

MAKALE

AÇIK



Kentleşmenin CO2 emisyonları üzerindeki etkisi üzerine

Muhammad Luqman^{1,2✉}, Peter J. Rayner^{2,3} ve Kevin R. Gurney^{1,4}

Bu çalışmada, 91 şehirdeki kentsel CO2 emisyonlarını ölçmek için CO2 emisyon vekillerinin küresel olarak tutarlı, zamana bağlı veri setini kullanıyoruz. Emisyon eğilimlerini kentsel kapsam, nüfus yoğunluğu ve kişi başına düşen emisyondaki değişikliklerin katkılarına göre ayırıyoruz. Kentsel CO2 emisyonlarının her yerde arttığını, ancak baskın katkıların gelişmişlik düzeyine göre farklılık gösterdiğini bulduk. Faktörlerin bir küme analizi, gelişmekte olan ülkelerin hızlı alan ve kişi başına CO2 emisyonu artışına sahip şehirler tarafından domine edildiğini göstermektedir. Buna karşın, gelişmiş dünyadaki şehirler yavaş alan ve kişi başına CO2 emisyon artışı göstermektedir. Çin, hızlı kentsel alan büyümesi ile birlikte daha yavaş kişi başına CO2 emisyon büyümesi ile önemli bir ara vakadır. Birçok gelişmiş ülkede kentsel kişi başına emisyonlar genellikle ulusal ortalamadan daha düşüktür, bu da kentleşmenin genel emisyonları azaltabileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte, kişi başına düşen kentsel emisyonlardaki eğilimler hemen hemen her yerde ulusal eşdeğerlerinden daha yüksektir ve bu da kentleşmenin gelecekte daha ciddi bir sorun haline geleceğini göstermektedir. önemli bir istisnası, kişi başına kentsel emisyonları ulusal değerden daha yavaş büyüyen Çin'. Ayrıca, nüfus yoğunluğundaki eğilimler ile kişi başına düşen CO2 emisyonları arasında negatif bir korelasyon görüyoruz ve bu da CO2 emisyonlarını azaltmak için bir araç olarak yoğunlaştırmanın güçlü bir rolü olduğunu vurguluyor.

npj Kentsel Sürdürülebilirlik

(2023) 3:6 ; <https://doi.org/10.1038/s42949-023-00084-2>

GİRİŞ

Şehirler, enerji tüketimiyle ilişkili küresel CO2 emisyonlarının yaklaşık %70'inden sorumludur. Kuzey Amerika'da bu oran, emisyon kapsamı ve kentsel sınır tanımına bağlı olarak %80'e ulaşmaktadır². Ayrıca, küresel kentsel alanın 2030 yılına kadar üçe katlanmasıyla birlikte, bu yüzyılda şehirlere 2 milyardan fazla insan eklenebilir^{4,5}. Yüksek emisyonlu altyapının potansiyel *kilitlenmesine* ilişkin endişeler artarken, birçok şehir de sera gazı azaltımı konusunda liderlik

üstlenmiş ve iddialı azaltım hedefleri taahhüt etmiştir^{6,7}. Kentsel CO2 emisyonlarındaki eğilimlerin ölçülmesi, yakın vadeli kentsel emisyon yörüngelerinin anlaşılması açısından kritik önem taşımaktadır. Bu eğilimlere önemli katkıların belirlenmesi, uzun vadede emisyonları yönlendiren faktörlerin ortaya çıkarılmasına yardımcı olacaktır. Bu etkenler, Küresel Belediye Başkanları Sözleşmesi veya C40 Kentleri İttifakı gibi çeşitli kentsel ittifakların bir hedefi olan azaltım kaldırma noktalarıdır⁽⁸⁾. Kentleşme oranı göz önüne alındığında, kentleşmenin ortalama olarak ulusal/küresel CO2 emisyonlarının artmasına katkıda bulunup bulunmadığını belirlemek önemlidir. Bu konu, gelişmekte olan şehirlerin genellikle nüfuslarını çektikleri kırsal alanlardan daha zengin ve daha enerji yoğun olduğu konusunda fikir birliğine varılan önemli bir tartışma kaynağı olmuştur. Bu nedenle, kent sakinleri kırsal yaşam tarzlarına kıyasla daha fazla enerji tüketecek, böylece kentleşme kendi başına CO2 emisyonlarının artmasına neden olacaktır⁹. Buna karşın bir görüş ise, gelişiminin belli bir aşamasından sonra şehirlerdeki ekonomik büyümenin düşük emisyonlu hizmet sektörlerinden kaynaklanacağı, dolayısıyla şehirleşmenin ulusal/küresel CO2 emisyonu trendlerine azalan, hatta negatif katkıda bulunacağı yönündedir¹⁰. Bu, Çevresel Kuznets Eğrisinin (EKC) bir versiyonudur¹¹. EKC'nin daha genel bir ifadesi olan ekonomik büyümenin çevresel sonuçları önce kötüleştirir ancak daha sonra iyileştireceği ifadesi

hem teorik hem de ampirik olarak tartışmalıdır¹².

Kentleşmenin emisyon eğilimlerindeki rolünü aydınlatmak için ideal olarak emisyonları tetikleyen faktörlerin nicel analizini yapmak isteriz. Daha sonra bu faktörlerin aşağıdakileri etkileyip etkilemediğini sorabiliriz

kentsel ve kentsel olmayan ortamlarda ve kentsel gelişimin farklı aşamalarında farklıdır. Bu tür veriler küresel olarak veya ihtiyaçlarımız için yeterince uzun bir süre için mevcut değildir. Bununla birlikte, kentsel emisyonları altta yatan faktörlere ayırabilir ve bu tarafından tanımlanan alan boyunca farklı şehirlerin yörüngelerini inceleyebiliriz. Bu yaklaşım, ulusal emisyonlar için benzer bir analiz gerçekleştiren ¹³ tarafından motive . KAYA kimliğine göre emisyonları (nüfus, kişi başına düşen GSYH ve ekonominin karbon yoğunluğunun bir ürünü) olarak ayırtmışlardır. Böylece bölgeler veya ülkeler tarafından üstlenilen emisyon artış yollarını ayırt edebilmişlerdir. Bizim ayrıştırmamız şehir alanındaki değişiklikleri hesaba katmalıdır ve gerekli çözünürlükte için ekonomik verileri içeremez. Değişen nüfus yoğunluğu ve kişi başına düşen emisyonların etkilerini, kalkınma yollarının çeşitliliğini ortaya koyma umuduyla izleyebiliriz.

Kentsel emisyonlardaki eğilimlerle ilgili önceki çalışmaların çoğu ya mekan ya da zaman ile sınırlıdır. homojen olma olasılığı daha yüksektir. Örnekler arasında şunlar yer almaktadır: Malezya¹⁴, Türkiye¹⁵, ABD⁽¹⁶⁾ (¹⁷), Japonya¹⁸, İngiltere⁽¹⁹⁾. Araştırmacı veya bölgesel ajanslar tarafından veri uyumlaştırma çabaları çok ülkeli çalışmalara olanak sağlamıştır, örn: Afrika bölgesi^{20,21}, gelişmiş ülkeler²², gelişmekte olan ülkeler²³ (²⁴) ve Avrupa²⁵.

Yakın zamanda yapılan bazı çalışmalar bu tür çalışmaların etki alanını tüm dünyaya yaymayı başarmıştır. Wu ve arkadaşları²⁶ 20 şehir emisyonlarını ölçmek için Karbon Gözlemevi (OCO-2) ölçümlerini kullanmıştır. Bu platform, kendi kendine bildirilen veya vekil emisyon verilerinin bazı kısıtlamalarını ortadan kaldırırken, çıkarımlar için mekansal-zamansal kapsamı sınırlamakta ve şehir sınırlarının meteorolojik bir tanımını zorunlu kılmaktadır. Crippa ve diğerleri²⁷ kentsel uzun vadeli eğilimleri üretmek için Küresel Atmosferik Araştırma için Emisyon Veritabanını (EDGAR)⁽²⁸⁾ ve Küresel İnsan Yerleşim Katmanına (GHSL)²⁹ dayalı bir kentsel sınıflandırmayı kullanmıştır. CO2 emisyonlarının kentsel nüfus için hızla arttığını bulmuşlardır.

