

Kentsel karbon nötrlüğünü teşvik etmek için yer temelli doğa tabanlı çözümlerin modellenmesi

Cong Cong, Haozhi Pan[✉], Jessica Page, Stephan Barthel, Zahra Kalantari

Alındı: 25 Temmuz 2022 / Revize: 12 Ocak 2023 / Kabul edildi: 13 Nisan 2023 / Çevrimiçi yayınlandı: 15 Mayıs 2023

Özet Doğaya dayalı çözümler (NbS), karbonun tutulması ve karbon emisyonlarının dengelenmesi için yaygın olarak kullanılabilen ve uygun maliyetli mekanizmalar olarak kabul edilmektedir. Karbon nötrlüğü için gerçekçi NbS uygulamalarının küresel düzeyde etkili ve aynı zamanda yerel düzeyde geçerli olan sosyo-ekonomik ve fiziksel koşullara uygun olması gerekmektedir. Bu makale, paydaşların yerel ölçekte NbS faydalarını en üst düzeye çıkarabilecek talepleri, yerleri ve NbS müdahale türlerini belirlemelerine yardımcı olabilecek bir çerçeve sunmaktadır. Çerçevdeki temel süreçler arasında (1) arazi kullanımı ve sosyo-ekonomik veriler kullanılarak daha büyük mekansal ölçeklerdeki karbon emisyonu verilerinin yüksek çözünürlüklü hücrelere entere edilmesi; (2) nitel literatür taraması yoluyla karbon azaltımı üzerindeki NbS etkilerinin ve bunların konumla ilgili uygunluğunun değerlendirilmesi (3) birden fazla NbS müdahalesinin mekansal olarak tahsis edilmesi ve arazi kullanım hücrelerine bağlanması yer almaktadır. Sistem İsveç'in Stockholm kentinde test edilmiştir. Bulgular, kent merkezinin yeşil alanlara ve sokak manzaralarına erişimin iyileştirilmesi kombinasyonları ile tahsis edilmesi gerektiğini, kırsal ve banliyö alanlarının ise doğal alanların korunmasına ve kullanılmasına öncelik vermesi gerektiğini göstermektedir. Önerdiğimiz yöntem çerçevesi, planlamacıların amaçlanan risk/tehlike azaltıcı müdahaleler için hedef konumları daha iyi seçmelerine yardımcı olabilir.

Anahtar Kelimeler Karbon emisyonları - Karbon nötrlüğü - Ekosistem hizmetleri - Arazi kullanımı - Doğa temelli çözümler

GİRİŞ

Kentsel alanlar, konut, ticari ve ulaşım faaliyetleri yoluyla küresel sera gazı (GHG) emisyonlarının %60'ından fazlasına katkıda bulunmaktadır (Lanau vd. 2021). Kentsel bitki örtüsü ve doğal bitki örtüsü tarafından karbon tutulması

parklar, bahçeler ve konut çimleri gibi olanaklar, karbon emisyonlarını dengelemek için uygun maliyetli bir mekanizma olabilir (Kalantari vd. 2019; Li ve Wang 2021). Doğa temelli çözümler (NbS), doğal sermayeyi geliştirmek ve ekosistem hizmet değerlerini korumak için dünya çapında şehirler tarafından giderek daha fazla benimsenmektedir (Lafortezza ve ark. 2018). NbS, Avrupa Komisyonu tarafından "doğadan ilham alan ve desteklenen, uygun maliyetli, aynı anda çevresel, sosyal ve ekonomik faydalar sağlayan ve dayanıklılık oluşturmaya yardımcı olan çözümler" olarak tanımlanmaktadır (Avrupa Çevre Ajansı 2021, s. 17).

NbS'nin kentsel ortamlarda uygulanması için geliştirilen bir 'araç kutusu', ekolojik restorasyon (Nessho"ver vd. 2017; Dorst vd. 2019) dahil olmak üzere ekosistem hizmeti veya yeşil altyapı yaklaşımlarının kombinasyonlarıdır. 2019), toprak-bitkilendirme ve peyzaj (Keesstra vd. 2018), biyoçeşitliliğin korunması (Kabisch vd. 2016), su yönetimi (Krauze ve Wagner 20192019; Go' mez Mart' ın vd. 2020) ve bütünleşik planlama (Albert vd. ; Pan vd. 2021). İyi tasarlanmış NbS, karbon emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olabilir ve habitat kalitesinin artırılması, yapay altyapı maliyetlerinin azaltılması, katılımın ve olanaklara eşit erişimin teşvik edilmesi, yeşil sektörde istihdam yaratılması ve rekreasyon fırsatlarının ve sağlığın iyileştirilmesi gibi diğer sosyal ve ekonomik yan faydalar sağlayabilir (Raymond ve ark. 2017; Giordano ve ark. 2020; Ruangpan ve ark. 2021).

Daha iyi NbS planlamasına yönelik önceki vurgulara rağmen, sistematik yaklaşımların devam eden yokluğu ya

(a) tüm paydaşlar tarafından tam olarak güvenilmeyen tek seferlik ve duruma özgü altyapı yerleşimi (Raymond ve ark. 2017); veya (b) spesifik olarak ayrıntılı uygunluğu düşük olan yüksek düzeyde kavramsallaştırılmış modeller (Connop ve ark. 2016; Kuller ve ark. 2019). Karbon nötrlüğüne yönelik gerçekçi NbS uygulama planlarının hem küresel düzeyde karbon emisyonlarının azaltılmasında etkili olması, hem de sosyo-ekonomik koşullara uygun olması gerekmektedir.

yerel düzeyde ekonomik ve fiziksel koşullar. Uygun alanların ve çözümlerin önceden belirlenmesi, NbS'nin uzun vadede uygulanabilirliğini ve çoklu ekosistem hizmetleri sağlama kabiliyetini artırabilir. Bunu başarmak için, belirli emisyon kaynaklarını hedef alan girişimlerin tasarlanması da dahil olmak üzere, NbS'nin başarılı bir şekilde uygulanması için çok önemli olan mekansal ayrıntıların tam olarak dikkate alınması gerekir. İnce ölçekli emisyon analizleri, daha büyük ölçekteki emisyon verilerine bakıldığında görülemeyen, insan davranışlarından kaynaklanan yerel emisyonların tespit edilmesine yardımcı olabilir.

Bu zorluklara yanıt olarak, bu makale, karbon emisyonlarını azaltma potansiyellerini en üst düzeye çıkarmak için NbS türlerini ve konumlarını bütünleştirici bir şekilde önceliklendirmek için yeni bir sistematik çerçeve sunmaktadır. Yöntem (1) ince ölçekli 30 \geq 30 m) mekansal hesaplama ve Ulaşımdan kaynaklanan karbon emisyonlarının haritalanması, konut

(2) ilgili NbS stratejilerini ve bunların farklı yerler ve vakalardaki karbon emisyonu azaltma faydalarını tanımlayan bir meta-analiz; burada NbS stratejileri hem karbon depolama ve tutma gibi doğrudan karbon azaltımını hem de insan davranışlarını etkileyen müşteri düzenlemeleri ve müdahaleler yoluyla dolaylı karbon azaltımını içerir; ve (3) hem karbon emisyonu azaltım potansiyellerine hem de yerel uygunluklarına göre çalışma bölgesine tahsis edilen öncelikli NbS müdahaleleri. İsveç'in Stockholm İlçesi örneğini kullanarak, bu çerçevenin emisyon azaltma yaklaşımlarını uyarlama ve hedefleme ve NbS stratejilerinin karbon azaltma etkilerini görsel olarak iletme kapasitesini test ettik.

Bu makale iki ana araştırma sorusunu ele almaktadır: Kentsel karbon emisyonlarının azaltılmasında en etkili NbS stratejileri hangileridir? Ve karbon emisyonlarını azaltma potansiyellerini en üst düzeye çıkarmak için seçilen NbS türleri nerelere yerleştirilmelidir? NbS'nin karbon emisyonlarını azaltma kabiliyetinin yeşil altyapı ve doğal olanakların karbon tutma potansiyelinin ötesine geçtiğini kabul eden bu makale, NbS'nin ulaşım, konut ve endüstriyel emisyonlar dahil olmak üzere insan faaliyetleriyle ilgili emisyonları dengeleme potansiyeline odaklanmakta ve NbS'nin faydalarının daha ince ölçekli bir değerlendirmesini sunmayı amaçlamaktadır.

Bu makalenin geri kalanı aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir: "İlgili çalışmalar" bölümünde NbS ve karbon emisyonlarının azaltılmasına ilişkin önceki çalışmalar özetlenmekte ve araştırma boşlukları tanımlanmaktadır. "Materyaller ve yöntemler" bölümünde modelleme yöntemlerimiz, vaka çalışması alanımız ve veri kaynaklarımız tanıtılmaktadır. "Sonuçlar" bölümü analizde elde edilen sonuçları sunmakta ve yer temelli NbS için operasyonel bir çerçeve önermektedir. "Tartışma" bölümünde sonuçların potansiyel uygulamaları ve politika çıkarımları tartışılmaktadır. "Sonuçlar" bölümünde bazı sonuçlar sunulmakta ve çalışmanın sınırlılıkları tartışılmaktadır.

İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Karbon emisyonlarının dengelenmesi için NbS'nin benimsenmesi

Birçok çalışma, kentsel NbS'nin iklim değişikliğini azaltma ve adaptasyon da dahil olmak üzere çevresel, sosyal ve ekonomik yan faydalarla birlikte birden fazla ekosistem hizmeti sağlayabileceğini göstermiştir (Chen 2015; De la Sota vd. 2019; Choi vd. 2021). Örneğin, yapay (gri) altyapının aksine yeşil altyapı (GI) veya yeşil ve mavi altyapı (GBI) kentsel karbon emisyonlarını verimli bir şekilde azaltabilir. Anderson ve Gough (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, yapı çevrede yeşil altyapının uygulanmasıyla ortalama %6'lık bir karbondioksit (CO₂) azaltımı elde edilmiştir. Ren ve (2019) göre, kentsel GI ile karbon depolamadaki yıllık ortalama artış, Çin'deki kentsel karbon emisyonlarındaki artışın %3,9'unu dengelemektedir. Tomalty (2012) tarafından yapılan bir çalışmada, Toronto çevresindeki Ontario Yeşil Kuşağı'nda bulunan ormanlık alanların, sulak alanların ve tarım arazilerinin yılda 86,6 milyon ton karbon depolayabileceği ve 200.000 ton karbonu tutabileceği bulunmuştur.

NbS karbon emisyon seviyelerini farklı doğrudan ve dolaylı yollarla azaltabilir. Doğrudan yollar tipik olarak, bitkilerin atmosferik CO₂'yi uzaklaştırdığı ve biyolojik kütlelerinde depoladığı bitki örtüsünün doğal büyümesini ifade eder (Nowak ve Crane 2002). Kentsel ormanlar tarafından CO₂ depolanması ve tutulması çeşitli çalışmalarda ölçülmüştür, örneğin Zhao ve diğerleri (2010) Çin'in Hangzhou kentindeki kentsel ormanlar tarafından yılda 1,3 milyon metrik ton (MMT) C'nin üzerinde karbon tutulduğunu ve yıllık endüstriyel karbon emisyonlarının %18,6'sının yıllık endüstriyel emisyon miktarının 1,75 katına eşdeğer karbon depolanmasıyla dengelendiğini bildirmiştir. Chen (2015) tarafından daha sonra yapılan bir çalışmada, Çin'in 35 büyük şehrinde ortalama 2,16 t/ha/yıl oranla GI'den toplam 1,90 MMT karbon tutulması tahmin edilmiş ve fosil yakıt yanmasından kaynaklanan karbon emisyonlarının %22,5'ine kadar dengelenmiştir.

NbS ayrıca dolaylı yollardan da karbon emisyonlarını azaltmaktadır ve en belirgin kanıtlar aşağıdaki hususlarda gösterilmiştir. İlk olarak, bitki örtüsü gölgeleme ve buharlaşma yoluyla binaların soğutma talebini azaltmakta ve böylece enerji üretiminde fosil yakıt kullanımıyla ilişkili karbon emisyonlarını önlemektedir (McPherson 1998). Tsoka ve arkadaşları (2021), ağaç eklemenin binaların soğutma enerjisi talebini %54'e kadar azaltabildiğini, yeşillik yoğunluğu ve dikim şeklinin enerji tasarrufu etkinliğinin önemli faktörleri olduğunu bildirmiştir. Yeşil çatılar genellikle 1,703 ile 1,889 kg/m²/yıl arasında değişen CO₂ emisyonlarını azaltır (Kuronuma ve ark. 2018), ancak yeşil binanın yer seçiminin yanı sıra tesislerin erişilebilirliği, çevredeki ortamlar ve sakinlerin davranışları yeşil binaların enerji korumasındaki varyasyonun %11-50'sini oluşturur (Gill ve . 2010; Gou ve Lau 2014).

İkinci olarak, caddelerdeki olanaklar ve estetik gibi mikro ölçekli özellikler insanların algılarını etkiler ve insanları daha fazla yürüme, bisiklete binme ve diğer çevre dostu davranışlara teşvik edebilir (Smardon 1988; Sarkar . 2015). Sokak peyzajı faktörleri, yürüme modu tercihinin açıklanmasına ve bununla bağlantılı olarak otomobil karbon emisyonlarının azaltılmasına önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Sokak düzeyinde kentsel yeşillendirmenin yürüme modu tercihlerini artırması için yüksek bir tek oran (1.680-2.070) bulunmuştur (Koo ve ark. 2022). Üçüncü olarak, yeşil kuşak politikalarının kentsel büyümeyi sınırlandırmada ve daha kompakt bir arazi kullanımı gelişim modelini teşvik etmede, arazi kullanımıyla ilişkili emisyonları ve karbon stoku kayıplarını önlemede etkili olduğu görülmüştür (Han ve ark. 2022).

