

İnceleme



Bu makaleden alıntı yapın: Hobbie SE, Grimm NB. 2020 Şehirlerde iklim değişikliği etkilerini yönetmek için doğa temelli yaklaşımlar. *Phil. Trans. R. Soc. B* 375: 20190124.

<http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2019.0124>

Kabul Tarihi: 23 Eylül 2019

'İklim değişikliği ve ekosistemler: tehditler, fırsatlar ve çözümler' temalı bir konuya 20 katkı.

Konu Alanları:
çevre bilimi

Anahtar kelimeler:
kentler, iklim değişikliğine uyum, yeşil altyapı, doğa temelli stratejiler, kentsel ekosistemler

Yazışma için yazar:
Sarah E. Hobbie
E-postashobbie@umn.edu

Kentlerde iklim değişikliğinin etkilerini yönetmek için doğa temelli yaklaşımlar

Sarah E. Hobbie¹ ve Nancy B. Grimm²

¹Ekoloji, Evrim ve Davranış Bölümü, Minnesota Üniversitesi, St Paul, MN 55108, ABD

²Yaşam Bilimleri Fakültesi, Arizona Eyalet Üniversitesi, Tempe, AZ 85282, ABD SEH,

0000-0001-5159-031X; NBG, 0000-0001-9374-660X

Kentsel alanlarda iklim değişikliğini yönetmek ve buna uyum sağlamak, özellikle kentlerin kendine has özellikleri iklim değişikliğinin etkilerini artırdığı için, kent nüfusu arttıkça giderek daha önemli hale gelecektir. Yüksek geçirimsiz örtü, kentsel ısı adası etkileri yoluyla iklim ısınmasının ve yüzey akışını ve selleri artırarak şiddetli yağışların etkilerini şiddetlendirmektedir. İnsan yerleşimlerinin nehirler ve kıyı bölgeleri boyunca yoğunlaşması, insanların ve altyapının iklim değişikliği tehlikelerine maruz kalmasını artırmakta ve genellikle en az hazırlıklı olanları orantısız bir şekilde etkilemektedir. İklim değişikliği tehlikelerini azaltmak için canlı organizmaları, toprakları ve tortuları ve/veya peyzaj özelliklerini kullanan doğa temelli stratejiler (NBS), geleneksel yaklaşımlara göre daha esnek, çok işlevli ve belirsiz ve durağan olmayan bir iklim geleceğine uyarlanabilir olma konusunda umut vaat etmektedir. Bununla birlikte, gelecekteki araştırmalar, iklim değişikliği etkilerini azaltmak için UBS'nin etkinliğini iklim değişikliği tehlikelerine ve etkilerine uygun ölçeklerde uygulanıp uygulanamayacağını ele almalıdır. Ayrıca, gri alternatiflere göre hizmet yan faydaları ve maliyet ve faydaların farklı topluluklar arasında nasıl dağıtıldığını dikkate alan doğru ve kapsamlı maliyet-fayda analizlerine ihtiyaç vardır. UBS'nin etkili ve adil olma olasılığı, sorunun ölçeğine uygun olduğunda, farklı seslerden gelen girdilerle uygulandığında ve belirli sosyal, kültürel, ekolojik ve teknolojik bağlamlara uygun olduğunda en yüksektir.

Bu makale 'İklim değişikliği ve ekosistemler: tehditler, fırsatlar ve çözümler' tema sayısının bir parçasıdır.

1. Giriş

Kentsel alanlarda iklim değişikliğinin etkilerini yönetmek ve uyum sağlamak¹ için stratejiler geliştirmek, küresel nüfusun şehirlerde giderek daha fazla yoğunlaşması ve iklimin kentsel nüfus ve altyapı üzerinde potansiyel olarak ciddi etkileri olacak şekilde değişmeye devam etmesi nedeniyle giderek daha önemli hale gelecektir. Bazı kentsel iklim değişikliği tehlikelerinin (iklim değişikliğinin insan refahı için zararlı sonuçları olan fiziksel tezahürleri) yönetilmesi (yani azaltılması) özellikle zor olacaktır, çünkü kentsel ortamlar iklimle etkileşime girmekte ve iklimi bu tehlikeleri artırabilecek (kötüleştirebilecek) şekillerde etkilemektedir. Bu da kent sakinlerine bu tehlikelere uyum sağlamak, tehlikelere veya bunların zararlı etkilerine maruz kalmayı azaltmak veya geri çekilmekten başka seçenek bırakmamaktadır. Öte yandan, çoğu hizmet ve kurum şehirlerde bulunduğu için şehirler iklim değişikliği tehlikelerini yönetmek ve bunlara uyum sağlamak için fırsatlar sunmaktadır.

Kent uygulayıcıları arasında, [2] 'doğal' (kentsel olmayan) ekosistem yapısının ve/veya işlevinin yönlerini restore eden yaklaşımları kullanarak kentlerde insan refahını teşvik etmeyi amaçlayan geniş bir eylem paketi olan 'doğa temelli' stratejileri kullanmaya yönelik artan bir ilgi vardır. Bu stratejiler, geleneksel, daha katı yaklaşımlara göre daha esnek, çok işlevli ve belirsiz bir iklim geleceğine uyarlanabilir olarak görülmektedir [3-5]. Bu yazıda, kentlerdeki iklim değişikliği tehlikelerini azaltmak için doğa temelli stratejilerin (DTS) potansiyelini gözden geçiriyoruz. Doğaya dayalı stratejiler arasında parklar ve açık alanlar; kasıtlı bitkilendirme; yapıların inşası

© 2020 Yazar(lar) Royal Society tarafından yayınlanmıştır. Tüm hakları saklıdır.

SOCIETY

yağmur suyu göletleri, biyosavaklar, yeşil çatılar, nehir kıyısı bölgeleri gibi doğal hidrolojik işlevlerin yeniden tesis edilmesi; ve kıyı şeridi boyunca doğal koruyucu habitatların restorasyonu ve korunması [5]. Kent sakinlerinin karşılaştığı başlıca iklim değişikliği tehlikelerini gözden geçirerek, kentlerin bu tehlikelerin çoğunu nasıl (§2) ve iklim değişikliği tehlikelerinin kentlerin sosyal, ekolojik ve teknik (SET) bileşenleri üzerindeki etkilerini (§3) vurgulayarak başlıyoruz. Daha sonra, iklim değişikliği tehlikelerine maruz kalmayı azaltmak (§4) ve bu tehlikelerin SET etkilerini yönetmek ve bunlara uyum sağlamak (§5) için NBS kullanma fırsatlarını gözden geçiriyoruz. Araştırma önceliklerini belirleyerek sonuçlandırıyoruz (§6).

2. Şehirlerde iklim değişikliği tehlikelerine maruz kalma ve bu tehlikelerin artması

Şehirler genellikle iklim değişikliği açısından büyük risk altındadır çünkü insan yerleşimleri, [6]. insanların ve altyapının iklim değişikliği tehlikelerine karşı savunmasızlığını artıran alanlarda yoğunlaşmıştır [Ayrıca şehirler, iklim değişikliğinin bazı yönlerini güçlendiren yüksek geçirimsiz ve düşük geçirgen örtü gibi benzersiz özelliklere sahiptir. Bu nedenle, deniz seviyesinin yükselmesi, yüksek ortalama ve gece sıcaklıkları, su kıtlığına yol açan azalan kar paketi veya yağmur yağışı ve şiddetli yağış, sıcak hava dalgaları, kıyı fırtınaları, nehir taşkınları ve kuraklık gibi aşırı olayların sıklığı ve şiddetinin artması gibi iklim değişikliğinin çeşitli yönlerinin kentsel nüfus tarafından şiddetle hissedilmesi beklenmektedir (tablo 1). Gerçekten de aşırı olaylar, iklim değişikliğinin, yaşamları boyunca en fazla sayıda insan üzerinde en doğrudan ve belirgin etkiye sahip olacak yönüdür.

(a) Deniz seviyesinin yükselmesi ve kıyı fırtınaları

Deniz seviyesinin yükselme hızı artmakta olup, 2100 yılına kadar 0,3-1,3 m yükseleceği tahmin edilmektedir [8]. Küresel olarak, insan nüfusu ve büyük şehirlerin çoğu düşük rakımlı kıyı bölgelerinde yoğunlaşmakta [9], bu da insanların ve alt yapının su baskınlarına, fırtına dalgalarına, sellere, erozyona ve tuzlu su girişine maruz kalmasını artırmaktadır. Örneğin, dokuz Asya megadeltasındaki nüfus, deniz seviyesinden 10 m'den daha az yükseklikteki alanlarda en fazladır ve bu nüfusların çoğu hızla artmaktadır [10,11]. Güney Florida'nın (ABD) büyük bir kısmı gibi bazı hassas, alçak bölgelerde, 5 milyondan fazla insanın su kaynağına deniz suyunun karışmasını önlemek için yeraltı suyu seviyeleri dikkatle yönetilmektedir. Ancak, daha yüksek yeraltı suyu kötü yüzey topraklarının su depolama kapasitesini azaltır ve karasal taşkınları artırabilir [12] ve nihayetinde kıyıda geri çekilmeyi gerektirebilir (tablo 1).

Kıyı şehirleri ayrıca sel ve deniz kabarması erozyon ve rüzgar yoluyla etki gösteren ve sıklığı ve büyüklüğü artacağı öngörülen fırtınalar yaşamaktadır [13]. Deniz kabarması, kıyı taşkın riskini önemli ölçüde artırabilir. 2012'deki süper fırtına Sandy (New York Şehri, ABD) vakasında, deniz dalgalanmaları yüksek gelgitlerle çakışmış, metroları ve kıyı altyapısını sular altında bırakmış ve 2080'deki hızlı buz erimesi senaryosuna göre su altında kalması öngörülen alana eşdeğer alanı sular altında bırakmıştır [14]. Fırtınanın neden olduğu erozyon da yerel kıyı şeridinin büyük bir kısmında altyapının altını oymuştur.

Tropikal siklonlardan kaynaklanan şiddetli rüzgarlar kıyılarıdaki ekolojik ve teknolojik altyapı için yıkıcı olabilir, ancak rüzgar hızları karaya ulaştıktan sonra hızla düşer. Doğu Asya'nın kıyı şehirleri, özellikle de

Pearl Nehri Deltası, Tokyo ve Manila, bu tür aşırı olaylardan en fazla risk altında olan yerlerdir [15]. İç kesimlerde, rüzgarla savrulma ve altyapı hasarı diğer aşırı olay türlerinden kaynaklanabilir.

fırtınalar. Fırtına türünden bağımsız olarak, şiddetli rüzgarlar hastalıklı organizmalar da dahil olmak üzere hava kirleticilerinin sürüklenmesi nedeniyle sağlık riskleri de yaratır [16]; bu risk şehirlerde daha da artar çünkü bu şehirlerde partikül madde, ozon ve toksinler de dahil olmak üzere hava kirletici konsantrasyonları genellikle yüksektir.

(b) Aşırı sıcak

Küresel ortalama sıcaklık 1880'den bu yana 0,8°C artmıştır [17] ve artmaya devam edecektir. Isınma, şehirlerde kentsel ısı adası (UHI) etkisiyle daha da kötüleşmektedir; bu sayede şehirler ortalama olarak çevrelerindeki alanlardan daha sıcaktır [18]. Örneğin, ABD şehirleri kırsal alanlardan 1,5 kat daha hızlı ısınmaktadır [19]. Bir dizi faktör bir araya gelerek UHI etkilerine neden olmaktadır [20]: bitki örtüsünün eksikliği ve buna bağlı olarak evapotranspirasyonun soğutma etkileri, yapı malzemelerinde yüksek ısı depolama kapasitesi, ısı dağılımına karşı yüksek aerodinamik direnç ve binalar ve araçlar tarafından enerji kullanımından kaynaklanan atık ısı üretimi.

Daha sıcak koşullar, çeşitli mekanizmalar aracılığıyla şehirler üzerindeki etkilere yol açmaktadır (tablo 1). Termal toleransların aşılması, özellikle düşük enlemlerde insanların ve diğer organizmaların faaliyetlerini kısıtlar. İnsanların uzun süreli maruziyeti, UHI, yükselen gece minimum sıcaklıkları ve daha uzun sıcak mevsimler nedeniyle daha da kötüleşmektedir. Enerji sistemi, artan soğutma talebi nedeniyle zorlanmaktadır. Yüksek sıcaklıklar aynı zamanda kuraklık stresini arttırmakta ve termal inversiyonlardan kaynaklanan hava kirliliği ve hava durgunluğu episodlarını kötüleştirir. Bu nedenle sıcak hava dalgalarının etkileri şehirlerde yoğunlaşacaktır [21]. Isı stresi hem sıcaklığın hem de nemin (fizyolojik ve davranışsal faktörlerle birlikte) bir fonksiyonu olduğundan [[23]. 20,22], ısı dalgalarının özellikle sıcak ve nemli bölgelerde ısı stresine neden olması muhtemeldir. Sıcak hava dalgaları ve insan ölümleri üzerine yapılan küresel bir analizde, bağıl nem yüksek olduğunda (%80) sadece 20°C'lik sıcaklıklar ölümcül olurken (yani aşırı ölümlerle ilişkilendirilirken), düşük bağıl nemde (%20) ölümcül sıcaklık 30°C'ye çıkmıştır [24]. Bu ampirik ilişkilere dayanarak, Endonezya'nın Jakarta kentinde 2100 yılına kadar 117 ila 365 d yr⁻¹ arasında ölümcül sıcaklık-nem kombinasyonu yaşanacağı tahmin edilmektedir (sırasıyla düşük ve yüksek emisyon senaryosu için).

9-50 d yr⁻¹ ile New York, ABD'de [24].