¹ T
³ T
1. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), Canberra, Avustralya. 2.Coğrafya, Yer ve Atmosfer Bilimleri Fakültesi, Melbourne Üniversitesi, Melbourne, Avustralya. Melbourne Climate Futures and Energy Research Institute, Melbourne, Avustralya. 4. Meteoroloji, İngiltere ve

gelişmekte olan bölgelerdeki büyük şehirlerde artarken, yüksek gelirli ülkelerde azalmamıştır. Ayrıca, kişi başına düşen önemli değişkenlik olduğunu göstermişler, ancak gelişmiş ülkelerin, en azından büyük şehirlerde, görüldüğünü belirtmişlerdir. Bu çalışmanın bir sınırlaması EDGAR'ın mekânsal çözünürlüğü (0.10) ve temel nüfus veritabanının zamansal çözünürlüğüdür (kabaca beş yıl). Burada Crippa ve arkadaşlarının²⁷ çalışmasını daha yüksek bir uzamsal çözünürlük (30 yay saniyesi) ve daha yüksek bir yerel zamansal çözünürlük (1 yıl) kullanarak genişletiyoruz. Toplu kentsel özelliklerin (alan, nüfus yoğunluğu ve kişi başına düşen emisyonlar) emisyonlardaki eğilimlere yaptığı katkıları anlamak istiyoruz.

Bu soruyu araştırmak için, nüfus artışı ve kişi başına CO2 emisyonu eğilimlerinin katkılarını toplam CO2 emisyonu artışından ayırmalıyız. Bu tür analizler, kentsel kapsamin ve CO2 emisyonlarının küresel kapsama ve eğilimleri belirlemek için yeterli süreye sahip bir zaman serisini gerektirir. Hiçbir doğrudan veri seti buna izin vermemektedir. Özellikle, yakıt satışları veya elektrik akışları gibi entegre kentsel emisyon veya enerji tüketimi ölçümleri, değişime olan katkıları birbirinden ayıramaz. Artık bu kriterleri karşılayan güvenilir, uzaktan algılanan kentsel enerji tüketimi veya CO2 emisyonu göstergeleri bulunmaktadır. Bunları kentsel kapsam ölçümleri ve bazı temel emisyon katılımcıları ile birleştirerek kentleşme ve CO2 emisyonlarının etkileşiminin küresel bir resmini oluşturabiliriz. Daha önceki çalışmalar, kentlerin ortaya çıkan ve içsel özellikleri (emisyonlar ve büyüklük gibi) arasındaki ilişkileri incelemiştir. Gudipudi ve diğerleri,³⁰ emisyonlar ve alta yatan etmenler arasındaki ilişkiyi incelemek için geleneksel Kaya kimliğini³¹ kullanmıştır. Ribeiro ve diğerleri,¹⁷ nüfus ve alan gibi parametreler ile emisyonları ilişkilendirmek için üretim fonksiyonlarını kullanmıştır. Bu çalışmaların her ikisi de (diğerlerinin çoğunda olduğu gibi) statik veri setleri kullanmaktadır. Yaklaşımımızın bir yan ürünü olarak, emisyon eğilimlerini açıklamak için kesitsel verilere (zaman içinde statik) ve bir kentsel gelişim endeksine uyumun yeterli olup olmadığını test edeceğiz. Hedefimiz emisyonlardaki eğilimdir. Bettencourt ve diğerleri,³² zamansal ve mekânsal (onların terminolojisinde kesitsel) analizlerden elde edilen ölçeklendirme özelliklerinin eşdeğer olmadığını belirtmiştir.

Çalışmamız bu eğilimleri doğrudan bir grup şehir için belirlemek ve bu eğilimlerin itici güçlerini incelemektedir. Bunun için küresel kapsama sahip ve önemli bir zaman aralığını kapsayan bir veri setine ihtiyacımız var. Bildiğimiz kadarıyla bunlar, en azından tutarlı tanımlar kullanılarak, daha önce mevcut değildi.

Kentsel emisyonları doğrudan izlemenin diğer bir nedeni ise daha pratiktir. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi⁽³³⁾, uluslararası iklim değişikliği politikasını bilgilendirmek için sera gazı emisyonlarının mekânsal-zamansal değişimlerinin göstermektedir^{(13),(34)}. Atmosferik konsantrasyon ölçümlerinin yer bilgileriyle birleştirilmesi, doğru emisyon takibi ve kentsel alanlardaki emisyonların ayrıntılı kaynak karakterizasyonu kombinasyonunu en iyi şekilde elde etmenin yolu olarak ortaya çıkmaktadır³⁵⁻³⁷. Bu makalenin yapısı aşağıdaki gibidir: "Sonuç" bölümünde analitik yöntem, Kaya kimliğinin değiştirilmiş bir formu ve analizimizde kullanılan veri kaynakları açıklanmaktadır. "Tartışma" bölümü, bu emisyonlara katkıda bulunan unsurlarda ortaya çıkan eğilimleri açıklamakta ve başlıca bulgularımızı, eğilimleri bölgesel bir bağlama yerleştirmek için bir küme analizini ve şehirlerin gelecekteki ulusal eğilimler üzerinde sahip olabileceği potansiyel etkiyi göstermek için kentsel emisyonların bağlama yerleştirilmesini özetlemektedir. "Yöntem" bölümünde uyarılar, çıkarımları ve yorumlanmaktadır.

SONUÇLAR

Trendler

Şekil 1, analizimizdeki 91 şehir için emisyon trendlerini göstermektedir (her şehrin trend değerleri ek verilerde şu şekilde verilmiştir

Tablo 1). Genel olarak, kentsel CO2 emisyonlarında yılda ortalama %4,7 oranında hızlı artışlar görüyoruz. Bu ortalamalar, - %2,8/yıl (Madrid İspanya) ile %11,0/yıl (Xi'an, Çin) arasında değişen emisyon eğilimleri ile şehirler arasında önemli bir değişkenliği gizlemektedir. Ortalama olarak, CO2 emisyonlarındaki artışa en büyük katkısı kentsel alandaki değişim sağlamaktadır %3,5/yıl). Nüfus yoğunluğundaki değişim - %0,6/yıl katkıda bulunarak şehirlerin büyüdükçe yayılmaya devam ettiğini göstermektedir. Kişi başına düşen CO2 emisyonlarındaki eğilim pozitif bir katkı sağlamaktadır (ortalama %2,2/yıl).

Eğilimler arasında da önemli ilişkiler bulunmaktadır. Tablo 2, 91 korelasyonları göstermektedir. Bunların zamansal korelasyonlar olmadığını, 91 şehirlik örnekleme üç katkıda bulunan değişkendeki eğilimler arasındaki ilişkiyi temsil ettiğini vurgulamak önemlidir.

Alan eğiliminin diğer iki etkenle korelasyonu beklenen bir durumdur: alan hızlı büyüyen şehirlerde nüfus yoğunluğunda azalma ve kişi başına düşen CO2 emisyonlarında artış görülmektedir. Daha şaşırtıcı ise, iki yoğun etken olan nüfus yoğunluğu ve kişi başına düşen CO2 emisyonları arasındaki korelasyondur. Bu ilişki, nüfus yoğunluğunda düşüş yaşayan şehirlerin kişi başına düşen CO2 emisyonlarının arttığını ve değişen kentsel formun CO2 emisyonları üzerindeki etkisine doğrudan kanıt sağladığını göstermektedir. Küme analizi

Eğilimler ve bunlara katkıda bulunan unsurlarda önemli ölçüde mekânsal değişkenlik olsa da, şehir sınıfları arasında bazı önemli örüntüler ortaya çıkmaktadır. Bunları Eşitlik 3'teki üç katkıyı kullanarak bir küme analizi yaparak araştırıyoruz.