Emisyonların ince ölçekli bir analizi, emisyon verilerini daha büyük incelerken ortaya çıkmayabilecek yerelleştirilmiş sosyo-ekonomik emisyon etkenlerini ortaya çıkarabilir. Bu bilgiler, maksimum emisyon azaltma potansiyeline ulaşmak için kentsel alanlarda araçlardan kaynaklanan emisyonların azaltılması gibi belirli emisyon kaynaklarını hedefleyen müdahalelerin tasarlanmasında değerli olabilir. Örneğin, NbS müdahalelerinin yüksek trafik hacmine sahip yollar (Gromke ve Blocken 2015), yüksek soğutma ve ısıtma talebi olan binalar (Xie vd. 2017) ve kentsel gelişimin yakınındaki doğal karbon stokları (Ferreira vd. 2018) gibi önemli emisyon kaynaklarına sahip alanlara bilinçli olarak tahsis edilmesi gerekmektedir. Benzer şekilde, karbon tutma gibi doğrudan emisyon azaltma uygulamaları her yerde etkili olabile de, optimum bir arazi yönetimi ile faydaları önemli ölçüde artırılabilir (Sha ve ark. 2022). Örneğin, eko-çevresel önlemlerin birleştirilmesi ve önemli endüstriyel emisyon kaynaklarının yerinin değiştirilmesi ile endüstriyel emisyonların giderilmesinde gözle görülür bir iyileşme eğilimi vardır (Song ve ark. 2023).

NbS'nin sistematik olarak ölçeklendirilmesinin önündeki zorluklar

Son zamanlarda birçok şehir tarafından, bir dizi proje uygulandığında tahakkuk eden faydaları elde etme umuduyla, sistematik tasarım yoluyla NBS'yi ölçeklendirme girişimleri olmuştur. Bu tür projeler yeni NBS'lerin geliştirilmesini ve mevcut NBS'lerin genişletilmesini veya birbirine bağlanmasını içerebilir. NbS'nin büyük ölçekte uygulanması, enerji ve ulaşımdan arazi kullanım planlaması ve sağlığa kadar çok sayıda sektörün koordinasyonunu gerektirir (Raymond ve ark. 2017).

Birçok proje, NbS'nin tekil konumlara yerleştirilmesinden şehir veya bölge ölçeğinde konuşlandırılmasına geçme potansiyelini ve bunu yapmanın zorluklarını, örneğin ağı ve bilgiyi tekil durum gösterimlerinin ötesine genişletmeden önce yerinde olması gereken düzenleyici çerçeve, iş modelleri, yenilikçi yönetim modelleri ve sosyal kabulü göstermiştir (Nessho-ver ve ark. 2017; Bradfer-Lawrence ve ark. 2021; Cortinovic ve ark. 2022). Fastenrath ve arkadaşları (2020), NbS'nin ölçeklendirilmesinin

ekolojik, kurumsal ve sosyo-kültürel zorlukları ele almak için disiplinler arası uzmanlık gerektirir. Wamsler ve arkadaşları (2020), altı İsveç belediyesinin katılımcı bir analizinde, bilim-politika entegrasyonunu, kentsel kalkınma projelerinin şehirden şehre öğrenme laboratuvarından NbS uygulamasının başarısı için kilit bir strateji olarak tanımlamıştır.

Mekânsal açıdan, NbS'nin daha büyük ölçekte uygulanması, yerel ortamlara uyan seçeneklerin daha iyi anlaşılmasını gerektirir. Her bir NbS'nin konumu ve boyutu, üretebileceği faydaları etkiler (Cortinovic ve Geneletti 2018; Andersson vd. 2020). Örneğin, ağaç dikmek, mevcut arazi kullanımları ve alanlar tarafından olanakların kısıtlandığı kentsel çekirdeğe kıyasla daha az yapılaşmış alanlarda mekansal planlara daha kolay entegre edilebilir (Pataki ve ark. 2021). Yağmursuyu azaltımı için yüksek önceliğe sahip alanlar genellikle peyzaj etkinliğini en üst düzeye çıkarmak için en uygun alanlar değildir (Meerow ve Newell 2017). NbS'nin ölçeklendirilmesi için daha gerçekçi bir plan, farklı NbS türleri için uygun alanların araştırılmasını, uygun mekansal uygulama ölçeklerinin belirlenmesini ve çeşitli yaklaşımlardan beklenebilecek faydaların değerlendirilmesini içerir (Nessho-ver ve ark. 2017; Bradfer-Lawrence ve ark. 2021; Cortinovic ve ark. 2022).

NbS'nin bölgesel ölçekte uygulanmasına ilişkin önceki çalışmalar arasında Midgley ve diğerleri (2021) Güney Afrika'da suyla ilgili ekolojik altyapı müdahale projelerinin bir envanterini çıkarmış ve peyzaj aktörleri için belirli faydaları olan bir dizi tipoloji oluşturmuştur; Meerow ve Newell (2017) heterojen bir peyzajda daha geniş bir sosyo-ekonomik ve çevresel fayda yelpazesine dayalı olarak kentsel yeşil altyapının sistematik olarak önceliklendirilmesi için CBS tabanlı bir yaklaşım geliştirmiştir; ve Cortinovic ve diğerleri (2022) kentsel form özelliklerinin (örn, yoğunluk, geçirimsiz alan, arazi kullanım türleri) NbS'nin potansiyelini ve faydalarını etkilediğini göstermiştir. Ancak, mekansal çözünürlük faydaların tahmin edilmesi açısından önemli olduğundan, bu tür çalışmalarda daha ince ölçekli analizler uygulama için daha iyi destek sağlayacaktır. NbS'nin seçilmesi, tahsis edilmesi ve faydalarının daha iyi anlatılması için mekansal olarak detaylı, sistematik ve tekrarlanabilir bir strateji hala eksiktir.

Karbon emisyonu azaltımı için mekansal olarak açık NbS uygulaması

Mekansal modelleme, yerel topluluklara, planlamacılara ve kurumlara altyapı yerleşimi ile ilişkili "sıcak noktaları" belirleme, potansiyel mekansal ödünleşimleri değerlendirme ve nihayetinde paydaş girdisine dayalı daha bilinçli planlar yapma konusunda yardımcı olmak için farklı bilgi kaynaklarını birleştirme ve sentezleme konusunda uzmanlaşmıştır (Geertman ve Stillwell 2003). NbS ve çeşitli sistemler (örneğin arazi kullanımı, sosyal, çevresel) arasındaki mekansal etkileşimlerin modellenmesi

NbS'nin büyük ölçekli uygulamalarından elde edilen faydaların itici güçlerini, geri bildirimlerini ve etkileşimlerini ortaya çıkarmada kilit öneme sahiptir (Bierwagen vd. 2010; Goldenberg vd. 2017). Madureira ve Andresen (2014) tarafından yapılan bir çalışmada, kamusal yeşil alanlara yakınlık ve yerel sıcaklık düzenlenmesini iyileştirme potansiyeli olmak üzere iki kriterle dayalı olarak yeşil altyapı için mekânsal öncelikli alanlar belirlenmiştir. Norton ve diğerleri (2015), yeşil altyapı yerleşimini ve türünü önceliklendirmek için çok ölçekli bir hiyerarşik model geliştirmiştir, ancak esas olarak soğutma faydalarına odaklanmışlar ve ağırlıklandırma protokolleri içermemişlerdir. Pan ve arkadaşları (2020), kentleşme ve insan kaynaklı arazi kullanım değişiklikleriyle ilişkili sera gazı emisyonlarını anlamak için insan süreçlerini (sosyo-ekonomik ve arazi kullanım politikaları) ve ekolojik süreçleri (küresel iklim etkileri olan insan faaliyetleriyle ilişkili sera gazı emisyonları) birleştiren mekânsal olarak açık bir arazi kullanım modeli geliştirmiştir.

Mekânsal bilginin sosyal-teknoloji sinerjisi ile bütünleştirilmesi, NbS planlamasında işbirliğine dayalı süreci kolaylaştırabilir. Sarabi ve arkadaşları (2022), toplumsal ihtiyaçların karşılanmasını ve ekosistem hizmetlerinin adil bir şekilde dağıtılmasını sağlamak için kullanıcıların NbS planlama sürecinin farklı aşamalarında etkileşime girmesine olanak tanıyan bir NbS planlama destek sistemini (NbS-PSS) tanıtmış ve test etmiştir. Venter ve arkadaşları (2021), Norveç'in Oslo kentinde yeşil çatı güçlendirmesinin mekânsal önceliklendirmesinde paydaşların katılımını sağlamak için bir araç oluşturmuş ve ekosistem hizmetleri açıklarında yüksek mekânsal korelasyon tespit etmiştir.

Mekânsal olarak açık ve sistematik PSS modellerinin mevcut yaklaşımında iki temel sınırlama vardır: (1) Çoğu kentsel NbS değerlendirmesi, sokak ağaçları veya yeşil altyapı olmak üzere sınırlı sayıda seçeneğe odaklanırken, farklı kentsel bağlamlarda etkili NbS'nin nasıl seçileceği hakkında çok az şey bilinmektedir; ve (2) çoğu model, öncelikli NbS müdahalesi için mahalleleri belirlerken, saha ve çözüm uygunluğu değerlendirmesi dahil edilmemiştir. Bu kısıtlamaların üstesinden gelmek için bu makale, NbS önlemlerinin önceliklendirilmesini ve çeşitli kentsel bağlamlarda saha uygunluğunun değerlendirilmesini entegre eden bir modelleme çerçevesi sunmaktadır. Bu çerçeve

çerçeve, farklı veri türlerine erişimi olan şehirler tarafından benimsenmek için yeterince esnek ve tekrarlanabilir.

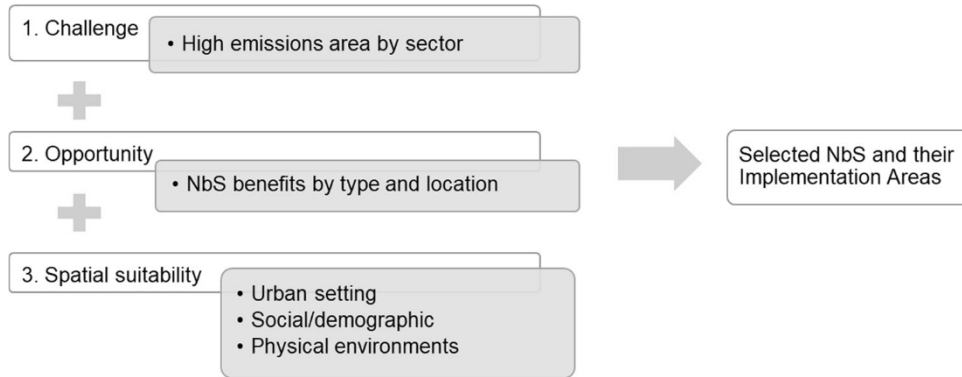
MALZEMELER VE YÖNTEMLER

Metodolojiye genel bakış

NbS müdahalelerinin taleplerini, konumlarını ve türlerini belirlemek için mekânsal olarak açık bir modelin oluşturulması üç ana adımdan oluşmuştur. İlk olarak, yüksek düzeyde karbon emisyonuna neden olması muhtemel ve bu nedenle azaltım öncelikli alanlar olan mahalleleri belirlemek için üç farklı sektör (konut, karayolu taşımacılığı, sanayi) için küresel veri tabanındaki ayrıştırılmış karbon emisyon haritalarını inceledik. İkinci olarak, farklı NbS yaklaşımlarının karbon emisyonlarını dengelemedeki etkileri ve uygun yerleşim seçenekleri hakkındaki kanıtları derlemek ve değerlendirmek için NbS hakkındaki mevcut literatürü inceledik. Bu adımda, vaka çalışması alanı için bir dizi çözüm belirlendi. Üçüncü olarak, NbS müdahalelerini beklenen etkilerine ve ince ölçekli mekânsal uygunluklarına göre mekânsal olarak konuşturduk. Karbon azaltma faydaları, NbS daha büyük ölçekte uygulandığında önemli bir kriterdir, ancak emisyonlara maruz kalma ve yerel koşullardaki mekânsal farklılıklar, daha küçük ölçekli azaltma önceliklerinin belirlenmesine yardımcı olabilir. Modelin akış şeması Şekil 1'de sunulmuştur.

Adım 1: Karbon emisyon kaynaklarının mekânsal olarak açık bir şekilde belirlenmesi

NbS uygulamalarının insan davranışlarına ve sosyo-ekonomik boyutlara müdahale edecek şekilde tahsis edilmesi, başlıca kentsel karbon emisyon kaynaklarının konumlarının ve seviyelerinin daha doğru bir şekilde anlaşılmasını gerektirir. İnce ölçekli emisyon analizi, emisyon verilerine daha büyük bakıldığında görülemeyen yerel sosyo-ekonomik etkenlerin belirlenmesine yardımcı olabilir. Karbon emisyonlarını ortaya çıkarmak için



Şekil 1 Doğa temelli çözümlerin (NbS) mekânsal olarak açık bir şekilde konuşlandırılmasına yönelik model çerçevesi

Yerel düzeyde politika ilgisi gerektiren emisyon 'sıcak noktaları', arazi örtüsü haritalarından elde edilebilen en iyi çözünürlük olan 30 \geq 30 m ölçeğinde karbon emisyon kaynaklarını belirlemek için sistematik bir yaklaşım uyguladık.

Ulaşım emisyonları

Literatür, kirlilik konsantrasyonları ile karayolu trafiği (Reynolds ve Broderick 2000) ve yol segmentlerindeki yıllık ortalama günlük trafik (AADT) arasında pozitif bir korelasyon olduğunu göstermektedir (Fu . 2017). Stockholm İlçesi ölçeğinde trafik hacmi verileri mevcut olmadığından, yollardaki trafik hacmi için bir vekil olarak yol sınıflandırmasını kullandık. Genel olarak, daha yüksek sınıflardaki yollar daha yüksek trafik hacmi ve daha yüksek hız için tasarlanmıştır, bu da daha yüksek emisyon üretimi ve konsantrasyonuna neden olur. Bu çalışmada, önce ikili dasimetrik haritalama (Mennis ve Hultgren 2006) kullandık ve doğrusal kaynaklara (yol) yönelik emisyonları belirlemek için yol = 1 ve yol dışı = 0 olarak ayarladık ve ardından her bir yol segmenti hücredeki emisyon kaynaklarını yol sınıfı ve nüfus yoğunluğuna göre ayarladık:

$$E_r = \sum_{s=1}^S \frac{C_t \times E_s}{C_s} \quad (1)$$

E_r : hedef (küçük) bölge t'deki emisyon kaynağı seviyesi; E_s : kaynak (büyük) bölge s'deki emisyonlar; C_t : hedef bölge t'deki yol hücrelerinin sayısı. Hedef bölge, verilerin ayrıştırıldığı en küçük ölçek 30 \geq 30 m olduğu için bizim durumumuzda $C_t = 1$; C_s : kaynak bölge s'deki yol hücrelerinin sayısı. otoyollar, ana yollar ve tali yollar. Biz ArcGIS'te bölgesel istatistikleri kullanarak değeri hesapladık:

$$e_r = E_t \times W_{\text{sınıf}} \times W_{\text{pop}} \quad (2)$$

e_r : hücre başına kt CO₂ eq cinsinden ulaştırma emisyonu; $W_{\text{sınıf}}$: yol sınıflarının ağırlığı. Standartlaştırılmış bir gönderi kullandık her bir yol segmentindeki hızı bir vekil olarak kullanmış ve

değerleri 0-1'e; W_{pop} : nüfus yoğunluğunun ağırlığı, nor-0-1'e ayarlandı.