(c) Su güvenliği, iç kesimlerdeki fırtınalar ve su taşkınları

Sıcaklık değişimiyle karşılaştırıldığında, iklim değişikliğinin hidrolojik etkileri mekansal ve zamansal olarak çok daha değişken olacaktır. Çoğu şehir su temini için bölgesel veya uzak su havzalarına veya yavaş yenilenen yeraltı su kaynaklarına dayandığından, iklim değişikliğinin geniş alanlardaki hidroloji etkileri kentsel su güvenliği açısından önemlidir. Yağışların toplam miktarı, yoğunluğu ve mevsimselliğindeki değişikliklerin tümü kentsel alanları etkileme potansiyeline sahiptir. Bu değişiklikler, bazı bölgelerde daha fazla, bazılarında ise daha az yağış görülecek şekilde mekanda farklılık gösterecektir [8]. Şehirler, bitki örtüsünün bakımı veya soğutma için artan su talebi yoluyla kuraklığı artırır.

Tüm doğal afetler arasında nehir taşkınları en fazla insanı (379 milyon) [15] iklimle ilgili tehlikelere maruz bırakmaktadır. Kentsel altyapının büyük bir kısmı nehirler boyunca ve hatta nehir yataklarında almakta olup, su baskınlarına ve nehir kıyılarına karşı savunmasızdır.

Tablo 1. Kentleri tehdit eden iklim değişikliği tehlikeleri. Bu tehlikelerin kentlerin sosyal (S), ekolojik (E) ve teknik (T) yönlerini etkileme mekanizmaları, bu etkileri yönetmek ve bunlara uyum sağlamak için doğa temelli yaklaşımlar ve karşılaştırma için doğa temelli çözümler olmayan alternatif stratejiler örneğinin 'gri' altyapı) dahil edilmiştir.

iklim değişikliği tehlikeleri	etki mekanizmaları	etkiler (S, E, T)	doğa temelli adaptasyon ve yönetim stratejileri	alternatif 'gri' stratejiler
deniz seviyesinin yükselmesi	tuzlu su girişi	S, E	yok (geri çekilme)	alternatif su kaynakları tuzdan arındırma
	gelgit su baskını	S, T	yok (geri çekilme)	bölmeler deniz kapıları dikeler pompalar
kıyı fırtınaları	deniz dalgalanması: sel	S, E, T	mangrovlar, sulak alanlar, kumullar, resifler	deniz duvarları deniz kapıları dikeler pompalar
	kıyı erozyonu	S, E, T	mangrovlar, sulak alanlar, kumullar, resifler	deniz duvarları kıyı stabilizasyonu, zırlama
rüzgar fırtınaları (kıyı veya iç kesimlerde)	şiddetli rüzgarlar: uçma	E, T	rüzgara dayanıklı bitkiler	rüzgara dayanıklı, gömülü altyapıdan kaçınma
	partiküllerin rüzgarla sürüklenmesi	S	Hava kaynaklı kirlenmeleri filtrelemek için bitkiler	setler
iç kesimlerdeki fırtınalar-nehir taşkınları	kıyı taşkını: su baskını	S, E, T	sulak alanlar göletler rezervuarlar taşkın yatağı genişletme	
	erozyon, kıyı çökmesi	E, T	sulak alanlar kanal restorasyonu ağaç dikimi taşkın yatağı genişletme	kıyı stabilizasyonu, zırlama

(Devam ediyor.)

Tablo 1. (Devam ediyor.)

iklim değişikliği tehlikeleri	etki mekanizmaları	etkiler (S, E, T)	doğa temelli adaptasyon ve yönetim stratejileri	alternatif 'grn' stratejiler
iç kesimlerdeki fırtınalar-pluvial taşkınlar	yüksek akışlardan kaynaklanan hasar	S, T	ağaç gölgelik örtüsü engellemeyi teşvik etmek ve yavaş akışlar özellikle 'kaynak sularında' akışları yavaşlatmak ve infiltrasyonu teşvik etmek için yeşil altyapı*	KANALİZASYON fırtına drenaj kapasitesi geçirgen kaplama
	alçak bölgelerin sular altında kalması	S, T	sulak alan restorasyonu, su tutma havzaları	pompalar geçirgen kaplama su arıtma sokak daraltma geçirgen kaldırım
	kirleticilerin araziden yağmursuyu sistemine taşınması	S, E	akışları yavaşlatmak ve infiltrasyonu teşvik etmek için yeşil altyapı*	sıhhi ve yağmur suyu kanalizasyon ayırma depolama tankları
	kombine kanalizasyon taşmaları	S, E, T	akışları yavaşlatmak ve infiltrasyonu teşvik etmek için yeşil altyapı* inşa edilmiş arıtma sulak alanları	yönetilen yer değiştirme
daha yüksek toplam sıcaklık	termal intolerans (işe alımın azalması, ölümlerin artması), fenolojik değişimler	E		
	şiddetlenen kentsel ısı adası	S, E, T	ağaç gölgelikleri parklar ve açık alanlar yeşil çatılar	klima sisleme istasyonları yüzme havuzları açık renkli yapı malzemeleri ısıya dayanıklı yapı malzemeleri
	kuraklık stresi	E	kuraklığa dayanıklılık için dikimler	sulama
daha yüksek gece sıcaklığı	kentsel ısı adasının şiddetlenmesi, uzun süreli insan maruziyeti	S, E	ağaç gölgelik örtüsü parklar ve açık alanlar yeşil çatılar	iklimlendirme yüzme havuzları

(Devam ediyor.)

Tablo 1. (Devam ediyor.)

iklim değişikliği tehlikeleri	etki mekanizmaları	etkiler (S, E, T)	doğa temelli adaptasyon ve yönetim stratejileri	alternatif 'gri' stratejiler
sıcak hava dalgaları	insan maruziyetinde artış	S	ağaç gölgelikleri parklar ve açık alanlar yeşil çatılar	klima sisleme istasyonları yüzme havuzları açık renkli yapı malzemeleri
	soğutma için artan talep	T	ağaç gölgelikleri parklar ve açık alanlar yeşil çatılar	iklimlendirme sisleme istasyonları yüzme havuzları açık renkli yapı malzemeleri ısıya dayanıklı yapı malzemeleri
	termal inversiyonlar: hapsolmuş hava kirlenmeleri	S, E	ağaç gölgelik örtüsü ^b	adveksiyonu teşvik etmek için içeride kalmak ve faaliyet binasını azaltmak
aşırı soğuk	artan ısınma talebi; artan insan maruziyeti	S, T	rüzgar molaları	ısıtma
Kuraklık	su kullanım kısıtlamaları	S, E	akışları yavaşlatmak ve infiltrasyonu teşvik etmek için yeşil altyapı ^a	peyzaj düzenlemesinin sert peyzaj ile değiştirilmesi
	artan su kıtlığı	S, E	kuraklığa dayanıklı yüzeyel akış için peyzaj düzenlemesi, gri su yakalama ve yağmur suyunu yeniden kullanma	
			infiltrasyonu ve yeraltı suyu şarjını teşvik etmek için yeşil altyapı ^a	yeraltı suyu pompalama su transfer sistemleri
			kuraklığa dayanıklı yüzeyel akış için peyzaj düzenlemesi, gri su yakalama ve yağmur suyunu yeniden kullanma	
	su çatışması	S, T	yukarı havzaların korunması	su transfer sistemleri kademeli su fiyatlandırma anlaşmaları
	düşük su kalitesi	S	Hiçbiri	su arıtma
			besin alımını teşvik etmek için yeşil altyapı ^a restore edilmiş sulak alanlar	

^aYağmursuyu havuzları, yağmur bahçeleri, biyosavaklar, parklar ve açık alanlar, yeşil çatılar ve benzeri yapılar.

^bAğaçlar kirlenmeleri hem uzaklaştırdığı hem de üretim hapsedtiği için artan ağaç örtüsünün hava kirliliği üzerindeki net etkisi belirsizdir [7].

Erozyon. Şehirler geleneksel olarak doğal taşkın yataklarına güvenmek yerine inşa edilmiş altyapı kullanarak kıyıları zırhlandırmaya ve güçlendirmeye çalışmıştır (tablo 1). Setlere, kanal düzleştirmeye ve sertleştirmeye olan bu bağımlılık, özellikle değişen sel olasılıkları göz önüne alındığında, yanlış bir güvenli hissi yaratabilir [25,26].

Şehirlerdeki yüksek geçirimsiz örtü, şiddetli yağışların etkilerini şiddetlendirir ve kentsel yüzey akışını ve selleri büyütür. Yollar, otoparklar, binalar ve diğer geçirimsiz yüzeyler infiltrasyonu engeller. Yoğun drenaj ağları ile birleştiğinde, düşük infiltrasyon daha yüksek hacimli ve daha hızlı akışa neden olur [27-29]. Yüksek geçirimsiz örtü, yağış oranları yağmur suyu sistemlerinin veya infiltrasyonun kapasitesini aştığında meydana gelen taşkın olan plüviyal taşkın da teşvik eder [30]. Bu tür taşkınlar, kısa süreli yoğun yağmur fırtınalarının bir sonucu olarak kıyılardan veya nehirlerden uzakta meydana gelebilir ve aşırı yağışların sıklığı ve büyüklüğü arttıkça daha yaygın hale gelecektir [8]. Plüviyal sel, akan suyun gücüyle altyapıya doğrudan zarar verebilir ve genellikle öngörülemmez; örneğin, ABD Federal Acil Durum Yönetimi (FEMA) sel haritaları genellikle plüviyal sel için geçerli değildir [30]. Genel olarak, kentsel peyzajdaki alçak yerler en fazla risk altındadır ve genellikle uyum sağlama veya yanıt verme kapasitesi en düşük olan insanların yaşadığı yerlerdir.

(d) İklim değişikliğine bağlı diğer tehlikeler

Sıcaklık ve suyla ilgili tehlikelere ek olarak, şehirler potansiyel olarak yangınlar, hortumlar, kasırgalar, toprak kaymaları ve sismik olaylar gibi aşırı olaylara ve rahatsızlıklara maruz kalmaktadır ve bunların bazıları iklim değişikliği ile daha da kötüleşebilir. İnsan kararları ve yerleşim yerleri, kent sakinlerinin bu tehlikelere maruz kalmasını güçlü bir şekilde etkilemektedir; örneğin, yirminci yüzyılın bir zamanlar şehirleri yerle bir eden yangınlar artık bir tehdit oluşturmamaktadır, ancak kentsel-ormanlık alan arayüzündeki yangınlar artmaktadır [31]. İnsanlar bu ara bölgeye giderek daha fazla yerleştikçe [32], iklim değişikliğinden [33] kaynaklanan yangınlardaki gelecekteki artışlar muhtemelen insan ölümlerini Yangınlar kentsel yaşamı ve yerleşimleri doğrudan tehdit etmese bile, orman yangınları rüzgâr yönündeki kent sakinlerini ciddi hava kirliliğine maruz bırakabilir ve 2010 yılındaki Rus sıcak hava dalgası sırasında Moskova'da olduğu gibi sıcaklığa bağlı ölümleri kötüleştirir [34].

3. İklim değişikliğinin kentlerdeki sosyal-ekolojik-teknik bileşenler üzerindeki etkileri

(a) Sosyal etkiler

Şehirlerde, UHI etkilerinin şiddetlendirdiği aşırı sıcaklıklar, sıcak çarpması mortalitesi ve morbiditesi, dehidrasyon ve ilgili hastalıklar ve sıcak bitkinliği dahil olmak üzere [35] ısı stresine ilişkili bir dizi fiziksel sağlık etkisine neden olacaktır [36]. En savunmasız olanlar arasında yaşlılar, gençler ve sosyal olarak izole olanlar, klimadan yoksun olanlar, açık havada çalışanlar ve evsizlik yaşayanlar bulunmaktadır [35-37]. Şehirlerde, yoksullar sığağa maruz kalmaya karşı daha savunmasız olabilirler çünkü genellikle klimadan yoksundurlar ve daha az bitkisel soğutma kapasitesine sahip mahallelerde yaşamaktadırlar [38,39]. Sığağa maruz kalma aynı zamanda fiziksel aktivite kapasitesini de azaltarak çalışanların üretkenliğini ve egzersiz faaliyetlerini azaltacaktır [36].

Şiddetli yağışlar ve buna bağlı su baskınları da insan sağlığını etkileyebilir. Kentsel yüzey sel akışı aşağıdakileri sürükler ve taşır

ağır metaller, besin maddeleri, tuzlar ve patojenik bakteriler peyzajdan yağmursuyu sistemlerine [40,41], akış aşağı yüksek kirlilik darbelerine neden olur ve epizodik

halk sağlığı ve sucul ekosistem sağlığı için riskler oluşturmaktadır. Kombine kanalizasyon taşmaları (CSO'lar), şiddetli yağmurlardan kaynaklanan akış, hem yağmur suyu akışını hem de insan atıklarını taşıyan kanalizasyonları aştığında meydana gelir ve kanalizasyon yedeklemelerini önlemek için artırılmamış kanalizasyonun yüzey sularına salınmasına yol açar [42].

İklim değişikliği, doğrudan tehlikeler yaratarak insan ölümlerine, yaralanmalara ve yerinden edilmelere neden olabileceği gibi, göçün ekonomik, siyasi, demografik ve sosyal nedenlerini etkileyerek yerinden edilmelere de yol açabilir [43,44] ve en büyük etkileri düşük ve orta gelirli ülkelerde görülür [45]. Birçok kent sakininin deniz seviyesinin yükselmesi, fırtınalar ve nehir taşkınlarıyla ilişkili tehlikelere maruz kalması, evlerin hasar görmesi veya kaybedilmesi, erozyonun binaların veya yolların altını oymasından kaynaklanan güvenlik endişeleri ve içme suyu kaynaklarının kirlenmesi anlamına gelebilir. Gayri resmi yerleşim yerlerinde yaşayanlar gibi yoksullar, yeterli konut ve diğer altyapıdan, temiz sudan ve sağlık ve acil durum hizmetlerine erişimden yoksun oldukları için en büyük risk altındadır [46]. Aşırı sıcaklar, dünyanın adaptasyon için önemli kapasitesi olmayan bölgelerini yaşanmaz hale getirecektir. Sanayi öncesi dönemden bu yana ortalama küresel ısınma 1,5°C'de tutulsa bile, Afrika ve Asya'da yoğunlaşan mega şehirlerin %40'ı her yıl ölümcül sıcaklık endeksleri dönemleri yaşayacaktır [47]. 4°C'lik ısınma, dünyanın mega şehirlerinin yaklaşık %80'ölümcül sıcaklık endeksleri dönemlerine dönüşecektir.