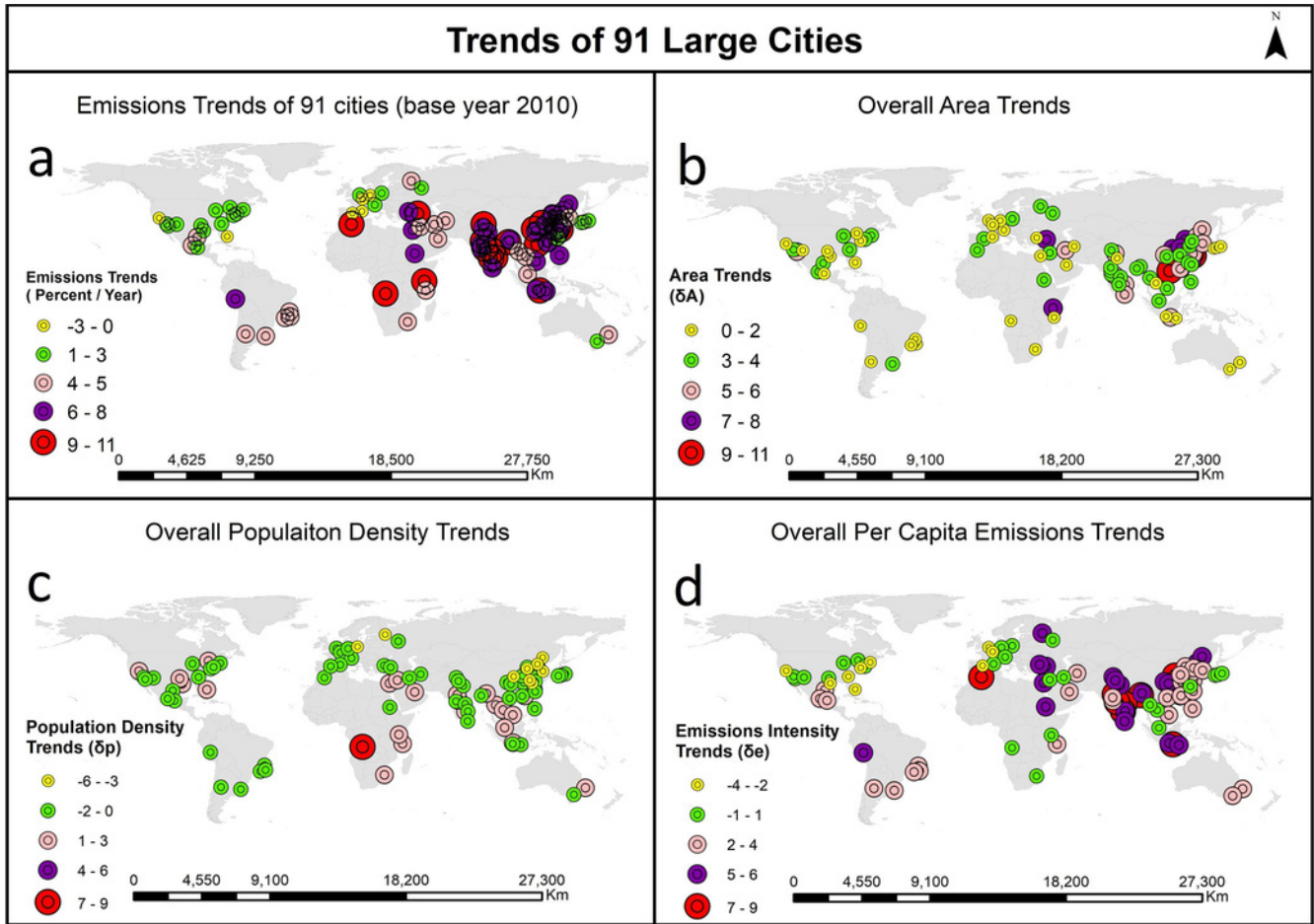
Küme analizi, çok boyutlu verilerdeki grupların nesnel olarak tanımlanmasına yönelik bir yöntemdir. Burada centroid tabanlı bir teknik kullanıyoruz: Her nokta N parametre ile tanımlanırsa, bunlar N boyutlu bir uzaydaki koordinatını tanımlar. Kümeler, bir kümedeki her noktanın kendi merkez noktasına (tüm koordinatların ortalaması olarak tanımlanır) olan uzaklığı diğer herhangi bir kümenin merkez noktasına olan uzaklığından daha az olacak şekilde tanımlanır. Küme sayısı kullanıcı tarafından belirlenir ve genellikle seçilen küme sayısının bir fonksiyonu olarak analizden bazı metriklerdeki değişim dikkate alınarak seçilir. Burada Calinski-Harabasz skorunu³⁸ kullanıyoruz; bu skor kabaca bir kümenin üyeleri arasındaki ortalama mesafenin kümeler arasındaki mesafeye oranıdır. Gerçekten izole edilmiş kümeleri tanımlamaktan kümeler içinde rastgele dağılmış noktaları bölümlenmeye geçmeden önce mevcut maksimum bilgi miktarı aranır. Analizimiz için python scikit-learn paketindeki KMeans işlevini

kullanıyoruz³⁹. Şekil 2, küme sayısının bir fonksiyonu olarak Calinski-Harabasz metriğini göstermektedir. Küme sayısı için en uygun seçimler, bu egrideki bükülmelerde, rastgele dağıtılmış noktaların bölümlerini gösteren segmentler arasında gerçekleşir. Bizim için durumda en uygun seçim dörttür.

Bundan böyle dört küme seçimize odaklanacağız. Şekil 3 her bir şehir için küme atamasını, Tablo 3 ise küme özelliklerini göstermektedir.

Kümeler genel emisyon eğilimlerine göre sınıflandırılabilir. Bu da iki yüksek büyüme kümesi, bir orta büyüme kümesi ve bir düşük büyüme kümesi ortaya çıkarmaktadır.

Küme 1, daha büyük bir pozitif kişi başı emisyon eğilimi ile orta düzeyde bir alan eğilimi göstermektedir. Bu kümeye, çoğunlukla Asya alt kıtası olmak üzere gelişmekte olan dünyadaki şehirler hakimdir. Küme 2, kişi başına düşen emisyon eğiliminden daha fazla katkıda bulunan alan eğilimi ile bu katkıları değiştirmektedir. Bu kümeye Çin şehirleri hakimdir. Küme 3 ve 4 benzer alan eğilimleri göstermekle birlikte kişi başına düşen emisyon eğilimleri ile farklılaşmaktadır. Kişi başına emisyon eğilimi pozitif 3. Küme, Avustralya'nın en büyük iki şehri olan Sidney ve Melbourne'un yanı sıra çoğunlukla gelişmekte olan dünyadaki şehirleri içermektedir. En düşük pozitif emisyon eğilimine sahip olan 4. küme, kişi başına emisyon eğilimi gösteren tek kümedir.



Şekil 1 91 büyük şehrin eğilimleri. a 91 büyük şehir için genel emisyon eğilimleri, b genel alan eğilimleri, c genel nüfus yoğunluğu eğilimleri ve d genel kişi başı emisyon eğilimleri. Daireler seçilen şehirlerin konumunu göstermektedir.

Tablo 1. Hariç tutulan şehirlerin listesi.

Sıra	Şehir	Ülke
No. 1	Abidjan	Fildişi Sahili
2	Akra	Gana
3	İskenderiye	Mısır
4	Bogota	Kolombiya
5	Kinşasa	Dem. Cumhuriyeti
6	Kuveyt	Kongo Kuveyt
7	Lagos	Nijerya Birleşik
8	New York	Devletler
910	OQnuiatsnhzahou	NÇijneriya
11	Singapur	Singapur
12	Xiamen	Çin

kişi başına negatif emisyon eğilimi. Bu küme neredeyse tamamen gelişmiş dünya şehirlerinden oluşmaktadır. Bağdat'ın bu kümede yer alması, kişi başına düşen azaltılmasında çatışmaların rolüne işaret etmektedir.

Kentleşmenin ulusal emisyonlara etkisi

Kentleşme oranını, kentlerde yaşayan nüfus oranındaki eğilim olarak tanımlıyoruz. Ulusal nüfusu tanımlayalım

nüfus P , nüfusun kentsel kesimi c , kişi başına kentsel emisyonlar u ve kişi başına kentsel olmayan emisyonlar n olarak yazılabilir.

$$F = P[cu + (1 - c)n] \quad (1)$$

$$\frac{dF}{dt} = \frac{dP}{dt} [cu + (1 - c)n] + P \left(u \frac{dc}{dt} + \frac{du}{dt} (1 - c) + \frac{dn}{dt} \right) \quad (2)$$

Kentleşmenin ulusal emisyonlardaki eğilimlerdeki rolü, dc 'nin dF 'ye, yani $P(u - n)$ 'ye katkısıdır. Ayrıca şunu da biliyoruz ki kişi başına düşen ulusal emisyonlar e şu şekilde verilir

$$e = cu + (1 - c)n \quad (3)$$

Bazı manipölasyonlar Eşitlik 2'deki dc katsayısını $\frac{P}{dt} u - e$ olarak verir. ^{1-c}

Dolayısıyla, kentsel kişi başına emisyonlar ortalamadan yüksekse kentleşme ulusal eğilimine olumlu katkıda bulunur ve bunun tersi de geçerlidir. Dolayısıyla kentleşmenin rolündeki değişiklikler $d(u - e)$ 'ye, kişi başına düşen kentsel ve ulusal emisyonlardaki eğilime bağlıdır. Bir referans yıl için kişi başına emisyonlardaki farkı ve veri setimiz boyunca bu farktaki eğilimi hesaplayabiliriz. Kişi başına emisyonlara doğrusal bir regresyon uydurarak ve ortaya çıkan uyumun referans yıldaki değerini hesaplayarak bir referans yıl için emisyonları hesaplarız (bu durumda 2010.5, 2010 yılını temsil etmektedir).

ortalama). Şekil 4, veri setimizdeki şehirleri içeren 39 ülke için bu iki değeri de göstermektedir.