Konut emisyonları

Konut kaynaklı karbon emisyonları (e_r) ile nüfus ve bina yoğunluğu arasında bir ilişki kurmaya çalıştık. Şehirleşmiş alanın yüzdesi karbon emisyonlarının ana itici gücü olduğundan (Vaccari vd. 2013), model girdileri olarak EuroStat'tan hücre başına düşen nüfusu ve Urban Atlas arazi kullanımı veritabanındaki (Avrupa Komisyonu 2017) kentsel doku yoğunluğu sınıflandırmalarını (11 100-11 300) kullandık:

$$e_r = f \text{Den}_{\text{pop}}; \text{Den}_{\text{bina}} \quad (3)$$

e_r : hücre başına kt CO₂ eq cinsinden konut emisyonu; Den_{pop} : hücre başına nüfus; Den_{bina} : hücre başına bina yoğunluğu, 0-1'e normalize edilmiştir.

Doğrusal parametrelerin bir kombinasyonu yerine genel bir fonksiyon (Eşitlik 3'te f) kullandık çünkü kentleşme ve karbon emisyon seviyesi arasındaki ilişki genellikle doğrusal değildir (Hong 2017; Ahmed vd. 2019). Nüfus sayılarını ve bina yoğunluğunu ince ölçekli ortak değişkenler olarak kullanarak kaynakların emisyon seviyelerini tahmin etmek için rastgele bir orman algoritması uyguladık. Benzer yaklaşımlar Sorichetta ve diğerleri (2015) ve Stevens ve diğerleri (2015) tarafından toplu sayımlardan küçük alan kadar nüfus yoğunluğunu tahmin etmek için kullanılmıştır. Modelimizde, gözlemlerin %70'ini eğitim verisi ve %30'unu test verisi olarak kullandık. Model, varsayılan parametreler olarak 500 ağaç ve her bir bölünmedeki sütun sayısının karekökünü kullanmaya . Kök ortalama kare hatasını (RMSE) azaltmak amacıyla ağaç sayısını ve özellik sayısını ayarlamak için bir ızgara araması kullanarak daha iyi performans gösteren bir parametre seçimi aradık.

Endüstriyel emisyonlar

Taşıma verileri için kullanılan yöntemde olduğu gibi, ikili bir dasimetrik haritalama modeli uyguladık (Mennis ve Hultgren 2006) endüstriyel ve ticari komplekslerden kaynaklanan emisyon kaynaklarını belirlemek için. Sanayi kategorisini temsil etmek için Urban Atlas arazi kullanımı veritabanında yer alan ve endüstriyel faaliyet alanlarını, büyük ticari alanları, enerji tesislerini, kanalizasyon arıtma tesislerini, kamu, askeri ve özel birimleri vb. içeren 12 100 arazi örtüsü tipi kullanılmıştır.

$$e_r = \sum_{s=1}^S \frac{C_t \times E_s}{C_s} \quad (4)$$

e_r : t hedef (küçük) bölgesindeki emisyonlar; E : t hedef (küçük) bölgesindeki emisyonlar

köken (büyük) bölge s; C_t : sanayi arazi kullanım hücrelerinin sayısı
hedef bölge t. $C_t = 1$ bizim durumumuzda, hedef bölge verilerin ayrıştırıldığı en küçük ölçek (30 \geq 30 m); C_s : s kaynak bölgesindeki sanayi arazi kullanım hücrelerinin sayısı. ArcGIS'te bölgesel istatistikleri kullanarak değeri hesapladık.

Adım 2: Meta analize dayalı olarak doğrudan karbon tutumu ve dolaylı karbon azaltımı için uygun NBS seçimi

NbS'nin karbon dengeleme çabalarının kıyaslanmasındaki ilerleme, genellikle sonuçların yetersiz sentezi nedeniyle kısıtlanmaktadır. NbS'nin etkisini daha iyi anlatmak için, farklı NbS türlerinin karbon nötrlüğüne yönelik fayda düzeylerini kabul eden mevcut çalışmalardaki bulguları entegre ettik.

Literatürde önerilen mekanizmaları özetlemek için Sandelowski ve Barroso (2007) tarafından önerilen nitel meta özet tekniklerini uyguladık. Meta-özet teknikleri, nitel ve nicel araştırma bulgularının bir kombinasyonunu sentezledikleri için bizim amaçlarımız açısından özellikle yararlı olmuştur. Araştırmacılar karbon emisyonu azaltımı konusuna istatistiksel modelleme, simülasyon, vaka çalışmaları, anketler ve tarihsel veri analizini içeren çeşitli analitik yöntemlerle yaklaşmışlardır. Meta analizi kullanarak (1) her bir makaleden bulgularla ilgili ifadeleri çıkardık; (2) bu ifadeleri karbon azaltım etkisinin yönü ve yoğunluğu ile bu yöntemlerin uygulandığı yerel sosyal ve ekonomik koşulları içeren soyut bulgulara indirgedik; ve (3) bulguları sonraki analizlerimizde kullanılabilir temel NbS stratejileri olarak temalaştırdık ve kategorize ettik.

Başlangıç olarak, 16 Temmuz 2022 tarihinde Web of Science veri tabanında NbS ve karbon emisyonu konularıyla ilişkili anahtar kelimeleri birleştiren çoklu arama sorguları kullanarak bir literatür taraması gerçekleştirdik (bkz. Tablo 1). Başlıkları, özetleri ve anahtar kelimeleri inceledikten sonra, aramayı 2010-2020 yılları arasında yayınlanmış ve İngilizce yazılmış "makale" türü belgelerle sınırladık.

Ulaşılan makaleler listesinden (578 makale), araştırma sorularını yanıtlamakla ilgili olmayan çalışmaları hariç tutmak için farklı dahil etme (IC) ve hariç tutma (EC) kriterleri (PRISMA, 2020) kullandık. Makaleler, başlık ve özet taramasından sonra hariç tutulmuştur.

IC1: Rapor, sıfır karbon emisyonuna giden yollara odaklanmaktadır.

EC1: Çalışma, karbon nötrlüğüne yönelik mekanizmaları veya yolları belirlemekten ziyade brüt karbon emisyon hacimlerini tahmin etmeye odaklanmaktadır.

IC2: Makale, karbon emisyonu azaltma stratejilerinin etkinliğini değerlendirir veya ölçer.

EC2: Makale politika önerileri sunmakta, ancak karbon azaltma önlemleri ve etkileri arasındaki niceliksel ilişkiyi incelememektedir.

Tablo 1 Arama sorgularını tasarlamak için kullanılan anahtar kelimelerin kombinasyonu

NbS anahtar kelimeler	Bağlantı boolean	Karbon emisyonu anahtar kelimeler
Doğaya dayalı çözümler VEYA NbS;	VE	Karbon
Yeşil çatılar;		İklim değişikliği;
Şehir parkları veya kamu parkları;		Karbon tutma
Sokak ağaçları;		
Yeşil altyapı VEYA GI;		
Korunmuş habitatlar;		
Kentsel tarım		

IC3: Makale, NbS olarak tanımlanabilecek karbon azaltım stratejilerini araştırmaktadır.

EC3: Makale, NbS kategorilerine girmeyen stratejileri araştırmaktadır (örneğin, fosil yakıt dışı enerji kaynakları, düşük karbonlu sübvansiyon politikaları, vb.)

IC4: Makale, başka yerlere uygulanabilecek aktarılabılır ölçütler (esneklik, yüzde değişim, birim başına değer gibi) üretmektedir.

EC4: Makale, başka yerlerdeki karbon azaltma etkilerini değerlendirmek için kullanılmayacak, duruma özgü sayısal değerler (toplam karbon emisyonu azaltımı gibi) .

Kalan 54 makalenin tam metni araştırma sorularına göre incelenmiştir. Bu seçim aşamasında, mümkün olduğunca farklı NbS yaklaşımlarını temsil eden vakaları dahil etmeyi amaçlayarak, doğrudan azaltım (örn. karbon yutağı) veya dolaylı azaltım (örn. düşük karbonlu tra- vel yönünde insan davranışını etkileyebilecek müdahaleler) içeren NbS müdahalelerini aradık. Ayrıca, dünyanın birden fazla ülkesinde ve bölgesinde yürütülen araştırmaları da kapsamayı ve çeşitli çalışma tasarımlarını dahil etmeyi amaçladık. Toplamda 20 makale nihai incelemeye dahil edilmiştir. Tablo 2, Asya ülkeleri (Çin: $n = 5$, Japonya: $n = 1$, Güney Kore: $n = 2$), ABD ($n = 3$), Kanada ($n = 2$), Avrupa ülkeleri İspanya: $n = 1$, İtalya: $n = 2$, İngiltere: $n = 1$) dahil ve bunlarla sınırlı olmamak üzere 10 ülkedeki vakalara odaklanan bu 20 makalenin temel özelliklerini özetlemektedir. 20 makalenin on , yöntemlerin birincil veri analizi (örn. saha araştırması) ve ikincil veri analizini (örn. CBS) içerdiği bir vaka çalışması tasarımını benimsemiştir. Geri kalanlar ($n = 5$) ise enerji modeli simülasyonları kullanmış veya istatistiksel regresyon modellerine dayalı kesitsel analizler uygulamıştır.

Seçilen makalelerden aşağıdaki bilgiler çıkarılmıştır:

- Çalışılan NbS ve karbon azaltımı arasındaki ilişkiyi gösteren ifadeler.
- NbS'nin karbon emisyonları üzerindeki etkisini tanımlamak için kullanılan yaklaşım ve göstergeler.
- NbS tasarımı için konum veya ortama ilgili değişkenler.

Bu adımdaki amacımız, işlevselliği karakterize etmekte-

Her bir aday NbS'nin uygulandığı kentsel ortamdaki uygunluğu. Sonuç, matris benzeri çok boyutlu bir genel bakış oldu. Çalışma alanının mekânsal özelliklerine dayalı olarak farklı NbS yaklaşım türlerinin önceliklendirilmesi.

Adım 3: Öncelikli alanları ve NbS müdahale türlerini belirleyin

İlk adımda üretilen yüksek emisyon haritalarını ve ikinci adımdan elde edilen NbS adaylarını birleştirdik

Tablo 2 İncelemeye dahil edilen makalelerin (n= 20) temel özellikleri

	Çalışma	Ülke	Şehirler	Çalışma tasarımı	Çalışma dönemi
1	Anderson ve Gough (2020)	Kanada	Ontario	Saha araştırması	2017
2	Chen (2015)	Çin	Birden fazla Çin şehri	Örnek olay incelemesi	2010
3	Zhao ve diğerleri (2010)	Çin	Hangzhou	Örnek olay incelemesi	2000-2002
4	De la Sota ve diğerleri (2019)	İspanya	Lugo	Örnek olay incelemesi	40 yıllık ufuk
5	Teo ve diğerleri (2021)	Küresel şehirler		Modelleme	2015
6	McPherson ve diğerleri (2011)	ABD	Los Angeles,	Örnek olay incelemesi	2007-2010
7	Cai ve diğerleri (2019)	Çin	Wuxi	Deney	2017-2018
8	Ismail ve diğerleri (2012)	Malezya	Teluk Bahang	Deney	2008
9	Kuronuma ve diğerleri (2018)	Japonya		Modelleme	45 yıllık ufuk
10	Russo ve diğerleri (2015)	İtalya	Bolzano	Örnek olay incelemesi	2011
11	Tang ve diğerleri (2016)	Çin	Pekin	Örnek olay incelemesi	2012-2014
12	Jo ve diğerleri (2020)	Güney Kore	Seul, Daejeon, Daegu, Chuncheon, Suncheon	Örnek olay incelemesi	2012-2019
13	Sarkar ve diğerleri (2015)	BİRLEŞİK KRALLIK		Londra	Anket
14	Lindsay ve diğerleri (2011)	Yeni Zelanda		Örnek olay incelemesi	2003-2006
15	Vaccari ve diğerleri (2013)	İtalya	Floransa	Örnek olay incelemesi	2006-2011
16	Escobedo ve diğerleri (2010)	ABD	Gainesville ve Miami-Dade	Modelleme	2008
17	Jo ve diğerleri (2019)	Güney Kore	Seul	Örnek olay incelemesi	2017
18	Ye ve diğerleri (2015)	Çin	Xiamen	Örnek olay incelemesi	2009
19	Tomalty (2012)	Kanada	Ontario	Örnek olay incelemesi	2011-2031
20	Han ve diğerleri (2022)	ABD	Altı büyükşehir ilçesi	Örnek olay incelemesi	2006-2016

Her bir NbS türünün nerede uygulanabileceği sorusunu araştırmak için. Bölgedeki arazi yüzeylerini iki grup göstermeye göre karakterize ettik: *zorluklar* ve *mekansal uygunluk*; burada zorluklar her konumun uğraştığı emisyonlara atıfta bulunurken, *mekansal uygunluk* konumun arazi kullanımını ve belirli NbS türlerini uygulamak için fiziksel koşulları değerlendiren göstergeleri içerir. Tablo 3, zorluklar ve mekansal uygunluk göstergeleri için kullanılan mekansal verileri listelemektedir. Benzer bir gösterge sınıflandırması Kuller ve diğerleri (2019) ve Sarabi ve diğerleri (2022) tarafından da önerilmiştir.

