Binaya Özel Kategoriler	Karbon Emisyonu (kg CO ₂ /m ²)
Konut, Ticari ve Yerleşim	Konut binaları	Şehir ve kasabalardaki konut binaları	90.79
Yönetim	Ofis binaları	Hükümet ofis binaları	65.12
Tıbbi Arazi	Tıbbi binalar	Hastaneler	76.26
Spor	Spor	Spor Kompleksleri	89.66
Ticari	Ticari binalar	Oteller ve restoranlar	109.11
Ticari, Ticari ve Konut	Ticari binalar	Süpermarketler	122.99
Ticari	Ticari binalar	Ahşveriş merkezi binası	179.15
Kültür, Eğitim ve Araştırma	Kültürel binalar, Araştırma binaları	Lise binası	40.59
Tüm arazi türlerini kapsar	Ofis binaları	Genel ofis binaları	64.08

Burada BE_i , i sınıfı binanın birim alanı başına karbon emisyon katsayısını, S sınıf i kategorilerinin taban alanını temsil eder.

$$CE_T = \frac{E_i}{\sum_i E} \times 10^4 \times S \times EE_{ij} \quad (5)$$

Burada, E_i i kategorisinin toplam enerji tüketimini, $\sum E$ ise toplam enerji tüketimini temsil etmektedir.

i enerji tüketimini, S taban alanını ve EE_i karbon emisyonunu temsil eder. i kategorisinin enerji birimi başına katsayısı.

Seyahat karbon emisyonları $CE_{(T)}$, toplayıcı yol, arteriyel yol, ana yol, otoyol ve karayolu dahil olmak üzere farklı yol türlerinin trafik karbon emisyonlarına göre hesaplanmıştır.

otoyolu ve yol türlerine göre karbon emisyonlarındaki eşitsizlik gösterilmektedir [28] (Tablo 5). Changzhou, Çin'in doğusunda Wuxi ile benzer bir gelişmişlik düzeyine sahip tipik bir şehir örneğidir, bu nedenle bu çalışmada Changzhou şehri ile ilgili ulaşım karbon emisyonları (tabloda gösterildiği gibi) çalışma için alıntılanmıştır ve ifade aşağıdaki gibidir:

$$CE_H = TE_i \times T_i \quad (6)$$

Tablo 5. Birim yol başına karbon emisyon faktörü.

Yol Tipi	Karbon Emisyonu (t)	Karbon Emisyonu (m başına kg)
Toplayıcı yol	1099.67	1.53
Arteriyel yol	1416.39	1.96
Ana yol	167.73	0.40
Otoyol	79.65	0.58
Otoyol	84.39	0.41

Burada TE_i , i sınıfı yolun birim uzunluğu başına karbon emisyon katsayısını ve T_i , i sınıfı yolun uzunluğunu temsil eder.

Karbon yutağı (CS) açısından, IPCC ve mevcut ilgili araştırmalara [29–31] atıfta bulunularak, farklı arazi kullanım türlerinin karbon yutak katsayıları belirlenmiştir (Tablo 6) [32]. Yeşil çatıların bitki örtüsü katmanı ve toprak katmanı fotosentez yoluyla havadaki karbondioksiti yakalayabilir, bu nedenle yeşil çatılar kentsel karbondioksit emisyonlarını azaltmanın etkili yollarından biri olabilir [33]. Dikey yeşillendirme sistemi, bir binanın cephesinde sabit bir bitki yapısıdır [34]. Model, ekili alan, ormanlık alan, bahçe, otlak, sulak alan, çatı yeşillendirmesi ve cephe yeşillendirmesi gibi yeşil alan sistemlerinin karbon emilimi ve dönüşümü de dahil olmak üzere şehrin karbon yutağına odaklanmıştır. İfadeler aşağıdaki gibidir:

$$CS = \frac{1}{1000} \sum A_i \cdot EF_i \quad (7)$$

Burada CS , Grönland karbon yutağı tarafından karbon tutulumunu, tCO_2/a , A_i , i tipi Grönland'ın alanını, m^2 , EF_i , i tipi 'ın karbon tutulum katsayısını, $kg CO_2/m^2$ temsil etmektedir.

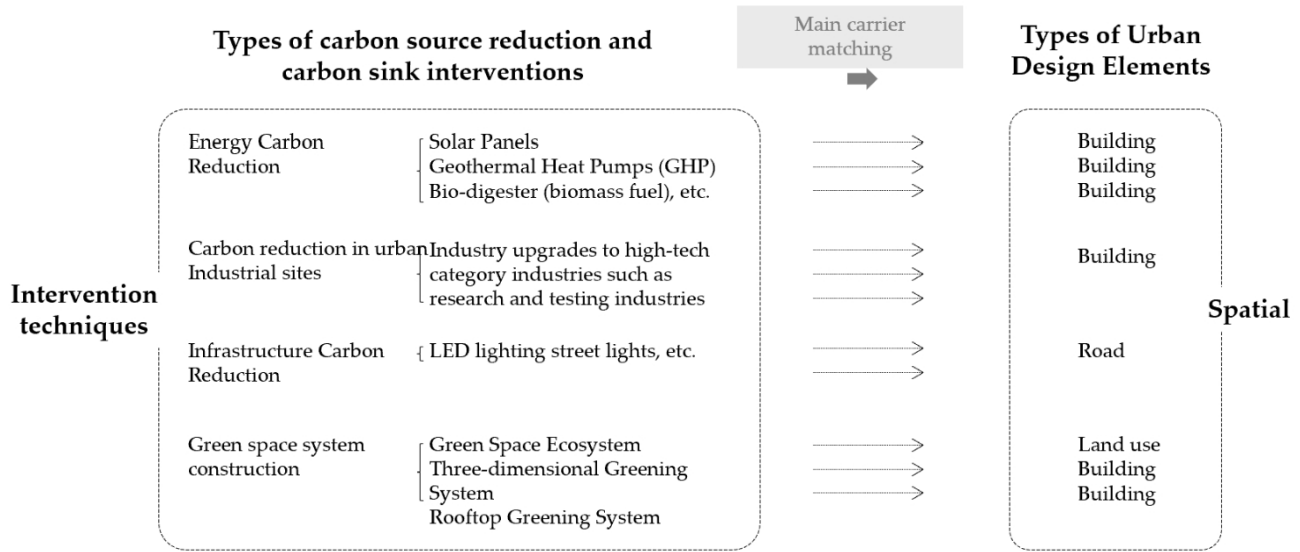
Tablo 6. Farklı yeşil alan türleri için Farklı yeşil alan türleri için karbon emisyon faktörleri.

Grönland Kullanım Türü	Karbon Emme Katsayısı ($kg CO_2/m^2$)	Referanslar
Forestland (Zhejiang, Çin)	9.7	Yin, Gong ve diğerleri (2022) [35]
Otlak	0.021	Zhang ve diğerleri (2018) [29]
Bahçe parselleri	0.1847	Zhang ve diğerleri (2015) [29]
Çatı bahçesi	1.35	Cascone, Catania ve diğerleri (2018) [36] [37]
Üç boyutlu yeşillendirme Shafique,	4.042	Marchi, Pulselli ve diğerleri (2015) [38] Xue ve diğerleri (2020) [37]

2.2.2. Karbon Azaltma ve Yutak Önlemlerinin Seçimi

Üç tür kentsel karbon kaynağına karşılık gelen karbon azaltma teknolojilerinin seçimi, kaynak emisyonundan son kullanım emilimine kadar karbon elementi akışı süreci etrafında dönmelidir. Önlemler, bina kümelerinde karbon azaltma teknolojilerinin dört kümesine odaklanmıştır: bina enerji azaltma teknolojileri, endüstriyel yapı iyileştirme, altyapı karbon azaltma teknolojileri ve yeşil alan karbon yutak sistemi geliştirme teknolojileri. Bu çalışma, bu dört bina kompleksinde yaygın olarak kullanılan belirli öncü teknoloji türlerine odaklanmıştır. Karbon azaltma potansiyellerinin ölçülmesini tartıştık ve belirli teknoloji türlerinin önde gelen dağılım vektörlerini kentsel bina komplekslerinin tasarım unsurlarıyla ilişkilendirdik (Şekil 6).

Son olarak, farklı tasarım çözümleri için etkili karbon azaltma müdahalelerinin seçimini uyarladık.



Şekil 6. Karbon azaltımı ve karbon yutağı yaklaşımlarının kentsel tasarım unsurlarıyla eşleştirilmesi.