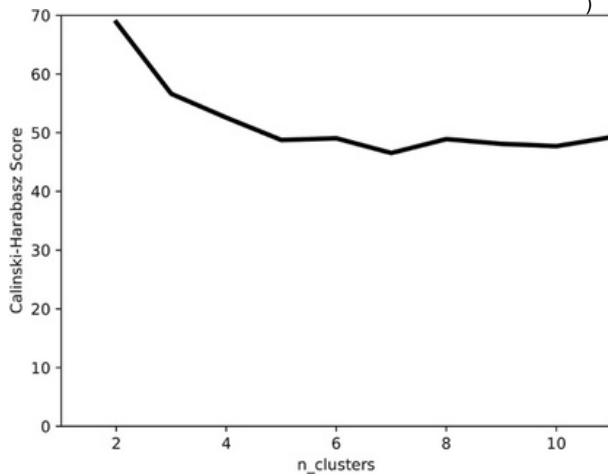
Kişi başına düşen referans emisyonların ve trendlerin ortalamasını alıyoruz

bir ülkedeki birden fazla şehir. Ortalama nüfus ağırlıklıdır. Mısır'ın ulusal emisyonlarında eğilimlerin hesaplanmasına izin vermeyecek kadar az puan vardı ve bu nedenle hariç tutulmuştur.

Şekil 4 (panel a), kentleşmenin mevcut rolünün karışık. Gelişmiş ülkelerde kentsel alanlara sahip olma eğilimi vardır.

Tablo 2. Oransal alan eğilimi (δA) Oransal alan eğilimi (δA), oransal nüfus yoğunluğu eğilimi (δp) ve oransal kişi başına CO2 emisyonları eğilimi (δe) arasındaki korelasyonlar.

	δA	(p)	δp	(p)	δe	(p)
A	1.00	(0.00)	-0.52	(0.00)	0.37	(0.00)
δp	-0.52	(0.00)	1.00	(0.00)	-0.28	(0.01)
δe	0.37	(0.00)	-0.28	(0.01)	1.00	(0.00)



Şekil 2 Küme sayısının bir fonksiyonu olarak Calinski-Harabasz skor grafiği. Eğrideki bükülmeden dört küme seçilmiştir.

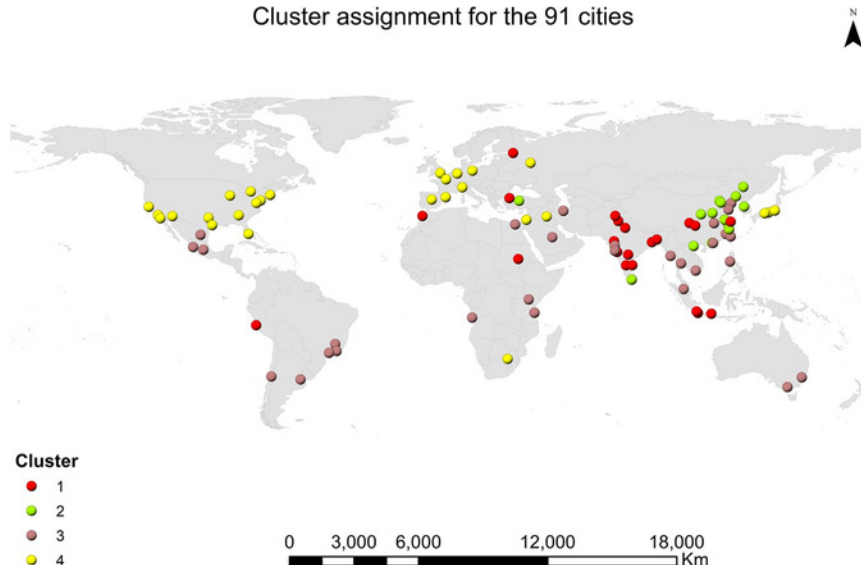
kişi başına düşen emisyonlar ulusal emisyonlardan daha düşüktür. Bu hiçbir şekilde evrensel değildir ve bazı gelişmekte olan ülkeler de aynı davranışı göstermektedir. Kişi başına düşen emisyonlardaki eğilimler için durum (panel b) daha az belirsizdir. Burada yine istisnalar olsa da çoğu ülke kentsel emisyonlarda ulusal emisyonlardan daha hızlı bir büyümeye göstermektedir. Bu konuda gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında çok az fark vardır. Önemli bir istisna, 2010 kentsel kişi başına emisyonları ulusal değerden daha büyük olan ancak çok daha yavaş büyüyen Çin'. Sonuçlar, bu çarpıcı anomalinin Çin'in şehirlerindeki özellikle emisyon açısından verimli büyümenin bir sonucu mu yoksa yüksek emisyonlu endüstrileri uzaklaştırarak kentsel ve kentsel olmayan CO2 emisyonlarını takas etmeye yönelik açık bir politikanın sonucu mu olduğuna ışık tutmamaktadır⁴⁰. Cheng ve diğerleri⁴¹ Kaya kimliğinin geleneksel bir versiyonunu ve 2000-2016 dönemi için Çin şehirlerinin bir kesitini kullanarak benzer bir sonuca varmıştır.

TARTIŞMA

Yukarıda sunulan analizle ilgili birkaç uyarı bulunmaktadır. İlk olarak burada hesaplanan CO(2) emisyonlarının mekansal yapısı, 1990'ların başından uydudan elde edilen gece ışıklarının dağılımından çıkarılmıştır⁽⁴²⁾⁻⁽⁴⁴⁾. Bunlar, çeşitli ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından sağlanan ülke düzeyindeki fosil yakıt emisyonlarını *küçültmek* için kullanılmaktadır⁴⁵⁻⁴⁷. Kentsel CO2 emisyonları göz önünde bulundurulduğunda, önemli olan nicelik, ülke geneline kıyasla şehirden kaynaklanan gece ışık ışınımının oranıdır. Bu vekil ile ilgili iki potansiyel sorun vardır. Birincisi, kentsel ve kırsal alanlardaki aydınlatma teknolojilerinin farklı penetrasyon oranlarından kaynaklanan kent ve ülke gece ışıkları oranındaki eğilimler sonuçlarımızı kirliletecektir. Bu teknolojinin kullanımı son derece değişken olduğu için bunların yanlışlıktan ziyade gürültü yaratmasını bekliyoruz. Bu sorun, 2010 yılı referans emisyonlarında en ciddi boyuta ulaşmaktadır.

Diğer bir sorun ise emisyonların zaman ortalamalı mekansal dağılımının gece ışıkları tarafından tam olarak temsil edilememesidir. Eğer bu yanlış temsil gerçekleşirse, kentsel büyümenin neden olduğu zamansal değişim yanlış olacaktır. Bu sorun, bireysel emisyon verileri için daha iyi mekansal vekillere olan vurgulamaktadır, ancak şu anda bunlar mevcut değildir. EDGAR emisyon ürünündeki²⁸ son gelişmeler ileriye dönük bir yol sağlayabilir, ancak ulusal istatistikleri *küçültmek* için vekillerin nasıl kullanıldığı konusunda çok dikkatli olunması. Doll ve diğerleri tarafından yapılan analiz⁴² gece vakti ışıklarının mekansal emisyonların zamansal anlık görüntüleri için makul bir vekil olduğunu göstermektedir.

Cluster assignment for the 91 cities



Şekil 3 Çalışmadaki 91 şehir için küme atamaları. Kümeler dört grupta toplanmış ve özellikleri Tablo 3'te açıklanmıştır.

ancak eğilimleri değerlendirmek için çok az sayıda bağımsız veri seti bulunmaktadır.

Şekil 4'te gösterilen ODIAC sonuçlarının temsil ettiği miktar konusunda da bazı belirsizlikler bulunmaktadır. Gece ışıklarının yoğunluğu, emisyonların (kapsam 1) ve enerji tüketiminin (kapsam 2) karma bir göstergesidir. Asefi-Najafabady ve diğerleri 45 tarafından yürütülen aşağıdan yukarıya envanterlerle yapılan karşılaştırmalar, bunun bu uygulama için önemli bir sınırlama olmadığını göstermektedir. Ayrıca, kentsel gelişimin toplam emisyonlardaki rolü de kapsam 1 ve kapsam 2'nin karışımı bir sorundur, dolayısıyla gece ışıkları dağılımının ilgili dinamikleri yakalaması muhtemeldir.