İklim değişikliğine bağlı tehlikelere maruz kalmanın, şehirler de dahil olmak üzere, fiziksel olduğu kadar ruhsal sağlık üzerinde de etkileri olacaktır. Hava koşullarına bağlı felaketler travma sonrası stres bozukluğu, depresyon ve anksiyete ile ilişkilendirilmiştir [48]. Aşırı sıcaklar saldırganlık, suç davranışları, intiharlar, duygudurum bozuklukları ve bunama ile ilişkilendirilmiştir. İklim değişikliğine bağlı altyapı hasarları ve zorunlu göçün neden olduğu geçim kaynakları ve sağlıktaki aksamalar, sosyal sistemleri ve sosyal bağları bozarak iklim değişikliği göçmenlerinin uyum kapasitesini azaltacaktır [48,49].

(b) Ekolojik etkiler

Şehirlerdeki ekolojik sistemler, bozulmalar, zararlılar ve patojenler ile yol buz çözücüleri ve toprak sıkıştırması gibi stres faktörleriyle etkileşimli etkiler nedeniyle iklim değişikliğine karşı özellikle savunmasızdır. Buna ek olarak, dünyanın birçok yerinde hızlı kentsel genişleme muhtemelen bölgesel biyoçeşitliliği değiştirecektir [50].

İklim faktörleri ve bitki çeşitliliği arasındaki korelasyonlar, kentsel biyoçeşitliliğin iklim değişikliğine karşı hassas olacağını göstermektedir. Örneğin, şehirler arasında, maksimum sıcaklıkların daha yüksek olduğu yerlerde, konut bahçelerinde hem ekili hem de kendiliğinden oluşan bitkilerin tür zenginliği daha düşük olmuştur [51]. Öte yandan, kışların nispeten ılıman geçtiği yerlerde spontane türlerin zenginliği artmıştır; durum Kuzey Amerika'daki kentsel ağaçlar için de görülmektedir [52]. Dolayısıyla, iklim değişikliği zaten sıcak olan bitki türü zenginliğini azaltabilir, ancak daha soğuk bölgelerde artırabilir. UHI etkileri, sınırlı bitki köklenme hacimleri, sıkışmış topraklar ve ağır metaller, pestisitler, herbisitler ve tuzlar gibi kirlenmelerle kirlenme [53-56]] nedeniyle, [57], iklim değişikliğinin kentsel ekolojik topluluklar özellikle de zararlı örtünün ve yerel sıcaklıkların en yüksek olduğu yerlerde [58-60] sıcaklık ve kuraklıkla ilgili stresi daha da kötüleştirir muhtemeldir. Bu stresler altında, türlerin daha savunmasız olması muhtemeldir

iklim değişikliği ile popülasyonları ve menzilleri genişleyebilecek zararlılara ve patojenlere karşı korumalıdır [61,62].

Kentsel ağaç örtüsü iklim değişikliği nedeniyle azalabilir çünkü şu anda şehirlere dikilen birçok ağaç türü gelecekteki iklimlere uygun olmayacaktır [63,64]. Buna ek olarak, şehirler fidanlık ticareti yoluyla yeni zararlıların ve patojenlerin kazara sokulması riski altındadır [62] ve kentsel ormanların düşük çeşitliliği bu zararlıların ve patojenlerin yerleşmesini ve yayılmasını teşvik edebilir [65]. Kent ağaçlarının kök sistemleri genellikle şiddetli rüzgarlar sırasında ağaçları desteklemek için yetersiz olduğundan, kent ağaçları daha yoğun fırtınalarla ilişkili rüzgar savrulmalarından kaynaklanan hasar ve ölümlere karşı hassastır [66]. Bunun , kentsel toprakların genellikle sıkıştırılmış, suya doymuş, kuraklık stresine maruz kalmış veya dolgu içermesi ve hendek açma, inşaat veya biçme işlemlerinin kök sistemlerine zarar verebilmesidir. Kentsel göl ve göletlerde, yüksek besin yükleri ile birlikte daha yüksek su sıcaklığı alg ve zararlı siyanobakteri patlamalarını teşvik edecek [67,68] ve tabakalaşma süresini uzatacaktır [69]. Derin suların oksijenli yüzey sularıyla değişiminin azalmasıyla birleşen çiçeklenmeler, balıkları ve bentik biyotayı öldüren hipoksik olaylara neden olabilir ve sediman besin maddelerini su sütununa salan anaerobik biyojeokimyasal süreçleri uyarak kentsel göl ötrofikasyonuna daha fazla katkıda bulunabilir [69]. Diğer faktörlerin yanı sıra, termal olarak daha kararlı ve daha sıcak yüzey suları, zararlı siyanobakterileri çoğaltarak [67], bu canlıların kent sakinleri ve evcil hayvanların siyanobakteriyel toksinlere maruz kalması [70].

Kentsel alanlardaki çoğu akarsu kanalizasyon, gömme ve doldurma yoluyla büyük ölçüde değiştirilmiştir [71], bu da artan su sıcaklığı [72], aşırı olaylarla ilişkili artan pik akış [29] ve fırtınalardan ve CSO'lerden kaynaklanan artan besin ve kirletici yüklemesi gibi iklimle ilgili etkilere dayanma kapasitelerini azaltır. Hem kentleşme hem de iklim değişikliği, iki faktörü ayrı ayrı ve birlikte manipüle eden modellere göre, akarsu balık popülasyonlarını ve topluluklarını olumsuz yönde etkilemek için etkileşime girmektedir [73].

(c) Teknik etkiler

Teknik veya altyapı sistemleri belirli hizmetleri sunmak veya kentsel nüfusu korumak için tasarlanır ve yönetilir. Sağlanan hizmetler arasında elektrik gücü, su dağıtımı, hareketlilik (yani ulaşım) ve atık yönetimi yer alırken; yağmur suyu altyapısı, deniz duvarları ve setler ve iklim kontrollü binalar (barınma için) kentsel nüfus için koruma sağlamaktadır [74,75]. İklim değişikliğinin, konumu, yaşı, tasarımı ve tasarım sınırlarının aşılması nedeniyle altyapı üzerinde güçlü etkileri olacaktır.

Altyapının şehirlerde daha yoğun ve bir arada bulunması, fırtına gibi iklim değişikliği tehlikelerinin teknik etkilerini artırmaktadır; zira belirli bir büyüklük ve şiddetteki bir fırtına kentsel alanlarda kırsal alanlara kıyasla daha fazla hasara neden olacaktır. Dahası, elektrik hatları, kanalizasyon boruları ve su dağıtım şebekeleri gibi kentsel altyapı genellikle sele karşı savunmasız olabilecek yollar veya akarsular gibi kamu geçiş hakları boyunca yer almaktadır. Dolayısıyla, birden fazla altyapı sisteminin bir arada bulunması eş zamanlı arızalara neden olabilir. Bazı şehirlerde atık giderme altyapısı yağmur suyu iletimiyle birleştirilir ve her iki su akışı da kirleticilerin giderildiği atık su arıtma tesislerinde birleşir. Ancak sel sırasında CSO'lar meydana gelir. Dolayısıyla, birlikte konumlandırmanın faydaları olduğu kadar, sistemler arızalandığında veya kapasiteleri aşıldığında potansiyel olarak ciddi sonuçları da vardır.

Tarihsel iklime dayanacak şekilde inşa edilen altyapı aşırı olaylar daha yaygın hale geldikçe başarısız olmaya başlamaktadır ve geçmişe göre inşa etmek durağan olmayan bir dünyada yetersiz kalacaktır. Birçok sistem, sadece yaşlılık ve kötüleşen koşullar nedeniyle değil [76], aynı zamanda geçmiş olasılıklara dayalı tasarım standartlarına göre inşa edildikleri için (örneğin %1 yaygın bir standarttır) giderek daha sık meydana gelen aşırı olaylara karşı dayanıklı değildir [77]. Bu uygulama, bir olayın gelecekteki olasılığının geçmişe ilişkin bilgilerden hareketle tahmin edilemediği, durağan olmayan, belirsiz bir dünyada yetersiz kalmaktadır. Durağan olmayan taşkın frekansı analizlerini [78] kullanmaya yönelik son çabalar, altyapı tasarımını yeniden düşünmek için umut vaat etmektedir.

4. Doğa temelli stratejilerle iklim değişikliği tehlikelerine maruziyetin azaltılması için fırsatlar

NBS, iklim değişikliği tehlikelerini veya kentsel özelliklerin bu tehlikeler üzerindeki güçlendirici etkilerini azaltmak için canlı organizmaları, toprak ve tortuları ve/veya peyzaj özelliklerini kullanır. Bu tür stratejiler, teknik stratejilere alternatif veya tamamlayıcı yaklaşımlar sağlayabilir ve insanların yer değiştirme ihtiyacını geciktirerek iklim değişikliğinin azaltulmasını hızlandırmak için zaman kazandırabilir (tablo 1) [3,79,80]. Yeşil altyapı veya düşük etkili kalkınma [81] olarak da adlandırılan çeşitli NBS, yüksek mühendislik ürünü yapısal yağmur suyu kontrol önlemlerinden parklara ve açık alanlara, doğal unsurları içeren yapı malzemeleri ve tasarımlara, özellikle kıyı şeridinde doğal ekosistemlerin korunması ve restorasyonuna ve kasıtlı bitkilendirmeye kadar uzanmaktadır (tablo 1) [5,80]. (Pauleit ve diğerleri [7] doğa temelli çözümler, ekosistem temelli adaptasyon, ekosistem hizmetleri ve kentsel yeşil altyapı için faydalı bir sözlük sağlamaktadır).

(a) Deniz seviyesinin yükselmesi ve kıyı fırtınaları

NBS, deniz seviyesinin yükselmesine eşlik eden daha yüksek fırtına dalgalanmaları nedeniyle artan kıyı taşkınları ve erozyon risklerini azaltabilir. Bariyer adaları, mercan ve istiridye resifleri, yosun ve deniz çayı yatakları gibi kıyıya yakın habitatların ve kumullar, mangrov ormanları ve tuzcul bataklıklar gibi kıyı habitatlarının korunması ve restore edilmesi erozyonu azaltabilir ve insan yerleşimlerini koruyabilir [82]. Bu habitatlar dalga enerjisini dağıtır, dalga yüksekliğini azaltır, fırtına kabarmasını azaltır, toprak ve tortuları hapseder ve stabilize eder [5,83] ve bu nedenle fırtınaların zararlı etkilerine karşı perdeler ve deniz duvarları gibi gri altyapılardan daha dirençli (yani daha az zarar görürler) ve daha dayanıklıdır (yani potansiyel olarak kendi kendilerini kurtarabilirler) [79,83,84].

Doğaya dayalı hiçbir strateji, deniz seviyesinin yükselmesi nedeniyle denizlerin kademeli olarak iç kesimlere doğru ilerlemesini tamamen önleyemez. Deniz geçitleri, bentler ve pompalar gibi maliyetli mühendislik yapıları ve alternatif su kaynaklarının geliştirilmesi, insanların yeniden yerleşim ihtiyacını geciktirebilir. Yine de, içme ve sulama suyu kaynaklarının su altında kalması ve tuzlanmasının yönetilmesi, nihayetinde kıyı bölgelerinden geri çekilmeyi ve kıyı sakinlerinin yer değiştirmesini gerektirecektir [85]. Bununla birlikte, herhangi bir kıyı gelişimi ile su hattı arasında yeterli boşluk varsa, bazı durumlarda mangrov ormanları ve tuz bataklıkları gibi NBS, deniz seviyesindeki yükselmeye ayak uydurmak için tortu birikimi yoluyla kıyıya doğru yerleşebilir [83].

(b) Aşırı sıcak

Parklar ve açık alanlar, yeşil çatılar ve ağaç gölgelikleri şeklindeki kentsel yeşil alanlar, UHI'yi azaltma ve iklim değişikliğinin neden olduğu sıcak hava dalgalarına karşı rahatlatma sağlama potansiyeli açısından büyük ilgi görmüştür [19,86,87]. Dünyanın dört bir yanındaki şehirlerde kentsel yeşil alanların serinletici etkilerine ilişkin bir meta analiz, parkların park olmayan alanlara göre ortalama 1°C daha serin olduğunu, bunun muhtemelen yüksek buharlaşmalı soğutma ve düşük ısı depolamadan kaynaklandığını ve bu serinletici etkilerin park sınırlarının çok ötesine uzandığını ortaya koymuştur. İspanya'nın Barcelona metropolitan alanı için değerlendirilen ekosistem hizmetleri (iklim düzenleme, hava kalitesi düzenleme ve karbon tutma dahil) arasında 'yüksek' olarak değerlendirilen tek doğa temelli fayda yerel ölçekte soğutma olmuştur [88]. Phoenix'teki (Arizona, ABD) sıcak yaz günlerinde, yeşillendirilmiş yüzeyler çıplak yüzeylere göre 25°C kadar daha serin olabilmektedir [38]. Tropikal, subtropikal ve ılıman bölgelerdeki şehirlerde yeşil çatıların soğutma etkileri üzerine yapılan çalışmalarda, yeşil ve yakındaki bitki örtüsüz çatılar arasında tutarsız sıcaklık farkları bulunmuştur [86]. Bununla birlikte, ABD şehirlerinde iklim değişikliği üzerine yapılan bir modelleme çalışması, yansıtıcı çatıların (teknik strateji) soğutmada yeşil çatılardan daha etkili olmasına rağmen, yeşil çatıların %100 kullanımının öngörülen iklim ısınmasını dengelediğini ortaya koymuştur [89]. Ağaçlar gölge ve evaporatif soğutma sağlar ve genellikle ağaçsız yakın alanlardan daha serindir [86]. Bu nedenle, şehirlerdeki ağaç örtüsünün artırılmasının bazı iklim ısınması ve UHI etkilerini dengeleyeceği öngörülmektedir [90]. Bununla birlikte, bir şehirde, ağaç örtüsünün doğrusal olmayan etkileri bulunmuştur; buna göre, nispeten yüksek ağaç örtüsüne ulaşılan kadar ağaç örtüsünün artırılması önemli soğutma etkileri sağlamamıştır [91]. Ayrıca, ağaç örtüsünün soğutma etkileri geceleri ve geçirimsiz örtü daha yüksek olduğunda daha düşük olmuştur.