Her bir NbS adayını ayrı ayrı değerlendirdik. İlk olarak, seçilen NbS'nin uygulanamayacağı yerleri maskeleyerek mekansal uygunluk haritaları ürettik. İçin

Örneğin, seçilen NbS yeşil binalar ise, sadece bina ayak izi alanı analize dahil edilmiştir. İkinci olarak, zorlukları ve mekansal uygunluk haritalarını birleştirerek seçilen NbS'ye öncelik vermek üzere mahalleler oluşturduk. Yer seçimi problemlerinde kriterleri birleştirmek için ağırlıklı doğrusal birleştirme (WLC) (Malczewski 2006) ve analitik hiyerarşi süreci (AHP) yöntemi (Parry et al. 2018) gibi çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu çalışmada, her bir haritada uygulamanın en etkili olduğu yerleri belirlemek için yüksek yüzdelik değerler için eşikler seçtik ve belirlenen yerleri eşit ağırlıklarla birleştirdik. İdeal olarak, kapsayıcı bir sosyal-teknolojik modelleme yaklaşımı, paydaşlara eşiklerini tanımlama seçeneği sunacaktır (yani, ne kadar büyük bir

Tablo 3 Zorluklar ve mekansal uygunluk göstergeleri

	Göstergeler	Veri Setleri	Veri kaynağı
Zorluklar			
Emisyonlar	Sektörlere göre CO ₂ emisyonları	Emisyonlar	Küresel Karbon Şebekesi (2019)
Mekansal uygunluk			
Kentsel ortam	Nüfus yoğunluğu	Nüfus sayımı verileri	EuroStat (2018)
	Bina yoğunluğu	Kentsel doku yoğunluk sınıflandırmaları	Kent Atlası (2018)
	Mevcut geliştirme	Arazi kullanım verileri	Kent Atlası (2018)
Fiziksel gereksinimler	Yollar	Sokak ağı	Tillva "xtoch regionplanefo" rvaltningen (TRF), 2017
	Binalar	Bina ayak izleri	

uygulama alanı dikkate alınmalıdır) ve hem fırsat hem de zorluk taraflarından göstergeler için ağırlıklar seçin.

Vaka çalışması sahası ve veri kaynakları

Stockholm, İsveç'in siyasi başkenti ve ticaret merkezidir. 2020 yılında Stockholm İlçesinin tahmini nüfusu 2,3 milyon, şehir sınırları içindeki nüfus ise 975.000'dir. Bölgenin büyümeye devam etmesi ve 2050 yılına kadar Stockholm County'de yaşayan tahmini nüfusun 3,5 milyon olması beklenmektedir (TRF 2017). Bu büyümeye altyapı sağlamak ve hoş bir şehir ortamı sağlamak için şehir ve ilçe kalkınma planları yeşil ve mavi alanları koruyarak biyoçeşitliliği destekleyerek ve sakinler için doğa rekreasyon fırsatlarını geliştirerek sürdürülebilirliği artırmayı vurgulamaktadır. İklim politikası çerçevesinin uzun vadeli iklim hedefi, İsveç'in en geç 2045 yılına kadar atmosfere sıfır net sera gazı salımı yapması ve daha sonra da negatif salım Çalışma sahasının konumu ve arazi kullanımları Şekil 2'de gösterilmektedir.

Analizimizde, Küresel Altyapı Emisyonlarından Küresel Karbon Grid verilerini (Qin ve ark. 2022) kullandık.

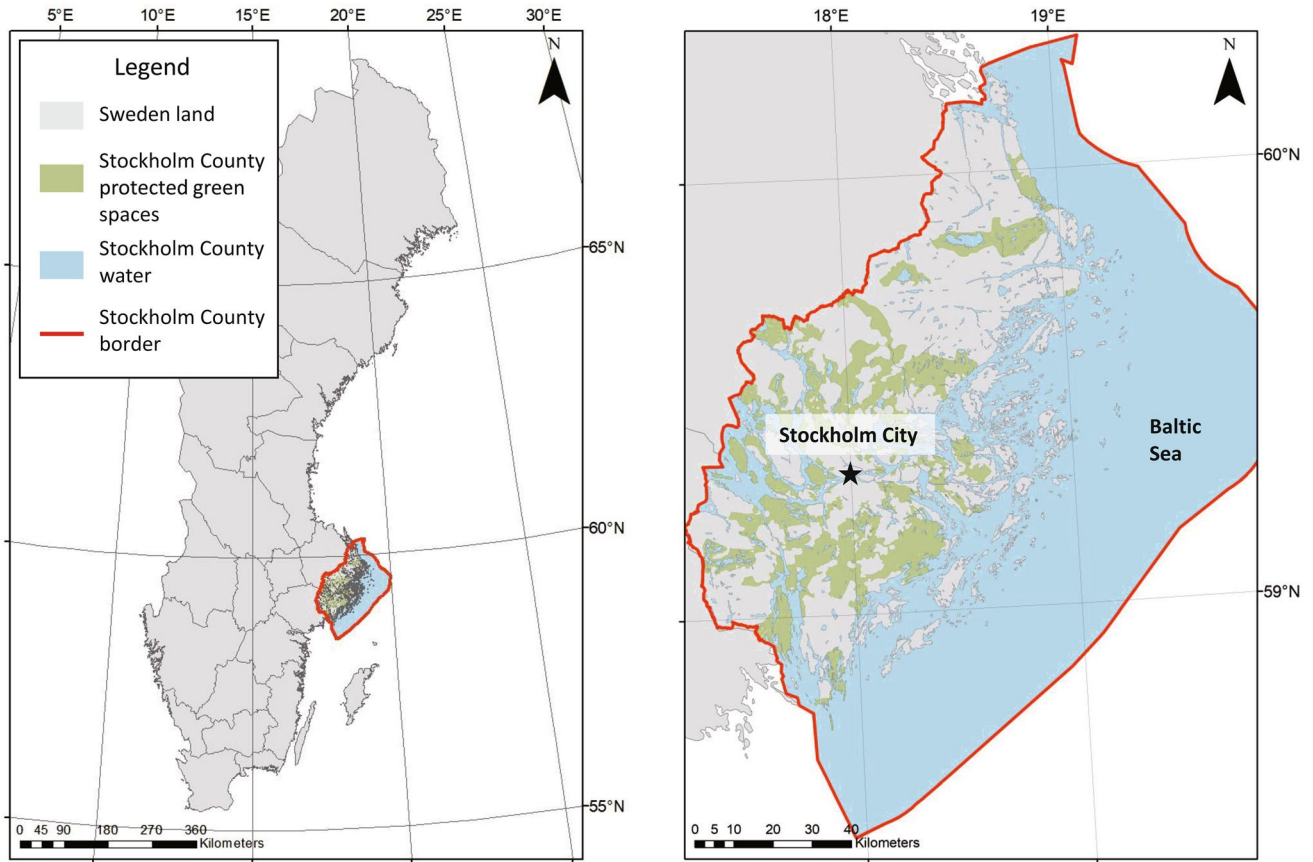
Veritabanı (<http://gidmodel.org.cn/>). Küresel Karbon Gridi, altı kaynak sektörü (enerji, sanayi, konut, trans-port, denizcilik ve havacılık) için $0.1^\circ \times 9.0.1^\circ$ CO₂ emisyon haritaları (2019 yılı) sunmaktadır.

noktasal kaynaklar, ülke düzeyindeki sektörel faaliyetler ve emisyonlar ile liman ötesi emisyonlar ve dağılımlar dahil olmak üzere çoklu veri akışlarını entegre etmektedir. Tüm bunlar, en güncel küresel emisyon haritalarını sağlamak için yıllık bazda güncellenmektedir. Konuma dayalı tahminler, doğru yüksek çözünürlüklü emisyon haritaları oluşturmak için temel oluşturmaktadır.

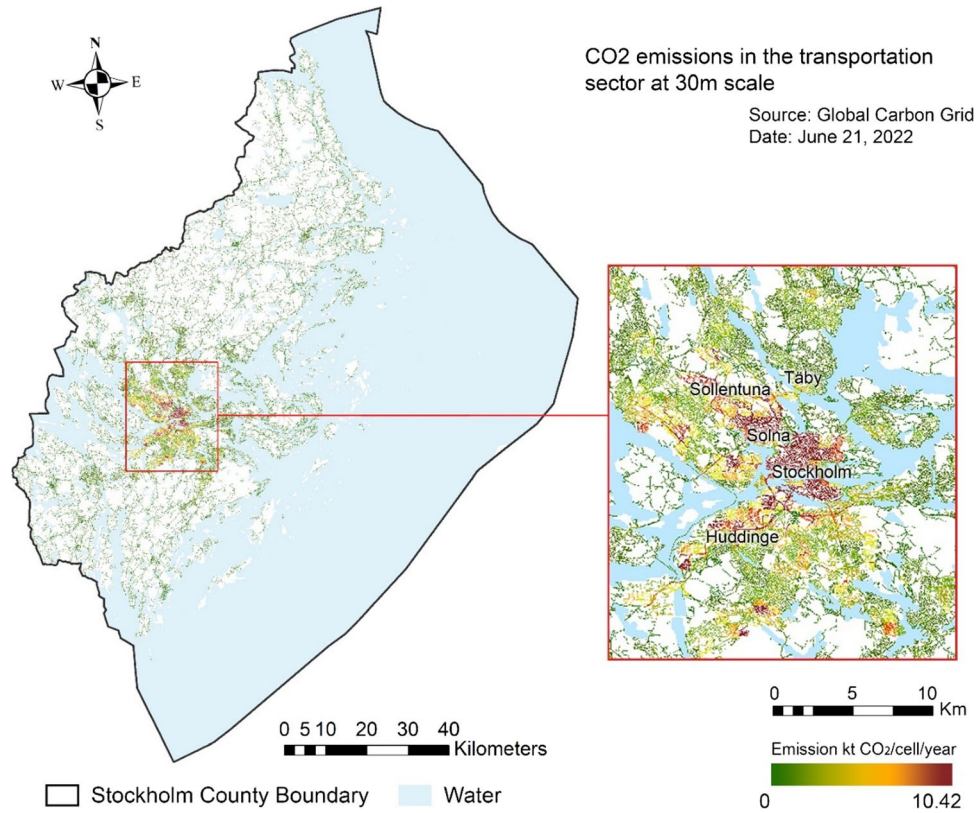
SONUÇLAR

Başlıca karbon emisyon kaynaklarının sektörlere göre mekansal dağılımı

CO₂ emisyon kaynaklarını 30930 m ölçeğinde belirleyerek, ilk olarak çalışma bölgesindeki başlıca ulaşım emisyon kaynaklarını tespit ettik (Şekil 3). Bu ana emisyon kaynaklarının çoğu, kısmen yüksek karayolu trafiği nedeniyle Stockholm şehrinin mevcut kentsel merkezinde ve Solna'da bulunmaktadır.



Şekil 2 (solda) İsveç'in güneydoğusundaki vaka çalışması alanının konumunu ve (sağda) Stockholm İlçesindeki arazi kullanımlarını ve Stockholm şehrinin konumunu gösteren haritalar



Şekil 3 Yıllık karayolu taşımacılığı karbon emisyonlarının yoğunluğunu gösteren Stockholm İlçesi haritası

yoğunluk ve daha fazla insan hareketliliği ve faaliyeti. Huddinge, Sundbyberg, Täby ve Arlanda Havaalanı bölgesi gibi kent merkezinden gelişmekte olan alt merkezlere doğru uzanan ana ulaşım koridorları etrafında orta ila yüksek emisyon alanları meydana gelmektedir. Otoyollar boyunca yüksek seyahat hızları, bu bölgelerdeki başlıca emisyon kaynaklarına katkıda bulunan önemli bir faktör olabilir. Kırsaldan kente gelişim aynı zamanda şehirler arası araba yolculuğunu da artırmaktadır; bu da daha fazla araç-kilometre kat edilmesi, daha fazla ulaşım enerjisi kullanımı ve dolayısıyla daha fazla emisyon anlamına gelmektedir.

Başlıca konut emisyon kaynakları, Stockholm İlçesindeki yüksek nüfuslu bölgelerde, ya şehir merkezinde ya da seyrek nüfuslu bölgelere kıyasla çevre bölgelere dağılmış durumdadır (Şekil 4). Bu etki bina yoğunluğuna göre değişmektedir, örneğin kuzey Solna ve Sundbyberg'deki müstakil evler, daha düşük nüfus yoğunluğuna rağmen, güney Stockholm Şehrindeki çok aileli evlerle neredeyse aynı düzeyde emisyon sergilemektedir. Bu durum, konut karbon emisyonu tahminlerinde ve kentsel ve çevresel planlamada bazen göz ardı edilen bir faktör olan düşük yoğunluklu konut gelişmelerinin daha yüksek bina enerji emisyonları ortaya çıkarma olasılığının daha yüksek olduğuna dair önceki bulguları doğrulamaktadır (Pan vd. 2019).

Endüstriyel ve ticari emisyon kaynakları genellikle fosil yakıtların enerji ve ısı için yakılmasından, belirli ürünlerin kullanılmasından oluşur.

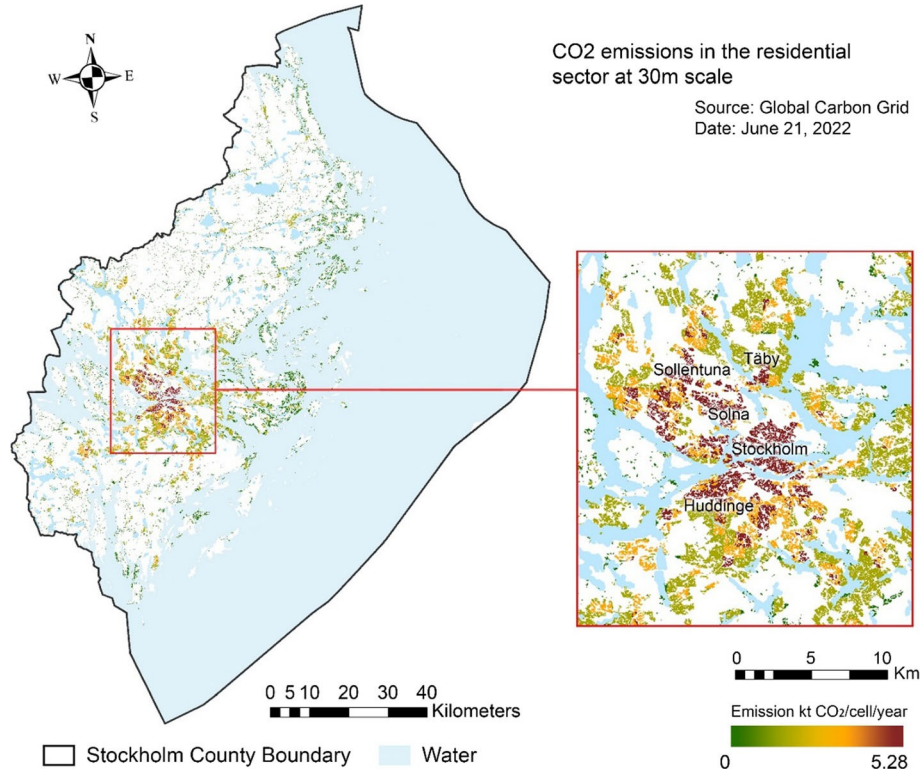
sera gazları ve atık işleme (EPA 2020). Stockholm İlçesine ilişkin haritalarımızda, endüstriyel ve ticari emisyon kaynaklarının dağılımı kentsel gelişimle ilişkili daha az belirgin modeller göstermiş ve bunun yerine büyük enerji tüketicilerinden etkilenmiştir. İnşaat şirketleri, yapı malzemeleri tedarikçileri, otomobil endüstrisi ve geri dönüşüm merkezleri, ilçenin periferik veya kırsal alanlarında bile daha yüksek emisyonlar sergilemiştir (Şekil 5).