Bu çalışmanın sonuçları, hem CO2 projeksiyonları hem de tercih edilen kentsel gelişim biçimleri açısından önem taşımaktadır. İlk olarak, kişi başına düşen emisyonlardaki eğilimlerin çeşitliliğine dikkat çekiyoruz. Kişi başına CO2 emisyonu eğilimi, kentsel CO2 emisyonu eğilimine katkıda bulunan en büyük tek faktördür ve varyansın %75'ini tek başına açıklamaktadır. Analizimize göre, gelişmekte olan dünyada bu eğilimin azaltılması genel ve güçlü bir azaltım yolu olarak görünmektedir. Küme 2 (büyük ölçüde Çin) bunun mümkün olduğuna dair kanıtlar sunmaktadır. Gelişmiş ülkelerde, analizimiz kentsel yoğunluğun gelişiminin azaltım için bir fırsat

olduğunu göstermektedir. Şekil 4, kentleşmenin mevcut rolünde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında net farklılıklar göstermemektedir. Eğilimlerin karşılaştırılması, UKC' olduğu gibi basit bir ilişkiye işaret

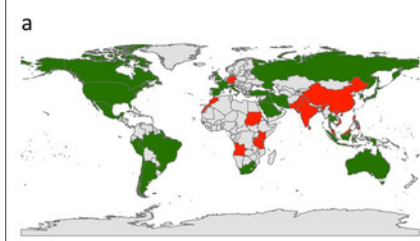
etmemektedir. Kişi başına düşen CO2 emisyonu eğilimlerine katkıda bulunan fark edilebilir unsurlar varsa, bunlar emisyon artışını sınırlamak için değerli politika müdahale noktaları olabilir. Olası adaylar arasında kentsel form 48 ve ekonomik uzmanlaşmalar yer almaktadır.

Kentsel emisyonlara katkıda bulunanlar arasındaki korelasyonlar da politika müdahalesi için ipuçları içermektedir. Tablo 1, hızla büyüyen şehirlerin yoğunlaşmak bir yana genellikle *seyredildiğini* göstermektedir. Bu durum, kişi başına düşen CO2 emisyonlarındaki artışla ilişkilidir. Ayrıca nüfus yoğunluğundaki eğilimler ile emisyonlar arasında doğrudan bir korelasyon vardır.

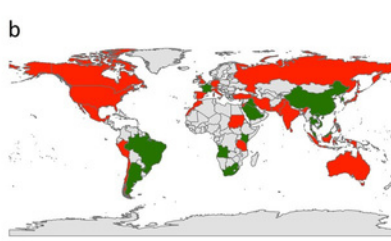
Tablo 3. Merkezlerinin koordinatları ve kümedeki şehir sayısı olarak tanımlanan kümelerin özellikleri.

Küme	Emisyonu	Alan	Pop	Kişi başına	sayı
trend (E)	trend	yoğunluk	emsiyon		
	SEHİRLER				
	(δA)	trend (δp)	trend (δe)		
1	7.9	3.5	-0.8		20
2	7.7	7.1	-2.9		14
3	5.1	2.9	0.6	5.9	30
4	0.8	2.3	-0.4	3.9 5.9	27
				2.1 3.9	
				-0.8 2.1	
Her bir şehir için tam sonuçlar ek verilerde listelenmiştir.					
Her bir şehir için tam sonuçlar ek verilerde listelenmiştir.					

Difference between reference year per capita emissions between large cities and their host countries



Percentage trends between large cities and their host countries



Not Included Low Growth High Growth

Şekil 4 Büyük şehirler ve ev sahibi ülkeler arasındaki fark ve yüzde eğilimleri. a Referans yıl kişi başına emisyonlar arasındaki fark ve b büyük şehirler ve ev sahibi ülkeler arasındaki yüzde eğilimi (eğilimin referansa bölünmesi).

kişi başına düşen emisyonlar. Daha yüksek nüfus yoğunluğuna sahip bir kalkınma yolunu seçen şehirler, kişi başına düşen CO2 emisyonlarındaki büyümeyi de en aza indirmektedir. Kentsel planlama karbon verimliliği arasındaki tarihsel bağlantı, kent yöneticilerini kentsel yoğunluk politikalarını güçlendirmeye teşvik etmelidir.

Şekil 4, kentsel gelişim ve emisyon çalışmaları için de önemli bir ders taşımaktadır. Panel a, zaman içinde bir anlık görüntüyü tanımlamaktadır. Anlık görüntü, şehirler geliştikçe kişi başına düşen emisyonların ulusal toplamlara göre azaldığını göstermektedir. Eğilim analizi (panel b) durumun böyle olmadığını göstermektedir. Bu durum, kentsel gelişimin zamansal ve mekânsal yönlerini inceleyebilen veri setlerinin önemini ve gelişimi tahmin etmek için ~~statistik~~ bir bakış açısı kullanmanın risklerini bir kez vurgulamaktadır. Büyüklük ve emisyon eğilimi arasındaki karmaşık ilişki, farklı kentsel kategorilerin farklı sahip olduğunu gösteren Crippa ve diğerleri 27 tarafından desteklenmektedir.

Bu çalışma, potansiyel olarak zengin bir veri setinin açılış araştırmasıdır. Dünyanın en büyük şehirlerinin çoğunu yakalamış olsak da, eksik Landsat verileri veya ABD Doğu Kıyısı gibi büyük bir kentsel bir sınır belirlemenin imkansızlığı nedeniyle bazıları eksiktir. Bununla birlikte, özellikle hızla değişmekte olan daha küçük şehirleri de kapsayacak şekilde verilerin kapsamını genişletmeliyiz.

Bu analizin rastlantısal olmaktan ziyade tanımlayıcı olduğunu vurguluyoruz. Birden fazla katkı sağlayıcıdaki eğilimler, altta yatan ortak etkenlere sahip olabilir. Ayrıca, kentsel ve kentsel olmayan bölgeler arasındaki enerji akışlarını (somutlaştırılmış veya doğrudan) dikkate almamaktayız. Gelecekteki önemli bir görev, burada sergilenen ilişkilerin altında yatan etkenleri araştırmaktır. Örneğin, açıklayıcı bir değişken olarak kişi başına düşen GSYH'deki eğilim ne kadar önemlidir ve farklı şehirlerin ekonomilerinin karbon verimliliği hakkında bir şeyler öğrenebilir miyiz? Ekonomik faaliyeti mekansal olarak tahsis etmeye çalışan veri setlerinin çoğu, açıklayıcı değişkenin gerekli bağımsızlığını karıştıran gece ışıklarını da vekil olarak kullandığından, bu önemli bir dikkat gerektirir.

Dünyanın en büyük 91 ülkesi için CO2 emisyonlarının eğilimlerini analiz ettik.

algoritmik olarak oluşturulmuş kentsel sınırlar kullanılarak en büyük şehirlerin fosil yakıt CO2 emisyon verileri üzerine yerleştirilmiştir. Yılda %4,4'lük ortalama büyüme oranı, küresel olarak artan kişi başına CO2 emisyonlarını ve seçilen şehirlerimizdeki büyümeyi yansıtmaktadır.

Çerçeve olarak modifiye edilmiş bir Kaya kimliği ile kentsel CO2 emisyonlarını katkıda bulunan üç değişkene ayırdık: alan, nüfus yoğunluğu ve kişi başına CO2 emisyonları. Alandaki eğilim neredeyse tüm şehirlerde CO(2) emisyonlarının artışına katkıda bulunurken, kişi başına CO(2) emisyonlarındaki eğilim gelişmekte olan ülkelerin çoğunda büyük bir katkı sağlamaktadır. Nüfus yoğunluğu ve kişi başına düşen CO2 emisyonu eğilimleri negatif korelasyon göstermekte, bu da değişen kentsel form ile kişi başına düşen CO2 emisyonu arasında bir ilişki olduğunu göstermektedir. için referans yılımız olan 2010'da, gelişmiş ülkelerdeki kişi başına düşen emisyonlar

ülkelerdeki emisyon eğilimleri genellikle ulusal ortalamadan daha düşükken, gelişmekte olan ülkelerdeki emisyon eğilimleri genellikle daha yüksektir. Çin haricinde, seçilen şehirlerimizdeki emisyon eğilimleri genellikle ulusal ortalamalardan daha büyüktür; bu da şehirleşmenin ulusal artırmada artan bir rol oynayacağını ve için azaltım politikalarının önemini vurgulamaktadır.