Bina enerji karbon azaltım teknolojileri açısından, küçük ölçekli bina kümeleri için uygun olan birincil enerji karbon azaltım teknolojileri arasında güneş panelleri, jeotermal ısı pompaları (GHP) ve biyodijeneratörler (biyokütle yakıtı) yer almaktadır (Tablo 7). Güneş panelleri ve ısı pompası teknolojileri, geleneksel kömür yakıtlı elektrik üretimiyle ilişkili karbon emisyonlarını azaltmak için güneş ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaktadır. Enerji tedarik türlerinin seçimine ve bunların ortalama CO₂ potansiyeline bağlı olarak, kentsel bina stoku ölçeğinde müdahaleler ve karbon nötr hedeflerine ulaşmaya yönelik planlar geliştirilmektedir. Benzer şekilde, altyapı karbon azaltım teknolojileri açısından, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artıracak LED aydınlatma gibi aydınlatma tesislerinde enerji tasarrufu dikkate alınmalıdır. Çin'in enerji yapısı, ağırlıklı olarak termik enerji üretimi ve kömürden elektrik üretimi olmak üzere Hindistan'a benzemektedir. Bu nedenle, 1 milyon LED sokak lambasının kurulumu yıllık şu kadar enerji tasarrufu sağlamıştır 6,71 milyar kWh ve 1119,40 MW pik enerji talebinden kaçınılmış, bu da Hindistan Planı'nın yılda 4,63 milyon ton CO₂ emisyonunun azaltılmasıyla sonuçlanmıştır [39]. Böylece, bir set LED sokak lambası karbon emisyonlarını yılda ortalama 9,26 ton CO₂ emisyonu azaltmaktadır.

Tablo 7. Yenilenebilir enerji ve karbon azaltım potansiyeli arasındaki ilişkinin nicel hesaplamalarının özeti.

Enerji Kaynağı Türü	CO ₂ Azaltım Potansiyelinin Ortalama Değeri
biyodijesterler (biyokütle yakıtı)	−29%
elektrik üretmek için çatı alanının %50'sinde güneş panelleri	−4%
jeotermal ısı pompaları (GHP)	−13%

İnşaat sektörü yapısındaki karbon teknolojisi açısından, karbon emisyon yoğunluğu (CI), bir ülkenin (bölgenin) gerçek ekonomik gelişimini ve CO₂ emisyonlarını karbon emisyonlarından daha bilimsel bir şekilde yansıtabilen birim GSYİH başına karbon emisyonlarını ifade eder [40]. Endüstriyel yeniden yapılanma, ekonomik dönüşümü sağlamak ve karbon emisyonlarını azaltmak için kritik araçlardan biridir [41]. Endüstriyel yapı evriminin genel kuralına göre, endüstriyel yapının ağırlık merkezinin birincil endüstrilerden üçüncül endüstrilere kaymasına genellikle geleneksel endüstrilerin düşük kirlilikli, düşük enerji tüketen ve yüksek katma değerli yeni endüstrilerle kademeli olarak yer değiştirmesi eşlik eder.

sadece faktör üretim verimliliğini iyileştirmekle kalmaz, aynı zamanda enerji tüketim yoğunluğunu da azaltır, böylece karbon emisyonunun azaltılmasını olumlu yönde etkiler [42-44]. Bu çalışma, iki göstergenin nicel değerlerini hesaplayarak üretim kategorisindeki sanayi türlerinin seçimine veya yükseltilmesine öncelik vermiştir. Endüstriyel yapı optimizasyonunun karbon emisyonu yoğunluğu üzerinde önemli bir negatif etkisi olmuştur. İlgili değişkenler kontrol edildikten sonra, endüstriyel yapı optimizasyonundaki her %1'lik artış karbon emisyon yoğunluğunu %1,117 oranında azaltmıştır [45]. Bu nedenle, Çin eyaletlerinin endüstriyel dönüşüm ve iyileştirme hızını artırmaya devam etmeleri, endüstriyel yapıyı gelişmiş kalkınma yönünde teşvik etmeleri ve geleneksel endüstrilerin dönüşümünü ve iyileştirilmesini teşvik etmeleri önerilmektedir. Bu şekilde, endüstriyel verimliliği artırabilir ve düşük enerji tüketimi ve yüksek çıktı elde etmek için çaba gösterebilirler. Gelişmekte olan stratejik ve yüksek teknoloji endüstriler gibi bilgi ve teknoloji yoğun endüstrilerin oluşumunu hızlandırmak çok önemlidir [45].

Grönland karbon yutak sistemi açısından, karbon azaltımının anahtarı yeşil alan ölçeğini artırmak ve bitki türlerinin karbon yutak verimliliğini dikkate almaktır. Örneğin, bir hektar (2,5 dönüm) orman yılda 1,5 ila 30 metrik ton (1,6 ila 33 ton) karbondioksit emebilir, ancak aynı alandaki çim alanın karbon yutağı ağaçlarınkinin yüzde biri, hatta binde biridir. Bu nedenle, karasal yeşil alan ekosistemlerinin inşasında ağaç dikim teknolojisine veya karbon yutuculuğunu verimli bir şekilde gerçekleştirebilen benzersiz bitkilere ya da orijinal bitki örtüsünün optimizasyon teknolojisine öncelik verilmelidir. Buna ek olarak, bina kümeleri için karbon azaltma teknolojisi seçiminde üç boyutlu yeşillendirme ve çatı yeşillendirme teknolojisi göz önünde bulundurulabilir. Yoğun yapılaşmış alanlarda üç boyutlu yeşillendirme ve çatı üstü yeşillendirmedeki artış, toplam karbon yutağındaki artış açısından nispeten sınırlıdır. Bununla birlikte, cephede (pencereler hariç) potansiyel alan aralığına ilişkin kaba bir tahmin, şehir içindeki binaların zemin ayak izinin iki katıdır. Yeşil çatılarla karşılaştırıldığında, cephe yeşillendirmesi ile bitkilendirilmiş bina yüzeylerinin çevresel faydalarını gerçekleştirmek için daha da muazzam bir potansiyel vardır. VGS, kentsel tasarımın yenilikçi bileşenleri olarak ve yeşil alanlardan yoksun yapı çevrelerde yeşilliği artırarak birçok fayda sunmaktadır [46]. Karbon yutaklarını artırma teknolojilerinin karbon azaltma potansiyeli, yeni bitki türleri ve artan yeşillik ve çatı üstü yeşillik alanlarının karbon yutak verimliliği hesaplanarak ölçülmüştür.

2.2.3. Kentsel Bina Kümesi Ölçeğinde Karbon Nötr Değerlendirme ve Müdahale Sonuçları

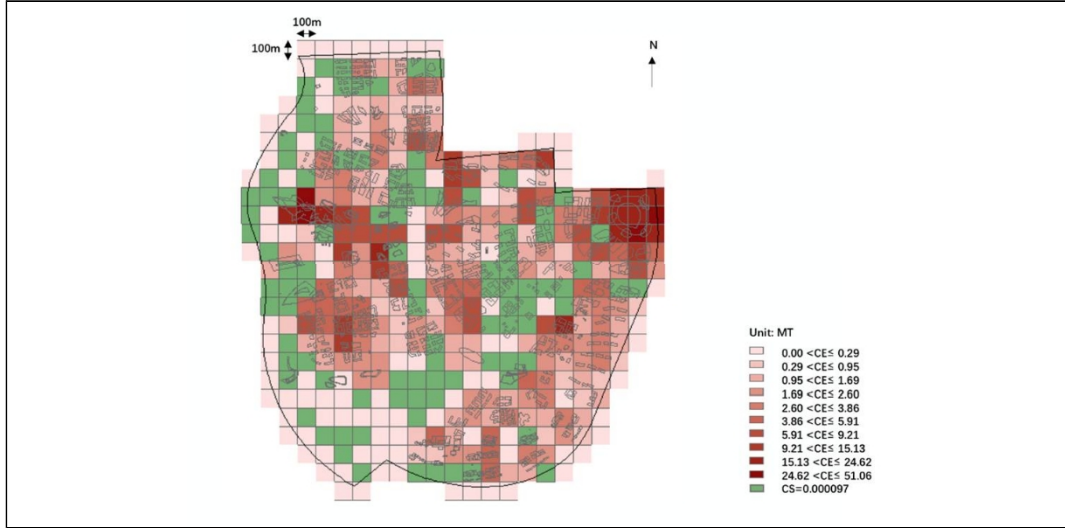
Değerlendirme modeli, kentsel bina kümeleri ölçeğinde şehir karbon emisyonu ve karbon yutak değerlerini doğru bir şekilde değerlendirmek için kentsel tasarım şemasını standartlaştırılmış bir hesaplama ızgarasına bölmelidir. Ters mesafe ağırlıklı yöntem (IDW) genel mekansal dağılımı tahmin edebilir ve diğer fark yöntemlerine göre sınırlı örnek noktalarıyla daha yüksek tahmin doğruluğuna sahiptir [47]. Arcmap platformunu temel alan Ters mesafe ağırlıklı yöntem, karbon emisyonu ve karbon yutak değerlerini 100m*100m'lik bir ızgaraya atamak kullanılır. Değerlendirme kapsamı serbestçe tanımlanabilir, bu da tek binalar ve bina kümeleri gibi farklı tasarım ölçeklerinin karbon emisyonlarını ve karbon yutaklarını değerlendirmeye yardımcı olabilir. Ayrıca, müdahalelerin düzeni de belirli binalara, yollara ve zemine düşer ve ızgaranın karbon emisyonları ve yutakları, müdahalelerin türüne ve müdahaleler belirlendikten sonra istiflenen müdahale sayısına göre değişir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