NbS'nin kentsel karbon emisyonlarını azaltma kapsamı

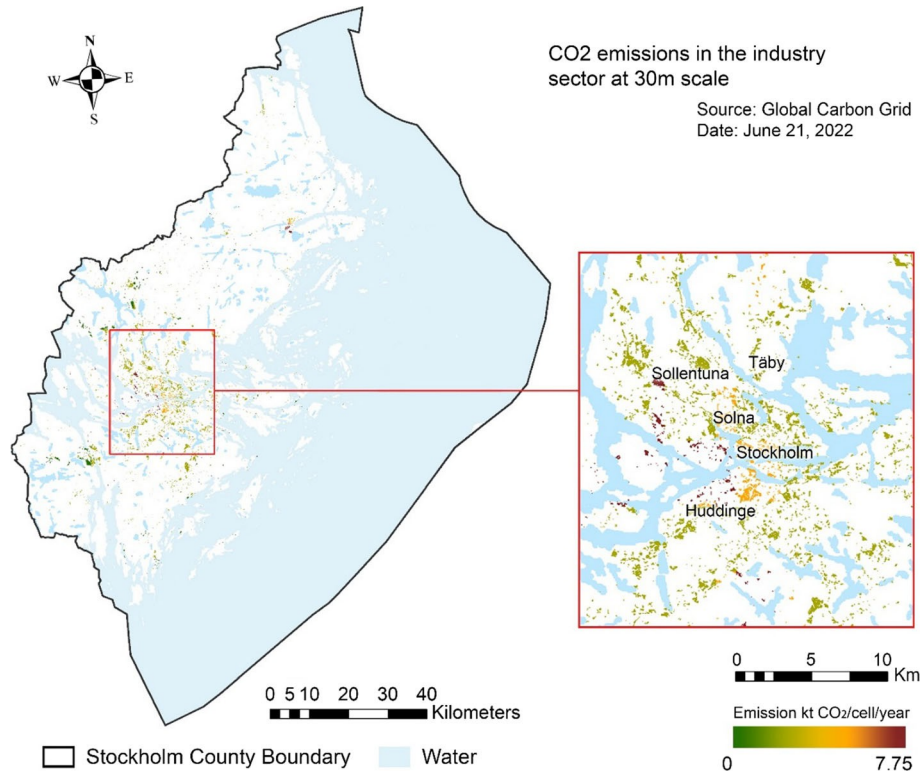
İncelediğimiz makalelerde ortaya konan sıfır karbon emisyonuna ulaşma mekanizmaları, birkaç temel NbS stratejisine girmektedir. Daha fazla çalışma için kentsel alanlarda uygulanan aşağıdaki en yaygın beş NbS türünü seçtik:

- (1) yeşil ve mavi altyapı (GBI), (2) yeşil binalar,
- (3) sokak ağaçları, (4) kentsel yeşil alanlar ve (5) yeşil kuşak.

Analizin bu bölümünün amacı, karbon emisyonlarını azaltmak için NbS kullanımının etkinliğini analiz etmektir. Yeşil alan ve yapı, bitki türleri, iklim koşulları, arazi kullanımı ve farklı çalışmalarda kullanılan metodolojilerdeki büyük farklılıklar nedeniyle bir etkinlik standardı geliştirmek zordur (Aguarón ve McPherson 2012; Strohbach ve Haase 2012; Weissert ve ark. 2014). Bununla birlikte, literatür taramamızdan birkaç model ortaya çıkmıştır.



Şekil 4 Yıllık konut karbon emisyonlarının yoğunluğunu gösteren Stockholm İlçesi haritası



Şekil 5 Yıllık endüstriyel karbon emisyonlarının yoğunluğunu gösteren Stockholm İlçesi haritası

- (1) Ağaçların, kentsel açık alanların ve yeşil cephelerin iklim değişikliği etkilerini dengeleme potansiyeli yalnızca bu tesislerin türü ve ölçeğiyle değil, aynı zamanda konumlarıyla da ilgilidir (Zolch vd. 2018; Sarabi vd. 2022). Örneğin, Vaccaci ve diğerleri (2013) yoğun yapılaşmanın olduğu bölgelerde kesintisiz yeşil alanların parçalı bitki örtüsüne kıyasla daha yüksek karbon dengeleme oranlarına sahip olduğunu bulurken, De la Sota ve diğerleri (2019) karbon azaltımında yeşil altyapıları mekânsal olarak birbirine bağlamanın tahakkuk eden faydalarını vurgulamakta ve Ye ve diğerleri (2015) yerleşim alanlarında daha erişilebilir yeşil alanların ve su kütlelerinin konumlandırılmasını savunmaktadır.
- (2) Bazı NbS'ler bir sektördeki karbon emisyonlarını azaltmada diğerine göre daha etkilidir. Örneğin, yeşil çatılar, tasarruf edilen bina enerjisi nedeniyle konut sektöründen kaynaklanan karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilirken (Kuronuma ve ark. 2018; Cai ve ark. 2019), ulaşım ile ilgili karbon emisyonlarını yakalama kapasiteleri ihmal edilebilir ve daha az çalışmıştır.
- (3) Farklı çalışmalar arasında doğrudan karşılaştırma yapmak sorunlu olsa da, karbon tutma oranı, karbon emisyonu azaltma oranı ve toplam emisyonlardan karbon dengeleme yüzdesi gibi göreceli ölçütler her bir NbS'nin karbon azaltma kapasitesi aralığını gösterebilir.

Escobedo ve diğerleri (2010) ile Sarabi ve diğerlerine (2022) dayanarak, NbS'nin karbon emisyonu azaltımındaki göreceli etkinliğini temsil etmek için NbS'nin etki düzeyini 1'den 5'e kadar bir ölçekte derecelendirdik. 5 değeri, zorluğun üstesinden gelmek için nispeten yüksek bir potansiyele ederken, 1 değeri düşük potansiyeli göstermektedir (Tablo 4). Her bir NbS türünün etkisi, uygulandığı sosyal ve fiziksel koşullardan etkilendiğinden, bu koşulları çok boyutlu bir değerlendirmede kentsel ortam, emisyon türü ve çalışma ölçeğine göre daha da karakterize ettik. Analizin bu noktasında, kentsel ortamları kabaca yüksek yoğunluklu kentsel çekirdek, kent çevresi alanlar ve kırsal alanlar olarak kategorize ettik. Daha detaylı kentsel ortam karakterizasyonu 3. adımda gerçekleştirilmiştir.

NbS müdahalelerinin öncelikli alanları ve türleri

Bu adımda, Tablo 5'te listelenen kriterler kullanılarak her bir NbS için zorluk ve mekânsal uygunluk haritaları üretilmiştir. Yer seçimi analizi, kullanılan veri setlerinin mekânsal çözünürlüğü dikkate alınarak 30 m'lik grid hücreleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sistemin benimsenmesini kolaylaştırmak için esas olarak şehirlerin kolayca erişebileceği veriler kullanılmıştır (Avrupa, ulusal veya belediye veri tabanlarından kamuya açık veriler).

NbS öncelikli alanlar için nihai harita, genel karbon emisyonlarının azaltılmasını kolaylaştırmak üzere NbS'nin planlama ve politikaya dahil edilmesi için çeşitli fırsatlar ortaya koymuştur (Şekil 6, sol panel). Sokak ağaçlarının artırılması, yoğun gelişmiş kent merkezi için önde gelen fırsat olarak ortaya çıkarken, GBI koruması, kentin ortamı ve yüksek bitki örtüsü tutma potansiyeli nedeniyle Stock- holm County'nin banliyö ve kırsal alanlarında etkili bir yaklaşım olarak görünmektedir. Mekânsal ortak konumlandırmanın da kentsel NbS uygulamasının daha iyi maliyet etkinliğine ulaşmasıyla ilgili olduğu görülmüştür; örneğin, yeşil alana erişim GBI koruma projelerine entegre edilmelidir, çünkü yüksek kaliteli doğal alanların bazı kısımları kent çevresindeki konut sakinleri ve çalışanlara yeşil erişimi iyileştirmek için yeşil alanlar olarak tasarlanabilir.

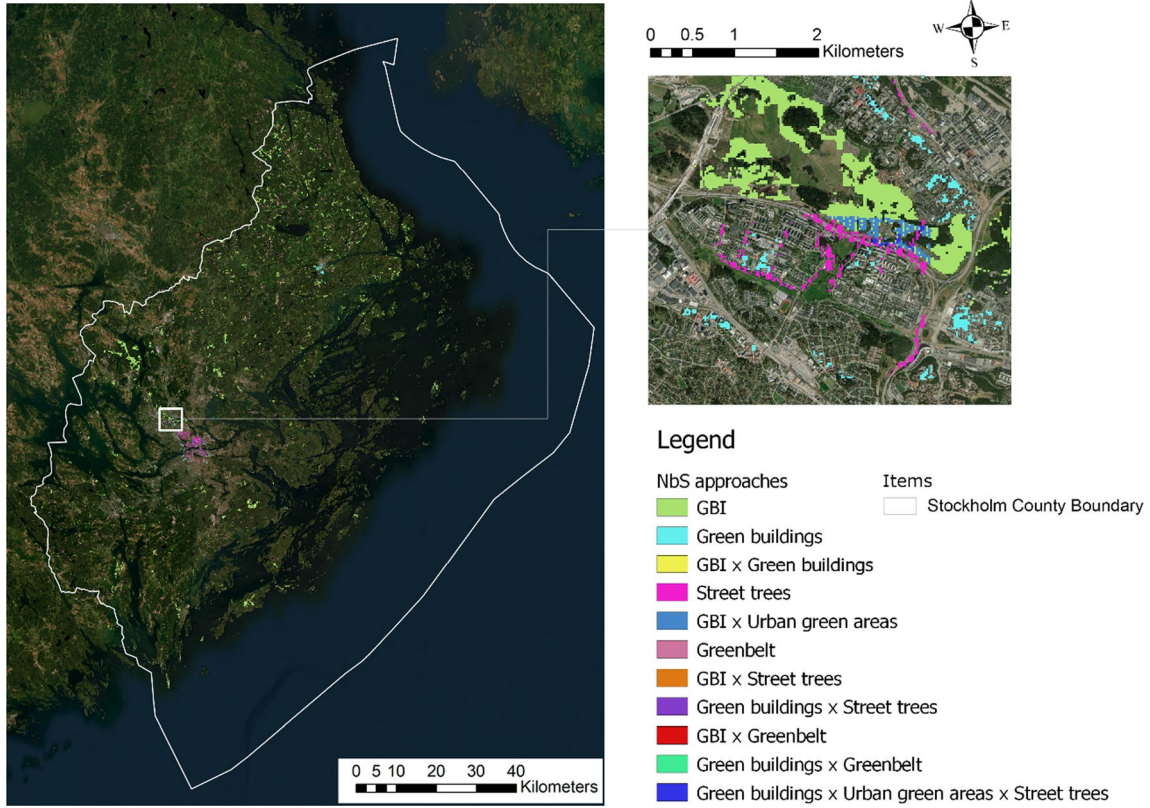
Sundbyberg yakınlarındaki Stockholm banliyösüne ait büyük ölçekli görüntü (Şekil 6, sağ panel) potansiyel NbS müdahalelerinin yerel olarak nasıl uygulanabileceğini göstermektedir. Bu alan ağırlıklı olarak çok aileli konut kullanımını ve yeşil binaların yüksek çevresel ve enerji getirisi elde etmesinin beklenebileceği ticari kullanımı içermektedir. Ayrıca, bu orta ila yüksek yoğunluklu alanda gri altyapı ortamını iyileştirme potansiyeli nedeniyle sokak ağaçları için yoğun alanlar belirledik. GBI müdahaleleri, gelecekteki gelişimin doğal ortamlara tecavüz etmesini önlemek için öncelikle doğal rezervlerin etrafındaki alanlara uygulanmalıdır.

Tablo 4 Farklı mekânsal ortamlar için doğa temelli çözüm (NbS) stratejileri ve bunların farklı sektörler üzerindeki karbon emisyonu azaltım etkileri. Puanlar (1-5) uygulama önceliğini temsil etmektedir (en düşük için 1 ve en yüksek için 5)

		GBI	Yeşil binalar	Sokak ağaçları	Kentsel yeşil alanlar	Yeşil Kemerler
Kentsel çekirdek	Ulaşım	1	2	4	1	1
	Konut	1	4	3	5	2
	Endüstri	2	4	3	4	2
Kent çevresi alanlar	Ulaşım	4	1	3	1	5
	Konut	3	3	2	3	4
	Endüstri	2	2	1	3	3
Kırsal alanlar	Ulaşım	4	1	2	1	3
	Konut	4	1	1	2	2
	Endüstri	3	1	1	2	2

Tablo 5 Doğa temelli çözüm (NbS) müdahale alanlarının önceliklendirilmesinde kullanılan eşik değerler

Yeşil-mavi altyapı		Yeşil binalar	Sokak ağaçları	Kentsel yeşil alanlar	Yeşil Kemerler
Emisyonlar (meydan okuma)					
Ulaşım emisyonları			En iyi 50. yüzdelerlik dilim		
Konut emisyonları		En iyi 75. yüzdelerlik dilim			
Endüstriyel emisyonlar		En yüksek 75. dilim			
Kentsel ortam ve demografik karakterler (mekansal uygunluk)					
Nüfus yoğunluğu			En üst yüzde 90'lık dilim	En üst yüzde 90'lık dilim	En alt yüzde 25'lik dilim
Bina yoğunluğu		Sürekli kentsel doku			
Fiziksel çevre (mekansal uygunluk)					
Bina çatıları		Evet			
Mevcut arazi kullanımı	Orman ve yarı doğal alanlar (çalı ve/veya otsu bitki örtüsü, açık alanlar ile az veya hiç bitki örtüsü yok)		Karayolu ulaşımı	Açık alanlar ile çok az veya hiç bitki örtüsü yok	Korunmuş doğal kaynaklar, büyüme olmayan alanlar, ormanlar, sulak alanlar



Şekil 6 (Solda) Stockholm İlçesinde yaklaşımımıza göre farklı doğa temelli çözüm (NbS) müdahaleleri için önceliklendirilen alanlar, uydu görüntüsü arka planıyla görselleştirilmiş ve (sağda) Stockholm banliyösündeki Sundbyberg bölgesinin yakınlaştırılmış görüntüsü

TARTIŞMA

Sonuçlarımızın uygulama ve politika oluşturma açısından üç önemli çıkarımı vardır. Bunlardan ilki, *Türkiye'deki nüfusun mekânsal dağılımı* ile ilgilidir.