(c) İç kesimlerde fırtınalar, su baskınları ve kuraklıklar

Yeşil çatılar, yağmur suyu göletleri, biyosavaklar, yağmur bahçeleri ve su tutma havuzları gibi NBS, infiltrasyonu ve yeraltı suyunun yeniden şarj edilmesini ve/veya evapotranspirasyonu teşvik ederek şiddetli yağmur fırtınaları sırasında akış hacimlerini ve akış hızlarını azaltabilir [92,93]. Arazi peyzajına stratejik olarak yerleştirilirse, yani peyzaj boyunca dağılır ve yollara bitişik olarak yerleştirilirse, bu tür stratejiler su baskını risklerini [94] ve yüksek hızlı akışların zararlı etkilerini azaltabilir. Örneğin, bir Chicago (IL, ABD) su havzası simülasyonunda, peyzaj alanının %10'unun yeşil altyapıya sahip olması, orta şiddetteki fırtınalarla ilişkili sel riskini en aza indirmiştir. Bununla birlikte, fırtına yoğunluğunun iklim değişikliği altında beklenen seviyeye çıkarılması (bugünün %1 olasılığı), selleri yönetmek için yeşil altyapının alansal kapsamının iki veya daha fazla kat artırılmasını gerektirmiştir [94]. Aslında, yağmursuyu sistemlerinde doğaya dayalı birçok müdahale, büyük ölçekli, felaketli olaylar üzerinde herhangi bir etkiye sahip olamayacak kadar küçük ölçekte uygulanmaktadır [95]. Bu nedenle, daha şiddetli fırtınaların yaşanacağı tahmin edilen bölgelerde artan sel riskini yönetmek için önemli miktarda yağmursuyu yeşil altyapı alanına ihtiyaç duyulacaktır.

Birçok şehir, kısmen yağmur suyu akış hacimlerini azaltmak için kentsel ağaç gölgelik örtüsünü artırmaya odaklanmıştır [96,97]. Ağaçlar, gölgelikte depolanan ve sonunda buharlaşan yağmuru tutarak [98], yağmur suyu akış hacimlerini azaltabilir ve düşük yoğunluklu yağmur fırtınaları sırasında pik akışları geciktirebilir [98]. Ağaçlar tarafından terleme

daha fazla toprak sağlayarak yüzey akışını potansiyel olarak azaltabilir su depolama için hacim [98].

Birçok şehir, şiddetli yağmur olayları sırasında akış hacimlerini azaltmak, CSO riskini azaltmak ve potansiyel olarak su kalitesini iyileştirmek için yeşil yağmur suyu altyapısının kullanımını genişletmektedir [99-101]. Yeşil altyapı, [102]. yağmur suyundan kirleticilerin uzaklaştırılması [101] ve CSO'ların (örneğin inşa edilmiş sulak alanlar) alınması ve artırılması için bir miktar kapasite sağlar Yağmur suyu yeşil altyapısı partikül halindeki besin maddelerini hapseder ve çözünabilir besin maddelerinin sorpsiyonunu, biyotik alımını veya gaz halinde kaybını teşvik eder [5,103,104]. Bu nedenle, havzadaki yeşil altyapının artırılması, akarsulara besin maddelerinin yağmur suyu ihracatını azaltabilir [93,105]. Öte yandan, caddelerin yakınındaki ağaç örtüsünün artırılması yağmur suyuna çöp kaynaklı besin maddelerinin karışmasına neden olur [106,107] ve yeşil çatılar su kalitesine tutarsız faydalar sağlar [108].

5. Doğa temelli stratejiler kullanarak iklim değişikliğinin sosyal, ekolojik ve teknik etkilerini yönetmek ve bunlara uyum sağlamak

Doğa temelli yaklaşımlar, iklim değişikliğinin etkilerini en aza indirmek için iklim değişikliği tehlikelerini ve bu tehlikelerin şehirlerdeki artışını azaltmanın yanı sıra, meydana geldiklerinde şehirlerin iklim değişikliğinin SET etkilerini yönetmesine ve bunlara uyum sağlamasına yardımcı olabilir (tablo 1). Afetlerin meydana gelmesi, şehir yönetimleri için etkinin ötesine geçme ve gerçek bir değişim gerçekleştirme veya "daha iyisini inşa ederek" [109,110] uyum sağlama fırsatlarını temsil edebilir - bu, NBS'yi içerebilecek bir sosyal yanıtır. Sahra altı Afrika ve Asya'nın birçok bölgesinde olduğu gibi hızla kentleşen bölgelerde, kentler gelişirken iklim değişikliğini ele alma, NBS'yi gri altyapı ile etkili kombinasyonlarda ve yerel olarak değer verilen ortak faydaları en üst düzeye çıkaracak şekilde uygulama fırsatına sahiptir [111,112].

(a) Doğa temelli stratejiler kullanarak sosyal etkileri yönetmek

İklim değişikliğini yönetmek ve uyum sağlamak için birçok NBS (tablo 1) potansiyel sosyal yan faydalara sahiptir. Örneğin, şehirlerdeki yeşil alanlara erişim ve maruz kalma ruhsal ve fiziksel sağlığın bazı yönlerini iyileştirmektedir [5,113,114]. Kentsel yeşil alanlar, şiddetin ve suçun azalması gibi sosyal faydalarla da ilişkilendirilmiştir, ancak çelişkili sonuçlar, potansiyel bağlantıların altında yatan mekanizmaların yanı sıra bunları ölçmek için standartlaştırılmış yaklaşımlara ihtiyaç olduğunu göstermektedir [113,115]. Kentlerde iklim değişikliğinin ele alınmasına yönelik UBS'nin, iklim değişikliğinin ruh sağlığının bozulması, sosyal uyumun azalması ve şiddetin artması gibi zararlı sosyal etkilerine karşı koyarak ek sosyal faydalar sağlayıp sağlamayacağı bilinmemektedir. Ancak kesin olan bir şey varsa o da UBS'nin başarısının büyük ölçüde halkın kabulüne bağlı olduğudur [116].

(b) Doğa temelli stratejiler kullanarak ekolojik etkileri yönetmek

Kentsel ekosistemleri şu amaçlarla yönetmek için sayısız fırsat mevcuttur değişen iklim koşullarına daha uygun türlere geçişi kolaylaştırmak [64]. Örneğin, Chicago, IL, ABD'deki orman yöneticileri, kent ormanlarının iklim değişikliğine karşı kırılganlığını azaltmak için bir dizi yönetim eylemi belirlemiştir [64]. Artan

Tablo 2. İklim değişikliği tehlikelerini ve etkilerini ele almak için NBS'nin uygulanmasına ilişkin araştırma öncelikleri.

On öncelikli araştırma sorusu
<i>Etkililik</i>
1. Doğa temelli stratejilerin ne tür, miktar ve düzenlemeleri iklim değişikliğiyle bağlantılı farklı tehlikeleri hafifletir?
2. Doğa temelli stratejiler şehirler arasında ne kadar aktarılabilir?
3. İklim değişikliğiyle ilgili belirli tehlikeleri azaltmak için doğa temelli stratejilerin etkinliğini etkileyen doğrusal olmayan durumlar (örneğin eşikler veya sınırlar) var mıdır?
4. Yeşil altyapı miktarları ve düzenlemeleri aynı anda birden fazla tehlikeyi azaltacak şekilde tasarlanabilir mi?
5. İklim değişikliği tehlikeleri hangi koşullar altında doğa temelli çözümlerin kentlerdeki SET etkilerini azaltma kapasitesinin üstesinden gelecektir?
6. Geçmiş iklim koşullarından ziyade geleceğe yönelik tasarım yapmak için en etkili yaklaşımlar hangileridir?
<i>Maliyetler ve faydalar</i>
7. Farklı sosyal, çevresel ve teknik bağlamlarda, gri alternatiflere göre doğa temelli stratejilerin maliyetleri (hizmet dışı bırakmalar dahil) ve faydaları (Ortak faydalar dahil) nelerdir?
<i>Eşitlik ve çevresel adalet</i>
8. Doğa temelli çözümlerin maliyetleri ve faydaları kentlerdeki farklı topluluklar arasında nasıl eşit bir şekilde dağıtılabilir?
9. Şehirler 'yeşil soylulaştırmadan' ve doğa temelli stratejilerin uygulanmasının diğer istenmeyen sonuçlarından nasıl kaçınabilir?
10. Doğa temelli stratejilerin uygulanması, dünyanın en yoksul ama en hızlı büyüyen şehirlerindeki yaşam koşullarının iyileştirilmesini nasıl hızlandırabilir?

Gelişmiş alanlardaki dikimlerin çeşitliliği ve sel baskınlarını azaltmak için drenaj sistemlerinin kurulması, kent ormanlarının aşırı olaylara karşı hassasiyetini azaltabilir. Kuraklığa, sele veya sıcağa daha fazla adapte olmuş türlerin ve haşere ve patojenlere karşı daha dayanıklı çeşitlerin dikilmesi, gelecekteki iklime daha uygun türlere geçişi kolaylaştırabilir.

Teorik olarak, iklim değişikliği tehlikelerini azaltmaya yönelik UBS'lerin birçoğu, iklim değişikliği karşısında türlerin göçü için habitat rezervleri ve koridorlar sağlayarak değişen bir çevrede biyolojik çeşitlilik için ortak faydalara sahiptir. Bununla birlikte, iklim değişikliği tehlikelerini azaltmaya yönelik NBS, biyolojik çeşitliliği korumak ve iklim değişikliğine ekolojik uyumu kolaylaştırmak için otomatik olarak optimal değildir. Bir dizi faktör biyoçeşitlilik hedeflerine ulaşma çabalarını engelleyebilir [117-120]. Bu faktörler arasında, ilgilenilen türleri teşvik etmek için uygun ölçekte habitat yamaları veya koridorları oluşturmak üzere dağıtılmış (genellikle özel) küçük yeşil alan parçalarının yönetimini koordine etmenin zorlukları; biyoçeşitlilik hedefleriyle çatışan yeşil alan hedefleri; biyoçeşitlilik hedeflerine ulaşmaya açıkça zarar verebilecek yönetim uygulamaları (ör.bıçme, budama, herbisit ve pestisit kullanımı, ekimi); ve biyoçeşitliliğin faydalarının yanlış anlaşılması ve biyoçeşitlilik için yönetilen kentsel yeşil alanların kent sakinleri arasında memnuniyetsizlik yaratabilecek olumsuz algıları. Dolayısıyla, iklim değişikliğinin etkilerine karşı gelişmiş ekolojik uyum, iklim değişikliği tehlikelerini azaltmak için NBS'nin uygulanmasının kaçınılmaz bir sonucu olarak ortaya çıkmayacaktır, ancak niyetle sürdürülürse ve eğitim çabaları eşlik ederse potansiyel olarak yararlı olabilir [118].

(c) Doğa temelli stratejiler kullanarak teknik etkilerin yönetilmesi

Bir bölgenin yapıyı altyapısını değiştirmek için doğanın kullanılması bir şehirdeki teknik etkileri yönetmekle çelişiyor gibi görünebilir, ancak aslında birçok mühendis sistem bakış açısını dahil etmenin ve riski yeniden tanımlamanın değerini görmektedir.

durağan olmayan bir dünya bağlamında [42,74]. Yalnızca bir olayın olasılığına vurgu yapmaktan uzaklaşıp sonuçlarını da dikkate alan tasarımlar, yalnızca arızaya karşı güvenli değil, arızaya karşı güvenli olan daha esnek, uyarlanabilir altyapıya olanak tanır [77]. Örneğin, kıyıları boyunca koruyucu sulak alanların kullanılması [82] erozyon tehlikesini veya fırtına dalgalanmalarının kıyı altyapısına verdiği dalga hasarını azaltabilir. NBS, eko-teknik spektrum [121] veya yeşil-gri gradyan [122,123] boyunca tek başına veya teknik stratejilerle (hibrit stratejiler olarak da bilinir) birlikte kullanıldığında teknik etkilere karşı koymaya yardımcı olabilir.