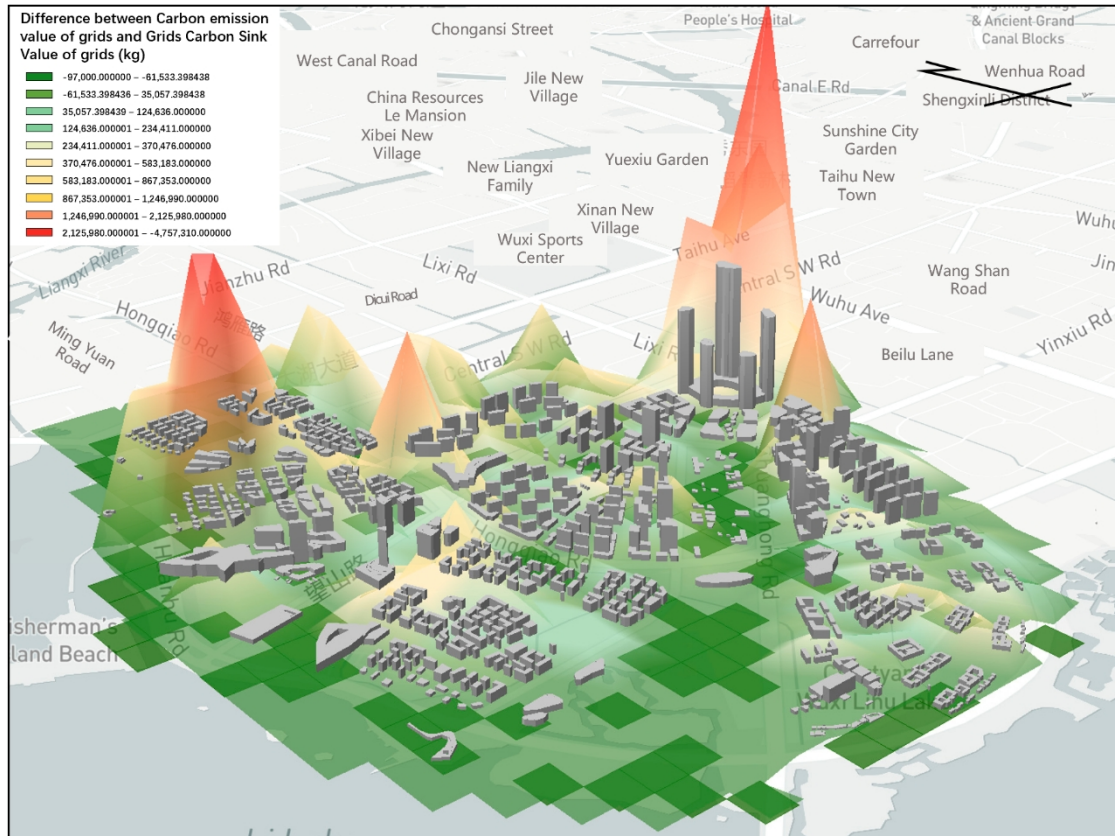
3.1. Karbon Emisyonlarının Mekânsal Dağılımı

Mevcut ekolojik temel yerleşim planına göre, Lihu Future City'nin toplam karbon yutağı yaklaşık 116.000 ton CO₂, toplam karbon azaltımı yaklaşık 0,1 milyon ton CO₂ idi ve karbon-nötr hedefinden yaklaşık 115.000 ton CO₂'lik bir boşluk vardı. Toplam karbon emisyonunun %26'sını oluşturan Xiajiabian Station TOD Kompleksi ve %25'ini oluşturan Fisherman's Island TOD Kompleksi'nin ardından endüstriyel karbon emisyonu

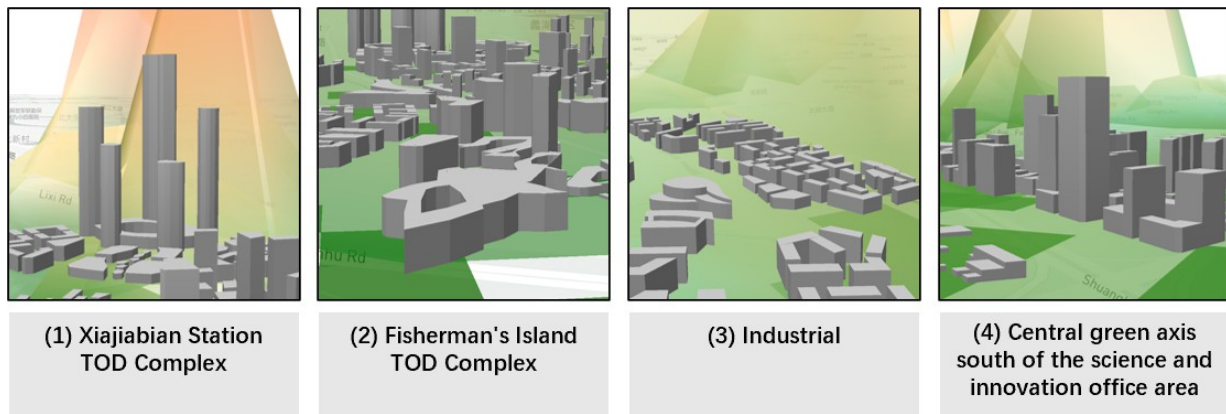
ve Büyüleyici Yaratıcı Mahalle, her biri toplam karbon emisyonlarının %6 ve %4'ünü oluşturmaktadır. Merkezi karbon yutak alanları, tüm karbon %48'ini oluşturan sahil şeridinde yoğunlaşırken, merkezi bahçe eksenini tüm karbon yutağının %27'sini oluşturmuştur (Şekil 7-9).



Şekil 7. Lihu Geleceğin Şehri Lihu Geleceğin Şehri tasarım şemasının 100× 100 m birimindeki karbon emisyonu ve karbon yutağı dağılımı.

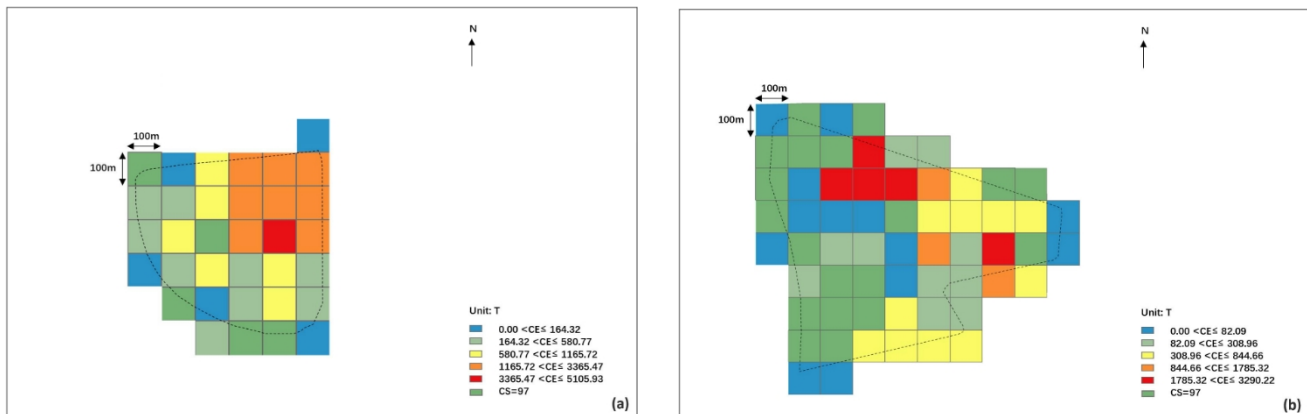


Şekil 8. Lihu Geleceğin Şehri Lihu Geleceğin Şehri tasarım şemasının karbon emisyonu ve karbon yutağı dağılımı (Mapbox platformuna dayalı görselleştirme).