önerilen NbS müdahaleleri. NbS kentsel ve kırsal alanlara yayılabilir de, NbS'nin önceliklendirilmesi belirli bir konuma göre yapılmalıdır; örneğin, kent merkezlerinde, en hoş karşılanan ve en etkili önlemler yapay zeka ile

yeşil alanlara ve sokak ağaçlarına erişimin eş zamanlı olarak iyileştirilmesini içeren doğal yeşil olanaklar (Samuelsson 2021). Bu tedbirlerin uygulanması, kentsel doğal olanaklara ilişkin politikaların yanı sıra dezavantajlı bölgelerin hedeflenmesi, eşitsizliklerin belirlenmesi, fiziksel engellerin kaldırılması (kapılı yeşil), ortaklık ve katılım gibi sosyal politikaları da gerektirmektedir (Gupta . 2016; Biernacka ve Kronenberg 2018; Kronenberg vd. 2020). Kırsal ve banliyö alanları için en önemli NbS önlemleri, yeşil kuşak, çim şeritleri ve diğer yeşil altyapı biçimlerini içeren doğal alanların korunması ve kullanılmasıyla ilgilidir. Kent ormanları, geçici ekosistemler ve yerel doğal rezervler de dahil olmak üzere doğal özellikler, kentsel alanlar için ekosistem hizmetleri sağlayabilir, altyapı maliyetlerinden tasarruf sağlayabilir ve kentsel yayılmayı önleyebilir (Gavriliadis vd. 2019).

Bulgularımızın ikinci pratik çıkarımı, *NbS tedbirlerinin fazla karbon emisyonu sektörüne (ulaşım, konut, sanayi) fayda sağlayabileceği ve birden fazla NbS müdahalesine öncelik verilen yerlerde ortak faydalar üretebileceğidir*. Mekânsal olarak ayrıntılı analizimiz, birden fazla NbS yaklaşımının bir arada var olma potansiyelini ortaya koymuştur. Yol yoğunluğu ve nüfus yoğunluğu yüksek olan kentsel merkezler ve alt merkezler, yeşil altyapılardan sokak ortamlarına, yaşam kalitesi olanaklarına, erişilebilir rekreasyon fırsatlarına ve yeşil çatılara kadar çeşitli yaklaşımlardan faydalanabilir. Bu NbS müdahalelerinin uygulanması konut, ulaşım ve sanayi sektörleri için ortak faydalar sağlayacaktır.

Üçüncü pratik çıkarım, *NbS uygulamasının davranışsal etkileriyle* ilgilidir. Bu çalışmada, karbon tasarrufu hedeflerine ulaşmak için NbS'nin hem doğrudan hem de dolaylı yollarını değerlendirdik. Yeşil alanların korunması gibi doğrudan etkiler literatürde yaygın olarak bildirilmektedir (Li ve Wang 2021; Page . 2021; Ramchunder ve Ziegler 2021), ancak NbS'yi insan davranışlarını dürtmek ve etkilemek için potansiyel bir araç olarak kullanmak, karbon nötrlüğüne ulaşmak için politika oluşturmada önemli, ancak genellikle göz ardı edilen bir fırsattır (Linder vd. 2022). Örneğin, şehir merkezindeki sokak manzaralarının iyileştirilmesi yalnızca ulaşım emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunmakla kalmaz, aynı zamanda yürüyüş ve bisiklet kültürünün teşvik edilmesi ve çevre bilincine sahip bir sivil toplum oluşturulması açısından da faydalıdır (Ewing vd. 2015; Cain vd. 2017; Liu vd. 2020). Değişimin sosyo-psiko-mantıksal yönleri Seyfang ve Haxeltine (2012) tarafından vurgulanmış ve davranış normlarında bir değişim ile değer ve inançlarda toplumsal değişimler hedeflenmiştir (Westley . 2011). Dolayısıyla, kentsel karbon nötrlüğüne ulaşmak için daha geniş bir kentsel NbS araç kutusuna yeşil eğitim, yeni yeşil işler, katılımcı yer temelli öğrenme ve deneyimleme ve sivil örgütleri NbS yönetimine davet etme gibi davranışsal ve duyarlılık geliştirici müdahalelerin dahil edilmesine acil bir ihtiyaç olduğunu görüyoruz.

NbS'nin iklim eylemlerinin ötesinde habitat kalitesinin artırılması, rekreasyonel faaliyetlerin teşvik edilmesi gibi birçok faydası vardır.

fırsatları ve insan sağlığı, olanaklara eşit erişimin artırılması ve yeşil sektörde istihdam yaratılması (Raymond . 2017; Giordano vd. 2020; Ruangpan vd. 2021). Alan kısıtlamaları nedeniyle, araştırmamızı karbon emisyonu etkilerine odakladık, ancak gelecekteki çalışmalar NbS'nin tüm çevresel ve sosyo-ekolojik boyutlardaki çok işlevliliğini ve ortak faydalarını kabul etmelidir.

SONUÇLAR

Bu makale, yerel ölçekte NbS müdahalelerine olan ihtiyacı belirlemek ve NbS müdahaleleri için sahaları ve stratejileri önceliklendirmek için yeni bir sistematik çerçeve sunmaktadır. Küresel düzeyden mahalle düzeyine inerek, yerel koşullar göz önüne alındığında otomobil emisyonu tasarruf potansiyelini en üst düzeye çıkarabilecek NbS stratejilerini ve bunların uygulanması gereken yerleri belirledik. Vaka çalışmamızda, Stockholm'ün şehir merkezi ve çevresindeki alanların, Stockholm'ü karbon-nötr bir şehre dönüştürmek için gereken karbon tasarrufu faydalarını en üst düzeye çıkarmak için farklı NbS ihtiyaç duyduğu gösterilmiştir. Kent merkezinde, en uygun ve verimli önlemler yeşil alanlara ve sokak manzaralarına erişimi iyileştirmeyi bir araya getirmektedir. Kırsal ve banliyö bölgelerinde ise en önemli tedbirler, yeşil kuşak ve yeşil altyapıyı içeren doğal alanların korunması ve kullanılmasıyla ilgilidir. Kent ormanları, geçiş ekosistemleri ve yerel doğa rezervleri gibi doğal özellikler kentsel alanlara ekosistem hizmetleri sağlayabilir, altyapı maliyetlerinden tasarruf sağlayabilir ve kentsel yayılmayı önleyebilir.

Bu çalışmada geliştirilen çerçeve, ısı stresi, yağmur suyu yönetimi, hava kalitesi, peyzaj bağlanabilirliği ve mekânsal eşitlik gibi çeşitli kentsel sürdürülebilirlik ve dayanıklılık sorunlarını ele almak için uygulanabilir ve bunların her biri belirli bir dizi hafifletici yaklaşım gerektirecektir. Tipik bir uygulamada, önce mahalleler bir dizi zorluğa maruz kalma ve/veya kırılabilirlik düzeyine göre sıralanabilir, ardından faydaları ve etkilerine göre tehlike azaltıcı yaklaşımlara öncelik verilebilir ve son olarak, sosyal kriterleri ve fiziksel koşulları üst üste bindirmek ve mekânsal olarak ayrıntılı haritalar oluşturmak için kural tabanlı uygunluk analizi yapılabilir. Önerdiğimiz yöntem, planlamacıların amaçlanan risk/tehlike azaltıcı müdahaleler için hedef konumları daha iyi seçmelerine yardımcı olabilir.

Bu çalışmanın metodolojik sınırlamalarından biri ampirik veri eksikliğidir ve bu tür analizler daha fazla kanıt elde edildikçe geliştirilebilir. Urban Atlas'tan alınan arazi örtüsü tipi verileri faydalıdır ancak yerel ölçekli emisyonları daha iyi hesaba katmak için ilave sosyo-ekonomik değişkenlerle tamamlanabilir. Ayrıca, analizimiz yalnızca NbS'nin uygulanabileceği fiziksel ortamı kapsamaktadır, bu nedenle gelecekteki çalışmalarda NbS'nin uygulanması

Sosyal gruplar arasında diğer çevresel ve sosyal faydalarla koordineli.

Bir diğer sınırlama ise çalışmamızın daha işbirlikçi bir mekânsal planlama süreci için yinelenen çözümlere odaklanmamış olmasıdır. Yöntemlerimiz, NbS eylemlerinin mevcut ve/veya önerilen kentsel planlama stratejileri ve yönetim süreçleriyle uyumlu olmasını sağlamak için mekânsal olarak ayrıntılı çözümler sunarken, daha ileri çalışmalar, uygun müdahale alanlarının ve çözümlerinin belirlenmesi açısından daha fazla paydaş girdisini kolaylaştırmak için analizi işbirlikçi bir planlama sürecine entegre edebilir. Uygulayıcıların, planların sosyal açıdan anlaşılabilir ve kabul edilebilir olmasını sağlamak amacıyla NbS tasarımı ve uygulaması için farklı bilgi ve değer türlerini ve sistemlerini entegre etmeleri gerekmektedir.

Teşekkür Bu çalışma Çin Ulusal Doğa Bilimleri Vakfı [NSFC 52000130], İsveç finansman ajansı [Formas Grant 2021-00293] ve [Formas Grant 2021-00416], Formas ve Mistra tarafından finanse edilen FAIRTRANS programı [DIA 2019/28] ve KK-Stiftelsen tarafından finanse edilen FUTURE PROOF CITIES programı tarafından desteklenmektedir.

Yazar katkıları CC: Veri küratörlüğü, Metodoloji, Yazılım, Görselleştirme ve Araştırma; HP: Yazım-Orijinal taslak hazırlama, Kavramsallaştırma ve Doğrulama. JP: Veri düzenleme ve Metodoloji; SB: Süpervizyon, Yazma-İnceleme ve Düzenleme; ZK: Yazma-İnceleme ve Düzenleme, Kavramsallaştırma ve Süpervizyon.

Fonlama Açık erişim fonu Royal Institute of Technology tarafından sağlanmıştır.

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

REFERANSLAR

Aguaron, E. ve E.G. McPherson. 2012. Sacramento kent ormanı tarafından karbondioksit depolanmasının tahmin edilmesi için yöntemlerin karşılaştırılması. *Kentsel ekosistemlerde karbon tutulması* içinde, ed. R. Lal ve B. Augustin, 43-71. Hollanda: Springer.

Ahmed, Z., Z. Wang, ve S. Ali. 2019. Kentleşme ve CO₂ emisyonları arasındaki doğrusal olmayan ilişkinin araştırılması: Bir ampirik analiz. *Hava Kalitesi Atmosfer ve Sağlık* 12: 945-953.

Albert, C., B. Schroter, D. Haase, M. Brillinger, J. Henze, S. Herrmann, ve B. Matzdorf. 2019. Toplumsal sorunların doğa temelli çözümlerle ele alınması: Peyzaj nasıl

planlama ve yönetim araştırmalarının katkısı nedir? *Peyzaj ve Şehir Planlama* 182: 12-21.

Anderson, V. ve W. Gough. 2020. Ontario'da çok tipli bir yeşil altyapı çalışmasıyla ozon, nitrojen dioksit ve karbondioksiti azaltmak için doğaya dayalı çözümlerin potansiyelinin değerlendirilmesi. *Kanada. Şehir ve Çevre Etkileşimleri* 6: 100043.

Andersson, E., D. Haase, S. Scheuer ve T. Wellmann. 2020. Mahalle karakteri, yeşil alanların mekânsal kapsamını ve büyüklüğünü etkiler.

Kentsel yeşil altyapının işlevsel ayak izine ilişkin bir yaklaşım. *Peyzaj Ekolojisi* 35: 1605-1618.

Biernacka, M., ve J. Kronenberg. 2018. Kentsel yeşil alanların mevcudiyetini, erişilebilirliğini ve çekiciliğini etkileyen kurumsal engellerin sınıflandırılması. *Kent Ormanlığı ve Kentsel Yeşillendirme* 36: 22-33.

Bierwagen, B.G., D.M. Theobald, C.R. Pyke, A. Choate, P. Groth, J.V. Thomas, ve P. Morefield. 2010. Entegre iklim etki değerlendirmeleri için ulusal konut ve geçirimsiz yüzey senaryoları. *Ulusal Bilimler Akademisi Bildirileri* 107: 20887-20892.

Bradford-Lawrence, T., T. Finch, R.B. Bradbury, G.M. Buchanan, A. Midgley ve R.H. Field. 2021. Karasal doğa temelli çözümlerin ulusal bir 'net sıfır' iklim hedefine potansiyel katkısı. *Uygulamalı Ekoloji Dergisi* 58: 2349-2360.

Cai, L., X.P. Feng, J.Y. Yu, Q.C. Xiang, ve R. Chen. 2019. Yeşil çatı kullanılarak elde edilen karbondioksit emisyonundaki azalma ve enerji tasarrufu. *Aerosol Hava Kalitesi Araştırması* 19: 2432-2445.

Cain, K.L., K.A. Gavand, T.L. Conway, C.M. Geremia, R.A. Millstein, L.D. Frank, B.E. Saelens, M.A. Adams, et al. 2017. Microscale Audit for Pedestrian Streetscapes'in (MAPS-Abbreviated) kısaltılmış bir versiyonunun geliştirilmesi ve doğrulanması. *Journal of Transport & Health* 5: 84-96.

Chen, W.Y. 2015. Çin'in 35 büyük şehrinde karbon emisyonlarının dengelenmesinde kentsel yeşil altyapının rolü: Ülke çapında bir tahmin. *Şehirler* 44: 112-120.

Choi, C., P. Berry, ve A. Smith. 2021. Yeşil altyapının iklim faydaları, ortak faydaları ve ödünleşimleri: Sistemik bir literatür taraması. *Çevre Yönetimi Dergisi* 291: 112583.

Connop, S., P. Vandergert, B. Eisenberg, M. Collier, C. Nash, J. Clough ve D. Newport. 2016. Kentsel yeşil altyapıya bölgesel odaklı biyoçeşitlilik odaklı çok işlevli fayda yaklaşımı kullanarak şehirleri yeniden şekillendirmek. *Çevre Bilimi ve Politikası* 62: 99-111.