YÖNTEMLER

Veri kümeleri ve istisnalar

Görevimiz, büyük şehirler için fosil yakıt emisyonlarındaki eğilimleri hesaplamak, bunları baskın katkıda bulunanlara ayırmak ve bu katkıda bulunanlardaki olası kalıpları araştırmaktır. Seçtiğimiz etkenler nüfus, alan ve kişi başına düşen emisyonlardır. Analizimiz kentsel kapsam, fosil yakıt CO₂ emisyonları ve nüfus verilerini gerektirmektedir. Kentsel kapsam, Luqman ve diğerlerinin 49 Kentsel Büyüklük için Yerleşim, Gece Işıkları ve Seyahat Süresi (BUNTUS) algoritmasından üretilmiştir. Bu algoritma arazi örtüsü sınıflandırmasına, gece ışıklarının yoğunluğuna ve kentsel merkeze seyahat süresine dayalı bir metrik tanımlamaktadır. Bir eşişin üzerinde puan alan tüm bitişik 30 yay sanyelik pikseller dahil edilir ve algoritma şehirlerin içindeki büyük parklar veya açık alanlar gibi kentsel olmayan *adaları* da hesaba katar. Analizimize ağırlıklı olarak nüfusa göre seçilen 91 şehirle başladık⁵⁰. Bu 91 şehir 39 ülkeyi kapsamaktadır ve on dokuzu Çin'de, on ikisi Amerika Birleşik Devletleri'nde ve dokuzu Hindistan'dadır. Temsil edilen diğer tüm ülkelerde üç veya daha az şehir bulunmaktadır. Çalışma dönemimiz, gerekli tüm veri setlerimizin mevcut olduğu en uzun dönem olan 2000-2018 yıllarını kapsamaktadır.

Bazı büyük şehirler çalışmanın dışında tutulmuştur. Bunun iki nedeni vardır. Birincisi, gerekli görüntüler çalışma dönemimiz boyunca yeterince mevcut olmayabilir. Olağan boşluk, kentsel sınırı karakterize etmek için gerekli olan Landsat görüntüleridir. İkincisi ise bazı şehirlerin, sınırları fiziksel verilerle tanımlanamayacak kadar büyük yapılmaların parçaları olarak var olmasıdır. Bunun en açık örneği, ABD'nin Doğu Kıyısında daha büyük bir

parçasını oluşturan New

York'tur. Hariç tutulan şehirler Tablo 1'de listelenmiştir. Bazı şehirler için arazi örtüsü sınıflandırması sorunu vardır. Luqman ve diğerleri 49 tarafından belirtildiği gibi, büyüyen şehirler için yaygın bir yöre, BUNTUS tarafından kentsel olarak tanımlanan iki bölgenin tek bir bölgeye kaynaşmasıdır. Bu durum, alanı ve dolayısıyla toplam emisyonları aniden değiştirerek eğilim analizini zorlaştırmaktadır. Bunun meydana geldiği durumlarda analizi tüm dönem için gerçekleştirebiliriz ve seçtiğimiz şehrin en büyük sınırı içinde tanımlanan herhangi bir şehri dahil ediyoruz (genellikle 2018). Örneğin, Pekin 1998'de 13 şehirle başlar ve 2018'de bir şehirle biter. Son şehre verdiğimiz isim onun 2018'deki ismidir.

Gridded population estimates come from the LandScan ürün⁵¹. LandScan, küresel bir nüfus veritabanı olup ortam (24 saatlik ortalama) nüfus dağılımı. Arazi Tarama metodolojisi, ulusal nüfus sayımı bilgilerini, mekansal verileri kullanarak dinamik olarak uyarlanabilir bir algoritma paketi aracılığıyla ayrıştırır. veriler, görüntüden üretilmiş mekansal ürünler ve manuel

düzeltilmeler. LandScan, çok değişkenli asimetrik modelleme

yaklaşımında mekansal veri ve görüntü analizi teknolojilerinden faydalanmaktadır⁵². LandScan verileri, günlük hareketleri ve toplu seyahat alışkanlıklarını tek bir ölçüde entegre eden ortalama veya ortam nüfusunu temsil etmektedir⁵². Bu, salt konut nüfusu haritalarından farklıdır ancak hedef nüfusun hem konut hem de konut dışı faaliyetlerini içeren emisyonlarla karşılaştırma için daha uygundur.

CO₂ emisyonları Antropojenik Karbondioksit için Açık Veri Envanterinden (ODIAC) alınmıştır⁵³. ODIAC küresel bir yüksek çözünürlüklü (1 km x 1 km) fosil yakıt CO₂ emisyon veri ürünüdür ODIAC, Karbon Dioksit Bilgi Analiz Merkezi (CDIAC)⁵⁵ tarafından yapılan CO₂ emisyon tahminlerinin mekansal ayrıştırılmasına dayanmaktadır. CDIAC emisyonları yakıt türüne göre tahmin edilmektedir

(katı, gaz ve sıvı yakıtlar, bunker yakıtı ve gaz) ⁵⁴alevli üretilen üretilen, ulusal envanter derlemesi için sıklıkla kullanılan emisyon sektörü yerine⁵⁶. ODIAC mekansal ayrıştırması iki adımda gerçekleştirilmektedir. İlk olarak, noktasal kaynaklardan (çoğunlukla enerji santralleri) kaynaklanan emisyonlar, enerji santrali emisyon tahminleri ve küresel bir enerji santrali veri tabanından alınan coğrafi konum kullanılarak tahmin edilir ve haritalanır. Noktasal olmayan kaynak emisyonları olarak adlandırdığımız emisyonların geri kalanı (ülke toplamı eksi noktasal kaynak emisyonları), uydudan gözlemlenen gece ışıkları (NTL) yoğunluklarının mekansal dağılımı kullanılarak dağıtılır^{53,54}. Noktasal olmayan kaynak emisyonları, Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) Dünya Gözlem Grubu tarafından geliştirilen, doygunluk etkisi azaltılmış Savunma Meteoroloji Uydusu Programı (DMSP) kalibre edilmiş radyans ve Görünür Kızılötesi Görüntüleme Radyometre Paketi (VIIRS) NTL veri setleri kullanılarak 1 km x 1 km uzamsal çözünürlüğe ayrıştırılmıştır⁽⁵⁷⁾. Kalibre edilmiş radyans NTL verileri, normal DMSP NTL ürününün birleştirilmiş bir ürünüdür ve azaltılmış kazanç gözlemlerinden ⁵⁸. Oda ve diğerleri⁵³ kalibre edilmiş radyans verilerinin kullanılması nedeniyle Oda ve Maksyutov'un⁵⁴ orijinal yayınından daha iyi bir uzamsal emisyon dağılımı göstermektedir. Her yıl her şehir için emisyonları, o yıl için ODIAC'tan alınan ve BUNTUS tarafından tanımlanan poligon içinde kalan tüm toplayarak hesaplıyoruz. Tüm veri değerleri Ek Tablo 2'de verilmiştir.

Kaya Kimlik

Gayri Safi Yurtiçi Hasıla'yı (GSYİH) sıklıkla üç terimin bir ürünü olarak ayrıştıran ekonomi ile benzerlik kurarak ilerliyoruz

$$GSYİH = \text{Nüfus} \times \text{Katılım} \times \text{Verimlilik} \quad (4)$$

Raupach ve diğerleri¹³ ulusal emisyonlar için bir ayrıştırma

kullanmıştır. Kentsel CO₂ emisyonlarını, kentsel alan, nüfus yoğunluğu ve kişi başına CO₂⁵⁹ emisyonlarının bir ürünü olarak değiştirilmiş bir Kaya özdeşliği kullanarak yazıyoruz.

$$E = Ape \quad (5)$$

Burada E toplam CO₂ emisyonları, A kentsel alan, p nüfus yoğunluğu (birim alan başına kişi) ve e kişi başına CO₂ emisyonlarıdır (kişi başına ton karbon). Kapsamlı değişkenler için büyük harf, yoğun değişkenler için küçük harf kullanılmıştır. Raupach ve diğerlerini¹³, CO₂ emisyonlarındaki oransal eğilimi aşağıdaki gibi ayrıştırmak için logaritmik bir dönüşüm kullanıyoruz

$$\delta E = \delta A + \delta p + \delta e \quad (6)$$

burada δ aşağıdaki şekilde tanımlanan orantılı bir eğilimi temsil eder

$$= \frac{dx/dt}{x} \quad (7)$$

ve genellikle yıl başına yüzde olarak ifade edilir. Bir miktar x için

δx 'i aşağıdaki gibi hesaplarız:

1. Bazı yıllar kentsel sınır verilerinden yoksun olduğu için
2. genellikle seyrek olan bir zaman serisi $x(t)$ ile başlıyoruz (açıklama için bkz. Luqman vd.,⁴⁹).
3. $L(t) = a + bt$ doğrusal regresyonunu $x(t)$ 'ye uydurun x 'i $L(t)$ olarak hesaplayın, burada tref çalışma dönemimizin orta
4. noktasıdır. x bu nedenle zamanla doğrusallığı bir ortalama tahminidir. Bu prosedürü E, A, p ve e için tekrarlıyoruz.