Şekil 9. Yüksek karbon emisyonu Yüksek karbon emisyonu olan bölgeler (Mapbox platformuna dayalı görselleştirme).

Lihu Future City'nin en acil karbon azaltımı gereken ilk 5 100×100 m alanı, Xiajiabian İstasyonu TOD Kompleksi alanı ve Balıkçı Adası TOD Kompleksi'ne dağıtılmıştır. Xiajiabian İstasyonu TOD Kompleksi alanı içinde, karbon azaltımına en acil ihtiyaç duyan alan, yaklaşık 5000 ton karbon emisyonuna sahip olan ve yaklaşık %16'sını oluşturan 1 numaralı alandır (Şekil 10a). Balıkçı Adası TOD Kompleksi alanı içinde, karbon azaltımına en acil ihtiyaç duyan alan, yaklaşık 3000 ton karbon emisyonu ile yaklaşık %10'luk bir orana sahip olan 1 numaralı alandır (Şekil 10b).



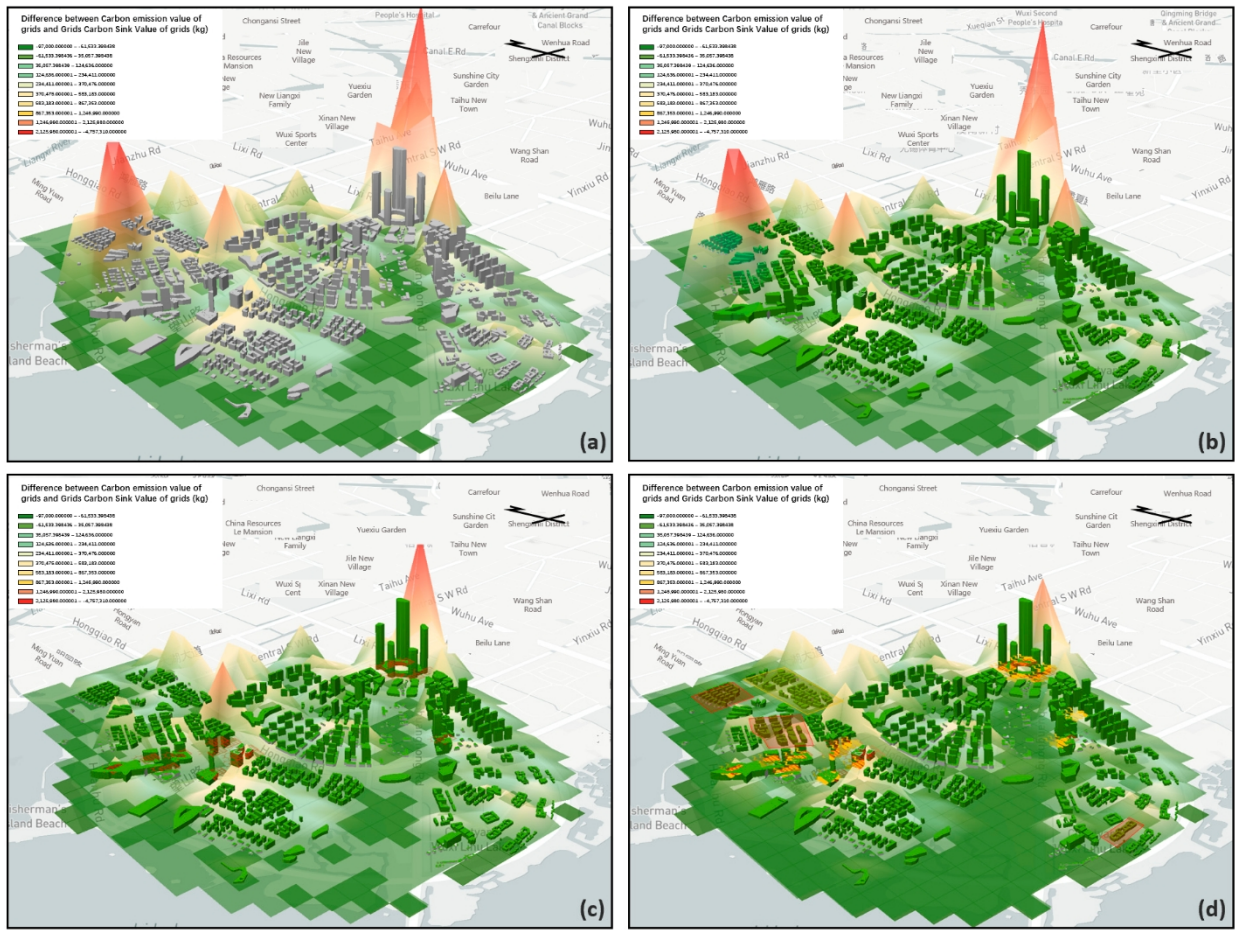
Şekil 10. (a) Xiajiabian İstasyonu TOD Kompleksinin 100×100 m birimindeki karbon emisyonu ve karbon yutağı dağılımı, **(b)** Balıkçı Adası TOD Kompleksinin 100×100 m birimindeki karbon emisyonu ve karbon yutağı dağılımı.

3.2. Karbon-Nötr Önlemlerin Mekânsal Konumunun Gerçekleştirilmesi

Lihu Future City'deki müdahalelerin düzeninde, temel saha niteliklerine, mevcut bina yoğunluğu koşullarına ve büyük bir karbon nötr boşluğuna dayalı olarak, bu çalışmada dokuz tür karbon azaltma önlemi dikkate alınmıştır: yoğun orman dikimi, üç boyutlu yeşillendirme teknolojisi, yeşil çatı sistemi, güneş paneli sistemi, LED sokak lambaları, biyolojik çürütücü, yoğun ticari alanların araştırma odaklı endüstrilere dönüştürülmesi ve sanayi işletmelerinin araştırma pilot endüstrilerine yükseltilmesi (Şekil 11 ve 12).

Dense forest planting	Three-dimensional greening	Rooftop greening	Solar Panel	LED street light	Ground source heat pump	Bio-digester	Conversion of industrial production land to research industry	Conversion of commercial land into industrial land for research and testing

Şekil 11. Farklı müdahale türlerinin diyagramı.



Şekil 12. Lihu Geleceğin Şehri tasarım şemasının Lihu Geleceğin Şehri tasarım şemasının karbon emisyonu ve karbon yutağı dağılımı: (a) Başlangıç Karbon Yutağı ve Karbon Emisyonu, (b) Yeşil çatı müdahalelerinin ve üç boyutlu yeşillendirme müdahalesinin diyagramı, (c) Yeşil çatı müdahalelerinin, üç boyutlu yeşil müdahalelerinin ve güneş paneli müdahalelerinin üst üste **bindirme** diyagramı, (d) Yeşil çatı müdahalelerinin, üç boyutlu yeşil müdahalelerinin, güneş paneli müdahalelerinin, toprak kaynaklı ısı pompası müdahalelerinin ve endüstriyel endüstrilerin ve su kenarındaki ticari alanların araştırma ve deneysel endüstriyel alanlara dönüştürülmesinin üst üste bindirme diyagramı (Mapbox platformuna dayalı görselleştirme).