6. Araştırma öncelikleri

Aşağıda, kentlerde iklim değişikliğini yönetmek ve iklim değişikliğine uyum sağlamak için UDBS'nin kullanılmasıyla ilgili üç öncelikli araştırma alanını ve Tablo 2'deki belirli araştırma sorularını ifade ediyoruz. İklim değişikliği tehlikelerini ele almak için NBS'ye yatırım yapmayı planlarken, bir şehrin NBS'nin iklim değişikliği tehlikelerini ve bunların etkilerini hem şimdi hem de gelecekte azaltmadaki etkinliğini; doğaya dayalı ve alternatif stratejilerin uygulanmasının maliyet ve faydalarını; ve maliyet ve faydaların küresel olarak farklı şehirler arasında ve şehirler içindeki topluluklar arasında dağılımıyla ilgili eşitlik ve çevresel adalet konularını dikkate alması gerektiğini öneriyoruz. Cevaplar her şehrin kendine özgü sosyal, çevresel ve teknik bağlamına bağlı olacaktır; başka bir deyişle, şehirlerin iklim değişikliği tehlikelerine karşı 'herkese uyan tek bir çözüm' beklemek için *a priori* bir neden yoktur.

(a) Doğa temelli stratejiler iklim değişikliği tehlikelerinin etkilerini azaltmada ne kadar etkilidir?

Araştırmalar, NBS'nin ne dereceye kadar kullanılabileceğini ele almalıdır iklim değişikliğinin neden olduğu tehlikelerin ve etkilerin ölçeğine uygun ölçeklerde uygulanmalıdır [116] (tablo 2). Bu tür ölçeklendirme sorularının bireysel bağlamlarda ele alınması gerekmektedir.

Şehirler: yerel biyomları, iklimleri ve hidrojeolojileri (örneğin yüzey ve yeraltı suyu kaynakları); beklenen iklim değişikliği tehlikelerinin büyüklüğü ve türleri (örneğin kuraklıklar, aşırı yağışlar, deniz seviyesinin yükselmesi); özel SET karakteristikleri (örneğin risklerin mekansal ayrımı, yeşil ve gri altyapının yaşı, türü ve dağılımı ve NBS'nin uygulanmasının önündeki sosyal engeller); ve yeşil ile gri altyapıyı birleştirme fırsatları. Önemli bir soru, NBS'nin 84,93,94.uygulama alanı ile nasıl ölçeklendirildiği ve tek başlarına veya gri altyapı ile birlikte etkinliklerinin arazi yapısındaki fiziksel konumlarına nasıl bağlı olduğudur [116]. Örneğin, Çin'in Pekin kentinde yeşil çatılar üzerine yapılan bir çalışmada, UHI'deki azalmanın yeşil çatı alanıyla doğru orantılı olarak ölçeklendiği tespit edilmiştir: %100 yeşil çatı kapsamı genelinde önemli ölçüde soğutma (1,5°C) sağlarken, %10 yeşil çatı kapsamı yalnızca 0,1-0,2°C soğutma sağlamıştır [124]. Öte yandan, Madison'da (Wisconsin, ABD) yapılan bir çalışmada, sıcaklığın ağaç gölgelik örtüsü ile geçirimsiz örtüye, mekansal ölçeğe ve günün saatine (gündüze karşı gece) bağlı olarak doğrusal olmayan şekillerde ilişkili olduğu bulunmuştur [91]. Çoğu şehirde alanın sınırlı olduğu veya kamu yararı için kullanımının özel mülkiyet nedeniyle karmaşık olduğu göz önüne alındığında, anlamlı bir adaptasyona izin vermek için yeterli ölçeklerde ve uygun konfigürasyonlarda NBS uygulamak, öngörülen iklim değişikliği etkileri göz önüne alındığında mümkün olmayabilir. Ayrıca, birçok NBS'nin maksimum etkinliğe ulaşması için önemli bir geliştirme süresi gerekmektedir [125] veya bitkilerin büyümesi, alt tabakadaki değişiklikler (örneğin toprak ve tortular) ve çöp veya partikül madde birikimi nedeniyle etkinlik zaman içinde artabilir ve daha sonra azalabilir. Bu nedenle, NBS'nin fayda-maliyet oranını tam olarak anlamak için uzayda olduğu kadar zamanda da ölçeklendirme dikkate alınmalıdır.

(b) Alternatiflere göre doğa temelli stratejilerin maliyetleri ve faydaları nelerdir?

Doğru ve kapsamlı bir şekilde analiz edilmesine ihtiyaç vardır gri (veya doğaya dayalı olmayan) alternatiflere kıyasla DBS'nin maliyetleri ve faydaları, hizmet dışı ve eş faydalar dahil olmak üzere (tablo 2) [5], şehirlerin DBS'nin katkıda bulunduğu piyasa dışı hizmetleri değerlendirmek için mekanizmalara sahip olmayabileceğini kabul eder. Bu araştırma yaklaşımının iki örneği yeşil çatı çalışmaları ve doğa temelli kıyı savunması çalışmalarıdır. Yeşil çatıların maliyetleri ve faydaları üzerine yapılan çalışmalar, yeşil çatıları yansıtıcı 'serin' çatı alternatifleriyle karşılaştırmıştır; burada maliyetler kurulum, bakım ve değiştirme maliyetlerinin yanı sıra yılın serin zamanlarında ısıtma maliyetlerini içerirken, faydalar enerji kullanımındaki azalmaları, önlenen hastalık ve ölüm oranlarını ve serinlemeden kaynaklanan diğer sağlık faydalarının yanı sıra yağmur suyu akışındaki ve hava kirliliğindeki azalmaları içermektedir [126,127]. Soğutmalı çatılar daha soğuk iklime sahip bölgelerde ısıtma maliyetlerini daha fazla artıracığından ve yeşil çatılar daha kuru iklime sahip bölgelerde sulama maliyetlerini daha fazla artıracığından çevresel koşulların dikkate alınması kritik önem taşımaktadır [126]. Dünya çapında kıyı savunmalarına ilişkin maliyet-fayda analizlerinin bir sentezi, kıyı habitatlarının kıyı şeritlerini sel ve erozyondan korumak için yüksek potansiyele sahip olduğunu [128] ve tuz bataklıkları ve mercan resiflerinin kıyı şeritlerini korumada mühendislik yapılarından iki ila beş kat daha maliyet etkin olabileceğini göstermiştir. Bu örnekler, iklim değişikliği etkilerini ele almak için NBS'nin uygulanmasının maliyet ve faydalarını analiz eden araştırmalar için modeller sunmaktadır.

(c) Doğa temelli stratejilerin faydaları şehir içinde ve şehirler arasında eşit olarak dağıtılıyor mu?

İklim değişikliğine maruz kalma olasılığı en yüksek olanlar Kentler içinde ve genelinde iklim değişikliğinin etkilerine maruz , aynı zamanda bu etkilerden doğaya dayalı olarak kurtulmaya en az erişimi olanlar olabilir. Şehirlerdeki daha yoksul topluluklar, üyeleri yüksek maruziyetli alanlarda yaşadıkları veya çalıştıkları ve iklim değişikliğine uyum sağlayacak kaynaklardan (örneğin klima, yeterli barınak veya drenaj) yoksun olabilecekleri için iklim değişikliği tehlikelerine karşı genellikle daha savunmasızdır. Buna ek olarak, parklar gibi kentsel yeşil alanlar varlığı, beyaz, güçlü kuvvetli kent sakinleri için daha erişilebilirdir [129]. Benzer şekilde, ağaç örtüsü genellikle daha varlıklı mahallelerde yoğunlaşmaktadır [130]. Örneğin, Amazon deltasındaki birçok şehir hızlı bir kentleşme yaşamaktadır; bu topluluklar sel ve kirli suya karşı oldukça savunmasızdır. Özellikle gayri resmi yerleşimler, kent yoksullarını temel temizlik ve su altyapısından yoksun sele açık alanlarda yoğunlaştırmaktadır [6]. Bu örüntü küresel olarak tekrarlanmaktadır; sömürgecilikten arındırılmış dünyada hızla genişleyen şehirler, sakinlerini korumak için nadiren yeterli olan gayri resmi bir altyapı geliştiren plansız yerleşimlerle çevriliyken, varlıklı kent sakinleri daha yüksek zeminin, yeterli altyapının veya yeşil alana avantajlarından yararlanmaktadır [131].

Küçük ölçekli NBS'nin, belirli bir yere uygun olması halinde, kırılganlıktaki büyük eşitsizliklere çözüm sağlayabileceğine dair bazı umutlar vardır [132]. Bununla birlikte, doğa temelli strateji uygulamasına eşlik edebilecek yeşil soylulaştırma gizlenen bir zorluktur. Kentsel yeşillendirme projelerinde yeni eşitsizlikler genellikle, imkanları kısıtlı insanların erişiminin veya temsilinin (planlama ve doğa temelli projelerin yerleştirilmesine ilişkin karar alma süreçlerinde) reddedilmesi veya yüksek gelirli müşterilerin yeni inşa edilen yeşil alanlara kasıtlı olarak çekilmesiyle ortaya çıkmaktadır [133,134]. NBS ile ilgili karar alma süreçlerinde tüm seslerin duyulmasını ve erişim ve dağıtımın adil olmasını sağlamak için, kentsel planlama ile birlikte yeşil soylulaştırmayı önleyen bilinçli politikaların geliştirilmesi gerekmektedir. Kabisch ve arkadaşları [135] kentsel yeşil alanların planlanmasında çevresel adaleti sağlamak için dört öneride bulunmaktadır: yeşil alanların dağılımının eşit erişimi sağlaması; yeterince temsil edilmeyen gruplar da dahil olmak üzere nüfusun tüm üyelerine söz hakkı vermek çaba gösterilmesi; etkileşimlerin ve sosyal alışverişlerin açık ve güvenli olması ve yerel özelliklerin dikkate alınması.

Şehirler arasında, NBS iklim değişikliği tehlikelerine en fazla maruz kalacak şehirlerde daha az etkili olabilir. Küresel Güney'deki birçok şehir, artan sıcaklığın tolerans eşiklerini aşma olasılığının daha yüksek olduğu ekvatorial bölgelerde yer almaktadır. Bu şehirlerin birçoğu aynı zamanda alçak kıyı bölgelerinde yer almaktadır ve bu nedenle fırtınalara ve deniz seviyesinin yükselmesine karşı savunmasızdır. Son olarak, Küresel Güney'deki şehirler hızla büyümektedir ve , yeterli koruyucu altyapının inşası veya NBS'nin tasarımı veya korunması yoluyla iklim değişikliğinin etkilerini mücadele etmek bir yana, temel kritik altyapının inşasına ayak uyduracak finansal araçlardan yoksundur [74,75]. İklim değişikliğiyle mücadelede büyük bir ivme kazanılmadığı takdirde, bu şehirler yaşanmaz hale gelebilir ve doğa temelli strateji uygulamalarının hiçbir boyutu karşı karşıya oldukları tehlikeleri yeterince azaltamaz. Ancak, diğerlerinde, DBS yaşam koşullarının iyileştirilmesini hızlandırmak için bir araç sağlayabilir (tablo 2). Birleşmiş Milletler tarafından kabul edilen Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinin 11. Hedefi [136] sürdürülebilir şehirler ve topluluklarla ilgilidir.

Hedef 11'e yönelik 10 hedeften üçü özellikle NBS ile ilgilidir: yeşil alana erişimi arttırmak, afetlerden kaynaklanan can ve geçim kayıplarını azaltmak ve güvenli, kapsayıcı, dirençli ve sürdürülebilir şehirler yaratmak için şehir planlamasını arttırmak.

7. Sonuç

Bu makalede, şehirlerin iklim değişikliğinin şehirlerin SET bileşenlerine yönelik tehlikelerini nasıl artırabileceğini ele aldık. NBS, iklim değişikliğiyle ilgili tehlikeleri doğrudan azaltma; kentler üzerindeki etkilerini arttırmak yerine azaltma ve SET etkilerini en aza indirme potansiyeline sahiptir. Bu potansiyele ulaşmak, kentlerde tehlikelerin artmasına yol açan mekanizmaları anlamak ve NBS'nin etkili olacağı koşulları ölçmek için temel araştırmalar yapılmasını gerektirmektedir. Araştırmacılar ve uygulayıcılar ayrıca şehirlerin değişen iklimle uyum sağlamasına yönelik yeşil altyapı yaklaşımlarının geleneksel gri yaklaşımlara kıyasla hem zararları hem de yan faydaları dahil olmak üzere maliyet ve faydalarını tam anlamalıdır. Hızla değişen iklimin getirdiği zorluklara karşı sosyal-ekolojik-teknolojik dayanıklılık oluşturmak için proaktif planlar geliştirilirken, şehirlerin içindeki ve arasındaki en savunmasız nüfusların ihmal edilmemesini sağlamak için çok daha gelişmiş bir farkındalığa ve kararlılığa ihtiyacımız var. Son olarak, şu sonuca varıyoruz

İklimle ilgili zorlukların üstesinden gelmenin etkili yolu, sorunun ölçeğine uygun ve sosyal, kültürel, ekolojik ve teknolojik ortam açısından belirli bir yere uygun olmasıdır.

Veri erişilebilirliği. Bu makalede ek veri bulunmamaktadır.

Yazarların katkıları. S.E.H. ve N.B.G. incelemesini tasarlamış ve yazmışlardır.

Rekabet eden çıkarlar. Rakip çıkarlarımız olmadığını beyan ederiz.

Finansman. Bu makalede sunulan fikirler, Ulusal Bilim Vakfı Uzun Vadeli Ekolojik Araştırma (hibe no. 1832016), Bağlantılı İnsan ve Doğal Ekosistemlerin Dinamikleri (hibe no. 0709581, 0908998) ve Sürdürülebilirlik Araştırma Ağları (hibe no. 1444755) programları ve Minnesota Üniversitesi Çevre Enstitüsü (hibe no. DG-0008-11) kapsamında yürütülen araştırmalardan etkilendirilmiştir.

Teşekkür. Yazarlar, İklim Değişikliği ve Ekosistemler ABD-İngiltere Bilimsel Forumu organizatörlerine bu makaleye katkıda bulunma fırsatı verdikleri için teşekkür eder. İki anonim hakem ve özellikle Monica Turner, makaleyi büyük ölçüde geliştiren çok değerli girdiler sağlamıştır.