Cortinovis, C., ve D. Geneletti. 2018. Kentsel planlarda ekosistem hizmetleri: Orada ne var ve daha iyi kararlar için hala neye ihtiyaç var. *Arazi Kullanım Politikası* 70: 298-312.

Cortinovis, C., P. Olsson, N. Boke-Ole'n, ve K. Hedlund. 2022. İklim değişikliğine uyum için doğa temelli çözümlerin ölçeklendirilmesi: Üç Avrupa kentinde potansiyel ve faydalar. *Kent Ormanlığı ve Kentsel Yeşillendirme* 67: 127450.

De la Sota, C., V.J. Ruffato-Ferreira, L. Ruiz-García, ve S. Alvarez. 2019. İklim değişikliğini azaltma stratejisi olarak kentsel yeşil altyapı. Kuzey İspanya'da bir vaka çalışması. *Kentsel Ormanlık ve Kentsel Yeşillendirme* 40: 145-151.

Dorst, H., A. van der Jagt, R. Raven ve H. Runhaar. 2019. Doğa temelli çözümlerle kentsel yeşillendirme - Gelişmekte olan bir kavramın temel özellikleri. *Sürdürülebilir Şehirler ve Toplum* 49: 101620.

EPA. 2020. Sera Gazı/ghg-emissions/sources-greenhouse-gas-emissions Emisyon Kaynakları. <https://www.epa.gov/>. Erişim tarihi 29 Aralık 2022.

Escobedo, F., S. Varela, M. Zhao, J.E. Wagner ve W. Zipperer. 2010. Subtropikal kent ormanlarının kentlerden kaynaklanan karbon emisyonlarını dengelemedeki etkinliğinin analizi. *Çevre Bilimi ve Politikası* 13: 362-372.

- Avrupa Komisyonu. 2017. Eurostat nüfus veritabanı; <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database> . Erişim tarihi 11 Mayıs 2022.
- Avrupa Çevre Ajansı. 2021. Avrupa'da doğa temelli çözümler: İklim değişikliğine uyum ve afet riskinin azaltılması için politika, bilgi ve uygulama. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/da65d478-a24d-11eb-b85c-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-210308869>. Erişim tarihi 29 Aralık 2022.
- Ewing, R., A. Hajrasouliha, K.M. Neckerman, M. Purciel-Hill ve W. Greene. 2015. Yaya aktivitesi ile ilgili sokak peyzajı özellikleri. *Planlama Eğitimi ve Araştırma Dergisi* 36: 5-15.
- Fastenrath, S., J. Bush ve L. Coenen. 2020. Doğa temelli çözümlerinin ölçeklendirilmesi. Yaşayan Melbourne stratejisinden dersler. *Geoforum* 116: 63-72.
- Ferreira, A., R. Guilherme, C. Ferreira ve M. Oliveira. 2018. Kentsel tarımı, daha dirençli kentsel topluluklara yönelik bir araç mı? *Current Opinion in Environmental Science & Health* 5: 93-97.
- Fu, M., J. Kelly ve J. Clinch. 2017. Ulusal bir karayolu ağı için yıllık ortalama günlük trafik ve ulaşım emisyonlarının tahmin edilmesi: Hem ulusal olarak toplanmış hem de mekansal olarak ayrıştırılmış sonuçlar için aşağıdan yukarıya metodolojisi. *Journal of Transport Geography* 58: 186-195.
- Gavrilidis, A.A., M.R. Ni,ta, D.A. Onose, D.L. Badiu, ve I.I. Na, stase. 2019. Kentsel yeşil altyapının sürdürülebilir planlaması yoluyla kentsel yayılma kontrolü için metodolojik çerçeve. *Ekolojik Göstergeler* 96: 67-78.
- Geertman, S., ve J. Stillwell. 2003. katılımcı planlama için etkileşimli destek sistemleri. *Uygulamada planlama destek sistemleri içinde. Mekan bilimindeki gelişmeler*, ed. S. Geertman ve J. Stillwell. Berlin: Springer.
- Gill, Z.M., M.J. Tierney, I.M. Pegg, ve N. Allan. 2010. Düşük enerjili konutları: Davranışların gerçek performansa katkısı. *Bina Araştırma ve Bilgi* 38: 491-508.
- Giordano, R., I. Pluchinotta, A. Pagano, A. Scricciu ve F. Nanu. 2020. paydaşlarının ortak faydalarını belirlenmesi ve ticaret analizine katılımı yoluyla doğa temelli çözümlerin kabulünün artırılması- offs. *Toplam Çevre Bilimi* 713: 136552.
- Goldenberg, R., Z. Kalantari, V. Cvetkovic, U. Mo,rtberg, B. Deal ve G. Destouni. 2017. Akışa bağlı ekosistem hizmetlerinin potansiyel ve gerçekleşen arz-talebinin ayrımı, ölçümü ve haritalanması. *Toplam Çevre Bilimi* 593-594: 599-609.
- Go,mez Mart,ın, E., M. Ma, n'ez Costa, ve K. Schwerdtner Ma, n'ez. 2020. Suyla ilgili tehlikeler için Doğa Temelli Çözümlerin operasyonelleştirilmiş bir sınıflandırması- tions for water-related hazards: Teoriden pratiğe. *Ekolojik Ekonomi* 167: 106460.
- Gou, Z., ve S.S.-Y. Lau. 2014. Yeşil bina derecelendirme sistemlerinin bağlamsallaştırılması: Hong Kong örnek çalışması. *Habitat International* 44: 282-289.
- Gromke, C., ve B. Blocken. 2015. Cadde ağaçlarının kentsel mahalle ölçeğinde hava kalitesi üzerindeki etkisi. Bölüm II: Yaya seviyesinde trafik kirlenici konsantrasyonları. *Çevre Kirliliği* 196: 176-184.
- Gupta, K., A. Roy, K. Luthra ve S. Maithani. 2016. kentsel yeşil alanların hiyerarşik seviyelerinde erişilebilirliğin değerlendirilmesi için CBS tabanlı analiz. *Urban Forestry & Urban Greening* 18: 198-211.
- Han, A., T. Daniels ve C. Kim. 2022. İklim değişikliğinin ardından kentsel büyümeyi yönetmek: ABD'de yeşil kuşak politikasının yeniden gözden geçirilmesi. *Arazi Kullanım Politikası* 112: 105867.
- Hong, J. 2017. Yapılı çevrenin ulaşım emisyonları üzerindeki doğrusal olmayan etkileri: Yoğunluklara odaklanmak. *Ulaşım ve Arazi Kullanımı Dergisi* 10: 229-240.
- Ismail, A., M. Samad, A. Rahman ve F. Yeok. 2012. Ipomoea Pes-caprae'nin soğutma potansiyelleri ve CO₂ alımı üzerine kurulu Malezya'da tek katlı bir konut binasının düz çatısı. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 35: 361-368.
- Jo, H.-K., J.-Y. Kim, ve H.-M. Park. 2019. Seul'deki kent parkları için karbon azaltma ve planlama stratejileri. *Kentsel Ormanlık ve Kentsel Yeşillendirme* 41: 48-54.
- Jo, H.-K., J.-Y. Kim, ve H.-M. Park. 2020. Kore'deki sokak ağaçları için karbon ve PM_{2.5} azaltımı ve tasarım kılavuzları. *Sürdürülebilirlik* 12: 10414.
- Kabisch, N., N. Frantzeskaki, S. Pauleit, S. Naumann, M. Davis, M. Artmann, D. Haase, S. Knapp, vd. 2016. Kentsel alanlarda iklim değişikliğinin azaltılması ve adaptasyonuna yönelik doğa temelli çözümler: göstergeler, bilgi boşlukları, engeller ve eylem fırsatları üzerine perspektifler. *Ekoloji ve Toplum* 21.
- Kalantari, Z., C.S. Santos Ferreira, J. Page, R. Goldenberg, J. Olsson ve G. Destouni. 2019. Büyüyen şehirlerde sürdürülebilir kalkınma zorluklarının üstesinden gelmek: Arazi kullanımı ve su değişikliklerinin birleşik sosyal-ekolojik sistem modellemesi. *Journal of Environmental Management* 245: 471-480.
- Keesstra, S., J. Nunes, A. Novara, D. Finger, D. Avelar, Z. Kalantari ve A. Cerda. 2018. Ekosistem hizmetlerinin iyileştirilmesi için arazi yönetiminde doğa temelli çözümlerin üstün etkisi. *Toplam Çevre Bilimi* 610-611: 997-1009.
- Koo, B.W., S. Guhathakurta ve N. Botchwey. 2022. Mahalle ve sokak düzeyinde yürünebilirlik faktörleri yürüme davranışlarıyla nasıl ? Sokak görünümü görüntülerini kullanan büyük bir veri yaklaşımı. *Çevre ve Davranış* 54: 211-241.
- Krauze, K. ve I. Wagner. 2019. Klasik su-ekosistem teorilerinden doğa temelli çözümlere-Sürdürülebilir şehir için doğa temelli çözümlerin bağlamsallaştırılması. *Toplam Çevre Bilimi* 655: 697-706.
- Kronenberg, J., A. Haase, E., A. Antal, A. Baravikova, M. Biernacka, D. Dushkova, R. Filc,ak, vd. 2020. Sosyalizm sonrası kentlerde kentsel yeşil alan mevcudiyeti, erişilebilirliği ve çekiciliği bağlamında çevresel adalet. *Cities* 106: 102862.
- Kuller, M., P.M. Bach, S. Roberts, D. Browne ve A. Deletic. 2019. Yeşil kentsel yağmur suyu altyapısının mekansal uygunluk değerlendirmesi için bir planlama destek aracı. *Toplam Çevre Bilimi* 686: 856-868.
- Kurouna, T., H. Watanabe, T. Ishihara, D. Kou, K. Touda, M. Ando ve S. Shindo. 2018. Farklı bitki türlerine sahip geniş yeşil çatıların CO₂ getirisini. *Sürdürülebilirlik* 10: 2256.
- Laforteza, R., J. van den Chen, C. Bosch ve T. Randrup. 2018. Dirençli peyzajlar ve şehirler için doğa temelli çözümler. *Çevre Araştırmaları* 165: 431-441.
- Lanau, M., L. Herbert ve G. Liu. 2021. Kentsel stok ve akış analizinin kentsel sera gazı emisyonu muhasebesine genişletilmesi: Odense, Danimarka örneği. *Endüstriyel Ekoloji Dergisi* 25: 961-978.
- Li, P. ve Z.H. Wang. 2021. Isı ve karbon emisyonlarının azaltılması için kentsel yeşillendirmenin çevresel eş faydaları. *Çevre Yönetimi Dergisi* 293: 112963.
- Linder, N., M. Giusti, K. Samuelsson ve S. Barthel. 2022. Çevre yanlı alışkanlıklar: Sürdürülebilirlik biliminde yeterince keşfedilmemiş bir araştırma gündemi. *Ambio* 51: 546-556. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01619-6>.
- Lindsay, G., A. Macmillan, ve A. Woodward. 2011. Şehir içi yolculukların arabalardan bisikletlere kaydırılması: Sağlık ve emisyonlar üzerindeki etkisi. *Avustralya ve Yeni Zelanda Halk Sağlığı Dergisi* 35: 54.
- Liu, Y., D. Yang, H.J.P. Timmermans ve B. de Vries. 2020. Metro istasyonları yakınındaki sokak ölçeğinde yapı çevre tasarımının yaya ve bisikletli yol segmenti seçimi üzerindeki etkisinin analizi: Belirtilmiş bir seçim deneyi. *Journal of Transport Geography* 82: 102570.