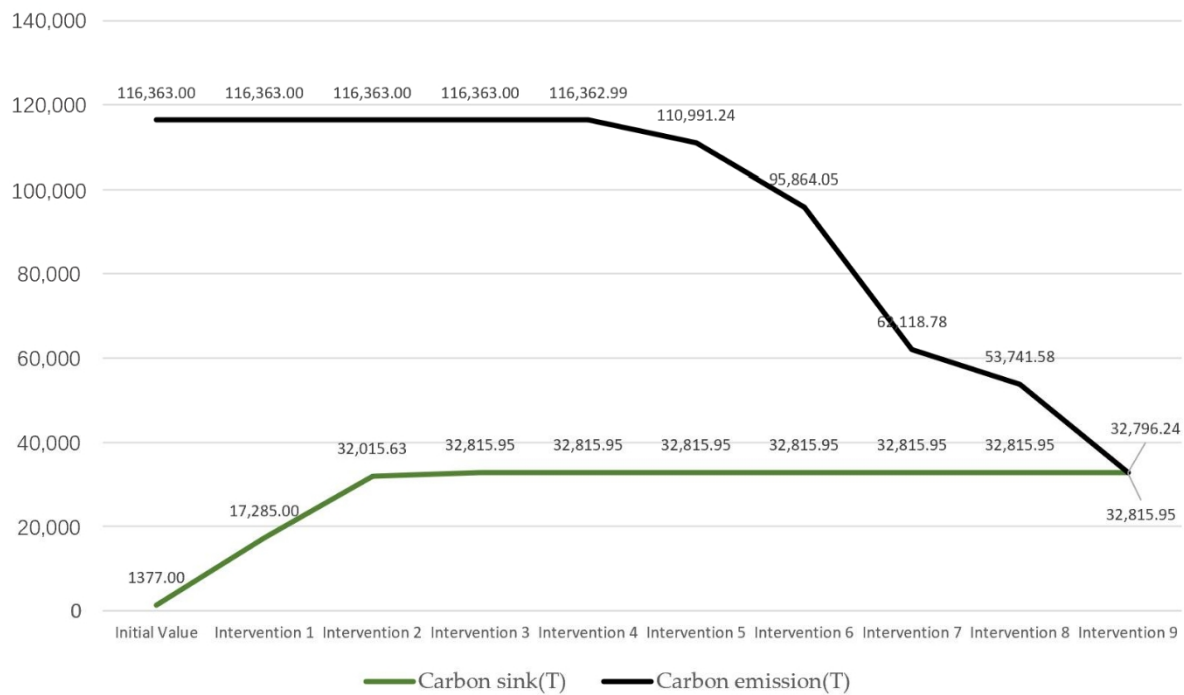
Karbon yutak önlemleri esas olarak Xiajiabian İstasyonu TOD kompleksi, büyüleyici yaratıcı blok, göl kenarı yeşil koridoru, Balıkçı Adası TOD kompleksi, üç boyutlu kompozit peyzaj yeşil eksen ve ortak yoğun orman ekimini artırmak için diğer açık alan alanlarına dağıtılmıştır. Karbon yutak potansiyeli yaklaşık 16.000 tona ulaşarak toplam karbon azaltımının yaklaşık %14'ünü oluşturmuştur. Bölge genelindeki binaların cephe alanındaki üç boyutlu yeşillendirme önlemlerindeki artış ve yeşil çatı teknolojisinin büyümesi, bölge genelindeki binaların çatı alanındaki kapsamlı karbon yutağı ve karbon azaltma potansiyeli 15.500 tona ulaşarak tüm karbon azaltımının yaklaşık %14'ünü oluşturmuştur. Binanın neredeyse tüm alanı için güneş paneli güç kaynağı teknolojisi, toprak kaynaklı ısı pompası ısıtma teknolojisi ve biyolojik çürütücü ısıtma teknolojisi ve Wang Shan Yolu, Yinxiu Yolu, Shuanghong Yolu, Wang Hu Yolu, Huanhu Yolu ve Hongqiao Yolu üzerindeki LED sokak lambası setlerinin düzenlenmesi, karbonu toplam 54.000 ton azaltarak tüm karbon azaltımının %47'sini oluşturdu ve en etkili karbon azaltma önlemleri oldu. Sanayinin bilimsel deneysel sanayilere yükseltilmesi ve su kenarındaki ticari yoğun alanların bilimsel deneysel sanayilere dönüştürülmesiyle toplam 3000 ton karbon azaltılmış ve bu da tüm karbon azaltımının %25'ini oluşturmuştur. Böylece, dokuz bölgenin yerleşim planına göre

karbon azaltma önlemleri alındığında, Lihu Future City'nin tasarım şeması karbon-nötr hedefine ulaşabilir (Tablo 8, Şekil 13).

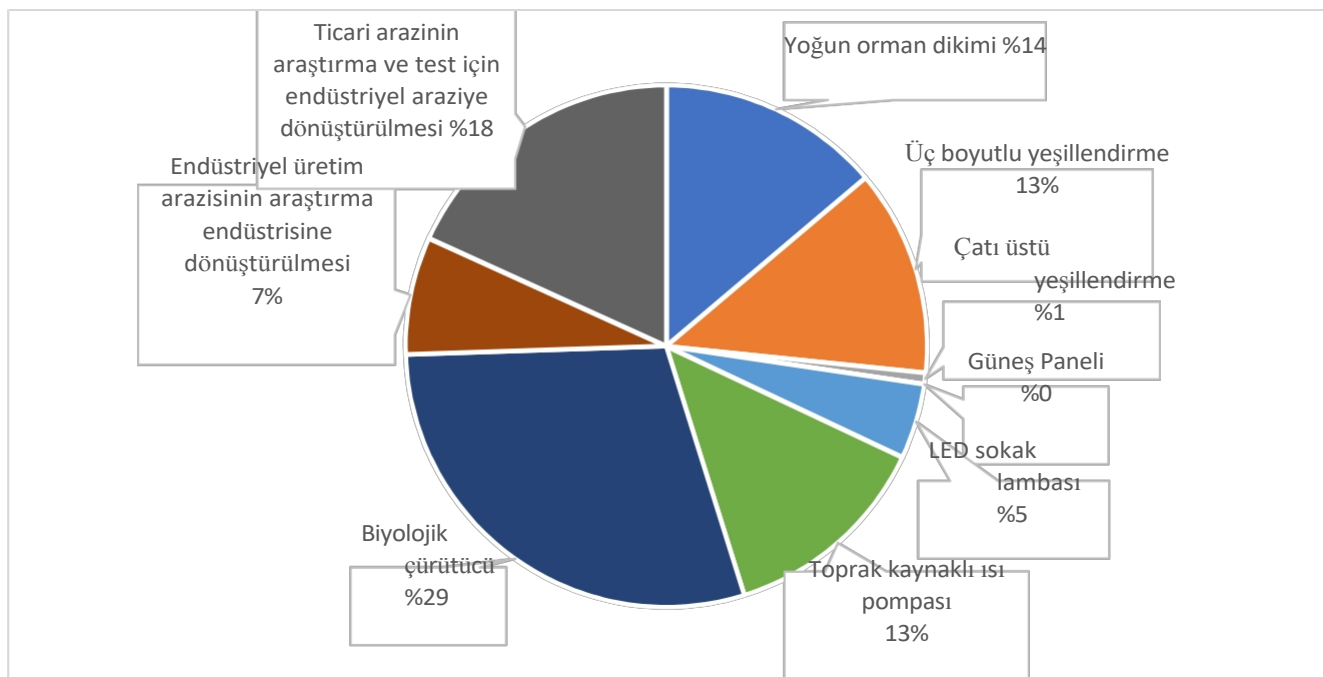
Tablo 8. Karbon kaynağı azaltımı veya karbon yutağı müdahalelerine ilişkin spesifik bilgiler.

	Müdahale Türleri	Spesifik Dağıtım Konum	Miktar	Birim	Karbon Yutağı/Karbon Azaltımı (T)	Karbon Yutağı/Karbon Azaltımı (T)	Karbon Azaltım Yolları
Müdahale1	Yoğun orman dikim	Xiajiabian İstasyonu TOD Kompleksi	40,000	m²	388	15,908	Karbon Lavabosu
		Büyüleyici Yaratıcı Mahalle	700,000	m²	6790		
		Lakeside Yeşil Koridoru	200,000	m²	1940		
		Fisherman's Island TOD Kompleksi	200,000	m²	1940		
		Üç boyutlu kompozit peyzaj yeşil eksen	500,000	m²	4850		
Müdahale2	Üç boyutlu yeşillendirme	Tüm alan bina cephesi	3,644,391.82	m²	14,730.63174	15,530.95	Karbon Yutağı, Karbon Kaynağı Karbon Azaltma
Müdahale3	Çatı üstü yeşillendirme	Tüm bina çatısı	592,830.21	m²	800.3207835		
Müdahale4	Güneş Paneli	Tüm bina çatısı	592,830.21	m²	0.008384313		
Müdahale5 lambası	LED sokak	Wangshan Yolu	50	set	463	54,244.22	Karbon Kaynağı Karbon Azaltımı
		Shuanghong Yolu	30	set	276.8		
		Wanghu Yolu	100	set	926.1		
		Huanhu Yolu	200	set	1852.4		
		Hongqiao Yolu	150	set	1389.45		
Müdahale6	Zemin kaynak ısı pompası	Tüm Alan Mimarisi	13%	–	15,127.19	29,322.54	
Müdahale7	Biyo-çürütücü	Tüm Alan Mimarisi	29%	–	33,745.27		
Müdahale8	Dönüştürme Endüstriyel araştırma endüstrisine üretim arazisi	Endüstriyel	117%	–	8377.2	29,322.54	
Müdahale9	Ticari alanların dönüştürülmesi . araştırma ve test için endüstriyel l'e	Su Kenarı Ticari Alan	18%	–	20,945.34		

Ulusal düzey, şehir düzeyi ve ayrı binalar ve ulaşım gibi şehrin bireysel unsurları ile karbon emisyonları arasındaki ilişkiyi araştırmak için çalışmalar yapılmıştır. Ancak, karbon nötrite hedefleri ile kentsel planlama aşamasında karbon azaltım ve yutak önlemlerinin önceden hesaplanması ve kapsamlı bir şekilde ortaya konması ve belirli alanların konumlandırılması için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Ancak, planlama ve tasarım aşamasında karbon kaynağı azaltma ve karbon yutak önlemlerini önceden ortaya koymak çok önemlidir. Örneğin, yukarıdaki proje uygulamasında görebileceğimiz gibi, şehrin karbon nötr hedefine ulaşmamız gerekiyorsa, bina cephelerinin %50'sinden fazlasının üç boyutlu yeşillendirme sistemini kurması ve bina çatılarının %70'inden fazlasının yeşil çatı olarak düzenlenmesi gerekmektedir (Tablo 8, Şekil 14).