Eşitlik 5 gibi ifadelerin matematiksel özdeşlikler olmalarına rağmen nedensellik ifadesi olmadıklarını ancak altta yatan nedenleri aydınlatabileceklerini vurguluyoruz. Değiştirilmiş Kaya özdeşliğini 91 şehrimize uyguluyoruz.

Raporlama özet

Araştırma tasarımına ilişkin daha fazla bilgi, bu makalede bağlantısı verilen Nature Research Reporting Summary'de mevcuttur.

VERİ KULLANILABİLİRLİĞİ

Analizimizde aşağıdaki kaynaklardan elde edilen verileri kullandık. Şehir sınırı verileri (BUNTUS) http://thebuntus.com/paper_page.html adresinde mevcuttur. Gridlenmiş nüfus verileri (LandScan) ref. 51 adresinde ve gridlenmiş fosil yakıt CO2 emisyon veri seti (ODIAC) ref. 53 adresinde mevcuttur. Hesaplanan tüm değerler Ek Tablo 2'de verilmiştir.

Alındı: 10 Şubat 2022; Kabul Edildi: 31 Ocak 2023;

Published online: 16 February 2023

REFERANSLAR

- Seto, K. C. ve diğerleri. *İnsan yerleşimleri, altyapı ve mekânsal planlama*. (Cam-bridge University Press, 2014).
- Gurney, K. R. ve diğerleri. Amerika Birleşik Devletleri için Vulcan Sürüm 3.0 Yüksek Çözünürlüklü Fosil Yakıt CO2 Emisyonları. *J. Geophys. Res. Atmospheres* 125, e2020JD032974 (2020).
- Jones, C. & Kammen, D. M. ABD Hane Halkı Karbon Ayak İzlerinin Mekânsal Dağılımı, Banliyeleşmenin Kentsel Nüfus Yoğunluğunun Sera Gazı Faydalarını Azalttığını Ortaya Koyuyor. *Environ. Sci. Technol.* 48, 895-902 (2014).
- Nations, U. *World Urbanization Prospects 2018 - Population Division - United Nations*. (2018).
- Seto, K. C., Güneralp, B. & Hutrya, L. R. 2030 yılına kadar kentsel genişlemenin küresel tahminleri ve biyoçeşitlilik ve karbon havuzları üzerindeki doğrudan etkileri. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 109, 16083-16088 (2012).
- C40, Arup & Leeds Üniversitesi. 1.5C Dünyasında [Kentsel Tük future-of-urban-consumption-in-a-1-5c-world](https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/the-future-of-urban-consumption-in-a-1-5c-world) etimin Geleceği. <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/the-future-of-urban-consumption-in-a-1-5c-world> (2019).
- Seto, K. C. ve diğerleri. Karbon kilitlenmesi: türleri, nedenleri ve politika çıkarımları. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 41, 425-452 (2016).
- Wang, R. ve diğerleri. Yanma süreçlerinin yüksek çözünürlüklü haritalanması ve CO için çıkarımlar 2 emisyonları. *Atmosferik Kimya. Phys. Discuss.* 12, 21211-21239 (2012).
- Little, W., McGivern, R. & Kerins, N. *Introduction to Sociology-2nd Canadian Edition*. (BC Campus, 2016).
- Uchiyama, K. *Environmental Kuznets Curve Hypothesis and Carbon Dioxide Emissions*. (Springer Japan, 2016). <https://doi.org/10.1007/978-4-431-55921-4>.
- Grossman, G. M. & Krueger, A. B. *Kuzey Amerika serbest ticaret anlaşmasının çevresel etkileri*. (1991).
- Stern, D. I. 25 yıl sonra çevresel Kuznets eğrisi. *J. Bioeconomics* 19, 7-28 (2017).
- Raupach, M. R. ve diğerleri. Hızlanan CO2 emisyonlarının küresel ve bölgesel etkenleri. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 104, 10288-10293 (2007).
- Shahbaz, M., Loganathan, N., Muzaffar, A. T., Ahmed, K. & Jabran, M. A. Malezya'da kentleşme CO2 emisyonlarını nasıl etkiliyor? STIRPAT modelinin uygulanması. *Yenileme. Sürdürülebilirlik. Energy Rev.* 57, 83-93 (2016).
- Katircioğlu, S. & Katircioğlu, S. Geleneksel çevresel Kuznets eğrisinde kentsel gelişimin rolünün test edilmesi: Türkiye'den kanıtlar. *Appl. Econ. Lett.* 25, 741-746 (2018).
- Doğan, E. & Türkekul, B. CO2 emisyonları, reel çıktı, enerji tüketimi, ticaret, kentleşme ve finansal gelişme: ABD için EKC hipotezinin test edilmesi. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23, 1203-1213 (2016).
- Ribeiro, H. V., Rybski, D. & Kropp, J. P. Nüfus veya yoğunluk değişiminin kentsel karbondioksit emisyonları. *Nat. Commun.* 10, 1-9 (2019).
- Ouyang, X. & Lin, B. Kentleşme sırasında karbondioksit (CO2) emisyonları: Çin ve Japonya arasında karşılaştırmalı bir çalışma. *J. Clean. Prod.* 143, 356-368 (2017).
- Baiocchi, G. & Minx, J. C. Birleşik Krallık'ın CO2 Emisyonlarındaki Değişimleri Anlamak: A Küresel Perspektif. *Environ. Sci. Technol.* 44, 1177-1184 (2010).
- Al-Mulali, U., Fereidouni, H. G., Lee, J. Y. & Sab, C. N. B. C. MENA ülkelerinde kentleşme, enerji tüketimi ve CO2 emisyonu arasındaki araştırılması. *Yenileme. Sürdürülebilirlik. Energy Rev.* 23, 107-112 (2013).
- Salahuddin, M., Ali, M. I., Vink, N. & Gow, J. Kentleşme ve küreselleşmenin CO üzerindeki etkileri 2 emisyonları: Sahra Altı Afrika (SSA) ülkelerinden kanıtlar. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 26, 2699-2709 (2019).
- Liddle, B. & Lung, S. Gelişmiş ülkelerde yaş yapısı, kentleşme ve iklim değişikliği: ayrıştırılmış nüfus ve tüketimle ilgili çevresel etkiler için STIRPAT'in yeniden gözden geçirilmesi. *Popul. Environ.* 31, 317-343 (2010).
- M. Luqman ve diğerleri. 23. Martínez-Zarzoso, I. & Maruotti, A. Kentleşmenin CO2 emisyonları üzerindeki etkisi: gelişmekte olan ülkelere kanıtlar. *Ecol. Econ.* 70, 1344-1353 (2011).
- Sadorsky, P. Gelişmekte olan ekonomilerde kentleşmenin CO2 emisyonları üzerindeki etkisi. *Energy Econ* 41, 147-153 (2014).
- Khoshnevis Yazdi, S. & Shakouri, B. Yenilenebilir enerji ve CO2 emisyonları üzerindeki etkisi: Bir panel verisi. *Energy Sources Part B Econ. Plan. Policy* 13, 121-127 (2018).
- Wu, D., Lin, J. C., Oda, T. & Kort, E. A. Şehirlerden kaynaklanan kişi başı CO2 emisyonlarının mekana dayalı ölçümü. *Environ. Res. Lett.* 15, 035004 (2020).
- Crippa, M. ve diğerleri. Kentsel alanlarda küresel antropojenik emisyonlar: modeller, eğilimler ve zorluklar. *Environ. Res. Lett.* 16, 074033 (2021).
- Janssens-Maenhout, G. ve diğerleri. EDGAR v4. 3.2 1970-2012 dönemi için üç ana Sera Gazı Emisyonunun Küresel Atlası. *Earth Syst. Sci. Data* 11, 959-1002 (2019).
- Pesaresi, M. ve diğerleri. 1975, 1990, 2000 ve 2014 dönemlerine ait Landsat verilerinden Küresel İnsan Yerleşim Katmanı üretimi için işletim prosedürü. *Yayımlandı. Kapalı. Eur. Union* 1-62 (2016).
- Gudipudi, R. ve diğerleri. Verimli, yoğun ve üretken: Kentsel Kaya ölçeklendirmesinden içgörüler. *Appl. Energy* 236, 155-162 (2019).
- Nakicenovic, N. *Emisyon senaryolarının sosyoekonomik itici güçleri* 62 (Island Press, Washington, DC, 2004).
- Bettencourt, L. M. ve diğerleri. Kentsel ölçeklendirme analizinin zaman içinde yorumlanması. *J. R. Soc. Interface* 17, 20190846 (2020).
- UNFCCC, V. Paris Anlaşmasının Kabulü. *Teklif. Pres. Taslak Karar. U. N. Off. Cenevre İsviçre*. (2015).
- Figueroes, C. ve diğerleri. Emisyonlar hala artıyor: kesintileri hızlandırın. *Nature* 564, 27-30 (2018).
- Gurney, K. R. ve diğerleri. ABD şehirlerinde sera gazı emisyonlarının eksik raporlanması. *Nat. Commun.* 12, 1-7 (2021).
- Gurney, K. R. ve diğerleri. İklim değişikliği: Kentsel emisyonları insan ölçeğinde takip edin. *Nat. News* 525, 179 (2015).
- Lauvaux, T. ve diğerleri. Kentsel CO2 Emisyonlarının Politika ile İlgili Değerlendirmesi. *Çevre Bilimleri. Sci. Technol.* 54, 10237-10245 (2020).
- Calinski, T. Küme analizi için bir dendrit yöntemi. *Commun. Stat.* 3, 1-27 (1974).
- Arthur, D. & Vassilvitskii, S. *k-ortalama++ : Dikkatli tohumlamanın avantajları*. (2006).
- Wang, C., Lin, J., Cai, W. & Zhang, Z. Çin'de düşük karbonlu şehir geliştirme politikaları ve uygulamaları. *Energy Environ.* 24, 1347-1372 (2013).
- Cheng, L., Mi, Z., Sudmant, A. & Coffman, D. Daha büyük şehirler daha iyi iklim mi? Çin'deki kentsel alanların analizinden elde edilen sonuçlar. *Energy Econ* 107, 105872 (2022).
- Doll, Christopher, N. H., Muller, J.-P. & Elvidge, C. D. Sosyoekonomik Parametrelerin ve Sera Gazı Emisyonlarının Küresel Haritalanması için Bir Araç Olarak Gece Görüntüleri. *AMBIO J. Hum. Environ.* 29, 157-162 (2000).
- Elvidge, C. D. ve diğerleri. Dünyanın gece ışıkları: 1994-1995. *J. Photogramm. Remote Sens.* 56, 81-99 (2001).
- Elvidge, C. D., Baugh, K. E., Kihn, E. A., Kroehl, H. W. & Davis, E. R. DSMP Operasyonel LineScan Sisteminden alınan gece verileriyle şehir ışıklarının haritalanması. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 63, 727-734 (1997).
- Asefi-Najafabadi, S. Çok yıllık, küresel gridli fosil yakıt CO2 emisyon veri ürünü: Sonuçların değerlendirilmesi ve analizi. *J. Geophys. Res. Atmos.* 119, 10213-10231 (2014).
- Raupach, M. R., Rayner, P. J. & Paget, M. Gece ışıklarının mekansal yapısı, nüfus yoğunluğu ve fosil yakıt CO2 emisyonlarındaki bölgesel farklılıklar. *Enerji Politikası* 38, 4756-4764 (2010).
- Rayner, P. J., Raupach, M. R., Paget, M., Peylin, P. & Koffi, E. Fosil yakıtların yanmasından kaynaklanan CO2 emisyonlarına ilişkin yeni bir küresel ızgaralı veri seti. *Metodol. Değerlendirme. J. Geophys. Res.* 115, 19 (2010).
- Thompson, J. ve diğerleri. Kentsel tasarım türleri ve karayolu taşımacılığının kaynaklanan yaranmaların küresel analizi: bir görüntü işleme çalışması. *Lancet Gezeği. Health* 4, e32-e42 (2020).
- Luqman, M., Rayner, P. J. & Gurney, K. R. Kentsel Sınırlardaki Değişiklikleri Tespit Etmek İçin Yerleşim Alanı, Gece Işığı ve Seyahat Süresi Mesafesi Ölçümlerinin Birleştirilmesi: BUNTUS Algoritmasının Tanıtımı. *Remote Sens* 11, 2969 (2019).
- Demographia. *DÜNYA MEGAKENTLERİ Nüfusu 10.000.000'dan Fazla Olan Kentsel Alanlar*. (2015).
- Bhaduri, B., Bright, E., Coleman, P. & Urban, M. L. LandScan USA: nüfus dağılımı ve dinamikleri için yüksek çözünürlüklü bir jeo-uzamsal ve zamansal modelleme yaklaşımı. *GeoJournal* 69, 103-117 (2007).
- Dobson, J. E., Bright, E. A., Coleman, P. R., Durfee, R. C. & Worley, B. A. LandScan: risk altındaki popülasyonları tahmin etmek için küresel bir popülasyon veritabanı. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 66, 849-857 (2000).
- Oda, T., Maksyutov, S. & Andres, R. J. Antropojenik CO2 için Açık Kaynak Veri Envanteri, sürüm 2016 (ODIAC2016): izleyici taşıma simülasyonları ve yüzey akısı ters çevirmeleri için küresel bir aylık fosil yakıt CO2 gridli emisyon veri ürünü. *Dünya Sist. Sci. Data* 10, 87-107 (2018).