- Madureira, H. ve T. Andresen. 2014. Çok işlevli kentsel yeşil altyapılar için planlama: Vaatler ve zorluklar. *Urban Design International* 19: 38-49.
- Malczewski, J. 2006. CBS tabanlı çok kriterli karar analizi: Bir literatür araştırması. *Uluslararası Coğrafi Bilgi Bilimi Dergisi* 20: 703-726.
- McPherson, E.G. 1998. Sacramento'nun kent ormanlarının atmosferik karbondioksiti azaltması. *Journal of Arboriculture* 24: 215-223.
- McPherson, E.G., J. Simpson, Q. Xiao, ve C. Wu. 2011. Milyon ağaç Los Angeles gölgelik örtüsü ve fayda değerlendirmesi. *Peyzaj ve Şehir Planlama* 99: 40-50.
- Meerow, S., ve J. Newell. 2017. Çok işlevli yeşil altyapı için mekânsal planlama: Detroit'te artan dayanıklılık. *Peyzaj ve Şehir Planlama* 159: 62-75.
- Mennis, J., ve T. Hultgren. 2006. Akıllı dasymetrik haritalama ve bunun alansal enterpolasyona uygulanması. *Cartography and Geo-graphic Information Science* 33: 179-194.
- Midgley, S., K. Esler, P. Holden, A. Rebelo, S. Stuart-Hill, J. Cullis ve N. Methner. 2021. İki stratejik Güney Afrika nehir sisteminde ölçeklenebilir doğa temelli çözümler için işbirlikçi yönetim modelleri. *Ambio* 50: 1587-1609. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01531-z>.
- Nessho'ver, C., T. Assmuth, K.N. Irvine, G.M. Rusch, K.A. Waylen, B. Delbaere, D. Haase, L. Jones-Walters, vd. 2017. Doğa temelli çözümlerin bilimi, politikası ve uygulaması: disiplinler arası bir bakış açısı. *Toplam Çevre Bilimi* 579: 1215-1227.
- Norton, B., A. Coutts, S. Livesley, R. Harris, A. Hunter ve N. Williams. 2015. Daha serin şehirler için planlama: kentsel peyzajlarda yüksek sıcaklıkların azaltılması için yeşil altyapıya öncelik verilmesine yönelik bir çerçeve. *Peyzaj ve Şehir Planlama* 134: 127-138.
- Nowak, D., ve D. Crane. 2002. ABD'de kentsel ağaçlar tarafından karbon birikimi ve tutulması. *Çevre Kirliliği* 116: 381-389. Page, J., E. Ka' resdotter, G. Destouni, H. Pan ve Z. Kalantari. 2021. Kentsel peyzajlarda sera gazı emisyonlarının ve sekestrasyonunun daha eksiksiz bir muhasebesi. *Anthropocene* 34: 100296.
- Pan, H., J. Page, C. Cong, S. Barthel ve Z. Kalantari. 2021. ekosistem hizmetleri kentsel büyümeyi nasıl yönlendiriyor? Doğa temelli çözümlerin entegrasyonu. *Anthropocene* 35: 100297.
- Pan, H., J. Page, L. Zhang, S. Chen, C. Cong, G. Destouni, Z. Kalantari ve B. Deal. 2019. İklim Eylem Planlamasını (CAP) desteklemek için karşılaştırmalı sosyo-ekolojik- ical modellemenin kullanılması. *Temiz Üretim Dergisi* 232: 30-42.
- Pan, H., J. Page, L. Zhang, C. Cong, C. Ferreira, E. Jonsson, H. Na'sstro'm, G. Destouni, vd. 2020. Kentsel gelişim politikaları ve sera gazı emisyonları arasındaki etkileşimlerin anlaşılması: Stockholm Bölgesi'nde bir vaka çalışması. *Ambio* 49: 1313-1327. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01290-y>.
- Parry, J., S. Ganaie ve M. Bhat. 2018. Kentsel hizmet planlaması için AHP modeli kullanılarak CBS tabanlı arazi uygunluk analizi Srinagar and Jammu urban centers of J&K, India. *Kentsel Yönetim Dergisi* 7: 46-56.
- Pataki, D., M. Alberti, M. Cadenasso, A. Felson, M. McDonnell, S. Pincetl, R.V. Pouyat ve H. Seta'la'. 2021. Çevre ve insan sağlığı için kentsel ağaç dikiminin faydaları ve sınırları. *Frontiers in Ecology and Evolution* 9: 155.
- Qin, X., D. Tong, F. Liu, R. Wu, B. Zheng, Y. Zheng, J. Liu, R. Xu, et al. 2022. Son otuz yılda enerji santrali CO₂ emisyonlarının küresel ve bölgesel etkenleri birim tabanlı veri tabanından ortaya çıkarılmıştır. *Dünya'nın Geleceği* 10: e2022EF002657.
- Ramchunder, S.J. ve A.D. Ziegler. 2021. Uygulamalı yaklaşımlarla sürdürülebilirlik eğitiminin teşvik edilmesi: Singapur'da bir yeşil alanda ağaç karbonu biriktirme uygulaması. *Sürdürülebilirlik Bilimi* 16: 1045-1059.
- Raymond, C.M., N. Frantzeskaki, N. Kabisch, P. Berry, M. Breil, M.R. Nita, D. Geneletti ve C. Calfapietra. 2017. Kentsel alanlarda doğa temelli çözümlerin ortak faydalarını değerlendirmek ve uygulamak için bir çerçeve. *Çevre Bilimi ve Politikası* 77: 15-24.
- Ren, Z., H. Zheng, X. He, D. Zhang, G. Shen ve C. Zhai. 2019. Kent ormanlarının uzamsal-zamansal örüntülerindeki ve toprak üstü karbon depolamasındaki değişiklikler: Çin'in hızlı kentsel genişlemesi ve yeşillendirilmesi altında kentsel CO₂ emisyonlarının azaltılması için çıkarımlar. *Environment International* 129: 438-450.
- Reynolds, W., ve B. Broderick. 2000. Mobil kaynaklar için bir emisyon envanteri modelinin geliştirilmesi. *Ulaşım Araştırmaları Bölüm d: Ulaşım ve Çevre* 5: 77-101.
- Ruangpan, L., Z. Vojinovic, J. Plavs'ic', D.-J. Doong, T. Bahlmann, A. Alves, L.-H. Tseng, A. Randelovic', et al. 2021. Birleştirme büyük ölçekli Doğa Temelli Çözümlerin planlanmasına yönelik çok kriterli bir çerçevede paydaşların tercihleri. *Ambio* 50: 1514-1531. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01419-4>.
- Russo, A., F. Escobedo, N. Timilsina ve S. Zerbe. 2015. Kamusal kent ağaçları ile ulaşım karbondioksit emisyonu dengelemesi: Bolzano, İtalya'da bir vaka çalışması. *Kent Ormanlığı ve Yeşillendirme* 14: 398-403.
- Samuelsson, K. 2021. Topodiverse Şehir: Özel refah için kentsel form. *Frontiers in Built Environment* 7: 735221.
- Sandelowski, M., ve J. Barroso. 2007. *Nitel araştırmaları sentezlemek için el kitabı*. New York: Springer.
- Sarabi, S., Q. Han, B. Vries ve A. Romme. 2022. Doğa tabanlı çözüm planlama destek sistemi: Alan ve çözüm önceliklendirmesi için bir oyun alanı. *Sürdürülebilir Şehirler ve Toplum* 78: 103608.
- Sarkar, C., C. Webster, M. Pryor, D. Tang, S. Melbourne, X. Zhang ve L. Jianzheng. 2015. Kentsel yeşil, sokak tasarımı ve yürüme arasındaki ilişkilerin araştırılması: Londra'nın büyük ilçelerinden elde edilen sonuçlar. *Peyzaj ve Şehir Planlama* 143: 112-125.
- Seyfang, G., ve A. Haxeltine. 2012. Tabandan gelen yenilikleri büyütme: Sürdürülebilir enerji geçişlerinin yönetilmesinde toplum temelli girişimlerin rolünün araştırılması. *Çevre ve Planlama C: Hükümet ve Politika* 30: 381-400.
- Sha, Z., Y. Bai, R. Li, H. Lan, X. Zhang, J. Li, X. Liu, S. Chang, . 2022. Karasal bitki örtüsünün küresel karbon yutak potansiyeli, optimum arazi yönetimi ile önemli ölçüde artırılabilir. *Communication Earth and Environment* 3: 8.
- Smardon, R.C. 1988. Kentsel çevrenin algılanması ve estetiği: Bitki örtüsünün rolünün gözden geçirilmesi. *Peyzaj ve Şehir Planlama* 15: 85-106.
- Song, M., Y. Zhao, J. Liang ve F. Li. 2023. Pekin bölgesi topraklarında karbon emisyonu ve sekestrasyonunun mekansal-zamansal değişkenliği ve bağlantı koordinasyon derecesi. *Cleaner Environmental Systems* 8: 100102.
- Sorichetta, A., G.M. Hornby, F.R. Stevens, A.E. Gaughan, C. Linard ve A.J. Tatem. 2015. Latin Amerika ve Karayipler için 2010, 2015 ve 2020 yıllarına ait yüksek çözünürlüklü gridlenmiş nüfus veri setleri. *Bilimsel Veri* 2: 150045.
- Stevens, F.R., A.E. Gaughan, C. Linard ve A.J. Tatem. 2015. Uzaktan algılanan ve yardımcı verilerle rastgele ormanlar kullanarak nüfus haritalaması için nüfus sayımı verilerinin ayrıştırılması. *PLoS ONE* 10: e0107042.
- Strohbach, M.W., ve D. Haase. 2012. Leipzig, Almanya'daki kentsel ağaçların toprak üstü karbon depolaması: Bir Avrupa kentindeki örüntülerin analizi. *Peyzaj ve Şehir Planlama* 104: 95-104.
- Tang, Y., A. Chen ve S. Zhao. 2016. Pekin, Çin'deki kentsel sokak ağaçlarının karbon depolaması ve biriktirmesi. *Ekoloji ve Evrimde Sınırlar* 4: 53.
- Teo, H., Y. Zeng, T. Sarira, T. Fung, Q. Zheng, X. Song, K. Chong ve L. Koh. 2021. Küresel kentsel ağaçlandırma

- önemli doğal iklim çözümü. *Çevre Araştırma Mektupları* 16: 034059.
- Tomalty, R. 2012. Bankadaki Karbon-Ontario'nun Yeşil Kuşağı ve İklim Değişikliğinin Azaltılmasındaki Rolü. Vancouver: David Suzuki Vakfı. <https://david Suzuki.org/wp-content/uploads/2012/08/carbon-bank-ontario-greenbelt-role-mitigating-climate-change.pdf>. Erişim tarihi 29 Aralık 2022.
- TRF-Tillväxt-och Regionplaneförvaltningen. 2017. Regional Utvecklingsplan För Stockholmsregionen (RUF5) 2050. <http://www.rufs.se/publikationer/2018/rufs-2050/>
- Tsoka, S., T. Leduc ve A. Rodler. 2021. Kentsel sokak ağaçlarının bina soğutma enerjisi ihtiyaçları üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi: yaprak yoğunluğu ve dikim deseninin rolü. *Sürdürülebilir Şehirler ve Toplum* 65: 102633.
- Vaccari, F., B. Gioli, P. Toscano ve C. Perrone. 2013. Floransa (İtalya) kentinin karbondioksit dengesi değerlendirmesi ve kentsel planlama için çıkarımlar. *Peşaj ve Şehir Planlama* 120: 138-146.
- Venter, Z.S., D.N. Barton, L. Martinez-Izquierdo, J. Langemeyer, F. Baro, ve T. McPhearson. 2021. Kentsel yeşil altyapının etkileşimli mekansal planlaması-Oslo'da ekosistem hizmetlerine en çok ihtiyaç duyulan yerlerde yeşil çatıların yeniden donatılması. *Ekosistem Hizmetleri* 50: 101314.
- Wamsler, C., B. Wickenberg, H. Hanson, J. Alkan Olsson, S. Sta' lhammar, H. Bjo'rn, H. Falck, D. Gerell, vd. 2020. Çevre ve iklim politikası entegrasyonu: Doğaya dayalı çözümlerin önündeki engelleri aşmak için hedeflenen stratejiler ve iklim değişikliğine uyum. *Temiz Üretim Dergisi* 247: 119154.
- Weissert, L.F., J.A. Salmond, ve L. Schwendenmann. 2014. Kentsel CO₂ emisyonlarını azaltmak için kent ormanlarının potansiyelini ölçmede mevcut ilerlemenin gözden geçirilmesi. *Kentsel İklim* 8: 100-125.
- Westley, F., P. Olsson, C. Folke, T. Homer-Dixon, H. Vredenburg, D. Loorbach, J. Thompson, M. Nilsson, vd. 2011. sürdürülebilirliğe doğru devrilme: Ortaya çıkan dönüşüm yolları. *Ambio* 40: 762-780. <https://doi.org/10.1007/s13280-011-0186-9>.
- Xie, X., Y. Lu ve Z. Gou. 2017. Yeşil bina yanlısı çevre davranışları: Yeşil kullanıcılar aynı zamanda yeşil alıcılar mı? *Sürdürülebilirlik* 9: 1703.
- Ye, H., X. He, Y. Song, X. Li, G. Zhang, T. Lin ve L. Xiao. 2015. Sürdürülebilir bir kentsel form: Enerji tüketimi ve karbon emisyonu açısından kompaktlığın zorlukları. *Enerji ve Binalar* 93: 90-98.
- Zhao, M., Z.H. Kong, F.J. Escobedo, ve J. Gao. 2010. Kent ormanlarının Hangzhou, Çin'deki endüstriyel enerji kullanımından kaynaklanan karbon emisyonlarını dengeleme üzerindeki etkileri. *Çevre Yönetimi Dergisi* 91: 807-813.
- Zolch, T., C. Wamsler ve S. Pauleit. 2018. Ekosistem temelli yaklaşımın belediye iklim uyum stratejilerine entegre edilmesi: Almanya örneği. *Temiz Üretim Dergisi* 170: 966-977.
- Yayıncının Notu Springer Nature, yayımlanan haritalardaki yetki iddiaları ve kurumsal bağlantılar konusunda tarafsız kalmaktadır.
- ## YAZAR BİYOGRAFİLERİ
- Cong Cong, Massachusetts Institute of Technology, MIT Kentsel Çalışmalar ve Planlama Bölümü'nde öğretim görevlisidir. Araştırma alanları arasında bilgisayar bilimi ve şehir planlama yer almaktadır. *Adres:* MIT Kentsel Çalışmalar ve Planlama Bölümü, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü, Cambridge, MA, ABD. *Adres* Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Urbana-Champaign'deki Illinois Üniversitesi, Champaign, IL, ABD. e-posta: ccong2@illinois.edu
- Haozhi Pan (✉) Çin, Şanghay Jiao Tong Üniversitesi, Uluslararası ve Kamu İşleri Okulu; Çin Kentsel Yönetişim Enstitüsü'nde Doçent olarak görev yapmaktadır. Araştırma alanları arasında kentsel sürdürülebilirlik, kentsel yönetim ve bölgesel ekonomi yer almaktadır. *Adres* Uluslararası ve Kamu İşleri Okulu, Çin Kentsel Yönetişim Enstitüsü, Şanghay Jiao Tong Üniversitesi, 1954 Huashan Rd., Şanghay 200030, Çin. E-postapanhaozhi@sjtu.edu.cn
- Jessica Page, İsveç'teki Stockholm Üniversitesi Fiziksel Coğrafya Bölümü'nde doktora adayıdır. Araştırma alanları arasında bölgesel ve küresel hidroloji ve su kaynakları sorunları ile sürdürülebilir kentsel ve kırsal kalkınma ve karar desteği için uyarlanabilir arazi kullanımı planlaması yer almaktadır. *Adres:* Fiziksel Coğrafya Bölümü, Stockholm Üniversitesi, Stockholm, İsveç. E-postajessica.page@natgeo.su.se
- Stephan Barthel, Ga'vle Üniversitesi Yapı Mühendisliği, Enerji Sistemleri ve Sürdürülebilirlik Bilimi Bölümü'nde ve Stockholm Üniversitesi Stockholm Dirençlilik Merkezi'nde profesör olarak görev yapmaktadır. Araştırma alanları arasında metropol peyzajlarındaki çevresel konular yer almaktadır. *Adres* Bina Mühendisliği, Enerji Sistemleri ve Sürdürülebilirlik Bilimi Bölümü, Ga'vle Üniversitesi, Ga'vle, İsveç. *Adres:* Stockholm Dirençlilik Merkezi, Stockholm Üniversitesi, Stockholm, İsveç. E-postastephan.barthel@hig.se
- Zahra Kalantari (✉) KTH Kraliyet Teknoloji Enstitüsü, Sürdürülebilir Kalkınma, Çevre Bilimi ve Mühendisliği (SEED) Bölümü'nde Doçent olarak görev yapmaktadır. Araştırma alanları arasında bölgesel ve küresel hidroloji ve su kaynakları konuları ile sürdürülebilir kentsel ve kırsal kalkınma ve karar desteği için uyarlanabilir arazi kullanım planlaması yer almaktadır. *Adres:* Sürdürülebilir Kalkınma, Çevre Bilimi ve Mühendisliği Bölümü (SEED), KTH Kraliyet Teknoloji Enstitüsü, Stockholm, İsveç. e-posta: zahra.kalantari@natgeo.su.se