Şekil 13. Müdahalelerin istiflenmesi ile elde edilen karbon nötrlüğü sürecinde programatik karbon emisyonu ve yutak değerlerindeki değişim.



Şekil 14. Her bir müdahale türü için karbon azaltma potansiyelinin payı.

Planlama ve tasarım aşamasında, karbon göstergeleri şehrin her bir unsuru için niceliksel olarak hesaplanır. Sabit hesaplama birimlerinin bölünmesi, tasarımcıların karbon metriklerini tasarım sürecinde farklı ölçeklerde dikkate almalarına ve böylece belirli bir karbon-nötr açığı elde etmelerine olanak tanır. Karbon-nötr açılımı aldıktan sonra, tasarımcıların karbon hedefleri ile bina tasarımı, endüstriyel yerleşim, ulaşım planlaması vb. arasındaki etkileşimi yinelemeli tasarım çözümleri aracılığıyla kontrol etmeleri daha kolaydır. Bu yinelemeli süreç, şehir planlamacılarının karbon azaltma ve yutak önlemlerini ayrıntılı olarak

tasarım aşamasında. Çalışmamız, mevcut karbon perspektifli çalışmalardan farklı olarak, kentsel tasarımda belirli tasarım unsurlarını ve esnek küçük ölçekli karbon emisyonu birimlerini konumlandırarak karbon nötrlüğü hedeflerine ulaşmak için tasarım sürecinde kent planlamacılarını desteklemektedir. Örneğin, Lihu Future City'deki karbon azaltma önlemlerinin yukarıda bahsedilen müdahalesinde, temiz enerji karbon azaltma düzeni kentsel karbon emisyonlarında keskin bir düşüşe yol açabilir (Şekil 13). Yine de, tersine, yoğun ticari alanların yanı sıra sanayi alanları da karbon emisyonları üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir (Şekil 14).

Bu çalışma, yeni şehrin karbon nötr hedefine ulaştığı tek bir senaryoyu ele almıştır. Yeni şehrin karbon azaltımı için daha önemli bir potansiyele sahip olup olmadığını araştırmaya değer. Gelecekteki araştırmalarımızda, şehrin özelliklerine ve mevcut durumlarına bağlı olarak daha büyük ölçekli karbon azaltma hedefleri için potansiyel olup olmadığını araştıracağız. Buna ek olarak, karbon azaltma müdahalelerinin seçiminde maliyetleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin, yeşil çatı ve 3D yeşil sistem kurulumları için ortalama toplam kurulum, işletme ve bakım maliyetleri 103,28 €/m²/yıl ve 195,57 €/m²/yıl iken [48], toprak kaynaklı ısı pompalarının ilk sistem maliyeti ve yıllık işletiminin ortalama toplam maliyeti 15,73 €/m²/yıl'dır [49]. Bu nedenle, seçim tercihi için değerlendirme kriteri olarak tek başına maliyet kullanılırsa, toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin kurulmasına öncelik verilmelidir. Bununla birlikte, müdahalelerin seçim önceliği, karbon azaltma etkinliklerine ve örnek alandaki uygulanabilirlik derecesine dayanmalıdır. Bu doğrultuda, kentsel sürdürülebilir kalkınma hedeflerine daha etkili bir şekilde ulaşmak için maliyet belirleme ve karbon azaltma hedeflerine dayalı müdahaleleri sahaya özgü bir şekilde birleştirmeyi düşüneceğiz. Ayrıca, bu makalenin karbon emisyonu ve karbon yutak katsayıları ortalama değerlerdir. Katsayı hesaplaması, kentsel kümelerin coğrafi özellikleri ve gelişimi dikkate alınarak bir sonraki araştırma planında daha fazla incelenecek ve optimize edilecektir. 4. Sonuçlar

Mevcut çalışmalarda karbon değerlendirmesinin boyutları, bina komplekslerinde insan kullanımı, sanayi türleri, ulaşım vb. tarafından üretilen karbon emisyon değerlerini dikkatli bir şekilde dikkate almaksızın, öncelikle kentsel ölçek ve kentsel makro düzey unsurlardır. Müdahaleler çoğunlukla bina veya enerjiye özgü çalışmalardır, kapsamlılıktan yoksundur ve müdahalelerin faydalarının değerlendirilmesinde kentsel bina kümelerinin etkilerinin dikkate alınması gerekmektedir. Karbon değerlendirme sonuçları ve müdahaleler, kentsel alanlarda küçük ölçekte yerelleştirilememekte ve çok ölçekli mekânsal karbon nötrlüğü değerlendirmesine ulaşılammaktadır. Yukarıdaki boşluklara ve zorluklara dayanarak, kentsel bina kümelerinde karbon nötrlüğü hedefine ulaşmak için çok ölçekli kentsel alanların karbon değerlendirmesini yapmayı ve kentsel tasarım aşamasında karbon azaltma müdahalelerini önceden ortaya koymayı amaçladık.

Araştırma hedeflerimize ulaşmak için bu makalede üç optimizasyon yöntemi önerdik ve uygulama örneği olarak Lihu Future City'yi kullandık. İlk olarak, değerlendirme ve müdahale sistemi çok ölçekli mekânsal karbon göstergelerini değerlendirmek için kullanılabilir şekilde yeniden yapılandırıldı; ikinci olarak, bu temelde, çok ölçekli mekana uygun karbon azaltma önlemleri özetlendi ve dört kategoriye ayrıldı: Bina enerji tasarrufu ve emisyon azaltma teknolojileri, bina endüstriyel yapı karbon azaltma yöntemleri, altyapı karbon azaltma teknolojileri ve bina kümeleri için yeşil alan karbon yutak sistemleri ve sırasıyla spesifik kategorileri ve hesaplama yöntemleri detaylandırıldı ve son olarak, spesifik müdahale önlemleri kentsel tasarım unsurlarıyla eşleştirildi ve "teknoloji-mekânsal" müdahale tasarım modeli oluşturuldu; üçüncü olarak, birim hesaplama yöntemi oluşturuldu ve değerlendirme sonuçları ve müdahale sonuçları özellikle 100×100 m kentsel alan birimine yerleştirildi. Son olarak, farklı ölçeklerde kentsel tasarımın karbon nötr hedeflerine ulaşmak için üç optimal yolun nasıl uygulanacağını açıklamak için Lihu Future City'yi pratik bir örnek olarak aldık. Kentsel planlama ve tasarım için, tasarım sürecinde kentsel planların karbon emisyonunu ve karbon yutaklarını dinamik olarak değerlendirmek büyük önem taşımaktadır. Değerlendirme verilerinin sonuçlarına dayanarak kentsel tasarım öğeleri için kapsamlı karbon azaltma ve karbon yutak müdahaleleri yapmak ve karbon nötr hedefi için karbon emisyonu ve karbon yutak verilerinin gelişim eğilimini gerçek zamanlı olarak elde etmek de çok önemlidir.

Bu makalenin üç katkısı bulunmaktadır:

1. Çok ölçekli kentsel tasarımda karbon göstergelerinin ölçülmesine uygulanmak üzere hesaplama modelini ve nicel müdahale sistemini yeniden yapılandırdık.
2. Kentsel tasarım unsurlarına uygulanabilecek karbon azaltma önlemlerini daha kapsamlı bir şekilde ele aldık.
3. Müdahaleleri özellikle 100× 100 m kentsel alan ve tasarım öğelerine yerleştirdik, böylece kentsel tasarım şemalarında karbon nötrlüğü için en doğrudan ve etkili önerileri sunduk.

CO₂ tespit verilerinin ve müdahale için potansiyel nicel verilerin saha doğrulamasının olmaması nedeniyle, sunulan ilgili verilerin ve katsayıların doğruluğunu değerlendirmek mümkün değildir. Gelecekteki çalışmalarda, daha doğru sonuçlar elde etmek için yöntemde yer alan parametreleri ölçülen verilerle kalibre edeceğiz.