Endnote

(1) Çalışmamız boyunca adaptasyon, tehlikeler, etkiler, kırılganlık ve maruziyet kavramlarını Field ve *diğerlerinin* [1] tanımlarına göre kullandık.

Referanslar

- Field CB ve *diğerleri*. 2014 Teknik özet. *İklim değişikliği 2014: etkiler, uyum ve kırılganlık içinde. Bölüm A: küresel ve sektörel yönler. Hükümetler arası iklim değişikliği panelinin beşinci değerlendirme raporuna çalışma grubu II'nin katkısı* (eds CB Field *et al.*), pp. 35-94. Cambridge, Birleşik Krallık: Cambridge University Press.
- Shandas V, Matsler A, Caughman L, Harris A. 2019 Yeşil yağmur suyu altyapısının uygulanmasına doğru: Kuzeybatı Pasifik'teki belediye yöneticilerinin perspektifleri. *J. Environ. Planlama Yönetimi*. Çevrimiçi. (doi:10.1080/09640568.2019.1620708)
- Kabisch N, Korn H, Stadler J, Bonn A. 2017 *Kentsel alanlarda iklim değişikliğine uyum için doğa temelli çözümler: bilim, politika ve uygulama arasındaki bağlantılar*. Berlin, Almanya: Springer Open.
- Gilrein EJ, Carvalhaes TM, Markolf SA, Chester M, Allenby BR, Garcia M. 2019 Altyapıyı katıdan uyarlanabilir hale dönüştürmek için kavramlar ve uygulamalar. *Sürdürmek. Resilient Infrastruct.* Çevrimiçi. (doi:10.1080/23789689.2019.1599608)
- Keeler BL ve *ark*. 2019 Sosyal-ekolojik ve teknolojik faktörler kentsel doğanın değerini ılımlı hale getiriyor. *Nat. Sürdürülebilirlik*. 2, 29-38. (doi:10.1038/s41893-018-0202-1)
- Mansur AV, Brondizio ES, Roy S, Hetrick S, Vogt ND, Newton A. 2016 Amazon Deltası ve Haliç'te kentsel kırılganlığın değerlendirilmesi: sele maruz kalma, sosyo-ekonomik koşullar ve altyapının çok kriterli bir endeksi. *Sürdürülebilirlik. Sci.* 11, 625-643. (doi:10.1007/s11625-016-0355-7)
- Pauleit S, Zölch T, Hansen R, Randrup TB, van den Bosch CK. 2017 Doğa temelli çözümler ve iklim
- değişim-yeşilin dört tonu. *Kentsel alanlarda iklim değişikliğine uyum için doğa temelli çözümler: bilim, politika ve uygulama arasındaki bağlantılar içinde. Kentsel sürdürülebilirlik geçişlerinin teori ve pratiği* (eds N Kabisch, H Korn, J Stadler, A Bonn), pp. 15-28. Berlin, Almanya: Springer Open.
- Hayhoe K, Wuebbles DJ, Easterling DR, Fahey DW, Doherty S, Kossin JP, Sweet W, Vose R, Wehner M. 2018 Bölüm 2: Değişen iklimimiz. *Amerika Birleşik Devletleri'nde etkiler, riskler ve adaptasyon: dördüncü ulusal iklim değerlendirmesi*, cilt II (eds DR Reidmiller, CW Avery, DR Easterling, KE Kunkel, KLM Lewis, TK Maycock, BC Stewart), s. 72-144. Washington, DC: ABD Küresel Değişim Programı.
- Small C, Nicholls RJ. 2003 Kıyı bölgelerindeki insan yerleşiminin küresel bir analizi. *J. Coast. Res.* 19, 584-599.
- Small C, Sousa D, Yetman G, Elvidge C, MacManus K. 2018 Asya megadeltaalarında on yıllar süren kentsel büyüme ve kalkınma. *Glob. Gezegen. Change* 165, 62-89. (doi:10.1016/j.gloplacha.2018.03.005)
- Güneralp B, Güneralp İ, Liu Y2015 Sel ve kuraklık tehlikelerine kentsel maruziyetin değişen küresel modelleri. *Küresel Çevre. Değişim* 31, 217-225. (doi:10.1016/j.gloenvcha.2015.01.002)
- Czajkowski J, Engel V, Martinez C, Mirchi A, Watkins D, Sukop MC, Hughes JD. 2018 Güney Florida'daki kentsel selin ekonomik etkileri: tuzlu su girişi önlemek için yeraltı suyunun yönetilmesinin potansiyel sonuçları. *Sci. Total Environ.* 621, 465-478. (doi:10.1016/j.scitotenv.2017.10.251)
- Kossin JP, Hall T, Knutson T, Kunkel KE, Trapp RJ, Waliser DE, Wehner MF. 2017 Aşırı fırtınalar. *İklim bilimi özel raporu: dördüncü ulusal iklim*
- değerlendirme*, cilt I (eds DJ Wuebbles, DW Fahey, KA Hibbard, DJ Dokken, BC Stewart, TK Maycock), s. 257-276. Washington, DC: ABD Küresel Değişim Araştırma Programı.
- Rosenzweig C, Solecki W. 2014 Sandy Kasırgası ve New York'ta adaptasyon yolları: ilk müdahale eden bir şehirden dersler. *Küresel Çevre. Change* 28, 395-408. (doi:10.1016/j.gloenvcha.2014.05.003)
- Sundermann L, Schelske O, Hausmann P. 2013 *Riske dikkat: doğal afet tehdidi altındaki şehirlerin küresel sıralaması*. Zürih, İsviçre: Swiss Reinsurance Company Ltd.
- Sprigg WA ve *ark*. 2014 Sağlık hizmetleri için bölgesel toz fırtınası modellemesi: vadi humması örneği. *Aeolian Res.* 14, 53-73. (doi:10.1016/j.aeolia.2014.03.001)
- NASA Dünya Gözlemevi. Değişim dünyası: küresel sıcaklıklar. Çevrimiçi. Bkz. <https://earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/DecadalTemp>.
- Arnfield AJ. 2003 Kentsel iklim araştırmalarının yirmi yılı: türbülans, enerji ve su alışverişi ve kentsel ısı adası üzerine bir inceleme. *Int. J. Climatol.* 23, 1-26. (doi:10.1002/joc.859)
- Stone B, Vargo J, Habeeb D. 2012 Kentlerde iklim değişikliğini yönetmek: iklim eylem planları işe yarayacak mı? *Landscape Urban Plan.* 107, 263-271. (doi:10.1016/j.landurbplan.2012.05.014)
- Zhao L, Lee X, Smith RB, Oleson K. 2014 Yerel arka plan ikliminin kentsel ısı adalarına güçlü katkıları. *Nature* 511, 216. (doi:10.1038/nature13462)
- Luber G, McGeehin M. 2008 İklim değişikliği ve aşırı sıcak olayları. *Am. J. Prev. Med.* 35, 429-435. (doi:10.1016/j.amepre.2008.08.021)

22. Oleson KW, Monaghan A, Wilhelm O, Barlage M, Brunsel N, Feddema J, Hu L, Steinhoff DF. 2015 Kentleşme, ısı stresi ve iklim değişikliği arasındaki etkileşimler. *Clim. Değişim* 129, 525–541. (doi:10.1007/s10584-013-0936-8)
23. Epstein Y, Moran DS. 2006 Termal konfor ve ısı stresi indeksleri. *Ind. Sağlık* 44, 388–398. (doi:10.2486/indhealth.44.388)
24. Mora C ve ark. 2017 Küresel ölümcül sıcaklık riski. *Nat. İklim. Değişim* 7, 501. (doi:10.1038/nclimate3322)
25. Milly PCD, Betancourt J, Falkenmark M, Hirsch RM, Kundzewicz ZW, Lettenmaier DP, Stouffer RJ. 2008 İklim değişikliği: Durağanlık öldü: su yönetimi ne olacak? *Science* 319, 573–574. (doi:10.1126/science.1151915)
26. Markolf SA, Chester MV, Eisenberg DA, Iwaniec DM, Davidson CI, Zimmerman R, Miller TR, Ruddell BL, Chang H. 2018 Kilitlenmeyi ele almak ve esnekliği artırmak için bağlantılı sosyal, ekolojik ve teknolojik sistemler (SETSs) olarak birbirine bağlı altyapı. *Dünya'nın Geleceği* 6, 1638–1659. (doi:10.1029/2018EF000926)
27. Leopold LB. 1968 *Kentsel arazi kullanımının hidrolojik etkileri üzerine bir rehber kitap*. ABD Jeolojik Araştırma Genelgesi Sözleşme No. 554. Washington, DC: Amerika Birleşik Devletleri İçişleri Bakanlığı, Jeolojik Araştırma.
28. Kaushal SS, Belt KT. 2012 Kentsel su havzası sürekliliği: gelişen mekansal ve zamansal boyutlar. *Kentsel Ekosistem*. 15, 409–435. (doi:10.1007/s11252-012-0226-7)
29. Walsh CJ, Fletcher TD, Burns MJ. 2012 Kentsel yağmur suyu akışı: yeni bir çevresel akış sorunu sınıfı. *PLoS ONE* 7, e45814. (doi:10.1371/journal.pone.0045814)
30. Rosenzweig BR, McPhillips L, Chang H, Cheng C, Welty C, Matsler M, Iwaniec D, Davidson CI. 2018 Pluvial sel riski ve dayanıklılık için fırsatlar. *Wiley Interdiscip. Rev. Water* 5, e1302. (doi:10.1002/wat2.1302)
31. Grimm NB, Pickett ST, Hale RL, Cadenasso ML. 2017 Ekolojik rahatsızlık kavramının kentsel sosyal-ekolojik-teknolojik sistemlerde faydası var mı? *Ekosistem. Sağlık Sürdürülebilirliği*. 3, e01255. (doi:10.1002/ehs2.1255)
32. Radeloff VC ve ark. 2018 ABD'de yabani alan-kent arayüzünün hızla büyümesi orman yangını riskini artırıyor. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 115, 3314. (doi:10.1073/pnas.1718850115)
33. Liu Y, Stanturf J, Goodrick S. 2010 Değişen iklimde küresel orman yangını potansiyelindeki eğilimler. *İçin. Ecol. Manage.* 259, 685–697. (doi:10.1016/j.foreco.2009.09.002)
34. Shaposhnikov D ve ark. 2014 2010 Moskova sıcak hava dalgası ve orman yangını ile hava kirliliğine ölümler. *Epidemiyoloji* 25, 359–364. (doi:10.1097/EDE.0000000000000090)
35. Watts N ve diğerleri. 2018 Sağlık ve iklim değişikliği üzerine *Lancet* Geni Sayım 2018 raporu: gelecek yüzyıllar için ulusların sağlığını şekillendirmek. *Lancet* 392, 2479–2514. (doi:10.1016/S0140-6736(18)32594-7)
36. Kjellstrom T, Briggs D, Freyberg C, Lemke B, Otto M, Hyatt O. 2016 Isı, insan performansı ve iş sağlığı: küresel iklim değişikliği etkilerinin değerlendirilmesi için önemli bir konu. *Annu. Rev. Public Health* 37, 97–112. (doi:10.1146/annurev-publhealth-032315-021740)
37. Hondula DM, Davis RE, Saha MV, Wegner CR, Veazey LM. 2015 Yedi ABD şehrinde sıcaklığa bağlı ölümlerin coğrafi boyutları. *Environ. Res.* 138, 439–452. (doi:10.1016/j.envres.2015.02.033)
38. Jenerette GD, Harlan SL, Stefanow WL, Martin CA. 2011 Ekosistem hizmetleri ve kentsel ısı riskinin azaltılması: Phoenix, ABD'de su, yeşil alanlar ve sosyal eşitsizlik. *Ekoloji. Appl.* 21, 2637–2651. (doi:10.1890/10-1493.1)
39. Harlan SL, Chakalian P, Declet-Barreto J, Hondula D, Jenerette GD. 2019 Bir çöl metropolünde iklim adaletine giden yollar. *People and climate change: vulnerability, adaptation, and social justice* (eds LR Mason, J Rigg) içinde, s. 23. Oxford, Birleşik Krallık: Oxford Üniversitesi Press.
40. Grimm NB, Faeth SH, Golubiewski NE, Redman CL, Wu J, Bai X, Briggs JM. 2018 Küresel değişim ve şehirlerin ekolojisi. *Science* 319, 756–760. (doi:10.1126/science.1150195)
41. Kaushal SS, McDowell WH, Wollheim WM. 2014 Kentsel biyojeokimyasal döngülerin evriminin izlenmesi: geçmiş, bugün ve gelecek. *Biyojeokimya* 121, 1–21. (doi:10.1007/s10533-014-0014-y)
42. Pandit A ve. 2017 Altyapı ekolojisi: sürdürülebilir kentsel kalkınma için gelişen bir paradigma. *J. Clean. Prod.* 163, S19–S27. (doi:10.1016/j.jclepro.2015.09.010)
43. Warner K, Hamza M, Oliver-Smith A, Renaud F, Julca A. 2010 İklim değişikliği, çevresel bozulma ve göç. *Nat. Hazards* 55, 689–715. (doi:10.1007/s11069-009-9419-7)
44. Black R, Adger WN, Arnell NW, Dercon S, Geddes A, Thomas D. 2011 Çevresel değişimin insan göçü üzerindeki etkisi. *Küresel Çevre. Change* 21, S3–S11. (doi:10.1016/j.gloenvcha.2011.10.001)
45. Revi A ve diğerleri. 2014 Kentsel alanlar. *İklim değişikliği 2014: etkiler, uyum ve kırılganlık* içinde. Bölüm A: küresel ve sektörel yönler. *Hükümetler arası iklim değişikliği panelinin beşinci değerlendirme raporuna çalışma grubu II'nin katkısı* (eds CB Field et al.), s. 535–612. Cambridge, Birleşik Krallık: Cambridge Üniversitesi Yayınları
46. Lankao PR, Qin H. 2011 Küresel iklim ve çevre değişikliğine karşı kentsel kırılganlığın kavramsallaştırılması. *Curr. Opin. Environ. Sürdürülebilirlik*. 3, 142–149. (doi:10.1016/j.cosust.2010.12.016)
47. Matthews TK, Wilby RL, Murphy C. 2017 Küresel ısınmanın insan ısı stresi için ölümcül sonuçlarının iletilmesi. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 114, 3861–3866. (doi:10.1073/pnas.1617526114)
48. Berry HL, Bowen K, Kjellstrom T. 2010 İklim değişikliği ve ruh sağlığı: nedensel yollar çerçevesi. *Int. J. Public Health* 55, 123–132. (doi:10.1007/s00038-009-0112-0)
49. Torres JM, Casey JA. 2017 Sosyal bağların iklim göçü ve ruh sağlığı üzerindeki merkezi etkisi. *BMC Halk Sağlığı* 17, 600. (doi:10.1186/s12889-017-4508-0)
50. Seto KC, Güneralp B, Hutrya LR. 2012 2030 yılına kadar küresel kentsel genişleme tahminleri ve biyoçeşitlilik ve karbon havuzları üzerindeki doğrudan etkiler. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 109, 16 083–16 088. (doi:10.1073/pnas.1211658109)
51. Padullés Cubino JP ve ark. 2019 Kıtasal ölçekte kentsel bahçelerdeki bitki türü zenginliğinin ve filogenetik kompozisyonun yönlendiricileri. *Peyzaj Ekolojisi*. 34, 63–77. (doi:10.1007/s10980-018-0744-7)
52. Jenerette GD ve ark. 2016 İklim toleransları ve özellik seçimleri, kentsel ağaç biyoçeşitliliğinin kıtasal modellerini şekillendiriyor. *Küresel Ekoloji. Biogeogr.* 25, 1367–1376. (doi:10.1111/geb.12499)
53. Pouyat RV, Groffman P, Yesilonis I, Hernandez L. 2002 Kentsel ekosistemlerde toprak karbon havuzları ve akışları. *Çevre. Pollut.* 116, 5107–5108. (doi:10.1016/S0269-7491(01)00263-9)
54. Hall S, Ahmed B, Ortiz P, Davies R, Sponseller R, Grimm N. 2009 Kentleşme, Sonoran Çölü'ndeki toprak mikrobiyal işleyişini değiştirir. *Ekosistemler* 12, 654–671. (doi:10.1007/s10021-009-9249-1)
55. Zhuo X, Boone CG, Shock EL. 2012 Phoenix metropolitan bölgesinde toprakta kurşun dağılımı ve çevresel adalet. *Environ. Adalet* 5, 206–213. (doi:10.1089/env.2011.0041)
56. Cheon J-Y, Ham B-S, Lee J-Y, Park Y, Lee K-K. 2014 Kore'nin dört metropol kentinde 1960'tan 2010'a toprak sıcaklıkları: iklim değişikliği ve kentsel ısı için çıkarımlar. *Environ. Earth Sci.* 71, 5215–5230. (doi:10.1007/s12665-013-2924-8)
57. Ordóñez C, Duinker P. 2015 Üç Kanada kent ormanlarının iklim değişikliğinden etkilenebilirlik değerlendirmesi. *İklim. Değişim* 131, 531–543. (doi:10.1007/s10584-015-1394-2)
58. Meineke EK, Frank SD. 2018 Su mevcudiyeti, otçulluğa ve ısınmaya karşı kentsel ağaç büyümesi tepkilerini yönlendirir. *J. Appl. Ecol.* 55, 1701–1713. (doi:10.1111/1365-2664.13130)
59. Meineke E, Youngsteadt E, Dunn RR, Frank SD. 2016 Kentsel ısınma toprak üstü karbon depolamasını azaltıyor. *Proc. R. Soc. B* 283, 20161574. (doi:10.1098/rspb.2016.1574)
60. T, Bertuzzi S, Branca S, Tretiach M, Nardini A. 2015 Kuraklığa bağlı ksilem kavıtasyonu ve hidrolik bozulma: iklim değişikliği altında kent ağaçları için risk faktörleri? *New Phytol.* 205, 1106–1116. (doi:10.1111/nph.13112)
61. Meineke EK, Dunn RR, Sexton JO, Frank SD. 2013 Kentsel ısınma, sokak ağaçlarındaki haşere bolluğunu artırıyor. *PLoS ONE* 8, e59687. (doi:10.1371/journal.pone.0059687)
62. Tubby KV, Webber JF. 2010 Değişen iklim koşullarında kent ağaçları tehdit eden zararlılar ve hastalıklar. *Ormanlık* 83, 451–459. (doi:10.1093/forestry/cpq027)
63. McBride JR, Lačan I. 2018 İklim değişikliği kaynaklı sıcaklık artışlarının Kaliforniya (ABD) şehirlerindeki sokak ağacı türlerinin uygunluğu üzerindeki etkisi. *Kent İçin. Kentsel Yeşil*. 34, 348–356. (doi:10.1016/j.ufug.2018.07.020)
64. Brandt L, Derby Lewis A, Fahey R, Scott L, Darling L, Swanston C. 2016 Kent ormanlarının iklim değişikliğine adaptasyonu için bir çerçeve. *Çevre Bil. Bilim Politikası* 66, 393–402. (doi:10.1016/j.envsci.2016.06.005)