- 54.Oda, T. & Maksyutov, S. Nokta kaynak veritabanı ve gece ışıklarının uydu gözlemleri kullanılarak elde edilen çok yüksek çözünürlüklü (1 km×1 km) küresel fosil yakıt CO₂ emisyon envanteri. *Atmos Chem Phys* 11, 543-556 (2011).
- 55.Boden, T. A., Marland, G. & Andres, R. J. Fosil yakıt yakma, çimento üretimi ve gaz alevlenmesinden kaynaklanan ulusal CO₂ emisyonları: 1751-2014. *Karbon Dioksit Enf. Analiz Merkezi. Merkezi. Oak Ridge Natl. Lab. ABD Enerji Bakanlığı* (2017).
- 56.Marland, G. & Rotty, R. M. Fosil yakıtlardan kaynaklanan karbondioksit emisyonları: 1950-1982 yılları için bir tahmin prosedürü ve sonuçları. *Tellus B Chem. Phys. Meteorol* 36, 232-261 (1984).
- 57.Oda, T., Maksyutov, S. & Elvidge, C. D. Küresel bir enerji santrali veritabanı ve DMSP gece ışığı verileri kullanarak ulusal fosil yakıt CO₂ emisyonlarının ayrıştırılması. *Proc. Asya-Pasifik. Adv. Netw.* 30, 219-228 (2010).
- 58.Ziskin, D., Baugh, K., Hsu, F. C., Ghosh, T. & Elvidge, C. 2006 radyans ışıkları için kullanılan yöntemler. *Proc. Asya-Pasifik. Adv. Netw.* 30, 131-142 (2010).
- 59.Kaya, Y., Yokobori, K. & diğerleri. *Çevre, enerji ve ekonomi: sürdürülebilirlik için stratejiler.* (Birleşmiş Milletler Üniversitesi Yayınları Tokyo, 1997).

TEŞEKKÜRLER

LandScan veri setleri, DMSP-OLS, VIIRS ürünleri ve Google Earth için Oak Ridge Ulusal Topluluğu'na (ORNL) teşekkür ederiz. M.L. Melbourne Araştırma Bursu için Melbourne Üniversitesi'ne müteşekkirdir. Ayrıca Albert Shimmins Fonu'na da teşekkürlerini sunar. Makalenin kalitesini artırmamızı sağlayan faydalı yorumları için anonim hakemlere teşekkür ederiz.

YAZAR KATKILARI

M.L., P.R. ve K.G. bu makale fikrini tasarlamış ve geliştirmiştir. M.L. makalenin ilk taslağını yazmıştır. M.L., P.R. ve K.G. makaleyi düzenlemiş ve sonraki ve son taslakları yazmıştır.

REKABET EDEN ÇIKARLAR

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemektedir.

EK BİLGİ

Ek bilgi Çevrimiçi versiyon, <https://doi.org/10.1038/s42949-023-00084-2> adresinde bulunan ek materyalleri içermektedir.

Yazarlar ve materyal talepleri Muhammad Luqman'a gönderilmelidir.

Yeniden [basım](https://www.nature.com/) ve izin bilgilerine [http://www.nature.com/](https://www.nature.com/) adresinden ulaşılabilir.

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



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

creativecommons.org/licenses/by/4.0/.

© Taç 2023