Yazar Katkıları: Kavramsallaştırma, Z.W.; metodoloji, .W. ve Z.Z.; yazılım, Z.Z. ve W.D.; veri küratörlüğü, Z.Z. ve M.W.; yazı-orijinal taslak hazırlama, Z.Z. ve W.G.; yazı-inceleme ve düzenleme, Z.Z. ve S.Z.; görselleştirme, Z.Z.; süpervizyon, Z.W. ve W.G.; proje yönetimi, Z.W. ve W.G. Tüm yazarlar makalenin yayınlanan versiyonunu okumuş ve kabul etmiştir.

Finansman: Bu araştırma herhangi bir dış finansman almamıştır.

Kurumsal İnceleme Kurulu Beyanı: Geçerli değil. **Bilgilendirilmiş**

Onam Beyanı: Geçerli değil.

Veri Kullanılabilirlik Beyanı: Bu çalışmada yeni veri oluşturulmamış veya analiz edilmemiştir. Veri paylaşımı bu makale için geçerli değildir.

Teşekkür: Yazarlar, değerli yorumları ve yapıcı önerileri için editörlere teşekkür eder.

Çıkar Çatışmaları: Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemektedir.

Referanslar

1. Anderson, J.E.; Wulfhorst, G.; Lang, W.J.R. Yapılı çevrenin enerji analizi - Bir inceleme ve görünüm. *Yenileme. Sürdürülebilirlik. Energy Rev.* **2015**, *44*, 149-158. [CrossRef]
2. Wu, X.; Tian, Z.; Guo, J. Karbon nötrlüğünün teorik araştırması ve pratik ilerlemesi üzerine bir inceleme. *Sürdürülebilirlik. Oper. Hesaplama.* **2022**, *3*, 54-66.
3. Zhou, Y.; Li, K.; Liang, S.; Zeng, X.; Cai, Y.; Meng, J.; Shan, Y.; Guan, D.; Yang, Z.J. Guangdong-hong kong-macao büyük körfez bölgesindeki CO₂ emisyonlarının eğilimleri, itici güçleri ve azaltılması. *Mühendislik*, **2022**; *baskıda*. [CrossRef]
4. Liu, C.; Huang, S.; Xu, P.; Peng, Z.-r. yeni şehirler için entegre bir kentsel karbondioksit (CO₂) emisyon modeli ve azaltma planının araştırılması. *Çevre. Plan. B Urban Anal. Şehir Bilimi.* **2017**, *45*, 821-841. [CrossRef]
5. Cong, R. Jinan Şehrinde Arazi Kullanım Değişikliği ve Karbon Emisyonu Etkisi Üzerine Araştırma. Shandong Finans Üniversitesi ve Ekonomi: Jinan, Çin, 2018.
6. Zubezu, S.; Hernández, A. Hane Halkı Kentsel Planlama Arazi Kullanımının Karbon Ayak İzinin Hesaplanması. *Proje Yönetimi içinde and Engineering Research*, **2014**; Springer: New York, NY, ABD, 2016; s. 73-86.
7. Felkner, J.; Marshall, B.; Richter, S.; Mbata, E.; Zigmund, S.; Nagy, Z. İklim değişikliği altında yoğun kent planlaması için kentsel senaryoların enerji simülasyonlarıyla ilişkilendirilmesi. *J. Phys. Conf. Ser.* **2021**, *2042*, 012054. [CrossRef]
8. Vititneva, E.; Shi, Z.; Herthogs, P.; König, R.; Richthofen, A.v.; Schneider, S. güneş enerjisi modelleri kullanılarak avlulu sokak bloklarının tasarımının bilgilendirilmesi: Singapur'daki bir üniversite kampüsü üzerine bir vaka çalışması. *J. Phys. Conf. Ser.* **2021**, *2042*, 012050. [CrossRef]
9. Mousavi Sarvine Baghi, E.S.; Ranjbar, E. Kentsel mahallelerde farklı kaynaklardan karbon emisyonunun modellenmesi yoluyla düşük karbonlu kentsel tasarım arayışı, vaka çalışması: Semnan. *Int. J. Urban Sustain. Dev.* **2021**, *13*, 546-568. [CrossRef]
10. Hukkalainen, M.; Virtanen, M.; Paiho, S.; Airaksinen, M. Society. Düşük karbonlu kentsel alanların enerji planlaması - Finlandiya'dan örnekler. *Sürdürülebilirlik. Cities Soc.* **2017**, *35*, 715-728. [CrossRef]
11. Stojanovski, T. Kentsel biçim ve hareketlilik seçenekleri: İsveç mahallelerinde ulaşımdan kaynaklanan sürdürülebilir seyahat alternatifleri, karbon emisyonları ve enerji kullanımı hakkında bilgilendirme. *Sürdürülebilirlik* **2019**, *11*, 548. [CrossRef]
12. Zhang, X.; Yan, F.; Liu, H.; Qiao, Z. Toplum. Düşük karbonlu şehirlere doğru: Çin'in Changxing şehrinde yapılı çevre faktörlerine BEF) dayalı kentsel blok karbon emisyonlarını (UBCE) tahmin etmek için bir makine öğrenimi yöntemi. *Sürdürülebilirlik. Şehirler Soc.* **2021**, *69*, 102875. [CrossRef]
13. Meier-Dotzler, C.; Harter, H.; Banihashemi, F.; Lang, W. Şehir Mahallesi Düzeyinde Karşılaştırmalı Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi - Yeniden Yoğunlaştırma Örneği. *J. Phys. Conf. Ser.* **2021**, *2042*, 012171. [CrossRef]