65. Kendal D, Dobbs C, Lohr VI. 2014 Kent ormanlarındaki küresel çeşitlilik örüntüleri: 10/20/30 kuralını destekleyen kanıtlar var mı? *Kent İçin. Kentsel Yeşil*. 13, 411–417. (doi:10.1016/j.ufug.2014.04.004)
66. Moore GM. 2014 Rüzgârla devrilen ağaçlar: fırtınalar mı yoksa yönetimi mi? *Arboric. Kent İçin*. 40, 53–69.
67. Paerl HW, Paul VJ. 2012 İklim değişikliği: zararlı siyanobakterilerin küresel yayılımı ile bağlantılar. *Water Res.* 46, 1349–1363. (doi:10.1016/j.watres.2011.08.002)
68. Wagner C, Adrian R. 2009 Siyanobakteri baskınlığı: iklim değişikliğinin etkilerinin ölçülmesi. *Limnol. Oceanogr.* 54, 2460–2468. (doi:10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2460)
69. Ladwig R, Furusato E, Kirillin G, Hinkelmann R, Hupfer M. 2018 İklim değişikliği kentsel göllerin adaptif yönetimini Tegel Gölü (Berlin, Almanya) için yönetim senaryolarının model tabanlı değerlendirilmesi. *Su* 10, 186. (doi:10.3390/w10020186)
70. Waajen GWAM, Faassen EJ, Lüring M. 2014 Ötrofik kentsel göletler siyanobakteriyel çiçeklenmelerden muzdardır: Hollanda örnekleri. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 21, 9983–9994. (doi:10.1007/s11356-014-2948-y)
71. Elmore AJ, Kaushal SS. 2008 Kaybolan kaynak suları: kentleşme nedeniyle akarsu gömülme modelleri. *Ön. Ecol. Environ.* 6, 308–312. (doi:10.1890/070101)
72. Kaushal SS, Likens GE, Jaworski NA, Pace ML, Sides AM, Seekell D, Belt KT, Secor DH, Wingate RL. 2010 Amerika Birleşik Devletleri'nde yükselen akarsu ve nehir sıcaklıkları. *Front. Ecol. Environ.* 8, 461–466. (doi:10.1890/090037)
73. Nelson KC, Palmer MA, Pizzuto JE, Moglen GE, Angermeier PL, Hilderbrand RH, Dettlinger M, Hayhoe K. 2009 Kentleşme ve iklim değişikliğinin akarsu ekosistemleri üzerindeki birleşik etkilerinin öngörülmesi: etkilere yönetim seçeneklerine. *J. Appl. Ecol.* 46, 154–163. (doi:10.1111/j.1365-2664.2008.01599.x)
74. Chester MV, Allenby B. 2018 Uyarlanabilir altyapıya doğru: durağan olmayan bir çağda esneklik ve çeviklik. *Sürdürülebilirlik. Resilient Infrastruct.* 4, 173–191.
75. Grimm NB, Schindler S. 2018 Şehirlerin doğası ve doğa: insan habitatında kentsel doğanın korunması ve tasarımı için beklentiler. *Çevreciliği yeniden düşünmek: adalet, sürdürülebilirlik ve çeşitliliği birbirine bağlamak* içinde. *Strüngmann forum raporları* (eds S Lele, ES Brondizio, J Byrne, GM Mace, J Martinez-Alier), s. 99–126. Cambridge, MA: MIT Press.
76. ACSE. 2017 *Amerika'nın altyapısı için 2017 karnesi*. Amerikan İnşaat Mühendisleri Derneği. Bkz. <https://www.infrastructurereportcard.org/>.
77. Kim Y, Chester DA, Eisenberg DA, Redman CL. 2019 Altyapı arabası sorunu: iklim değişikliğine uyum güvenli-başarısız altyapının konumlandırılması. *Earth's Future* 7, 704–717 (doi:10.1029/2019EF001208).
78. Gilroy KL, McCuen RH. 2012 Gelecekteki iklim değişikliği ve kentleşmeye uyum sağlamak için durağan olmayan bir taşkın frekans analizi yöntemi. *J. Hydrol.* 414, 40–48. (doi:10.1016/j.jhydrol.2011.10.009)
79. Kraliyet Topluluğu. 2014 *Aşırı hava koşullarına karşı dayanıklılık*. Londra, Birleşik Krallık: The Royal Society Bilim Politikası Merkezi.
80. Larsen L. 2015 Kentsel iklim ve adaptasyon stratejileri. *Front. Ecol. Environ.* 13, 486–492. (doi:10.1890/150103)
81. Askarizadeh A ve ark. 2015 Yağmur depolarından havzalara: kentsel akarsu sendromunun hidrolojik semptomlarını ele almak için düşük etkili kalkınma kullanımı. *Environ. Sci. Technol.* 49, 11 264–11 280. (doi:10.1021/acs.est.5b01635)
82. Arkema KK, Guannel G, Verutes G, Wood SA, Guerry A, Ruckelshaus M, Kareiva P, Lacayo M, Silver JM. 2013 Kıyı habitatları insanları ve mülkleri deniz seviyesinin yükselmesine ve fırtınalara karşı koruyor. *Nat. Clim. Change* 3, 913–918. (doi:10.1038/nclimate1944)
83. Spalding MD ve diğerleri. 2014 Kıyı ekosistemleri: risk azaltmanın kritik bir unsuru. *Koruma. Lett.* 7, 293–301. (doi:10.1111/conl.12074)
84. Sutton-Grier AE, Wovk K, Bamford H. 2015 geleceği: doğal ve hibrit altyapının kıyı topluluklarımızın, ekonomilerimizin ve ekosistemlerimizin direncini artırma potansiyeli. *Çevre Bilim Politikası* 51, 137–148. *Sci. Policy* 51, 137–148. (doi:10.1016/j.envsci.2015.04.006)
85. Hino M, Field CB, Mach KJ. 2017 Doğal tehlike riskine bir yanıt olarak yönetilen geri çekilme. *Nat. İklim. Change* 7, 364–370. (doi:10.1038/nclimate3252)
86. Bowler DE, Buyung-Ali L, Knight TM, Pullin AS. 2010 Kasaba ve şehirleri serinletmek için kentsel yeşillendirme: kanıtların sistematik bir incelemesi. *Landscape Urban Plan.* 97, 147–155. (doi:10.1016/j.landurbplan.2010.05.006)
87. Gill SE, Handley JF, Ennos AR, Pauleit S. 2007 Şehirlerin iklim değişikliğine uyarlanması: yeşil altyapının rolü. *Built Environ.* 33, 115–133. (doi:10.2148/benv.33.1.115)
88. Baró F, Gómez-Baggethun E. 2017 Kentsel alanlarda doğa temelli çözümler olarak ekosistem hizmetlerini düzenleme potansiyelinin değerlendirilmesi. *Kentsel alanlarda iklim değişikliğine uyum için doğa temelli çözümler: bilim, politika ve uygulama arasındaki bağlantılar* (eds N Kabisch, H Korn, J Stadler, A Bonn), pp. 139–158. Berlin, Almanya: Springer Open.
89. Georgescu M, Morefield PE, Bierwagen BG, Weaver CP. 2014 Kentsel adaptasyon, gelişmekte olan megapoliten bölgelerin ısınmasını geri döndürebilir. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 111, 2909–2914. (doi:10.1073/pnas.132280111)
90. Stone B, Vargo J, Liu P, Habeeb D, DeLucia A, Trail M, Hu Y, Russell A. 2014 Üç ABD şehrinde iklim adaptasyon stratejileri sayesinde sıcaklığa bağlı ölümlerin önlenmesi. *PLoS ONE* 9, e100852. (doi:10.1371/journal.pone.0100852)
91. Ziter CD, Pedersen EJ, Kucharik CJ, Turner MG. 2019 Ağaç gölgelik örtüsü ve geçirimsiz yüzeyler arasındaki ölçeğe bağlı etkileşimler, yaz aylarında gündüz kentsel ısıyı azaltır. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 116, 7575–7580. (doi:10.1073/pnas.1817561116)
92. Demuzere M ve diğerleri. 2014 İklim değişikliğinin azaltılması ve iklim değişikliğine uyum: yeşil kentsel altyapının çok işlevli ve çok ölçekli değerlendirilmesi. *J. Environ. Manage.* 146, 107–115. (doi:10.1016/j.jenvman.2014.07.025)
93. Pennino MJ, McDonald RI, Jaffe PR. 2016 Yeşil yağmur suyunun havza ölçeğindeki etkileri Orta Atlantik bölgesinde hidroloji, besin akışları ve birleşik kanalizasyon taşmaları üzerine altyapı. *Sci. Total Environ.* 565, 1044–1053. (doi:10.1016/j.scitotenv.2016.05.101)
94. Zellner M, Massey D, Minor E, Gonzales-Meler M. 2016 Yeşil altyapı yerleşiminin mahalle düzeyinde sel üzerindeki etkilerinin mekansal olarak açık simülasyonlarla araştırılması. *Hesaplamalı. Çevre. Urban Syst.* 59, 116–118. (doi:10.1016/j.compenvurbysys.2016.04.008)
95. Emilsson T, Sang ÅO. 2017 İklim değişikliğinin kentsel alanlar üzerindeki etkileri ve adaptasyon için doğa temelli çözümler. *Kentsel alanlarda iklim değişikliğine uyum için doğa temelli çözümler: bilim, politika ve uygulama arasındaki bağlantılar* içinde (eds N Kabisch, H Korn, J Stadler, A Bonn), s. 15–27. Berlin, Almanya: Springer Open.
96. McPhearson PT, Feller M, Felson A, Karty R, Lu JW, Palmer MI, Wenskus T. 2011 MillionTreesNYC kentsel orman restorasyon çalışmasının New York City ekosistemlerinin yapısı ve işleyişi üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi. *Cities Environment (CATE)* 3, 1–21.
97. McPherson EG, Simpson JR, Xiao Q, Wu C. 2011 Million trees Los Angeles canopy cover and benefit assessment. *Landscape Urban Plan.* 99, 40–50. (doi:10.1016/j.landurbplan.2010.08.011)
98. Kuehler E, Hathaway J, Tirpak A. 2017 Yeşil altyapı yağmur suyu arıtma ağının bir bileşeni olarak kentsel orman sistemlerinin faydalarının ölçülmesi. *Ekohidroloji* 10, e1813. (doi:10.1002/eco.1813)
99. De Sousa MRC, Montalto FA, Spataro S. 2012 Yeşil ve gri kombine kanalizasyon taşıma kontrol stratejilerini değerlendirmek için yaşam döngüsü değerlendirmesinin kullanılması. *J. Ind. Ecol.* 16, 901–913. (doi:10.1111/j.1530-9290.2012.00534.x)
100. Walsh CJ ve diğerleri. 2016 Akarsu ekosistemlerini korumak için kentsel yağmur suyu yönetimi ilkeleri. *Tatlısu Bilimleri.* 35, 398–411. (doi:10.1086/685284)
101. Flynn C, Davidson CI, Mahoney J. 2014 *Onondaga Country, New York'ta sürdürülebilir yağmur suyu yönetimi uygulamalarıyla ilişkili dönüşümsel değişiklikler*. ICSI 2014. Reston, VA: Amerikan İnşaat Mühendisleri Topluluğu.
102. Tao W, Bays JS, Meyer D, Sardon RC, Levy ZF. 2014 ABD'de birleşik kanalizasyon taşmasının arttırılması için inşa edilmiş sulak alanlar: tasarım zorlukları ve uygulama durumunun gözden geçirilmesi. *Su* 6, 3362–3385. (doi:10.3390/w6113362)
103. Roach WJ, Grimm NB. 2011 Denitrifikasyon, bir çöl kentinin dere-sel yatağı kompleksi boyunca N akışını hafifletir. *Ecol. Appl.* 21, 2618–2636. (doi:10.1890/10-1613.1)
104. Bettez ND, Groffman PM. 2012 Kentsel bir peyzajda yağmur suyu kontrol yapıları ve doğal nehir kıyısı bölgelerinde denitrifikasyon potansiyeli. *Environ. Sci. Technol.* 46, 10 909–10 917. (doi:10.1021/es301409z)
105. Reisinger AJ, Woytowicz E, Majcher E, Rosi EJ, Belt KT, Duncan JM, Kaushal SS, Groffman PM. 2019 Baltimore akarsularının uzun vadeli su kalitesindeki değişiklikler hem gri hem de yeşil

- Altyapı. *Limnol. Oceanogr.* 64, S60-S76. (doi:10.1002/lno.10947)
106. Janke B, Finlay JC, Hobbie SE. 2017 Kentsel yağmur suyu besin maddesi kirliliğinin itici güçleri olarak ağaçlar ve sokaklar. *Environ. Sci. Technol.* 51, 9569-9579.
107. Selbig WR. 2016 Kentsel yağmur suyundaki besin maddesi konsantrasyonlarını ve yüklerini azaltma aracı olarak yaprak temizliğinin değerlendirilmesi. *Sci. Total Environ.* 571, 124-133. (doi:10.1016/j.scitotenv.2016.07.003)
108. Buffam I, Mitchell ME, Durtsche RD. 2016 Yeşil çatı akış suyu kalitesindeki mevsimsel değişimin çevresel etkenleri. *Ecol. Eng.* 91, 506-514. (doi:10.1016/j.ecoleng.2016.02.044)
109. Birkmann J, Buckle P, Jaeger J, Pelling M, Setiadi N, Garschagen M, Fernando N, Kropp J. 2010 Aşırı olaylar ve afetler: değişim için bir fırsat rüzgâr mı? Mega felaketlerden sonra örgütsel, kurumsal ve siyasi değişikliklerin, resmi ve gayri resmi tepkilerin analizi. *Nat. Tehlikeler* 55, 637-655. (doi:10.1007/s11069-008-9319-2)
110. Solecki W ve diğerleri. 2019 Aşırı olaylar ve iklim uyum-azaltım bağlantıları: küresel kenteleşme çağında düşük karbon geçişlerini anlamak. *Wiley Interdiscip. Rev. İklim Değişikliği* 10, e616. (doi:10.1002/wcc.616)
111. Puppim de Oliveira JA. 2013 Kentlerde iklim, çevre ve kalkınma hedeflerinin nasıl uyumlaştırılacağını öğrenmek: kentsel Asya'da iklim ortak faydaları girişimlerinin uygulanmasından dersler. *J. Temiz. Prod.* 58, 7-14. (doi:10.1016/j.jclepro.2013.08.009)
112. Mguni P, Herslund L, Jensen MB. 2016 Sürdürülebilir kentsel drenaj sistemleri: Sahra altı şehirleri için yeşil altyapı tabanlı yağmur suyu yönetimi potansiyelinin incelenmesi. *Nat. Tehlikeler* 82, 241-257. (doi:10.1007/s11069-016-2309-x)
113. Kondo M, Fluehr J, McKeon T, Branas C. 2018 Kentsel yeşil alan ve insan sağlığı üzerindeki etkisi. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 15, 445. (doi:10.3390/ijerph15030445)
114. Hartig T, Mitchell R, De Vries S, Frumkin H. 2014 Doğa ve sağlık. *Annu. Rev. Public Health* 35, 207-228. (doi:10.1146/annurev-publhealth-032013-182443)
115. Bogar S, Beyer KM. 2016 Yeşil alan, şiddet ve suç: sistematik bir inceleme. *Travma Şiddet İstismar* 17, 160-171. (doi:10.1177/1524838015576412)
116. Andersson E, Borgström S, McPhearson T. 2017 Aşırı uçlarla başa çıkmada çifte sigorta: doğa temelli çözümleri kalıcı kılmak için ekolojik ve sosyal faktörler. *Kentsel alanlarda iklim değişikliğine uyum için doğa temelli çözümler: bağlantılar içinde*
- Bilim, politika ve uygulama arasında* (eds N Kabisch, H Korn, J Stadler, A Bonn), s. 51-64. Berlin, Almanya: Springer Open.
117. Aronson MFJ, Lepczyk CA, Evans KL, Goddard MA, Lerman SB, MacIvor JS, Nilon CH, Vargo T. 2017 Şehirdeki biyoçeşitlilik: kentsel yeşil alan yönetimi için temel zorluklar. *Ön. Ecol. Environ.* 15, 189-196. (doi:10.1002/fee.1480)
118. Connop S, Vandergert P, Eisenberg B, Collier MJ, Nash C, Cough J, Newport D. 2016 Kentsel yeşil altyapıya yönelik bölgesel odaklı biyoçeşitlilik odaklı çok işlevli faydalar yaklaşımını kullanarak şehirleri yeniden şekillendirmek. *Çevre Bil. Sci. Policy* 62, 99-111. (doi:10.1016/j.envsci.2016.01.013)
119. Garmendia E, Apostolopoulou E, Adams WM, Bormpoudakis D. 2016 Avrupa'da biyoçeşitlilik ve yeşil altyapı: sınır nesnesi mi yoksa ekolojik tuzak mı? *Arazi Kullanım Politikası* 56, 315-319. (doi:10.1016/j.landusepol.2016.04.003)
120. Green TL, Kronenberg J, Andersson E, Elmqvist T, Gomez-Baggethun E. 2016 Şehirlerin içinde ve çevresinde yeşil altyapının sigorta değeri. *Ekosistemler* 19, 1051-1063. (doi:10.1007/s10021-016-9986-x)
121. Grabowski Z, Matsler A, Thiel C, McPhillips L, Hum R, Bradshaw A, Miller T, Redman C. 2017 Sosyo-eko-teknik sistemler olarak altyapılar: disiplinler arası diyalog için bir husus. *J. Infrastruct. Syst.* 23, 02517002. (doi:10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000383)
122. Grimm NB, Cook EM, Hale RL, Iwaniec DM. 2016 Kentlerdeki ekosistem hizmetlerinin daha geniş bir çerçevesi: yapı, doğal veya hibrit sistem işlevinin faydaları ve zorlukları. *Routledge handbook on urbanization and global environmental change* içinde (eds K Seto, WD Solecki, CA Griffith). Londra, Birleşik Krallık: Routledge.
123. Depietri Y, McPhearson T. 2017 Şehirlerde gri, yeşil ve mavinin bütünleştirilmesi: iklim değişikliğine uyum ve risk azaltma için doğa temelli çözümler. *Kentsel alanlarda iklim değişikliğine uyum için doğa temelli çözümler: bilim, politika ve uygulama arasındaki bağlantılar içinde* (eds N Kabisch, H Korn, J Stadler, A Bonn). Berlin, Almanya: Springer Open.
124. Sun T, Grimmond CSB, Ni G-H. 2016 Yeşil çatılar sıcak hava dalgaları altında kentsel termal stresi nasıl azaltıyor? *J. Geophys. Res. Atmos.* 121, 5320-5335. (doi:10.1002/2016JD024873)
125. The Nature Conservancy. 2013 *Yeşil altyapı için durum*. Ortak endüstri teknik raporu. Bkz. <https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/tr/documents/the-case-for-green-infrastructure.pdf>.
126. William R, Goodwell A, Richardson M, Le PVV, Kumar P, Stillwell AS. 2016 Alternatif yeşil çatı kaplama stratejilerinin çevresel fayda-maliyet analizi. *Ecol. Eng.* 95, 1-9. (doi:10.1016/j.ecoleng.2016.06.091)
127. Clark C, Adriaens P, Talbot FB. 2008 Yeşil çatı değerlemesi: çevresel faydaların olasılıksal ekonomik analizi. *Environ. Sci. Technol.* 42, 2155-2161. (doi:10.1021/es0706652)
128. Narayan S ve ark. 2016 Doğal ve doğa temelli savunmaların etkinliği, maliyetleri ve kıyı koruma faydaları. *PLoS ONE* 11, e0154735. (doi:10.1371/journal.pone.0154735)
129. Wolch JR, Byrne J, Newell JP. 2014 Kentsel yeşil alan, halk sağlığı ve çevresel adalet: şehirleri 'yeterince yeşil' yapmanın zorluğu. *Landscape Urban Plan.* 125, 234-244. (doi:10.1016/j.landurbplan.2014.01.017)
130. Schwarz K ve diğerleri. 2015 Ağaçlar parayla büyür: kentsel ağaç örtüsü ve çevresel adalet. *PLoS ONE* 10, e0122051. (doi:10.1371/journal.pone.0122051)
131. Baviszar A. 2018 Şehir sınırları: kentsel bağlamda ekoloji ve eşitlik. *Rethinking environmentalism: linking justice, sustainability, and diversity* (eds S Lele, ES Brondizio, J Byrne, GM Mace, J Martinez-Alier) içinde, s. 85-97. Cambridge, MA: MIT Press.
132. Schäffler A, Swilling M. 2013 Baskı altındaki bir kentsel çevrede yeşil altyapıya değer biçmek - Johannesburg örneği. *Ekoloji. Ekonomi.* 86, 246-257. (doi:10.1016/j.ecolecon.2012.05.008)
133. Locke DH, Grove JM. 2016 Zor işi en kolay olduğu yerde yapmak mı? Kentsel yeşillendirme programları ile sosyal ve ekolojik özellikler arasındaki ilişkilerin incelenmesi. *Uygulamalı Mekânsal Anal. Politika* 9, 77-96. (doi:10.1007/s12061-014-9131-1)
134. Anguelovski I, Connolly JJ, Garcia-Lamarca M, Cole H, Pearsall H. 2018 Yeşil soyulaştırma üzerine yeni bilimsel yollar: kentsel 'yeşil dönüş' ne anlama geliyor ve nereye gidiyor? *Prog. Hum. Geogr.* 43, 1064-1086. (doi:10.1177/0309132518803799)
135. Kabisch N, Haase D. 2014 Yeşil adalet mi yoksa sadece mi? Berlin, Almanya'da kentsel yeşil alanların sağlanması. *Peysaj Şehir Planı.* 122, 129-139. (doi:10.1016/j.landurbplan.2013.11.016)
136. Birleşmiş Milletler. 2015 *Birleşmiş Milletler sürdürülebilir kalkınma hedefleri*. Bkz. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>.