14. Hasan, J.; Horvat, M.; Riddell, C.; Wang, R. Çatı morfolojisinin güneş enerjisi potansiyeli üzerindeki etkisi: Toronto banliyölerini güneş enerjisine hazır hale getirmek. *J. Phys. Conf. Ser.* **2021**, *2042*, 012101. [\[CrossRef\]](#)
15. Yifan, W.; Xue, L.; Yuan, J. Konut formu ve karbon emisyonu korelasyon çalışması - bir örnek olarak Jintang İlçesi. *Yapı. Energy Effic.* **2021**, *49*.
16. Yu, S.; Hu, X.; Li, L.; Chen, H. Yenilenebilir enerjinin gelişimi karbon azaltımını teşvik ediyor mu? Çin eyaletlerinden kanıtlar. *J. Environ. Manag.* **2020**, *268*, 110634. [\[CrossRef\]](#)
17. Muñoz-Vallés, S.; Cambrollé, J.; Figueroa-Luque, E.; Luque, T.; Niell, F.; Figueroa, M.E. Değerlendirmeye yönelik bir yaklaşım ve doğal karbon yutaklarının yönetimi: Bitki türlerinden kentsel yeşil sistemlere. *Kent İçin. Urban Green.* **2013**, *12*, 450-453. [\[CrossRef\]](#)
18. Xu, X.; Duan, X.; Sun, H.; Sun, Q. Çin'in Başkent Bölgesinde Yeşil Alan Değişimleri ve Planlaması. *Environ. Manag.* **2011**, *47*, 456-467. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
19. Othman, R. Kentsel park yeşil alanlarının, bitki materyali özelliklerinin ve mekansal tasarım organizasyonu ve deseninin karbon tutma oranına etkisi. *Appl. Ecol. Environ. Res.* **2019**, *17*, 8079-8088. [\[CrossRef\]](#)
20. Othman, R. Doğrusal ve eğrisel tasarımlı peyzaj sahip kentsel parkın karbon tutma oranının tahmini. *Uygulamalı Ekoloji. Environ. Res.* **2019**, *17*, 8089-8101. [\[CrossRef\]](#)
21. Wang, Y.; Chang, Q.; Li, X. Bitkilendirme tasarımıyla kentsel yeşil alanlarda bitkilerin sürdürülebilir karbon birikiminin teşvik edilmesi: Pekin'deki parklarda bir vaka çalışması. *Kent İçin. Kentsel Yeşil.* **2021**, *64*, 127291. [\[CrossRef\]](#)
22. Strohbach, M.W.; Arnold, E.; Haase, D. Kentsel yeşil alanların karbon ayak izi - Yaşam döngüsü yaklaşımı. *Landsc. Urban Plan.* **2012**, *104*, 220-229. [\[CrossRef\]](#)
23. Zhang, J.; Xie, Y.; Luan, B.; Chen, X. Çin'de kent sakinlerinin Doğrudan CO₂ Emisyonları üzerinde kentsel makro düzey etki faktörleri. *Energy Build.* **2015**, *107*, 131-143. [\[CrossRef\]](#)
24. Zhou, S.; Liu, Z.; Wang, M.; Gan, W.; Zhao, Z.; Wu, Z. XGBoost kullanarak bina konfigürasyonlarının blok ölçeğinde kentsel yağmur suyu yönetimi üzerindeki etkileri. *Sürdürülebilirlik. Şehirler Soc.* **2022**, *87*, 104235. [\[CrossRef\]](#)
25. Wu, Z.; Li, X.; Zhou, X.; Yang, T.; Lu, R. Kitle Kaynaklı Sosyal Medya Verilerini Kullanan Şehir Zeka Katsayısı Değerlendirme Sistemi: Bir Yangtze Nehri Deltası Bölgesi, Çin Vaka Çalışması. *ISPRS Int. J. Geo Inf.* **2021**, *10*, 702. [\[CrossRef\]](#)
26. Wu, Z. *Akıllı Şehir Değerlendirme Sisteminin İlkeleri ve Yöntemleri*; Springer: New York, NY, ABD, 2018; pp. 101-116. [\[CrossRef\]](#)
27. Xie, H.; Zhai, Q.; Wang, W.; Yu, J.; Lu, F.; Chen, Q. Yoğun arazi kullanımı karbon emisyonlarında bir azalmayı teşvik ediyor mu? Çin sanayi sektöründen kanıtlar. *Kaynak. Conserv. Recycl.* **2018**, *137*, 167-176. [\[CrossRef\]](#)
28. Zhang, R.; Matsushima, K.; Kobayashi, K. Arazi kullanım planlaması ulaşım kaynaklı karbon emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olabilir mi? Changzhou örneği. *Arazi Kullanım Politikası* **2018**, *74*, 32-40. [\[CrossRef\]](#)
29. Zhang, P.; He, J.; Hong, X.; Zhang, W.; Qin, C.; Pang, B.; Li, Y.; Liu, Y. Veri zarflama analizine dayalı olarak Çin'deki arazi kullanım değişikliklerinin karbon kaynakları/yutakları analizi. *J. Clean. Prod.* **2018**, *204*, 702-711. [\[CrossRef\]](#)
30. Eggleston, H.S.; Buendia, L.; Miwa, K.; Ngara, T.; Tanabe, K. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*; Institute for Global Environmental Strategies (IGES): Hayama, Japonya, 2006.
31. Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Averyt, K.; Marquis, M. *Climate Change 2007-The Physical Science Basis: Çalışma Grubu I IPCC Dördüncü Değerlendirme Raporuna Katkı*; Cambridge University Press: Cambridge, İngiltere, 2007; Cilt 4.
32. Li, S.; Liu, J.; Hu, X. Yeşil kalkınma için üç boyutlu bir değerlendirme modeli: kuşak ve yol boyunca Çin eyaletlerinden kanıtlar. *Çevre. Dev. Sürdürülebilirlik.* **2022**, *107*, 131-143. [\[CrossRef\]](#)
33. Velasco, E.; Roth, M. Net CO₂ Kaynağı Olarak Şehirler: Eddy Kovaryans Tekniği ile Ölçülen Kentsel Ortamlarda Atmosferik CO₂ Değişiminin İncelenmesi. *Geogr. Pusula* **2010**, *4*, 1238-1259. [\[CrossRef\]](#)
34. Pulselli, R.; Mazzali, U.; Peron, F.; Bastianoni, S. Yaşayan Duvar ve Çim Duvar sistemlerinin çevresel performanslarının enerji temelli değerlendirilmesi. *Energy Build.* **2014**, *73*, 200-211. [\[CrossRef\]](#)
35. Yin, S.; Gong, Z.; Gu, L.; Deng, Y.; Niu, Y. Orman karbon tutma üretiminin verimliliğinin itici güçleri: Mekânsal panel Çin'deki ulusal orman envanterinden elde edilen veriler. *J. Clean. Prod.* **2021**, *330*, 129776. [\[CrossRef\]](#)
36. Cascone, S.; Catania, F.; Gagliano, A.; Sciuto, G. Mevcut binaların güçlendirilmesi için yeşil çatı performansı üzerine kapsamlı bir çalışma. *Yapı. Environ.* **2018**, *136*, 227-239. [\[CrossRef\]](#)
37. Shafique, M.; Xue, X.; Luo, X. Kentsel alanlarda yeşil çatıların karbon tutulumuna genel bir bakış. *Kent İçin. Kentsel Yeşil.* **2019**, *47*, 126515. [\[CrossRef\]](#)
38. Marchi, M.; Pulselli, R.M.; Marchettini, N.; Pulselli, F.M.; Bastianoni, S. Dikey bir yeşillik sisteminin karbondioksit tutma modeli. *Ekoloji. Model.* **2015**, *306*, 46-56. [\[CrossRef\]](#)
39. Bachanek, K.; Tundys, J.; Wisniewski, J.; Puzio, E.; Maroušková, A. Akıllı Şehir Konseptlerinde Akıllı Sokak Aydınlatması-A Şehirlerde Enerji Tasarrufuna Yönlendirme: Genel Bir Bakış ve Vaka Çalışması. *Energies* **2021**, *14*, 3018. [\[CrossRef\]](#)
40. Wang, Y.; Zheng, Y. Çin'de karbon emisyonu yoğunluğu ve bölgesel kalkınmanın mekansal etkileri. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2020**, *28*, 14131-14143. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
41. Zhou, A.; Li, J. Endüstriyel yeniden yapılanmanın ekonomik büyüme ve karbondioksit emisyonları üzerindeki doğrusal olmayan etkisi: Bir panel eşik regresyon yaklaşımı. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2020**, *27*, 14108-14123. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
42. Li, Z.; Zhou, Q. Çin'de endüstriyel yapının iyileştirilmesinin karbon emisyonları üzerindeki mekansal etkisi ve eşik etkisi üzerine araştırma. *J. Su İklimi. Chang.* **2021**, *12*, 3886-3898. [\[CrossRef\]](#)

43. Zhu, X. Endüstriyel yapının iyileştirilmesi sayesinde karbon emisyonları azaldı mı? Teknolojik inovasyona dayalı aracılık etkisinin analizi. *Çevre Bilimi. Sci. Pollut. Res. Int.* **2022**, *29*, 54890-54901. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
44. Adom, P.K.; Bekoe, W.; Amuakwa-Mensah, F.; Mensah, J.T.; Botchway, E. Karbondioksit emisyonları, ekonomik büyüme, endüstriyel yapı ve teknik verimlilik: Gana, Senegal ve Fas'tan nedensel dinamikler üzerine ampirik kanıtlar. *Enerji* **2012**, *47*, 314-325. [[CrossRef](#)]
45. Wang, J.; Yu, S.; Li, M.; Cheng, Y.; Wang, C. Endüstriyel Yeniden Yapılandırmanın Çin Eyaletlerindeki Karbon Emisyon Yoğunluğunun Mekansal ve Zamansal Evrimi Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi-Teknolojik Inovasyona Dayalı Aracılık Etkilerinin Analizi. *Int. J. Environ. Res. Halk Sağlığı* **2022**, *19*, 13401. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
46. Köhler, M. Yeşil cepheler - geriye bakış ve bazı vizyonlar. *Kentsel Ekosistem.* **2008**, *11*, 423-436. [[CrossRef](#)]
47. Qiao, P.; Lei, M.; Yang, S.; Yang, J.; Guo, G.; Zhou, X. Pekin'de toprak için sıradan kriging ve ters mesafe ağırlıklandırmanın kirlilik olarak karşılaştırılması. *Çevre. Sci. Pollut. Res.* **2018**, *25*, 15597-15608. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
48. Manso, M.; Teotónio, I.; Silva, C.M.; Cruz, C.O. Yeşil çatı ve yeşil duvar faydaları ve maliyetleri: Nicel verilerin gözden geçirilmesi. *Yenile. Sürdürülebilirlik. Enerji Rev.* **2020**, *135*, 110111. [[CrossRef](#)]
49. Man, Y.; Yang, H. Baskın binaların soğutulması için hibrit toprak bağlantılı ısı pompası sistemleri üzerine çalışma. *Energy Build.* **2008**, *40*, 2028-2036.

Sorumluluk Reddi/Yayıncının Notu: Tüm yayınlarda yer alan ifadeler, görüşler ve veriler yalnızca yazar(lar)a ve katkıda bulunan(lar)a aittir, MDPI ve/veya editör(ler)e ait değildir. MDPI ve/veya editör(ler), içerikte atıfta bulunulan herhangi bir fikir, yöntem, talimat veya üründen kaynaklanan insanlara veya mallara gelebilecek herhangi bir zarar için sorumluluk kabul etmez.